

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
Infotehnoloogia teaduskond

Vjatšeslav Antipenko 183160IABM

**Paindlikkusteenuste mõju tööstus, äri- ja avalik
sektoritele ning kodumajapidamistele,
juhtumianalüüs**

Magistritöö

Juhendaja: Juri Belikov
PhD

Tallinn 2021

Autorideklaratsioon

Kinnitan, et olen koostanud antud lõputöö iseseisvalt ning seda ei ole kellegi teise poolt varem kaitsmisele esitatud. Kõik töö koostamisel kasutatud teiste autorite tööd, olulised seisukohad, kirjandusallikatest ja mujalt pärinevad andmed on töös viidatud.

Autor: Vjatšeslav Antipenko

10.05.2021

Annotatsioon

Elektrivõrgud, elektrisüsteemid ja avatud elektriturud on üle elamas mastaapset muudatust, toimuv energiasüsteemi üleminek traditsioonilistelt energiatootmis allikatelt taastuvatele mõjutab elektrisektorit tugevalt. See loob eeldused uuteks turutingimusteks ning olukordadeks avatud ja reguleeritud elektriturgudel ning põhivõrguettevõtjatele suurenenud väljakutseid säilitada elektritasakaalu süsteemi tasandil. Samuti mõjutavad võrgu läbilaskevõimet puudujäägid ja paindlikkuse kättesaadavus kohalikul tasandil. Ummikud, pinge kõrvalekalded ja võrgu katkestused mõjutavad nii põhivõrguettevõtjaid kui ka jaotusvõrguettevõtjaid ning nende olukordade leevendamine nõuab uut tüüpi mitme poolset kooskõlastamist. Lisaks suuremale ülekande- ja jaotusvõrgu läbilaskevõimele vajavad tulevased elektrisüsteemid elastseid paindlikke ressursse ja arukaid juhtimismehhanisme. Käesolevas lõputöös uuritakse elektriturgu mõjutavaid muudatusi ning muudatustega toimetulekuks paindlikkuse tööriistu.

Töö sisaldab elektrituru ülevaadet, toimuvaid muudatusi, muudatuste tekkepõhjust, regulatiivseid eeskirju ning eesmärke mida püütakse saavutada. Uurimistöö käigus leiab autor paindlikkusteenuste rakendamise kulu efektiivseima sektori, rakendamise mõju ühiskonnale ning paindlikkusteenuste kui elektrituru instrumendi olulisuse.

Lõputöö on kirjutatud eesti keeles ning sisaldab teksti 37 leheküljel, 6 peatükki, 6 joonist, 4 tabelit.

Abstract

Impact of flexibility services on commercial, residential and industrial use-cases, case study

Electricity networks, electricity systems and open electricity markets are undergoing large-scale change, and the ongoing transition of the energy system from traditional to renewable energy sources is having a major impact on the electricity sector. This creates the preconditions for new market situations in open and regulated electricity markets, as well as increased challenges for transmission system operators to maintain the electricity balance at system level. Network capacity is also affected by gaps and the availability of flexibility at local level. Congestion, power outages and network interruptions affect both transmission system operators and distribution system operators, and alleviating these situations requires a new type of multilateral coordination. In addition to increased transmission and distribution network capacity, future electricity systems will need flexible resources and intelligent management mechanisms. This thesis examines the changes affecting the electricity market and available flexibility tools to cope with the changes.

The work includes an overview of the electricity market, the changes taking place, the reasons for the changes, the regulatory rules and the goals that are being sought. During the research, the author finds the most cost-effective sector for the implementation of flexibility services, the impact of implementation on society and the importance of flexibility services as an instrument of the electricity market.

The thesis is in Estonian and contains 37 pages of text, 6 chapters, 6 figures, 4 tables.

Mõisted

Agregaator	organ, mis ühendab energiasüsteemi erinevaid esindajaid eesmärgiga tegutseda elektrisüsteemi turul ühtse kehana
Bilansihaldur	isik, kes on oma bilansi tagamiseks sõlminud süsteemihalduriga bilansilepingu käesolevas seaduses ja selle alusel kehtestatud õigusaktides sätestatud korras
Desünkroniseerimine	käesoleva töö kontekstis, Eesti elektrivõrgu eemaldumine IPS/UPS süsteemist
Elektribörs	organiseeritud turg elektrienergiaga kauplemiseks sama või järgmise päeva või tunnisestest tarnetega
Elektribörsil kaupleja	туруosaline, kellele elektribörsi korraldaja on andnud õiguse elektribörsil kaubelda, sõlmides temaga asjakohase lepingu.
Hajatootmine	on elektrienergia tootmine tarbijaga seotult ja hajutatult paiknevates mikro- ja minielektri- ja küttejamaades
IPS/UPS	Venemaa ja lähiriikide ühtne sünkroonala
Kaudne tarbimise juhtimine	on tarbija reageerimine turu hinnasignaale, kus tarbija sõltuvalt turu hinnast saab oma tarbimismustrit muuta eesmärgiga hoida elektrienergia kulusid kokku
Mikrotootmine	väikesemahuline elektrienergia tootmine
Netotoodang	Eesti elektrijaamade võrku antud ja otseliinide kaudu tarbijatele edastatud saldeeritud toodang
Otsene tarbimise juhtimine	on reguleeritav paindlikkus, millega saab kaubelda erinevatel elektriturgudel
Päritolutunnistus	elektroniline dokument, mille süsteemihaldur annab tootjale taotluse alusel ja mis tõendab, et tootja on tootnud energiat taastuvast energiaallikast või tõhusa koostootmise režiimil
Süsteemihaldur (Transmission System Operator)	põhivõrguettevõtja, kellel lasub süsteemivastutus ja kelle kohustus on tagada sõlmitud lepingute kohaselt igal hetkel süsteemi varustuskindlus ja bilanss
Taastuvad energiaallikad	Kehtiva elektrituruseaduse järgi on taastuvad energiaallikad vesi, tuul, päike, laine, tõus-mõõn, maasoojus, prügilagaas, heitvee puhastamisel eralduv gaas, biogaas ja biomass. Biomassi all mõistetakse põllumajanduse, sealhulgas taimsete ja loomsete ainete, ja metsanduse ning nendega seonduva tööstuse toodete, jäätmete ja jääkide bioloogiliselt lagunevat osa, samuti

tööstus- ja olmejäätmete bioloogiliselt lagunevaid komponente. Nendest allikatest toodetud elektrienergia on taastuenergia.

Tarbimine	elektrienergia tarbimine
Tarbimise juhtimine	on kliendi paindlikkus ehk tarbimise või ka hajatootmise ajutine muutus tulenevalt turusignaalist
Turuosalised	tootjad, tarbijad, elektri müüjad, börsi korraldaja ja võrguettevõtted (põhivõrgu ja jaotusvõrgu ettevõtted)
Ülekoormus	olukord, milles põhivõrkude vaheline ühendus ei suuda asjaomaste võrkudevaheliste ühenduste ja/ või siseriiklike põhivõrkude võimsuse puudumise tõttu mahutada kõiki tegelikke elektrivooge, mida turuosalisel rahvusvahelise kaubanduse raames nõuavad

Sisukord

1 Sissejuhatus	11
1.1 Uurimisküsimused ja töö skoop	12
1.2 Üldine metoodika ja töö ülesehitus	13
2 Taust ja kirjanduse ülevaade.....	14
2.1 Euroopa Liidu seisukoht saastest ning kliima neutraalsusele seatud eesmärgid..	14
2.2 Hetkel toimiv Euroopa Liidu heitkogustega kauplemise süsteem.....	16
2.3 Taastuvenergia.....	17
2.4 Paindlikkusteenused	19
2.4.1 Hiina esimene pool-automatiseeritud tarbimise juhtimise pilootprojekt.....	20
2.4.2 Tarbimise juhtimine Soomes	21
2.4.3 Tarbimise juhtimine Rimi Eesti Food AS näitel	21
3 Eesti energeetika infrastruktuur.....	22
3.1 Regionaalne elektrisüsteem	23
3.2 Elektri tootmine ja tarbimine	25
3.2.1 Elektritarbimine sektorite lõikes.....	26
3.3 Varustuskindlus ja selle tagamine	28
3.4 Elektriturg, õigusaktid ning regulatsioonid	29
3.4.1 Tarbimise juhtimise turu raamistikku ettepanek Eestile	31
4 Nõudluspoolne tarbimise juhtimine	33
4.1 Tarbimise agregeerimine	36
4.2 Tarbimise juhtimise näiteid	37
4.2.1 GOPACS	37
4.2.2 Piclo Flex.....	37
4.2.3 EneRa	37
4.2.4 NODES.....	38
4.2.5 GridIO.....	38
4.2.6 FuseBox.....	39
4.2.7 Eesti Energia.....	39
5 Analüüs.....	40
5.1 Tarbimise juhtimine Eestis	41
5.2 Paindlikkusteenuste rakendamise efektiivsus sektori põhiselt	42

5.3 Paindlikkusteenuste vajalikkus.....	43
5.4 Paindlikkusteenuste mõju ühiskonnale.....	44
6 Kokkuvõte	46
Summary.....	49
Kasutatud kirjandus	51
Lisa 1 – Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks	55
Lisa 2 – Elektrienergia tarbimine tegevusala põhiselt 2019 aastal.....	56

Jooniste loetelu

Joonis 1. CO2 hinnadünaamika esitatud eurodes tonni CO2 kohta (EUA – European Emission Allowances) [10].	17
Joonis 2. Taastuvatest allikatest toodetud elekter aastatel 2011 – 2019 [12].	18
Joonis 3. Eesti elektrisüsteemi põhivõrk [9].	23
Joonis 4. Maksimaalsed ülekandevõimsused Läänemere regioonis 2018. aastal (MW) [9].	24
Joonis 5. Eesti tarbimismaksimumid läbi ajaloo [21].	26
Joonis 6. Clark Gellingi tarbimise juhtimise kontseptsioon [31].	33

Tabelite loetelu

Tabel 1. Eesti ülekandevõrgu põhinäitajad (seisuga jaanuar 2018) [9].....	22
Tabel 2. Elektrisüsteemi ja hulgituru näitajad 2018.a ja 2019. a võrdluses [20].....	25
Tabel 3. Ülevaade tarbimise juhtimisest ja selle mõjudest elektrisüsteemis [31].	34
Tabel 4. Hinnanguline Eesti tarbimise juhtimise potentsiaal ühes tunnis [15], [31].....	43

1 Sissejuhatus

Tänapäeva järjest enam digitaliseerivas ühiskonnas on selged korrelatsioonid riigi rahva majandusliku heaolu ning energiatarbimise vahel. Sellele lisab kaalu ka ootus erasektorile ning riigile uute tehnoloogiliste lahenduste väljatöötamiseks igapäevaelu parandamiseks ning hõlbustamiseks. Paratamatult viib aga iga uus tehnoloogiline lahendus meid suurema energia tarbimiseni, olgu selleks tegu elutähtsa või mugavusteenusega. Samas on aga just elutähtsa teenusena kirjeldatud ka riigi huvitatud osapoolte elektriga varustamine [1]. Seega on meil tekkimas olukord, kus elutähtsa teenuse tarbijaid on iga aastaga järjest enam. Iga uus elektrienergia tarbija suurendab elutähtsa organi koormust ning teenuse pakkujad on sunnitud otsima lahendusi nii lühi- kui ka pikaajaliste probleemide lahendamiseks.

Euroopa Liidu (EL) ootused energiatarbimisele on selgelt kirjeldatud Energialiidu paketiga, milles tuuakse välja, et EL impordib 53% kasutatavast energiast, kulutades selleks ligikaudu 400 miljardit eurot, mis teeb EL'ist maailma suurima energia importija [2]. Taolises mahus energia sisse ostmine kaasab endaga tugeva strateegilise ning geopoliitilise riski. Eesti on sellest mõjutatud tulenevalt Balti riikide elektrisüsteemi tehnilisest ühendusest Venemaa ühendatud elektrisüsteemiga (IPS/UPS). Sagedust, mis on elektrisüsteemi üks olulisemaid näitajaid, kontrollib Venemaa ning omab seeläbi võimekust mõjutada elektrisüsteemi toimimist Balti riikides. Välisriskide maandamiseks ning siseturu tootmise ja tarbimise ühtlustamiseks on töös projekt Balti riikide elektrisüsteemi eraldumiseks aastal 2025 ning sama aasta lõpuks Mandri-Euroopa elektrivõrgu ning sagedusalaga liitumiseks [3]. IPS/UPS elektrisüsteemist desünkroniseerimine ja ühendamine Mandri-Euroopa sünkroonalaga on Baltimaade elektrisüsteemi arendamise seisukohalt ning selle ühiskondlikku mõju arvestades kõige olulisem käimasolev projekt. Baltimaade eraldumine IPS/UPS elektrisüsteemist ja ühendamine Mandri-Euroopa sünkroon alasse on üks strateegiliselt olulisemaid ja samas ka üks keerukamaid projekte energeetika maastikul Euroopa Liidu tasandil [3].

IPS/UPS süsteemist desünkroniseerimiseks ning Mandri-Euroopa elektrivõrguga liitumiseks on tarvis maandada mitu erinevat vaheriski seal hulgas olukord, kus on toimunud eraldumine IPS/UPS süsteemist kuid Mandri-Euroopa süsteemiga liitumine on ebaõnnestunud. Baltikumi ootamatu eraldumise ning iseseisva toimetuleku tagamiseks

vajava minevad energia tootmismahud on hetkel juba tagatud, kuid süsteemi stabiilsena hoidmiseks tuleb rakendada suuremate avariide korral saartalitlusel lühiajaliselt suures mahus tarbijate automaatset piiramist [4].

Lisaks eelnevale on EL võtnud vastu konkreetse eesmärgi vähendada liidus kasvuhoonegaaside heidet 1990. aasta tasemega võrreldes vähemalt 40%, see omakorda paneb suure rõhu fossiilsete kütuste kasutamise vähendamisele energia tootmises. Eesti on inimese kohta CO₂ heitkoguste riikidevahelises pingereas tipp 20 seas, olles EL liikmesriikide hulgas kõige kõrgemal positsioonil [5]. Võttes arvesse ka Euroopa Liidu poolt vastu võetud eesmärgi genereerida 2030. aastaks tarbitavast energiast vähemalt 32% taastuvatest energiaallikatest on selge, et Eesti energeetika maastik seisab järgneva 10 aasta jooksul kardinaalsete muudatuste ees. Tekitades olukorra, kus energiatootmisesse panustab iga aastaga järjest enam taastuenergia allikaid, mille tootmisvõimsus ajas pole 100% garanteeritud.

Eelnevale tuginedes on elektrivõrgu süsteem tervikuna üle elamas mastaapseid muudatusi, millega peab kohanduma süsteem tervikuna ning kõik süsteemi huvitatud osapooled. Stabiilsete energia tootmisallikate asendumine taastuvate energiaallikatega tekitab süsteemi töös järjest rohkem olukordi, kus on vajalik tingimustele vastavalt kiiresti adapteeruda. Üheks potentsiaalseks lahenduseks eelnevalt kirjeldatud probleemidele on järjest enam tähelepanu koguv paindlikkusteenuste pakkumine või teisisõnu paindlik energia tarbimine ja tootmine.

