

RAPORT 2024

Aktiivsed tarbijad tuleviku energiasüsteemis

Arengusuundumused
aastani 2040



ARENGUSEIRE
KESKUS

Riigikogu juures tegutsev sõltumatu mõttekoda

Aktiivsed tarbijad tuleviku energiasüsteemis

Arengusuundumused aastani 2040

Raport

Arenguseire Keskus

Autor: Arenguseire Keskus

Raporti koostaja: Märt Masso

Keeletoimetaja: Toimetaja tõlkebüroo

Kujundus: Groovy Solutions OÜ

Raport on kokkuvõtte Arenguseire Keskuse uurimissuuna „Aktiivsed tarbijad tuleviku energiasüsteemis“ tulemustest.

Raportis sisalduva teabe kasutamisel palume viidata allikale: Arenguseire Keskus (2024).
Aktiivsed tarbijad tuleviku energiasüsteemis. Raport. Tallinn: Arenguseire Keskus.

ISBN 978-9916-631-22-5 (trükis)

ISBN 978-9916-631-23-2 (pdf)

Loe ka teisi uurimissuuna „Aktiivsed tarbijad tuleviku energiasüsteemis“ raames valminud töid
www.arenguseire.ee.

- [Kesküla, A., Sepp, T. \(2024\). Tootvate tarbijate ja tarbimise juhtimise mõjuanalüüs aastani 2040. STACC.](#)
- [Kisel, E., Kuhi-Thalfeldt, R., Agabus, E., Veskioja, K. \(2024\). Eesti elektri tarbimiskaja ja tootva tarbimise simulatsioonianalüüs. Tallinna Tehnikaülikooli Targa linna tippkeskus ja elektroenergeetika ja mehhatroonika instituut.](#)

Arenguseire Keskus on ühiskonna ja majanduse tulevikuarenguid analüüsiv mõttekoda Riigikogu juures. Meie missioon on aidata kaasa varase valmisoleku loomisele poliitikakujunduses.

2024

Täname

Täname uurimissuuna juhtkomisjoni: Rain Epler (Riigikogu), Tiit Maran (Riigikogu), Aivar Kokk (Riigikogu), Lauri Laats (Riigikogu), Tarmo Tamm (Riigikogu), Annely Akkermann (Riigikogu), Mario Kadastik (Riigikogu), Karin Maria Lehtmets (Kliimaministeerium), Priidu Ristkok (Regionaal- ja Põllumajandusministeerium), Nele Ivask (Tartu Regiooni Energiaagentuur), Rait Pihelgas (Eesti Linnade ja Valdade Liit).

Sisukord

UURIMISSUUNA KOKKUVÕTE	7
Tootev tarbimine on kiiresti kasvanud ja suurendab kodude energiasõltumatust.....	9
Tarbimise juhtimine kasvab, aga potentsiaali on palju enamaks	11
Võrgutasudest saab oluline energiaturgu mõjutav tegur	13
AKTIIVSE JA TOOTVA TARBIMISE STSENAARIUMID	14
1. stsenaarium: mida rohkem energiasüsteem muutub, seda rohkem jääb see samaks	15
2. stsenaarium: hoogne aktiivne tarbimine kui elustiil	16
3. stsenaarium: uuenduslike ärimudelite ja tehnoloogiate katsepõld.....	17
TOOTEV TARBIMINE – ELEKTRIT TOOTVAD JA TARBIVAD MAJAPIDAMISED	18
Tootva tarbimise viisid ja vormid mitmekesistuvad	19
Eestis on tootvate tarbijate lisandumine olnud kiire, kuid turu küllastumine ja majandusliku tasuvuse ebaselgus on hakanud seda pidurdama.....	22
Tootvate tarbijate juhitamatu tootmine ei mõjuta oluliselt elektrisüsteemi üldist stabiilsust...	29
Tootvate tarbijate energiasõltumatuse suurendamine eeldab rohkem salvestamist.....	30
TARBIMISE JUHTIMINE – ELEKTRITARBIMISE VÄHENDAMINE VÕI SUURENDAMINE HETKEHINNA ALUSEL	34
Eestis on üldiselt head eeldused tarbimise juhtimise levikuks, kuid seda piiravad energiaturu suur kontsentratsioon ja seaduselüngad	36
Tarbimiskaja maht on Eestis talvisel ajal kokku 75–100 MW	41
Eri seadmete ja tehnoloogiate koostoime avab uusi võimalusi tarbimistippude silumiseks ...	45
TULEVIKU ELEKTRIVÕRK – HAJUS JA KAHESUUNALINE.....	50
Hajatootmine suurendab elektrivõrgu arendamise kulusid ja võrgutasusid	52
Võrgutasudega saab aktiivset tarbimist nii soodustada kui ka pärssida	59
Aktiivsetele tarbijatele loovad tulevikuvõimalusi nutikad võrgud.....	62

Eessõna

Päikesetõus pole paljude Eesti elanike jaoks lihtsalt ilus vaatepilt, vaid ka tähis, et nende isiklik väike elektrijaam hakkab tööle. Enne tipptundi, kui elektri hind tõuseb, lülitab süsteem automaatselt sisse kodus toodetava päikeseenergia salvestuse, vähendades nii inimeste kulusid kui ka koormust võrgule. Tänu nutikatele tehnoloogiatele on inimestel võimalik jälgida ja juhtida oma energiatarbimist reaalajas.

See on pildike Eesti elektrisüsteemi tulevikust, millele käesolev raport keskendub ja kus kodud ja ettevõtted pole enam lihtsalt energia tarbijad – nad toodavad ja juhivad seda ise.

Raport rõhutab, et aktiivsete ja tootvate tarbijate rolli suurenemine energiasüsteemis on hädavajalik, et tagada süsteemi efektiivsus ja keskkonnasäästlikkus. Prognoosid näitavad, et hajutatud tootmine, sealhulgas väikeste taastuvenergia tootjate arvukus, ja tarbimise juhtimine kasvavad oluliselt järgmiste kümnendite jooksul. See muudab elektritootmise oluliselt mitmekesisemaks ja vastupidavamaks ning suurendab Eesti energiareservi.

Aktiivse ja tootva tarbimise levik ei ole aga ilma dilemmade ja väljakutseteta. Vaja on arendada energiavõrke, mis toob kaasa suuremad investeeringud ja teenustasud klientidele. Uued tehnoloogiad võimaldavad tõhusamalt toota ja tarbimist juhtida, kuid võivad suurendada ka ebastabiilsuse riske energiasüsteemis.

Käesolev raport pakub süvitsi mineva analüüsi Eesti energiasüsteemi tulevikust, keskendudes tootva tarbimise ja tarbimise juhtimise kasvule ning nende mõjule kogu süsteemi jaoks. Loodan, et siit leiab väärtuslikke teadmisi ja inspiratsiooni nii poliitikakujundaja, ettevõtja kui ka tavatarbija, kes kõik on osa meie ühise energiatuleviku kujundamisest. Lähiaastatel tehtavad otsused ja investeeringud määravad, kui edukalt suudame viia läbi ülemineku uuele, jätkusuutlikumale ja efektiivsemale energiasüsteemile.

Head lugemist!

Tea Danilov
Arenguseire Keskuse
juhataja

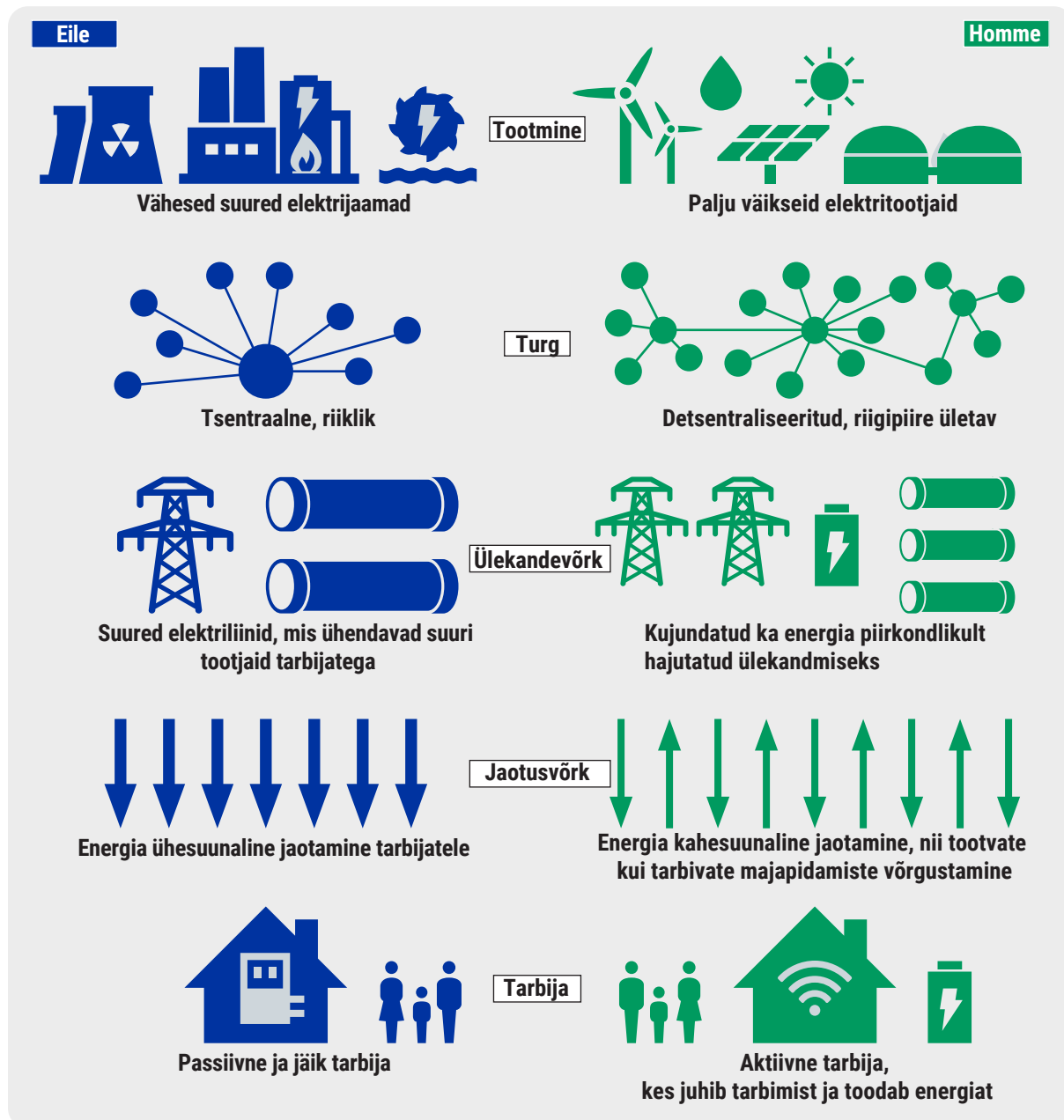




Uurimissuuna kokkuvõte

Eesti elektrienergia süsteemi ootavad ees suured muutused, mis kajastavad üleilmseid suundumusi (elektrifitseerimine, hajustootmine, avatud

energiaturg) ning mille tulemusena traditsiooniline elektrienergia süsteem kujundatakse ümber (joonis 1).



Joonis 1. Elektrisüsteem täna ja homme
Allikas: Energy Atlas (2018)¹

Eilise energiasüsteemi passiivsed tarbijad kujunevad tuleviku süsteemi aktiivseteks osalisteks. Kodumajapidamised ja ettevõtted osalevad üha enam elektrienergia tarbimise juhtimises ja tootmises ning nende aktiivne panus võimaldab luua tõhusama ja keskkonda säästvama energiasüsteemi.

- **Aktiivsed tarbijad** on sellised tarbijad, kes kasutavad uudeid tehnoloogiaid oma energiatarbimise juhtimiseks. Aktiivsed tarbijad näiteks vähendavad oma tarbimist tipukoormuse ajal või on valmis tarbimist edasi lükkama ajale, mil energiat on süsteemis ja turul rohkem saada.

¹Energy Atlas (2018). Arvutivõrgus: https://gef.eu/wp-content/uploads/2018/04/energyatlas2018_facts-and-figures-renewables-europe.pdf.

- **Tootvad tarbijad** on sellised aktiivsed tarbijad, kes lisaks tarbimise juhtimisele toodavad ise elektrienergiat. Tootev tarbimine hõlmab nii elektrienergia tootmist enda nõudluse katmiseks kui ka ülejääva energia pakkumist elektrivõrku teiste tarbijate nõudluse katmiseks, saades selle eest tasu või tarbimise krediiti.

Tootev tarbimine on kiiresti kasvanud ja suurendab kodude energiasõltumatust

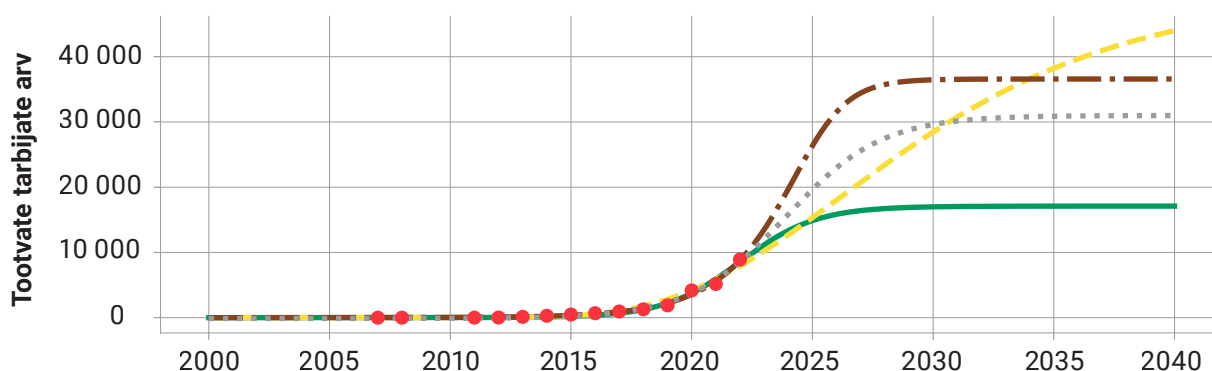
Elektrisüsteemis kasvab hajatootmine: suurte tootjate kõrvale lisanduvad ja osaliselt ka asendavad neid paljud väiksemad taastuenergia tootjad. Eleringi 2022. aasta prognoosi järgi hajatootmise teel toodetava elektrienergia kogus 2050. aastaks peaaegu viiekordistub, kasvades 2025. aasta tasemelt ehk 777 GWh-lt 2050. aastaks 3724 GWh-ni².

Suuremate hajatootjate kõrvale on kiiresti lisandunud majapidamised, kes on tarbimise kõrval asunud ka ise elektrit (peamiselt päikeseenergiast) tootma. Näiteks 2007. aastal oli kuni 25 kW tootmisvõimsusega tootvaid tarbijaid

ainult üks, ent 2022. aastal oli neid juba 9311 ehk ligi 2% kõigist majapidamistest. **Tarbijate toodetud elekter moodustab praegu keskmiselt 24% nende enda tarbimisest** ning tunde, mil nende tootmine ületab tarbimist, on aastas umbes 13%. Tootva tarbimise tõukejõuks on olnud ühest küljest päikesepaneelide hinna langemine ning teisest küljest majapidamiste soov vähendada energiale tehtavaid kulutusi, toota ja kasutada energiat säästlikumalt ning suurendada oma elektrivarustuse paindlikkust ja kriisikindlust.

2022. aastal tootsid tootvad tarbijad elektrivõrku 61 GWh energiat ja tarbisid 665 GWh energiat. **Tootvate tarbijate toodangu osakaal elektrienergia tootmises on veel väike, moodustades alla 1% Eesti kogutoodangust ja umbes 12% päikeseenergia toodangust.** Tootvad tarbijad tarbivad umbes 8% Eestis tarbitavast elektrienergiast.

Tootev tarbimine kasvab ka tulevikus, kuid see ei ohusta energiasüsteemi tasakaalu. Aastatel 2021–2022, kui elektrihind oli kõrge, tootva tarbimise juurdekasv kiirenes, ent järgmisel kümnendil see eeldatavasti aeglustub.



Joonis 2. Tootvate tarbijate arvu kasvu prognoos

Allikas: STACC Arenguseire Keskuse tellimusel

² Energex, Ea Energy Analysis ja Elering (2022). Study to determine Estonian electricity demand scenarios. Arvutivõrgus: <https://www.elering.ee/sites/default/files/2022-10/Study%20-%20Electricity%20demand%20scenarios.pdf>.

Hinnangute järgi on 2040. aastal Eestis tootvaid tarbijaid 2–4 korda praegusest rohkem, s.o 17 102–43 994 tootvat tarbijat, kes toodavad ja tarbivad samuti 2–4 korda praegusest rohkem energiat ehk vastavalt 111–202 GWh ja 1219–2208 GWh. Kuna aga Eesti üldine elektritootmine ja -tarbimine kasvavad praeguste prognooside kohaselt sarnases suurusjärgus, **ei ole oodata tootvate tarbijate toodetud ja tarbitud elektri osakaalu kasvu elektri kogutootmises ja -tarbimises, mistõttu mõju energiasüsteemile ka pikas perspektiivis oluliselt ei muutu.**

Tootva tarbimise juurdekasvu soodustaksid järgmised asjaolud ja energiapoliitilised sammud.

- **Tehnoloogia areng ja tasuvus:** päikese-paneelid peaksid muutuma järjest tõhusamaks, võimalused integreerida neid teistesse materjalidesse (näiteks katusekattesse) suurenema ning nende tasuvus paranema. Samuti peaks kasvama akusalvestite kasutamisega ja paranema tasuvus.
- **Elektrihinna tase:** elektrienergia turuhind peaks võimaldama mõistliku kasumlikkusega tootvat tarbimist, muu hulgas peaks hinnatase olema piisavalt kõrge, et energia tootmine omatarbe katmiseks ja energia võrku müümiseks ka suurema päikeseenergia toodanguga perioodidel end ära tasuks.
- **Elektrivõrguga liitumise võimalused:** jaotusvõrguga liitumine peaks tootvate tarbijate jaoks olema hõlbustatud ja taskukohane, s.t võrgu arenduskulude kandmise kohustus ei tohiks lasuda täies ulatuses liitujal, samuti ei tohiks võrguteenuse kasutamise tasu pärssida tootvat tarbimist ja osalemist süsteemi teenustes, näiteks tarbimise juhtimist.

- **Uudsete tegutsemismudelite levik:** näiteks energiaühistud, isikult-isikule-energiaturg, tootmis- ja salvestusvõimaluste agregeerimine või rentimine. Need on vaid mõned esiletõusvad tegutsemismudelid, mis avardaksid võimalusi tootvaks tarbimiseks.

Tootvatel tarbijatel aitaks päikeseenergia tootmise päevasisest ebaühtlust siluda ja omatarbimise osakaalu kasvatada aktiivsem tarbimise juhtimine, **sealhulgas energia salvestamine lokaalsetesse akudesse.** Akude tehnoloogial ja tasuvusel on veel arenguruumi, kuid ka praegu päikeseenergia tootmist akudega kombineerides väheneb akude tasuvusperiood võrreldes akude eraldi kasutamisega märkimisväärselt, kahanes näiteks salvestusmahu 5 kWh korral 15 aastalt 5 aastani. Madalam akusüsteemide hind suurendab aktiivsete ja tootvate tarbijate võimet juhtida oma tarbimist, mis omakorda suurendab nende panust süsteemi stabiilsusesse.

Tootva tarbimise juurdekasv on energiasüsteemi jaoks kahe teraga mõök: ühest küljest pakub see täiendavaid heitmevaba tootmise võimsusi ja vähendab üldist energiatarvet jaotusvõrgust võtmata jääva energia võrra, teisalt võib see süsteemi destabiliseerida, kuna lisab võrku toodangut ülejäägiga tundidel ja täiendavat tarbimist (mille muul ajal ise katab) puudujäägiga tundidel. Kuid **niikaua, kui tootva tarbimise lisandumine käib samas tempos kogutootmise ja -tarbimise kasvuga, ei ohusta see süsteemi stabiilsust ega vaja täiendavate salvestus- või juhitavate võimsuste olemasolu süsteemi tasandil.**

Tarbimise juhtimine kasvab, aga potentsiaali on palju enamaks

Varem on tootmist ja tarbimist tasakaalu viidud eelkõige energia pakkumisega, suurendades või vähendades elektritootmist. Avatud energiaturul, kus on kasvanud juhitamatu energia-tootmise osakaal ja tarbimise tipukoormused, on üha olulisem tarbimistippe siluda ja süsteemi tasakaalu tagada elektritarbimise nõudluse juhtimise teel. Tarbijad on seda hinnatundlikumad ja seda rohkem valmis tarbimist juhtima, mida rohkem on energia suure nõudluse tipp, mille korral hind on kõrgem. **Viimaste aastate trendid näitavad, et tarbimistippude maht on märkimisväärselt kasvanud:** 2020. aastal oli tippude maht 75,4 MWh, 2023. aastal juba 105,7 MWh. Aktiivseid tarbijaid, kes kõrge elektrihinna korral tarbimist teadlikult vähendavad, on Eesti elektriturul veel vähe: 2021. ja 2022. aastal vähendas oma elektritarbimist vastavalt elektrihinnale 3320–7078 tarbijat.

Tarbimise vähendamise potentsiaal on Eestis talvisel ajal ülikõrge hinnaga tundidel (ligikaudu 1500 €/MWh) kokku 75–100 MW, mis moodustab umbes 6% kogutarbimisest (tiputarbimine Eestis on umbes 1,6 GW). Tarbijad õpivad üha enam hinnatippude ajal oma tarbimist juhtima. Näiteks 7. detsembril 2021 vähendasid aktiivsemad börsihinnaga tarbijagrupid ülikõrge hinnaga tundidel oma tarbimist 2–4%, ent 5. jaanuaril 2024 vähendasid kodutarbijad ja töötleva tööstuse ettevõtted oma tarbimist juba 10–12%. Tootvad tarbijad on ühed eeskujulikumad tarbimise juhtijad, vähendades näiteks kodutarbijate seas tarbimist peaaegu 2,5 korda rohkem. Samas, nende väikesest osakaalust (8% elektrienergia kogutarbimisest) tulenevalt on nende mõju nõudluse ja pakkumise tasakaalule väike.

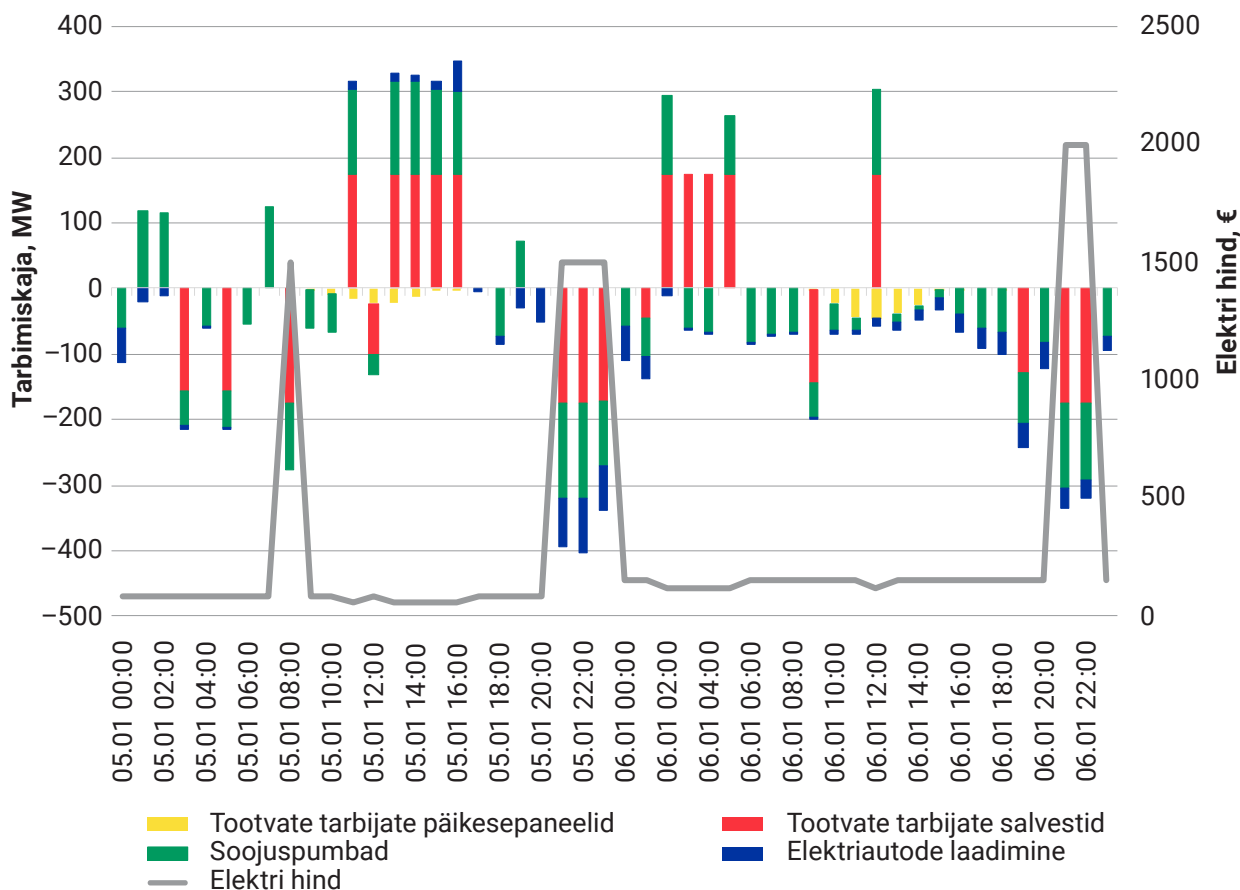
Praegu osalevad tarbimise juhtimises ainult börsipaketiga tarbijad, kuid agregeerimisteenuste turuletulek võimaldaks kaasata ka fikseeritud hinnaga tarbijaid. Agregeerimisteenuse korral makstaks oma tarbimist vähendanud (või odava elektrihinnaga tundidel suurendanud) tarbijatele selle eest lisatasu vastavalt reguleerimisturul kujunevatele hindadele. Sel juhul suureneks tarbimise vähendamise potentsiaal veel 25 MW võrra. Selleks oleks elektrituruseadust vaja täiendada tarbimisvõimsuste agregeerimisel põhinevate ärimudelite ja reguleerimisturu regulatsiooniga.

Tulevikus suurendaksid aktiivset tarbimist ja tarbimise juhtimist järgmised tegurid:

- **hinnatundlike aktiivsete tarbijate kasv**, kes eelistavad muutuva elektrihinnaga lepinguid, on valmis neid vahetama ning osalema agregeerimisteenustes, kus teenuse osutaja koondab erinevaid tarbijaid ja vajadusel suurendab või vähendab nende tarbimist vastavalt energiahinnale;
- **elektrimüügi turul valitsev tihe konkurents ja turu vähene kontsentreeritus**, mis võimaldab juurutada tarbimise juhtimise teenuseid ning kaasata rohkem majapidamisi ja muid majandusüksuseid tarbimise juhtimisse, samuti tagab tarbimise ja tootmise agregeerimiseks vajalike andmete liikumise;
- **aktiivset ja tootvat tarbimist võimaldavate tehnoloogiate**, sealhulgas salvestustehnoloogiate, soojuspumpade, elektrisõidukite ja nende laadimise ning tarbimise juhtimise automatiseerimise tehnoloogiate **tasuvuse paranemine ja laialdasem kasutamine**.

Tarkade elektritarvikute, salvestustehnoloogiate ja agregeerimisteenuste levik suurendab oluliselt tarbimise juhtimise potentsiaalset mahtu elektrisüsteemis, aidates praegusest oluliselt rohkem kaasa nii nõudluse ja hinna tippude silumisele kui ka energiasüsteemi üldise tõhususe paranemisele. **Eeldades, et 2040. aastal on umbes 35 000 aktiivset**

tarbijat, võib tarbimise juhtimise potentsiaal suurenda ligikaudu +/- 400 MW-ni, kui elektri hind ületab 1500 €/MWh piiri. Sellest umbes +/- 175 MW on tootvate tarbijate toomise ja salvestamise, +/- 145 MW soojuspumpade ning +/- 80 MW elektriautode laadimise tarbimise juhtimise maht.



Joonis 3. Tarbimise juhtimise potentsiaal aastal 2040

Allikas: Tallinna Tehnikaülikool (2024)

Tarbimise juhtimise võimalikku mahtu mõjutab kõrge hinnaga perioodide kestus. Pika kestusega (s.o mitu tundi kestva) kõrge hinnaga perioodil ei ole võimalik kõiki seadmeid pidevalt alakoormata ega ainult salvestatud energiat tarbida.

Kui tarbimise juhtimises saavad ülekaalu automatiseeritud lahendused ehk hulk nutikaid elektritarvikuid nihutab oma tarbimise samadele madala hinnaga tundidele, **siis tekivad**

koormus- ja hinnagraafikutes uued tipud ning päev-ette-hinnastamine muutub ebatäpseks. Süsteemioperaatorile tähendab see vajadust osta neil uutel tiputundidel reservvõimsust, kergitades seeläbi elektri hinda.

Kokkuvõttes, tarbimise juhtimise roll energiasüsteemis suureneb. Poliitikakujundamise raames oleks elektrituruseadust vaja täiendada tarbimisvõimsuste agregeerimisel põhinevate ärimudelite ja reguleerimisturu regulat-

siooniga, mis muu hulgas võimaldaks kaasata tarbimise juhtimisse ka fikseeritud elektriühiknaha kliendid.

