

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL  
Infotehnoloogia teaduskond

Brigitta-Robin Raudne 192022IABM

# **Elektrihindade volatiilsuse analüüs salvestustehnoloogiate vaatest**

Magistritöö

Juhendaja: Ants Torim  
PhD

Tallinn 2022

## **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: Brigitta-Robin Raudne

03.01.2022

## Annotatsioon

Käesoleva lõputöö eesmärgiks on analüüsida elektrihindade volatiilsust Eesti Energia koduturgudel, milleks on Eesti, Läti, Leedu, Soome ja Poola. Uuritakse ka peamiseid volatiilsuse põhjuseid ning sellest tulenevalt salvestustehnoloogiate tulevikku elektriturul. Tänapäeval liigutakse uuritavates riikides kliimanetraalsuse suunas, mistõttu on energeetika valdkond suures muutumises. Lisaks on elektri hinnad muutunud väga volatiilseks ja elektri salvestusvõime puudumine on üks selle põhjustajatest. Seega on salvestustehnoloogiate kasutuselevõtt aktuaalne teema, mille võimalusi on vaja uurida. Antud töös on autor loonud algoritmi akude efektiivseks kasutuseks elektriturul, mis leiab akude spetsifikatsioonidele vastavalt sobivad *spread*id ning täis- ja tühjakslaadimise ajad. Salvestustehnoloogiatega on võimalik kõrge volatiilsusega elektri hindade juures teenida tulu ja leevendada volatiilsusega kaasnevat tagajärki.

Lõputöö on kirjutatud eesti keeles ning sisaldab teksti 41 leheküljel, 7 peatükki, 28 joonist, 6 tabelit.

## **Abstract**

### **Analysis of Electricity Price Volatility from the Perspective of Storage Technologies**

This dissertation works to analyze the volatility of electricity prices in Eesti Energia's home markets, which are Estonia, Latvia, Lithuania, Finland and Poland. The main causes of volatility and, consequently, the future of storage technologies in the electricity market are also examined. Today, the countries studied are moving towards climate neutrality, and the energy sector is undergoing major changes. In addition, electricity prices are highly volatile and one of the causes is the lack of storability. Therefore, the introduction of storage technologies is a topical issue that needs to be explored. In this paper, the author has created an algorithm for the efficient use of batteries in the electricity market, which finds suitable spreads from day-ahead electricity markets and charge and discharge hours according to the specifications of the batteries. Storage technologies can generate revenue at high volatility electricity prices and mitigate the effects of volatility.

The thesis is in Estonian and contains 41 pages of text, 7 chapters, 28 figures, 6 tables.

## Lühendite ja mõistete sõnastik

ENTSO-E	<i>European Network of Transmission System Operators</i> , Euroopa põhivõrguettevõtete koostööorganisatsioon
PSE	<i>Polskie Sieci Elektroenergetyczne</i> , Poola elektrivõrguoperaator
DSO	<i>Distribution System Operator</i> , jaotusvõrguettevõtte
ST	<i>AS Sadales tīkls</i> , Läti jaotusvõrguettevõtte
ESO	<i>Energijos Skirstymo Operatorius AB</i> , Leedu jaotusvõrguettevõtte
EL	Euroopa Liit
PV	<i>Photovoltaic</i> , päikeseenergia

## Sisukord

1 Sissejuhatus .....	11
1.1 Eesmärgid .....	12
1.2 Töö struktuur .....	12
2 Metoodika .....	13
3 Elektri- ja võrguturud .....	14
3.1 Nord Pool.....	14
3.2 ENTSO-E.....	15
3.3 Võrgutasud.....	15
3.3.1 Madalpingel väiketarbija .....	16
3.3.2 Madalpingel suurtarbija.....	16
3.3.3 Keskipingel suurtarbija.....	17
4 Elektri hindade volatiilsus .....	19
4.1 Elektri hindade volatiilsuse muutus ajas .....	19
5 Elektri hindade volatiilsuse põhjused .....	22
5.1 Elektri tarbimine .....	22
5.2 Elektri tootmine .....	24
5.2.1 Mittetaastuvenergia .....	26
5.2.2 Taastuvenergia.....	29
5.2.3 Elektrienergia tootmise tulevik.....	33
5.3 Järeldused .....	36
6 Salvestustehnoloogiad ja algoritmi kirjeldus.....	38
6.1 Akude kasutus elektriturul.....	39
6.2 Algoritm <i>spreadi</i> prognoosimiseks .....	40
6.2.1 Näide algoritmi toimimisest .....	41
6.3 <i>Spreadide</i> muutus ajas .....	44
6.4 Akude hinnad.....	47
7 Kokkuvõte .....	51
Kasutatud kirjandus .....	53