1.1 Uurimisküsimused ja töö skoop

Käesolev uurimistöö arutleb elektrituru paindlikkusteenuste, nende pakkujate, rakendumise, aktuaalsuse, pärssivate faktorite ning mõju üle. Energeetika sektor oma olemuselt on üks vanimatest ning suurimatest valdkondadest maailmas ning omab mitmekülgset mõju ühiskonnale ja maailmale tervikuna. Kiiresti muutuv ja üha enam digitaliseerivas ühiskonnas on jõudnud aeg muutuseks ka ühe vanima ning suurima inimese poolt loodud tehisorganini – elektrivõrguni. Muutused inimeste tarbimises, järjest suurenev teadmised fossiilsete kütuste laastavast mõjust maakerale, taastuenergia allikate massiivne kasutusele võtmine paneb elektrivõrgu ning selle haldajad väga keerulisse olukorda. Antud töö raames keskendub autor paindlikkusteenustele ning nende rakendamise mõjule.

Uurimistöö peamine ülesanne on:

- Tuvastada kõige kuluefektiivsem sektor, mille puhul annavad paindlikkus teenused kõige suuremat mõju elektrisüsteemile.

Töö käigus uurib autor ka:

- Paindlikkusteenuste mõju ühiskonnale. Kuluefektiivseima sektori leidmisel uurib autor paindlikkusteenuste rakendumise mõju ka teistele sektoritele.
- Missugused on kitsaskohad paindlikkusteenuste rakendamisel?
- Miks on oluline arendada paindlikkusteenuseid ja turgu tervikuna?

1.2 Üldine metoodika ja töö ülesehitus

Uurimistöös kasutatakse kvalitatiivset ja analüütilist meetodit ning juhtumiuuringut. Töö esimeses osas annab autor sissejuhatusliku ülevaate üldistest muutustest energeetika maastikul. Teises osas antakse detailsem olukorra kirjeldus nii Eesti siseselt kui Euroopa Liidus laiemalt. Tuuakse esile rakendunud regulatsioonid, kliima neutraalsuse eesmärgid ning taastuvenergia allikate kasutusele võtmine.

Töö kolmandas osas kirjeldatakse Eesti energeetika infrastruktuuri, tootmist ja tarbimist, kehtivaid õigusakte. Pööratakse tähelepanu käsitlemise all olevatele muudatustele ning tingimustele, mis pärsivad paindlikkusteenuste arengut Eestis.

Neljandas osas kirjeldatakse detailselt lahti, mis on paindlikkusteenused, kellele on need suunatud ning miks on need vajalikud. Tuuakse välja näiteid nende rakendamisest, rakendamise mõjust nii ühiskonnale tervikuna kui ka infrastruktuurile.

Töö viiendas osas analüüsib autor paindlikkusteenuste arendamise mõju. Toob esile paindlikkusteenuste positiivsed aspektid ning kirjeldab ka teenuste arendamise kõrvale jätmise negatiivse mõju.

Uurimistöö viimases osas toob autor algselt püstitatud probleemidele vastused, võtab teema kokku ning esitleb isikliku arvamuse.

2 Taust ja kirjanduse ülevaade

Antud peatükis annab autor detailsema ülevaate probleemi olemusest, trendidest mis probleemi mõjutavad ning valdkonna pika ajaplaanist.

2.1 Euroopa Liidu seisukoht saastest ning kliima neutraalsusele seatud eesmärgid

Kliima soojenemist on alates 20. sajandi keskpaigast seostatud inimtegevusega, mille käigus õhku vabanenud kasvuhoonegaaside hulk on üha suurenenud, selle tulemusena on aasta keskmine õhutemperatuur stabiilselt kasvanud [6]. Möödunud 150 aasta jooksul on Maa keskmine temperatuur tõusnud 0.8°C , kui ei rakendata vastu meetmeid inimtekkeliste kliimamuutuste vastu võib temperatuur tõusta 2100. aastaks veel $2 - 6,3^{\circ}\text{C}$. Selle tagajärjena võib suurenda ekstreemsete ilmastikunähtuste ja tõsiste loodusõnnetuste sagedus, k.a. suureneb tõenäosus tõsiste geograafiliste muudatuste tekkele. Ülemaailmne Pariisi kliimakonverents COP21 toimus 2015. aastal, mille käigus 196 maailma riigi esindajad leppisid kokku sammudes energiatootmise edasiseks pidevaks üleviimiseks taastuvenergiale ning CO₂ emissioonide vähendamisele. Selle käigus lepidi kokku eesmärgis hoida planeedi keskmine temperatuuri tõus alla 2°C võrreldes tööstusrevolutsiooni eelse tasemega [7]. Pikas plaanis 2050 – 2100 aastate ajavahemikus on kavas jõuda süsinikneutraalse inimtegevuseni, mis tähendab kasvuhoonegaaside emissiooni viimist miinimumini.

Euroopa Liit on leppinud kokku järgmistes kliima ja energia tootmise eesmärkides aastaks 2030 [8]:

- Kasvuhoonegaaside heitmete mahu vähenemine 40% võrra võrreldes 1990 aasta üleeuroopalise tasemega;
- Taastuvenergia osakaal tarbimises liikmesriigi kohta vähemalt 32%;
- Tagatud energiasääst vähemalt 32.5% ulatuses võrreldes prognoositud energiatarbimisega.

Püstitatud eesmärgid aitavad kaasa jätkusuutlikuma, ohutuma, keskkonnasõbralikuma ning konkurentsivõimelisema üleeuroopalise energiasüsteemi loomisele. Lisaks on

vahepealsed eesmärgid vundamendiks meetmetele, mille kaudu on plaanis veel enam vähendada kasvuhoonegaaside väljaheidete mahtu aastaks 2050.

Eelpool kirjeldatud eesmärkidest on kõige enam lahti mõtestatud kasvuhoonegaaside heitmete vähendamine 40% võrra. Kasvuhoonegaaside heitmete eesmärgi saavutamine eeldab [9]:

- täitmist Euroopa Liidus kollektiivselt võimalikult kulu efektiivsel viisil. Kehtib nõue, et heitmekaubanduse kauplemissüsteemi kuuluvates sektorites väheneb heitkoguste määr võrreldes 2005. aastaga 43%, kauplemissüsteemi mittekuuluvate sektorite puhul aga 30% võrra;
- kõikide liikmesriikide osalust, *lähtudes solidaarsusprintsipist*;
- toimiva heitmekaubanduse kauplemissüsteemi välja arendamist ning turu stabiilsusinstrumentide kasutuselevõtmist;
- heitkoguste iga-aastase lineaarselt kahaneva piirmäära tõstmist seniselt 1.74 protsendi punktilt 2.2 protsendi punkti peale;
- Kehtiva NER300 rahastamisprogrammi ülevaatamist, mis hõlmab ka CO2 kogumise ja säilitamise ning taastuvenergeetika programmide ümber hindamist.

Eesti energiapoliitika eesmärgid 2030 aastaks on leitavad Energiamajanduse arengukavas [10]. Antud töö kontekstis omavad kõige enam tähelepanu järgmised:

- toimib vaba, toetusteta ja avatud kütuse- ja elektriturg;
- elektri tootmise võimekus Eestis on piisav, kui on täidetud N-1-1 kriteerium (tootmiseadmete vaates);
- Eesti elektrisüsteem on sünkroniseeritud Euroopa Liidus juhitava sünkroonalaga;
- taastuvatest energiaallikatest elektri tootmine moodustab 50% sisemisest elektri lõpptarbimisest ning uute taastuvelektri tootmiseadmete rajamine toimub avatud elektrituru tingimustel ilma täiendavate siseriiklike toetusteta;

- 80% Eestis toodetud soojusest toodetakse taastuvate energiaallikate baasil, kohalike energiaallikate olulisust soojuse tootmisel suurendab veelgi turvas. Eesmärk saavutatakse valdavalt turupõhiselt;
- jaotusvõrgus katkestuste keskmine kogukestus minutites tarbimiskoha kohta aastas ei ületa 90 minutit, mis saavutatakse ilma täiendava koormuseta tarbijatariifile;

2.2 Hetkel toimiv Euroopa Liidu heitkogustega kauplemise süsteem

Kyoto protokollide eesmärkide täitmiseks on Euroopa Liit käivitanud heitkoguste kauplemise süsteemi (EU ETS - European Union Emissions Trading Scheme), mis hõlmab suuremahuliste energiatootmise ja tööstuse sektoreid, süsteem käivitati 2005 aasta alguses. ETS kehtib kõikides Euroopa Liidu riikides ning lisaks ka Islandil, Liechtensteinis ja Norras. Süsteemi eesmärgiks on vähendada kasvuhoonegaaside õhku paiskamist üle Euroopa, suunata energiatootjaid kasutama vähem saastavaid toormeid ning investeerida uutesse tootmis tehnoloogiatesse. 2012. aastast alates rakendub skeem ka lennundussektorile ning seda on plaanitud järk-järgult ka teistesse majandusharudesse rakendada. Kuna hetkel kehtiv ETS rakendub ainult Euroopa Liidus tegutsevatele ettevõtetele on teistes riikides tegutsevatel ettevõtetel konkurentsieelis. Selleks, et Euroopa majandus suudaks olla jätkusuutlik ja konkurentsivõimeline, väljastati rahvusvahelistele ettevõtetele erinevas koguses saastekvoote. Samas ETS õnnestumist seab ohtu emissioonide kasvav ülejääk, mis lühiaja plaanis õõnestab süsiniku turu toimimist ning pikemas perspektiivis võib mõjutada süsteemi võimet saavutada ambitsioonikaid heitme vähendusega seotud eesmärgi. Prognooside hinnangul peaks süsinik tonni hind olema 40 – 50€ ringis, et motiveerida üleminekut fossiilkütustelt süsinikuvabadele energiaallikatele. Kõrgemad hinnad toovad endaga kaasa vajaduse investeerida energiatõhusatesse taastuenergia allikatesse. Joonisel 1 on kujutatud viimase kümnendi hinnadünaamika tonni CO₂ kohta, erinevate prognooside kohaselt hakkab CO₂ hind järk-järgult kasvama eesmärgiga pikas perspektiivis soodustada taastuenergiaallikate kasutusele võttu.



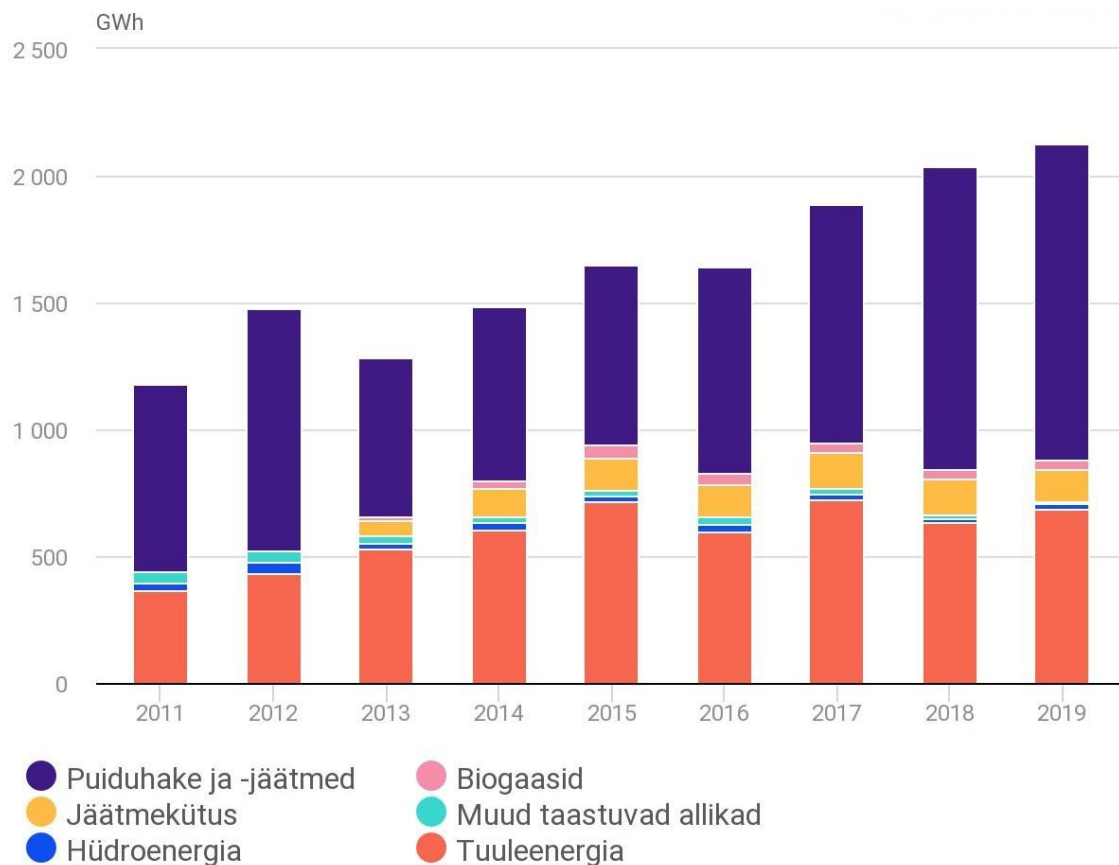
Joonis 1. CO2 hinnadünaamika esitatud eurodes tonni CO2 kohta (EUA – European Emission Allowances) [11].

2.3 Taastuenergia

Energeetika infrastruktuur on lisaks kõigele muule üle elamas mastaapset muudatust. Taastuvate energiaallikate kasutuse järjepidev kasv, jaotusvõrkudega ühendatud hajatootmise olulisuse suurenemine ning uute turuosaliste lisandumine turule (energiaühistud, agregaatorid jt.) on toonud uued väljakutsed, millega tuleb tegeleda [9]. Ühe suurima väljakutsena taolise muudatuse juures on elektrisüsteemi katkematu töö säilitamine. Tulenevalt energiatootmise iseloomust pole võimalik taastuvate energiaallikate tootmistsüklit ette planeerida, mille tulemusena omakorda peavad elektrisüsteemi tasakaalu säilitamise tööriistad olema võimalikult pandilikud.

Paindlikkuse arendamiseks on väga oluline tegeleda tarbimise juhtimise edendamise ja arendamisega. Elektrienergia tarbijal saab olema muutuv süsteemis prioriteetne koht ja uued süsteemi toetavad lahendused peavad olema tarbija kesksed. Taoliste arengute soodustamiseks on elutähtis arendada välja ka turge ning turuosapooli toetavad info- ja kommunikatsioonilahendused haldamiseks energiavõrke. Energiaturgude digitaliseerimine peab olema kõikidel turuosalistel strateegiliselt kõrges prioriteedis.

Möödunud 2020 aasta jooksul tootsid Eesti taastuvenergia allikad 2229 gigavatt-tundi elektrienergiat, mis on 15% võrra rohkem kui 2019 aastal ning see läbi moodustas taastuvenergia toodang 46.4% Eesti elektritoodangust ning kattis 25% tarbimisest [12]. Joonisel 2 on kujutatud taastuvenergia allikatest toodetud energia osakaalu suurenemise tendentsid perioodil 2011 – 2019. Eesti taastuvenergia allikate 2020 aasta tootmisvõimsuse järgi on kõige suurema kaaluga biomass, biogaas ja jäätmed, mis kokku moodustasid 56% kogu toodangust, sellele järgnes tuuleenergia 37% toodangu mahuga. Vaatamata sellele, et Eestit ei saa nimetada päikeseliseks riigiks on kasvanud massiliselt päikesenergia tootmisjaamade hulk, 2020 aasta lõpu seisuga on päikesest elektrienergia tootjaid arvuliselt üle 6300 [12]. Tehnoloogia kiire areng, erasektori finantseerimine, inimeste teadvustamine alternatiivsete energia tootmisvõimaluste kohta ning tehnoloogia odavnemine on andnud oma toetuse valdkonna kiirele arengule.