Võrgutasudest saab oluline energiaturgu mõjutav tegur

Eilsepäeva elektrienergia jaotusvõrgus oli väike arv tsentraalseid tootjaid ühendatud tarbijatega ühesuunaliselt. Samm-sammult liigume hajusama, kahesuunalise ja paljude aktiivsete klientidega jaotusvõrgu kujunemise poole, kus tarbijad saavad enda toodetud või salvestatud energiast üle jääva energia tagasi süsteemi anda ja puudu jääva energia süsteemist võtta.

Elektrilevi³ investeeringute prognoosi baasstsenaariumi järgi on jaotusvõrgu arenduse investeeringute baasvajadus 2024.–2035. aastal 1390 miljonit eurot. Kui lisaks baasstsenaariumile tehakse ka tootmise ja tarbimise suunal läbilaskevõime tugevdamiseks vajalikud arendused, siis lisandub baasstsenaariumile 670 miljonit eurot. Seega, nimetatud ajavahemikul on aastane keskmine investeeringuvajadus kokku 172 miljonit eurot (2023. aastal investeeris Elektrilevi umbes 167 miljonit eurot).

Praegune võrgutasude suurus ja struktuur pole piisav investeeringute katmiseks, sealhulgas hajusalt paiknevatele tootvatele tarbijatele liitumisvõimaluste loomiseks. Elektrilevi prognoosi järgi katavad võrgutasud praeguse võrgutasude arvestuse põhjal aastatel 2023–2035 hinnanguliselt 44% investeeringutest. Kui võtta arvesse ka tootmise ja tarbimise läbilaskevõime tugevdamiseks tehtavaid investeeringuid, katavad võrgutasud ligikaudu 35% investeeringutest.

Seetõttu on prognoositav, et **võrguteenuste hinnad ja nende osakaal energiahinnas kasvavad.** Võrgutasude üldine tõus, mida on

ette näha seoses jaotusvõrgu suure investeerimisvajadusega, võib suurendada tootva tarbimise tasuvust, kuna võrgutasud on arvestatud võrku antud või sealt võetud energiakoguste pealt: tootev tarbimine, mis vähendab sõltuvust jaotusvõrgust, vähendab ka majapidamiste kulutusi võrgutasudele. Samas, kui võrgutasud hakatakse kohaldama pigem tootmise või salvestamise võimsuste järgi – erinevalt praegusest praktikast arvestada neid toodetud ja tarbitud energiakoguste pealt –, siis see võib pärssida tootvat tarbimist, kuna tasuvus võib väheneda.

Võrgutasude kujundamisel tuleb sageli arvestada vastandlike eesmärgi. Ideaalis peaksid võrgutasud olema kujundatud selliselt, et need kataksid elektrivõrgu kulud ja toetaksid elektrisüsteemi tõhusust tervikuna, mitte ei toetaks ühte tarbijate segmenti teiste arvel. Teisalt võib olla mõistlik tasude abil võimendada hinnasignaale, mis ajendaks võrgukasutajaid käituma aktiivsete tarbijatena. **Tarbimise juhtimiseks saab lisastiimuleid luua ajapõhiselt muudatava võrgutasuga, mis kerkiks tipukoormuse perioodidel ja langeks väikese koormusega perioodidel.**

Elektri salvestamise soodustamine aitab ennetada kulukat elektrivõrgu arendamist. Võrguga ühendatud salvestusvõimsused ja nende tsüklite süsteemne juhtimine aitab võrgus nõudlust ja pakkumist ning sagedust stabiliseerida. Elektri salvestamist soosiv võrgutasude struktuur, mis muu hulgas arvestab salvestamise tulusid ja kulusid süsteemi vaates, stimuleerib salvestusseadmete laialdasemat kasutamist. Aktiivsel tarbijal, kes kasutab 5 kWh akut, on näiteks võrgust salvestatava energia puhul võimalik võrgutasu kaotamise korral säästa aastas umbes 100–150 eurot.

³ Elektrilevi



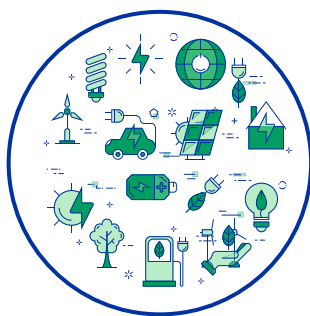
Aktiivse ja tootva
tarbimise stsenaariumid

Meie ettekujutused ja ootused selle suhtes, milliseks energiasüsteem kujuneb ning kuidas jõuda soovitud tulemusteni ja ennetada soovimatut, erinevad ja on seotud ka ebakindlusega. Kuna pikaajased ennustused keerukate süsteemide tuleviku kohta on paratamatult väga ebatäpsed, on üks võimalus luua alterna-

tiivseid stsenaariumeid kui tulevikukujutlusi. Järgnevalt on visandatud kolm võimalikku stsenaariumit, mis näitlikustavad tootvate tarbijate ja tarbimise juhtimise võimalikke arenguteid Eestis aastani 2040, võttes arvesse tänapäeva sotsiaalmajanduslike suundumusi ja poliitilisi püüdlusi (joonis 4).



Mida rohkem energiasüsteem muutub, seda rohkem jääb see samaks



Hoogne aktiivne tarbimine kui elustiil



Uuenduslike ärimudelite ja tehnoloogiate katsepõld

Joonis 4. Tootva tarbimise ja tarbimise juhtimise stsenaariumid

Allikas: Arenguseire Keskus (2024)



1. stsenaarium: mida rohkem energiasüsteem muutub, seda rohkem jääb see samaks

Kütusevabade energiaallikate osakaal tootmises ja tarbimises suureneb, kuid selle eestvedajaks ei ole tootvad tarbijad. Eesti energiasüsteemi arengusuunad, näiteks uute välisühenduste loomine, tuumaenergia kasutuselevõtt ning tööstusliku ulatusega ja salvestusvõimlusega võimendatud taastuvenergia tootmine, vähendavad tarbijate valmisolekut olla aktiivne tarbija, toota elektrit iseseisvalt või juhtida energiatarbimist hinnasignaali järgi, kuna turg

on kiiresti täitunud ja tasuvust on keeruline saavutada. Eesti energiasüsteem uueneb, kuid uuenduslikkus avaldub valdkondades, mis pole seotud tootva tarbimisega ega tarbimise juhtimisega.

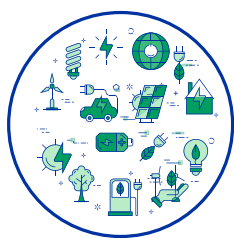
Tootva tarbimise ja tarbimise juhtimise kasv on aeglane ning seda kujundab pigem tarbija passiivsus kui aktiivsus, näiteks aktiivse tarbimise lahendused levivad varjatult koos eluruumide energiatõhususe nõuete karmistamisega ja nutikate tarbimist juhtivate seadmetega. See vähendab tarbijate valmisolekut aktiivselt elektrienergiaturul osaleda ning oma energiatõhusust ja -sõltumatust suurendada.

Kuigi hajatootmise tehnoloogia ja hinnatase muutuvad soodsamaks, puudub jätkuvalt kulu-

tõhus ja investeerima julgustav energia salvestamise tehnoloogia. Energiasüsteemi kujundavad osalistele ühetaolised stiimulid ja reeglid, mis ei ärgita tarbijaid hakkama aktiivseteks turuosalisteks ega ajenda teenuseosutajaid paindlikkusteenuseid pakkuma. Süsteemi tasandil tekib uusi paindlikkus- ja võrguteenuseid napilt ning olemasolevad võrguoperaatorid peavad pigem tegutsema turul, kus motivatsioon paindlikkusteenuseid kasutada või nende eest tasu või kasu saada on väheldane. Mikrovõrgud, energiakogukonnad ja muud uudsed ärimudelid jäävad marginaalseks ega kujunda kuigivõrd elektrienergiasüsteemi nägu.

Jaotusvõrgus tootvatele tarbijatele liitumisvõimaluste loomine on justkui „nokk kinni saba lahti“. Liitujate vähesus ei ajenda võrku arendama hajatootmist arvestavaks ning liitujate motivatsioon võrguga liituda on pigem väheldane, sest esmaliitujate omast taskust maksavad kulud on üsna suured.

Valitsevad kesksed stabiilsed tootmisvõimsused tagavad energiavarustuse ja -julgeoleku. Samas on majapidamiste iseseisev suutlikkus tagada endale (osaline) elektrienergia varustus ja vastupidavus varustusriskidele väike.



2. stsenaarium: hoogne aktiivne tarbimine kui elustiil

Väikesemahulise hajatootmise kasv on kiire, kuna tootmis- ja salvestusseadmete hinnad on langenud ja tasuvusaeg lühenenud. Tarbijad saavad energiaturu muutlikke hindu ära kasutades kulusid kokku hoida. Aktiivne tarbimine, sealhulgas väikesemahuline tootev tarbimine ja tarbimise juhtimine, on pigem reegel kui erand.

Salvestustehnoloogia, eriti majapidamistes kasutatav akutehnoloogia (sh elektriautode salved), teeb arenguhüppe ning võimaldab kulutõhusal viisil energia tarbimist ja energia võrku andmist ajastada. Tootvate tarbijate kütusevaba energiatootmine suurendab energiasüsteemi keskkondlikku jätkusuutlikkust ning tarbimise juhtimise ja salvestusseadmete areng maandab juhitamatu taastuenergiaga kaasnevaid riske energiasüsteemi stabiilsusele.

Tormiliselt arenevad uued tegevusmudelid, näiteks üksikute väiketarbijate tootmise ja tarbimise koormuse koondamine, energiaühistud, mikrovõrgud ja virtuaalsed elektri jaamad, mis suurendavad tarbijate aktiivsust ja rolli energiasüsteemis. Teenusepakkujate ja tarbijate koostöö loob süsteemile ja osalistele suuremat kasu. Kõik lahendused on osalistele ühtviisi ligipääsetavad ning nende tulud ja kulud läbi paistavad. Eesti on globaalsete uuenduste julge ülevõtja, kuid mitte nende looja ja levitaja.

Tootvas tarbimises ja tarbimise juhtimises osalevad mitmekesise sotsiaalmajandusliku taustaga majapidamised paljudes piirkondades, edendades kohalikku majandust ja regionaalset arengut. Koostöö ja ühistegevus aitavad inimestel paindlikumalt energiat tarbida ja jagada teadmisi eestvedajatelt järgijatele. Tarbijate pühendumus hajusenergeetikale ja kodude energiasõltumatusele suurendab kriisikindlust ja aitab häirete ning katkestuste korral riske juhtida. Paljud majapidamised on võrgust suuresti sõltumatud, mis aitab neil kriisiolukordades paremini hakkama saada.

Tootev tarbimine on laialt levinud, mistõttu võrguteenuste hinnakujundus ei tee vahet aktiivsetel ja passiivsetel tarbijatel ning seega viimased ei subsideeri esimesi. Turusignaalid ja hoiakud, mitte poliitilised stiimulid, ajendavad tarbijaid oma kulusid juhtima ja süsteemist sõltumatust suurendama. Lisaks on loodud

praktilised lahendused väikevõrkude ja majapidamiselt-majapidamisele-võrkude loomiseks, mis on kohalikele tarbijatele majanduslikult kasulikud, näiteks on paikkondlikult energia ülekandetasud soodsamad. Avalik sektor toetab tootvat tarbimist ja tarbimise juhtimist eelkõige väiksema sissetulekuga majapidamistes, vähendades energiavaesuse riski ja edendades sotsiaalselt õiglast energiasüsteemi.



3. stsenaarium: uuenduslike ärimudelite ja tehnoloogiate katsepõld

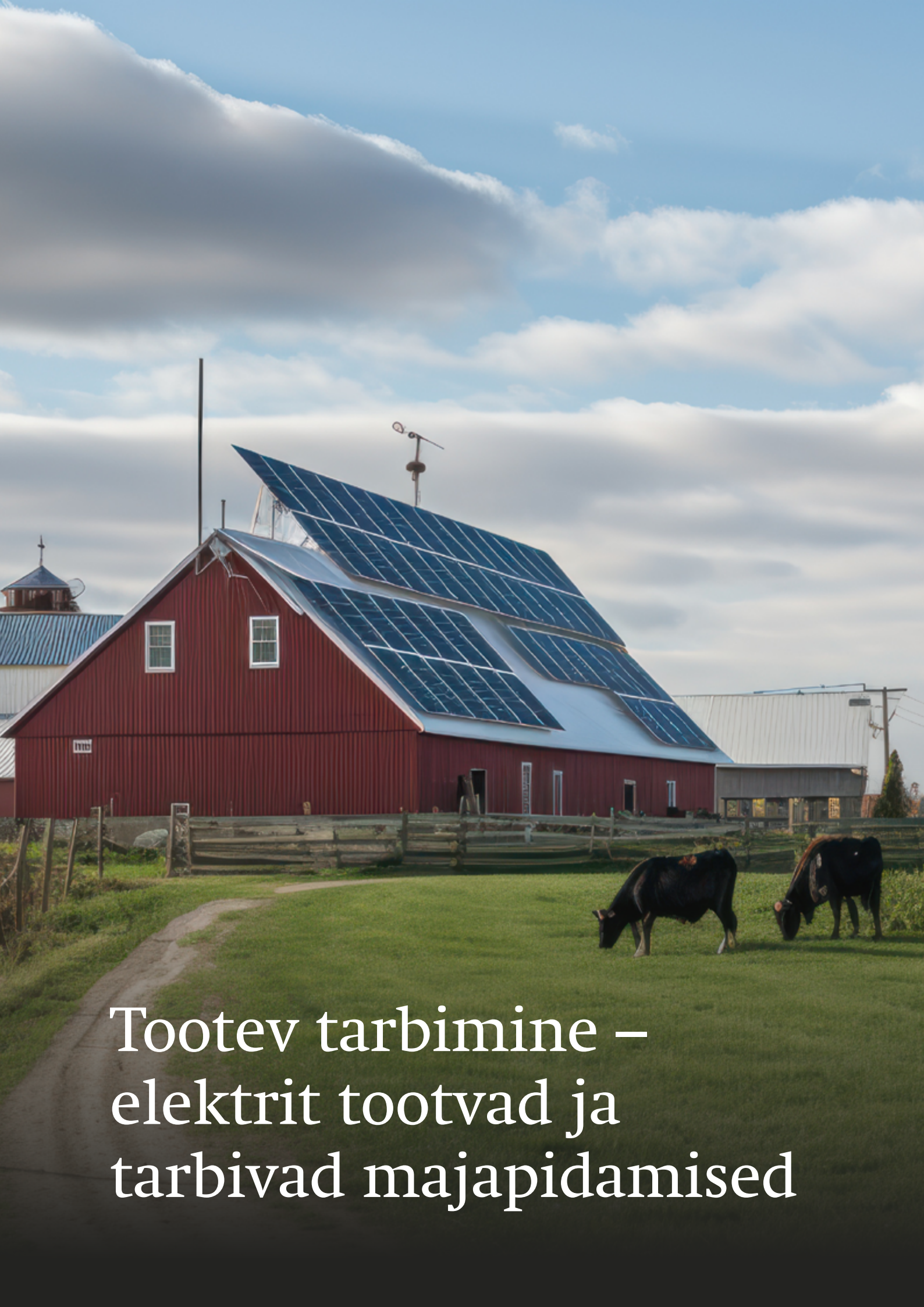
Eestis leidub ohtralt uut, aktiivse ja tootva tarbimisega seotud äri, mis on rahvusvaheliselt uuenduslik ning mille levik ületab Eesti energiasüsteemi piire. Kuigi tootev tarbimine ja tarbimise juhtimine ei kujunda Eesti energiasüsteemi eriti ulatuslikult, on tärkavate energiaettevõtete jaoks Eestis olemas elav innovatsioonisüsteem, mis võimaldab tulemuslikult osaleda suure lisandväärtusega energialahenduste väärtusloome ahelas.

Uuendused toetavad mitmekesist energiatootmist: päikeseenergialahenduste kõrval levib (mikro)tuulikute, maasoojusenergia ning mitmesuguste salvestuslahenduste kasutamine. Uuenduslikud energiaturumudelid (nt inimeselt-inimesele-energiaturg), ärimudelid (virtuaalne tootev tarbimine) ning paindlikkusteenused (koormuste agregeerimine) saavad ekspordiküpsiks pärast Eestis katsetamist.

Eesti tarbijad on uuendustele avatud ning valmis osalema tootva tarbimise ja tarbimise juhtimise tehnoloogiate ja ärimudelite arendamises, katsetamises ja kasutuselevõtus. Tarbijad eraldi ja energiaühistutesse koondununa on valmis oma andmeid jagades osalema uudsete teenuste ja lahenduste väljatöötamisel, saades kasu nii energiakulusid kokkuhoidvast tarbimisest, andmete väärindamisest kui ka innovatsioonis loodud hüvedest.

Siiski on tootev tarbimine ja tarbimise juhtimine pigem arendajate, ekspertide ja teerajajate juhitav protsess, mitte laiapõhjaselt kõiki majapidamisi ja kogukondi kaasav liikumine. Avalik poliitika soosib arendustegevust ja uuenduslikust, mitte aktiivse tarbimise ulatuslikku levikut. Näiteks kutsutakse ellu nii-öelda regulatiivsed liivakastid, kus (tootvad) tarbijad ja teenusearendajad saavad üheskoos uuendusi katsetada ning regulaatorid õppida tundma nendega kaasnevaid õiguslikke probleeme ja lahendusi.

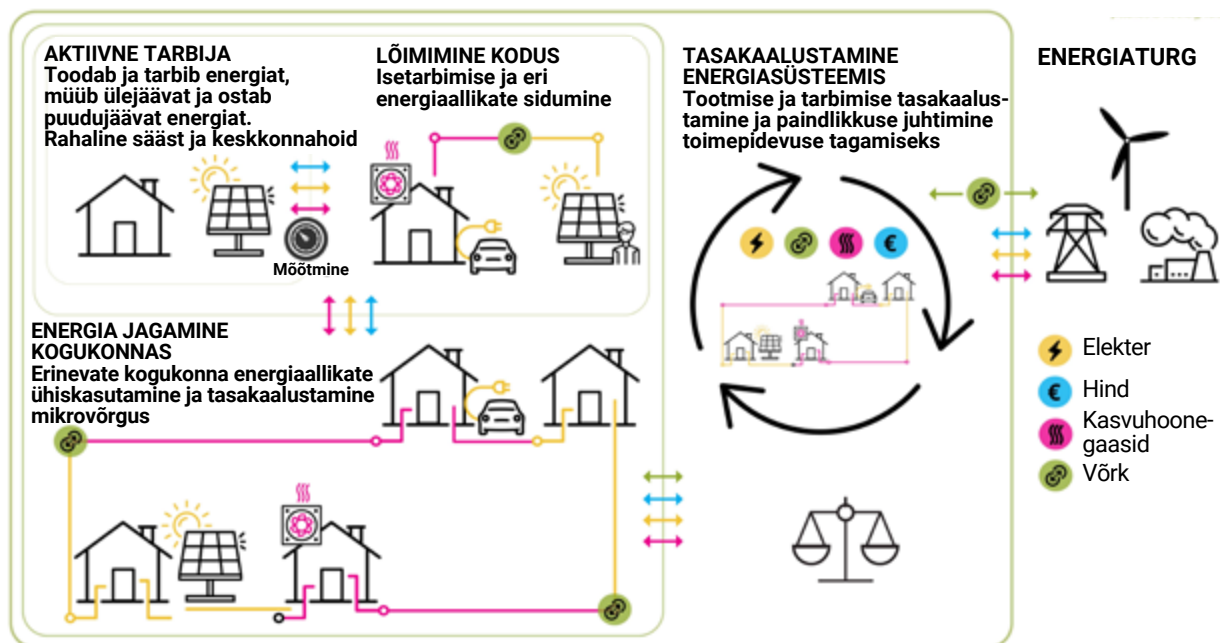
Hajus, juhitamatu tootmine ning uute tehnoloogiate ja paindlikkusteenuste katsetamine suurendab küll süsteemi riske, ent kuna aktiivsete tarbijate hulk on väheldane, siis mõju süsteemile on väike. Ka energiavarustuse ja stabiilsuse riskid on maandatud uudsete lahenduste, sealhulgas agregeerimislahenduste abil. Jaotusvõrguettevõtted on huvitatud katsetamisest ning tagavad võrgule ja andmetele kontrollitud ja avatud juurdepääsu, et luua võimalusi innovatsiooniks.



Tootev tarbimine –
elektrit tootvad ja
tarbivad majapidamised

Tootvateks tarbijateks nimetatakse majapidamisi, asutusi ja ettevõtteid, kes lisaks tarbimise juhtimisele toodavad ka ise elektrienergiat. Toodetud elektrienergiat kasutatakse eeskätt oma nõudluse katmiseks, kuid ülejääki võidakse pakkuda ka jaotusvõrgu kaudu teistele tarbijatele, saades selle eest tasu või tarbimise krediiti (joonis 5).

Tootev tarbimine suurendab majapidamiste energiakasutuse tõhusust, vähendab sõltuvust kesksest tootmisest ning suurendab põletamisvaba elektrienergia kasutamise osakaalu.⁴



Joonis 5. Tootvad tarbijad elektrienergiasüsteemis

Allikas: Kasutatud projekti PROSEU⁵ loodud joonist, koos Arenguseire Keskuse muudatustega

Tootva tarbimise viisid ja vormid mitmekesisuvad

Majapidamised kasutavad tootvaks tarbimiseks mitmesuguseid tegutsemismudeleid. Tavapärasteks mudeliteks peetakse näiteks järgmisi.⁶

- **Enda tarbeks tootmise mudel**, mille puhul majapidamine toodab elektrienergiat oma energiavajaduse katmiseks, vähendades seeläbi vajadust osta energiat elektri-

võrgust, sõltumata sellest, kas ja kuidas majapidamine on jaotusvõrguga liitunud.

- **Omatarbimisest üle jääva energia jaotusvõrku andmise mudeli** puhul toodab majapidamine energiat enda tarbeks ja annab üle jääva energia võrku, saades selle eest võrgust vastu energiat sel ajal, kui enda majapidamise toodetud energiast omatarbe katmiseks ei piisa.

⁴ Jin-Li Hu ja Min-Yueh Chuang (2023). The Importance of Energy Prosumers for Affordable and Clean Energy Development: A Review of the Literature from the Viewpoints of Management and Policy. *Energies* 16, nr 17, jaanuar: 6270. Arvutivõrgus: <https://doi.org/10.3390/en16176270>.

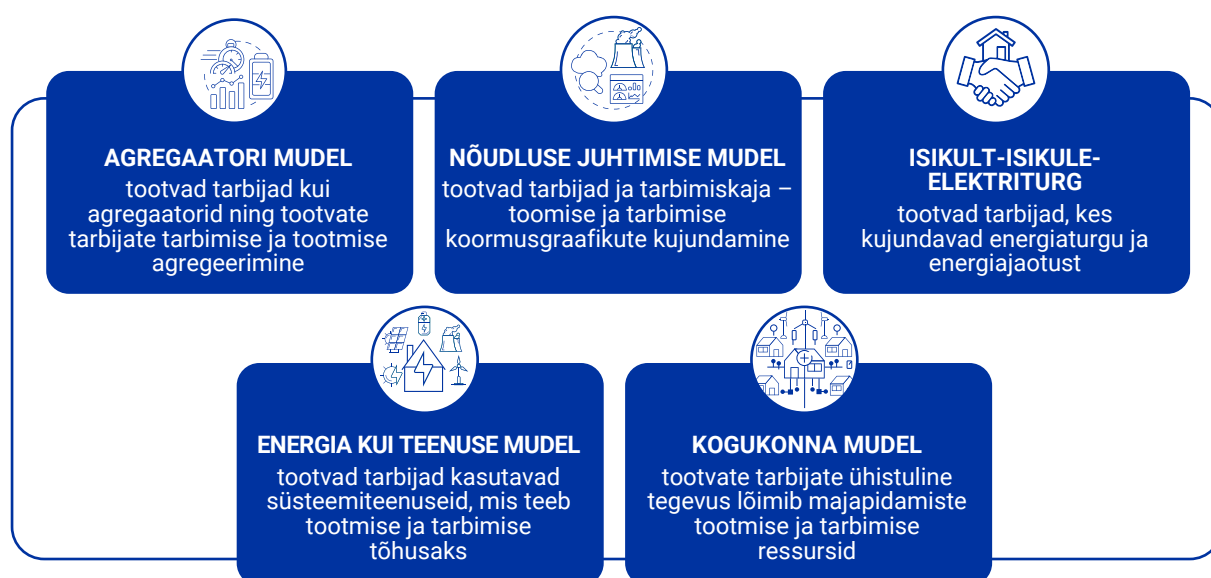
⁵ PROSumers for the Energy Union: Mainstreaming active participation of citizens in the energy transition. Arvutivõrgus: <https://cordis.europa.eu/project/id/764056/reporting>.

⁶ Indre Siksnylyte-Butkiene *et al.* (2023). Enablers and barriers for energy prosumption: Conceptual review and an integrated analysis of business models. *Sustainable Energy Technologies and Assessments* 57, 1. juuni: 103163. Arvutivõrgus: <https://doi.org/10.1016/j.seta.2023.103163>.

- **Tariifimudeli** korral makstakse majapidamisele võrku antud energiakoguse eest raha, mida ta saab kasutada energia ostmiseks mõnel teisel ajal. Võrku antud energia eest saadav tasu võib olla tavahinnast kõrgem, et premeerida energia võrku tootmist.
- **Liisimise või rentimise mudeli** korral majapidamine võimaldab talle kuuluvaid energia tootmiseks vajalikke ressursse (näiteks maad, ehitise katust) kasutada teenuse osutajal või teisel tootjal, saades selle eest tasu või energiat. Võimalik on

seegi, et majapidamine ise rendib tootmis-tehnoloogiat (näiteks päikesepaneel), ilma et ise otseselt tootmisvõimekust arendaks või sellesse investeeriks.

Majapidamiste hulgas on tekkimas ka uuemaid tegutsemismudeleid, mida on kujutatud järgmisel joonisel (joonis 6). Need mudelid annavad majapidamistele veelgi enam paindlikkust: tootmisvõimalused ei sõltu enam üheselt majapidamise enda ressurssidest ja investeeringutest. Seda võimaldab majapidamiste, teenuse osutajate ja teiste elektriturul osalejate omavaheline põimumine ja koostoime.



Joonis 6. Tootva tarbimise uuemad tegutsemismudelid

Allikas: Siksnylyte-Butkiene et al. (2023)⁷, Botelho et al. (2021)⁸

- **Agregaatori mudeli** puhul tootvad tarbijad koonduvad ja osalevad üheskoos elektri hulgi- või jaeturul, mis aitab vähendada tootvate tarbijate tehnoloogiaga seotud kulusid või oskusteabe vajadust. Agregator kui üksus opereerib n-ö virtuaalset elektriama, mis hõlmab mitmeid väiksemaid energiat tootvaid tarbijaid.
- **Nõudluse juhtimise mudelis** reageerivad tootvad tarbijad energianõudlusele, pakkudes energiat võrku kas rohkem või vähem, sõltuvalt turu kogunõudlusest ja -pakkumisest, ning seeläbi osutavad paindlikkusteenust võrguoperaatoritele.
- **Isikult-isikule-elektriturg** võimaldab tootvatel tarbijatel müüa elektrit kokkulepitud

⁷ Siksnylyte-Butkiene et al.

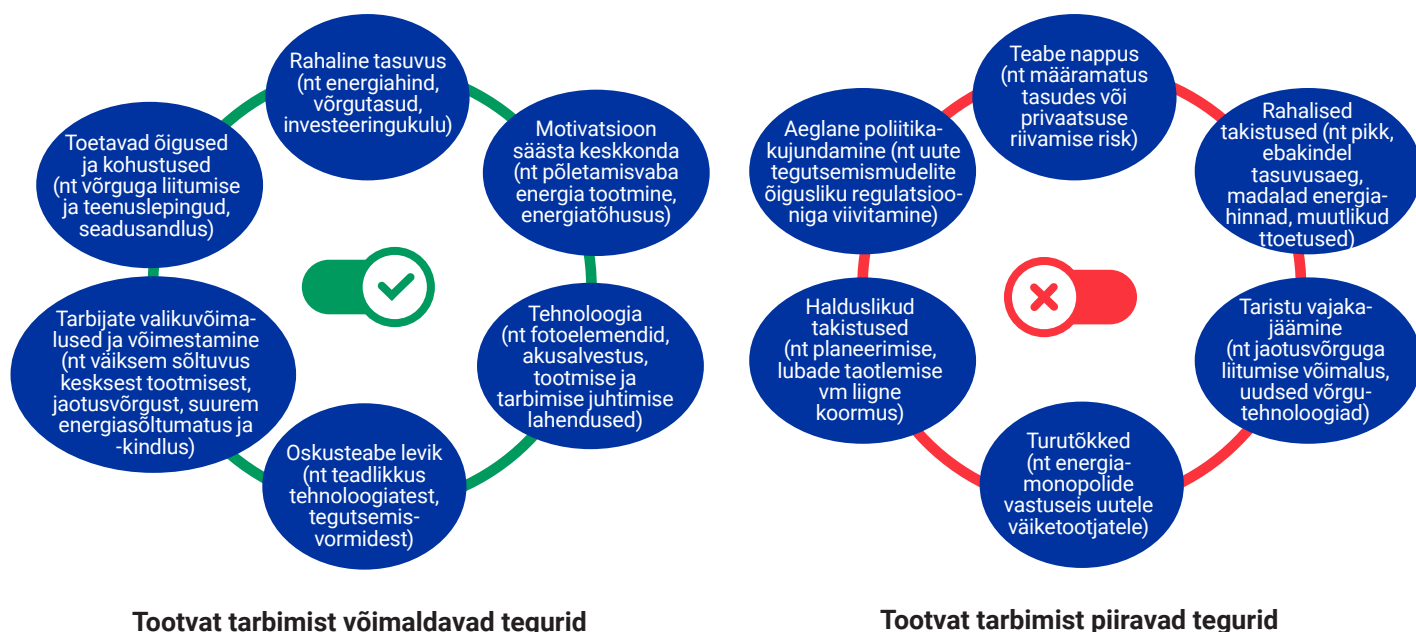
⁸ D. F. Botelho et al. (2021). Innovative Business Models as Drivers for Prosumers Integration – Enablers and Barriers. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 144, juuli: 111057. Arvutivõrgus: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111057>.

hinnaga kohalikele tarbijatele. Sellisel veebiturul saavad tootvad tarbijad ja teised tarbijad hinnas ja mahus kaubelda ilma vahendajateta ja võrguta, optimeerides sel moel hinda.

