



**TAL
TECH**

**EESTI ELEKTRI TARBIMISKAJA
JA TOOTVA TARBIMISE
SIMULATSIOONIANALÜÜS**

Uuringuaruanne

Mai 2024

Uuringu tellija: Riigikogu Arenguseire Keskus

Uuringu autorid

- **Einari Kisel**, PhD, FinEst Targa linna tippkeskus
- **Reeli Kuhi-Thalfeldt**, PhD, Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituut
- **Hannes Agabus**, PhD, Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituut
- **Kaija Veschioja**, PhD, FinEst Targa linna tippkeskus

Autorite tänu

Soovime tänada Riigikogu Arenguseire keskuse direktorit Tea Danilovit, uuringute juhti Uku Varblast ja eriti eksperti Märt Massot huvitava teematõstatuse ning asjatundliku kaasamõtleamise eest. Samuti oli selle töö valmimisel võtmeroll Enefit AS äriarenduse ja analüüsi osakonna juhil Erko Varblasel ja Eesti Energia AS andmeanalüütikul Carel Kuusel, kelle abil sai toretest andmetest sisuline analüüs.

Eriline tänu kuulub aga kõikidele aktiivsetele elektritarbijatele ilma kellela poleks seda analüüsi sündinud.

E. Kisel, R. Kuhi-Thalfeldt, H. Agabus ja K. Veschioja, „Eesti elektri tarbimiskaja ja tootva tarbimise simulatsioonianalüüs,“ Tallinna Tehnikaülikool, Tallinn, 2024.

Tallinna Tehnikaülikool

Telefon: 620 2002

E-post: info@taltech.ee

Ehitajate tee 5, 19086 Tallinn

SISUKORD

Lühendid	3
Kokkuvõte	4
Sissejuhatus	6
Seadusandlik taust	8
Metoodika	13
7.12.2021 ja 5.1.2024 tarbimiskaja analüüs	14
Simulatsioon tarbimiskajast aastal 2040	21
Järeldused	28
Ettepanekud regulatsiooni arendamiseks	29

LÜHENDID

Lühend	Selgitus
aFRR	Automaatne sagedusreserv (ingl. Automatic Frequency Regulation Reserv)
mFRR	Manuaalne sagedusreserv (ingl. Manual Frequency Regulation Reserve)
FCR	Sageduse hoidmise reserv (ingl. Frequency Containment Reserve)
MWh	Megavatt-tund
MWh/h	Megavatt-tund tunnis (keskmise võimsuse tunni kestel)

KOKKUVÕTE

Riigikogu Arenguseire keskuse tellimusel analüüsisid Tallinna Tehnikaülikooli teadlased koos Eesti Energia analüütikutega Eesti aktiivsete ja tootvate elektritarbijate käitumist ülikõrgete hindadega tundidel. Uuringu lõppeesmärgiks on koostada aruanne, kus analüüsitakse ja kaardistatakse

1. aktiivsete elektritarbijate tarbimiskaja (ingl.k Demand Side Response) tänast olukorda Eestis ja hinnatakse nende potentsiaali 2040. aasta vaates, tuues välja kriitilised mõjutegurid ja nende ulatus. Analüüsitakse nii erinevate tarbijagruppide praegust struktuuri kui ka nende poolt pakutavat potentsiaalset elektrivõimsust, mida oleks võimalik vajadusel kasutada elektriturul elektritarbimise tippude alandamiseks ja seekaudu teatud tingimustel ka tunnihindade alandamiseks;
2. tootvate tarbijate (ingl.k prosumers) arvu ja koguvõimsuse hetkeolukorda, nende tegutsemisprofiili ning kasvupotentsiaali 2040. aasta vaates erinevate stsenaariumite korral. Seejuures tuuakse välja kriitilised mõjutegurid, mis määravad erineva võimsusega mikrotootmise ja salvestuslahenduste atraktiivsuse elektriturul kodutarbijate hulgas;
3. soovitusel aktiivse ja tootva tarbija potentsiaali tõstmiseks ning edasised analüüsid.

2014. aastal TalTechi ja Eleringi poolt tehtud analüüs¹ hindas Eestis tarbimiskaja teoreetiliseks vähendamise potentsiaaliks 213-407 MW. Viimase 3 aasta jooksul on Eestis olnud 2 talvist päeva (7. detsember 2021 ja 5. jaanuar 2024) mil börsihinnad on kokku 15 tunnil ületanud 1000EUR/MWh. Neil tundidel on börsihinnaga elektri ostjad kõige selgemalt reageerinud hinnahüpetele tarbimise vähendamise või nihutamisega.

Eesti Energia klientide tarbimisandmete analüüsist nende kahe päeva tundide tarbimisandmete põhjal võib Eesti tarbimiskaja kohta teha mitmeid olulisi järeldusi:

1. Kõige aktiivsemalt reageerivad hinnahüpetele töötlev tööstus ja kodumajapidamised (eriti soojuspumpadega eramud);
2. Tarbijad on õppinud oma tarbimist paremini juhtima: kui 7.12.2021 vähendasid aktiivsemad börsihinnaga tarbijagrupid oma tarbimist ülikõrgete hindadega tundidel 2-4%, siis 5.1.2024 vähendasid kodutarbijad ja töötleva tööstuse tarbijad tarbimist juba 10-12%;
3. Kõikides tarbijagruppides (v.a. avalikus sektoris) paistavad positiivselt silma tootvad tarbijad, kel on paigaldatud ka päikesepaneelid. Nende tarbijate teadlikkus ja paindlikkus võimaldab neil vähendada oma tarbimist kodutarbijate hulgas 2,5 korda ning kommunaalteenuste sektoris lausa 4 korda rohkem võrreldes tavaliste börsihinnaga tarbijatega;
4. Negatiivselt paistab selles analüüsis silma avalik sektor, kus vastupidiselt teistele tarbijagruppidele tarbiti elektrit kõrge hinnaga tundidel hoopis baastasemest rohkem.

Eesti Energia tarbijate andmete analüüsist võib järeldada et börsihinnaga lõpptarbijad vähendasid 5. jaanuaril 2024 oma tarbimist ülikõrgete hindadega tundidel 30-40 MW. Arvestades Eesti Energia AS 50% turuosa elektri müügil Eestis, kadude vähenemist tänu

¹ https://elering.ee/sites/default/files/attachments/Tarbimise_juhtimine_1.pdf

tarbimise vähenemisele ning eeldades, et ülejäänud tarbijate struktuur ja käitumine on sarnased Eesti Energia AS elektritarbijate omale, siis võib hinnata et **tegelik tarbimiskaja maht talvisel ajal on Eestis kokku 75-100 MW**. Tehniline potentsiaal on seega tunduvalt suurem, kuid tarbijate valmisolek ja motivatsioon tarbimise vähendamiseks on oluliselt väiksem.

Tulevikku vaadates omab kõige suuremat mõju aktiivsete ja tootvate tarbijate võimekusele tarbimiskaja mahu kasvatamisel paindlike elektritarvitite kasutuse suurenemine. Oodatavalt mõjutab seda 4 trendi:

1. Järjest kasvav soojuspumpade kasutus soojusenergia tootmiseks nii era- kui äritarbijate juures. Ka kaugkütte ettevõtjad on järjest enam võtmas kasutusele soojuspumpasid ning soojussalvesteid, mis võivad oluliselt mõjutada tarbimiskaja kõrgete hindadega tundidel;
2. Elektriautode laiem kasutus suurendab eeldatavalt elektritarvet madalate elektrihindadega aegadel;
3. Akusalvestite kasutus aitab nihutada taastuvate energiaallikate ületoodangut päikeselistel tundidel aegadele mil süsteemis on taastuenergia tootmise defitsiit;
4. Elektritarvitite juhtimise automatiseerimine suurendab ühelt poolt tarbimise nihutamise tõhusust, samas võib tekitada süsteemi vaatest üle reageerimist elektri hindade muutustele.

Kõik need tehnoloogiad võimaldavad agregatori juhtimisel pakkuda erinevaid paindlikkusteenuseid ning tuua aktiivsetele tarbijatele lisatulu sellelt loodavalt turult.

Samas tekitaks tarbimiskaja oodatav suurenemine praeguses regulatiivses raamistikus täiesti uutmoodi probleemi: kuna aktiivsed tarbijad teevad enamasti oma tarbimisotsuseid juba välja kuulutatud järgmise päeva tunnihindade alusel, siis on tõenäoline et kõik need paindlikud tarbijad nihutavad oma juhitava tarbimise samadele madala hinnaga tundidele. Praegu on nende mõju turul veel tühine, kuid 10-15 aasta vaates tuleks juba täna regulatiivselt ennetada probleemi eskaleerumist.

Kavandamisel olevad elektrituruseaduse muudatused peaksid seega ühelt poolt tagama aktiivsete tarbijate võimaluse pakkuda oma paindlikkust turule, teisalt vältima elektriturul kontrollimatu kollektiivse üle reageerimise teket. Oluline on täpsemalt sätestada agregeerimise tegevused ja põhimõtted ning luua selge turumehhanism kuidas motiveerida aktiivseid turuosalisi tarbimist paremini juhtima ning sellest ka kasu saama.

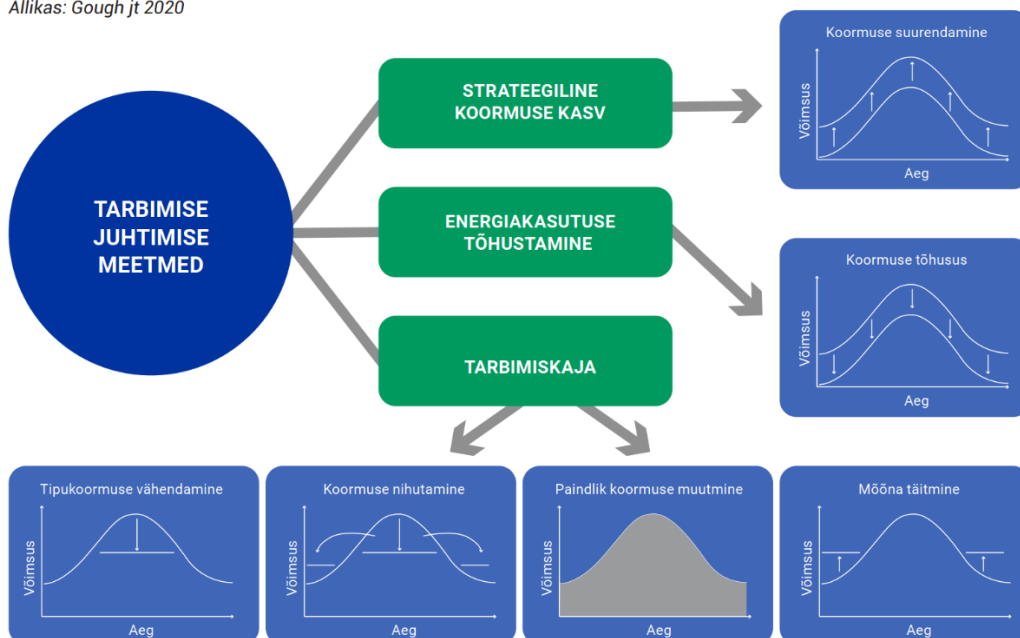
Efektiivse agregeerimise regulatsiooni loomine looks tänastes oludes tingimused fikseeritud hindadega tarbijate elektritarbimise vähendamiseks täiendavalt vähemalt 25 MW ulatuses. Suure tõenäosusega motiveeriks agregeerimise võimalus suurendama ka börsihinnaga elektrit ostvate tarbijate tarbimiskaja. Iga lisanduv 1000 elektriautot võimaldaks nutikalt laadides tekitada täiendavalt 1MW üles reguleeritavat võimsust, mis ajaliselt on piiratud elektriautode salvestusmahuga. Soojuspumbad omakorda suudaksid nutika kasutamise korral külmade ilmadega aegadel pakkuda paaritunnist tarbimiskaja ligi poole oma võimsuse ulatuses. Selle potentsiaali suurendamiseks on võtmekohaks hoonete energiatõhususe parandamine, mis võimaldab soojuspumpade kütet välja lülitada pikemaks perioodiks, samas vähendada ka elektritarbimise mahtu külmadel aegadel.

SISSEJUHATUS

Tarbimiskaja on elektrituruseaduse mõistes elektri tarbimise koormuse juhtimine, mis seisneb tarbija iseseisvas tarbimise muutmises, või agregatori (st aktiivsete ja tootvate tarbijate tarbimis- ja tootmismahude müügi ja ostude teostaja) kaudu tehtud ja aktsepteeritud pakkumises müüa organiseeritud turu hinnaga tarbimise vähendamist või suurendamist.