Joonis 2. Taastuvatest allikatest toodetud elekter aastatel 2011 – 2019 [13].

Elektritootmis jaamade majandusliku tasuvust mõjutavad eelkõige tehnoloogiline efektiivsus, kütuse hind, keskkonnamaksud ja makstavad toetused. Ajalooliselt on kujunenud, et keskkonda enam saastavad kütused on odavamad kui puhtamad energiaallikad. Samas tuleb tunnistada, et tootmismahu kasvuga võib turuolukord saada

mõjutatud ning see läbi tuua ühikukulu hinna alla ka väikese marginaaliga taastuenergia allikatel nagu päike ning tuul. Võttes arvesse Eesti elektritootmise iseärasust ehk domineerivaid põlevkivi jaamu ning CO₂ madalat maailmaturu hinda, ei ole alternatiivsed jaamad seni ilma täiendavate toetuseta tasuvad. Viimastel aastatel on Eestis loodud mitmeid erinevaid toetuskeeme taastuvate energiaallikate osakaalu tõstmiseks. Toetus meetmete eesmärgiks on suurendada investeeringuid elektrienergia tootmisesse taastuvatest energiaallikatest, seeläbi tagada Euroopa Liidu eesmärkide täitmine, primaarenergia sääst ning ka varustuskindlus.

Taastuenergia laialdase kasutusele võtmise seisukohalt on väga oluline ka tarbijate informeerimine ja teavitamine tarbitava elektrienergia päritolust ning tootmisega kaasnevatest keskkonnamõjudest. Nii Eurodirektiiv kui ka Eesti seadusandlus on kohustanud tarnijaid informeerima tarbitava elektrienergia päritolu kohta [14]. Euroopa Liit pöörab suurt tähelepanu ka tarbijate teadlikkuse kasvule taastuenergia osas, töö kirjutamise hetkel on taastuenergia tarbijad valdavalt suurfirmad ja omavalitsused, kes järgivad erinevaid püstitatud eesmärke ning leppeid. Lõppeesmärk on aga, et iga tarbija oleks teadlik ning vastutustundlik elektrienergia tootmise allikate kohta.

2.4 Paindlikkusteenused

Antud töös peamise paindlikkusteenusena käsitletakse nõudluspoole tarbimise juhtimist, mis hõlmab erinevaid meetodeid tarbijate energianõudluse muutmiseks, mille üheks peamiseks eesmärgiks on kujunenud vähendada tipptunni tarbimist või viia tarbimine üle tipptunni välisele ajale [15]. Tarbimise juhtimist võib eristada järgmiselt [9]:

- Kaudne ehk hinnapõhine tarbimise juhtimine, mis võimaldab turuosalise elektritarbimise käitumismustri reguleerimist vastavalt elektri hinna tasemele. Taoline tarbimise juhtimine annab kasutajal vabaduse oma eelarve optimeerimiseks ning on kõikidel turuosalistel võimalik iseseisvalt rakendada. See ei nõua vahendava osapoole (elektrimüüja, agregator, bilansi haldur) kaasamist.
- Otsene tarbimise juhtimine viitab energia või võimsuse ette müümisele, mille tagajärjel tuleb turuosalistel vastavalt müüdü energia hulgale oma tarbimist või tootmist kohandada. Taoline tarbimise juhtimine on Eestis võimalik reguleerimis

turul. Antud tarbimise juhtimise rakendamise eeldus on vahendava osapoole kaasamine, kelleks võivad olla näiteks bilansi haldur või agregaat. Vahendava osapoole kaasamise nõue tuleneb vajadusest koondada teenuse tarbijad kokku, et tekiks piisavalt suur võimsuse osakaal tarbimise juhtimiseks.

Tarbimise juhtimise teenuseid saavad pakkuda kodu-, teenindus- ja avaliku sektori tarbijad aga ka tööstustarbijad. Tarbimise juhtimine nõuab koordineerimist kogu elektriturul ulatuses. Osalema peavad nii põhivõrgu operaator, jaotusvõrgud kui ka energia tarnijad, bilansihaldurid, agregeerimise teenuse pakkujad ning ka tarbijad. Tarbimise juhtimise väärtus Eesti elektrisüsteemile suureneb aja jooksul. Samas varieerub tarbimise juhtimise väärtuse kasv sõltuvalt selle kasutamisest erinevate turuosaliste poolt. Tarbimise juhtimisega konkureerivad kasutusviisid hõlmavad [16]:

- hulgiturul kauplemist vältimaks hinna volatiilsust;
- investeeringute edasi lükkamist jaotusvõrkudes;
- süsteemiteenuste pakkumist riiklikul tasandil aastaks 2025, kui plaani kohaselt realiseerub eraldumine IPS/UPS elektrisüsteemist;

2017 aasta seisuga on tarbimise juhtimist kommerts tasandil rakendatud viies Euroopa Liidu liikmesriigis: Šveits, Prantsusmaa, Belgia, Soome, Suurbritannia ja Iirimaa. 22. Mail 2019 võeti vastu Puhta energia pakett, mis hõlmab endas energiatõhususe arengut, taastuvenergia suuremat kasutuselevõttu, paremat Energialiidu juhtimist, rohkemaid õigusi tarbijatele ning nutikamat ja tõhusamat elektriturgu [17]. Eelduste kohaselt tähendab see ka kiiremat tarbimise juhtimise raamistike, tehnoloogiate ning teenuste arengut üle kõikide Euroopa Liidu liikmesriikide.

2.4.1 Hiina esimene pool-automatiseeritud tarbimise juhtimise pilootprojekt

Hiina on maailma suurim energia tarbija ning prognooside kohaselt on 2040. aastaks tarbimine ületanud 2x USA tarbimise. Prognoositava nõudluse rahuldamiseks uue põlvkonna elektrijaamade ehitamise majanduslik ja keskkonna mõju on märkimisväärne probleem, samas on energia puudujääke ammu tunda. 2011. aastal esines kriitilisel tippajal tarne puudusi kuni 30 GW ulatuses. Hiina võimud suhtuvad tarbimise poolsesse juhtimisse kui võimalusse vähendada tipp-tundide koormus seisakuid ning vajadust uute elektrijaamade ehituse järgi. Pilootprojektis rakendati nõudluspoole juhtimise

tehnoloogiat Tjianjin majandusliku arengu piirkonna kahes büroohoones, Kumho rehvi tootmistehases ja tuuleturbiinide tööstus rajatistes Vestas. Paulsoni Instituudi kohaselt on pilootprojekti tulemused ületanud ootusi. Tööstus koormus vähenes 7.7% kogu tootmisperioodi jooksu, tarbimise poolse juhtimise sekkumine muudel perioodidel ületas 30% kogu ajast, büroo hooned suutsid järjepidevalt vähendada 15 – 20% koormusest. Positiivsed katse tulemused andsid hoogu juurde uutele projektidele [15].

2.4.2 Tarbimise juhtimine Soomes

Tarbimise juhtimine on Soomes hästi arenenud. Soome on olnud reaalajas kõigi tarbijate hinnasignaalide edendamisel esirinnas. Tööstustarbija on olnud turgudel aktiivsed alates turgude avanemisest 1990ndatel ja on tavaline, et tööstustarbija optimeerivad oma tarne portfelli lähipäevade turuhindade põhjal. Suurematel kodutarbijatel (elektriküte) on avatud turg avaldanud mõju viies tarbimise enamasti öötundidele, säästes sellega igapäevaselt kuludelt. Peaaegu kõik tarnijad pakuvad oma klientidele ka dünaamilisi elektrihinna lepinguid. 2018.aasta lõpuks oli umbes 9% jaeklientidest kasutamas dünaamilist elektrihinda. Lisaks on teenusepakkujaid, nii agregaatoreid kui ka sõltumatuid agregaatoreid, kes annavad võimaluse väikeklientidel osaleda paindlikkusteenuse turul. Soome on esimene riik Euroopas, kus selline võimalus on kodumajapidamistele avatud [18].

2.4.3 Tarbimise juhtimine Rimi Eesti Food AS näitel

Rimi Eesti Food AS on Eesti üks suurimaid poekette, omades üle Eesti enam kui 80 poodi. Koostöös kohaliku agregaatori FuseBox OÜ'ga alustati tarbimise juhtimist 4. poes. Tarbimise juhtimine võimaldab teenusega liitunud poodidel reageerida energiasüsteemi muutustele. Kui elektrivajadus on liiga suur, saab Rimi oma tarbimist lühiajaliselt vähendada, seeläbi vältimaks elektrikatkestusi piirkonnas. Sarnaselt vastupidisele on neil ka võimalus suurendada oma tarbimist, et taastuenergia allikatest saadud üleliigset energiat talletada soojusenergiana. Rimi kaupluste paindlikkuse tagavad ennekõike elektriseadmed nagu küttekehad, mootord ja külmkompressorid. Vajalikud riistvaralised täiendused teostati koostöös FuseBox'i ja kohalike automaatika- ja hooldusega tegelevate ettevõtetega. Rimi ärikriitiliste teenuste kvaliteedi tagamiseks kasutatakse sisekliima ja heaolu mõõtmisel eelnevalt defineeritud piiranguid ja limiite, mille tulemusena pole kunagi esmatähtis vähendada või suurendada Rimi kaupluste elektritarbimist [19].

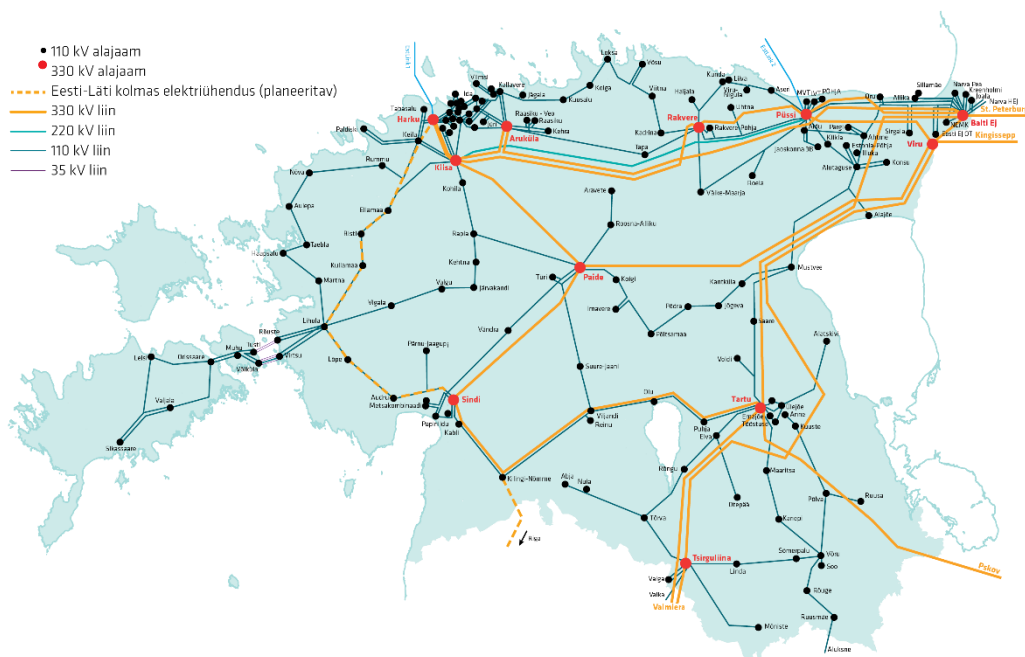
3 Eesti energeetika infrastruktuur

Eesti põhivõrk on Baltimaade elektrisüsteemi osa ning kuulub opereerimisele elektrisüsteemide süsteemihaldureid koondava organisatsiooni ENTSO-E alt. Euroopa põhivõrguettevõtjate võrk ENTSO-E esindab 42 elektri põhivõrguettevõtjat 35-st riigist üle Euroopa. ENTSO-E asutamine ning õiguslikke volituste jagamine teostati EL energia siseturu kolmanda paketiga, mille alam eesmärk on EL gaasi ja elektri turgude edasine avamine [20]. Eesti 110 – 330 kV elektrivõrk sai põhiosas rajatud aastatel 1955 – 1985 osana Nõukogude Liidu ühtsest energiasüsteemist ning põhi eesmärk oli tagada elektrivarustus Peterburi ning Riia linnadele. Hilisematel aastatel on Eestis saavutanud põhitarbekeskuste linnad Tallinn, Tartu ja Pärnu, mille tulemusena on ülekande võrk laienenud ka nendesse piirkondadesse. Eesti ülekandevõrgu põhiparameetrid tänapäeva seisuga on esile toodud numbrilisel kujul Tabelis 1 ning graafilisel kujul Joonisel 3.

Tabel 1. Eesti ülekandevõrgu põhinäitajad (seisuga jaanuar 2018) [9].

Liinid	Pikkus, km	Alajaamad	Kogus, tk
330kV	1700	330kV	11
220kV	158	110kV	137
110kV	3424		
35kV	44		
Kokku	5326	Kokku	148

Eesti siseriiklikud võimsusvood liiguvad enamasti Narva-Tallinn ja Narva-Tartu suunal. Narva Tartu suunalist ühendust kasutatakse enamasti ekspordiks ja transiidiks Venemaalt Läti, Leetu ja Kaliningradi. Eesti põhilist tarbimispiirkonda, Tallinna ja Harjumaad tervikuna, varustatakse läbi Narva-Tallinn suunalise ülekande võrgu. Lisaks on Eestil praeguseks hetkeks 7 ühendust naaberriikidega. Kaks alalisvooluühendust EstLink 1 ja EstLink 2 on Eesti ja Soome vahel. Kaks liini ühendavad Eesti elektrisüsteemi Lätiga ning kolm ülekandeliini on ühenduses Venemaaga, kaks Narva kandis ning kolmas Pihkva juures.