Lisa 1 – Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks ..... 58

## Jooniste loetelu

Joonis 1. Madalpingel väiketarbija elektrihindade volatiilsus viimase 5 aasta jooksul, €/MWh.....	20
Joonis 2. Madalpingel suurtarbija elektrihindade volatiilsus viimase 5 aasta jooksul, €/MWh.....	20
Joonis 3. Keskipingel suurtarbija elektrihindade volatiilsus viimase 5 aasta jooksul, €/MWh.....	21
Joonis 4. Kuine keskmine elektritarbimine viimase 5 aasta jooksul Balti riikides, GWh/päev.....	23
Joonis 5. Kuine keskmine elektritarbimine viimase 5 aasta jooksul Soomes ja Poolas, GWh/päev.....	23
Joonis 6. Kuine keskmine elektri kogutoodang viimase 5 aasta jooksul Balti riikides, GWh/päev.....	24
Joonis 7. Kuine keskmine elektri kogutoodang viimase 5 aasta jooksul Soomes ja Poolas, GWh/päev.....	25
Joonis 8. Mittetaastuenergia kuine keskmine kogutoodang Balti riikides viimase 5 aasta jooksul, GWh/päev.....	27
Joonis 9. Mittetaastuenergia kuine keskmine kogutoodang Soomes ja Poolas viimase 5 aasta jooksul, GWh/päev.....	27
Joonis 10. Fossiilsete energiaressursside hindade muutus viimase 5 aasta jooksul, €/tonn ja €/MMBtu.....	29
Joonis 11. Taastuenergia kuine keskmine kogutoodang Balti riikides viimase 5 aasta jooksul, GWh/päev.....	30
Joonis 12. Taastuenergia kuine keskmine kogutoodang Soomes ja Poolas viimase 5 aasta jooksul, GWh/päev.....	31
Joonis 13. Kogutoodangust taastuenergia osakaalu mõju elektrihindade volatiilsusele, €/MWh.....	32
Joonis 14. Elektritootmine liigiti Eestis 2016. ja 2021.aastal, %.....	34
Joonis 15. Elektritootmine liigiti Lätis 2016. ja 2021.aastal, %.....	34
Joonis 16. Elektritootmine liigiti Leedus 2016. ja 2021.aastal, %.....	35



Joonis 17. Elektritootmine liigiti Soomes 2016. ja 2021.aastal, %.....	35
Joonis 18. Elektritootmine liigiti Poolas 2016. ja 2021.aastal, %.....	35
Joonis 19. Kahe päeva iga tunni elektrihindade näidised.....	42
Joonis 20. Kahe päeva iga tunni elektrihindade näidised reastatud elektrihindade kasvavas järjekorras.....	43
Joonis 21. Algoritmi valitud elektri hinnad.....	44
Joonis 22. Algoritmi leitud <i>spread</i> id.....	44
Joonis 23. Madalpingel väiketarbija kuine keskmine elektri hindade vahe tsükli kohta viimase 5 aasta jooksul, €/MWh.....	45
Joonis 24. Madalpingel suurtarbija kuine keskmine elektri hindade vahe tsükli kohta viimase 5 aasta jooksul, €/MWh.....	46
Joonis 25. Keskipingel suurtarbija kuine keskmine elektri hindade vahe tsükli kohta viimase 5 aasta jooksul, €/MWh.....	46
Joonis 26. Liitium-ioon akude keskmise hinna muutus ajas, \$/kWh.....	48
Joonis 27. Aku I hinnavõrdlus madalpingel suurtarbija aastase keskmise <i>spread</i> iga (efektiivsus 95%), €/MWh.....	49
Joonis 28. Aku II hinnavõrdlus madalpingel väiketarbija aastase keskmise <i>spread</i> iga (efektiivsus 90%), €/MWh.....	49