- **Energia kui teenuse mudelis** pakutakse tootvatele tarbijatele lisaks tootva tarbimisega otseselt seotud teenustele ka täiendavaid teenuseid. Need hõlmavad näiteks tootmise ja tarbimise optimeerimist, energiakulude juhtimist ning süsteemide (näiteks küte, ventilatsioon) automatiseerimist.
- **Kogukonna mudelis** omavad ja arendavad tootvad tarbijad elektrienergia tootmise

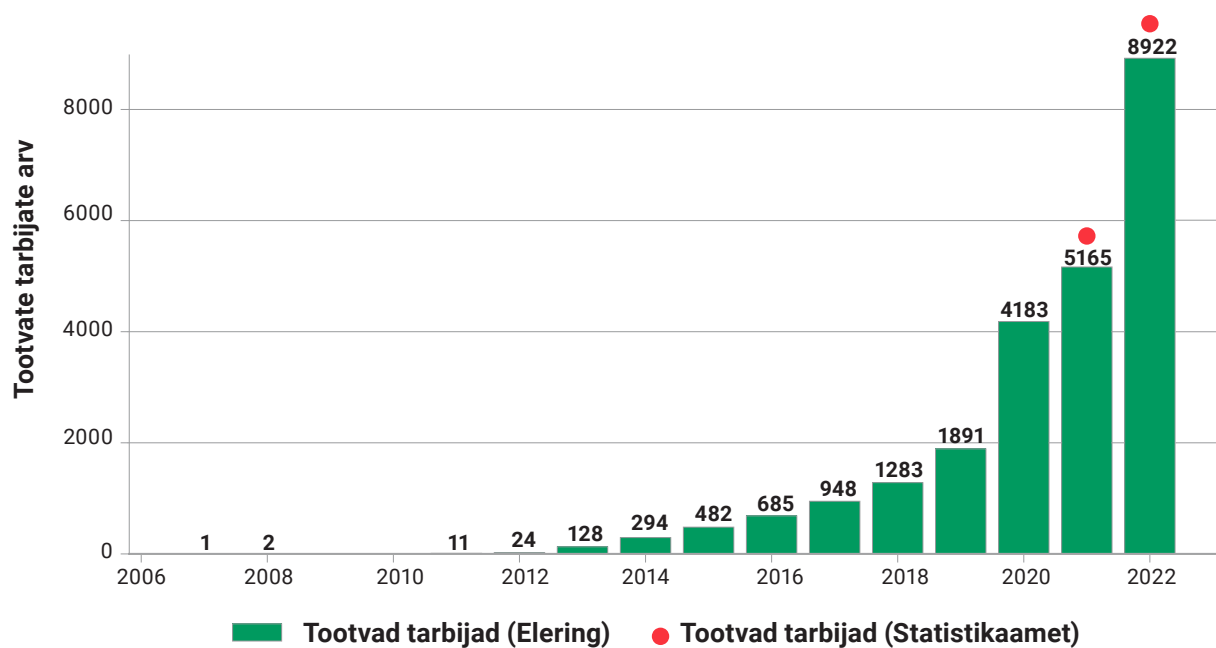
ja tõhusa kasutamise võimekust ühiselt. Ühistegevus võib hõlmata energia kogu väärtusahelat, s.o pakkuda nii kohalikku energiatootmist kui ka muid energiateenuseid (näiteks salvestamine, energiakaubandus), tagades sel moel energia tõhusa kasutamise ja pakkudes paindlikkust kogu elektrisüsteemile.

Eestis on tootvate tarbijate tegevus kiires kujunemisjärgus ning uudsemad tegutsemismudelid on alles esile kerkimas. Ka ühiskondlik tootev tarbimine on alles kujunemas.⁹ Valdakonna arengut mõjutavad mitmesugused tehnoloogilised, sotsiaalmajanduslikud ja regulatiivsed tegurid, mida kokkuvõtvalt on kujutatud järgmisel joonisel (joonis 7).



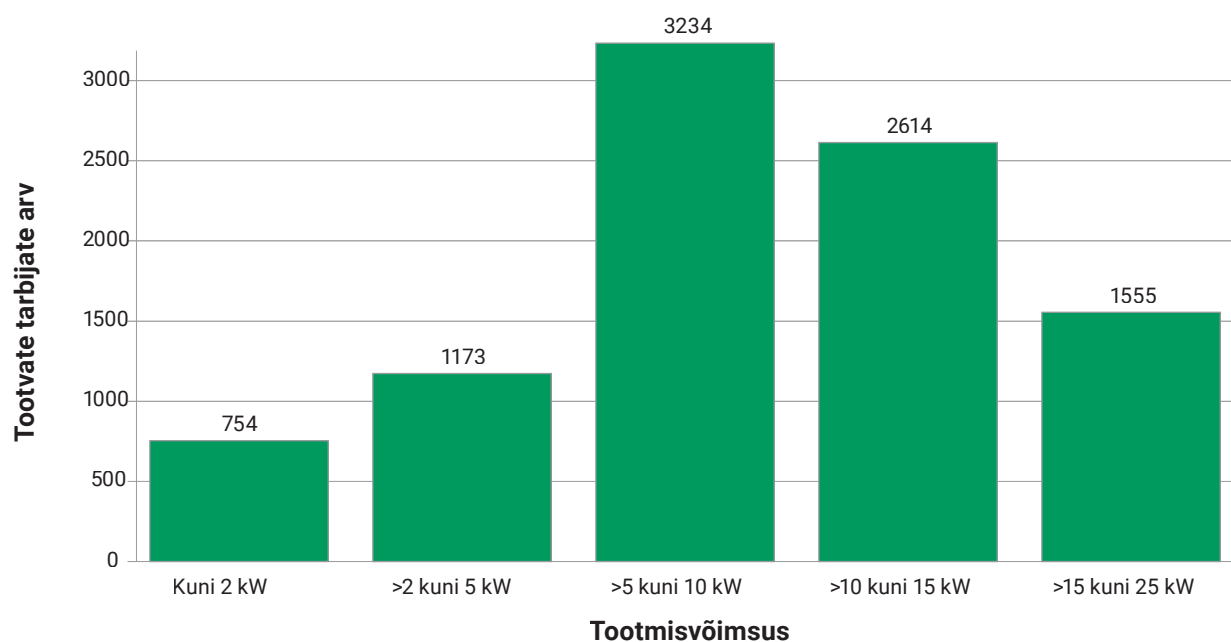
Joonis 7. Tootva tarbimise uuemate tegutsemismudelite võimaldajad ja piirajad
Allikas: Botelho et al. (2021)¹⁰

¹⁰ Botelho et al.



Joonis 9. Tootvate tarbijate arv aastatel 2006–2022

Allikas: STACC (2024)



Joonis 10. Tootvate tarbijate tootmisvõimsused aastal 2022

Allikas: STACC (2024)

Tootvate tarbijate lisandumist on soodustanud päikesepaneelide hinnalangus ja isetootmiseks soodsad energiahinnad

Päikesepargi rajamise kulud tervikuna vähenesid aastatel 2007–2019 ligikaudu kuus korda.¹³ Kuigi viiruskriisi ajal ummistunud tarneahelate, kasvanud toormehindade ning hüppeliselt suurenenud nõudluse tõttu päikeseenergeetika komponendid 2020-ndate alguses kallinesid, on pikemas plaanis taas oodata hindade langust.¹⁴ Tootvate tarbijate lisandumist on tõuganud tagant ka 2021.–2022. aasta väga kõrged energiahinnad ja majapidamiste soov elektrienergia kuludelt kokku hoida, samuti on väiketootjate lisandumist ja tootmise tasuvust stimuleeritud mitmesuguste toetusmeetmetega.¹⁵

Samas on taastuenergia võimsuste lisandumise tõttu üha muutlikumaks muutunud elektrihinnad vähendanud päikeseenergia tootmise tasuvust. Elektrihinnad on üldjuhul kõige madalamad päikesepaistelisel päeval ehk ajal, kui päikesejaamade tootlikkus on kõrgeim. Energiahindade stabiliseerumine 2021.–2022. aasta energiakriisi järel ning üha sagedasemad null- või negatiivse elektrihinnaga päevad on vähendanud inimeste huvi elektri väiketootmisega tegeleda. 2023. aastal Elektrilevi uute liitumistaotluse arv kahanes. Näiteks Elektrilevi andmetel oli 2023. aasta alguses liitumisvõima-

luse pakkumise ootel 2547 elektritootjat koguvõimsusega 615 MW, seevastu 2024. aasta alguses oli ootel 174 tootjat koguvõimsusega 180 MW.

Tootvad tarbijad moodustavad vaid väikese osa elektri tootmisest ja tarbimisest

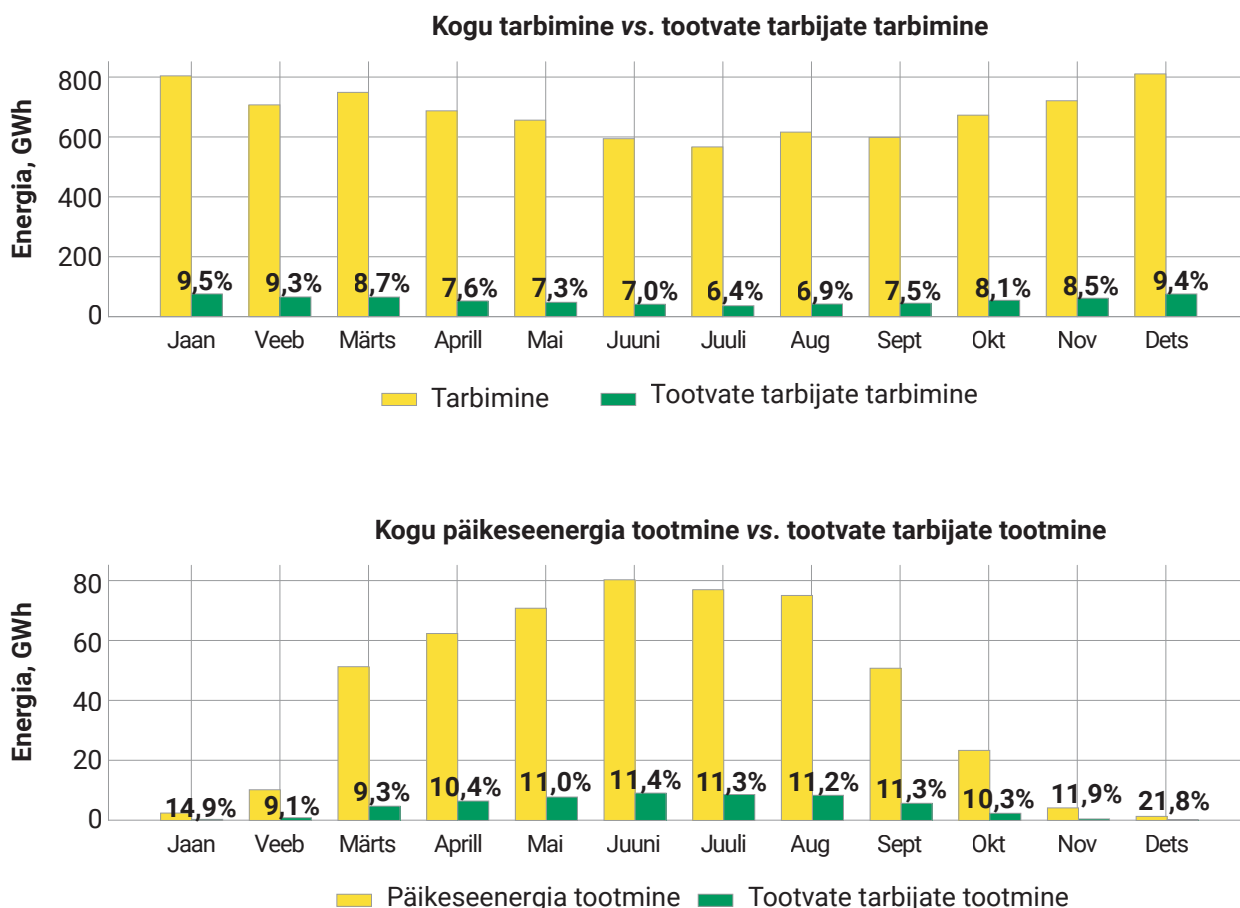
Kuigi tootvate tarbijate arv on oluliselt kasvanud, on nende osakaal Eesti elektritootmisest ja -tarbimisest tagasihoidlik (joonis 11). 2022. aastal moodustas tootvate tarbijate tarbimine 8% Eesti kogutarbimisest ja nende toodang alla 1% kogutoodangust, isegi päikeseelektri tootmiseks soodsatel suvekuudel ei ületa see 2%. Kogu Eesti päikeseelektri toodangust – valdav osa tootvatest tarbijatest toodab päikeseenergiat – annavad tootvad tarbijad suvekuudel 11% ning talvekuudel, kui päikeseenergia tootmise maht on väiksem, 15–21%. **Kuna talvekuudel on päikeseenergia tootmine väheldane, ei avalda tootvate tarbijate osakaalu talvine suurenemine energiasüsteemile kuigi olulist mõju ja pigem aitab katta majapidamiste omatarbimist.**

Seega, kuigi tootvad tarbijad annavad panuse energiasüsteemi, vähendades tsentraliseeritud tootmisega seotud riske ja majapidamiste poolt elektrivõrgu kaudu tarbitava energia kogust, on nende mõju kogu Eesti elektritootmise mõttes suhteliselt piiratud.

¹³ Reinhard Haas *et al.* (2023). The photovoltaic revolution is on: How it will change the electricity system in a lasting way. *Energy* 265, 15. veebruar: 126351. Arvutivõrgus: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.126351>.

¹⁴ Piotr Bórawski, Lisa Holden ja Aneta Bełdycka-Bórawska (2023). Perspectives of photovoltaic energy market development in the European Union. *Energy* 270, 1. mai: 126804. Arvutivõrgus: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2023.126804>.

¹⁵ Elering. Taastuenergia toetus. Arvutivõrgus: <https://elering.ee/taastuvelektri-toetus>.



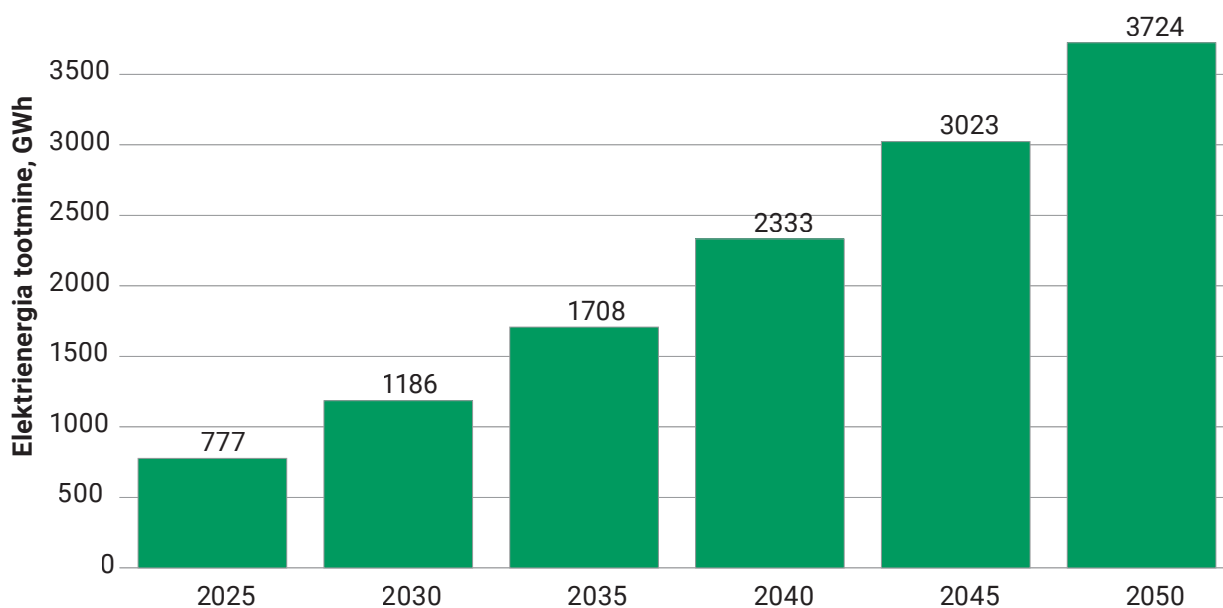
Joonis 11. Tootvate tarbijate tootmise ja tarbimise võrdlus kogutarbimise ja -tootmisega aastal 2022
Allikas: STACC (2024)

Tootvate tarbijate juurdekasv aeglustub

Kuna elektrienergia tarbimine ja tootmine prognooside kohaselt kasvab, oodatakse ka tootva tarbimise kasvu. Eleringi prognoosi kohaselt elektritarbimine 2050. aastaks peaaegu kahekordistub: kasvab 7,6 TWh-lt 2022. aastal 11–14,6 TWh-ni 2050. aastal.¹⁶ Seejuures peaks hajatootmise teel toodetava elektrienergia maht kuni viiekordistuma (777 GWh) võrreldes 2022. aasta tasemega (joonis 12). Elektrilevi

prognoosi järgi kasvab kodumajapidamiste toodetav elektrienergia maht 137 GWh-lt 2022. aastal 452 GWh-ni 2035. aastal ehk üle kolme korra. Tuleb aga tähele panna, et need prognoosid eeldavad päikeseenergia hajatootmise lineaarset kasvu, samas kui tootvate tarbijate lisandumine on viimasel aastal turu küllastumise tuleneva majandusliku tasuvuse halvenemise tõttu pidurdunud.

¹⁶ Energex, Ea Energy Analysis ja Elering (2022). Study to determine Estonian electricity demand scenarios. Arvutivõrgus: <https://www.elering.ee/sites/default/files/2022-10/Study%20-%20Electricity%20demand%20scenarios.pdf>.



Joonis 12. Elektrienergia hajatootmise prognoos

Allikas: *Energex Energy Experts, Elering & Ea Energy Analyses (2022)*

Eespool toodud joonisel 7 on esitatud tegurid, millest millest sõltub tootva tarbimise edasine areng. Enim määravad tootvat tarbimist tootmisvõimsuse rajamise ja jaotusvõrguga liitumise maksumus ja energiahind ning neist johtuv investeringutasuvus. Energiahinna taseme kõrval on väljakutseks ka selle volatiilsus: päikesepaneelide paigaldamise ja kasutamise rentaablus kahaneb, kui päikeserohketel aegadel on elektri börsihind madal või lausa negatiivne.

Tootvate tarbijate juurdekasv oli veel hiljuti kiirenev, kuid on viimasel aastal turu küllastumise tõttu aeglustunud. Seepärast on järgnevas prognoosis kasutatud mudeleid, mis võimaldavad võtta arvesse küllastuspunkti olemasolu. Eleringi andmestiku põhjal hinnati¹⁷ tootvate tarbijate juurdekasvu 2040. aastani, rakendades prognoosimiseks mitut S-kujulist kasvukõverat ehk sigmoidfunktsiooni (joonis 13). Kõigi mudelite puhul eeldatakse, et kasv on alguses kiire, seejärel järk-järgult aeglustub ja lõpuks läheneb

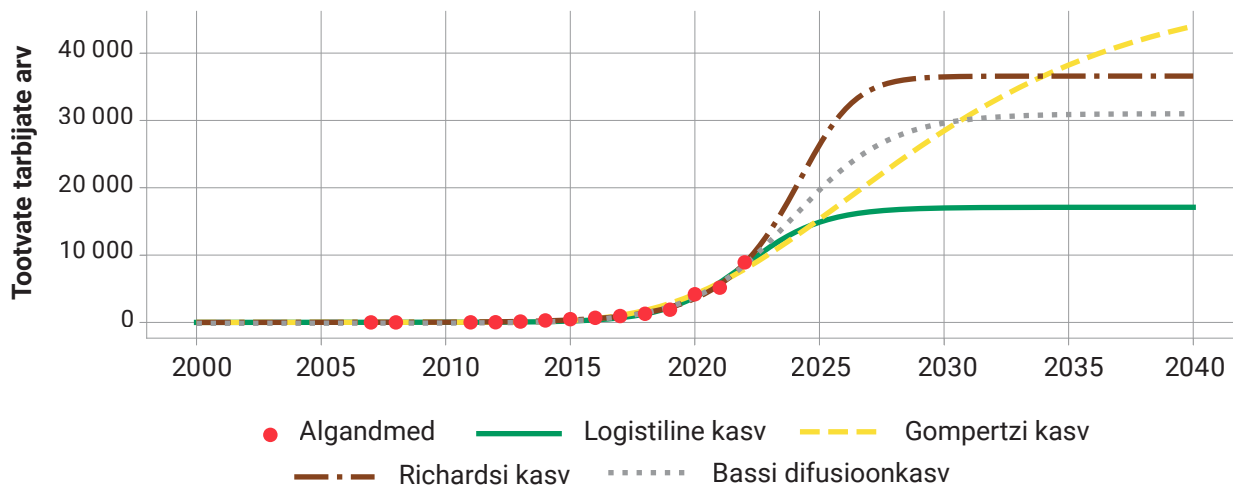
kindlale küllastumispunktile, mis selles analüüsis vastab 103 265-le (s.o 50%) Eesti ühepereelamule. Eri mudelite kasutamine võimaldab arvestada mitmesuguseid kasvutingimusi ja ennustada tulevikus toimuvaid muutusi.

- Logistiline kasvumudel on üks lihtsamaid ja enimkasutatavaid mudeleid, mis eeldab kindlat küllastumistaset, mille suunas kasv püüdleb. Selle mudeli eeliseks on lihtsus ja lai rakendatavus, kuid see võib alahinnata muutuste kiirust alg- ja lõppfaasis.
- Gompertzi kasvumudel on keerukam ja arvestab kasvu algfaasis aeglasemat ja seejärel kiirenevat kasvutempot, mis muudab selle sobivaks tehnoloogilise arengu ja innovatsiooni leviku modelleerimiseks. Mudel võib aga olla liiga optimistlik küllastumispunkti saavutamise osas.
- Bassi difusioonimudel keskendub uute tehnoloogiate vastuvõtu kiirusele, arvestades nii innovaatoreid kui ka varajasi

¹⁷ Analüüsi viis Arenguseire Keskuse tellimusel läbi STACC.

järgijaid. Mudel on kasulik uute tehnoloogiate leviku prognoosimiseks, kuid võib olla keeruline parameetrite täpseks määramiseks.

- Richardsi kasvumudel pakub paindlikust, lubades muuta kasvukõvera kuju, mis võimaldab arvestada erinevaid kasvufaase. See mudel on kõige paindlikum.



Aasta	Logistiline kasv	Gompertzi kasv	Richardsi kasv	Bassi difusioonkasv
2025	15 000	15 000	26 000	20 000
2030	17 000	28 000	36 000	30 000
2035	17 000	38 000	37 000	31 000
2040	17 000	44 000	37 000	31 000

Joonis 13. Tootvate tarbijate arvu prognoos erinevate kasvumudelite alusel 2040. aastani
Allikas: STACC (2024)

Kõige tagasihoidlikumat ehk praegusega võrreldes vähem kui kahekordset tootvate tarbijate kasvu prognoosib logistiline kasvumudel, samas Gompertzi mudel ennustab tootvate tarbijate arvu suurimat ehk enam kui neljakordset kasvu. Gompertzi mudel näitab ka kõige lineaarsemat kasvutrendi, eriti küllastumisfaasi lähenedes. Richardsi mudeli prognoos viitab kiirele kasvule järgmise viie aasta jooksul, seejärel jõuab kasv platoole ja järgneb aeglane kasv küllastuspunkti. See stsenaarium kajastab olukorda, kus algne kasvuimpulss saavutatakse kiiresti, näiteks tänu tehnoloogiate tasuvuse kiirele paranemisele, uute tege-

vusmodelite juurdumisele, elektriturule muutustele või riiklikele meetmetele, mis motiveerivad päikesepaneelide ja salvestustehnoloogiate kasutamist.

Järgnevas tabelis (tabel 1) on esitatud ka tootvate tarbijate elektriturule müüdava ja tarbitava energia mahu prognoos erinevate mudelite korral. Keskmine tootev tarbija müüb aastas umbes 6530 kWh elektrit ja tarbib 71 278 kWh. Tabelis on prognoositud tootmise ja tarbimise mahud gigavatt-tundides 2040. aastani eri mudelite kaupa.

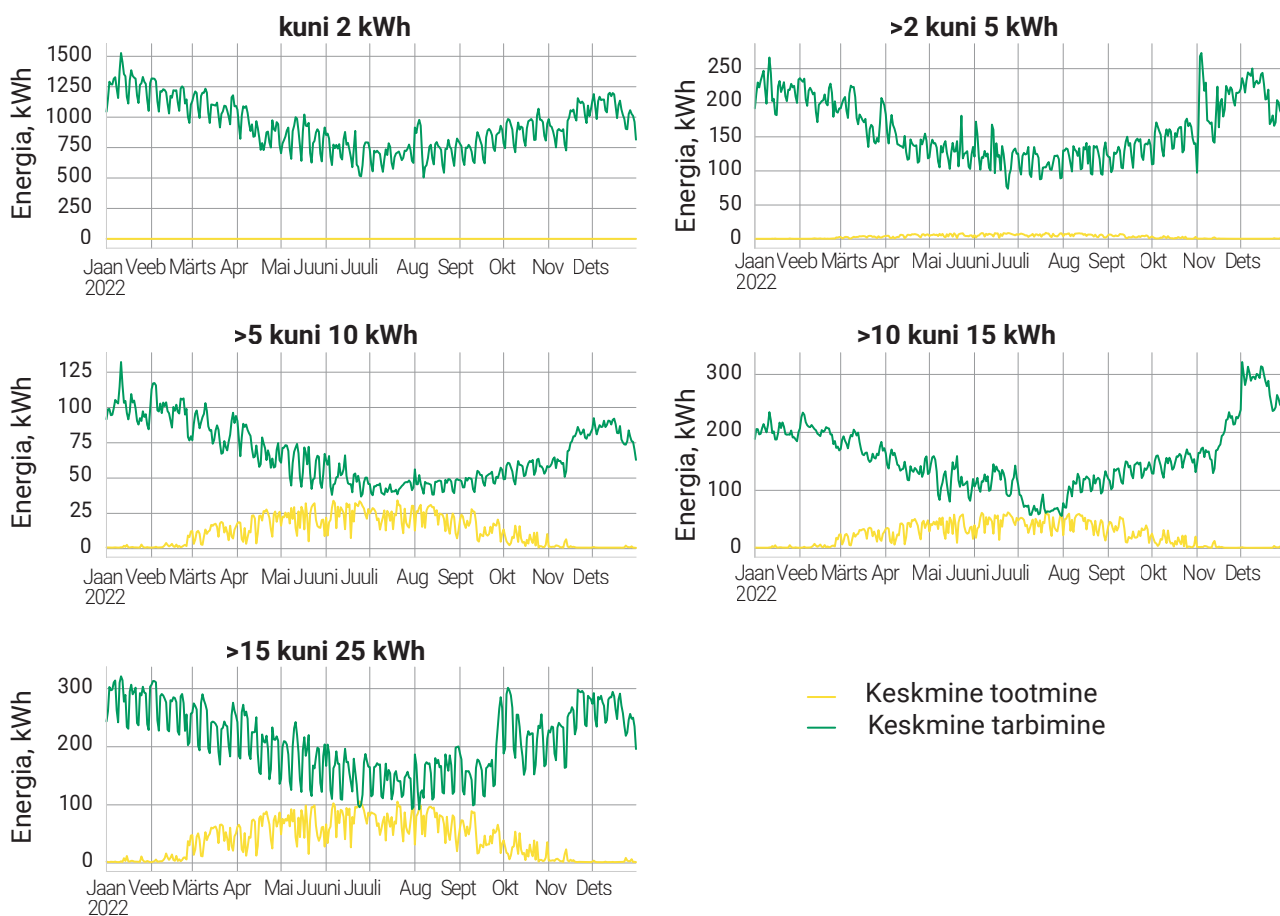
Tabel 1. Tootvate tarbijate tootmise ja tarbimise prognoositud mahud 2040. aastani

Aasta	Logistiline kasv		Gompertzi kasv		Richardsi kasv		Bassi difusioon	
	Tootmine (GWh)	Tarbimine (GWh)	Tootmine (GWh)	Tarbimine (GWh)	Tootmine (GWh)	Tarbimine (GWh)	Tootmine (GWh)	Tarbimine (GWh)
2025	97	1 061	100	1 093	172	1 878	128	1 401
2030	111	1 211	186	2 029	238	2 599	193	2 111
2035	112	1 219	250	2 725	239	2 608	202	2 201
2040	112	1 219	287	3 136	239	2 608	202	2 209

Allikas: STACC (2024)

Ilmneb, et 2040. aastaks ennustavad kasvumudelid tootvate tarbijate arvuks 17 102–43 994, kes elektrivõrku toodavad 111–202 GWh ja tarbivad 1219–2208 GWh energiat. **Seega, tootva tarbimise kasv pikemas vaates pigem ei ole kiirenev**

ega toimu ka samas tempos viimaste aastate kasvuga, vaid aeglustub. Selline kasv erineb tootmise ja tarbimise kasvu senistest prognoosidest, sealhulgas hajatootmise prognoosidest, mis pigem näevad ette lineaarset kasvu.