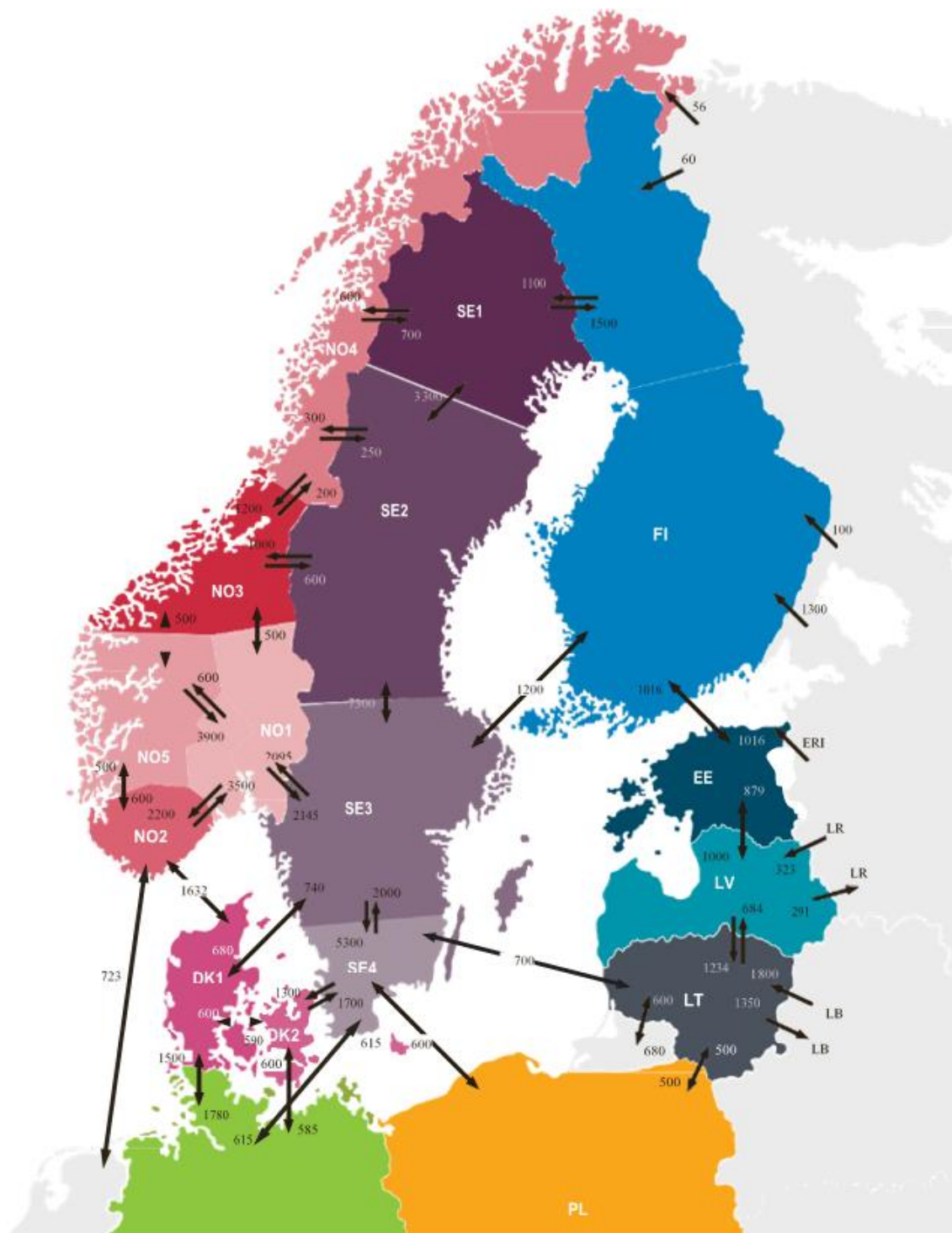


Joonis 3. Eesti elektrisüsteemi põhivõrk [9].

3.1 Regionaalne elektrisüsteem

Baltikum, sealhulgas Eesti iseseisvalt, on naaberriikidega elektriliselt hästi ühendatud. Euroopa elektrituruga ühendavad Baltikumi lisaks EstLink ühendustele ka Leedu ühendused Rootsi (NordBalt) ja Poolaga (LitPol). Ühendused Soomega on kokku 1016 MW, Poolaga 500 MW ning Rootsi 700 MW. Ajaloolistest põhjustest tingituna on Balti riikide elektrisüsteemidel mitmed ühendused ka Venemaa ning Valgevenega. Eesti põhivõrgu haldajaks on Elering AS. Oluliseks muutujaks elektriturul on hinna piirkondade vahelised ülekande võimsused. Hinna piirkonnad on alad, mille sees puuduvad olulised ülekandevõimsuste piirangud, mille vahel on ülekandevõimsus piiratud. Eestis on näiteks ainult üks hinnapiirkond, samas võrdluseks Rootsis on neli erinevat hinnapiirkonda. Joonisel 4 on graafilisel kujul esile toodud Skandinaavia ja Baltikumi regionide hinnapiirkonnad ning nende vahelised ülekandevõimsused. Ülekandevõimsused on elektriturule seatavad piirangud elektrienergia liikumisele, millega piiratakse elektrisüsteemi tehnilist võimekust elektrivoogude liigutamisel piirkondade vahel. Eesti ja Soome näitel on hinna piirkondade vaheline alalisvoolühenduse ülekandevõimsus suunal Soomest Eestisse 1016 MW. See tähendab

võimalust liigutada elektrienergiat maksimaalses mahus 1016 MWh igal tunnil. Süsteemi haldurid arvutavad omavahel ühendatud piirkondade vahelisi ülekandevõimsusi järgmiseks päev ette turu tarbimiseks. Lisaks arvutatakse ka täiendavalt ülekandevõimsusi päevasiseseks kauplemiseks. Sarnaseid arvutusi tehakse ka nii nädal, kuu kui ka aasta ette.



Joonis 4. Maksimaalsed ülekandevõimsused Läänemere regioonis 2018. aastal (MW) [9].

3.2 Elektri tootmine ja tarbimine

Ettevõtjate ja elanike tarbimisharjumusi iseloomustab hästi sisemajanduse koguprodukti (SKP) ja elektri tarbimise vaheline seos. Kui kaupu ja teenuseid toodetakse ja ostetakse rohkem, siis kasvab ka elektritarbimine ning ostujõu vähenemisel see kahaneb. Import ületas eksporti ehk Eesti tarbis rohkem kui tootis ja on esimest korda aastakümnete jooksul muutunud elektrit tootvast riigist elektrit importivaks riigiks. 2019. aasta oli selles osas märgiline ning selline trend tõenäoliselt jätkub. Seda põhjusel, et Eesti põlevkivil põhinevad tootmisvõimsused on oluliselt vähenenud ja vähenevad veelgi ning pole tõusnud CO2 hindade tõttu enam turul konkurentsivõimelised. See tingib oluliselt suurenenud impordi vajaduse ja vähenenud ekspordi. Võrdluseks on Tabelis 2 esile toodud elektrisüsteemi tootmise ja tarbimise hulgituru näitajad 2018 ja 2019 aastate erinevusena.

Tabel 2. Elektrisüsteemi ja hulgituru näitajad 2018.a ja 2019. a võrdluses [21].

Näitaja	2018	2019	Muutus %
Tootmine, GWh	10 583	6447	-39%
Tarbimine (ilma põhivõrgu kadudeta), GWh	7980	7833	-2%
Füüsiline import, GWh	3484	5616	61%
Kaubanduslik import, GWh	2858	4733	66%
Füüsiline eksport, GWh	5350	3417	-36%
Kaubanduslik eksport, GWh	4775	2499	-48%
Põhivõrgu kaod, GWh	737	813	10%

Tähelepanu väärib ka fakt, et alates 1966. aastast on tarbimismaksimum kasvanud üle kolme korra, mida on näha graafiliselt kujutatuna Joonisel 5. Tarbimismaksimumi on oluline teada, kuna sellistel hetkedel on elektrisüsteemi varustuskindlus kõige suurema surve all.



Joonis 5. Eesti tarbimismaksimumid läbi ajaloo [22].

3.2.1 Elektritarbimine sektorite lõikes

Statistikaameti andmebaasi andmetel oli 2019 aasta kogutarbimine 9 274 GWh. Sektori põhine tarbimine on toodud lisas 2. Käesoleva töö raames on vaatluse all järgmised sektorid:

- Tööstussektor, mille hulka kuuluvad:
 - Põlevkivi kaevandamine
 - Turba tootmine ja muu kaevandamine
 - Toiduainete tootmine, joogitootmine
 - Tekstiili- ja rõivatootmine, nahatöötlemine ja nahktoodete tootmine
 - Puidutöötlemine
 - Paberi ja papertoodete tootmine, trükindus ja salvestiste paljundus
 - Koksi ja puhastatud naftatoodete tootmine
 - Keemia- ja farmaatsiatoodete tootmine

- Kummi- ja plasttoodete tootmine
- Muude mittemetalletest mineraalidest toodete tootmine
- Metalli tootmine
- Metalltoodete tootmine
- Arvutite, elektriseadmete ja transpordivahendite tootmine
- Mööblitootmine
- Muu tootmine
- Jäätmetöötlus
- Äri- ja avaliku teeninduse sektor
 - Hulgi- ja jaekaubandus
 - Laondus, posti- ja kulleriteenistus
 - Majutus ja toitlustus
 - Info ja side
 - Finants- ja kindlustustegevus
 - Kinnisvaraalane tegevus
 - Kutse-, teadus- ja tehnikaalane tegevus
 - Haldus- ja abitegevused
 - Avalik haldus ja riigikaitse
 - Haridus
 - Tervishoid ja sotsiaalhoolekanne
- Kodumajapidamised

Eelnimetatud sektorite energiatarbimine moodustas 2019. aastal peaaegu 80% kogutarbimisest. Tööstus 2 489 GWh (26.84%), Äri- ja avalik teenindus 2 854 GWh (30.77%) ning Kodumajapidamised 2 070 GWh (22.32%) [23].

3.3 Varustuskindlus ja selle tagamine

Varustuskindlus on süsteemi võime tagada tarbijatele nõuetekohane elektrivarustus. Vastavalt Euroopa Parlamendi ja Euroopa Liidu nõukogu direktiivile 2005/89/EÜ on eesmärgiks tagada [24]:

- elektritootmisvõimsuse piisav tase;
- nõudluse ja pakkumise piisav tasakaal;
- liikmesriikide võrkude vaheliste ühenduste asjakohane tase;

Varustuskindluse kontseptsiooni põhimõtted, mis on reguleeritud kehtiva Elektrisüsteemi toimimise võrgueeskirjaga [25]:

- Elektrisüsteemi tava talitus peab vastama komisjoni määruses (EL) 2017/1485 sätestatud nõuetele.
- Elektrisüsteemi ühtsus ja töövõime peavad häiringu korral säilima.
- Ühe piirkonna varustuskindluse säilitamisest tähtsam on säilitada süsteemi kui terviku varustuskindlus.
- Häiringu ajal ja häiringu tõttu tekkinud olukorras võivad elektrisüsteem ja selle osad talitleda tavalisest väiksema töö- ja varustuskindlusega, kui see on vajalik häiringu lokaliseerimiseks või kõrvaldamiseks või tarbijate elektrivarustuse taastamiseks. Põhivõrku arendades ja käitades arvestab süsteemihaldur, et riketest tingitud toitekatkestused ei ületaks elektrituruseaduse § 65 lõike 5 alusel kehtestatud määruses sätestatud piirväärtusi.
- Süsteemihaldur koostab maksimaalse ja minimaalse tarbimise prognoosi, hindab baaskoormuse ja tipukoormuse võimalikku vahet ning avaldab selle oma veebilehel iga aasta 1. juuniks. Maksimaalse tarbimise prognoosi koostamisel lähtutakse aastaajale iseloomulikest ilmastikuoludest.

Eesti ja Baltikumi elektrisüsteemi varustuskindlus on vastavalt Eleringi varustuskindluse aruande analüüsile tagatud. Elektrisüsteemi varustuskindluse hindamisel vaadeldakse selle nelja alamkomponenti eraldi [3]:

- Süsteemi töökindlus – võimekus hoida elektrisüsteem tervikuna koos ja toimimas ning tulla toime erinevate häiringute ja avariidega.
- Võrgu piisavus – piisavalt ülekandevõimsusi ja ühendusi naaber süsteemidega tagab turu toimimise ning suuremate avariide või siseriikliku puudujäägi korral impordi võimekuse. Ülekandevõrk tagab elektrienergia jõudmise tarbimise keskustesse. Jaotusvõrk hoolitseb elektri jõudmise eest lõpptarbijani.
- Süsteemipiisavus – piisav elektritootmise olemasolu koos piisavate välisühendustega tagab, et tootmine ja tarbimine on elektrisüsteemis igal ajahetkel tasakaalus. Elektrisüsteemi piisavuse hinnangu aluseks on erinevad stsenaariumid, millega analüüsitakse võimalikke olukordi ning elektrisüsteemi piisavuse seisus nendes.
- Küberturvalisus – süsteemi juhtimine muutub üha komplekssemaks ja infotehnoloogilistest süsteemidest sõltuvamaks. Eelnevast tulenevalt on küberturvalisus oluline alustala, et tagada süsteemi turvaline toimimine.

Kõigi nelja mõõdetava alamkomponendi hetke seisukord on hea. Eleringi varustuskindluse aruandes tuuakse kõige suurema riskina välja süsteemi töökindlust. Süsteemi töökindlus on mõjutatud ühendatusest Venemaa ühendenergiast süsteemiga (IPS/UPS), kuna Eesti elektrivõrgu süsteemil on vähene sõnaõigus IPS/UPS süsteemi arengutes tekib teatud määral sõltuvus. IPS/UPS süsteemis tehtavad arengute kõige raskem mõju Eesti elektrisüsteemile on sellest eemaldumine Baltimaade sünkroonlase. Antud olukorra leevendamiseks, riskide maandamiseks ja elektrisüsteemi stabiilsuse ja töökindluse tagamiseks viiakse ellu Baltimaade Mandri-Euroopa sagedusalaga sünkroniseerimise projekt [3].

3.4 Elektriturg, õigusaktid ning regulatsioonid

Elektriturg on Eestis kõigile turuosalistele täielikult avatud alates 2013. aastast ja tarbijad saavad endale valida sobiva müüja ja hinnapaketi ise. Eestis reguleerivad elektriturgu

elektrituruseadus ja võrgueeskiri, kus on toodud nõuded nii elektrienergia tootjatele, müüjatele, võrguettevõtjatele, liinivaldajatele, bilansihalduritele, elektribörsi korraldajale ja tarbijatele ning ka turul järelevalvet teostavale Konkurentsiametile. Konkurentsiamet on lisaks kohustatud avaldama igal aastal aruande elektri- ja gaasiturude kohta Eestis [26].

Avatud elektrituru põhieesmärk on konkurentsi tekitamine mitmes elektrienergia tarnimise lülis. Taolise turu korral elektri kui kauba hind tekib konkurentsist ostu- ja müügipakkumiste vahel, jättes samal ajal võrkude infrastruktuuride ja süsteemiteenustega seotud funktsioonid monopoolseteks. Turuhinna antud juhul tagab elektribörs, kus nõudluse ja pakkumise põhjal kujuneb igapäevaselt elektrienergia hind. Toimiv turg koos läbipaistva hinnakujundusega annab aluse investoritele ja tootjatele pikemaajaliste investeerimisotsuste tegemiseks. Tarbijatele luuakse seeläbi vabadus osta elektrit kokkulepitud tingimustel ka elektribörsilt. Üldjuhul ei lähe vabatarbija küll mitte ise otse elektribörsil kauplema, vaid kasutab selleks elektribörsil juba tegutsevate maaklerite teenuseid. Eleringile kui põhivõrguettevõtjale tähendab elektriturg vajadust teha investeeringuid selle nimel, et integreerida turuplats Euroopa võrgu eeskirjade rakendamise kaudu teiste turgudega, see tähendab eelkõige teha otsuseid uute riikidevaheliste ühenduste ehitamiseks ja Eleringile pandud süsteemihalduri kohustuste täitmiseks. Eelkõige tähendab elektrituru avamine Eleringile võimalust kasutada süsteemiteenuste pakkumisel turupõhiseid lahendusi nagu reservide ostmine ja reguleerimine [27].

Elektrituru korraldamise juures on kõige tähtsam roll hinnaarvutus mudelitel. Euroopas on täna üldiselt kasutusel tsoonipõhine hinnamudel, kus hind arvutatakse hinnatsooni põhiselt, seal hulgas arvestades ka võimalikke ülekandevõimsusi. Hinnatsoonide sees piirangud üldjuhul puuduvad. Norras on näiteks kuni viis erinevat hinnapiirkonda, mis on tingitud hinna piirkondade vahelisest ülekandevõimsuse piirangust. Baltimaad on jaotatud riigiti kolmeks hinnapiirkonnaks. Eesti ja Läti vahelise ülekandevõimsuse puudujäägi tõttu on Eesti omaette hinnaga, mille tulemusena on hinnad samad Soomega ning vastupidiselt Läti ja Leedu hinnad on enamusele tundidest samad. Alternatiivne hinnastamise viis on sõlmepõhine. Oma olemuselt on mõlemad hinnamudelid sarnased kuid sõlmepõhise mudeli puhul on tsoonid märksa väiksemad (ühe alajaama suurus). Hinna arvutus toimub igas sõlmes eraldi. Sõlmepõhise mudeli puhul on tähtsal kohal tarbimise ja tootmise asukohad ning ülekandevõimsused igas sõlmes. Sõlmepõhist mudelit kasutatakse üldjuhul regioonides, kus pole võimalik

määratleda mõistliku suurusega tsooni, mille siseselt ei ole võrgupiiranguid ja on vajadus optimaalse tootmiskorra leidmisel arvesse võtta ka võrgukadusid. Lähim piirkond kus taoline mudel on rakendatud on Venemaa [9].