Eesti on selliste analüüside teostamiseks ainulaadne koht maailmas: vähestes kohtades on olemas sedavõrd detailne andmestik kõikide elektritarbijate tarbimismahude kohta igal tunnil. Antud uuringus analüüsiti Eesti Energia AS ja Elektrilevi OÜ elektritarbijate andmeid agregeeritud kujul Statistikaameti tarbijagruppide jaotuse alusel, vältides isikuandmete kasutamist.

Joonis 1. Tarbimise juhtimine
Allikas: Gough jt 2020



Joonis 1. Tarbimiskaja liigid. Allikas: Gough, et al ²

Joonisel 1 on toodud tarbimiskaja meetmete (ingl k. Demand Response) liigid, millest käesolevas uuringus on analüüsi osas käsitletud tipukoormuse vähendamise (Peak clipping), koormuse nihutamise (Load shifting) ja paindlikku koormuse muutmise (Flexible load shaping) koostõju mõistmaks tarbimiskaja toimimist kõrgete hindadega tundidel.

Sisuliselt toimib Eestis vaid tarbijate iseseisev tarbimise muutmine vastusena börsielektri hinna muutustele. Ligi 2/3 Eestis tarbitavast elektrist müüakse börsielektri hinnaga seotud pakettide kaudu – nendel tarbijatel on ka motivatsioon oma tarbimist juhtida. Riigikontroll

² Gough, Matthew, Sérgio F. Santos, Mohammed Javadi, Rui Castro, and João P. S. Catalão. 2020. "Prosumer Flexibility: A Comprehensive State-of-the-Art Review and Scientometric Analysis" *Energies* 13, no. 11: 2710. <https://doi.org/10.3390/en13112710>

juhtis 2023. aasta novembris oma aruandes „Eesti elektrisüsteemi valikud“³ muuhulgas tähelepanu, et agregatori teenuse osutamine Eestis on tulenevalt turumudeli ja seadusandluse puudujääkidest üsna piiratud. Agregatori teenused võimaldaks muuhulgas kaasata ka fikseeritud hinnaga tarbijaid tarbimise juhtimisse.

2014. aastal TalTechi ja Eleringi poolt tehtud analüüs⁴ hindas Eestis tarbimiskaja teoreetiliseks vähendamise potentsiaaliks 213-407 MW. Esimesed hinnahüpped, millele suurtarbijad reageerisid tarbimise vähendamisega, toimusid Eesti elektriturul juba 2011. aastal enne selle täielikku avanemist. Alates 2013. aastast täielikult avatud Eesti elektriturul ei olnud aastaid ühtegi ülikõrge elektri börsihinnaga (üle 1000 EUR/MWh) tundi, mistõttu sai rääkida vaid teoreetilisest tarbimiskaja potentsiaalist, mis on suuresti pädev ka praegu. Ka madalamate hindade puhul on tarbijad vähendanud tarbimist, kuid väiksemas mahus. Eesti tarbijate hinnaelastsust on analüüsitud Eesti Energia ja Tartu Ülikooli vastavas uuringus⁵.

Viimase 3 aasta jooksul on Eestis olnud 3 päeva (7. detsember 2021, 17. august 2022 ja 5. jaanuar 2024) mil börsihinnad on kokku 15 tunnil ületanud 1000 EUR/MWh. Selline hinnatase on suunanud juba väga paljusid tarbijaid tegema olulisi korrektsioone oma planeeritud tarbimises, ka meedia on eelneval päeval juhtinud selgelt tarbijate tähelepanu eesootavale hinnahüppele. Ekstreemselt kõrgete tunnihindade analüüs näitabki tarbijate kõige suuremat tegelikku tarbimiskaja, sest siis on tarbijate motivatsioon oma tarbimist vähendada kõige selgem. Tarbimise vähenemise hindamiseks on ratsionaalne vaadata talviseid hinnatippe 7.12.2021 ja 5.1.2024, kuna siis on tarbimise maht ning ka vähendamise potentsiaal kõige suuremad. Käesolev uuring analüüsibki kui suures mahus nendel päevadel on elektritarbijad reageerinud hinnahüpetele tarbimise vähendamise või nihutamisega.

Tarbijate käitumise edasiste uuringute käigus tuleb tähelepanu pöörata ka sellele kuidas sõltub tarbimiskaja maht kõrgete hindade kestusest. Näiteks 7.12.2021 oli kaks ülikõrge hinnaga tundi (1000 EUR/MWh hommikul, teine 977 EUR/MWh hinnaga tund pärastlõunal), 17.8.2022 oli vaid üks ülikõrge hinnaga tund (4000 EUR/MWh), 5.1.2024 oli aga hind üle 1000 EUR/MWh koguni 13 tundi järjest (tipuga 1927 EUR/MWh). On selge, et pika perioodi jooksul ei ole paljude elektritarvitite (näiteks soojuspumbad või külmutid) puhul võimalik neid pikalt väljalülitatuna hoida ning seetõttu tarbimiskaja ajas muutub. Käesolevas uuringus seda aspekti käsitletud ei ole.

3

<https://www.riigikontroll.ee/DesktopModules/DigiDetail/FileDownloader.aspx?FileId=18316&AuditId=5566>

⁴ https://elering.ee/sites/default/files/attachments/Tarbimise_juhtimine_1.pdf

⁵ <https://rito.riigikogu.ee/eelmised-numbrid/nr-47/universaalteenuse-juurutamise-moju-kodutarbijate-elektritarbimisele/>

SEADUSANDLIK TAUST

Kehtiv tarbimiskaja mõjutav Euroopa Liidu regulatsioon on sätestatud alljärgnevates aktides:

- (EL) 2019/943 (elektrituru korraldus);
- (EL) 2019/944 (elektrienergia siseturu ühtlustamine ja liberaliseerimine);
- (EL) 2017/2195 (elektrivõrgu sagedus);
- (EL) 2017/1485 (elektri ülekandesüsteemi käidueeskiri);
- EL 2015/1222 (võimsuse jaotamise ja ülekoormuse juhtimise suunised, reguleerib ka ülekandevõimsuste jaotamist ja pudelikaeladega toimetulekut);
- (EL) 2017/2196 (elektrisüsteemi avariitalitus).

Kõik eelpool nimetatud aktid reguleerivad otseselt või kaudselt tarbija tehnilis-majanduslikke võimalusi olla elektrisüsteemi või selle osadega integreeritud ning ühtlasi ka tarbija võimalusi elektriturul. Kokkuvõtlikult on Euroopa Liit võtnud täna väga tugeva suuna vabale konkurentsile riigiülestel elektriturgudel ning selleks on antud viimastel aastatel rida otseseid regulatiivseid suuniseid.

Turudisaini osas on erilise tähelepanu all neli fookusteemat:

- Motivatsiooni tagamine roheinvesteeringute jätkumiseks;
- Vastavate meetmete juurutamine, mis tagaks tööstuse konkurentsivõime;
- Suurem elektritarbijate aktiivsus elektriturul ning nende õiguste kaitsmine;
- Ühtse siseturu reeglite tugevdamine.

Elektrisüsteemi jaoks on tarbimiskaja otseseks väärtuseks täiendav süsteemipaindlikkus ning sellega kogu süsteemi töökindluse tõstmine. Olenevalt konkreetse piirkonna turukorraldusest on erinevatel turuosalistel võimalik pakutavat paindlikkust kasutada erinevate turuteenuste näol (elektribörsist süsteemiteenusteni).

Elektrituru kontekstis lähtutakse tarbimiskaja käsitlemisel kahte tüüpi paindlikkusest:

1. *Kaudselt mõõdetav paindlikkus* (ingl Implicit flexibility): tarbija (või tema esindaja, kellel on õigus tegutseda tarbija nimel) reageerib elektribörsi tunnihinnale (ja saab selle eest premeeritud üldise madalama elektriarve näol. Kui sellist paindlikust haldab jaemüüja või bilansihaldur, on vajalik täiendav paindlikkuse mõõtmine ning arveldus.
2. *Otseselt mõõdetav paindlikkus* (ingl explicit flexibility): tarbija (või tarbija nimel tegutsev agregaat) saab kokkulepitud tasu, kohandades oma tarbimist konkreetselt elektriturule pakutavate toodete järgi (süsteemiteenused ning sellega seotud reservtooted).

Agregaatori all mõistetakse turuosalist, kes on tarbijaga sõlminud kokkuleppe juurdepääsuks tarbija paindlikule tarbimisele ja/või tootmisele elektriturul kauplemiseks. Üldjuhul kogub agregator paindlikkuse kokku erinevatelt klientidelt ning koondab selle ühtseks turupakkumiseks, mida hangivad süsteemihaldurid, põhivõrguettevõtjad, jaotusvõrguettevõtjad ja/või bilansihaldurid.

Kuna elektriturud on ajalooliselt olnud liikmesriigi põhised ja mitte Euroopa Liidu ülesed, siis on paljudel liikmesriikidel (ka Eestil) täna veel mitmeid erisusi ka tarbijate tehnilise võimekuse, tururolli ning tarbijate agregeerimise osas, seal hulgas tarbijate ja lokaalset tootmist omavate tarbijate potentsiaali reaalse integreerimisega elektrisüsteemi ning rakendamisele elektriturgudel.

Kui tarbija kaasamine teenuspakkujate turutoodetes on levinud praktika ja võimalused sõltuvad pigem teenusepakkuja enda turupositsioonist ning kasutada olevatest tehnilistest lahendustest, siis süsteemiteenuste pakkumisel on olukord liikmesriigiti endiselt mitmekesine ning täna seotud paljuski lokaalse turu ning sealse reserve hankimise spetsiifikaga. Näiteks on osades liikmesriikides teatud süsteemiteenuste pakkumine ja agregeerimine võimalik vaid tööstus- ja ärikinnisvara omanikel. Erinevusi on ka agregatori tururolli osas: näiteks enamus liikmesriikidest nõuavad agregatoritelt bilansihalduri olemasolu, osad mitte (nt Holland). Osades liikmesriikides hangivad jaotusvõrguettevõtjad elektrivõrgu stabiilsuse tagamiseks teenuseid turupõhiselt, osad jällegi mitte.

Üle Euroopa on üheks oluliseks **võtmeküsimuseks kujunenud turuosaliste, sh lõpptarbijate andmed (id, mõõtepunktid, mõõdetud energia jne), nende usaldusväärsus, andmehaldus ning andmete „diskrimineerimata“ kättesaadavus teenuste pakkujatele, sh piiriülene andmevahetus.**

Liikmesriikide lõikes on üks ühine joon – sagedusreserve saab turutootena pakkuda min **1MW*h**. Seetõttu, kui Eestisse ei teki rohkem nt Estonia Celli tarbimisvõimsuse tasemega tööstusettevõtteid juurde, **siis jäävad tarbija võimalused sagedusreserve turul osalemiseks otseselt seotuks agregeerimisega**. Riigid, kus võrguettevõtjad hangivad muid süsteemi stabiilsuse jaoks vajalikke reserve ning omatakse vastavaid IT lahendusi, on võimalused väiksemate tarbijate kaasamiseks juba täna.

Eestis täna kehtiv regulatsioon jälgib üldjoontes Euroopa Liidu seadusandlust. Siiski, lähtuvalt elektrisüsteemi toimimise eripärast, kehtib täna veel mitmeid erisusi kuni Mandri-Euroopa sagedusalaga liitumiseni 2025 aastal. Need erisused on üldjoontes tehnilised, aga mõjutavad omakorda tarbija agregeeritult osalemist süsteemiteenuste pakkumisel.

Eesti tänane regulatsioon, mis reguleerib nii tarbija osalemist kui agregeerimise rakendamist elektriturul on sätestatud alljärgnevatel aktides:

1. *Elektriturseadus* (turukorraldus, turuteenused, turuosalise roll, turuosalise õigused ja kohustused, hinnaregulatsioon jne);
2. *Konkurentsiseadus* (loomulike monopolide hinnaregulatsioon, turu toimimine);
3. *Võrgueeskiri* (elektrisüsteemi ning teenuste kõrge kvaliteedi tagamine).

Eesti tänase regulatsiooni kohaselt on tarbija paindlikkuse kasutamine kokkuleppeline tegevus kliendi ja tema otsese teenuspakkuja vahel seni, kui seda ei rakendata süsteemiteenuse osutamiseks. Agregeerimine on lubatud, kuid seda ei ole täna kehtivas seadusandluses piisava üksikasjalikkusega reguleeritud.