**Joonis 14.** Tootvate tarbijate tarbimismustrid eri tootmisvõimsuste järgi aastal 2022

Allikas: STACC (2024)

Tootvate tarbijate juhitamatu tootmine ei mõjuta oluliselt elektrisüsteemi üldist stabiilsust

Päikeseelektri tootmisel põhinev tootev tarbimine sõltub päevalguse muutlikkusest aastaegade ja ilmastikuolude lõikes. Tootvate tarbijate energiapakkumine on väiksem talvel, kui turul on elektrienergia nõudlus suurem, ning suurem suvel, kui elektrienergia nõudlus on väiksem (joonis 14).

Kuivõrd tootvate tarbijate võrku müüdava päikeseenergia kogus on ajas muutuv ja juhitamatu, võib see elektriturul prognoositavast mahust erineda. Prognoositust erineva tootmise ja tarbimise mahuga kaasneb elektrienergia sagedusturul ebabilanss, mis iseloomustab konkreetseks ajahetkeks prognoositud ja tegeliku elektrienergia koguse vahet. Energiasüsteemis tekitab see vajaduse üles- või allareguleerimise järele, mis täiendava energiakoguse nõudluse ja pakkumise kaudu mõjutab ka elektrihinda¹⁸.

Hindamaks tootvate tarbijate mõju elektrisüsteemi stabiilsusele, jagati Eesti elekt-

riandmed kolme perioodi vahel: suvi (mai, juuni, juuli, august), talv (november, detsember, jaanuar, veebruar) ja kevad-sügis (märts, aprill, september, oktoober) (tabel 2). Sage-duse reguleerimiste suundadest ja mahtudest nähtub järgmine.

- Suvekuudel päikeseenergia suurem tootmine võib suurendada tõenäosust, et turul tekib energia ülejääk, eriti kui tootmist ei saa täpselt vastavalt nõudlusele juhtida. See peaks tooma kaasa suurema vajaduse allareguleerimise järele, et vähendada süsteemi ülekoormust ja säilitada sageduse stabiilsus. Kuid andmed näitavad, et allareguleerimise maht on suvel väiksem (2,6 MW) kui kevadel, sügisel ja talvel.
- Talvel, kevadel ja sügisel, kui päevad on lühemad ja elektrikütte kasutus suureneb, esineb samuti sageli suurem vajadus energia alla reguleerimise järele, peamiselt seoses tuuleenergia tootmise kasvuga, mis võib samuti suurendada energia ülejääki süsteemis.

Tabel 2. Sagedusturu reguleerimine aastaegade lõikes aastal 2022

Aastaeg	Keskmine ülesreguleerimise maht (MW)	Keskmine allareguleerimise maht (MW)	Ülesreguleerimiste arv	Allareguleerimiste arv	Ülesreguleerimiste protsent (%)	Allareguleerimiste protsent (%)
Suvi	3,8	2,6	1 236	952	41,9	32,2
Talv	3,1	4,7	1 051	1 060	35,8	36,1
Sügis, kevad	3,1	6,0	1 091	1 072	37,9	37,2

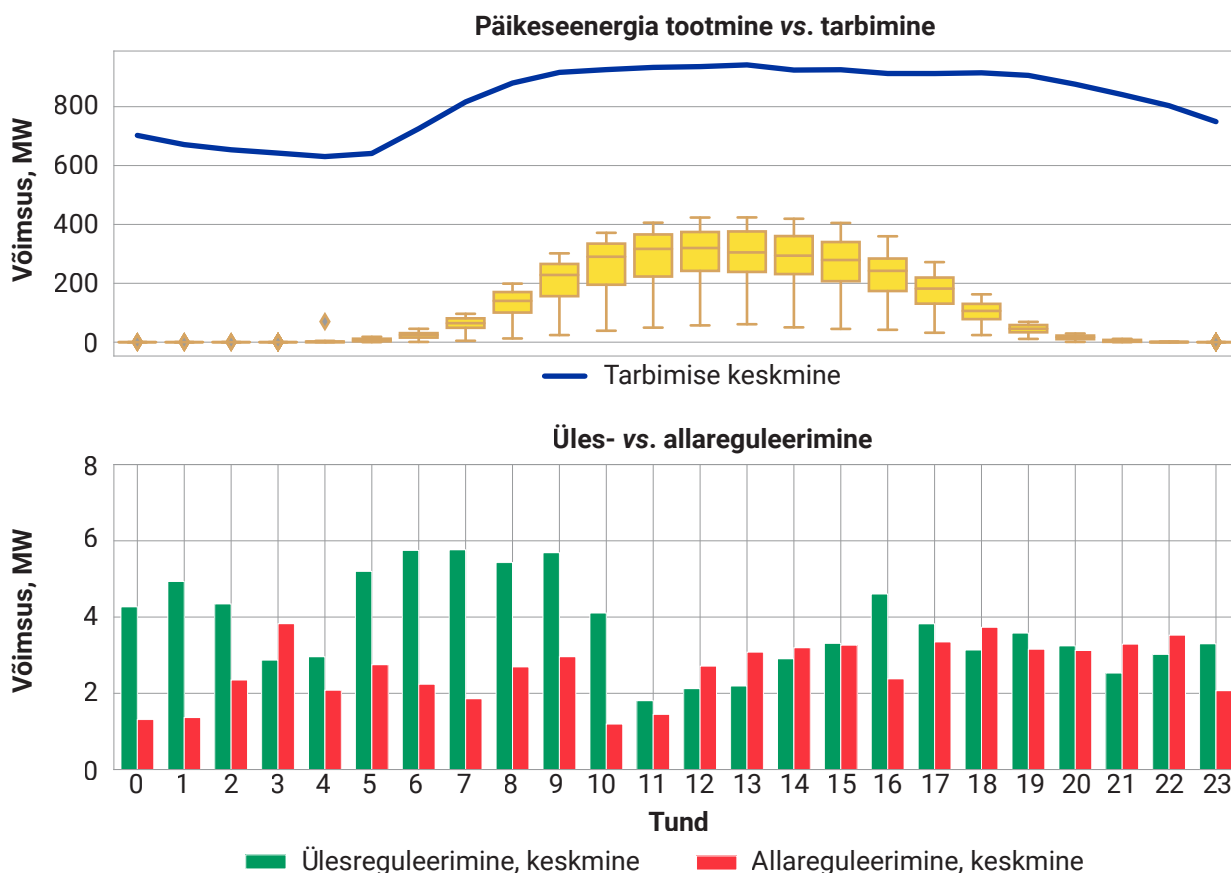
Allikas: STACC (2024)

¹⁸ • Ülesreguleerimine toimub siis, kui süsteemis on jäänud energiat puudu ja süsteemihaldur on pidanud bilansihalduritele bilansienergiat müüma. Üldjuhul kujundab ülesreguleerimine hinna tõusu ja tippu.

• Allareguleerimine toimub siis, kui süsteemis on jäänud energiat üle ja süsteemihaldur on pidanud bilansihaldurilt üle jääva bilansienergia ostma. Allareguleerimine kujundab üldjuhul hinna langust ja mõõna.

Järgneval joonisel (joonis 15) on näidatud suvekuudele iseloomulikku tarbimise ja päikeseenergia tootmise dünaamikat ööpäeva lõikes ning sageduse haldamiseks tehtud üles- ja allareguleerimise keskmisi mahte. Joonise ülemises osas on näha, et tarbimine on kõige suurem hilisõhtul, kui päikeseenergiat toodetakse vähe või ei toodeta seda üldse. Joonise alumises osas on näha, et hommikul alates kella viiest suureneb ülesreguleerimise vajadus, mis vastab tarbimise

suurenemisele. See võib viidata sellele, et enne päikeseenergia tootmise algust peab süsteemi tasakaalu hoidmiseks suurendama tootmist või vähendama tarbimist. Sarnane ülesreguleerimise vajadus on olemas ka talvel, kevadel ja suvel, kui päikeseenergia tootmine on oluliselt väiksem. See muu hulgas osutab, et ülesreguleerimine hommikutundidel tuleneb üldisest tarbimise suurenemisest, mitte niivõrd päikeseenergia muutlikust tootmisest.



Joonis 15. Tarbimise ja päikeseenergia tootmine ning sageduse juhtimine

Allikas: STACC (2024)

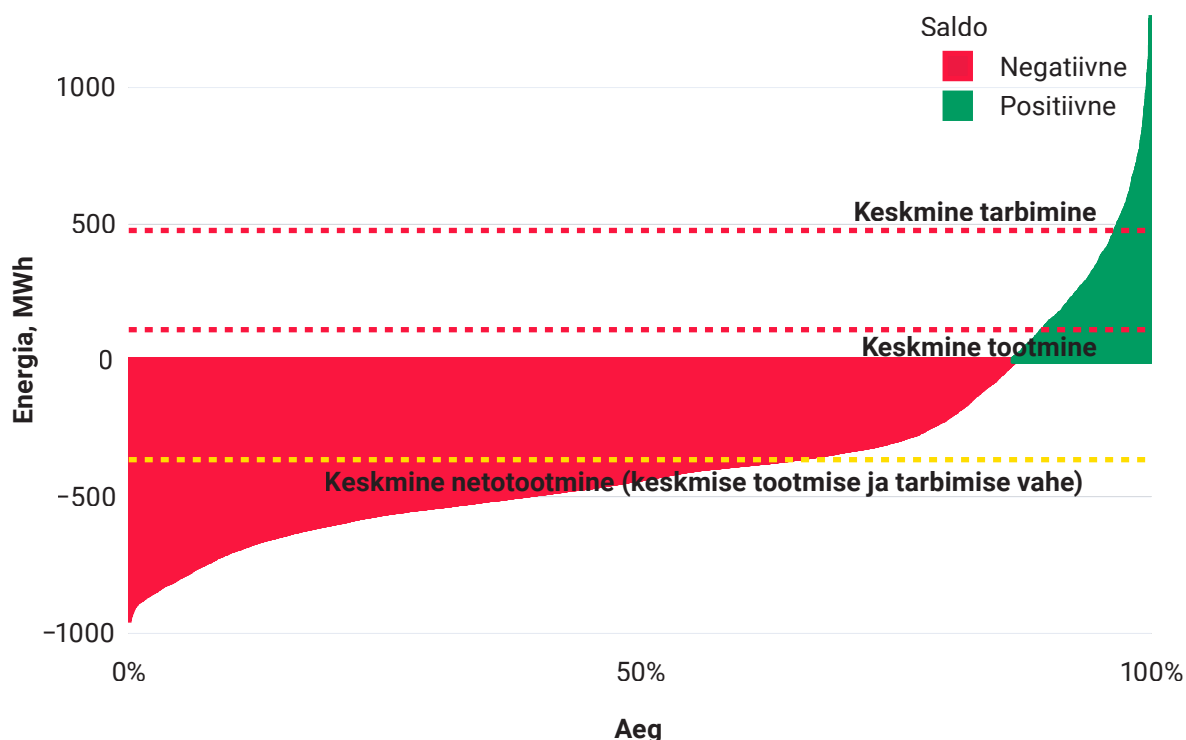
Analüüs näitab, et tootvate tarbijate tegevus ei avalda olulist mõju sagedusturule ega mõjuta elektrisüsteemi üldist stabiilsust. Kuigi päikeseenergia tootmine on juhitamatu, on selle osakaal Eesti elektrisüsteemis siiski suhteliselt väike, tootvate tarbijate osakaal selles üksnes 10–12% ning tervikuna ei mõjuta oluliselt üles- ja allareguleerimise mahtusid.

Tootvate tarbijate energia-sõltumatus suurendamine eeldab rohkem salvestamist

Tootvad tarbijad tarbivad võrgust elektrienergiat vähem kui tavatarbijad, kuid päikeseelektri tootmine sõltub päevavalguse muutlikkusest. Järgneval joonisel (joonis 16) on kujutatud toot-

vate tarbijate jaotusvõrgust tarbitud ja jaotusvõrku pakutud energiakoguse muutumist aasta jooksul. (Need andmed ei sisalda omatarbe katmiseks toodetud energiat, samuti ei hõlma need üsna väikest arvu selliseid tootvaid tarbijaid, kes pole võrguga liitunud ja tarbivad ainult enda toodetud energiat.) Ilmneb, et päikese-

energia ebaühtlase tootlikkuse tõttu ei kata tarbimist ületavatel tundidel toodetud elektrienergia ära tarbimist neil tundidel, mil tootmine on tarbimisest väiksem. Positiivse saldoga tunde, kus tootvate tarbijate tootmine ületab tarbimist, on aastas umbes 13%.

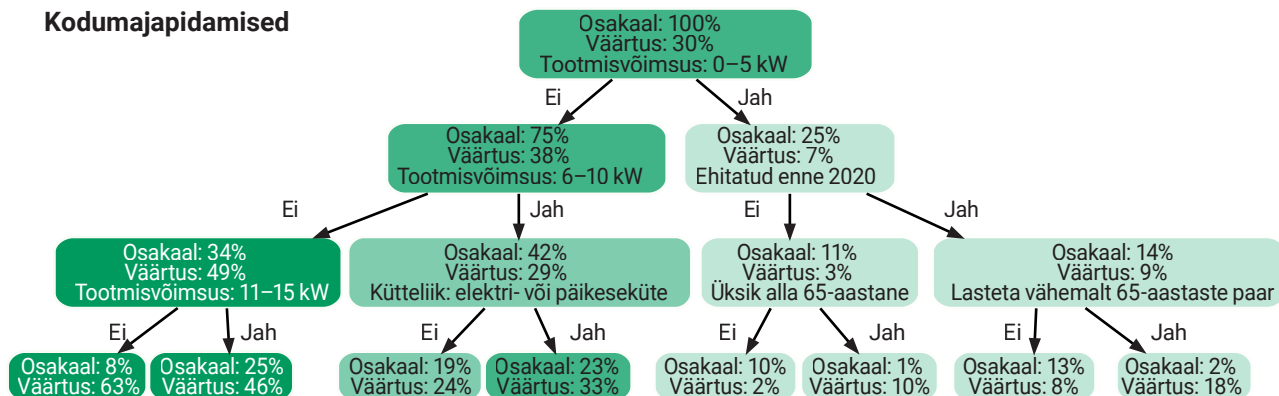


Joonis 16. Tootvate tarbijate positiivse ja negatiivse tootmise ja tarbimise saldoga tunnid aastas
Allikas: Eesti Energia 2023. aasta andmed, Arenguseire Keskuse arvutused

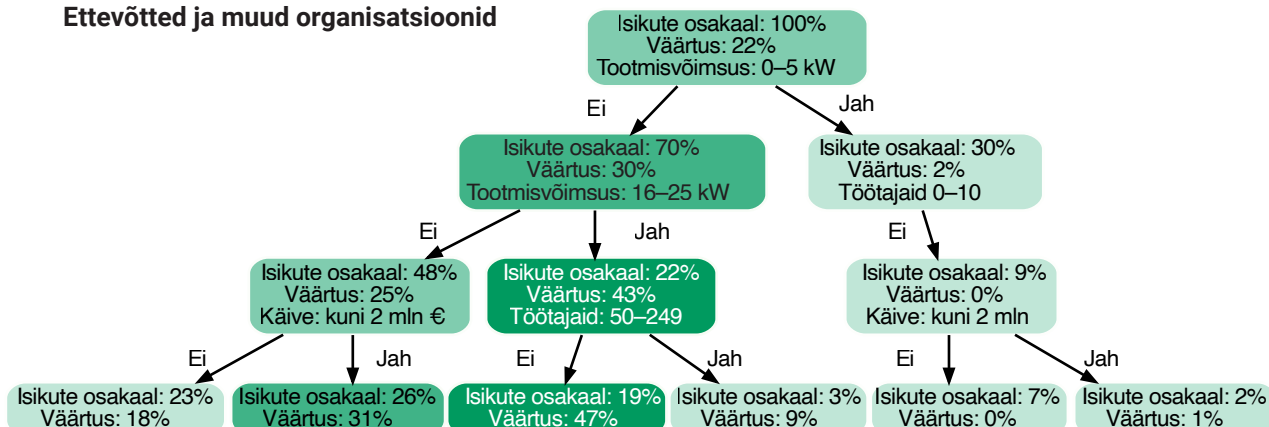
Kodumajapidamiste poolt võrku antav energiakogus on võrgust võetavast energiakogusest kumulatiivselt suurem keskmiselt 130 päeval aastas. Juriidilistest isikutest tootvatel tarbijatel on jaotusvõrku antav energiakogus kumulatiivselt tarbitavast suurem 96 päeval

aastas. Kodumajapidamiste ja ettevõtete elektri tootmise ja tarbimise profiilid on sageli küll erinevad ning see kajastub ka erinevates tundides, mil tootmine kumulatiivselt ületab tarbimist (joonis 17).

Kodumajapidamised



Ettevõtted ja muud organisatsioonid



Joonis 17. Päevade osakaal, mil kumulatiivselt võrku antud energiakogus on suurem võrgust võetud energiakogusest

Allikas: ESA ja Eleringi detailandmed, Arenguseire Keskuse arvutused

Selgitus: regressioonipuu abil on püütud leida sobivaim viis, kuidas tootvate tarbijate tootmise ja tarbimise tasakaalu päevades kõige olulisemate tegurite järgi jagada.

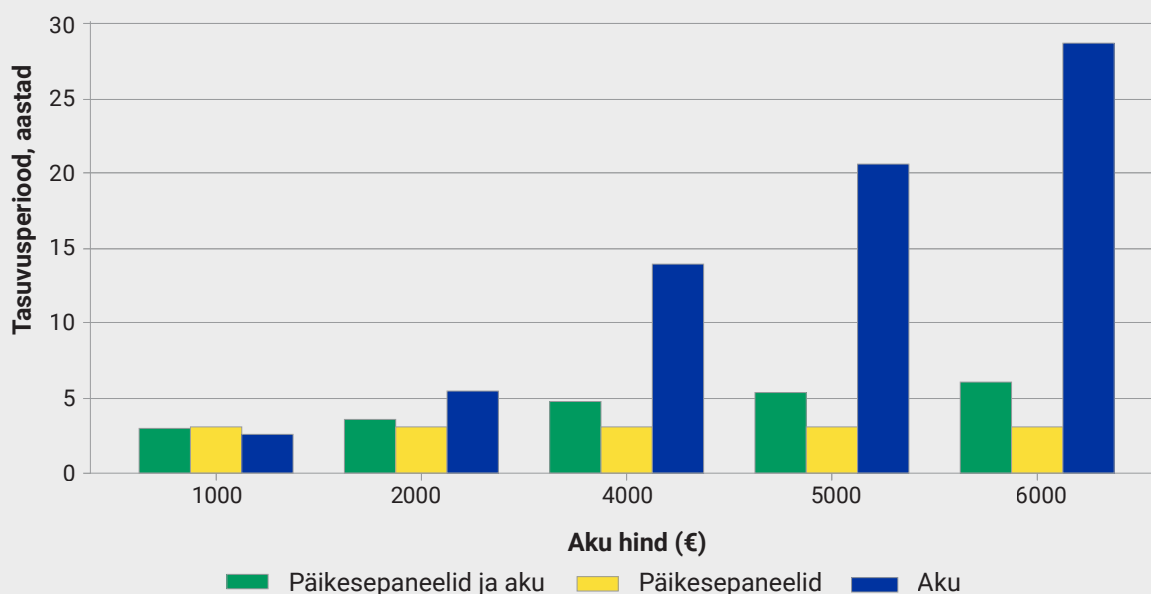
Tootvatel tarbijatel aitaks päikesenergia tootmise päevasisest ebaühtlust siluda ja omatarbe osakaalu suurendada aktiivsem tarbimise juhtimine, näiteks päeval öhtuks soojatootmine, vee soojendamine akupakkides või energia salvestamine lokaalsetes akudes. Tootvaid tarbijaid võib aidata ka

energia salvestamine jaotusvõrgu või ülekandevõrgu tasandi salvestusseadmetes, mis eeldaks peale salvestuslahenduste arendamise ka võrgu arendust, et suunata elekter madalama pingega võrgust kõrgema pingega võrku.

Salvestuse tasuvusanalüüs päikeseelektri tootmise ja akusalvesti kombineerimisel

Salvestustehnoloogiate kasutamise potentsiaali mõistmiseks analüüsiti 5–10 kW tootmisvõimsusega tootvate tarbijate seisukohast erineva mahutavusega akusalvestuse tehnoloogia soetamise tasuvust (joonis 18). Analüüsis vaadati, millal on tarbijatel otstarbekas osta elektrienergiat võrguga integreeritud akusse, millal laadida seda päikeseenergiast, millal müüa energiat akust võrku ning millal kasutada akut omatarbe katmiseks. Optimeerimise peamine eesmärk on minimeerida lõpptarbijale kilovatt-tunni maksumust. Analüüsil võeti seega arvesse elektri börsihinda, võrgutasusid (ostmisel 0,08 €/kWh, müümisel 0 €/kWh), aku laadimise kiirust (3 kWh) ning aku laadimistsüklite arvu (6500).

Kui akut kasutatakse eraldiseisvalt, on investeeringu tasuvusaeg üsna pikk, 15–25 aastat ja isegi rohkem, sõltuvalt aku mahutavusest. Ent kui akusüsteemid on kombineeritud päikeseenergia tootmisega, väheneb tasuvusperiood märkimisväärselt, lühenedes 5 aastani 5 kWh süsteemi puhul ja 8 aastani 15 kWh süsteemi puhul. Kombineerimine parandab majanduslikku tasuvust, sest päikeseenergia tootmine vähendab vajadust osta energiat võrgust. See suurendab süsteemi tõhusust ja lühendab investeeringu tasuvusperioodi.



Joonis 18. Salvestuse tasuvus aastates aku erineva mahutavuse korral

Allikas: STACC (2024)

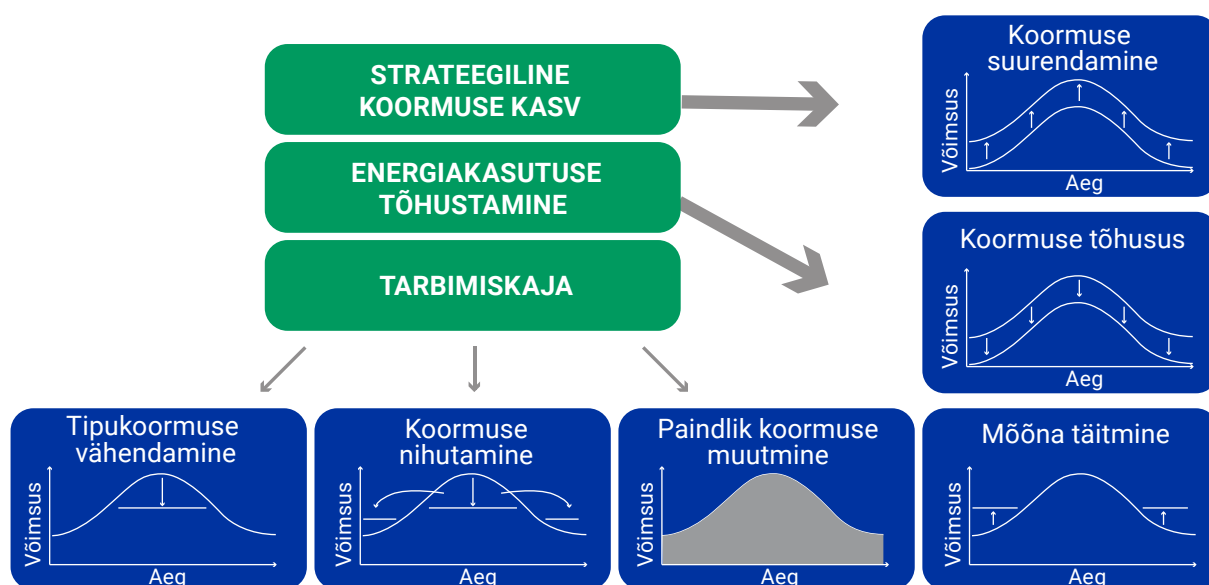
Analüüs osutab, et automaatsel juhtimisel on tasuvusaeg lühem. Salvestuse automaatne juhtimissüsteem optimeerib energia kasutamist reaalselt, arvestades energiahindu, võrgutasusid ja aku laetust, mis tähendab tõhusamat ja kuluefektiivsemat kasutust. Seevastu manuaalne juhtimine, mis põhineb ajaloolistel hinnaandmetel ja eeldab sekkumist üksnes kindlatel tundidel, toob kaasa pikema tasuvusaja. Näiteks 5 kWh salvestuse puhul väheneb tasuvusperiood automaatse juhtimise kasutamise korral (manuaalse asemel) umbes 6 aasta võrra, s.t 22 aastalt 16 aastale. 2022. aasta näitel oleks teoreetiline sääst automaatse juhtimise puhul olnud umbes 305 eurot ja manuaalse juhtimise puhul 230 eurot.



Tarbimise juhtimine –
elektritarbimise
vähendamine või
suurendamine
hetkehinna alusel

Muutuva tootismahuga hajatootmise osakaalu kasv eeldab suuremaid jõupingutusi elektri nõudluse ja pakkumise tasakaalu hoidmiseks. Elektrisüsteemis tootmise ja tarbimise tasakaalu juhtimine on läbimas arengut (joonis 19).¹⁹ Varem on tootmise ja tarbimise tasakaalu tagatud eelkõige pakkumispoolsete mehhanismidega, näiteks elektritootmist suurendades või vähendades. **Üha enam on aga võimalusi nõudluspoolselt paindlikkuse suurendamiseks tarbimise juhtimise ehk tarbimiskaja**

kaudu.²⁰ Tarbimiskaja erinevatest liikidest on käesolevas analüüsis käsitletud tipukoormuse alandamist ehk kindlal kellaajal tarbimise vähendamist, tipukoormuse nihutamist ehk tarbimise osaliselt muule ajale üle viimist ja paindlikku koormuse ajastamist. Siinjuures erinevad nõudluse ja pakkumise tasakaalustamise meetmed toimivad koos. Näiteks võimendab energiatõhusus tarbimiskaja mõju, kui soojustatud eluruum võimaldab kütteseadme pikemaks ajaks välja lülitada.



Joonis 19. Nõudluse ja pakkumise tasakaalu tagamise erinevad viisid

Allikas: Gough et al. (2020)²¹

Tipukoormuse alandamine vähendab vajadust toota rohkem energiat, suurendada elektrivõrgu läbilaskevõimet ning teha nendeks tarvilikke investeeringuid. Sarnaselt aitab ka koormuse nihutamine ja tarbimise ajastamine paremini ära kasutada tootmisvõimsusi ning vähendada tootmise ja elektrivõrgu kulusid.²²

Aktiivsed tarbijad saavad tarbimist juhtida oma üksikute koormustena iseseisvalt. Sellise kaudse juhtimise puhul reageerib tarbija eelkõige elektrihinnale, vähendades tarbimist kõrge hinnaga tundidel. Võimalik on ka tegevusmudel, mille korral koondatakse eri tootjatelt pärinev elektrienergia ning tarbijate

¹⁹ Matthew Gough et al. (2020). Prosumer Flexibility: A Comprehensive State-of-the-Art Review and Scientometric Analysis. *Energies* 13, nr 11, jaanuar: 2710. Arvutivõrgus: <https://doi.org/10.3390/en13112710>.

²⁰ S. Panda et al. (2023). A Comprehensive Review on Demand Side Management and Market Design for Renewable Energy Support and Integration. *Energy Reports* 10: 2228–50. Arvutivõrgus: <https://doi.org/10.1016/j.egy.2023.09.049>.

²¹ Gough et al.

²² Gough et al.

energiavajadus. Sellisel juhul ostavad tarbijad tarbimise juhtimise teenust agregatorilt, kes kogub tarbijatelt kokku elektriturul osalemiseks piisava energiakoguse ning kaupleb koondatud energiakogustega hinna ja koguse suhtes paindlikul elektriturul.