3.4.1 Tarbimise juhtimise turu raamistiku ettepanek Eestile

2020 aasta juulikuus avaldas Konkurentsiamet ettepaneku [28] tarbimise juhtimise iseseisva agregatori turu raamistiku juurutamisest Eestile. Raamistiku juurutamise põhjuseid on mitmeid:

- hajatootmiste ja tarbimiste suurenemine;
- elektritranspordi kasutamise järjepidev kasv;
- Puhta Energia direktiiv [29];

Võttes arvesse ka Eesti ning Baltikumi tervikuna üldist väiksust ja madalat likviidsust Baltikumi reguleerimis turul, kinnistub vajadus uueks lähenemisviisiks ehk paindlikkusteenuste turu välja arendamiseks Baltikumi ja Põhjamaade turul. Paindlikkusteenuse turu all nähakse tururaamistikku ja paindlikkusteenuste turuplatvormi kui turuplatsi, mis ühendab erinevad paindlikkustooted ja teeb need kättesaadavaks erinevatele turuosalistele. Taolisele keskkonnale ligipääs peab olema ühiselt lihtne nii lõpptarbijate kui turuosaliste jaoks, kes soovivad pakkuda või osta paindlikkusteenust. Kontseptsioonidokument on Konkurentsiameti, Eleringi ning Majandus- ja Kommunikatsiooniministeriumi poolt läbiviidud töögrupi arutelude käigus moodustunud nägemus iseseisva agregatori kaasamiseks kõigile turutasemetele Eestis. Kontseptsioonidokument tugineb enamasti Puhta Energia direktiivi eesmärkidele, kaasates kogu turul olev paindlikku ning võimaldades sellel osaleda kõigil turu etappidel võrdselt tootmisega. Eelnevast lähtudes on tarvis esimese etapina luua tururaamistik ja andmevahetuse põhimõtted aktiveeritud paindlikkuse selgituse osas süsteemihalduri – agregatorite / paindlikkuse pakujate – bilansihaldurite vahel. Teises etapis saab keskenduda paindlikkuse kasutamise edasisele soodustamisele.

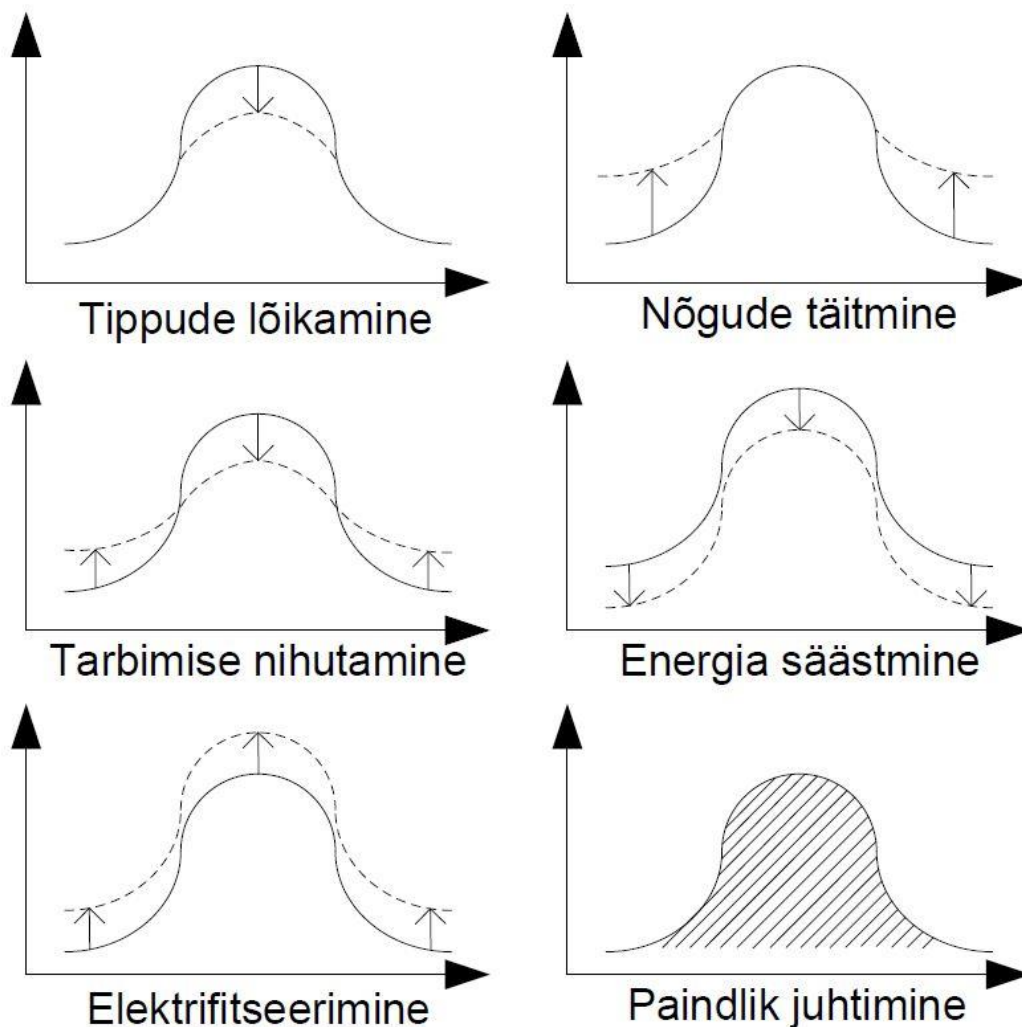
Kontseptsioonidokumendi lõplik formulatsioon pidi toimuma peale konsultatsiooni turuosalistega, mille tulemusena viiakse sisse muudatused Elektrituruseaduse eelnõusse ja elektrituru toimimise võrgueeskirja. Antud töö kirjutamise hetkel pole vastav dokument ega ka muudatused realiseeritud.

Konsultatsiooni järgselt on Konkurentsiamet avaldanud kokkuvõtte [30], mille tulemused on arvamused turuosalistel vastandlikud ning vajavad põhjalikumat analüüsi enne kui fikseeritakse kontseptsiooni dokument. Esile toodud murekohad:

- Töögrupi siseseid probleemkohti tuleb jätkuvalt analüüsida enne kui kontseptsioon saab fikseeritud.
- Oluline, et seadusandluse muudatusesse jõuab lähenemine, mis võimaldab koostada ja kooskõlastada meetodikad, mis on turumudeli ja referentshinna kehtestamiseks vajalikud.
- Turumudeli nüansse, referentshinda ja muid detaile tuleb käsitleda täpsemalt meetodikates.
- Eesti põhivõrgu haldaja Elering AS soovib 2021 aastal alustada paindlikkus platvormi piloodiga, mille eeldus on teatava tururaamistiku olemasolu.
- Tururaamistiku regionaalne koordineerimine saab toimuda alles 2021 aastast, kuna naaberriigid pole diskussioonideks avatud enne kui neil on seadusandlus paigas. Võrreldes Eestiga, kus on antud protsessile lähenetud paralleelselt.

4 Nõudluspoolne tarbimise juhtimine

Energianõudluse haldamine, tuntud ka kui nõudluspoolne tarbimise juhtimine või nõudluspoolne reageerimine, on tarbijate energianõudluse muutmise erinevate meetodite abil, näiteks finantsilised stiimulid või käitumise muutmine harimise kaudu [31]. Taoliste manipulatsioonide puhul on põhieesmärk vähendada tipukoormust ressurside tõhusama kasutamise kaudu. Peamine koormuste juhtimise eesmärk on tarbimise tippude taandamise ja nihutamise kaudu vähendada või edasi lükata investeeringuid täiendavatesse tootmisvõimsustesse või võrkude tugevdamisse [32]. Joonisel 6 on kujutatud erinevad tarbimise juhtimise stsenaariumid.



Joonis 6. Clark Gellingi tarbimise juhtimise kontseptsioon [32].

Eduka tarbimise juhtimise rakendamisest võivad kulude kokkuhoiu kaudu kõik turuosalised. Tarbimise juhtimise, sõltuvalt selle kestvusest, võib jaotada kahte kategooriasse: staatiliseks ja dünaamiliseks. Kategooriate kirjeldus on antud Tabelis nr 3.

Tabel 3. Ülevaade tarbimise juhtimisest ja selle mõjudest elektrisüsteemis [32].

Liik ja Kestus	Staatiline (Pikaajaline)		Dünaamiline (Lühiajaline)	
Süsteemi ülene mõju	Suurendab energiatõhusust ja annab mõningast energiasäästu		Tõhustab turumehhanisme ja süsteemi juhtimist. Suurendab mõningal määral energiatõhusust ja annab mõningast energiasäästu.	
Tarbija tegutsemine	Passiivne (Seadusandlus või kolmas osapool)	Aktiivne (Tarbija valikud)	Passiivne (Automaatne/Lepinud)	Aktiivne (Tarbija tegutsemine)
Tarbimise juhtimise tegevus või seostatud terminoloogia	Energiatõhusus (seadusandlus)	Energia-tõhusus (Tarbija paigaldab/ostab energiatõhusamaid tehnoloogiaid)	Tarbimise juhtimine	Tarbijapoolne osalemine
	Energiasääst (seadusandlus)	Energiasääst (tarbija piirab energia tarbimist)	Tarbimise muutmine (tellitakse süsteemihalduri poolt)	Tarbimise muutmine (toimub hinnasignaali de alusel)

	Ressursside integreeritud planeerimine		Tarbimise reguleerimine	Reaalajatariif
	Rohelised riigihanked (energiatõhusus)			Elektritariifid
				Tiputariifid
Näited	Seadmete energiatõhususe standardid	Soojustamine	Väljalülitavate koormuste kasutamine reserv võimsusteks	Koormuste nihutamine vastavalt hinna indikatsioonidele
Nõutud tarbija osalemise tase	Madal/Keskmine	Keskmine	Keskmine/Kõrge	Kõrge
	Üldiselt juhitakse tarbijate osalemist kolmandate isikute või seadusandluse poolt.	Tarbija teeb aeg-ajalt või üksikuid otsuseid, mis pikema aja jooksul annavad energiasäästu.	Tarbijate koormust juhitakse kolmandate isikute poolt: tellitud või etteteatud muudatused teenustes.	Tarbija teeb regulaarselt tarbimist, mõjutavaid otsuseid, mis juhivad hinna ja võrgu olukorra signaalidest.

Staatilise tarbimise juhtimise mõjud avalduvad kesk pikas perspektiivis ning on tihedalt seotud energiasäästuga. Staatiline juhtimine annab märkimisväärset kokkuhoidu tegevuskuludelt ning on seega eelistatud kodumajapidamistes ning äri- ja avaliku teeninduse sektorites [33].

Dünaamiline tarbimise juhtimine on suunatud aga lühiajaliste tegevuste hulka, mille abil pakutakse teenuseid elektriturule ja -süsteemile. Taolise tarbimise juhtimisega ei kaasne märkimisväärset energiasäästu ning on seega ennekõike suunatud suurtarbijatele nagu näiteks tööstused. Samas kaasates turu reguleerijatena agregaatoreid, kes koondavad väikeseid tarbijaid suurtesse gruppidesse ning võimaldades tsentraalset juhtimist on märkimisväärne reguleerimisvõimalus ka kodumajapidamistes [33].

4.1 Tarbimise agregeerimine

Tarbimise agregaatoreid on organ, mis ühendab energiasüsteemi erinevaid esindajaid (tarbijaid, tootjaid või nende segu) eesmärgiga tegutseda elektrisüsteemi turul ühtse kehana. Tegu on värske turu osapoolena, kelle täpne roll, vastutus ning pakutavate teenuste portfell alles formuleerub ning võib väga tugevalt varieeruda vastavalt opereeritavale turule. Praeguseks on kujunenud arusaam kahte tüüpi agregaatorest kombineeritud ja iseseisev.

- Kombineeritud agregaatoreid on elektritarbijate, bilansi eest vastutav keha või jaotusvõrgu haldur. Selle tulemusena omab agregaatoreid juba kliendibaasi ning võib pakkuda turuosalistele põhiteenuste kõrval lisafunktsionaalsust.
- Iseseisev agregaatoreid on eraldiseisev organ, kes ei paku ühtegi eelnevalt nimetatud teenustest ning kelle põhiline funktsioon on agregeerida elektritarbijaid ühtsesse organisse, mille opereerida paindlikkusteenuste turul.

Uue turu osapoolena on agregaatoreid näol tegu nii võimaluse kui ka riskina erinevatele teistele osapooltele. Ühelt poolt pakuvad agregaatoreid võimalust koordineerida energiatarbimist väiksematest tarbimise allikatest ning seeläbi pakkuda turule võimekat energiahulga juhtimist. Lisaks eelnevale järjest suurenevas taastuvenergia allikate kasvu trendis on tegu tähtsa osapoolena, mis suudab väga kiiresti reageerida turu vajadustele. Samas teiselt poolt nõuab see olemas olevatelt turu osapooltelt adapteerumist uutele tingimustele, seda nii reguleerijatest, majanduslikest kui ka tehnoloogilistest aspektidest sõltuvalt. Praegusel hetkel on Euroopas laialdasemalt levinud kombineeritud agregaatoreid teenuse mudel, kuna selle tulemusena on märksa lihtsam turule siseneda nii seadusandlikust seisukohast kui ka elektritarbijate seisukohast, kes juba tarbivad mõnda eelnevalt nimetatud teenustest [34].

4.2 Tarbimise juhtimise näiteid

Käesolevas peatükis toob autor esile erinevate projektide ning ettevõtete näiteid. Kõik välja toodud näited tegelevad ühel või teisel moel paindlikkusteenuste arendusega ning osadel juhtudel pakutakse ka teenuseid.

4.2.1 GOPACS

GOPACS on Hollandi elektrivõrgu operaatorite initsiatiivil algatatud projekt, mille põhiline eesmärk on elektrivõrgu võimsusepuuduste (ülekoormusi) leevendamine ning see läbi hoida Hollandi põhivõrku usaldusväärse ja stabiilsena. Projekt pakub nii suurtele kui ka väikestele turuosalistele lihtsat viisi oma olemasoleva paindlikkusega tulu teenida ning vähendada elektrivõrgu ummikute tekke tõenäosust. Võrguettevõtjate koostöö leevendab võrgu ühe osa ülekoormamist, mille kaudu ei teki probleeme elektrivõrgu teistes piirkondades. Peamine teenus on päevasisene energia kauplemine ETPA turu platvormi kaudu. Ajakohase teabe põhjal määravad võrguoperaatorid kindlaks, kus ja millal võib eeldada ülekoormust. Ülekoormuse vähendamiseks soovivad võrguoperaatorid vähendada elektritootmist kõnealuses võrgu osas. Ülekoormuse olukord sisestatakse GOPACS platvormi ja väljastatakse turule teade. Turu partnerid, kellel on kõnealuses piirkonnas ühendusi, saavad seejärel võimaluse osaleda turuplatvormi kaudu paindlikkusteenuse osutajana [35].