Agregaatori tänased võimalused on Eestis otseselt reguleeritud vastavalt Euroopa Liidu reservide hankimist puudutava seadusandlusega:

- (EL) 2017/2195 („EBGL“), mis reguleerib reservide hankimise reegleid;
- (EL) 2017/1485 („SOGL“), mis sätestab reservide hankimise põhimõtted;
- (EL) 2017/2196 Avariitalitluse ja elektrisüsteemi taastamise eeskiri sätestab elektrisüsteemi avariitalitluse protseduurid ja korrigeerib tegevusi mida on vaja järgida süsteemi kustumise või toimimise taastamise korral.

Nendest regulatsioonidest tulenevalt sätestab Elering agregatorite tehnilised tingimused manuaalse sageduse taastamise reservi (mFRR) osas, millest olulisemad on alljärgnevad:

- Pakutud reservide võimsus tähendab, et turuosalistel on olemas valmisolek osutada reguleerimisteenust. Hankimise ajal ei osteta ega müüda elektrienergiat vaid turuosalistel on kohustatud hoidma oma seadmetel osa võimsust varuks. Teenust saavad osutada paindlikud turuosalistel nagu soojuselektrijaamad, energiasalvestid, taastuenergia tootjad, elektrienergia tarbijad, agregatorid.
- Minimaalne kaubeldav reserveeritav võimsus on 1 MW ning kauplemine toimub üles (tarbimise vähendamine või tootmise suurendamine) ja alla (tarbimise suurendamine või tootmise vähendamine) reguleerimise jaoks.
- Teenuse osutamisel on oluline eelkvalifitseerimine, et tagada teenusepakkuja nõuetele vastavus. Eelkvalifitseerimise käigus kontrollitakse tehnilist võimekust ja teenusepakkuja vastavust kehtivatele nõuetele

Elering on kohustatud korraldama Eesti riigi elektrivõrguga ühendatud BSP/tehnoloogia eelkvalifitseerimise, et tagada teenusepakkuja nõuetele vastavus. Eelkvalifitseerimise käigus kontrollitakse tehnilist võimekust ja teenusepakkuja vastavust kehtivatele nõuetele ning protsess kestab kuni 4 kuud.

Eelkvalifitseerimise osad on:

- Kasvuhoonegaaside heitmepiirangu järgimise kontroll;
- Reservvõimsuse olemasolu või projekti realiseeritavuse kontroll;
- Olemasolevate võimsuste käivitamise testid (tehniline sh IT võimekus).

Samas on juba praegu kavandamisel mõned muudatused regulatsioonis ning sellest lähtuvad ka lähiaja arengud elektriturul. Nii näiteks on Euroopa Parlamendi ja nõukogu määrustest tulenevalt on liikmesriikidele esitatud rida muudatusettepanekud ja (EL) 2019/944 näitel on olulised muudatused juba sisse viidud ning liikmesriigid on alates 2019 aastast nendega toimetanud. Kirjas olevate muudatuste konkreetne tõlgendamine ning rakendamine on siiski (paljuski) jäetud iga liikmesriigi enda otsustada. Eelkõige on kaubeldud erisuste üle, nt on küsitud ajalist pikendust liikmesriigi regulatsiooni vastavusse

viimise osas või siis juba konkreetselt, et kuidas tarbijate turuvõimalusi ning sellest lähtuvaid protseduure läbi viiakse (teenuste hankimine, andmehaldus jne)

Mõned olulisemad muudatusettepanekud direktiivi (EL) 2019/944 on alljärgnevad:

- Võimaldada süsteemihalduritel hankida vähempakkumise teel tipptundidel tarbimise vähendamist (ingl peak shaving product);
- Võimaldada põhi- ja jaotusvõrgu ettevõtetel kasutada eraldi arvestiga mõõdetud infot tarbimise juhtimise ja salvestuse mahtude tõendamiseks ning arveldamiseks.
- Tarbijal õigus ühe liitumispunkti taga omada mitut mõõtepunkti;
- Energia jagamise õigus (nt energiaühistud);
- Liikmesriik kaalub võimsusmehhanisme rakendades võimalust kaasata kriteeriumite tarbimise juhtimist ja salvetust.

Eesti regulatsioonides on tänaseks Elektriturseaduse muutmise raames tehtud rida ettepanekuid agregeerimist ning andmevahetust puudutavad muudatuste kohta vastavalt direktiivile (EL) 2019/944, mis peaksid jõustuma hiljemalt 2026. aastal. Mõned olulisemad tarbijat puudutavad muudatused on:

- Müüja vahetuse tehniline protsess peaks üldjuhul olema teostatav igal tööpäeval 24 tunni jooksul, mis peaks siis tõstma tarbijate kaasatust ja konkurentsi jaemüügiturul;
- Agregaatori vahetus saab toimuma sarnaselt elektrimüüja vahetusega sh muudatused andmevahetuse korralduses 14 päevase etteteatamisega;
- Agregeerimisteenust saab ühes mõõtepunktis osutada üks agregator;
- Turuosaline saab agregatoriga lepingu sõlmida mõõtepunkti kohta sõlmitud võrgulepingu alusel.

Seoses Mandri-Euroopa sünkroonalaga liitumisega, viivad Balti süsteemihaldurid hiljemalt 2025 aastal kogu hangitavate sagedusreservide tehnilise- ja protseduurilise osa (hankimine, aktiveerimine ja turuosalistega arveldamine) kooskõlla juba eelpool loetletud Euroopa Liidu regulatsiooniga.

Mõned olulisemad praeguseks planeeritud muudatused, põhimõtted ja reeglid, mis puudutavad tarbijate turuvõimalusi ja sellest tulenevalt ka tarbimiskaja:

- 2025. aastal rakendub 15 minutiline bilansiselgituse periood, mis võimaldab Eleringil tulevikus kiirelt ning efektiivselt suunata eabilansi kulud konkreetsele bilansihaldurile. See omakorda mõjutab kindlasti jaemüüjate tarbimisportfellidega seotud turumarginaale.
- Baltikumi süsteemihaldurid hakkavad hankima turupõhiselt uusi reservtooteid. Lisaks mFRR-le (võimsus ja energia) lisanduvad FCR (võimsus) ja aFRR (võimsus ja energia). Kõikidel reservvõimsute pakkumisel võib osaleda tarbimine otse või

agregeeritult. Turul osalemise vorm ja roll oleneb pakutud võimsusest ning tehnoloogia(te) tehnilisest võimekusest, mida kontrollitakse eelkvalifitseerimisel;

- On võetud kohustus arendada piiriüleste ülekandevõimsuste jaotamise meetodika sagedusreservide pakutavate võimsuste edastamiseks (väljaspool Baltikumi sh Skandinaavia). Siinjuures arvestatakse et FCR reservi jaoks ei tohiks ülekandevõimsusi jaotada, st. kogu vajaminev reserv tuleb igal Balti süsteemihalduril hankida riigisiselt;
- Balti süsteemihaldurid peavad hankima aFRR, mFRR ja FCR võimsusi efektiivselt, tagades maksimaalse sagedusreservide võimsusturu ja prognoositud päev-ette turu majandusliku kasu (tarbija konkurentsivõime võrreldes teiste turuosalistega). Selleks, et tagada kõikidele turuosalistele võrdsed võimalused on süsteemihaldurid kokku leppinud tehnilistes nõuetes ja eelkvalifitseerimise tingimustes.

METOODIKA

Käesoleva uuringu läbi viimisel uuriti esmalt tarbimiskaja kahel päeval, kui Eestis on elektri hinnad on ületanud 1000 EUR/MWh. Seejärel modelleeriti 5. jaanuari 2024 andmete alusel analoogne turuolukord aastaks 2040, arvestades tõenäolisi arenguid Baltimaade elektriturul ning kodutarbijate käitumise muutusi.

Tarbimiskaja analüüsiks kasutati alljärgnevat lähenemist:

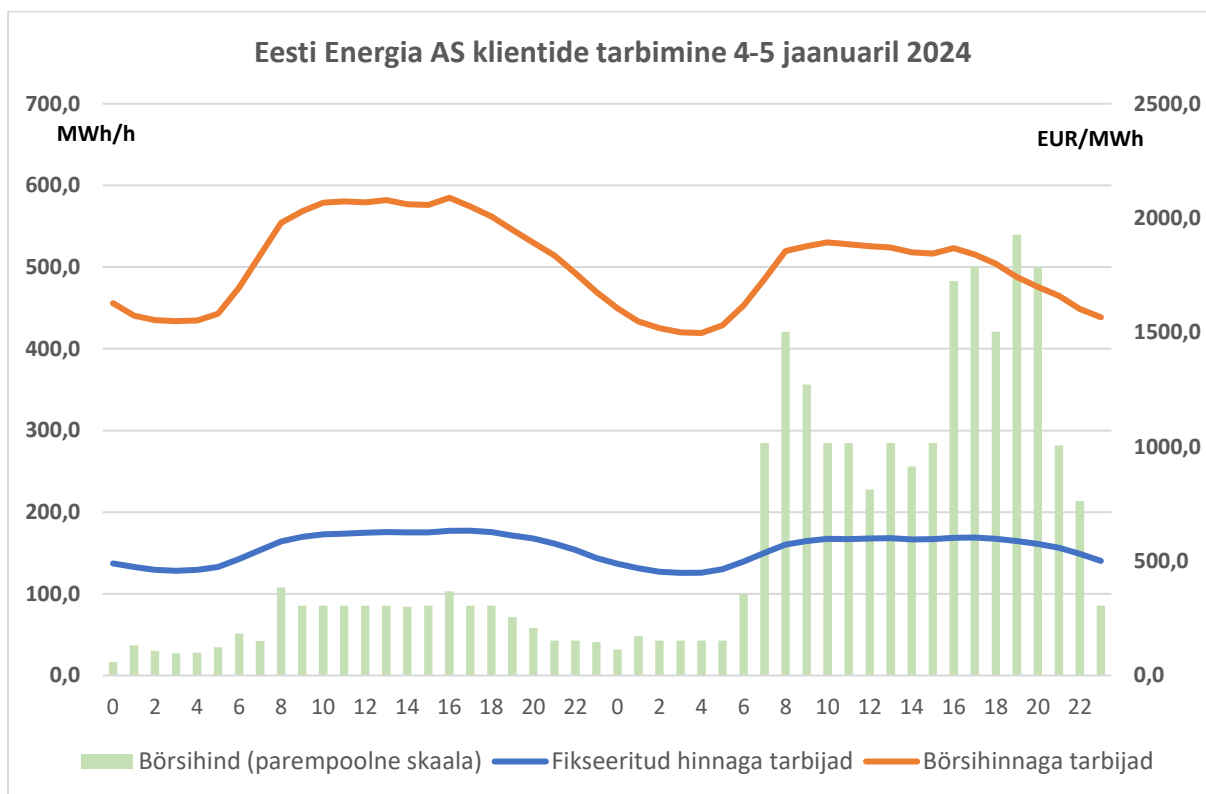
1. Analüüsi aluseks võeti elektri tarbimise tunniandmed 6. ja 7. detsembril 2021 ning 4. ja 5. jaanuaril 2024. Tarbimiskaja hindamiseks võrreldi eri tarbijagruppide summaarset tarbimist kõrge hinnaga päeval sellele eelneva päeva tarbimisega;
2. Lähteandmetena kasutati Eesti Energia klientide summeeritud tarbimise tunniandmeid vastavalt Statistikaameti tarbijagruppide jaotusele jaotatuna omakorda börsihinnaga ja fikseeritud hinnaga tarbijateks. Kodutarbijate vaates jaotati tarbijad kolmeks: korterelamud, eramud tarbimisega alla 3MWh ja tarbimisega üle 3MWh aastas. Eraldi toodi igas tarbijagrupis välja tootvate tarbijate poolt nendel päevadel igal tunnil tarbitud elektri kogus;
3. Nende andmete baasil leiti iga tarbijagrupi tarbimise mahuline ja protsentuaalne muutus võrreldes eelmise päeva sama tunniga. Tarbimiskaja määramiseks võeti baastarbimisena aluseks iga tarbijagrupi puhul fikseeritud hinnaga tarbijate tarbimise protsentuaalne muutus võrreldes eelmise päeva sama tunniga ning võrreldi seda börsihinnaga tarbijate protsentuaalse muutusega nendel tundidel. Selliselt oli võimalik elimineerida päevade temperatuuri erinevuste mõju tarbimisele;
4. Saadud protsentuaalse vähenemise tulemus arvutati seejärel ümber vähendatud tarbimise mahuks iga tarbijagrupi kohta, mille tulemusel saadigi igal antud tunnil tarbimiskaja maht erinevates tarbijagruppides.