Sisuliselt toimib Eestis praegu üksnes tarbijate iseseisev tarbimise juhtimine vastusena elektri börsihinna muutumisele ning motivatsioon kõrge hinnaga tundidel tarbimist vähendada on vaid muutuvhinnaga elektri tarbijatel. Umbes $\frac{2}{3}$ Eestis tarbitavast elektrist müüakse börsihinnaga seotud pakettide kaudu. Eestis praegu veel puuduvad agregatoriteenused, mis muu hulgas võimaldaks tarbimise juhtimisse kaasata ka fikseeritud hinnaga tarbijaid.²³

Tarbimise juhtimise võimalused sõltuvad eelkõige majapidamistes kasutusel olevatest tehnilistest lahendustest ja uute nutikate agregeerimisvõimaluste kättesaadavusest. Tehnoloogiliselt on võimalik tarbimist juhtida, vähendades või muutes seadmete kasutust ja seeläbi tarbitavat koormust. Näiteks saavad majapidamised panna soojuspumba tööle või elektrisõiduki laadima pärastlõuna asemel hilisõhtul või öösel, kui energia tarbimise nõudlus on väiksem. Tarbimise juhtimine võib tarbija jaoks olla ka automatiseeritud, nii et tarbija ei peaks järjepidevalt aktiivselt tegutsema. Näiteks börsi tunnihinda ja

ilmaproгноosi jälgiv automaatika saab juhtida soojuspumba tööd ilma inimese aktiivse sekkumiseta.

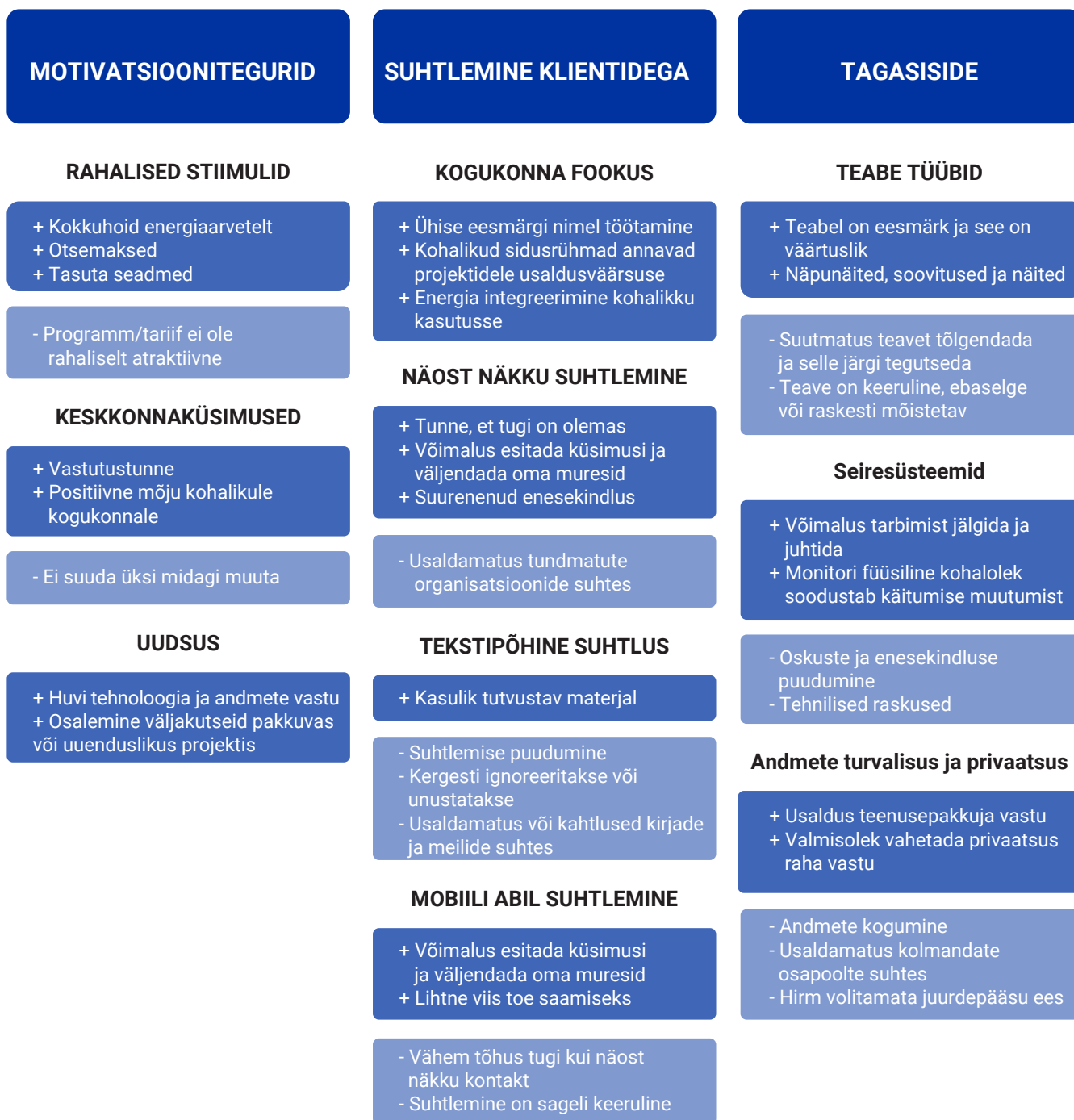
Tarbimise koormuste koondamine muudab aga tarbimise juhtimise kliendi jaoks veelgi varjatumaks. Näiteks agregatoriteenuse osutaja optimeerib kütte- ja ventilatsioonisüsteemis kasutatavaid elektrienergia võimsuseid või akusalvestiga elektrisõidukite laadimist majapidamiste vahel, et vähendada elektrivõrgu koormust või bilansi riski. Uuemal ajal hõlmatakse tarbimise juhtimise meetme alla ka hajatootmise ja -salvestamise võimalused, mis võivad samuti aidata aktiivsel tarbijal ning lokaalselt laiemalt juhtida koormusi ja tasakaalustada süsteemi tervikuna.

Eestis on üldiselt head eeldused tarbimise juhtimise levikuks, kuid seda piiravad energiaturu suur kontsentratsioon ja seaduselüngad

Tarbijate reageerimine elektrihinnale on seotud laiemal käitumusliku keskkonnaga ehk valikuarhitektuuriga. Süstemaatilise kirjandusülevaate järgi mõjutavad tarbimise juhtimist ja selle määra mitmed tegurid, sealhulgas motivatsioon, suhtlus ja tagasiside (joonis 20).²⁴ Eriti on esile tõstetud sotsiaalse suhtluse ja toe väärtust, samuti klientide oskuste ja teadmiste ning kergesti tõlgendatava teabe tähtsust.

²³ Riigikontroll juhtis 2023. aasta novembris oma aruandes „Eesti elektrisüsteemi valikud“ muu hulgas tähelepanu sellele, et agregatoriteenuse osutamine on Eestis turumudeli ja seadusandluse puudujääkide tõttu üsna piiratud. Vt Riigikontroll (2023). Eesti elektrisüsteemi valikud. Millised on Eesti elektrisüsteemi järgmise kümnendi suundumused ja väljakutsed? Riigikontrolli ülevaade Riigikogule. Tallinn, 6. november 2023.

²⁴ Petteri Siitonen *et al.* (2023). Customer perspectives on demand response in Europe: A systematic review and thematic synthesis. *Sustainability: Science, Practice and Policy* 19, nr 1, 8. detsember: 2154986. Arvutivõrgus: <https://doi.org/10.1080/15487733.2022.2154986>.



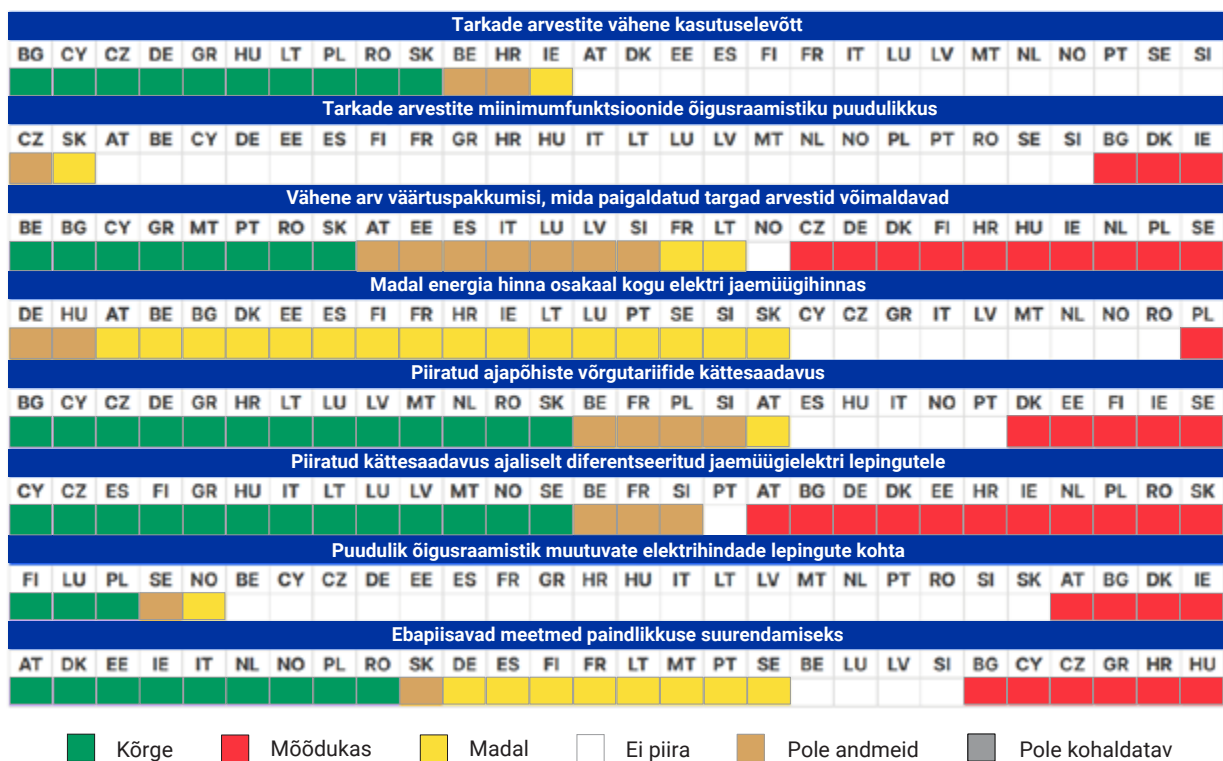
Joonis 20. Tarbimise juhtimist kujundavad positiivsed (+) ja negatiivsed (-) tegurid

Allikas: Siitonen et al.²⁵

Tarbijate paindlikku käitumist elektri tarbimisel mõjutavad ka institutsionaalsed tegurid, mis kujundavad muu hulgas energia hinda. Euroopa Liidu liikmesriikide vahel tehtud võrd-

luste järgi on Eesti pigem nende riikide seas, kus on vähe paindlikkust piiravaid tegureid (joonis 21).

²⁵ Siitonen et al.



Joonis 21. Kodumajapidamiste elektrihinda kujundavad tegurid riikide järgi 2022. aastal

Allikas: ACER (2023)²⁶

Tarbimiskaja soodustavaks teguriks on muutuva hinnaga elektrienergia ostu lepingute osakaal. Võrdlusandmete järgi on Eesti nende riikide seas, kus need lepingud on kõige tavalisemad. Enim on neid Norras, millele järgnevad Eesti ja Hispaania (mitte-kodutarbijate puhul

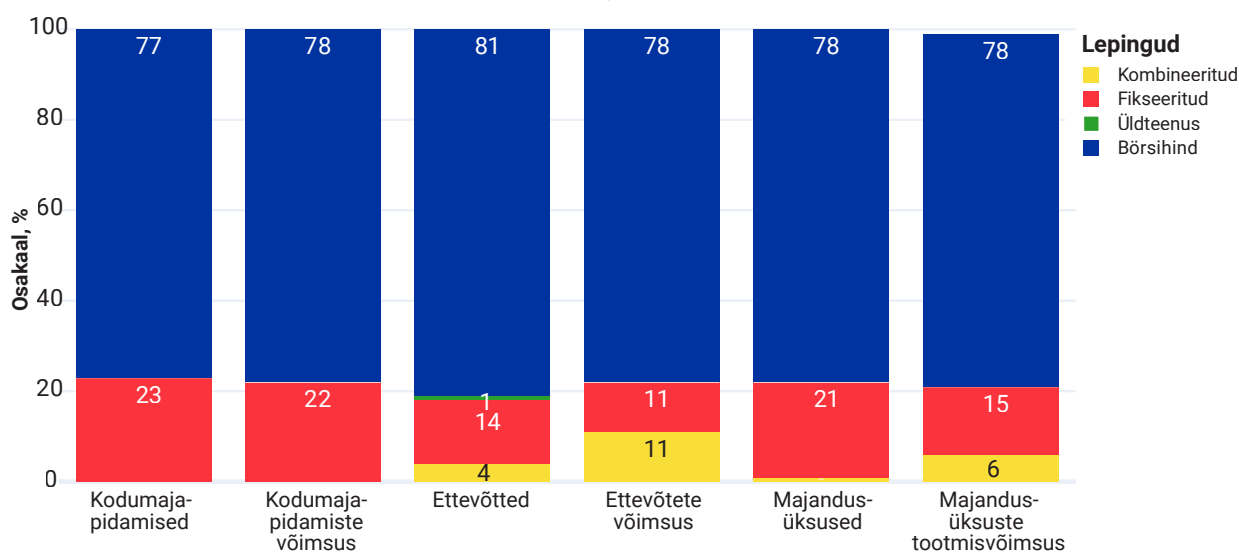
ka Läti).²⁷ Suurimal energiamüüjal Eesti Energia on koduklientide ja väikeettevõtete hulgas ligikaudu 65%-l elektrihind fikseeritud, ülejäänutel sõltub hind päeva jooksul kõikumast börsihinnast. Seevastu tootvatel tarbijatel on börsihind lausa 78%-l (joonis 22).

²⁶ ACER (2023). Demand response and other distributed energy resources: what barriers are holding them back? Market Monitoring Report. Arvutivõrgus: https://www.acer.europa.eu/sites/default/files/documents/Publications/ACER_MMR_2023_Barriers_to_demand_response.pdf.

²⁷ ACER.

Tootvate tarbijate lepingute osakaal

Eesti Energia kliendid, kes on paigaldanud päikesepaneele, lepingute järgi



Joonis 22. Tootvate tarbijate elektrienergia ostu ja müügi lepingute osakaal 2023. aastal

Allikas: Enefit (2023), Arenguseire Keskuse arvutused

Klientide paindlikkust iseloomustab ka selliste klientide arv, kes vahetavad elektrienergia müüjat. Võrdlusandmete järgi on Eesti nende riikide seas, kus elektrienergia müüja vahe-

tamise määr on madal.²⁸ Eleringi²⁹ andmetel vahetati 2024. aasta märtsis elektrimüüjat 6779 korral ehk 1%-l tarbimiskohtadest.

Mõõtepunktid ja tarbimispunktid on erinevad, piirates tarbija valikuvõimalusi

Elektrituru seaduses (§ 3) on kasutatud liitumispunkti, mõõtepunkti ja tarbimispunkti mõisteid. Aktiivseks tarbimiseks on vaja, et tarbijal oleks võimalik oma tarbimiskoha järgi saada mõõteandmed ning valida võrgu- ja energiateenuse leping. Praktikas võib tarbijate (näiteks korteriühistute kodumajapidamised, kaubandus- ja teeninduskeskustes tegutsevad ettevõtted) võimalus saada mõõteandmeid või valida teenusepaketti ja lepingutingimusi olla piiratud, kuna võrgu- ja energiateenuse leping on teisel kliendi (näiteks korteriühistul, kaubandus- või teeninduskeskusel).

Aktiivseks tarbimiseks ja sellega seotud mõõteandmete vahetamiseks võib olla tarvilik paigaldada erinevatele seadmetele või funktsioonidele eraldi mõõdikud. Seepärast on Euroopa ühise elektrituru konsultatsioonidel soovitatud juurutada regulatsioon, mis toetaks tarbijate võimalusi kasutada oma tarbimispunktis mõõdikuid, sõlmida teenuslepinguid ning arvestada energiakoguseid erinevate funktsioonide või seadmete järgi.³⁰

Allikas: Arenguseire Keskus Javadi (2024) järgi

²⁸ ACER

²⁹ Elering (2024). Elektri- ja gaasilepingute ülevaade. Arvutivõrgus: <https://elering.ee/elektri-ja-gaasilepingute-ulevaade-0>.

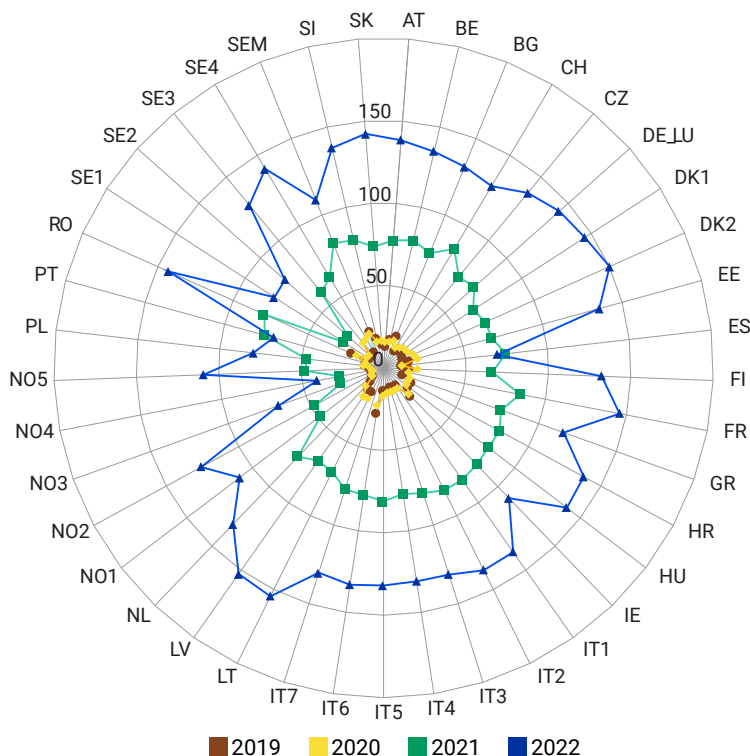
³⁰ EDP. Network Code for Demand Response. EDP Comments to DSO Entity & ENTSO-E Public consultation. Arvutivõrgus: <https://consultations.entsoe.eu/markets/public-consultation-networkcode-demand-response/results/ncdrpublicconsultationstakeholderssupportingdocuments.pdf>.

Kuigi tarbijad on lepingu järgi paindlikud ehk börsipaketi valinute osakaal on suur, on Eesti energiaturg üsna suuresti kontsentreeritud. Eestis on kolme suurema energiapakkuja osakaal turul napilt alla 70%, mida peetakse suure kontsentreeritusega turuks. Eesti on nende riikide seas, mille kontsentreerituse indeksi väärtus on suur (Herfindahli-Hirschmani indeks on umbes 5600, kusjuures väärtust 2000 loetakse piiriks, millest algab kontsentreeritud turg).³¹

Norras on sarnaselt Eestiga palju selliseid kliente, kellel on muutuva hinnaga energiaostu leping, kuid sealne turg on vähem kontsentreeritud ning suurem osa klientidest vahetab aasta jooksul energiaandjat. Eesti kontsentreeritud turg võib ka takistada näiteks elekt-

rienergia müüjaid ja jaotusvõrku nõudluse reageerimise teenuse kujundamisel ja pakkimisel ning piirata elektriturul uute äri- ja tegutsemismudelite juurdumist.

Tarbimise juhtimist motiveerib elektrienergia muutlikkus. Hinna tippude ja mõõnade levik osutab tervikuna vajadusele süsteemi paindlikkust suurendada, muu hulgas pöörata tähelepanu muutliku tootmise tasakaalustamise võimalustele. Alloleval joonisel (joonis 23) on iseloomustatud päev-ette-elektrituru³² energia hinda aastatel 2019–2022. **Eesti energiaturule on sarnaselt teiste Euroopa Liidu riikide energiaturgudega iseloomulik volatiilsuse suurenemine viimastel aastatel.** 2022. aastal kuulus Eesti nende riikide hulka, kus hindade volatiilsus oli pigem keskmine või üle selle.



Joonis 23. Elektrienergia päev-ette-turu hinna aastane volatiilsus aastatel 2019–2022

Allikas: ACER (2023)³³

Märkus: Joonisel on kujutatud aastane volatiilsus, mis on arvatud kõigi päev-ette-elektrituru tunnihindade standardhällbena.

³¹ ACER (2023). Demand response and other distributed energy resources: what barriers are holding them back? Market Monitoring Report.

³² Päev-ette-elektriturg on elektrituru osa, kus börsil kaubeldakse järgmisel päeval igaks tunniks tarnitava elektrienergia.

³³ ACER (2023). Demand response and other distributed energy resources: what barriers are holding them back? Market Monitoring Report.

Eestis on veel vähe aktiivseid tarbijaid, kes elektri hinnale jooksvalt reageerivad

Elektrinõudluse reageerimist hinnale iseloomustab hinnaelastsus, mis näitab, mitu protsenti tarbimine muutub, kui hinnad muutuvad 1% võrra. Uuringute järgi on elektrienergia nõudlus vähe elastne: 1%-line elektri hinna tõus tooks kaasa tarbimise vähenemise $-0,1\%$.³⁴ Eesti puhul on hinnatud, et elektritarbimise lühiajaline hinnaelastsus on keskmiselt $-0,12\%$, jäädes vahemikku $-0,09\%$ (tööpäeviti) kuni $-0,16\%$ (nädalavahetuseti).³⁵

Üks võimalus hinnata hinnatundlike tarbijate arvu, kes vähendavad oma elektritarbimist kõrgema hinnaga tundidel, on hinnata korrelatsioonseost tarbijate päevase energiatarbimise ja börsihinna suuruse vahel. Vaadates³⁶ tarbijaid, kelle Pearsoni korrelatsioonikordaja³⁷ on alla $-0,5$, oli 2021.–2022. aastal 3320–7078 sellist elektriklienti, kes vähendasid oma elektritarbimist kõrgema hinnaga tundidel, s.o alla 1% kõigist klientidest ja nende tarbimisest. Tuleb märkida, et kasutatud meetodika toob esile tarbijate hinnatundlikkuse, kuid ei pruugi anda täielikku ülevaadet sellest, kui paljud tarbijad suudavad oma tarbimist ajas nihutada. 2021. aastal, kui elektri hind kõikus märkimisväärselt ja saavutas erakordselt kõrgeid tippe, suurenes aktiivsete tarbijate arv märgatavalt, kuid jäi siiski alla 4%. Sellest saab tervikuna järeldada, et aktiivsete tarbijate mõju Eesti elektritarbimisele on veel väheldane.

Allikas: STACC (2024)

Tarbimiskaja maht on Eestis talvisel ajal kokku 75–100 MW

2014. aastal TalTechi ja Eleringi tehtud analüüs³⁸ hindas Eesti puhul teoreetiliseks tarbimise vähendamise potentsiaaliks 213–407 MW tunnis. Suurim potentsiaal on analüüsi andmetel kodumajapidamistel (näiteks raketades hoonete ja seadmete automaatikat). Analüüsis hinnatakse, et teoreetiliselt oleks tarbimise juhtimisega võimalik tiputarbimist vähendada kolmandiku võrra. Elering³⁹ hindas

2022. aastal, et Eestis vähenes 4000-eurose hinnaga tunnil elektritarbimine võrreldes eelmise ja järgmise päeva sama tunniga veidi üle 10%.

Tarbimise juhtimisel on oodatavalt majanduslik kasu: 2015. aastal hindas Pöyry⁴⁰ Eesti tarbijate potentsiaalseks kasuks 1–3 miljonit eurot aastas (aastatel 2025–2030) ning TalTech ja Elering 2014. aastal 6,7–30 miljonit eurot aastas.

³⁴ Xavier Labandeira, José M. Labeaga ja Xiral López-Otero (2017). A meta-analysis on the price elasticity of energy demand. *Energy Policy* 102, 1. märts: 549–68. Arvutivõrgus: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2017.01.002>; Xing Zhu *et al.* (2018). A meta-analysis on the price elasticity and income elasticity of residential electricity demand. *Journal of Cleaner Production* 201, 10. november: 169–77. Arvutivõrgus: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.08.027>.

³⁵ Andres Võrk ja Helen Poltimäe (2023). Universaalteenuse juurutamise mõju kodutarbijate elektritarbimisele. *Riigikogu Toimetised* 47: 111–20.

³⁶ Analüüsi viis Arenguseire Keskuse tellimusel läbi STACC.

³⁷ Pearsoni korrelatsioon mõõdab lineaarseid seoseid kahe kvantitatiivse muutuja vahel, eeldades andmete normaaljaotust.

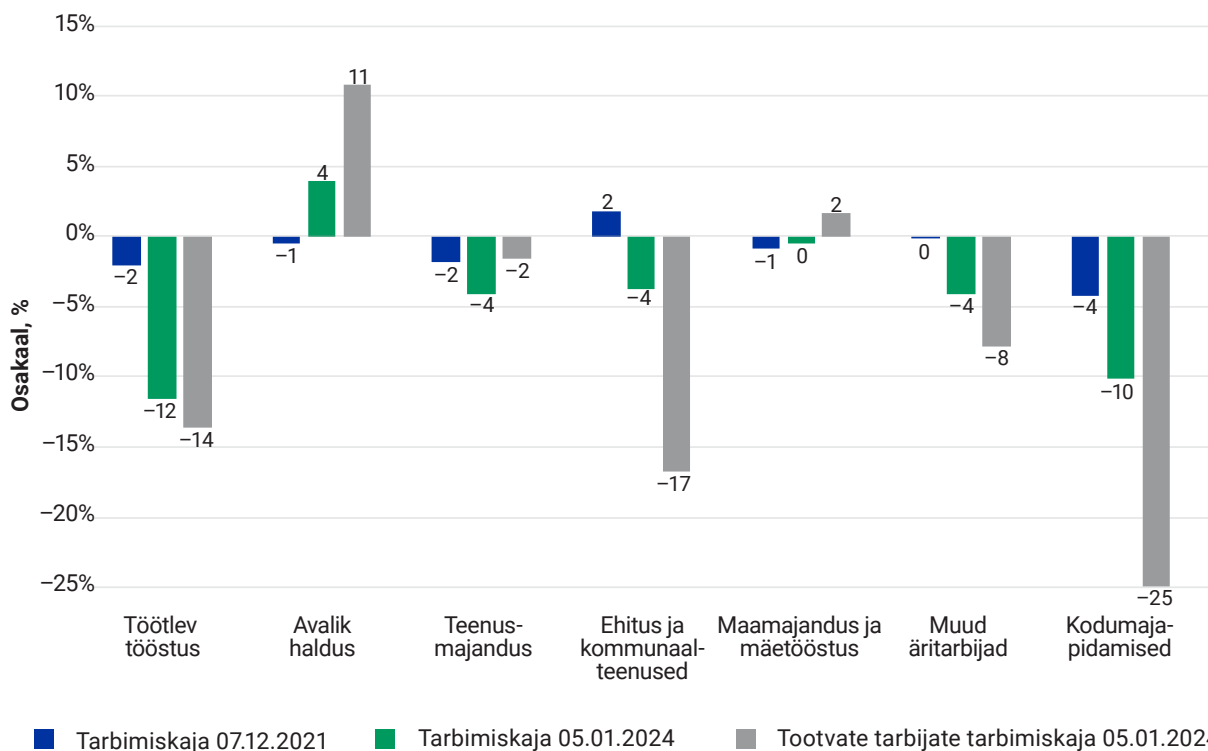
³⁸ Argo Rosin, Imre Drovtar, Siim Link, Hardi Hõimoja, Heigo Mölder ja Taavi Mõlle (2014). Tarbimise juhtimine. Suurtarbijate koormusgraafikute salvestamine ning analüüs tarbimise juhtimise rakendamise võimaluste tuvastamiseks. Elering ja Tallinna Tehnikaülikool. Arvutivõrgus: https://elering.ee/sites/default/files/attachments/Tarbimise_juhtimine_1.pdf.

³⁹ Elering (2022). Eesti elektrivarustuskindluse aruanne. Arvutivõrgus: https://elering.ee/sites/default/files/2023-05/elering_vka_2022.pdf.

⁴⁰ Sarah Carter *et al.* (2015). Demand-side Response as Source for Flexibility. *Eleringi Toimetised* 3/2015 (11). Arvutivõrgus: https://energiatagud.ee/sites/default/files/images_sala/3/3e/Elering_AS_Tarbimise_juhtimine_elektris%C3%BCsteemi_paindlikkuse_tagajana_2015.pdf.

Tarbimiskaja potentsiaali kohta ajakohase hinnangu saamiseks analüüsitakse järgnevalt tarbimise reageerimist hinnahüpetele.⁴¹ Viimase kolme aasta jooksul on Eestis olnud kolm päeva (7. detsember 2021, 17. august 2022 ja 5. jaanuar 2024), kui börsihind on kokku 15 tunnil ületanud 1000 EUR/MWh.

Nendel tundidel on börsihinnaga elektri ostjad reageerinud hinnahüpetele tarbimise vähendamisega. Tarbimise vähendamise hindamiseks on mõistlik vaadata talviseid hinnatippe (7. detsember 2021 ja 5. jaanuar 2024), kuna siis on tarbimise maht ja ka selle vähendamise potentsiaal suurimad.



Joonis 24. Eesti Energia börsihinnaga tarbijagruppide tarbimiskaja osakaal nende elektritarbimises nendel tundidel, kui elektrienergia hind oli üle 1000 EUR/MWh

Allikas: Tallinna Tehnikaülikool (2024)

Analüüsi kokkuvõtval joonisel (joonis 24) esitatud andmete põhjal saab erinevate tarbijagruppide tarbimiskaja kohta teha mitu olulist järeldust.