4.2.2 Piclo Flex

Piclo Flex on iseseisev paindlikkusteenuste turg, mis opereerib Suurbritannias. Piclo Flex platvorm võimaldab süsteemihalduritel avaldada paindlikkuse vajadusi erinevates asukohtades üle riigi ja korraldada võistlusi. Paindlike teenuse osutajad (tarbijad) omavad võimalust registreerida oma paindlikud tarbimised ning see läbi konkureerida teiste tarbijatega. Turg on avatud kõigile paindlikkuse teenuse pakkujatele Suurbritannias. Lisaks teenuse osutamisele tegeleb Piclo Flex aktiivselt paindlikkusteenuste turu uurimise ja analüüsiga. Nende poolt on avaldatud mitmeid uurimistöid seoses paindlikkusteenuste vajaduse ning mõjuga [36].

4.2.3 EneRa

EneRa on taastuvate energiallikate sektori iduettevõtte, mis alustas 2010 aastal päikesepaneelide hulgemüügiga. Ajapikku on tooteportfell laienenud lisaks ka finantseerimisele, projekteerimisele, tarnimisele kuid ka energia salvestus lahendustele.

Tänu päikesepaneelide edukusele ning tingituna selle sõltuvusest päikesest võib teatud oludes olla tootmine kordades suurem kui tarbimine. Ajutine elektrienergia salvestamine võib antud olukorra tasakaalustamatuse lahendada pakkudes alternatiivset energia salvestamise viisi hilisemaks kasutamiseks. Praeguseks on ajutised energiasalvestid liidetud ka paindlikkusteenuste platvormiga, mille abil saab teostada nõudluspoolset tarbimise juhtimist. Esiteks laetakse energiasalvestid parimal kasutusajal ehk kõige soodsama hinnaga ning teiseks saab energiasalvestist energiat vabastada just selleks kõige vajalikumal hetkel, varustades võrku vajaminema energiakogusega just siis kui seda on kõige rohkem vaja [37].

4.2.4 NODES

Nodes pakub kohaliku paindlikusega kauplemiseks neutraalset turgu tagades nii kauplemis- kui ka finantsarveldusteenuseid. Võimaldab jaotusvõrgu ettevõtjatel modelleerida ülekoormatud võrgu piirkondi ja avaldada need kohalike turgudena Nodes'i turu platvormil. Kohaliku turu loomisel saavad paindlikkuse tarnijad registreerida oma paindlikud varad ja pakkuda jaotusvõrgu ettevõtjale tarbimise või tootmise vähendamist või suurendamist leevendamaks kitsaskohti jaotusvõrgus. Kohalikke paindlikkus turgude loomisega saavad jaotusvõrgu ettevõtjad võrgu kulusid maandada ja võrku tõhusamalt kasutada, säilitades samal ajal varustuskindluse [38].

4.2.5 GridIO

GridIO on Eesti juurtega iduettevõtte, mis tegutseb paindlikkusteenuse pakkujana Soome turul. Nende põhisegment on kodumajapidamised ning toimivad nad uue elektrituru osana – agregatorina. GridIO platvorm toimib kui virtuaalne elektrijaam, kuid elektritootmise asemel monitooritakse regulaarselt tarbimist ning ollakse valmis reageerima erinevatele turu kõikumistele. Kodumajapidamistes ühendatud seadmete hulka kuuluvad üldjuhul elektrilised küttekehad, konditsioneerid ja ventilatsiooni seadmed, elektriautode laadijad, akud ning soojuspumbad. Niipea kui seadmed on andmeside võrgu kaudu platvormiga ühendatud saavad koduomanikud vaadata tarbimist reaajas, juhtida tarbimist odavamatele töötundidele ning jälgida kui palju on tarbitud või säästetud. Kuigi praegune lähenemise viis eeldab kasutajate aktiivset sekkumist on hetkel käimasolev eeltöö tarbimise passiivse juhtimise eelduseks. Hetkel pakutakse teenust ainult Soome turule, kuid tehnoloogia ning vastavate seadusandluste paika saamisel ei ole keeruline laiendada teenuse osutamise levikut muudesse maadesse [39].

4.2.6 FuseBox

FuseBox OÜ on sarnaselt eelmisega Eesti päritoluga iduettevõtte, kelle opereerimise mudel on väga sarnane GridIO omale. Fusebox integreerib tarbijaid ja energiasüsteeme, et võimaldada taastuvate energiaallikate paremat integreerimist ja vähendada kasvuhoonegaaside hulka atmosfääris. See läbi panustavad Fusebox'i kliendid keskkonna hoidlikumasse ühiskonda ja teenivad tulu oma põhitegevust katkestamata. Fusebox on ennekõike keskendunud tootmis ning äri- ja avalikuhalduse sektorile, võimaldades selle sektori klientidel nihutada tarbimist soovitud töötundidele ning pakkudes seeläbi tulevikus ka tarbimise juhtimist. Autorile teadaolevalt pole Elering AS koostöös Fusebox'iga ühtegi pilooti teinud paindlikkuse teenuste arendamiseks Eestis [40] [41].

4.2.7 Eesti Energia

Eesti Energia pakub äriühingutele energia juhtimise teenust sarnaselt Fusebox'ile [42]. Peamine teenusepakkumise argument on võimalus kasutada rohkem taastuenergiat, mille läbi vähendada tööstusettevõtte keskkonnajälge ehk heitmegaaside paiset atmosfääri. Lisavõimalusena on teenusetarbijal võimalik teenida lisatulu, osaledes elektrisüsteemi tasakaalu hoidmises. Teenusega liitumise kulud ehk investeeringu kannab Eesti Energia tagades seeläbi sujuva ülemineku tarbijale. Paindliku energiajuhtimise teenuse seadmeteks on kategoriseeritud järgmised:

- Tööstuslikud tarbijad: veesoojendid ja -boilerid, pumbad, ahjud, kütte- ja külmutusseadmed, purustid, kompressorid.
- Reserv- ja varuseadmed: tööstuslikud akud, puhvertoiteallikad ja generaatorid.
- Elektritransport: elektribussid, elektriautod, elektripraamid, laadimisjaamad.
- Hajutatud tootmisüksused: tuulepargid, päikeseelektrijaamad, koostootmisjaamad, pumphüdroelektrijaamad.

5 Analüüs

Käesolevas peatükis käsitleb autor paindlike toodete määratlustega seotud asjakohaseid teemasid. Paindlikkusteenuste motivatsioon tuleneb põhimõttelisest vajadusest anda paindlikkusele õige väärtus, et edendada õiglast võrgu- ja süsteemisõbralikku käitumist. Nagu eespool öeldud, võib seda vajadust näha suurenevat tänu tehnilisele arengule, turu liberaliseerimisele, keskkonnakaitse eesmärkidele ja muudele ülemaailmsetele nähtustele, mis on seotud käimasoleva energiasiidriga. Selle eesmärgi eelduseks võib olla arvukad ülemaailmsed lepingud ja Euroopa juriidilised dokumendid. Eesti ambitsioonid energia majandusele on selgelt määratletud Eesti riikliku energia- ja kliimakavaga aastani 2030, milles seisab: „Taastuvenergia osakaal energia summaarsest lõpptarbimisest peab aastal 2030 olema vähemalt 42%“ [43]. „Eesti energiapoliitika arengukavas lähtutakse sellest, et tarbijatele oleks tagatud mõistliku hinna ja kättesaadavusega energiavarustus, et keskkonnamõjud oleksid aktsepteeritavad ning et see oleks kooskõlas Euroopa Liidu pikaajalise energia- ja kliimapoliitikaga. Samuti peab energiamajanduse arenguplaanide rakendamine olema majandusliku konkurentsivõime poolest kõige kasulikum“ (Majandus- ja Kommunikatsiooni ministeerium, 2020) [10]. Taolisest eesmärgi püstitamisest võime välja lugeda, et energiamajanduse toimimiseks peame arvestama kõige kuluefektiivsemat moodust selliselt, et oleks täidetud absoluutne miinimum samas võttes arvesse süsteemide ja tarbijate nõudlikkust kvaliteedile.

Mõjuvaks faktoriks eesmärgi püstitamisel ja täitmisel on Eesti väiksus maailma mastaabis, me peame olema väga valivad valdkondades millesse ja kui suures mahus me investeerime. Viimase 30 aastaga saavutatud digi kompetents ning eRiigi staatus annavad aga kõik eeldused massiivseteks muudatusteks infrastruktuuris tuginedes digitaalsetele võimekustele. Autori arvates on kunagi saavutatud edulood jäänud riulitele tolmu koguma ning varasemalt ilmnenu vajadus ennast tõestada kukkunud unustuse hõlma. Aeglaselt kuid kindlalt vananev rahvastik, vähenev elanikkond ning vähenev kutse- ja kõrghariduse saajate osakool Eestis paneb tugeva rõhu tuleviku otsustajatele ja probleemide lahendajatele. Oleme sisenemas ajajärku kus iga ühe tähtsus ning mõju on järjest enam tuntav kogu riigi heaolule. Iga üks kannab vastutust, sealhulgas ka energia majanduslikes küsimustes.

5.1 Tarbimise juhtimine Eestis

Elektrisüsteemi piisavuse koha pealt on kõige kriitilisemad tiputarbimise hetked, mil tööstuse, tavatarbija ja ilmastikust oleneva tarbimise profiilid langevad samale ajale. Tavaliselt on vähemalt osa tarbimisest sellise iseloomuga, mida saab edasi lükata või hoopis ära jätta. Tänapäevani pole taoline tarbimise juhtimine massidesse levinud, kuna elektri hinna volatiilsus ei ole väga suur, lisaks ei ole tarbija vaatest mugavaid lahendusi, et seda teha. Asjade interneti (IoT) lahenduste laialdase kasutuselevõttuga, vastava paindlikkusturu loomise ja väiksemaid tarbijaid koondava agregaatrite tekkimisega on võimalik paindlikkusturule pakkumist tekitada. Täna sed paindlikkuse pakkujad on suuremad elektritarbijad, kes suudavad oma tarbimist ümber seadistada ning pakkuda sellega enda teenuseid olemasolevale reguleerimisturule. Veidi teistsuguse lähenemisega suudavad peale suurtarbijate konkurentsivõimeliselt osaleda ka tavatarbijad. Selleks, et väiketarbijad saaksid enda paindlikkust turule pakkuda, peavad nad sõlmima lepingu agregaatoriga, kes koondab nende võimekused kokku ning on võimeline neid ühtselt turule pakkuma. Agregeeritud pakkumisi on seejärel võimalik käivitada, koormates tarbijaid üles või alla.

Vastavalt Elering AS poolt läbiviidud Eesti elektrisüsteemi varustuskindluse analüüsile on Eesti ja Baltikumi elektrisüsteemi varustuskindlus tagatud, kuid tuuakse selgelt välja, et tulenevalt kiiresti muutuvast keskkonnast tuleb jätkata pidevat elektrisüsteemi ja energiaturgude arendamist eesmärgiga tagada varustuskindlus ka tulevikus. Suurenev hajatootmiste ja -tarbimiste hulk ning kasvav transpordi elektrifitseerimine tekitavad uusi väljakutseid elektrivõrgus ning seetõttu on tarvis kõigi võrguoperaatorite poolt aktiivset sekkumist elektrisüsteemi paindlikumaks ja kuluefektiivsemaks juhtimiseks. Elektriautode järjest suurenev kasutuselevõtt toetab Euroopa Liidu pikaajalist kasvuhoonegaaside heitmete vähendamise eesmärki ning võime tugevalt eeldada, et elektriautode kasutusele võtta hoogustub lähitulevikus. Sarnast tendentsi on juba praegu näha meie põhjanaabrite Soome, Rootsi ja Norra käitumismustrite muutumises, kuna sealsed riigipoolsed subsideerimised elektriauto kasutusele võtuks on märksa suuremad. Eestis on 04.2021 seisuga registreeritud 1 924 elektrisõidukit [44].

Tarbimise juhtimise teenuste arendamise eelduseks on kehtestatud paindlikkusteenuste turg vastava tururaamistiku ja selgelt määratletud turuosalistega, piisavalt laiahaardeline digitaliseerimine, andmete vahetamine ning seda kõike toetavad

IT platvormid. Paraku ei saa tarbimise juhtimises rääkida ainult energia tarbimisest, vaid peab arvestama ka tootmisega seotud eripärasid ning kehtivaid regulatsioone ja protsesse. Tarbijate paremaks kaasamiseks elektriturudele ja paindlikkusteenuste efektiivsemaks kasutamiseks on oluline võimaldada võrgus oleval paindlikkusel osaleda samaaegselt erinevate toodete pakkumisel ning pakkuda tooteid samaaegselt erinevatele kasutajatele, nii jaotusvõrgu operaatoritele (DSO), süsteemihaldurile (TSO) kui ka teistele tootjatele, tarbijatele, elektrimüüjatele kui ka uuele turuosalisele – agregatorile.

Paindlikkusteenuste ja seda toetava turuplatvormi väljaarendamiseks osaleb Elering AS Horizon2020 raames kolmes üle Euroopalisel paindlikkuse äriprotsesside, tehnoloogiate testimise ja väljaarendamise projektis, mille lõpp eesmärgiks on leida ning rakendada ennast tõestanud ja töötav turumudel. Projektid:

- EU SYSFLEX, mille raames uuritakse üle Euroopalisel paindlikkuse äriprotsesside ja tehnoloogiate testimise projektis paindlikkusteenuste andmevahetuse lahendusi [45].
- INTERFACE, mille raames üle Euroopalisel paindlikkuse tehnoloogiate demonstratsiooni projektis arendatakse ühe osana Soome, Läti ja Eesti põhi- ning jaotusvõrguettevõtetega piiriülese paindlikkusteenuste turuplatvormi. Eesmärk on luua regionaalsed lahendused tarbimis- ja tootmispõhise paindlikkuse kaasamiseks elektriturudele. Projekti piloot on plaanitud 2021 aastale, töö kirjutamise hetkel avalikult avaldatud info piloodi kohta puudub [46].
- ONENET, mis on üle Euroopaline paindlikkuse tehnoloogiate demonstreerimise jätkuprojekt. Eesmärk on laiendada paindlikkus turu platvormi nii regionaalselt kui ka arendada edasi paindlikkusteenuste turuplatvormiga seotud funktsionaalseid võimekusi [47].

5.2 Paindlikkusteenuste rakendamise efektiivsus sektori põhiselt

Paindlikkusteenuste ning tarbimise juhtimise kohta spetsiifiliselt on tehtud mitmeid uurimustöid, analüüse ning pilootprojekte. Teemasse süvenemisel avastas autor, et kulupõhised arvutused on juba varasematel aastatel tehtud ning efekt teada. Vaatamata möödunud ajale ning lisandunud tarbimiskohtade hulgale ei pidanud autor vajalikuks teha arvutused ümber sisestades vaid vastavad numbrid, kuna saadav väärtus oluks

marginaalne. Professor Argo Rosin poolt tehtud 2012 aasta uurimistööst tarbimise juhtimise rakendamisest Eestis on selgelt välja toodud potentsiaal Tabelis 4.

Tabel 4. Hinnanguline Eesti tarbimise juhtimise potentsiaal ühes tunnis [16], [32].