Simulatsioonianalüüsi läbiviimisel kasutati alljärgnevat lähenemist:

1. Simulatsioonianalüüsiks kasutati energiasüsteemide modelleerimistarkvara EnergyPRO, mis võimaldab eeldefineeritud tarbimise profiili ning oodatava elektritootjate portfelli abil tõenäosuslikult ja teoreetiliselt simuleerida elektrisüsteemi toimimist etteantud oludes. Vaatluse all oli Balti elektrisüsteemi toimimine külmade ilmadega koos 2040. aastal oodatavate muutustega nii tarbimise kui elektritootmise struktuuris, eeldades praegu olemasolevate ühenduste kasutust Soome ja Rootsi.
2. Tarbimise prognoosis kasutati aluseks 2024. aasta jaanuari Eesti ja Balti tarbimisgraafikuid, mida korrigeeriti vastavalt eeldatavatele olulisematele muutustele (nn kriitilistele mõjuteguritele) elektritarbimise struktuuris: suurenev elektrisõidukite arv, soojuspumpade ja akusalvestite maht ning nende tarbimise ühelaadne juhtimine.
3. Simulatsioonide tulemusena leiti Balti ühtses elektrisüsteemis teoreetiliselt tekkinud hind, ning simuleeriti paindlike tarbijate potentsiaalset tarbimiskaja vastusena hinnahüpetele, tuues välja nii elektriautode laadimise, soojuspumpade kui akusalvestite teoreetilise käitumise hinnasignaalide mõjul (eeldusel et neil on motivatsioon oma tarbimist juhtida).
4. Saadud tulemuste põhjal koostati põhimõttelised ettepanekud seadusandluse täiendamiseks.

7.12.2021 JA 5.1.2024 TARBIMISKAJA ANALÜÜS

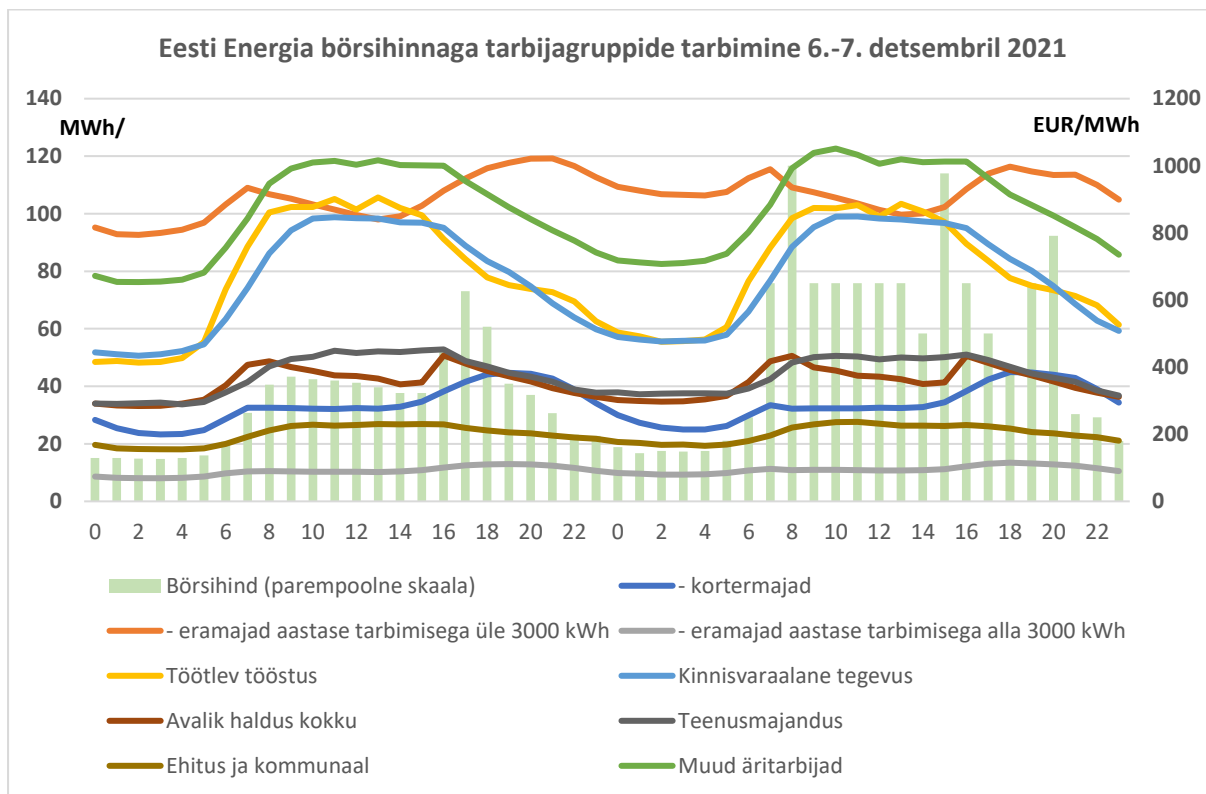
Kõrge elektri hind motiveerib esmajoones oma tarbimist vähendama börsihinnaga tarbijaid. Eesti Energia tarbijatest tarbisid börsihinnaga tarbijad kõrge hinnaga päevadel ligi 3/4 elektrist. Selle illustreerimiseks on graafikul 1 näidatud fikseeritud hinnaga ja börsihinnaga tarbitud elektri mahtusid 4-5 jaanuaril 2024.



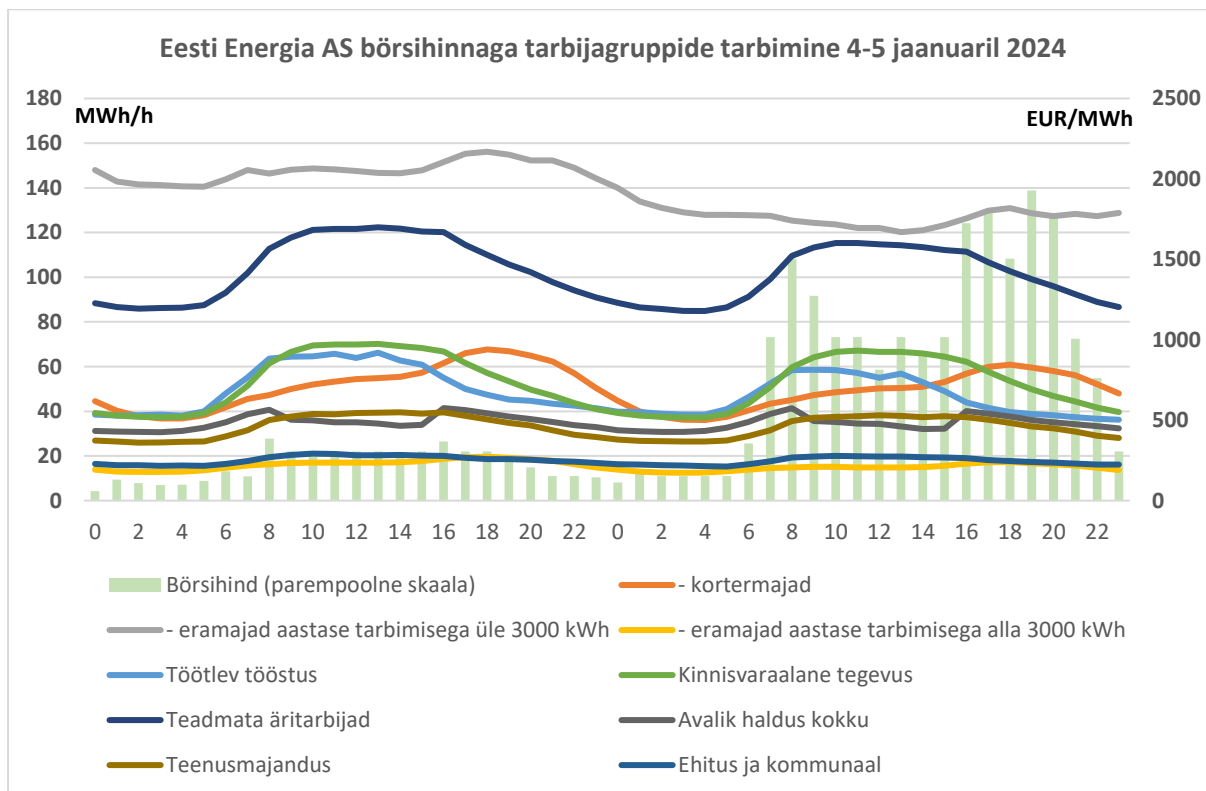
Graafik 1. Eesti Energia klientide tarbimine 4-5 jaanuaril 2024 koos börsihindadega

Sellelt graafikult on näha et börsihinnaga tarbitud elektri maht vähenes kõrgete hindade tulemusel oluliselt võrreldes eelmise päevaga. Samas vähenes mõnevõrra ka fikseeritud hinnaga tarbijate tarbimine, sest Eestis oli 4. jaanuaril ilm külmem kui 5. jaanuaril. Seda on oluline tähele panna tarbimiskaja määramisel, sest ka börsihinnaga tarbimise maht vähenes osalt just tänu veidi soojemale ilmale. Kõrge börsihinna põhjuseks Eestis oli 5. jaanuaril külm ja tuuletu ilm Soomes, mis tiris ka Eesti elektri hinna üles.

Järgnevatel graafikutel 2 ja 3 on toodud Eesti Energia erinevate börsihinnaga elektritarbijate tunnipõhise tarbimise mahud 7.12.2021 ja 5.1.2024 ja neile eelnevatel päevadel näitamaks võrdluseks tarbimise muutusi.

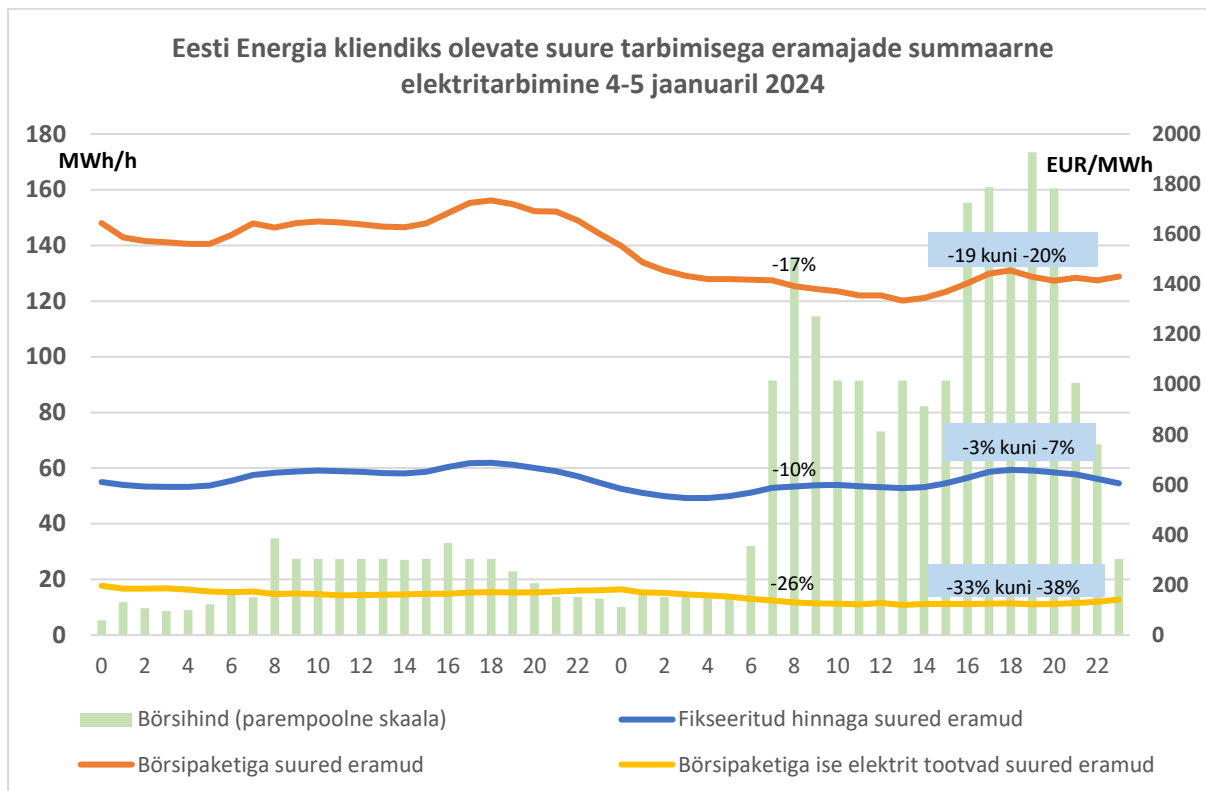


Graafik 2. Eesti Energia börsihinnaga tarbijate elektri tarbimine 6. ja 7. detsembril 2021