- Kõige aktiivsemalt reageerivad hinnahüpetele töötleva tööstuse ettevõtted ja kodumajapidamised, eriti soojuspumpadega eramud.
- Negatiivselt paistab silma avalik sektor, kus erinevalt teistest tarbijagruppidest tarbiti kõrge hinnaga tundidel elektrit baastasemest hoopis rohkem.

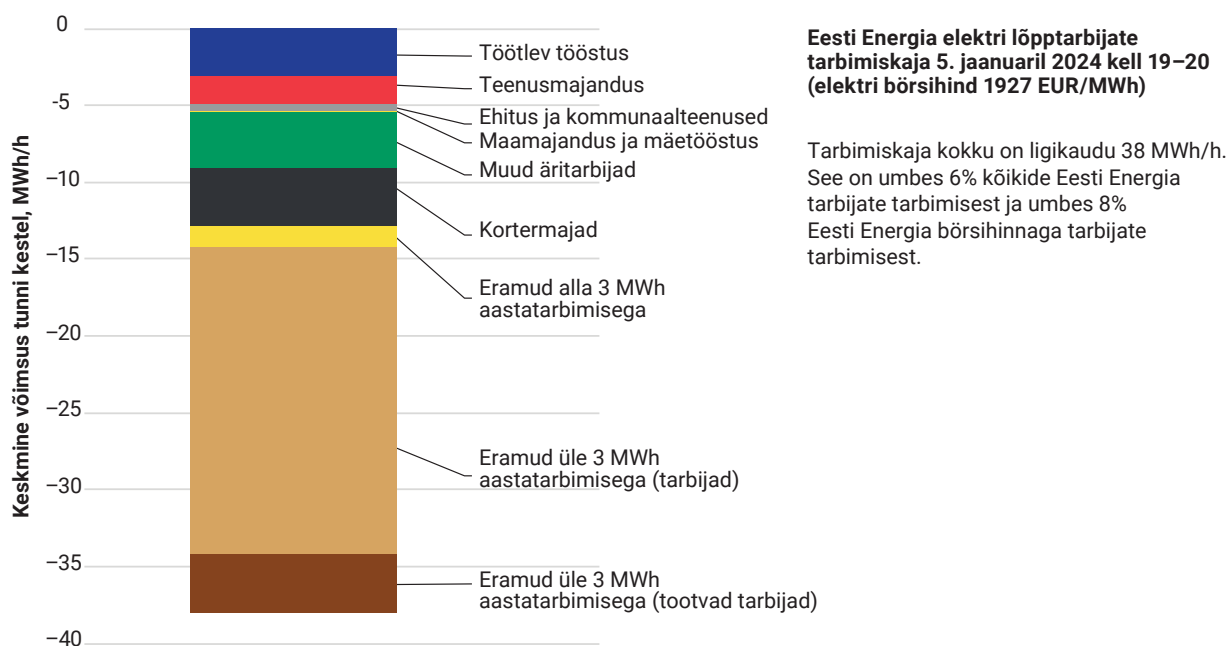
- Tarbijad on õppinud oma tarbimist paremini juhtima: kui 7. detsembril 2021 vähendasid aktiivsemad börsihinnaga tarbijagrupid ülikõrge hinnaga tundidel oma tarbimist 2–4%, siis 5. jaanuaril 2024 vähendasid kodutarbijad ja töötleva tööstuse ettevõtted tarbimist juba 10–12%.
- Kõikides tarbijagruppides (v.a avalikus sektoris) paistavad positiivselt silma tootvad tarbijad ehk need tarbijad, kes on paigaldanud elektri tootmiseks päikesepaneelid. Nende tarbijate suurem

⁴¹ Analüüsi viis Arenguseire Keskuse tellimusel läbi Tallinna Tehnikaülikooli koosseisus tegutsev FinEst Targa Linna Tippkeskus koos ülikooli elektroenergeetika ja mehhatroonika instituudiga.

teadlikkus ja paindlikkus on võimaldanud neil vähendada oma elektritarbimist kodutarbijate sektoris 2,5 korda rohkem ning kommunaalteenuste sektoris lausa 4 korda rohkem, kui seda on teinud tavalised börsihinnaga tarbijad.

Eesti Energia tarbijate andmete analüüsist võib järeldada, et börsihinnaga tarbijad vähendasid 5. jaanuaril 2024 ülikõrge hinnaga tundidel oma

tarbimist kokku 30–40 MW (joonis 25). Arvestades Eesti Energia 50%-list turuosa Eesti elektrimüügis ja tarbimise vähenemisest tulevat energiakao kahanemist ning eeldades, et ülejäänud elektrimüüjate tarbijate struktuur ja käitumine on **Eesti Energia elektritarbijate omaga sarnane, võib hinnata, et tegelik tarbimiskaja maht Eestis talvisel ajal on kokku 75–100 MW** (võrdluseks: tiputarbimine Eestis on umbes 1,6 GW⁴²).



Joonis 25. Eesti Energia elektri lõpptarbijate tarbimiskaja kõige kõrgema elektrihinnaga tunnil
Allikas: Tallinna Tehnikaülikool (2024)

Tarbimiskaja tehniline potentsiaal on tunduvalt suurem kui tarbijate valmisolek ja motivatsioon tarbimist vähendada. Fikseeritud elektrihinnaga tarbijad, kelle tarbimine moodustab ligikaudu kolmandiku kogutarbimisest, ei ole rahaliselt motiveeritud ülikõrge hinnaga tundidel oma tarbimist vähendada. Tarbijate teadlikkus võimalusest vähendada oma elektriga seotud kulutusi tarbimise juhtimise teel on veel napp. **5. jaanuaril 2024 kõrge hinnaga tundidel säästsid tarbimist vähendanud tarbijad (võrgutasusid ja makse**

arvestamata) kokku umbes 1,5 miljonit eurot. See näitab, et tarbimise juhtimisega saavutatav sääst võib olla märkimisväärne.

Ulatuslikuma rahalise motivatsiooni loomiseks oleks elektrituruseadust vaja täiendada tarbimisvõimsuste agregeerimisel põhinevate ärimudelite ja reguleerimisturu regulatsiooniga. Selle alusel makstaks kõrge elektrihinnaga tundidel oma tarbimist vähendanud või madala elektrihinnaga tundidel tarbimist suurendanud tarbijatele boonust

⁴² Tipukoormused on viimasel kümnel aastal olnud vahemikus 1400...1600 MW; tulevikus võib kasv olla kiirem kuid hinnanguliselt on aastal 2035 vahemikus 1700...2200 MW Elering (2022). Eesti elektrivarustuskindluse aruanne. Arvutivõrgus: https://elering.ee/sites/default/files/2023-05/elering_vka_2022.pdf.

vastavalt reguleerimisturul kujunevale teenuse hinnale. Barani *et al.* (2024)⁴³ simulatsiooni järgi suurendaks selline nõudluse juhti-

mise lähenemine võrgusalvestuse kasutuselevõttu ja päikeseenergia tootmise levikut ning vähendaks elektri hinda.

Tarbimise juhtimise regulatiivsed väljakutsed

15 minuti põhisele arvestusele üleminek toetab aktiivset tarbimist ja paindlikkusteenu-

seid. Euroopa elektrisüsteemi tasakaalustamise eeskiri (2017/2195) sätestab, et kõikides mõõtmispunktides peab alates 2025. aastast kasutama 15 minuti põhist arvestust. Eesti plaanib regulatsiooni jõustada hiljemalt 2031. aastal. Selline arvestus võimaldab hinna järgi tarbimist juhtida mitte tunni, vaid veerandtunni kaupa, mis muudab tarbimise juhtimise ja selle teenused paindlikumaks.

Lisaks takistab päevasisestel ja paindlikusturgudel osalemist tarbimisandmete edastamise hilinemine. Eesti võrgueeskiri (elektrituruseaduse § 42 lõike 2 alusel) sätestab, et mõõteandmed tuleb võrguettevõttele edastada kord päevas, see ei pruugi aga energiaturgudel osaleva tarbija jaoks piisav olla. Tarbimise juhtimise edendamiseks on tarvilik õiguslike sätete vastuvõtmine ning väle üleminek 15-minutilisele arvestusele ja andmevahetusele.

Agregeerimisteenuste tingimused on vaja välja töötada ja jõustada.

Tarbimise juhtimise laiaulatusliku arengu toetamiseks sätestab elektrituruseadus (§ 21⁴), et Konkurentsiamet töötab välja tingimused agregeeritud koormuste kasutamiseks tarbimiskajas, kuid need reeglid on veel koostamisel. Praegune õigusselgust ja -kindlust mitte loov regulatsioon ning sellest lähtuv praktika võivad muu hulgas tõrjuda konkurentsi ja takistada turule sisenemist. Täpsustatud regulatsioon on oluline ka tootvatele tarbijatele, kelle tootmisvõimsus on alla 400 kW (alates 2026. aastast 200 kW) ning kellel Euroopa elektrienergia turu määrus (2019/943) lubab kasutada agregeerimisteenust bilansi juhtimiseks ja sel moel vabaneda ise sellest kohustusest.

Kuna puuduvad selged õiguslikud alused tasu maksmiseks agregatoritele nende eabilansiga kaasnevate kulude ja saamata jäävate tulude katmiseks, võib olla takistatud agregeerimisteenuste pakkumine ja tarbijatel vastava teenuse ostmine, mis vähendab tarbijate võimalusi ja huvi nõudluse juhtimise teenuste vastu.⁴⁵

Paindlikkusteenuste turu kujunemine eeldab avatud, kuid kaitstud andmevahetust, ning selle puudumine päädib turule sisenemise takistustega.

Aktiivset tarbimist võimaldavad targad võrguseadmed, sealhulgas kauglugemisseadmed, mis salvestavad kliendi elektrienergia koguste andmed ning võimaldavad neid edastada kliendile

⁴³ Mostafa Barani *et al.* (2024). Residential demand response in the European power system: No significant impact on capacity expansion and cost savings. *Sustainable Energy, Grids and Networks* 38, 1. juuni: 101198. Arvutivõrgus: <https://doi.org/10.1016/j.segan.2023.101198>.

⁴⁴ Kalle Kukk, Siim Meeliste ja Luc Van Nuffel (2023). REPowerEU Priority 3: Proposed measures to facilitate demand side response and to improve the flexibility market functioning in Estonia. Trinomics, lk 8–10. Arvutivõrgus: https://energiatalgud.ee/sites/default/files/2023-04/Ad-hoc_report_Demand_Side_Response%20-%20FINAL%5B38%5D.pdf.

⁴⁵ Margrethe Eftestad Hagen *et al.* (2022). Demand Response and Energy Prosumers: A Legislative Comparison Between Estonia, France and Norway. Report. The University of Bergen. Arvutivõrgus: <https://bora.uib.no/bora-xmlui/handle/11250/3026555>.

ja energiateenuse osutajale automaatselt, ilma mõtteseadme juurde minemata. Paindlikkus-teenuste, sealhulgas agregeerimisteenuste arendamise riskiks on pakkujate vähesus, mis tuleneb digitaalsete andmeplatvormide kalduvusest monopolidele. Varajased teenusepakkujad võivad oma huvides kasutada ära tarbijate valmisolekut jagada tarbimise ja bilansi andmeid ühe (esimesena pöörduja), mitte mitme teenuseosutajaga. Seepärast on oluline, et regulatsioon hõlbustaks andmevahetust avatud, mitme teenusepakkujaga paindlikkus-teenuste turu kujundamiseks⁴⁶, tagades samal ajal klientide eraelu puutumatus. Nutivõrgu lahendused hõlmavad mitmeid operaatoreid, teenuseosutajaid ja muid osalisi, mistõttu võib vaja olla selgemaid reegleid, kuidas tuvastada need isikud, kes vastutavad turvalise andmetöötluse ja selle järelevalve eest.⁴⁷

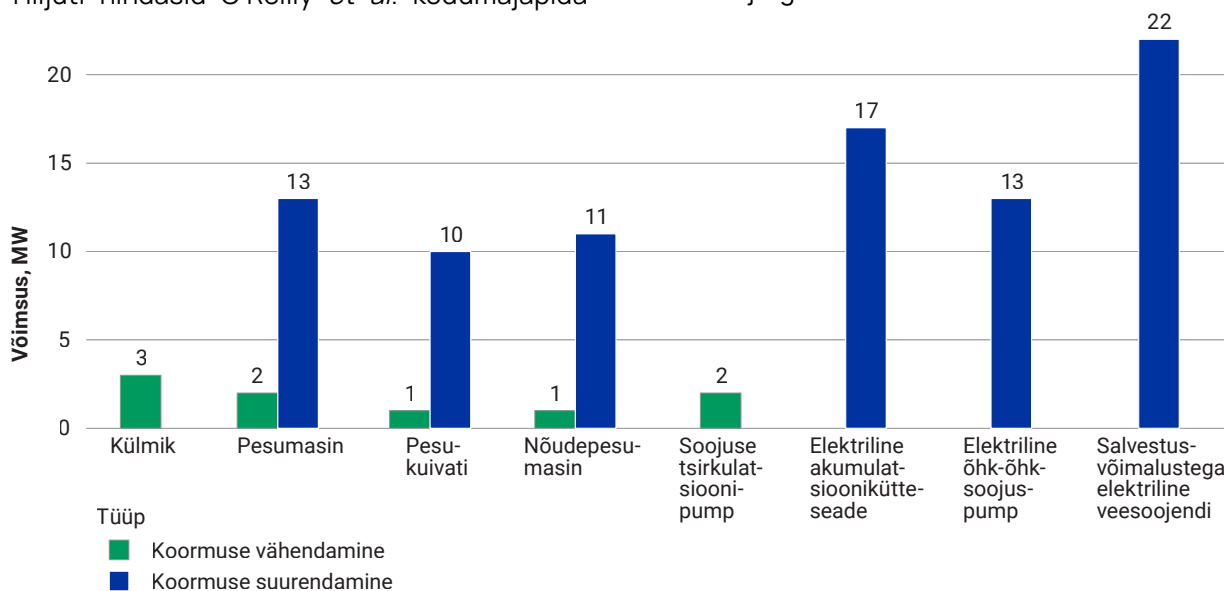
Allikas: Arenguseire Keskus Javadi (2024) järgi

Eri seadmete ja tehnoloogiate koostoime avab uusi võimalusi tarbimistippude silumiseks

Tõusuteel on kodumasinade elektritarbimise nihutamine

Tarbimise juhtimisele aitab kaasa tavapäraste kodumasinade kasutamise ajastamine ning selle automatiseerimine ja agregeerimine. Hiljuti hindasid O'Reilly *et al.* kodumajapida-

miste elektrinõudluse ja koormuse nihutamise potentsiaali Euroopas 2050. aasta perspektiivis.⁴⁸ Tipukoormuse vähendamisel näevad autorid olulisena tavapäraste kodumasinade (eelkõige külmikute) potentsiaali, mille maht 2040. aastal võib Eestis olla 8 MW (joonis 26). Tarbimise koormuse nihutamise ja paindliku koormuse muutmise potentsiaal majapidamistes kokku on aga Eestis 2040. aastal analüüsi järgi 86 MW.



Joonis 26. Tavaliste kodumajapidamistarvikute tarbimise juhtimise potentsiaal Eestis 2040. aastal

Allikas: O'Reilly *et al.* (2024)⁴⁹

⁴⁶ Yves-Alexandre de Montjoye *et al.* (2019). Competition policy for the digital era. Euroopa Komisjoni konkurentsi peadirektoraat.

⁴⁷ Alexander Antonov *et al.* (2021). Pitfalls of machine learning methods in smart grids: A legal perspective. International Symposium on Computer Science and Intelligent Controls. IEEE, 248–56.

⁴⁸ Ryan O'Reilly *et al.* (2024). Achievable load shifting potentials for the European residential sector from 2022–2050. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 189, 1. jaanuar: 113959. Arvutivõrgus: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2023.113959>.

⁴⁹ O'Reilly *et al.*

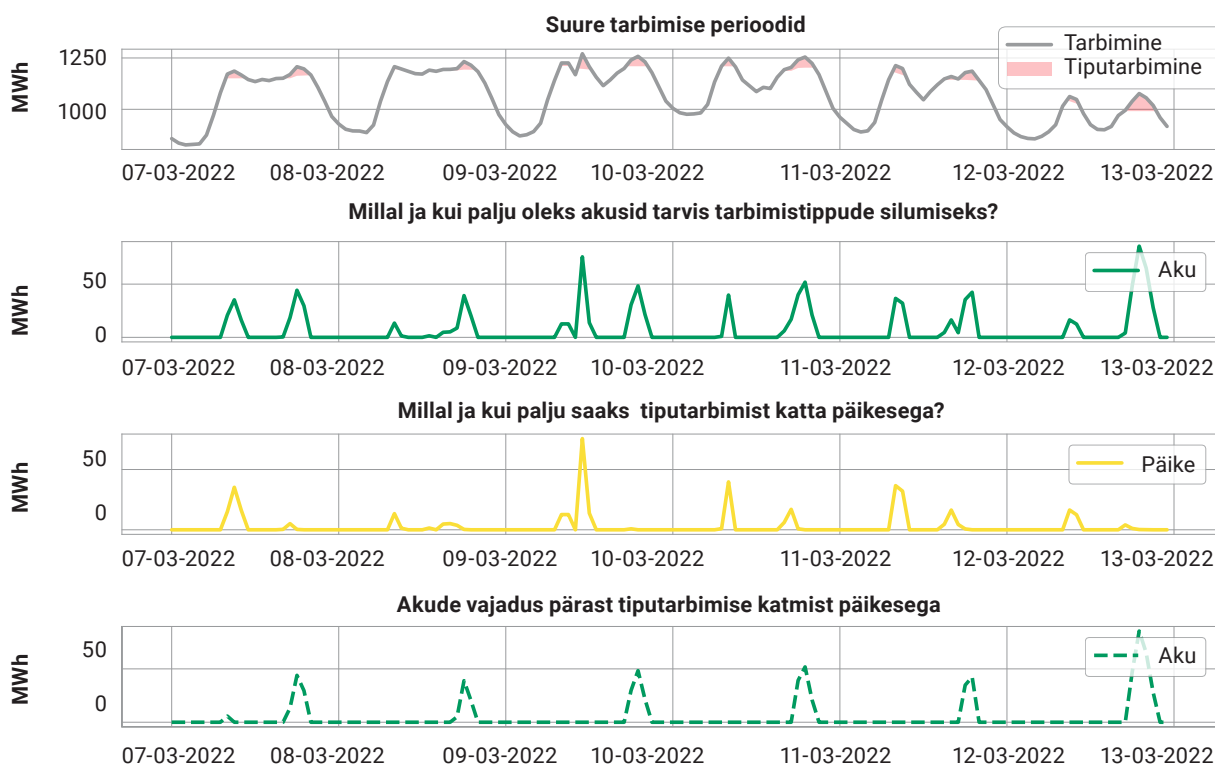
Sellest järeldub, et kodumasinad koos saavad tekitada üsna märkimisväärse tarbimise juhtimise ressursi. Samas, näiteks energiamahukate kütte- ja transpordilahenduste elektrifitseerimine juhatab teed veel suurematele võimsuse juhtimise võimalustele.

Päikeseenergia vähendab akusalvestuse vajadust suvekuudel

Tulevikku vaadates kasvab uute lahenduste, nagu transpordi elektrifitseerimise, salvestustehnoloogiate arengu ning hajatootmisest tulenevate innovatsioonide tähtsus tarbimise juhtimisel. Need arengud aitavad paremini

siluda tarbimistippe ning seeläbi säilitada võrgu stabiilsust.

Alloleval joonisel (joonis 27) on esitatud 2022. aasta märtsi ühe nädala elektritarbimise dünaamika. Joonise ülemises osas on kuvatud üldine elektritarbimine, kus roosa värviga on esile tõstetud tarbimise tippphetked. Selle all oleval graafikul on näidatud, millal ja millises mahus oleks vaja kasutada akusid tarbimistippude silumiseks. Samuti on joonisel kajastatud päikeseenergia potentsiaalset panust tarbimistippude ajal ning akusalvestuse vajadust pärast nende tippude silumist päikeseenergiaga.



Joonis 27. Tiputarbimine ja selle katmise potentsiaal päikeseelektri ja akusalvestusega 2022. aastal
Allikas: STACC (2024)

Üle aastate tarbimistippude mahu leidmiseks võrreldi iga tunni tarbimist viimase 30 tunni tarbimise kolmanda kvartiiliga (ehk 75. protsentil): kui tunni tarbimine oli suurem kui tarbimise kolmas kvartiil, siis loeti see tarbimistipuks. **Aastatel 2020–2023 on tarbimistippude summaarne maht järjepidevalt suurenenud: 2020. aastal oli tippude maht 75,4**

MWh, kuid 2023. aastaks oli see kasvanud 105,7 MWh-ni (tabel 3). Erilist tähelepanu väärib 2022. aasta, kui tarbimistippude kulud tõusid erakordselt kõrgele, peamiselt seetõttu, et elektri keskmine börsihind oli varasemate aastatega võrreldes enam kui kahekordne. Vaadeldaval perioodil on päikeseenergia tootmise maht samuti kahekordistunud, kuid selle

suutlikkus tarbimistippe pakkumise suurendamise teel leevendada pole sama kiirusega kasvanud. 2020. ja 2021. aastal oli päikeseenergia tootmise osakaal tarbimistippude leevendamisel vastavalt 42% ja 54%, ent 2022. ja 2023. aastal püsis see suhtarv 63% juures.

2022. aastal oluks tarbimistippude silumiseks vaja 89 GWh energiat (2022. aasta kogutarbimine oli 8184 GWh). Päikeseenergiaga oluks võimalik katta 56 GWh, mis on aasta jooksul

tiputundidel võrku müüdud päikeseenergia kogus. Seega, pärast päikeseenergia kasutamist oluks salvestuse abil vaja siluda veel 33 GWh tarbimistippe. Kui võtta arvesse, et tootvad tarbijad annavad umbes 12% kogu päikeseenergia toodangust, on nende võimekus tarbimistippusid katta alla 8%. See osutab vajadusele laiendada silumisvõimalusi kas akude või mõne muu tehnoloogiaga, et tipunõudlust paremini hallata ja süsteemi koormust vähendada.

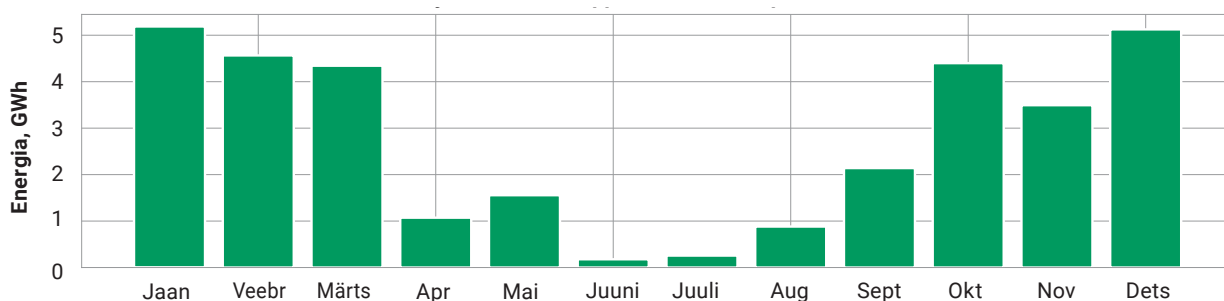
Tabel 3. Päikeseelektri tootmise ja tarbimistippude silumise võrdlus aastatel 2020–2023

Aasta	Päikesepaneelide toodang (MW)	Tootvate tarbijate toodang (MW)	Tarbimistippe (MW)	Keskmine börsi hind (€/MW)	Tarbimistippude hind (mln €)	Päikesepaneelide võime siluda tippe (%)	Tootvate tarbijate võime siluda tippe (%)
2020	31 978	3 837	75 374	33,7	3,5	42,4	5,1
2021	39 544	4 745	73 243	86,7	7,7	54,0	6,5
2022	55 719	6 686	88 926	192,8	20,7	62,7	7,5
2023	66 887	8 026	105 697	90,8	11,1	63,3	7,6

Allikas: STACC (2024)

Järgnevalt on analüüsitud igakuist akusalvestuse energiavajadust, mis oleks olnud vajalik tarbimistippude silumiseks 2022. aastal (joonis 28). Joonisel on näha, et päikeseenergia suudab märkimisväärselt vähendada akuenergia vajadust suvekuudel, mil akude

vajadus läheneb nullile. Seevastu väljaspool suveperioodi – talvel, kevadel ja sügisel, kui päikeseenergia tootmine on vähene – on akude vajadus energiatippude silumiseks oluliselt suurem.



Joonis 28. Kuine akusalvestuse vajadus tarbimistippude silumiseks peale päikeseelektri kasutamist 2022. aastal

Allikas: STACC (2024)

Eri seadmete ja tehnoloogiate koosmõju suurendab oluliselt tarbimise juhtimise potentsiaali

Tuleviku vaatest on järgnevalt hinnatud⁵⁰ elektritarvitite (soojuspumbad), salvestite (akusalvestid ja elektrisõidukid) ning tootmise (hajatootmine päikesepaneelidega) mõju tarbimiskaja potentsiaalile aastaks 2040. Kõik need tehnoloogiad võimaldavad agregaatori juhtimisel pakkuda erinevaid paindlikkusteenuseid ning tuua aktiivsetele tarbijatele selle pealt lisatulu. Nende trendide mõju elektriturule on Elering hinnanud ühes hiljutises uuringus⁵¹, mille tulemusi on kasutatud ka siinses läbiviidud tarbimiskaja potentsiaali simulatsioonianaalüüsis modelleerimistarkvaraga EnergyPRO.

Analüüsis tehti järgmised eeldused.

- Tarbimise aluseks oli 2023. kalendriaasta ning 2024. aasta alguse Baltimaade ja Eesti tunnitarbimise profiil.
- Lisati peamised oodatavad tarbimiskaja mõjutavad tarbimise struktuursed muutused 2040. aastaks Eesti kodutarbijate puhul: 35 000 aktiivse tootva kodutarbija korral oleks 300 MW soojuspumpasid, 35 000 elektriautot (arvestuslik salvestusmaht kokku 1800 MWh), 350 MW päikesepaneele ja 350 MW akusalvesteid (salvestusmaht 700 MWh). Lisanduvad nende tarvitite kasutust iseloomustavad kriteeriumid.
- Modelleeriti oodatav elektritootjate portfelli Balti riikides koos praeguste ühendusvõimsustega Soomes ja Rootsis. Poolaga korraldatavat elektri kaubandust ei modelleeritud.

- Arvestades vaadeldava perioodi ilmastiku-, tuule- ja päikeseolusid, modelleeriti maismaa- ja meretuulikute ning päikesepaneelide tunnitoodangu profiilid.
- Seejärel simuleeriti nende andmete alusel 2040. aastal nende kodutarbijate käitumist lähtuvalt erinevatest tarbijate käitumise otsustest ilma tarbimiskajata ning koos oodatava tarbimiskajaga soojuspumpade, elektriautode ja tootvate tarbijate poolt. Täpsemalt analüüsiti 5.–6. jaanuari tüüpi külmemate ilmade puhul oodatavat tarbijate käitumise mõju tarbimisgraafikule.

Simulatsioon osutab, et kui sõltuvalt kellaajast elektrihind jõuab tasemeni 1500 €/MWh, võib tarbimiskaja potentsiaal suurenedagi ligikaudu +/- 400 MW tunnis (joonis 29). Sellest ligi +/- 175 MW on tootvate tarbijate tarbimiskaja (350 MW päikesepaneelid ja 350 MW salvestid, mille salvestusmaht on 700 MWh). Ligi +/- 145 MW on aktiivsete tarbijate soojuspumpade (350 MW) tarbimiskaja. Elektriautode (35 000 tk) tarbimiskaja on +/- 80 MW.