## Tabelite loetelu

Tabel 1. Madalpingel väiketarbija võrgutasud uuritavates riikides.....	16
Tabel 2. Madalpingel suurtarbija võrgutasud uuritavates riikides.....	17
Tabel 3. Keskingel suurtarbija võrgutasud uuritavates riikides.....	18
Tabel 4. CO <sub>2</sub> emissioon energiatööstuses, kilotonnides (kt).....	28
Tabel 5. Taastuenergia osakaal kogutoodangust, %.....	33
Tabel 6. Müügil olevate akude spetsifikatsioon ja hinnavõrdlus <i>spreadiga</i> .....	47

## 1 Sissejuhatus

Volatiilsus viitab aja jooksul täheldatud ettearvamatutele kõikumistele. Majanduses ja rahanduses on volatiilsus kriteerium varade hoidmisega seotud riskide uurimiseks, kui vara tulevane väärtus on teadmata. Volatiilsuse analüüsil, modelleerimisel ja prognoosimisel on erinevaid rakendusi, näiteks riskijuhtimine ja optsioonide hindamine finantsturgudel. [1]–[3]

Elektriga kaubeldakse konkurentsivõimelistel hulgiturgudel. Elektri hinnad on salvestusvõimeta ning paindumatu nõudluse ja pakkumise tõttu palju ebastabiilsemad kui muud toormehinnad. Lisaks võivad elektri hinnad teha järske hüppeid, tõustes või langedes mitu suurusjärku rohkem kui keskmine. Seetõttu on kauplejate, portfelli haldurite ja teiste turuosaliste jaoks ülioluline elektri hindade volatiilsust võimalikult täpselt prognoosida. [4]

Seistes silmitsi kliimamuutuste ja palju rangemate süsihappegaasi heitkoguste nõuetega, keskenduvad kõik maailma riigid taastuvenergia arendamisele, mille alla kuuluvad suurimad liigid on hüdro-, tuule- ja päikeseenergia. Taastuvenergia suurenev levik võib selgelt mõjutada elektri hinna volatiilsust, mis on teatud aja jooksul täheldatud kui elektri hindade hajumise või kõikumise näitaja. Elektri hinna volatiilsus sõltub paljudest teguritest - kütuse hinnad, kättesaadavus tootmisüksustes, taastuvenergia tootmise maht ning võrkude ülekoormused. Teadmised elektri hindade kõikumisest on iga turuosalise jaoks üliolulised, kuna need võivad mõjutada kõiki elektriturul tehtud otsuseid. [5]

Pikemas perspektiivis võivad hindade äärmuslikud kõikumised põhjustada soovimatuid tagajärgi, nagu jaemüüjate pankrot ja turu peatamine. Väga ebastabiilisel elektriturul puutuvad osalejad kokku suure finantsriski ning kulukate riskijuhtimise strateegiatega. Salvestustehnoloogiaid saab kasutada energiaturul, et leevendada kõrget elektri hindade volatiilsust muutes tarbimise aega. Nii saab tagada ka energiavarustuse, kui elekter on eelnevalt salvestatud. Lisaks saab nendega teenida kasu elektri hindade kõikumisest. [6]

## 1.1 Eesmärgid

Antud töö peamiseks eesmärgiks on analüüsida elektrihindade volatiilsust ja hinnata salvestustehnoloogiate kasumlikkust elektriturul. Selle jaoks on töö autor kirjutanud ka algoritmi, mis aitaks otsuseid langetada. Täpsemalt on eesmäärke kirjeldatud järgnevalt:

- Analüüsida ja visualiseerida elektrihindade volatiilsuse ajalugu Eesti Energia koduturgudel, milleks on Eesti, Läti, Leedu, Soome ja Poola.
- Uurida ka volatiilsuse peamised põhjused ning kuidas taastuenergia suurenev levik mõjutab elektrihindu.
- Volatiilsus on otseses seoses akude arbitraaži vahedega, millega saab hinnata nende kasumlikkust elektriturgudel. *Spread*ide leidmiseks on vaja algoritmi, mida saab antud töös kasutada tulemuste saamiseks ja tasuvusanalüüsi teostamiseks.
- Lisaks hindab töö autor kahe erineva aku kasumlikkust praeguste elektrihindade juures ja ka lähitulevikus.