Graafik 3. Eesti Energia börsihinnaga tarbijate elektri tarbimine 4. ja 5. jaanuaril 2024

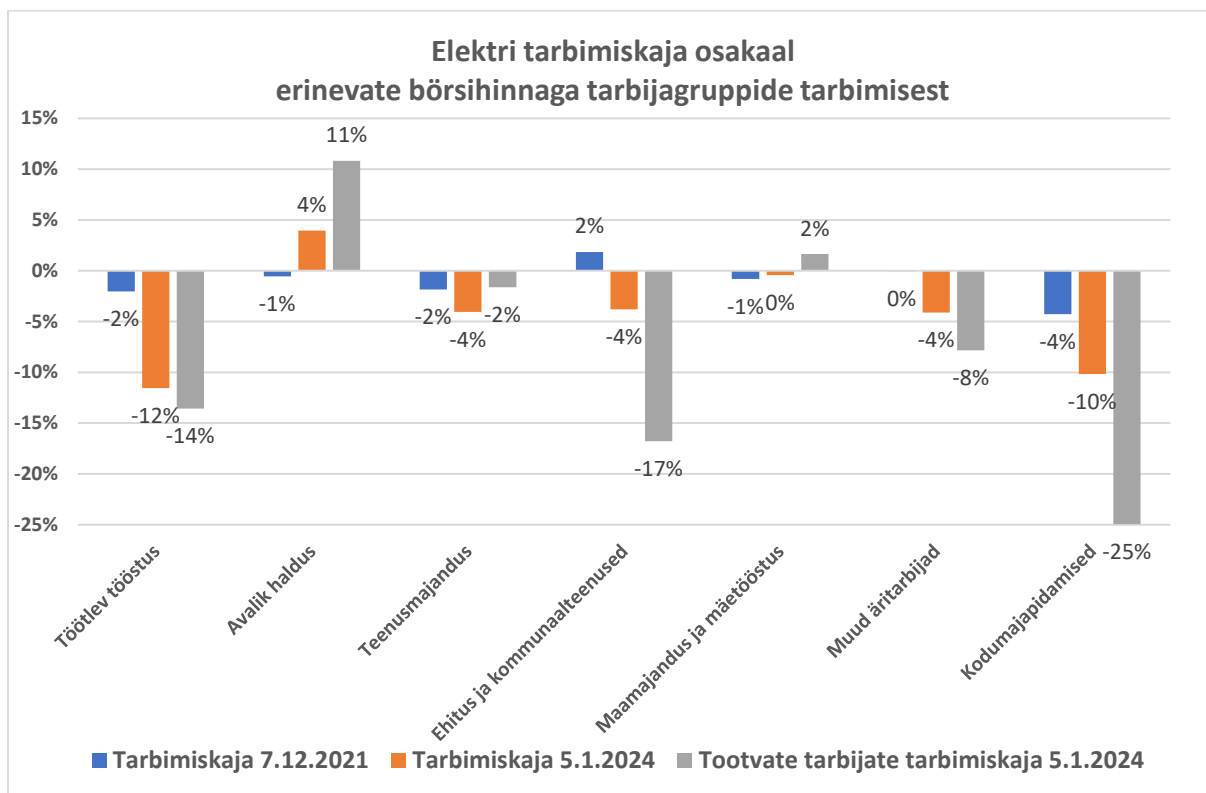
Nendelt graafikutelt on näha, et kõige rohkem vähendasid oma tarbimist nii mahuliselt kui ka protsentuaalselt kõrgete hindadega tundidel töötlevad tööstused ning suurte eramutega kodumajapidamised. Teiste tarbijagruppide tarbimiskaja ulatus oli tagasihoidlikum. Sellest tulenevalt keskendusime põhjalikumalt just nende tarbijagruppide tarbimiskaja uurimisele leidmaks nende tarbimiskaja hinnangulist mahtu.



Graafik 4. Eesti Energia kliendiks olevate suure elektritarbimisega eramute elektritarbimine 4. ja 5. jaanuaril 2024

Graafikult 4 paistabki välja kui suurt protsentuaalset tarbimiskaja ehk tarbimise vähendamist pakkusid erinevad suurte eramute tarbijad. Fikseeritud hinnapaketi tarbijate tarbimine vähenedes eelmise päevaga võrreldes 3-10% peamiselt tulenevalt soojemast ilmast, samas kui börsipaketiga tarbijate tarbimise vähenemine oli 17-20%. Sellest võib järeldada, et tarbimiskaja ulatus oli börsipaketiga eramutel erinevatel tundidel 7-16%, keskmiselt ligi 10%. Veelgi enam vähenes aga tarbimine nendes suurtes eramutes, kus on paigaldatud ka päikesepaneelid: seal vähenes börsipaketiga klientide tarbimine 26-38%, mis teeb vastavalt tarbimiskaja ulatuseks 16-31%, keskmiselt ligi 25%. Seega tootvate tarbijate kui kõige aktiivsemate ja teadlikumate klientide tarbimiskaja oli kõige märkimisväärsem, kuigi nende mõju kogutarbimisele on praegu veel üsna tagasihoidlik.

Selline analüüs teostati kõikide tarbijagruppide kohta 6-7 detsembri 2021 ning 4-5 jaanuari 2024 tarbimisandmete põhjal. Kokkuvõtlikult näitab graafik 5 erinevate tarbija gruppide tarbimise protsentuaalset muutust arvestades temperatuurikorrektiooni erinevatel päevadel, mis väljendus fikseeritud hinnaga tarbijate tarbimise muutustes võrreldes eelmise päevaga.



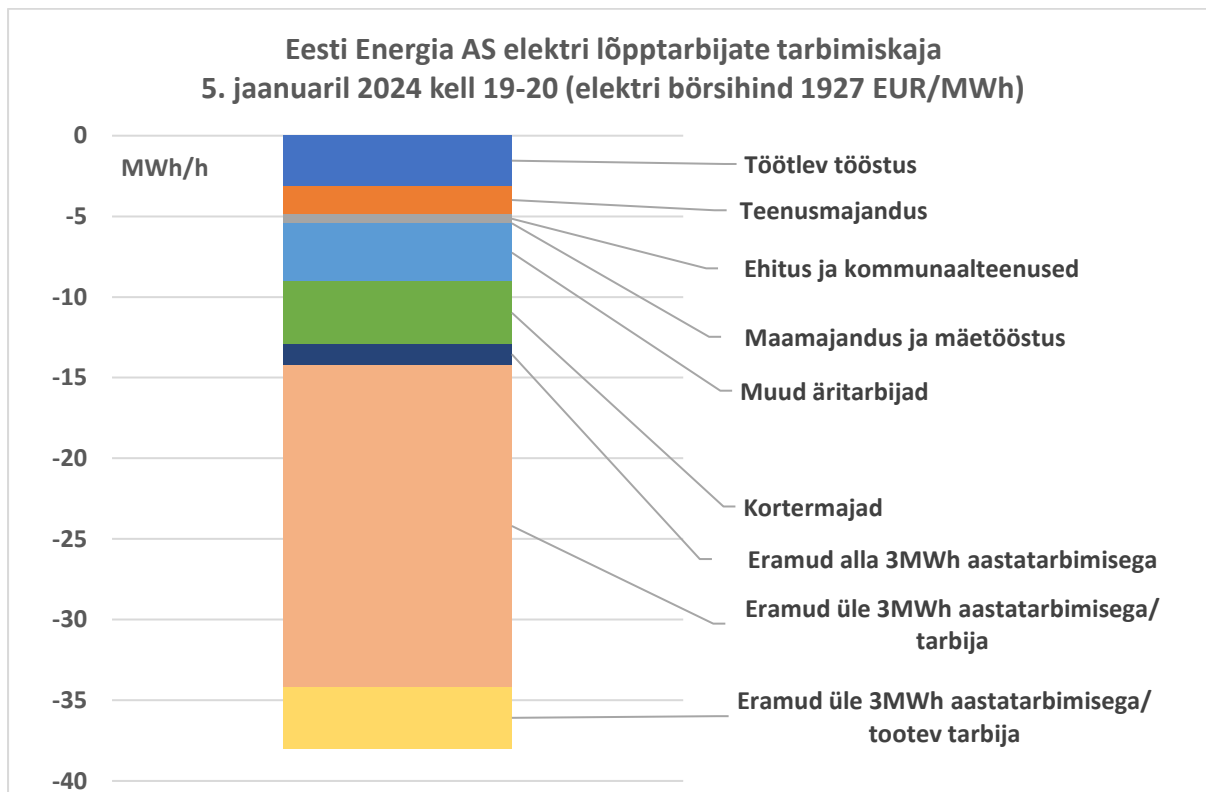
Graafik 5. Eesti Energia AS börsihinnaga tarbijagruppide tarbimiskaja osakaal nende tarbimisest üle 1000EUR/MWh hinnaga tundidel

Graafikult 5 võib teha tarbimiskaja kohta mitmeid olulisi järeldusi:

1. Kõige aktiivsemalt reageerivad hinnahüpetele töötlev tööstus ja kodumajapidamised;
2. Negatiivselt paistab selles analüüsis silma avalik sektor, kus vastupidiselt teistele tarbijagruppidele tarbiti elektrit kõrge hinnaga tundidel hoopis baastasemest rohkem;
3. Tarbijad on õppinud oma tarbimist paremini juhtima: kui 7.12.2021 vähendasid aktiivsemad börsihinnaga tarbijagrupid oma tarbimist ülikõrgete hindadega tundidel 2-4%, siis 5.1.2024 vähendasid kodutarbijad ja töötleva tööstuse tarbijad tarbimist juba 10-12%;
4. Kõikides tarbijagruppides (v.a. avalikus sektoris) paistavad positiivselt silma tootvad tarbijad, kel on paigaldatud ka päikesepaneelid. Nende tarbijate teadlikkus ja paindlikkus võimaldab neil vähendada oma tarbimist kodutarbijate hulgas 2,5 korda ning kommunaalteenuste sektoris lausa 4 korda rohkem võrreldes tavaliste börsihinnaga tarbijatega.

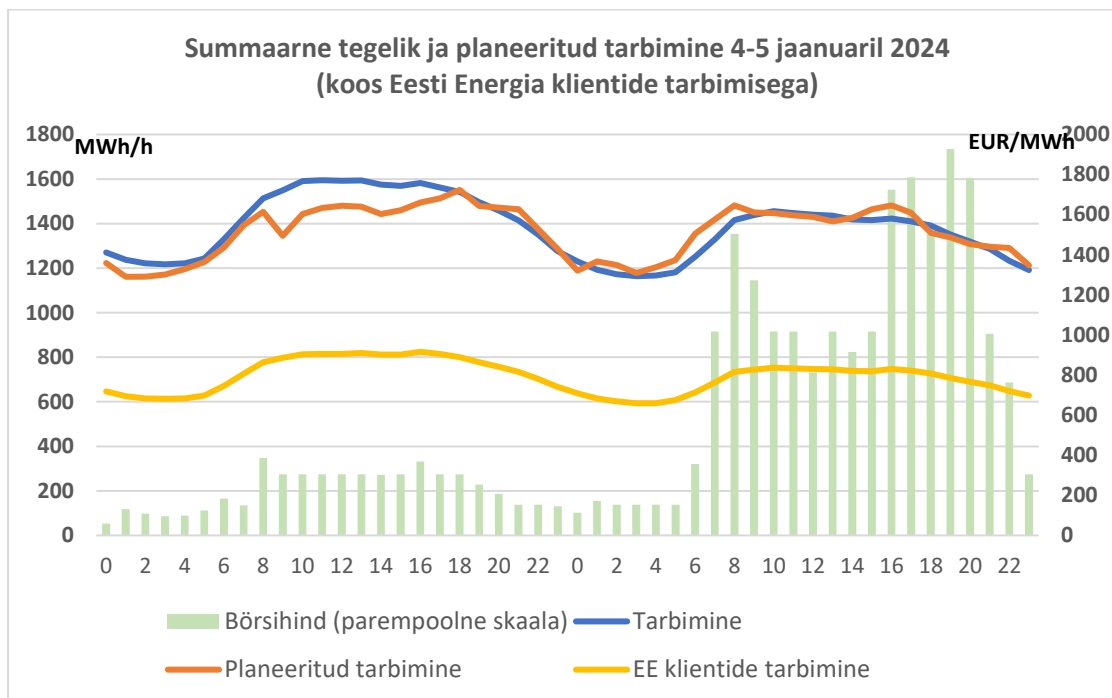
Eesti Energia AS tarbijate andmete analüüsist võib järeldada, et börsihinnaga lõpptarbijad vähendasid 5. jaanuaril 2024 oma tarbimist ülikõrgete hindadega tundidel 30-40 MW. Kõige kõrgema hinnaga tunnil (kl 19-20 oli elektri hind 1927 EUR/MWh) oli tarbimiskaja maht Eesti Energia tarbijate poolt hinnanguliselt tunnikeskmisena 38 MW (vt graafikult 6),

mis moodustas ligi 6% kõikide Eesti Energia tarbijate poolt tarbitud elektrist ning 8% börsipaketiga ostvate tarbijate elektrist.