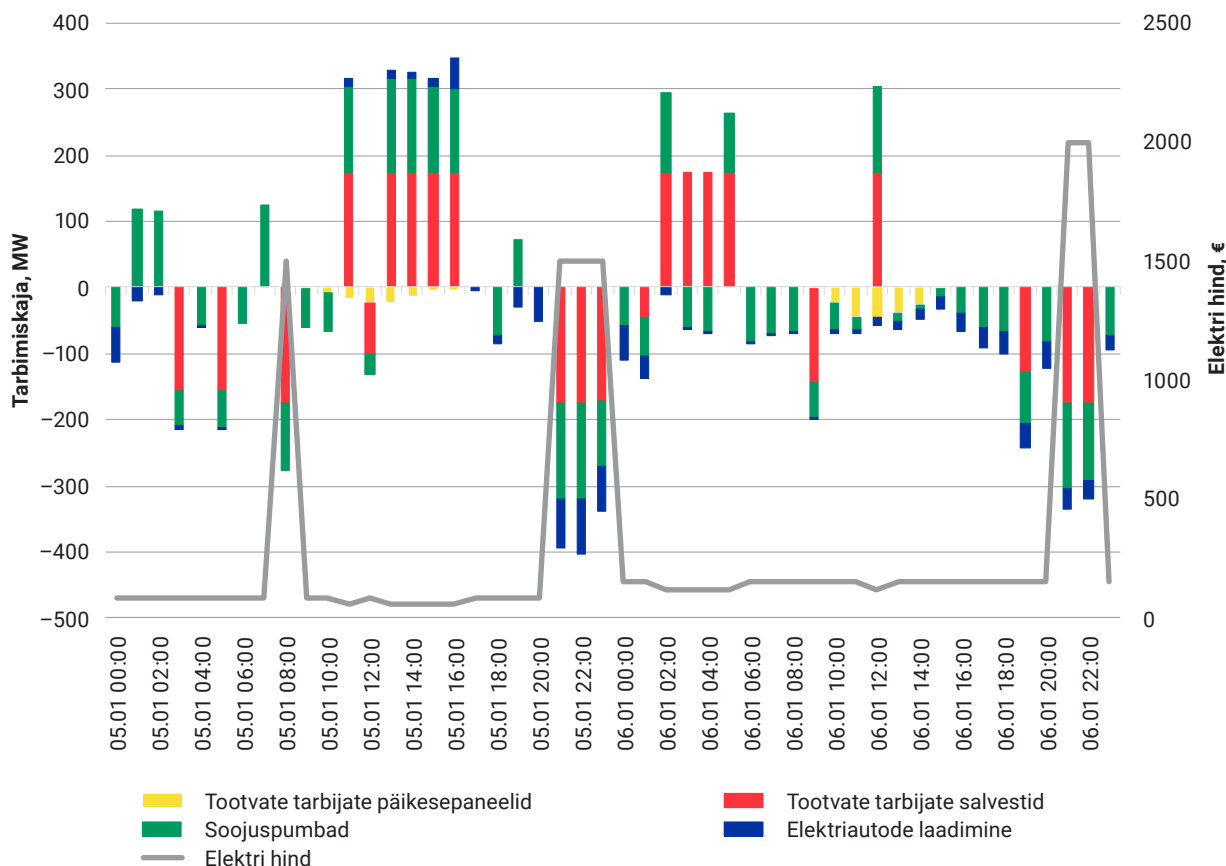
Simulatsioon osutab aga ka tarbimiskaja n-ö hilinenud efektile: kuna aktiivsed tarbijad teevad enamasti oma tarbimisotsuseid juba välja kuulutatud järgmise päeva tunnihindade alusel ja nihutavad oma tarbimise oodatavatele madala hinnaga tundidele, siis on tõenäoline, et **kõik need paindlikud tarbijad nihutavad oma juhitava tarbimise samadele madala hinnaga tundidele ja tekivad uued tipud koormus- ja hinnagraafikutes.** Süsteemi kui terviku vaatest võib selline muutus tähendada vajadust kallimate ja mahukamate paindlikkusteenuste järele. Sis-

⁵⁰ Analüüsi viis Arenguseire Keskuse tellimusel läbi Tallinna Tehnikaülikooli koosseisus tegutsev FinEst Targa Linna Tippkeskus koos ülikooli elektroenergeetika ja mehhatroonika instituudiga.

⁵¹ Elering ja Energex Energy Experts (2023). Sensitivity analysis to Estonian electricity demand scenarios. Arvutivõrgus: <https://elering.ee/sites/default/files/2024-02/Eesti%20elektritarbimise%20tundliikkusanal%C3%BC%C3%BCs%20%E2%80%93%20k%C3%BCte%2C%20jahutus%20ja%20transport.pdf>.

liselt tähendab see probleemi bilansihalduritele või agregatoritele, kes peavad sellistel tundidel ostma täiendavat bilansielektrit. See võib nende teenuse osutamise muuta oluliselt kallimaks. Selle vältimiseks peaks agregatoritel endil olema võimalus sekkuda aktiivse

tarbija käitumisse või seda juhtida. Praegu on see mõju turul veel tühine, kuid 10–15 aasta vaates võib see suurenda ning osutada vajadusele teha juba ennetavalt regulatsioonis muudatusi.



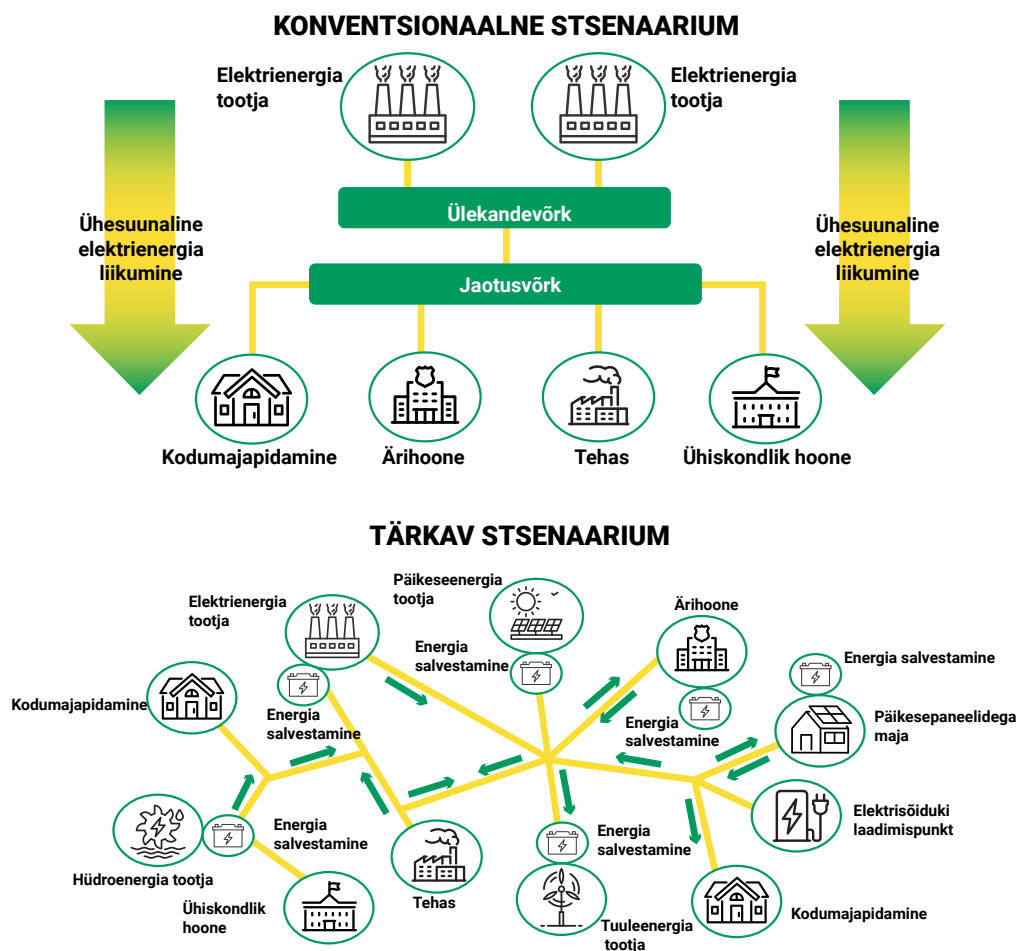
Joonis 29. Simuleeritud potentsiaalne tarbimiskaja 35 000 aktiivse kodutarbija korral 2040. aastal
Allikas: Tallinna Tehnikaülikool (2024)



Tuleviku elektrivõrk –
hajus ja kahesuunaline

Aktiivne ja tootev tarbimine toob elektrivõrgule uusi võimalusi ja väljakutseid. Elektrivõrgu (ülekandevõrk ja jaotusvõrk) ülesanne on ühendada elektrienergia tootja ja tarbija, jaotada energiat tootjalt tarbijatele ning vahendada informatsiooni nõudluse ja pakkumise ning süsteemi ja võrgu kohta

süsteemi- ja turuosalistele. Aktiivsete tarbijate esile kerkides tuleb üha enam arvestada sellega, et seniste väheste koondatud tootjate asemel on arvukalt hajutatud tootjaid ning suureneb elektrienergia kahe-suunaline liikumine (joonis 30).



Joonis 30. Aktiivne tarbimine kujundab tsentraalse võrgu detsentraalseks

Allikas: Lowder ja Xu (2020)⁵²

Tootvad tarbijad saavad olla elektrivõrguga seotud erineval moel (vt peatükki „Tootev tarbimine“): kas üksnes tarbijatena, tarbija ja müüjana või mikrovõrkudena. Erinevad lahendused on võimalikud tänu kahe-suunalistele arvestus- ja juhtimisseadmetele ehk targale

võrgule, mis võimaldab nutikat tarbimist, salvestamist ja tootmise juhtimist, et muu hulgas tõhustada energiakasutust.⁵³ Selline mitmekehisus võimaldab tarbijatel valida parima lahenduse vastavalt nende energiavajadusele ja ressurssidele.

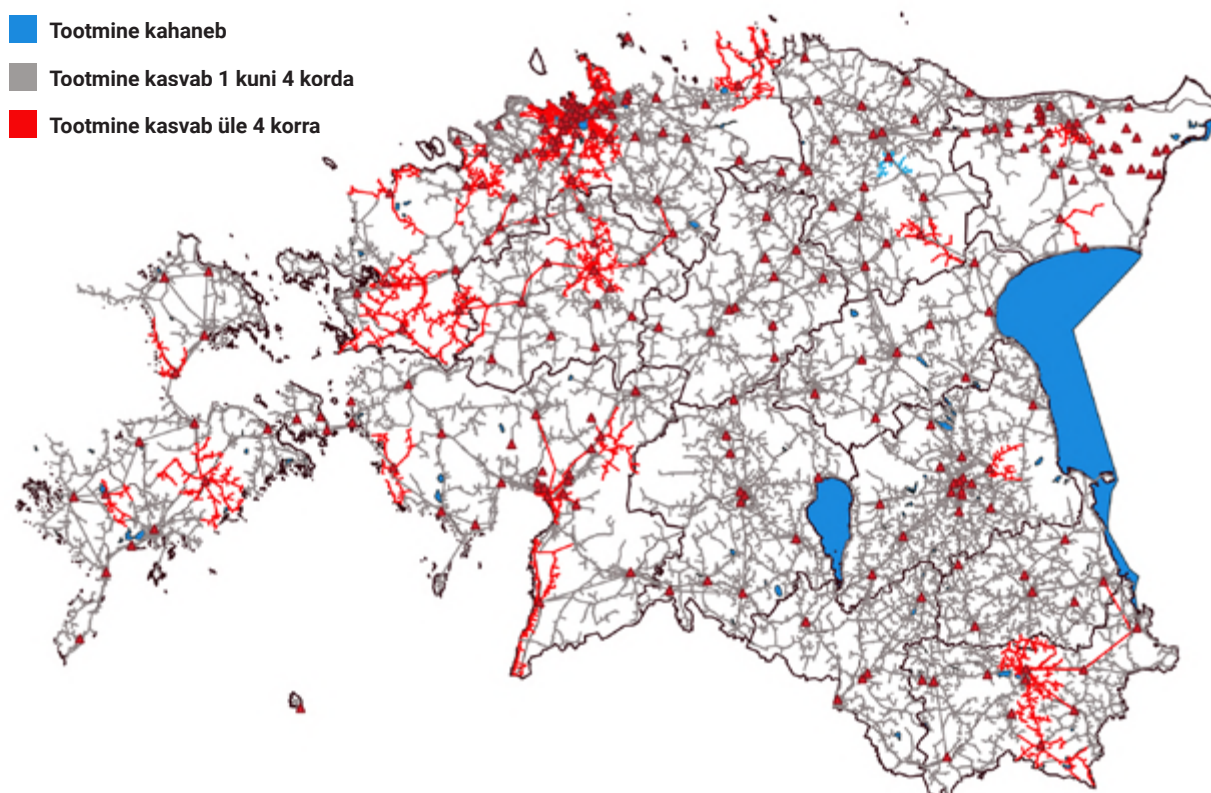
⁵² Travis Lowder ja Kaifeng Xu (2020). The Evolving U.S. Distribution System: Technologies, Architectures, and Regulations for Realizing a Transactive Energy Marketplace. 1. mai. Arvutivõrgus: <https://doi.org/10.2172/1659880>.

⁵³ Malik Ali Judge *et al.* (2022). Overview of smart grid implementation: Frameworks, impact, performance and challenges. *Journal of Energy Storage* 49, 1. mai: 104056. Arvutivõrgus: <https://doi.org/10.1016/j.est.2022.104056>.

Eripäraste aktiivsete tarbijate lisandumine on jaotusvõrgule väljakutse, sest võrk on paljuski rajatud varasemat klientide ja koormuse struktuuri arvestades ehk suurtootjatelt tarbijatele energia jaotamiseks, muundades seda järjest madalama pingega energiaks. Hajatootmine toob võrku vastupidist liiklust ehk lisab kõrgema pingega elektri liikumist võrgu madal- või keskpinge osas. Selle muutusega toimetulekuks on vaja elektrivõrku arendada. Keerukust lisab tootvate tarbijate geograafiline hajutatuse: ligikaudu 60% Eesti elektrivõrgust asub hajaasustusega piirkondades, kus tarbitakse umbes 5% võrku läbivast elektrienergiast ja teenindatakse umbes 10% klientidest.⁵⁴

Hajatootmine suurendab elektrivõrgu arendamise kulusid ja võrgutasusid

Jaotusvõrku lisandunud tootmisvõimsuste kiire kasv peegeldab jaotusvõrgule seatud kasvavaid nõudmisi.⁵⁵ 2016. aastal oli Elektrilevi võrguga ühendatud hajatootmise seadmeid 35 MW, ent 2022. aasta lõpuks oli nende koguvõimsus juba 603 MW. Elektrilevi jaotusvõrgus kasvas aastatel 2020 ja 2022 tootmine peaaegu kaks korda, 357 GWh-lt 703 GWh-ni, ning Elektrilevi prognoosib selle kasvu 2030. aastaks tasemeni 1141 GWh (joonis 31).



Joonis 31. Hajatootmise prognoositav kasv jaotusvõrgus 2030. aastani

Allikas: Elektrilevi (2023)⁵⁶

⁵⁴ Elektrilevi (2023). Jaotusvõrgu arengukava aastani 2035.

Arvutivõrgus: <https://www.elektrilevi.ee/documents/8644141/8650150/Elektrilevi-arengukava-2023>.

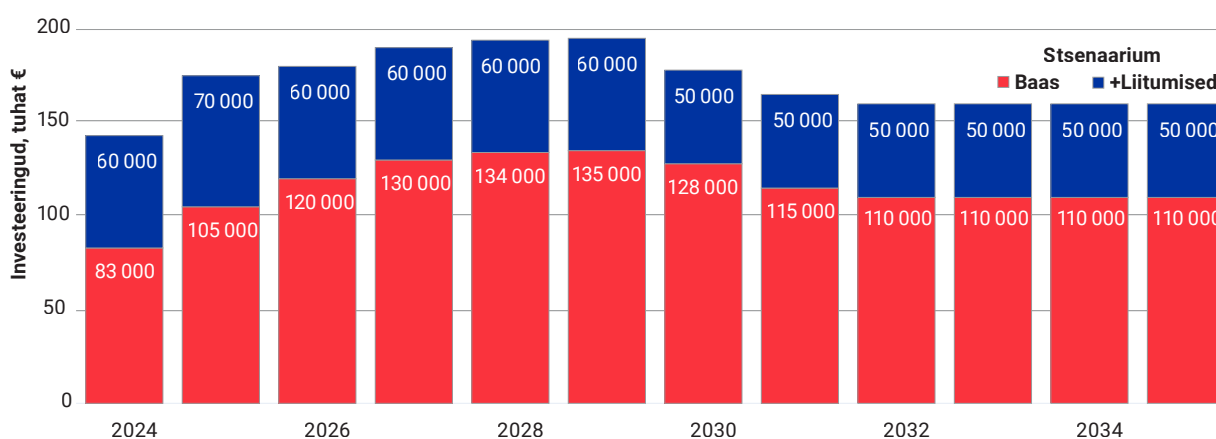
⁵⁵ Elektrilevi.

⁵⁶ Elektrilevi.

⁵⁷ Elektrilevi.

Hajatootmine, mille osaks on ka hajus tootev tarbimine, suurendab jaotusvõrgu arendamise ja käitamise kulusid. Elektrilevi⁵⁷ hinnangul on jaotusvõrgu investeeringute prognoosi baasstsenaariumi korral investeeringute koguvajadus 1390 miljonit eurot perioodil 2024–2035, s.t aastane keskmine investeeringuvajadus on 115,8 miljonit eurot. Kui lisaks baasstsenaariumile tehakse ka tootmise ja tarbimise suunalise

läbilaskevõime tugevdamiseks vajalikud investeeringud, siis lisanduks baasstsenaariumile veel 670 miljonit eurot, mis teeks aastaseks keskmiseks investeeringuvajaduseks 56 miljonit eurot (joonis 32). Muu hulgas võimaldab tootmise ja tarbimise läbilaskevõime tugevdamiseks tehtav investeering vähendada aktiivsete tarbijate liitumisega seotud kulusid ning stimuleerib seeläbi hajusat tootvat tarbimist.



Joonis 32. Jaotusvõrgu investeeringute prognoos aastateks 2024–2035

Allikas: Elektrilevi (2023)⁵⁸

Muutuvate vajadustega, sealhulgas hajatootmisega, kaasnevat investeeringuvajadust praegune rahastus ja võrgutasud ei kata. Aastatel 2018–2022 katsid võrgutasud läbi põhivara kulumi komponendi 58% investeeringutest. Elektrilevi prognoosi järgi katavad võrgutasud praegust võrgutasude arvestust eeldades aastatel 2023–2035 hinnanguliselt 44% investeeringutest, ning eeldades, et tehakse ka tootmise ja tarbimise läbilaskevõime tugevdamiseks vajalikud investeeringud, katavad võrgutasud 35% investeeringutest (joonis 33).

Investeeringute rahastamise üks võimalusi on suurendada võrgutasusid, kuid selle tagajärjel

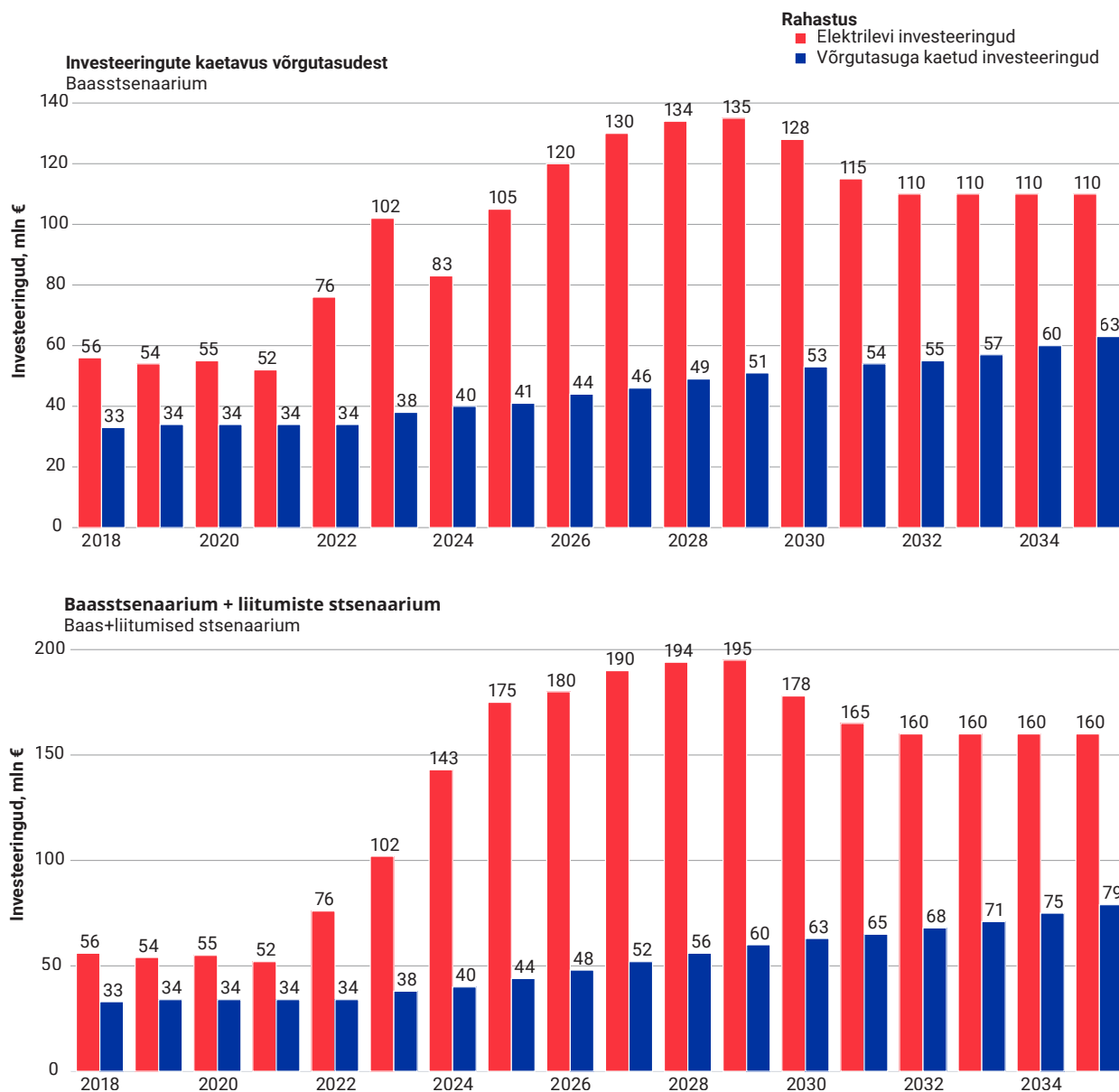
suureneb tarbijate jaoks elektrihind ja võrgutasude osakaal selles. Sarnase väljakutse ees on ka teised riigid ning **võrguga seotud teenuste osakaal elektrihinnas kipub suurenema enamikus Euroopa riikides**. Praegu jääb võrgutasude osakaal elektri lõpphinnas eri riikides vahemikku 9–51%, mille järgi Eesti osakaal 22% on pigem keskmine või isegi väike.⁵⁹ Elektrilevi on hinnanud võrgutasu suurendamise vajaduseks sõltuvalt stsenaariumist 1–4% aastas.⁶⁰ Investeeringuvajaduse katmine eeldab ühiskondlikke valikuid, kuidas optimeerida ja jagada võrguteenuse kulusid nii, et tasakaalukalt arvestataks eri osapoolte, sealhulgas liituvate aktiivsete tarbijate, jaotusvõrguettevõtete ning energiateenuste osutajate huve.

⁵⁷ Elektrilevi.

⁵⁸ Elektrilevi.

⁵⁹ ACER.

⁶⁰ Elektrilevi.



Joonis 33. Jaotusvõrgu arendamise investeeringute katmine

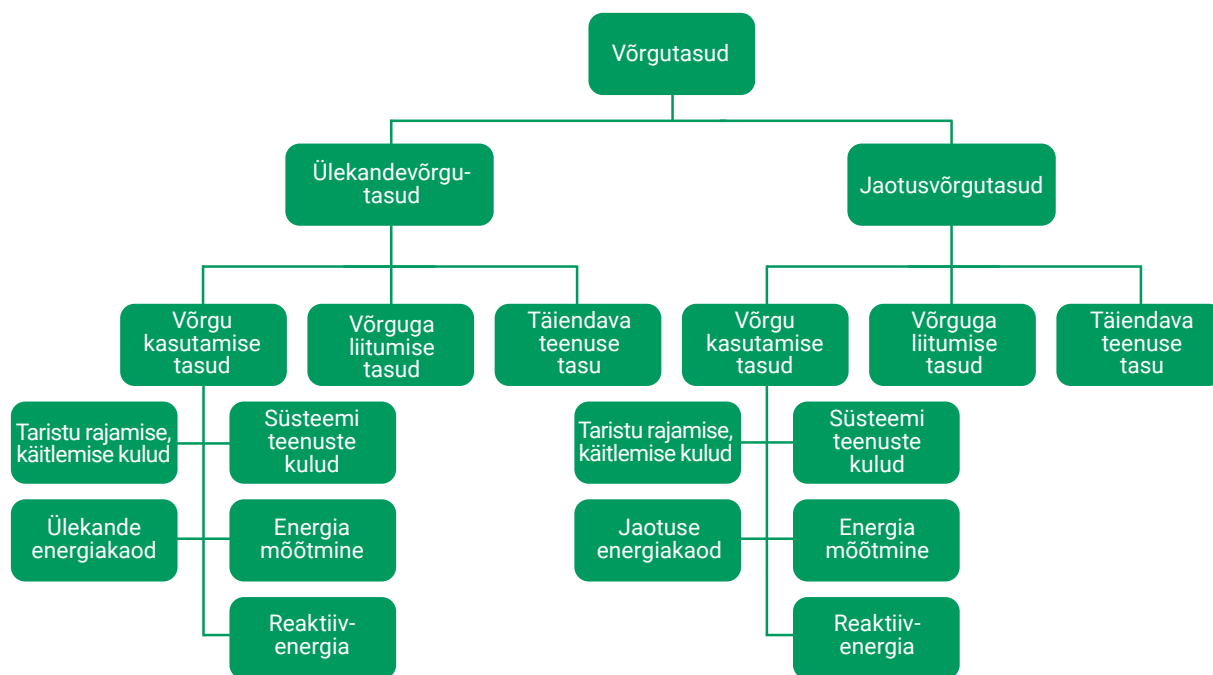
Allikas: Elektrilevi (2023)⁶¹

Võrgutasude kujundusest saab tähtis elektriturgu mõjutav tegur

Võrguteenusega seonduvad erinevad kulud ja tasud (joonis 34). Ideaalis peaksid võrgutasud olema kujundatud selliselt, et need toetaksid elektrisüsteemi kui terviku tõhusust ja võimaldaksid katta elektrivõrguga seotud kulusid

ning hinnasignaali kaudu (kuna tasu lisandub energiahinnale) stimuleeriksid võrgukasutajaid tootma ja säästma. Lisaks tuleb otsida tasakaalu varustuskindluse tagamise ja muude riigile oluliste eesmärkide, näiteks elektri lõpphinna tasukohasuse ja innovatsiooni soodustamise vahel.

⁶¹ Elektrilevi.



Joonis 34. Aktiivsete tarbijate võimalikud võrgutasud

Allikas: Koostatud ACER-i (2023)⁶² ja Singh et al. (2021)⁶³ järgi

Aktiivsete tarbijate käitumist mõjutavad eelkõige võrguga liitumise tasud, energia võrku andmise tasud ning võrgu kasutamise ajapõhised tasud. Tarbijatele, sealhulgas aktiivsetele tarbijatele, on liitumistasud tavaliselt ühekordsed tasud, millega kaetakse osaliselt või täielikult majapidamise ülekande- või jaotusvõrguga ühendamise kulud. Kuna ühenduse loomist võimaldav võrgu arendus on kasulik ka teistele selles võrguosas asuvatele tarbijatele, on võimalik, et osa liitumiskuludest jaotatakse kõigi võrgukasutajate vahel ja kaetakse võrgu kasutamise tasude varal.

Liitumistasusid arvestatakse eri riikides erinevalt (joonis 35), näiteks

- liitumisvõimaluse loomise kulude järgi;
- standardse ühekordse tasuna, mis osali-

selt hõlmab rajatava võimsuse kulusid (*lump sum*);

- liidetava tarbimis- või tootmisvõimsuse suuruse järgi;
- ühenduse loomise vahemaa järgi.

Lisaks võivad tasud varieeruda kliendirühma, võrgupinge, geograafilise piirkonna, võrgukindluse ja ühendatud võimsuse järgi. Samuti on võimalik, et üks osa kuludest on tegeliku kulu põhine ja teine osa ühe või teise kriteeriumi järgi arvestatud.

Euroopa riikide lõikes on aktiivsete tarbijate võrguteenuste tasud üsna erinevad, varieerudes nii liitumistasu, energia võrku andmise tasu kui ka ajatariifi poolest. Muu hulgas võivad erinevused tulla sellest, kuidas aktiivset või tootvat tarbimist stimuleeritakse võrreldes

⁶² ACER (2023). Report on Electricity Transmission and Distribution Tariff Methodologies in Europe. Arvutivõrgus: https://www.acer.europa.eu/sites/default/files/documents/Publications/ACER_electricity_network_tariff_report.pdf.

⁶³ Praveen Prakash Singh et al. (2021). Dynamic Network Tariff in Practices: Key Issues and Challenges. 2021 IEEE 4th International Conference on Computing, Power and Communication Technologies (GUCON), 1–6. Arvutivõrgus: <https://doi.org/10.1109/GUCON50781.2021.9573767>.

tavatarbimisega.⁶⁴ Tootvatele tarbijatele on eripärased liitumistariifid kehtestatud näiteks Leedus, kus tootvatele tarbijatele rakendatakse

50% soodsamat liitumistasu, et motiveerida hajusat tootmist ja aktiivset tarbimist.



Joonis 35. Aktiivsete tarbijate võrgutasud riikide järgi 2023. aastal

Allikas: ACER (2023)⁶⁵

Liitumistasud võivad olla madalad (*shallow*) või sügavad (*deep*), olenevalt sellest, kas võrgukasutaja tasub ainult oma otseste liitumiskulude eest või ka võrgu tugevdamise eest.⁶⁶ Eestis on liitumistasu (baasi) määramine omatoodetud elektrit võrku andvatele aktiivsetele klientidele teistsugune kui tavalistel klientidel ehk sügav, sest üldjuhul peavad nad katma ka võrgu tugevdamisega seotud kulud. Ent näiteks Poolas on võrgutasud aktiivsetele tarbijatele pigem madalad, hõlmates ainult otseseid liitumiskulusid.