Sektor	Keskmine juhitav võimsus tunnis, MW	Keskmine kaalutud investeering €/kW kohta
Tööstus	65	18
Äri- ja avaliksektor	93 – 112	30
Kodumajapidamised	55 – 230	75
Kokku	213 – 407	123

- Tööstuse sektor nõuab kõige väiksemat investeeringut €/kW kohta;
- Tööstuse sektori puhul on lihtsam üleval hoida suhet teenuse pakkuja ja kliendi vahel, kuna kõnealuseid kliente on vähem;
- Tööstuse sektori puhul saame ühest tarbimiskohast märksa suurema juhitava võimsuse kätte võrreldes äri- ja avalikusektori ning kodumajapidamistega

Sellest tulenevalt paindlikkusteenuste rakendamise efektiivsuse poolest võime järeldada, et tööstuse sektor on eelistatuim sektor, kus rakendada paindlikkusteenuseid.

5.3 Paindlikkusteenuste vajalikkus

Eelnevas peatükis leidsime me paindlikkusteenuste rakendamise kuluefektiivsuse. Energia juhtimise seisukohast on see ka piisav, samas ei tohi me kõrvale jätta elektrituru pidevat muutmist ning nagu me leidsime töö esimeses peatükis tuleb arvestada ka pidevat taastuvenergia allikate kasvu elektrisüsteemis. Taastuvenergia allikate järjest suureneva osakaaluga elektrivõrgus on meil tekkimas olukord, kus ühel ajahetkel toodetud energia osakaal pole kunagi stabiilne vaid sõltub taastuvenergia allika eripärast (muutlik ilm). Tulemusena toodetakse energiat kas liiga palju või liiga vähe. Tingituna elektrisüsteemi

suletusest, kus elekter ei saa niisama kaduda ja tekkida on kasvamas vajadus aktiivseks juhtimiseks või teisisõnu energia suunamiseks tootmisallikate ja tarbimiskehade vahel. Aktiivse juhtimise all võime mõelda, kas IT süsteemi või platvormi, mis operatiivselt edastaks nii tarbijatele kui tootjatele signaali elektrisüsteemi seisukorrast, elektri hinnast ning võimalikest eelseisvatest rikestest. Kolmandas peatükis esile toodud näidete põhjal näeme, et sõltuvalt elektrisüsteemi kvaliteedist lahendatakse erinevaid potentsiaalseid rikkeid paindlikkusteenuste abil juba praegu. Jah, Eesti väiksusest ning aeglasest arengust sõltuvalt pole vajalikkus nii kriitiline ning lahendatav hetkel muude vahenditega, kuid taas kord rõhutades, et pidevalt muutuvast süsteemis võib ühel ajal tekkida väga palju tarbijaid või tootjaid vajab olukord kesk pikas perspektiivis lahendamist.

Läbitöötatud dokumentides leidis autor väga vähe viiteid IPS/UPS süsteemist eraldumisele ning sellest kaasnevale mõjule. IPS/UPS süsteemi eraldumisest tasakaalustamiseks on algatatud projekt Mandri-Euroopa elektrisüsteemi ja sagedusalaga liitumiseks. Eleringi varustuskindluse aruannetest lähtuvalt peaks Baltikum tervikuna suutma ennast ära majandada ning ühendused põhja naabritega on riskide katmiseks piisavad. Samas ei ole välistatud olukord, kus Mandri-Euroopa süsteemiga liitumine lükkub edasi või ebaõnnestub ning Eesti jääb sõltuvaks IPS/UPS süsteemist. Sellisel juhul on meil tegu tugeva geopoliitilise riskiga mille mõju on hindamatu.

Kokkuvõtteks võime öelda, et paindlikkusteenuste vajalikkus on ennast tõestanud ainuüksi potentsiaalsete riskide maandamise tööriistana. Kui paindlikkusteenuste arenduse seisukohalt on Eesti turg siiski liiga väike on objektiivselt mõistlik rakendada teenust kogu Baltikumile tervikuna.

5.4 Paindlikkusteenuste mõju ühiskonnale

Teise vaatenurgana tasub arvestada ka paindlikkusteenuste sotsiaalmajanduslikku mõju ühiskonnale tervikuna. Varasemast on meile teada nii Euroopa Liidu kui ka Eesti riigi energia majanduse eesmärgid 2030. aastaks. Lühidalt võime kokku võtta, et Euroopa Liit tervikuna liigub kasvuhoone gaaside vähendamise, taastuvenergia allikate osakaalu suurendamiseni ning, et energiasääst oleks pidevalt fookuses ehk tarbimisharjumused oleksid järjest enam säästlikumad võttes arvesse vajadusi ning pärsitaks üle tarbimist. Sarnaselt sellega on ka Eestil eesmärk kasvatada taastuvenergia allikate osakaalu, vähendada lõpptarbivate elektrikatkestusi ning seda kõike toimivas, toetusteta ja avatud

elektriturul. Lisaks sellele tasub tähele panna, vastavalt Elektriturseaduse § 75 punkt 1, viitele 5 on elektrimüüja kohustatud teavitama tarbijat, kust pärineb tarbija poolt tarbitud elekter, kas taastuenergia allikast või mitte. Sealhulgas Euroopa Liit pöörab samuti suurt tähelepanu tarbijate teadlikkuse tõstmisele taastuenergia osas. Kuigi käesoleva töö kirjutamise hetkel on taastuenergia tarbijad valdavalt suurfirmad ning omavalitsused, kes järgivad püstitatud eesmärgi ning leppeid on lõppeesmärk aga, et iga tarbija oleks teadlik ning vastutustundlik elektrienergia tootmisallikate kohta, kuna ainult siis rakendub massiefekt ning realiseerub revolutsioon energiatootmises ning tarbimises. Paralleeli võib tuua tubakatoodete tarbimise vähendamisega ning toiduainete tervislikkuse teadvustamisega tänu koostisosade info kirjade ning visuaalsete jooniste trükistele pakendil.

Võttes eelnevat arvesse võime järeldada, et kuigi tööstus sektori paindlikkusteenuste efektiivsus võimsuse juhtimisel on kõige mastaapsem ning annab parima tulemuse elektrivõrgu ja elektrisüsteemi vaatenurgast, jääb paindlikkusteenuste kogu potentsiaal rakendamata. Lihtsus opereerimisel ning investeeringu väärtus ei tõsta kogu ühiskonna teadlikkust kuna paindlikkuse teenuse tarbijad on ainult tootmisettevõtted ning teadvustatud osapoolteks on heal juhul ainult juhtkonna liikmed. Samas luues võimalused paindlikkusteenuste rakendamiseks erasektori kodumajapidamistes võime täheldada märksa suuremat mõju teadlikkuse tõstmisele tarnitava energia tootmisallika kohta, kuna eraklient on üldjuhul märksa hinnatundlikum elektrienergia kõikumistele. Rakendades paindlikkusteenuseid erasektori kodumajapidamistel võime saavutada elektrisüsteemi stabiilsena hoidmiseks vajamineva võimsuskvoodi, tõsta ühiskonna teadlikkust energiatootmis allikate kohta ning vähendada erasektori mõtlematut ületarbimist.

6 Kokkuvõte

Käesoleva magistritöö peamine eesmärk oli tuvastada paindlikkusteenuste rakendamise efektiivsus sektoripõhiselt. Ülesande püstitusest lähtuvalt, töö teises peatükis tõstatas autor probleemi aktuaalsuse ning põhjendas teema uurimise vajadust, tuues välja energeetika maastikul aset leidvaid muudatusi. Töö kolmandas osas keskendus autor Eesti sisesele energeetika infrastruktuurile, ajaloole, osapooltele, seadusandlusele ning kogu elektrisüsteemi olulisele. Uurimistöö kolmanda osa käigus leidis autor, et paindlikkusteenuse kasumlikkuse analüüsi on varasemalt sooritatud, teostades põhjalikke tootmis- ja tarbimissegmentide kaardistusi. Vaatamata elektrienergia tarbijate kasvule ajas ei näinud autor piisavalt suurt väärtust analüüsi kaasajastamisel, kuna lisandunud väärtus oleks autori meelest olnud tühine. **Tuginedes eelnevatele uurimustöödele võime järeldada, et kõige kuluefektiivsemaks paindlikkusteenuste rakendamise tarbija segmentiks on tööstussektor.**

Sissejuhatava osa kirjeldamise tulemusena leidis autor, et paindlikkusteenuste rakendamise mõju ei saa hinnata ainult selle tasuvusena vastu investeringut ning vabanevast juhitavast võimsusest. Paindlikkusteenuste mõju on märksa suurem selle algsest investeringust, kuna mõjutab elektrisüsteemi tervikuna ning kõikide tarbijate rühmi. Sellest lähtuvalt püstitas autor lisaks alameesmärgid, millele töö käigus leida vastuseid:

- Tuvastada paindlikkusteenuste mõju ühiskonnale.
- Tuvastada paindlikkusteenuste rakendamise kitsaskohad.
- Paindlikkusteenuste ja turu arendamise vajalikkus.

Uurimistöö neljandas osas keskenduti paindlikkusteenuste ehk tarbimise juhtimise tehnoloogiale. Kirjeldati lahti millega on tegu, kuidas tehnoloogia toimib ning mis on selle mõju elektrisüsteemile. **Tuginedes nii Eesti sisestele kui ka muudele kommertsprojektide näidetele leiti tarbimise juhtimise rakendamise kasutusotstarbe mitmekesisus. Erinevate projektide näidete tulemusena leiti kinnitust globaalsele vajadusele ning tehnoloogia olulisusele.**

Paindlikkusteenuste mõju ühiskonnale avaldub vajaduses liikuda enam taastuvenergiaallikate kasutusele võtmise suunas. Töö esimeses osas tuvastasime, et Euroopa Liit on võtnud endale ambitsioonikad CO2 heitmete vähendamise eesmärgid 2030. ning seejärel ka 2050. aastateks, püstitatud katus eesmärgid laienevad ka Eestile. Ühe meetmena, taastuvenergiaallikate suuremaks kasutusele võtuks, on tarbijate teadlikkuse arendamine energia allika päritolu kohta. **Analüüsi käigus tõestas autor, et paindlikkusteenuste rakendamise tulemusena on võimalik kõige efektiivsemalt tõsta kodumajapidamis tarbijate teadlikkust energia allika päritolu kohta ning seeläbi vähendada ebasoositud energiaallikate kasutust.**

Võttes arvesse elektrisüsteemi terviklikku vanust ning paindlikkusteenuste suhtelist noorust leidis autor töö kolmandas osas konkreetsed kitsaskohad, mis päršivad paindlikkusteenuste laialdasemat levikut ühiskonnas. Peame arvestama elektrisüsteemi tingimustega, mis on väljatöötatud mitme aastakümne vältel ning süsteemi tervikliku keerukuse ja puudutatud osapoolte rohkusega. **Kokkuvõtlikult on kõige pärssivamateks teguriteks regulatiivne seadusandlus, elektrisüsteemi infrastruktuuri suhteline paindumatus, mõjutatud osapoolte rohkus ning puudulikud toetavad IT süsteemid ja platvormid.** Teadaolevalt muutub seadusandlus kiiresti vaid väga kriitilistel asjaoludel, antud juhul pole tegu kriitilise olukorraga mille tõttu pole seadusandlus ka piisavalt kiiresti adapteerunud. Infrastruktuuri muudatused nõuavad investeringuid, mis saavad tehtud vaid pädevate tasuvusarvutuste najal, see on ka üheks põhjuseks miks erasektor on võtnud omavoliliselt juhtpositsiooni ning teostab investeringuid iseseisvalt nähes tehnoloogilise investeringu võrdlemisi lühikest tasuvusaega. Mõjutatud osapoolte rohkuse tõttu on mõistlik esialgu rakendada paindlikkusteenuseid ainult suurima segmendi seas, milleks on tööstus. Töö kolmandas osas välja toodud praktilised näited annavad selle kohta kinnitust. Uudse tehnoloogilise lähenemise tõttu on suur rõhk IT süsteemidel ja platvormidel. Samas teiselt poolt vaadatuna on arusaadav jaotus- ja põhivõrkude operaatorite skeptiline meelestatus alustavate idusektori ettevõtete suhtes, kelle pakutavate lahenduste töökindluses pole suudetud veenduda.

Viimaks on autori poolt töö viiendas, analüüsi peatükis, selgelt välja toodud paindlikkusteenuste arendamise vajalikkus. **Paindlikkusteenuste kujul on tegu ennekõike tööriistaga, mis isegi kui ei paku Balti regioonis mastaapset võimsuste**

juhtimist, vähendab riske mis on turutrendide ja eelseisvate muudatuste najal ilmnemas.

Käesoleva töö raames on autor mitmekülgset tõestanud paindlikkusteenuste arendamise vajalikkust ning olulisust. Kõik algselt püstitatud uurimisteema küsimused leidsid vastuse. Tingituna teema laiaulatuslikust haardest ning suhtelisest uudsusest on mitmeid alamteemasid, mis vajavad edasist uurimist ning sobivad tulevaste bakalaureuse ning magistriõpingute lõputöö uurimisteemadeks. Kaks tähelepanu väärt ülesandepüstitust on järgmised:

- Paindlikkusteenusplatvormide pakkujate võrdlus ning sobivaima teenuse pakkuja tuvastamine, arvestades Eesti ning Baltikumi regiooni eripärasid.
- Balti regiooni varustuskindluse analüüs saartalitluse tingimustes ekstreemsete ilmastiku nähtuste oludes (väga külm talv; väga kuiv ning päikeseline suvi).

Lõpetuseks soovib autor avaldada tänu Infotehnoloogia teaduskonna, Äriinfotehnoloogia magistriõppekava juhile, Gunnar Pihole, kelle algatusel sai loodud paindlik õppekava, mis võimaldab tudengitel võtta vastutust ja teha seda mida nad ise soovivad ning kelle positiivsed üleskutsed hoidsid meeles erksana selle keeruka perioodi vältel. Lisaks avaldab autor tänu enda juhendajale, Prof. Juri Belikovile, kelle vankumatu positiivne meelestatus ning lühikesed kuid konkreetsed tagasiside seansid hoidsid õigel kursil ning viisid töö lõpuni. Eriline tänu elukaaslasele, Elis Rahulaanele, kelle kannatlik meel pidas vastu autori meele muutustele protsessi lõpuni.

Summary

The main goal of this master's thesis was to identify the efficiency of the implementation of flexibility services on a sector-by-sector basis. Based on the task, in the second chapter of the work the author raised the topicality of the problem and justified the need to study the topic, pointing out the changes taking place in the energy landscape. In the third part of the work, the author focused on Estonia's internal energy infrastructure, history, parties, legislation and the importance of the entire electricity system. During third part of the research, the author found that the analyzes of the profitability of the flexibility service have been performed in the past by performing thorough mapping of production and consumption segments. Despite the growth of electricity consumers over time, the author did not see enough value in modernizing the analysis, as the added value would have been negligible in the author's opinion. **Based on previous research, we can conclude that the most cost-effective consumer segment for the implementation of flexibility services is the industrial sector.**

As a result of the introductory part, the author found that the impact of the implementation of flexibility services cannot be assessed only in terms of its return on investment and the freed-up managed capacity. The impact of flexibility services is much greater than its initial investment, as it affects the electricity system as a whole and all consumer groups. Based on this, the author also set sub-goals, to which answers can be found in the course of the work:

- Identify the impact of flexibility services on society.
- Identify bottlenecks in the implementation of flexibility services.
- Identify the need for flexibility services and market development.