Graafik 6. Eesti Energia AS elektri lõpptarbijate tarbimiskaja kõige kõrgema hinnaga tunnil

Arvestades Eesti Energia AS 50% turuosa elektri müügil Eestis (vt. graafik 7), kadude vähenemist tänu tarbimise vähenemisele ning eeldades et ülejäänud tarbijate struktuur ja käitumine on sarnased Eesti Energia AS elektritarbijate omale, siis võib hinnata, et **tegelik tarbimiskaja maht 5. jaanuaril 2024 oli Eestis kokku erinevatel tundidel 75-100 MW**. Ehkki tehniline potentsiaal on tunduvalt suurem, siis tarbijate valmisolek ja motivatsioon tarbimise vähendamiseks on oluliselt väiksem.



Graafik 6. Eesti planeeritud ja kogutarbimine koos Eesti Energia klientide turuosaga 4-5 jaanuaril 2024 (Allikas: Eesti Energia AS, Elering AS)

Tarbimiskaja potentsiaali piiravateks aspektideks võib lugeda alljärgnevat tegureid:

1. Fikseeritud elektri hinnaga tarbijatel (kelle tarbimine moodustab ligi kolmandiku kogutarbimisest ja tipuajal ligi veerandi) puudub rahaline motivatsioon oma tarbimise vähendamiseks ülikõrgete hindadega tundidel. Sellele aitaks kaasa agregeerimisel põhinevate ärimudelite ja reguleerimisturu regulatsiooni sätestamine elektrituru seaduses, mille tulemusel makstaks oma tarbimist vähendanud (või odava elektri hinnaga tundidel suurendanud) tarbijatele boonust lähtuvalt reguleerimisturul kujunevatele teenuste hindadest;
2. Tarbijate teadlikkuse suurendamine aitab kaasa elektriarvete vähendamisele. 5.01.2024 kõrge hinnaga tundidel säästsid tarbimist vähendanud tarbijad kokku umbes 1,5 miljonit EUR (ilma võrgutasusid ja makse arvestamata). Andmetest on näha, et aktiivsed ja tootvad börsihinnaga seotud tarbijad suudavad vähendada kordades enam oma elektri tarbimist;
3. Vähene investeerimisvõimekus ja -huvi vähendavad ettevõtete ning kodanike võimalusi energiatõhusate ja paindlike elektritarbimise lahenduste rakendamiseks;
4. Avaliku sektori motivatsioon ja võimekus tarbimise juhtimiseks on äärmiselt madal.

Nagu andmetest selgus, on tootvad era- ja äritarbijad ühed aktiivsemad tarbimiskaja mõjutajad. Enamasti on tegemist päikesepaneelide omavate tarbijatega. Viimase 5 aastaga on päikesepaneelidega hoonete arv Eestis plahvatuslikult kasvanud⁶, kuid tulenevalt selle turu küllastumise tulemusel tekkinud madalatest ja isegi negatiivsetest elektri

⁶ https://arenguseire.ee/wp-content/uploads/2024/01/2024_elektrit_tootvad_majapidamised_eestis_lyhiraport.pdf

müügihindadest päikeselistel tundidel, on uute paneelide paigaldamine oluliselt vähenenud. Samuti mõjutab kasvu aeglustumist inimeste vähenenud laenuvõimekus. 2023. aasta lõpu seisuga oli Elektrilevi võrguga liitunud 475 MW alla 50 kW võimsusega päikesepaneelidega tootvaid tarbijaid (kokku 19 421 liitumispunkti), samas liitumist ootavate tootmisvõimsuste maht on aastaga vähenenud ligi 3 korda. Tootvate tarbijate juurdekasv on seega selgelt pidurdunud tulenevalt selliste projektide majandusliku tasuvuse halvenemisest turu küllastumise ja laenuvõimekuse vähenemise tulemusel.

Tarbimiskaja mahtu mõjutab ka kõrgete hindadega perioodi kestus: mida rohkem on järjestikku kõrgete hindadega tunde, seda varieeruvam on tarbimiskaja maht. See on selgitatav soojuspumpade kasutuse näitel: 1-2 tunniks on võimalik soojuspump välja lülitada ja mitte kütta, kuid mõne tunni möödudes tuleks hoone üles soojendamiseks soojuspump jällegi tööle panna. Selles kontekstis omab olulist tähtsust hoonete soojustamine ja renoveerimine: mida parem on hoone soojapidavus, seda kauem suudab ta ilma soojuspumba abita soojust hoida. Seega on hoonete energiatõhususe parandamine oluline faktor tarbimiskaja potentsiaali suurendamisel.

Samamoodi saavad piiratult oma tarbimist juhtida mõned tööstused või näiteks ka toidupoodide külmletid. Seega mitme-tunniste kõrgete hindadega perioodidel ei ole võimalik kõiki tarbimiskaja võimalusi pidevalt kasutada.

SIMULATSIOON TARBIMISKAJAST AASTAL 2040

Hindamaks tarbimiskaja potentsiaalset arengut ning tema potentsiaalset mõju elektrisüsteemi tööle tuleb analüüsida erinevate tarbijagruppide tõenäosuslikku käitumist prognoositavas ajahorisondis. Tulevikku vaadates omab kõige suuremat mõju aktiivsete ja tootvate tarbijate võimekusele tarbimiskaja mahu kasvatamisel paindlike elektritarvitite kasutuse suurenemine. Oodatavalt mõjutab seda 4 trendi:

1. Järjest kasvav soojuspumpade kasutus soojusenergia tootmiseks nii era- kui äritarbijate juures. Ka kaugkütte ettevõtjad on järjest enam võtnud kasutusele soojuspumpasid ning soojussalvesteid, mis võivad oluliselt mõjutada tarbimiskaja kõrgete hindadega tundidel;
2. Elektriautode laiem kasutus suurendab eeldatavalt elektritarvet madalate elektrihindadega aegadel;
3. Akusalvestite kasutus aitab nihutada taastuvate energiaallikate ületoodangut päikeselistel tundidel aegadele, mil süsteemis on taastuvenergia tootmise defitsiit;
4. Elektritarvitite juhtimise automatiseerimine suurendab ühelt poolt tarbimise nihutamise tõhusust, samas võib tekitada süsteemi vaatest üle reageerimist elektri hindade muutustele.

Kõik need tehnoloogiad võimaldavad agregaatori juhtimisel pakkuda erinevaid paindlikkusteenuseid ning tuua aktiivsetele tarbijatele lisatulu sellelt loodavalt turult. Nende trendide mõju elektriturule on hinnatud Eleringi poolt Energexilt hiljutise tellitud uuringus⁷, mille tulemusi on kasutatud ka modelleerimistarkvaraga EnergyPRO läbiviidud simulatsioonianalüüsis.

Samas tekitaks tarbimiskaja oodatav suurenemine praeguses regulatiivses raamistikus täiesti uutmoodi probleemi: kuna aktiivsed tarbijad teevad enamasti oma tarbimisotsuseid juba välja kuulutatud järgmise päeva tunnihindade alusel, siis on tõenäoline et kõik need paindlikud tarbijad nihutavad oma juhitava tarbimise samadele madala hinnaga tundidele. Praegu on nende mõju turul veel tühine, kuid 10-15 aasta vaates tuleks juba täna regulatiivselt ennetada probleemi eskaleerumist.

Prognoosimaks kuidas võib tarbimiskaja olemus ja ulatus tulevikus muutuda kasutasime energiasüsteemide modelleerimiseks Taani firma EMD poolt välja töötatud tarkvara EnergyPRO⁸. See tarkvara võimaldab simuleerida ning optimeerida elektri, soojuse ja jahutuse tootmise süsteemide toimimist nii üksiklamu, ettevõtte, linna, tööstuspargi, riigi kui ka laiema regiooni põhjal. EnergyPRO võimaldab modelleerida energiasüsteemi tarbimist erinevate tarvitite kaupa, võrgukadusid ja elektri impordi-ekspordi piiranguid ning kasutada ka tuule- ja päikese meteoroloogilisi mõõteandmeid modelleeritava objekti asukohas. Muuhulgas on mudelis võimalik modelleerida ka elektri ja soojuse salvestite tööd ja energiaallikate hoiustamise piiranguid.

⁷ <https://elering.ee/sites/default/files/2024-02/Eesti%20elektritarbimise%20tundlikkusanal%C3%BC%C3%BCs%20%E2%80%93%20k%C3%BCte%2C%20jahutus%20ja%20transport.pdf>

⁸ <http://www.emd.dk>

Simulatsioonide tulemusena on võimalik teostada majandusarvutusi ning optimeerida jaama(de) käitu vastavalt kujunevale teoreetilisele elektriturule hinnale ja muudele muutujatele, ning arvutada tekkivaid saasteainete koguseid. Simulatsioone tehakse reeglina tunnipõhiselt, kuid võimalik on teostada ka 15-minutilise või isegi 1-minutilise ajaintervalliga simulatsioone. Simulatsioonide tulemused on ka graafiliselt jälgitavad.

Tarbimiskaja oodatavate mahtude hindamiseks 2040. aastal läbi viidud simulatsioonianalüüsis modelleerimistarkvaraga EnergyPRO võeti olulisemate eeldustena aluseks järgnevat aspekte:

1. Tarbimise aluseks oli 2023. kalendriaasta ning 2024 aasta alguse Baltimaade ja Eesti tunnitarbimise profiil. Summaarne tarbimise mahu prognoos on toodud tabelis 1;

Tabel 1. Baltimaade elektritarbimise prognoos modelleerimiseks EnergyPRO mudelis

	2023		2040			
	GWh	MW	GWh	Transport	Soojusp.	MW
Eesti	8 073	1 555	12 080	2 280	830	2 350
Läti	6 468	1 116	9 712	1 800	725	1 912
Leedu	11 717	2 098	17 619	3 300	1 300	3 464
Kokku	26 258	4 704	39 412	7 380	2 855	7 543

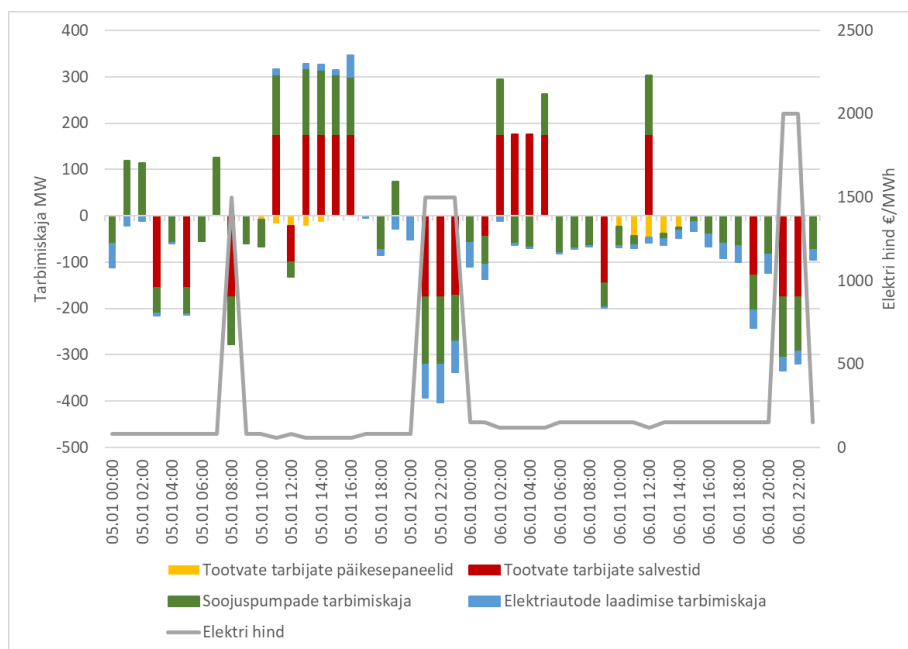
2. Eelpool toodud Eleringi poolt Energexilt tellitud uuringu alusel lisati peamised oodatavad tarbimiskaja mõjutavad tarbimise struktuursed muutused 2040. aastaks Eesti kodutarbijate juures: 35 000 aktiivse tootva kodutarbija juures oleks 300 MW soojuspumpasid, 35 000 elektriautot, 350 MW päikesepaneelid ja 350 MW akusalvesteid (salvestusmahuga 700 MWh). Nende prognooside alusel modelleeriti ka tarvitite elektri kasutust iseloomustavad kriteeriumid;
3. modelleeriti oodatav elektritootjate portfelli Balti riikides koos praeguste ühendusvõimsustega Soome ja Rootsi (ilma tuumajaamata Baltimaades). Elektri kaubandust Poolaga või läbi planeeritavate uute elektriühenduste ei modelleeritud. Tabelis 2 on toodud olulisemate modelleeritud elektritootjate struktuur Balti riikides.