Tootvate tarbijate eripära on asjaolu, et nad annavad energiat jaotusvõrku. Kuna võrku energia andmine on teenus, millega kaasnevad võrguettevõttele kulud, võib ettevõtte olla kehtestanud energia võrku andmise tasu. Tariifid võivad põhineda järgmisel: 1) jaotusvõrku antud energiakogusel (€/Wh); 2) võrguga ühendatud tootmisvõimsusel (€/W) või 3) *lump-*

*sum-*tasul (€/aastas), mis otseselt ei sõltu ühendatud võimsusest ega maksimaalsest võrku antavast energiakogusest, kuid võib siiski erineda näiteks suurte ja väikeste tootmisvõimsuste puhul. Teadaolevalt mitte üheski Euroopa riigis ei ole tootvad tarbijad vabastatud korraka nii energia võrku andmise tasust kui ka võrgust energia võtmise tasust. Üldjuhul kehtivad mõlemad, nagu ka Eestis, kuid Bulgaarias ja Prantsusmaal kohaldub tasu ainult võrgust energia võtmise eest. Siinkohal on riike otseselt võrrelda küll keeruline, sest tootvate tarbijate energia võrku andmise kulud kaetakse vastavatest tariifidest üksnes osaliselt ning tariifid varieeruvad riikide lõikes oluliselt. ACER-i järgi katavad kümnes Euroopa riigis (Eesti nende hulka ei kuulu) võrku andmise tasud ülekandevõrgu kuludest 3–35% ja jaotusvõrgu kuludest 1–30%. Seega, võrku energia andmise kulusid kaetakse Euroopa riikides muu hulgas võrgust energia tarbimise võrgutasudest.

⁶⁴ ACER.

⁶⁵ ACER.

⁶⁶ Derk J. Swider *et al.* (2008). Conditions and costs for renewables electricity grid connection: Examples in Europe. *Renewable Energy* 33, nr 8, 1. august: 1832–42. Arvutivõrgus: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2007.11.005>.

Võrgutasud mõjutavad ka neid aktiivseid tarbijaid ja muid turuosalisi, kes salvestavad võrgust võetud energiat ja annavad seda võrku tagasi. Salvestusvõimalus on tähtis, sest võimaldab võrgu ülekoormuse korral suunata osa energiat akudesse, et kasutada seda nendel tundidel, kui süsteemis on energiat puudu. Ühtlasi pakub see leevendust võrguga liitumise ressursside ammendumise korral. **Kogu tootmisvõimsust igal ajal vastu võtta suutva jaotusvõrgu arendamine ei pruugigi olla majanduslikult otstarbekas, sest selleks vajaminevad investeringud tõstavad võrgutasu ja elektrienergia hinda ebaproportsionaalselt palju.**

Enamik riike kasutab ka ajas muutuvaid võrgutasusid (21 riiki 28-st Euroopa riigist). Muutuvate võrgutasude eesmärk on tarbijatele märku anda võrgu koormuse muutumisega kaasnevast kulude muutumisest ja motiveerida neid tarbimist juhtima. Riigidevahelised erinevused avalduvad peamiselt selles, kui suure osa ajas muutuv komponent võrgutasust moodustab ning kui suurel määral tasud koormuse muutumise, aastaaja, nädalapäeva või ööpäeva lõikes varieeruvad. Enamasti on ajas muutuv komponent staatiline ja tarbijale pikalt ette teada (näiteks nädalavahetustel kehtiv teistsugune tasumäär). Mõne riigi puhul (näiteks Prantsusmaal) on see komponent aga dünaamiline, mistõttu tipukoormuse ja kõrgema tasuga perioodist saab võrgukasutaja teada lühikest aega ette (näiteks päev varem).

Üldjuhul on ajas muutuvad tasud seotud energiakoguse, mitte võimsusega. Eesti on nende riikide seas, kus tasud põhinevad nii ülekandekui ka jaotusvõrgus energiakogusel. Võrguettevõtte võib kohaldada ka negatiivset võrku energia andmise tasu ehk piirata tootja poolt võrku antavat energiakogust näiteks olukorras, kui võrgus napib võimekust energiat vastu võtta ja jaotada. Praktikas rakendab seda negatiivset tasu ehk makset energia andmata jätmise eest praegu küll ainult Saksamaa.

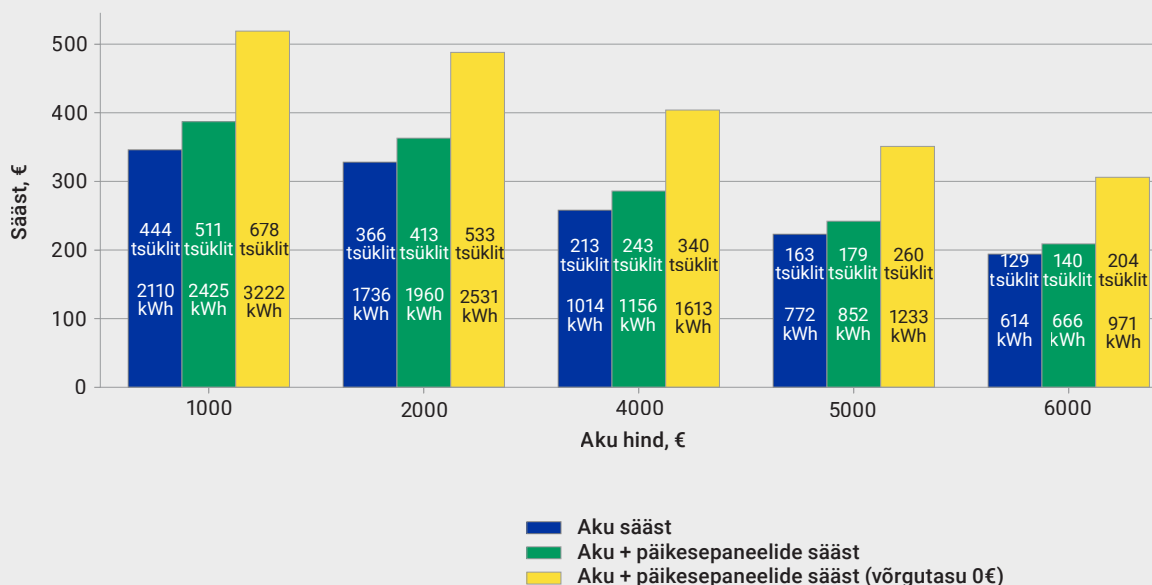
Riikide ja võrguettevõtete hinnastamispraktikate lõikes erinevad ka võrgutasud, mida tuleb maksta võrgust võetud energia salvestamise ja võrku tagasi andmise eest. Kuigi enamikus riikides tasuvad salvestajad vaid võrgust energia võtmise eest, siis näiteks Soomes, Rootsis ja Norras tasuvad nad nii võrgust energia tarbimise kui ka salvestatud energia tagasi võrku andmise eest. Eesti elektrituruseadus (§ 71 lõige 10)⁶⁷ soosib salvestamist, sätestades, et salvestatud elektrienergia elektrivõrku tagastamise eest edastamistasu ei rakendata. Ka Leedus ei pea jaotusvõrguga liitunud salvestuseadmete eest energia võrku andmise tasu maksma, kui salvestusseadme võimsus on alla 1 MW. Samas, kuna energia võrku andmise tasud on üldjuhul väikesed, saab üldistada, et praktikas on eri riikide salvestajatele loodud üsna sarnased stiimulid.

⁶⁷ Elektrituruseadus. Vastu võetud 11.02.2003, RT I 2003, 25, 153. Arvutivõrgus: <https://www.riigiteataja.ee/akt/130062023006?leiaKehtiv>.

Võrgust energiat salvestavatele seadmetele võrgutasuvabastuse võimaldamine suurendab salvestuse tasuvust aktiivsete tarbijate jaoks

Akude amortisatsioon ja nende hinnad ning tarbijatele kehtestatud võrgutasud mõjutavad tarbijate käitumist tarbimise juhtimisel ning selle tasuvust. Järgnevalt on analüüsitud⁶⁸ aktiivse tarbija võrgutasude suurus, kui tarbija kasutab akut, mille salvestusmahutavus on 5 kWh (joonis 36). Võrgutasude suurus on esimese stsenaariumi puhul praeguste võrgutasudega võrdne, s.o ostes 0,08 €/kWh ja müües 0 €/kWh, ning teise stsenaariumi puhul nii ostes kui ka müües 0 €/kWh. Aku hind jääb vahemikku 1000–6000 eurot.

Aku hinna langus võimaldab akut sagedamini kasutada, s.t madala hinnaga hetkedel võrgust aku laadimiseks rohkem elektrit osta. Madalam aku hind suurendab aku laadimise paindlikkust, see omakorda suurendab aktiivse tarbija võrgutasusid, kuid pakub ka suuremaid kokkuhoiuvõimalusi, eriti kui aku on integreeritud päikeseenergia tootmiseseadmega. Säästu võimendab veelgi see, kui võrgust akude laadimise eest võrgutasu maksta ei pea. Väiksemad võrgutasud võimaldavad tarbijatel aktiivsemalt ja paindlikumalt oma energiavarusid hallata, kuna energia ostmise võrgust madala hinnaga hetkedel ja selle salvestamine akusse ei too kaasa lisakulusid.



Joonis 36. Võrgutasude mõju elektrivõrgust akude laadimise säästule

Allikas: STACC (2024)

Märkus. Tulpadele on märgitud aastane laadimistsüklite arv ja akusse salvestatud energia kogus (kWh). Ilmneb, et võrgust salvestatava energia puhul võrgutasu kaotamine ja salvestustehnoloogia hinna soodsamaks muutumine võimaldab 5 kWh aku korral säästa aastas 100–150 eurot.

⁶⁸ Analüüsi viis Arenguseire Keskuse tellimusel läbi STACC.

Võrgutasudega saab aktiivset tarbimist nii soodustada kui ka pärssida

Eelnevast nähtub, et aktiivsete tarbijate elektri- võrguga liitumise ja elektrivõrgu kasutamise tasud võivad olla üsna erinevad, mis võimaldab

tootvat tarbimist ja tarbijate aktiivsust energiasüsteemis nii soodustada kui ka piirata. Hinnakujunduses konkureerivad mitu eesmärki (joonis 37). Erialakirjanduses on sellega seoses toodud esile järgmised olulised aspektid, millega arvestada aktiivse tarbimise võrgutasude kujundamisel.



SÜSTEEMI SÄILENÕTKUS

- Tasude piisavus
- Tasude kogutavus, eesmärgipärasus
- Tulu piisavus
- Stiimulitele orienteeritus



TÖÖKINDLUS

- Stabiilne võrgu toimimine
- Minimaalne võrgu tugevdamine
- Võrgu töökindlus
- Kohandatavus



RAKENDATAVUS

- Läbipaistvus
- Mittediskrimineeriv
- Lihtsus
- Prognoositavus



MAJANDUSLIK TÕHUSUS

- Tootlikkus
- Tasude jaotus klientide lõikes
- Kulude vastavus
- Uuenduslikkust toetav

Joonis 37. Võrgutasude kujundamise konkureerivad põhimõtted

Allikas: Singh et al. (2021)⁶⁹ järgi

- Üldreegli järgi peaksid võrgutasud koht- lema erinevaid tarbijaid ühetaoliselt, s.t tarbija kannab kulud, mis on seotud temale võrguteenuse osutamisega. Vältida tuleks praktikat, kus ühed kliendirühmad (näiteks tavatarbijad) subsideerivad teisi klien- dirühmi (näiteks aktiivseid tarbijaid). Kuigi selline lähenemine on lihtne ja läbipaistev, jätab see kasutamata võimaluse motivee- rida aktiivset käitumist või uudsete tehnoloogiatega rakendamist. Aktiivsetele tarbija- tele tavatarbijatest soodsamate tasude kehtestamine aitab aktiivsete tarbijate lisandumist kiirendada, juhul kui eesmärk on võimendada nendega kaasnevat posi- tiivset mõju (energiasõltumatuse kasv, tarbimise juhtimine, pinnase kujunda- mine uuteks äri- ja tegevusmudeliteks) ja suudetakse leida muud tasakaalukad lahendused kaasnevate võrguinvesteeri- n- gute katmiseks.
- Tootev tarbija võib jaotusvõrgust tarbida vähem kui tavatarbija, kuna katab oma vajaduse suuremas ulatuses enda toodetud ja salvestatud energia varal. Samas võivad tootvad tarbijad ka suurenda- da jaotusvõrgu kulusid, kui näiteks tipunõudluse ajal on neil tarvidus tarbida jaotusvõrgu energiat ning tipupakkumise ajal soovivad nad jaotusvõrgu energiat juurde pakkuda. See võib viia võrgu üledi- mensioneerimiseni (ja sellega seonduva kulude kasvuni). Võrgust tarbitud ener- giakoguse mahupõhiste tariifide puhul võib juhtuda, et tootev tarbija ei tasu tervikuna jaotusvõrgu kulusid, vaid need jäävad osaliselt teiste tarbijate kanda, mistõttu nende võrgukulud on suuremad. See asjaolu on võrguettevõtteid ajenda- nud juurutama pigem liitumisvõimsu- sega seotud tasusid, mis tasakaalus- tavad tavatarbijate ja aktiivsete tarbijate

⁶⁹ Singh et al.

võrgutasusid, aga töötavad vastu tootva tarbimise laienemisele.

- Võrguteenuse pakkuja kulusid mõjutavad mitmesugused tegurid, näiteks jaotusvõrgu infrastruktuuri rajamise kulud on pigem seotud tipuvõimsusega, samas jaotusvõrgu opereerimise kulud on pigem seotud võrku antava või sealt võetava energiaga. Seepärast üldreeglinas ei peaks tootvate tarbijate energia võrku andmise tasud (€/Wh) lähtuma jaotusvõrgu infrastruktuuri arendamise kulude katmisest. Võimsuspõhised tasud (€/W) ja *lump-sum*-tasud peegeldavad paremini infrastruktuuri rajamise kulukohti.
- Liitumistasud aitavad märku anda, millistes kohtades ja millise tootmisvõimsusega liitumine on süsteemi vaates tervikuna optimaalselt kasulik. Näiteks võrgu erinevatel tasemetel erinevate tasude juurutamine aitab tagada, et kõrgema pingega võrguosades kataksid tasud kulusid, kuna need varieeruvad klientide lõikes, võrreldes madalama pingega võrguosaga, kus tasud on üldjuhul väiksemad ja ühetaolisemad. Asukohapõhiseid hinnasignaale aitavad muu hulgas juurutada süvaühendus-*tasud (deep charges)*.
- Kuigi aktiivsed tarbijad ja tootvad tarbijad võivad elektrivõrgu kulusid suurendada,

saavad nad pakkuda süsteemile tervikuna ka tulusid või kulude kokkuhoidu. Näiteks elektrivõrku antav (sh salvestitest) või jaotusvõrgust võtmata jääv energia võib aidata tasandada süsteemi bilanssi, samuti vähenevad võrgu arendamise kulud, kui tootva tarbija iseseisev energiavarustus või aktiivsete tarbijate energia salvestamine aitab ennetada vajadust tugevdada võrguühendusi.

- Madalate tasude (*shallow cost*) juurutamine teeb jaotusvõrguga liitumise kulud tootvale tarbijale lihtsamini ennustatavaks, läbipaistvamaks ja väiksemaks, mis võib ajendada teda oma tootmist jaotusvõrguga liitma. Samas, süvatasude (*deep cost*) juurutamisega tasub tootev tarbija suurema osa tegelikest, sealhulgas võrgu tugevdamiseks tehtavatest kuludest, nii et need ei jää teiste klientide kanda. See ajendab tootvat tarbijat rohkem kaaluma, kas, kus ja kui suurt võimsust ta soovib jaotusvõrguga liita. Siiski, kui jätta suurem osa kulusid esimeste liitujate kanda, siis väheneb nende valmisolek esimeste seas võrguga liituda (kuna järgmiste tootvate tarbijate liitumisvõimalused on soodsamad, sest võrk on juba välja arendatud). Seepärast tasub kaaluda võrguarenduskulude jagamist tulevaste liitujatega, mis võib kõigile osalistele osutada rentaablimaks.

Aktiivset tarbimist soodustava jaotusvõrgu regulatiivsed väljakutsed

Salvestamise levik aktiivsete tarbijate seas võib vajada soosivaid võrgutasu reegleid.

Elektrienergia siseturu määrus (2019/943) võimaldab võtta võrgutasu aktiivsete tarbijate salvestatud energia ülekandmise eest. Eesti elektrituruseadus (§ 71 lõige 10) soosib salvestamist, sätestades, et salvestatud elektrienergia elektrivõrku tagastamise eest edastamistasu ei rakendata.⁷⁰ See säte vastab ka elektridirektiivile (artikli 15 lõige 5), mille järgi tuleb aktiivsetele tarbijatele tagada, et salvestatud elektri eest või paindlikkusteenust osutades ei rakendataks topelttasusid. Järgmiseks küsimuseks on, kas tasud tuleks kaotada ka võrgust elektrienergia salvestamiselt, et sel viisil stimuleerida salvestamist.^{71,72} Teisalt, energiasalvestus kasutab võrguressursse ning selle teenusega kaasnevad operaatorile kulud, mida tuleb sel juhul katta muudel viisidel.

Õigusselgus väikevõrkude puhul võib vajada parandamist.

Elektrituruseaduses (§ 64 lõige 1⁶) on sätestatud, et kui isik on ühendanud elektri tarbimiseks või tootmiseks oma elektripaigaldise teise elektripaigaldisega, mis ei ole jaotusvõrguettevõtja võrk, kohustub isik jaotusvõrguettevõtja võrguteenuse kasutamiseks taotlema võrguühenduse loomist. See on ajendanud turuosalisi arvama, et piiratakse energiaühistute võimalusi varustada oma liikmeid omatoodetud energiaga sõltumata jaotusvõrgust.⁷⁴ Tuleb aga märkida, et see regulatsioon ei keela ühendust tarbijate vahel, vaid üksnes kohustab taotlema ühendust jaotusvõrguga, kusjuures jaotusvõrguettevõtjal on võimalus tehnilistel või majanduslikel kaalutlustel ühenduse loomisest keelduda. Ka energiaühistu regulatsioon (§ 12²) näeb ette omatoodetud energia kasutamiseks kogukonna rajatud elektripaigaldise kasutamise (või jaotusvõrguteenuse kasutamise). Ettevaatavalt võib öelda, et peatne elektrituru korraldamise parandamise direktiiv⁷⁵ sätestab senisest selgemalt aktiivsete tarbijate õiguse jagada toodetud energiat otse või kolmanda osapoole kaudu.

Allikas: Arenguseire Keskus Javadi (2024) järgi

⁷⁰ Konkurentsiamet (2022). Electricity and gas markets in Estonia report, lk 20–21. Arvutivõrgus: <https://www.konkurentsiamet.ee/en/media/335/download>.

⁷¹ Andres Härma (2023). Rohepöörde Eesti elektrituru regulatsioonis energiaõigluse vaatenurgast. Tartu Ülikool. Arvutivõrgus: <https://hdl.handle.net/10062/90118>.

⁷² Kliimaministeerium. Kliimaministeerium toetab energiasalvestuse ja tarbimise juhtimise arendamist. Arvutivõrgus: <https://kliimaministeerium.ee/uudised/kliimaministeerium-toetab-energiasalvestuse-ja-tarbimise-juhtimise-arendamist>.

⁷³ Hagen *et al.* Demand Response and Energy Prosumers.

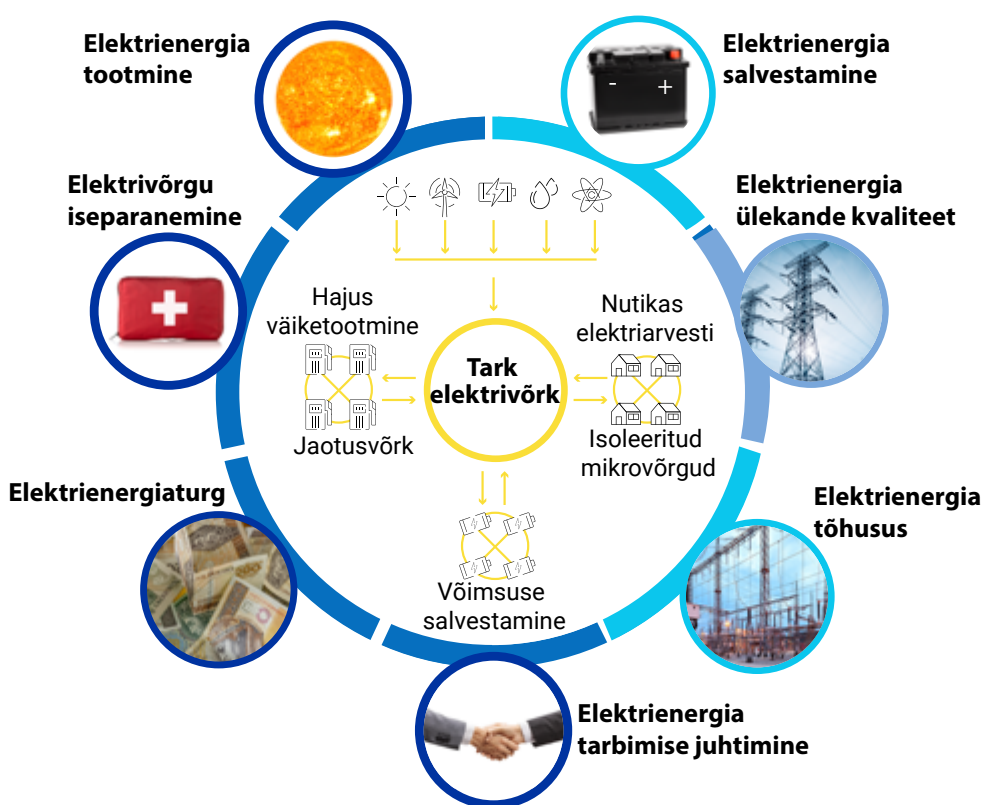
⁷⁴ European Parliament legislative resolution of 11 April 2024 on the proposal for a directive of the European Parliament and of the Council amending Directives (EU) 2018/2001 and (EU) 2019/944 as regards improving the Union's electricity market design (COM(2023)0148 – C9-0038/2024 – 2023/0077B(COD)). Arvutivõrgus: https://www.europarl.europa.eu/doceo/document/TA-9-2024-0285_EN.html

Aktiivsetele tarbijatele loovad tulevikuvõimalusi nutikad võrgud

Aktiivse tarbimise kontekstis kõige enam arutletakse nutikate ja virtuaalsete, sealhulgas paikkondlikult piiratud ulatusega jaotusvõrkude üle (joonis 38). Mikrovõrgud annavad tootvatele tarbijatele võimaluse iseseisvalt opereerida ning jagada energiat teiste majapidamiste ja majandusüksustega, sealhulgas kollektiivsete üksustega, nagu energiaühistud.⁷⁶ Mikrovõrgud võivad osaliselt ka asendada jaotusvõrguga liitumise

vajadust, kui oluline osa elektrienergia tootmise ja tarbimise bilansist juhitakse mikrovõrgus ning võrgust võetava ja võrku antava energia hulk ei eelda ulatuslikku liitumisvõimsust.

Mikrovõrgud on sageli lokaalsed, ühendades kohalikke tootjaid ja aktiivseid tarbijaid. Lokaalne energiaturg⁷⁷ on detsentraalne kohaliku ulatusega (s.t piiratud ühe või mitme väiksema kogukonnaga) turg, mis võimaldab kohalikel tootvatel tarbijatel müüa enda toodetud energiat teistele tarbijatele või turuosalistele.



Joonis 38. Nutikad jaotusvõrgud aktiivsetele tarbijatele

Allikas: Sarathkumar et al. (2024)⁷⁹

⁷⁶ A. Hirsch, Y. Parag ja J. Guerrero (2018). Microgrids: A Review of Technologies, Key Drivers, and Outstanding Issues. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 90: 402–11. Arvutivõrgus: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.03.040>.

⁷⁷ Üheks selliseks paikkondlikuks mikrovõrguks ja energiaturuks on Local Energy Oxfordshire, mille kohta saab lähemalt lugeda veebilehelt <https://project-leo.co.uk/about/>.

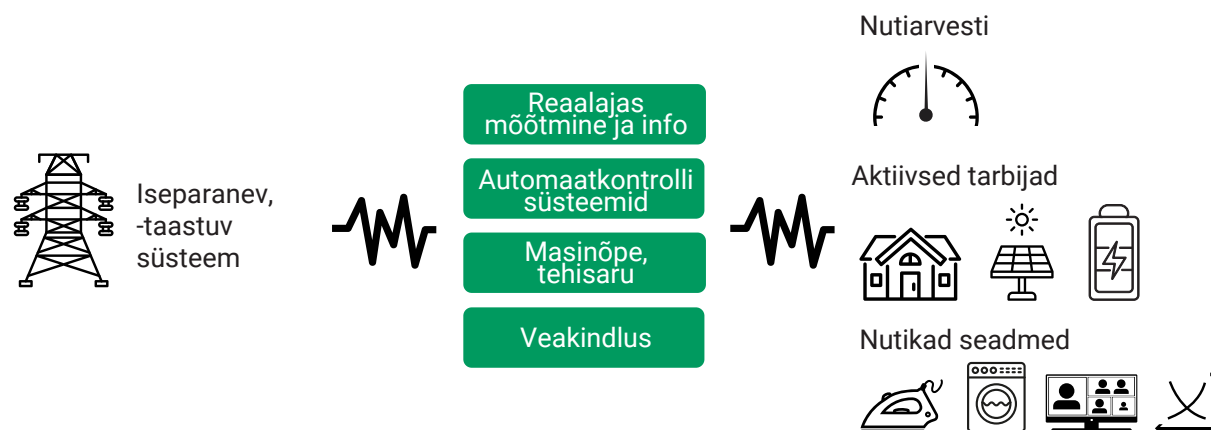
⁷⁸ Miadreza Shafie-khah ja Amin Shokri Gazafroudi (toim, 2023). *Trading in Local Energy Markets and Energy Communities: Concepts, Structures and Technologies*, kd 93. Lecture Notes in Energy. Cham: Springer International Publishing. Arvutivõrgus: <https://doi.org/10.1007/978-3-031-21402-8>; Sigurd Bjørghov et al. (2021). Developments and Challenges in Local Electricity Markets: A Comprehensive Review. *IEEE Access* 9: 58910–43. Arvutivõrgus: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3071830>.

⁷⁹ D. Sarathkumar et al. (2021). A Review on Renewable Energy Based Self-Healing Approaches For Smart Grid. *International Conference on Advancements in Electrical, Electronics, Communication, Computing and Automation (ICAECA)*, 1–6. Arvutivõrgus: <https://doi.org/10.1109/ICAECA52838.2021.9675495>.

Sellised turud võivad pakkuda kohalikest vajadustest lähtuvat paindlikkust ja efektiivsust energiaallikate kasutamisel ning võimaldada kohalikel tootvatel tarbijatel, kogukondadel ja ettevõtetel saada kasu oma energiatootmise investeeringutelt.⁷⁸

Tarkade mikrovõrkudega kaasnevad arutelud virtuaalsetest elektrijaamadest (*virtual power plant*, VPP) või virtuaalsetest energiasüsteemidest, mis ühendavad mitu tootvat või salvestavat tehnoloogiat (näiteks päikese- ja tuuleenergia, akusalvesti) nutika mikrovõrgu kaudu üheks integreeritud süsteemiks.⁸⁰ Sel viisil koondavad virtuaalsed elektrijaamad

hajutatud energiaressursse ja kombineerivad need üheks tervikuks, et pakkuda paindlikku energiatootmist ja osutada turul paindlikkusteenuseid. Tootvate tarbijate tootmis- või salvestamissüsteemi haldamine toimub tarkvaraplatvormide abil, mis võimaldavad võrku dünaamiliselt jälgida ja juhtida. Virtuaalse elektrijaama eesmärk on optimeerida energia tootmist, hoida nõudluse ja pakkumise tasakaalu ning muutuvatele oludele tõhusalt reageerida. **Tootvad või aktiivsed tarbijad saavad virtuaalse elektrijaama ja seda toetava mikrovõrgu kaudu kasumlikumalt ühenduda üldise energiavõrguga ning suureneb süsteemi kui terviku tõhusus.**



Joonis 39. Nutikate võrkude ise paranemisvõime
Allikas: Sarathkumar et al. (2021)

Nutikate tootmis-, salvestamis-, tarbimis- ja võrguseadmete kasutamine suurendab võrgu ise paranemise võimet (joonis 39).⁸² Sellise võimega võrgud suudavad automaatselt tuvastada ja kõrvaldada rikkeid või katkestusi ning selle tulemusena minimeerida tarbijatel esineda võivaid katkestusi ja häireid. Sellised

võrgud kasutavad mitmesuguseid tehnoloogiasid, sealhulgas sensoreid, automaatikat ja masinõppesüsteeme, et jälgida võrgu seisundit ja reageerida kiiresti mistahes probleemidele. Selline nutikus võimaldab aktiivsete tarbijate potentsiaali paremini ära kasutada ning vältida võrgu ülekoormust ja häireid.

⁸⁰ Gao Zhang, Chuanwen Jiang ja Xu Wang (2019). Comprehensive Review on Structure and Operation of Virtual Power Plant in Electrical System. *IET Generation, Transmission & Distribution* 13, nr 2: 145–56. Arvutivõrgus: <https://doi.org/10.1049/iet-gtd.2018.5880>.

⁸¹ Sarathkumar et al.

⁸² Pan Zhang et al. (2024). An ADMM-enabled robust optimization framework for self-healing scheduling of smart grids integrated with smart prosumers. *Applied Energy* 363, 1. juuni: 123067. Arvutivõrgus: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2024.123067>.

Arenguseire Keskus

Lossi plats 1a, 15165 Tallinn
arenguseire@riigikogu.ee
www.arenguseire.ee



ARENGUSEIRE KESKUS