The fourth part of the research focused on flexibility services, ie consumption management technology. It was described in detail how the technology works and what is its effect on the electricity system. **Based on both Estonian and other examples of commercial projects, a variety of uses for the implementation of consumption management was found. As a result of various project examples, the global need and the importance of technology were confirmed.**

The impact of flexibility services on society is reflected in the need to move more towards the use of renewable energy sources. In the first part of the work, we established that the European Union has undertaken ambitious targets for reducing CO2 emissions by the years of 2030 and then also by 2050, the set targets are extended onto Estonia. One measure to increase the uptake of renewable energy sources is to raise consumer awareness of the origin of the energy source. **In the course of the analysis, the author proved that as a result of the implementation of flexibility services, it is possible to increase the awareness of household consumers about the origin of the energy source and thus reduce the use of unfavorable energy sources.**

Taking into account the overall age of the electricity system and the relative youth of flexibility services, the author found specific bottlenecks in the third part of the work, which hinder the wider spread of flexicurity services in society. We must take into account the conditions of the electricity system, which have been developed over several decades, and the complexity of the system as a whole and the number of parties involved. **In summary, the most disincentives are regulatory legislation, the relative inflexibility of the electricity system infrastructure, the multiplicity of stakeholders and the lack of supportive IT systems and platforms.**

Finally, in the fifth chapter of the work, the author clearly states the need to develop flexibility services. **Flexibility services are foremost a tool that, even if does not offer large-scale capacity management in the Baltic region, reduces the risks which emerge from market trends and forthcoming changes.**

Kasutatud kirjandus

- [1] Siseministeerium, „Elutähtsad teenused,“ 21 12 2020. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.siseministeerium.ee/et/eesmark-tegevused/kriisireguleerimine/elutahtsad-teenused>. [Kasutatud 31 01 2021].
- [2] Euroopa Komisjon, „Komisjoni teatis Euroopa Parlamendile, Euroopa Ülemkogule, Nõukogule, Euroopa Keskpangale, Euroopa Majandus- ja Sotsiaalkomiteele, Regioonide komiteele ning Euroopa Investeeringuspangale Euroopa poolaasta 2020: riigipõhised soovitusel COM(2020) 500,“ 20 05 2020. [Võrgumaterjal]. Available: [https://m.riigikogu.ee/tegevus/dokumentideregister/dokument/18c3e3bb-329f-4e41-b991-8bff21a371d3/Teatis%20-%20COM\(2020\)%20500](https://m.riigikogu.ee/tegevus/dokumentideregister/dokument/18c3e3bb-329f-4e41-b991-8bff21a371d3/Teatis%20-%20COM(2020)%20500). [Kasutatud 30 01 2021].
- [3] Elering AS, „Varustuskindluse aruanne 2020,“ 2020. [Võrgumaterjal]. Available: <https://elering.ee/sites/default/files/public/VKA2020.pdf>. [Kasutatud 30 01 2021].
- [4] Elering AS, „Varustuskindluse aruanne 2019,“ 2019. [Võrgumaterjal]. Available: https://elering.ee/sites/default/files/public/Infokeskus/elering_vka_2019_web_final2.pdf. [Kasutatud 30 01 2021].
- [5] M. Marilena, G. Diego, S. Edwin, C. Monica, S. Efisio, O. Jos ja V. Elisabetta, „Fossil CO2 emissions of all world countries - 2018 Report,“ Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2018.
- [6] NASA, „Global temperature,“ NASA's Jet Propulsion Laboratory, 2020. [Võrgumaterjal]. Available: <https://climate.nasa.gov/vital-signs/global-temperature/>. [Kasutatud 06 03 2021].
- [7] United Nations Framework Convention on Climate Change, „The Paris Agreement,“ 12 12 2015. [Võrgumaterjal]. Available: <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement/the-paris-agreement>. [Kasutatud 06 03 2021].
- [8] European Commission, „2030 climate & energy framework,“ [Võrgumaterjal]. Available: https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2030_et. [Kasutatud 06 03 2021].
- [9] Elering AS, „Elektrituru käsiraamat,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://elering.ee/elektrituru-kasiraamat>. [Kasutatud 06 03 2021].
- [10] Majandus- ja Kommunikatsiooni ministeerium, „Energiamajanduse arengukava aastani 2030,“ [Võrgumaterjal]. Available: https://www.mkm.ee/sites/default/files/enmak_2030.pdf. [Kasutatud 02 05 2021].
- [11] Sandbag Climate Campaign CIC, „Daily EU ETS carbon market price (Euros),“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://ember-climate.org/data/carbon-price-viewer/>. [Kasutatud 06 03 2021].
- [12] Elering AS, „Taastuvelekter kattis möödunud aastal neljandiku tarbimisest,“ 26 01 2021. [Võrgumaterjal]. Available: <https://elering.ee/taastuvelekter-kattis-moodunud-aastal-neljandiku-tarbimisest>. [Kasutatud 04 03 2021].

- [13] Statistikaamet, „Energeetika,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.stat.ee/et/avasta-statistikat/valdkonnad/energia-ja-transport/energeetika>. [Kasutatud 04 03 2021].
- [14] Riigikogu, „Elektrituruseadus,“ 01 07 2020. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.riigiteataja.ee/akt/130062020028>. [Kasutatud 17 04 2021].
- [15] T. Samad, E. Koch ja P. Stluka, „Automated Demand Response for Smart Buildings and Microgrids: The State of the Practice and Research Challenges,“ *Proceedings of the IEEE*, kd. 104, nr 4, pp. 726 - 744, 2016.
- [16] S. Carter, R. Desai, J. Forsman, M. Martin, O. Pearce, B. Steel, M. Vestli ja a. Elering, „Tarbimise juhtimine elektrisüsteemi paindlikkuse tagajana [Eleringi toimetised,“ 03 2015. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.digar.ee/arhiiv/en/books/42115>. [Kasutatud 07 03 2021].
- [17] European Commission, „Clean energy for all Europeans package completed: good for consumers, good for growth and jobs, and good for the planet,“ 22 05 2019. [Võrgumaterjal]. Available: https://ec.europa.eu/info/news/clean-energy-all-europeans-package-completed-good-consumers-good-growth-and-jobs-and-good-planet-2019-may-22_en. [Kasutatud 07 03 2021].
- [18] FINGRID, „Network vision,“ 01 2021. [Võrgumaterjal]. Available: https://www.fingrid.fi/globalassets/dokumentit/fi/kantaverkko/kantaverkonkehittaminen/fingrid_network_vision.pdf. [Kasutatud 17 04 2021].
- [19] Fusebox, „Rimi Estonia,“ 2021. [Võrgumaterjal]. Available: <https://fusebox.energy/case-study/rimi-estonia/>. [Kasutatud 17 04 2021].
- [20] ENTSO-E, „About,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.entsoe.eu/about/>. [Kasutatud 30 03 2021].
- [21] Konkurentsiamet, „Aruanded ja hinnangud - Aruanne elektri- ja gaasiturust Eestis 2019 - 2020,“ [Võrgumaterjal]. Available: https://www.konkurentsiamet.ee/sites/default/files/euroopa_aruanne-2019-2020.pdf. [Kasutatud 01 04 2021].
- [22] Elering AS, „Elektri tarbimine ja tootmine,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://elering.ee/elektri-tarbimine-ja-tootmine>. [Kasutatud 01 04 2021].
- [23] Statistikaamet, „KE062: Kütuse tarbimine tegevusala ja kütuse liigi järgi,“ [Võrgumaterjal]. Available: https://andmed.stat.ee/et/stat/majandus__energeetika__energia-tarbimine-ja-tootmine__aastastatistika/KE062. [Kasutatud 17 04 2021].
- [24] Euroopa Parlament ja Euroopa Liidu Nõukogu, „Euroopa Parlament ja Euroopa Liidu Nõukogu DIREKTIIV 2005/89/EÜ,“ 18 01 2006. [Võrgumaterjal]. Available: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ET/TXT/HTML/?uri=CELEX:32005L0089&from=EN>. [Kasutatud 30 03 2021].
- [25] Vabariigi Valitsus, „Elektrisüsteemi toimimise võrgueeskiri,“ 27 04 2019. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.riigiteataja.ee/akt/121022019002>. [Kasutatud 30 03 2021].
- [26] Majandus- ja Kommunikatsiooniministeerium, „Elektriturg,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.mkm.ee/et/tegevused-eesmargid/energeetika/elektriturg>. [Kasutatud 01 04 2021].
- [27] Elering AS, „Elektriturg,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://elering.ee/elektriturg>. [Kasutatud 01 04 2021].

- [28] Konkurentsiamet, „Tarbimise juhtimise iseseisva tururaamistiku ettepanekud Eestile,“ 03 07 2020. [Võrgumaterjal]. Available: https://www.konkurentsiamet.ee/sites/default/files/news-related-files/tarbimise_juhtimise_iseseisva_tururaamistiku_ettepanekud_eestile.pdf. [Kasutatud 17 04 2021].
- [29] Euroopa Parlament, „Taastuvenergia,“ 11 2020. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.europarl.europa.eu/factsheets/et/sheet/70/renewable-energy>. [Kasutatud 17 04 2021].
- [30] Konkurentsiamet, „Tarbimise juhtimine - Konsultatsiooni kokkuvõte,“ 01 10 2020. [Võrgumaterjal]. Available: https://www.konkurentsiamet.ee/sites/default/files/tarbimise_juhtimine_elektritur_u_noukoda_01.10.2020.pdf. [Kasutatud 17 04 2021].
- [31] W.-Y. Chiu, H. Sun ja H. V. Poor, „Energy Imbalance Management Using a Robust Pricing Scheme,“ *IEEE Transactions on Smart Grid*, kd. 4, nr 2, pp. 896 - 904, 2013.
- [32] A. Rosin, „Energiahaldus elektri tarkvõrkudes,“ 2019. [Võrgumaterjal]. Available: https://portal-int.taltech.ee/sites/default/files/2020-02/EE_ins_Energiahaldus_tarkvorkudes_opik_final.pdf. [Kasutatud 18 04 2021].
- [33] A. Rosin, I. Drovtar, S. Link, H. Hõimoja, H. Mölder, T. Möller ja Elering, „Tarbimise juhtimine - suurtarbijate koormusgraafikute salvestamine ning analüüs tarbimise juhtimise rakendamise võimaluste tuvastamiseks,“ 2014. [Võrgumaterjal]. Available: https://elering.ee/sites/default/files/attachments/Tarbimise_juhtimine_1.pdf. [Kasutatud 17 04 2021].
- [34] L. Rozentale, A. Kalnbalķite ja D. Blumberga, „Aggregator as a new electricity market player: (Case study of Latvia),“ %1 2020 *IEEE 61th International Scientific Conference on Power and Electrical Engineering of Riga Technical University (RTUCON)*, Riga, 2020.
- [35] GOPACS, „About GOPACS,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://en.gopacs.eu/about-gopacs/>. [Kasutatud 24 04 2021].
- [36] Open Utility Ltd, „Building a smarter energy future,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://piclo.energy/about>. [Kasutatud 24 04 2021].
- [37] EneRa, „About EneRa,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.enera.eu/en/about-enera/>. [Kasutatud 24 04 2021].
- [38] NODES AS, „About,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://nodesmarket.com/about/>. [Kasutatud 24 04 2021].
- [39] GridiO, „About,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://gridio.io/en/about>. [Kasutatud 24 04 2021].
- [40] Fusebox, „About,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://fusebox.energy/>. [Kasutatud 18 04 2021].
- [41] K. Hanschmidt, „How Gridio turns homes into virtual power plants for a cleaner future,“ 15 04 2020. [Võrgumaterjal]. Available: <https://medium.com/gridio/how-gridio-turns-homes-into-virtual-power-plants-for-a-cleaner-future-a715fab99214>. [Kasutatud 18 04 2021].
- [42] Eesti Energia AS, „Paindlik energia,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.energia.ee/ari/energiatooted/paindlikenergia>. [Kasutatud 05 05 2021].

- [43] Majandus- ja Kommunikatsiooni ministeerium, „Eesti riiklik energia- ja kliimakava aastani 2030,“ 2019.
- [44] Transpordiamet, „Sõidukite statistika,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.mnt.ee/et/ametist/statistika/soidukite-statistika>. [Kasutatud 18 04 2021].
- [45] EU SysFlex, „About,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://eu-sysflex.com/>. [Kasutatud 18 04 2021].
- [46] European Commission, „TSO-DSO-Consumer INTERFACE aRchitecture to provide innovative grid services for an efficient power system,“ 01 01 2019. [Võrgumaterjal]. Available: <https://cordis.europa.eu/project/id/824330>. [Kasutatud 18 04 2021].
- [47] European Commission, „One Network for Europe,“ 01 10 2020. [Võrgumaterjal]. Available: <https://cordis.europa.eu/project/id/957739>. [Kasutatud 18 04 2021].

Lisa 1 – Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks¹

Mina, Vjatšeslav Antipenko

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose „Paindlikkusteenuste mõju tööstus, äri- ja avalik sektoritele ning kodumajapidamistele, juhtumianalüüs“, mille juhendaja on Juri Belikov
 - 1.1. reprodutseerimiseks lõputöö säilitamise ja elektroonse avaldamise eesmärgil, sh Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogusse lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;
 - 1.2. üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tallinna Tehnikaülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogu kaudu kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.
2. Olen teadlik, et käesoleva lihtlitsentsi punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.
3. Kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest ning muudest õigusaktidest tulenevaid õigusi.

10.05.2021

¹ Lihtlitsents ei kehti juurdepääsupiirangu kehtivuse ajal vastavalt üliõpilase taotlusele lõputööle juurdepääsupiirangu kehtestamiseks, mis on allkirjastatud teaduskonna dekaani poolt, välja arvatud ülikooli õigus lõputööd reprodutseerida üksnes säilitamise eesmärgil. Kui lõputöö on loonud kaks või enam isikut oma ühise loomingulise tegevusega ning lõputöö kaas- või ühisautor(id) ei ole andnud lõputööd kaitsvale üliõpilasele kindlaksmääratud tähtajaks nõusolekut lõputöö reprodutseerimiseks ja avalikustamiseks vastavalt lihtlitsentsi punktile 1.1. ja 1.2, siis lihtlitsents nimetatud tähtaja jooksul ei kehti.

Lisa 2 – Elektrienergia tarbimine tegevusala põhiselt 2019 aastal

	Elektrienergia, GWh
Põllumajandus	157
Metsandus	3
Kalapüük	5
Põlevkivi kaevandamine	198
Turba tootmine ja muu kaevandamine	23
Toiduainete tootmine, joogitootmine	298
Tekstiili- ja rõivatootmine, nahatöötlemine ja nahktoodete tootmine	53
Puidutöötlemine	562
Paberi ja pabertoodete tootmine, trükindus ja salvestite paljundus	355
Koksi ja puhastatud naftatoodete tootmine	197
Keemia- ja farmaatsiatoodete tootmine	82
Muude mittemetalsetest mineraalidest toodete tootmine	186
Metallitootmine	11
Metalltoodete tootmine	90
Arvutite, elektriseadmete ja transpordivahendite tootmine	181
Mööblitootmine	61

Muu tootmine	30
Elektrienergia- auru- ja kuumaveevarustus	1365
Veevarustus ja kanalisatsioon	127
Jäätmetöötlus	23
Eitus	66
Hulgi- ja jaekaubandus	663
Maismaaveondus	65
Veetransport	6
Õhustransport	0
Laondus, posti- ja kulleriteenistus	254
Majutus ja toitlustus	239
Info ja side	185
Fintants- ja kindlustustegevus	13
Kinnisvaraalane tegevus	693
Kutse-, teadus- ja tehnikaalane tegevus	50
Haldus- ja abitegevused	43
Avalik haldus ja riigikaitse	427
Haridus	101
Tervishoid ja sotsiaalhoolekanne	186
Kunst, meelelahutus ja vaba aeg	48
Muud teenindavad tegevused	19

Kodumajapidamine	2070
------------------	------