Tabel 2. Modelleeritud tootmisvõimsuste portfelli Balti riikides 2040. aastal

	Eesti	Läti	Leedu	Kokku
Päikeseelektrijaamad	1 200	600	4 000	5 800
Tuuleelektrijaamad	1 300	1 000	3 000	5 300
Meretuulepargid	1 000		1 400	2 400
Hüdroelektrijaamad		1 500		1 500
Gaasijaamad		1 100	1 500	2 600
Pumphüdroelektrijaamad	500		900	1 400
Import	1 000		700	1 700
Kokku	5 000	4 200	11 500	20 700

4. arvestades vaadeldava perioodi ilmastiku, tuule- ja päikese olusid modelleeriti maismaa- ja meretuulikute ning päikesepaneelide tunnitoodangu profiilid;
5. Seejärel simuleeriti nende andmete alusel 2040. aasta nende kodutarbijate käitumist lähtuvalt erinevatest tarbija käitumise otsustest ilma tarbimiskajata ning koos oodatava tarbimiskajaga soojuspumpade, elektriautode ning tootvate tarbijate poolt. Täpsemalt analüüsiti 4-5 jaanuari külmemate ilmade puhul oodatavat tarbijate käitumise mõju tarbimisgraafikule.

Modelleerimisel vaadeldi vaid kodutarbijate ja nende tarvitite oodatavaid tarbimise muutusi. Teiste tarbijagruppide puhul on tarbimise struktuuri adekvaatne prognoosimine võimatu, mistõttu antud töö kontekstis nende mõju ei analüüsitud. Lähtuvalt eeltoodud analüüsist võib järeldada, et kodutarbijate käitumine omab ka tulevikus tarbimiskajale suurima mahuga mõju, mistõttu nende motivatsiooni ja käitumise loogika mõjuhinnaang on käesoleva analüüsi võtmes kõige olulisemad.



Graafik 8. Simuleeritud tarbimiskaja 35 000 aktiivse kodutarbijaga 2040. aastal.

Graafikul 8 on toodud 35 000 aktiivse kodutarbija tarbimiskaja võrreldes nende prognoositava tarbimisega. Graafikult paistab välja tarbimiskaja potentsiaal mõjutada tarbimist nii suurenemise kui vähenemise suunas. 0-joonega on toodud prognoositav tarbimine, tulbad näitavad hälvet prognoositust. Teoreetilised elektri hinnahüpped oleksid simulatsiooni tulemusel lühema-ajalised, samas tipud veelgi kõrgemad.

Balti riikide 2040.aasta tootmise baasil modelleeritud elektri hinna alusel kujunevad vaadeldud kahepäevasel perioodil kõrgeima hinnaga kellaaegadeks 5.jaanuar kell 8:00, 21:00, 22:00 ja 23:00 ning 6.jaanuaril kell 21:00 ja 22:00. Nendel perioodidel suudaksid analüüsitud 35 000 kodutarbijat vähendada oma tarbimist maksimaalselt 400 MW võrra, millest salvestid 175 MW, soojuspumbad 145 MW ning elektriautod 80 MW. Päikesepaneelide potentsiaal tarbimise vähendamiseks on nendel kellaaegadel 0 MW, sest päikest talvel varahommikul ja hilisõhtusel ajal ei paista. Oluline on seejuures mõista, et tegemist on teoreetilise potentsiaaliga, mille saavutamine ei pruugi igal ajal olla võimalik. Elektriautode kättesaadavus laadimiseks ja ka nende tarbimiskaja potentsiaal

sõltuvad suuresti kellaajast. On väga vähe tõenäoline, et kõik elektriautod hakkaksid kodus laadima tööpäeva hommikul, kui nad on suure tõenäosusega hoopis sõitmas. Samas õhtuse tarbimistipu vähendamisel on nende potentsiaal suurem. Soojuspumpade tarbimiskaja suurus on tugevas seoses välistemperatuuri ja soojuspumba kasuteguriga selle temperatuuri juures. Seega soojuspumpade tarbimiskaja suurus sõltub väga palju sellest, kui külmale ilmale suurima tootmise defitsiidiga moment satub.

Kodutarbijatel on lihtsam oma tarbimist üles kui alla reguleerida, st suurendada teatud ajahetkedel elektri tarbimist, kui taastuvelektri toodang on suur ja elektri börsihind seetõttu madal.

Kui aga on vaja tarbimist alla reguleerida, siis selleks peamised viisid on (reastatuna suurima potentsiaaliga lahendusest väiksemani):

1. Koduste salvestite kasutamine (suur potentsiaal ööpäeva sees tarbimise nihutamiseks mitmeks tunniks). Sõltuvalt salvestite mahust ja kodu elektri tarbimisest võimaldab kodutarbija akusalvesti vähendada talvisel perioodil paariks tunniks kuni pooleks päevaks tarbimist 0-ni, kuid selle asemel tekib 1-2 tunniks muule ajale kõrge tarbimistipp, kui akut taas täis laetakse. Salvestist on kasu eelkõige ööpäevas väga muutliku hinna puhul, mida 2040 aasta perspektiivis esineb seoses päikesepaneelide suure elektrienergia toodanguga aprillist septembrini. Sügisest kevadeni sõltub siis elektri hind pigem elektrituulikute tootmismahust. Sellega seoses tekivad sellised perioodid, kus mitu päeva tuuleenergia katab kogu või enamuse elektri tarbimisest ning ka sellised 2-5 päeva pikkused perioodid, kus elektrituulikute toodang kogu Baltikumis on tagasihoidlik. Seega tekivad ka pikemad perioodid, kus elektri hind on kas väga soodne või kallid. Sellisel juhul suudavad esimesel kõrge elektri hinnaga päeval akusalvestid tarbimist vähendada, kuid järgmiseks päevaks on juba salvesti tühi ning tarbimiskaja potentsiaal väike, sest ühtlaselt kalli hinna puhul ei ole majanduslikult mõistlik kalli hinnaga salvestit laadida.
2. Pidevalt töös olevate seadmete väljalülitamine (külmal ajal suur potentsiaal, kuid lühiajaline efekt). Alla reguleerimiseks ehk tarbimise vähendamiseks teatud perioodiks on kõige lihtsam kasutada seadmeid, mis on pidevalt töös. Nagu näiteks ventilatsiooniseadmed, elektrilised põrandakütted ja soojuspumbad. Nende seadmete tarbimine moodustab märkimisväärse osa elektriga seotud kodumajapidamise talvisest tarbimisest, seega potentsiaalne võimsuse vähenemine on suur. Seejuures muutub soojuspumpade tarbimiskaja potentsiaal koos välistemperatuuriga. Mida külmem on ilm, seda kehvem on soojuspumpade kasutegur ning seda rohkem nad elektrit tarbivad. Seega suuremat võimsust saab ka tiputunni ajal välja lülitada. Samas on talveperioodil nende seadmete väljalülitamine pikemaks, kui paaritunniseks perioodiks keerulisem. Samuti peab arvestama, et nende tagasi tööle hakkamise järgselt nende tarbimine tõuseb tavapärasest kõrgemaks sõltuvalt sellest, kui palju ruumitemperatuur kütteta oleku ajal alanes. Soojussalvestite kasutamine koos soojuspumpadega annaks suurema paindlikkuse, kuid suure ruumivajaduse tõttu tuleb nende kasutamisega juba hoone projekteerimisel arvestada ning nende integreerimine olemasolevatesse küttesüsteemidesse on keerukas.

3. Regulaarselt kasutatavate seadmete (sh elektriautode laadimise) nutikas juhtimine ajastades nende kasutust madala börsihinnaga ajale (muutuv potentsiaal, kuid võimaldab tarbimist pikemalt edasi nihutada). Kodudes on palju seadmeid, mida ei kasutata küll pidevalt, kuid siiski regulaarselt. Sellisteks seadmeteks on muu hulgas nõudepesumasinate, pesumasinate ja -kuivatid, tolmuimejad, praeahjud, elektriauto laadijad. Nende seadmete kasutust on võimalik suunata töötama ajale, kui elektri hind on madal. Eriti juhul, kui nende tööd on võimalik juhtida taimeriga või nutikalt elektri hinna järgi. Ka tolmuimejate asemel on kodudes aina enam kasutusel robottolmuimejad, mille laadimist saaks ajastada. Ühtlasi on nende seadmete kasutust võimalik nihutada ööpäeva sees või pesumasinate puhul lükata isegi mitme päeva võrra edasi.

Samas nende seadmete otsene potentsiaal tarbimise vähendamiseks on väike, kuna nende kasutus on muutuv nii ööpäeva kui ka nädala jooksul. Nõudepesumasinate, pesumasinate ja pesukuivatite kasutamise vajadust on mingil määral võimalik ette ennustada, kuna neid kasutatakse teatud regulaarsusega. Kuid ei saa eeldada, et just sellel tunnil, kui on vaja tarbimist vähendada, on kasutaja plaaninud seda seadet tööle panna. Näiteks, kui tarbimist oleks vaja vähendada tööpäeva hommikul kell 8 või 9, siis ei saa eeldada, et sel ajal on kodudes töötamas kõik pesumasinate, tolmuimejad ja praeahjud. Seega 2040. aasta perspektiivis seisneb selle kategooria tarbimiskaja potentsiaal selles, et välditakse nende koduseadmete kasutusest kõrge elektri börsihinna ajal.

Elektriautode kodune laadimine on üheks samasse kategooriasse kuuluvaks tarbimiskaja viisiks. Tüüpilised 3-faasilised elektriauto laadijad on küll märkimisväärselt suurema võimsusega (11 kW) kui kodumasinad, mistõttu justkui nende tarbimiskaja efekt oleks suurem. Samas on väga tõenäoline, et aina muutlikuma elektri hinna korral ostetakse koju nutikad elektriauto laadijad, mitte ei alustata elektriauto laadimist koju saabudes. Seega tehakse elektriauto laadimise otsused nutikate laadijate poolt elektri börsihinna järgi ning nende tarbimise vähendamise potentsiaal tipukoormuse hetkel ei kasva proportsionaalselt elektriautode arvu kasvuga.

Samuti võimaldab väikese päevase läbisõidu puhul elektriauto laadimist isegi 3-4 päeva edasi lükata, millest võib olla elektrisüsteemi vaates suur kasu 2040 aasta perspektiivis sügisest kevadeni, kui Balti riikide elektrienergia toodang ja elektri hind sõltuvad suures osas tuuleenergiast. Just pikematel elektrituulikute madala toodanguga perioodidel aitab elektriautode laadimise mitme päeva jagu edasilükkamine vältida suure juhitava tootmisvõimsuse vajaduse ja väga kõrgete elektri hindade tekkimist.

Võrreldes koduse salvestiga on elektriautod ka suurema salvestuse mahuga, mis võimaldavad sinna taastuenergia ületootmise korral salvestada suurema koguse elektrit ja seetõttu tõsta tarbimist veidi pikemaks perioodiks. Elektrisüsteemi jaoks võib aga probleeme tekitada, kui kõiki seadmeid juhitakse börsihinna järgi seetõttu, et kõik seadmed alustavad tööd samal ajal ning on oht uute, märkimisväärselt kõrgemate tarbimistippude tekkimiseks. Uute tarbimistippude prognoosimine on keerukas, kuna seadmete kasutuse ja elektriauto laadimise aeg

otsustatakse alles peale päev-ette börsihinna selgumist otsides madalaimat hinda ööpäevases perioodis. Ühtlase koormusgraafiku asemel tekib oluliselt sakilisem tarbimisgraafik.

4. Päikesepaneelide paigaldamine (talvel väga väike potentsiaal, kuna toodang väike ning langeb tiputunni välisele ajale). Päikesepaneelide elektri toodangu potentsiaal tarbimise vähendamiseks talvise tipukoormuse ajal on väga väike. Reeglina satuvad tiputarbimise ja ka kõrgeima börsihinnaga hetked hommikusele või õhtusele ajale. Samas detsembris ja jaanuaris toodavad päikesepaneelid elektrit vahemikus kella 10-15-ni ning nende väljundvõimsus küündib ideaalsel päikesepaistelisel päeval, mida esineb harva, heal juhul 1-2 tunniks 20-30%-ni nende maksimaalsest võimsusest. Kuigi nendel kuudel võib 10 kW päikeseelektrijaam mõnel tunnil saavutada maksimaalseks väljundvõimsuseks 2-3 kW, on enamasti päeva suurima toodanguga hetkel võimsuseks 0,5 kW. Juhul, kui muidugi paneelid pole paksu lumekihi all, siis on toodang veel tagasihoidlikum või puudub üldse. Veebruaris alustavad päikesepaneelid tootmist tunni võrra varem ja lõpetavad tunni võrra hiljem, kuid ka siis saavutava paneelid ideaalse toodanguga päevadel 3-4 tunniks 50-60%-se väljundvõimsuse.

Kuigi hoone katusel paiknevad paneelid aitavad talvel vähendada kodutarbija elektri tarbimist keskpäeval, siis nende tarbimiskaja potentsiaaliks saab arvestada tiputunni ajal 0 MW, kuna neil tundidel pole tegemist kõrgeima tarbimisega tundidega. 2040 aasta perspektiivis Balti riikides suuremahulise päikeseelektrijaamade rajamisega ei tekiks nendel tundidel suurimat juhitava tootmise puudujääki.

2040 aasta perspektiivis elektri hind varieerub aprillist septembrini suures osas mõjutatuna päikeseelektrijaamade toodangust ööpäevaringselt, kuid sügisest kevadeni on varieeruvus pikema perioodiga. Seega tarbimiskaja vajadus ja ka lahendused on suvel ja talvel erinevad. Kui suvel on vaja tarbimist nihutada ööpäeva sees, siis talvel pigem vähendada mõneks tunniks märkimisväärselt, kuid samuti on vaja lahendusi, mis aitaksid pikemaks perioodiks suurendada või vähendada tarbimist.

Kuna tegemist on ekstreemse olukorra simulatsiooniga ning üheks eelduseks on tarbijate teoreetiline ratsionaalne käitumine, siis põhjanevaid järeldusi sellest simulatsiooni tulemustest teha ei tohiks. Küll aga annab see mõtteainet mitmeski uues aspektis:

1. Lisaks tarbimise vähenemise suunalisele tarbimiskajale peab järjest enam arvestama ka tarbimise kasvule suunatud tarbimiskajaga nii salvestite, elektriautode ning ka potentsiaalselt soojuspumpade puhul. Ainuüksi lisanduvate salvestite, elektriautode ja soojuspumpade tarbimiskaja võib nii tarbimise vähendamise kui suurendamise osas ulatuda 2040. aastal ligi 400MW-ni;
2. Simulatsioonianalüüs näitas oodatava tarbimiskaja potentsiaalse ülereageerimise probleemi olemust: **kui kõik planeeritavad paindlikud elektritarvitid nihutavad oma tarbimise oodatavatele madala hinnaga aegadele siis võib oodata et tarbimise tipp nihkub prognoosimatult hoopis nendele tundidele.**

Süsteemi kui terviku vaatest võib selline muutus tähendada vajadust kallimate ja suuremas mahus paindlikkusteenuste järele. Sisuliselt tähendab see probleemi bilansihalduritele/agregaatoritele, kes peavad sellistel tundidel ostma täiendavat bilansielektrit. See võib nende teenuse osutamise muuta oluliselt kallimaks. Selle vältimiseks peaks bilansihalduritel olema võimalus sekkuda aktiivse tarbija käitumisse või seda juhtida

3. Elektriautode mõju tarbimiskajale oli suhteliselt tagasihoidlik, kuna simulatsioon näitas et elektriautosid laetaks juba eelnevatel päevadel kui simuleeritud elektri hinnad olid oluliselt madalamad. Samas võib suurem elektriautode tarbimiskaja avaldudagi perioodidel mil hinnad on väga madalad. Hinnanguliselt võimaldaks iga lisanduv 1000 elektriautot nutikalt laadides tekitada täiendavalt 1MW üles reguleeritavat võimsust, mis ajaliselt on piiratud elektriautode salvestusmahuga;
4. Kõige suuremat oodatavat mõju tarbimiskaja osas hakkavad avaldama planeeritavad elektrisalvestid, kui nad töötavad lähtuvalt päev-ette elektrituru hindadest. Mudelis kasutatud eelduse 350 MW salvestite võimsuse puhul oli nende mõju +/- 175MW. Selles kontekstis oleks ratsionaalsem kui nad töötaksid rohkem sagedusturule ja toetaks süsteemi toimimist;
5. Soojuspumpade tarbimiskaja oli märkimisväärne mõlemas suunas, ulatudes kuni 145 MW-ni. Nende puhul on oluline tähele panna, et külmade ilmade puhul on soojuspumpade efektiivsus kõige madalam, eriti õhusoojust kasutavate soojuspumpade puhul. EnergyPROs modelleeriti vaid maasoojuspumpade tööd, mille efektiivsuse langus võrreldes teiste soojuspumpadega on külmade ilmade puhul kõige väiksem. Kui maasoojuspumpade kasutus jääb tagasihoidlikuks võrreldes teiste soojuspumba tüüpidega, siis võib oodata veelgi suuremaid tarbimise hüppeid.
6. Soojuspumbad suudaksid nutika kasutamise korral külmade ilmadega aegadel pakkuda paaritunnist tarbimiskaja ligi poole oma võimsuse ulatuses. Selle potentsiaali suurendamiseks on võtmekohaks hoonete energiatõhususe parandamine, mis võimaldab soojuspumpade kütet välja lülitada pikemaks perioodiks.

JÄRELDUSED

Tarbimiskaja hetkeolukorra ja oodatavate arengute osas võib käesolevast analüüsist teha rida järeldusi:

1. Tarbimiskaja mahus toimib tarbijate õppeprotsess: võrreldes 7.12.2021 hinnahüpetega olid börsihinnaga ostvad tarbijad 5.1.2024 oluliselt aktiivsemad oma tarbimist vähendama;
2. Kui Eesti tehniline tarbimise vähendamisest tulenev tarbimiskaja potentsiaal on praegu kuni 400 MW, siis ülikõrgete hindadega tundidel 5.1.2024 oli tegelik tarbimiskaja maht vahemikus 75-100 MWh/h. See maht sõltub peamiselt tarbijate majanduslikust motivatsioonist ja teadlikkusest kuidas oma tarbimist vähendada;
3. Kõige paremini reageerivad hinnahüpetele tarbimise vähendamisega börsihindadega ostvad kodutarbijad ja töötleva tööstuse ettevõtted, eriti need kes ka ise toodavad elektrit päikesepaneelidega;
4. Tarbimiskaja maht sõltub muuhulgas ka ülikõrgete hindadega perioodi kestusest: mida pikem on periood, seda väiksemaks kujuneb eeldatavalt tarbimiskaja. Lühikese perioodi jooksul võib tarbimiskaja olla suuremgi. Selle hüpoteesi kinnitamine vajaks täiendavaid uuringuid;
5. Fikseeritud hinnaga tarbijate kaasamiseks tarbimise vähendamisse kõrgete hindadega tundidel on lahenduseks agregeerimise regulatsiooni ning vajalike tehniliste lahenduste rakendamine. Samas ei pruugi majanduslikult olla selline lahendus turul tarbijate jaoks atraktiivne;
6. Lähiaastatel kodutarbijate juures elektrisüsteemi lisanduvad suured elektriseadmed (salvestid, soojuspumbad, elektriautod) on paindlikumad ja nutikamad - tarbimiskaja potentsiaali maht ja osakaal tipukoormusest ajas kasvab.
7. Elektrisalvestite laiem kasutus loob uue olukorra tarbimiskaja tekkeks nii üles- kui allareguleerimisel. Suuremahuline päev-ette turule suunatud salvestite toimimine võib hakata tekitama olulisi kõikumisi tarbimiskajas;
8. Elektriautode kasutuse laienemine võib tuua kaasa potentsiaalset prognoosimatut tarbimise kasvu päev-ette turul fikseeritud madala hinnaga tundidel;
9. Soojuspumbad tekitavad kõige suurema elektrinõudluse sesoonse ebaühtluse. Nende potentsiaali paremaks ärakasutamiseks tarbimiskajas tuleb oluliselt parandada hoonete energiatõhusust, mis võimaldab vajadusel pikendada soojuspumpade tarbimiskaja mahtu;
10. Tarbimiskajaga kaasnev suurim risk on seotud paindlike tarbijate ühise reageerimisega kõrgete või madalatega hindadega tundidele päev-ette turul. Praegu on selline mõju veel marginaalne, kuid lisanduvate akusalvestite, soojuspumpade ja ka elektriautode mõjul võib selline reaktsioon tuua kaasa probleeme elektrisüsteemi stabiilses toimimises.

ETTEPANEKUD REGULATSIOONI ARENDAmiseks

Eestis täna kehtiv regulatsioon jälgib üldist Euroopa Liidu seadusandlust, kuid lähtuvalt elektrisüsteemi toimimise eripärast kehtib täna veel mitmeid erisusi kuni Mandri-Euroopa sagedusalaga liitumiseni 2025. aastal. Need erisused on üldjoontes tehnilised (näiteks hangitavad reservtooted, eabilansi selgituse periood, bilansiselgitus jne) kuid mõjutavad oluliselt tarbijate agregeeritult turul osalemise võimalusi paindlikkusteenuste pakkumisel.

Eesti tänase regulatsiooni kohaselt on tarbija paindlikkuse turukäsitlus kokkuleppeline tegevus kliendi ja tema otsese teenuspakkuja vahel seni, kui seda ei rakendata süsteemiteenuse osutamiseks. Agregeerimine on lubatud, kuid seda ei ole täna kehtivas seadusandluses piisava detailsusega reguleeritud. Siiski on tänaseks tehtud rida agregeerimist puudutavaid ettepanekuid elektrituruseaduse muutmiseks vastavalt direktiivile (EL) 2019/944, mis peaksid jõustuma hiljemalt 2026. aastal.

Olulisemad teemad millele tuleks tähelepanu pöörata seadusandluse edasisel arendamisel:

1. Kavandamisel olevad elektrituruseaduse muudatused peaksid olema suunatud ühelt poolt aktiivsete tarbijate võimaluse tagamisele pakkuda oma paindlikkust turule, teisalt vältima elektriturul kontrollimatu kollektiivse ülereageerimise teket.
2. Oluline on täpsemalt sätestada agregeerimise tegevused ja põhimõtted ning luua selge turumehhanism kuidas motiveerida aktiivseid turuosalisi tarbimist paremini juhtima ning sellest ka kasu saama. Efektiivse agregeerimise regulatsiooni loomine looks tänastes oludes tingimused fikseeritud hindadega tarbijate elektritarbimise vähendamiseks täiendavalt vähemalt 25 MW ulatuses. Suure tõenäosusega motiveeriks agregeerimise võimalus suurendama ka börsihinnaga elektrit ostvate tarbijate tarbimiskaja.
3. Salvestite toetuskeemide arendamisel tuleks arvestada nende potentsiaalset mõju tarbimiskaja tekkele nii üles kui alla reguleerimisel. Seetõttu oleks soovitatav siduda väiketarbijate juures salvestite võimsus nende endi keskmise tarbimise mahuga – sel juhul ei mõjuta nende reageerimine hindadele süsteemi tööd negatiivselt, kuid võimaldavad vähendada tarbitava või toodetava elektri mahtu lähtuvalt tarbija enda vajadustest.