Uurimistöö oodatav tulemus on näidata salvestustehnoloogiate kasutuse vajalikkust ja tasuvust nii praegusel ajal kui ka järgnevatel aastatel.

## 1.2 Töö struktuur

Käesolev uurimistöö on jaotud eesmärkide saavutamiseks erinevatesse osadesse. Töö teises osas antakse ülevaade objektist ja kasutatavatest tööriistadest, kolmandas osas tuuakse välja elektri- ja võrguturgude funktsioon. Neljandas osas analüüsitakse elektrihindade volatiilsust ja viiendas selle peamised põhjused. Põhjuste all keskendutakse ka taastuenergia suurenevale levikule, millega üritatakse leida seoseid elektrihindade vahel. Kuuendas osas keskendutakse salvestustehnoloogiatele ja hinnatakse nende tulevikku elektriturul. Tuuakse välja ka algoritmi kirjeldus akude arbitraaži vahede leidmiseks ja koostatakse algoritmiga leitud tulemuste põhjal tasuvusanalüüs. Viimases, seitsmendas osas, on ülevaade eesmärkide saavutamisest.

## 2 Metoodika

Antud töös on uuritavateks riikideks Eesti Energia koduturud: Eesti, Läti, Leedu, Soome ja Poola. Kõigi nende riikide kohta on kogutud andmeid elektrihindade, võrgutasude elektritarbimise ja -tootmise kohta. Lisaks on tootmise all eraldi vaadatud energiaressursse ja toodud välja andmed ka vastavalt liikidele. Andmetest saadud infot analüüsitakse neljandas ja viiendas peatükis.

Kuuendas peatükis keskendutakse salvestustehnoloogiatele. Nende tasuvusanalüüsiks on kogutud andmeid hindade kohta. Lisaks on antud peatükis töötatud välja heuristiline algoritm, mis võimaldab leida elektrihindade *spread*e. Kuna *spread*id on otseses seoses elektrihindade volatiilsusega, on eelnev analüüs aluseks saadud *spread*idele. *Spread*id iseloomustavad aku võimet teenida elektriturul kasu, mistõttu on see oluline tulemus tasuvusanalüüsi teostamiseks. Lisaks on tasuvusanalüüsi jaoks tehtud ka prognoos aku hindade ja *spread*ide kohta lähiaastate jooksul, et hinnata kasumlikkust tulevikus.

Kõik töös toodud joonised on genereeritud autori poolt kogutud andmete põhjal. Jooniste ja analüüside teostamiseks ning algoritmi kirjutamiseks on kasutatud RStudio programmi. Algoritm kuulub Eesti Energia omandisse.

### **3 Elektri- ja võrguturud**

Elektritööstuses käsitletakse elektri tootmist, jaotust ja ülekannet eraldi ettevõtetenä [7]. Ülekande- ja jaotusvõrkude kaudu jõuab elekter elektrijaamadest klientideni [8]. Ülekande- ehk põhivõrk tagab elektri varustuskindluse tuues elektrienergia tootjatest tarbijate lähedale. Siia alla kuuluvad ka riikidevahelised ühendused. Jaotusvõrgus toimub põhivõrgu poolt kohale toodud elektrienergia vahetu toimetamine klientideni. [9]

Elektriturud müüvad tarbijatele elektrit minimaalse võimaliku hinnaga. Selle saavutamiseks peavad pakkumine ja nõudlus tasakaalus olema ning ressursi- ja võrgupiirangud täidetud. Lisaks peab turg saatma õigeid hinnasignaale, et motiveerida aja jooksul tõhusat tootmist ja ressursidesse investeerimist. Sellise ülesande täitmine muudab turukujunduse keeruliseks. [10]

#### **3.1 Nord Pool**

Nord Pool AS on Euroopa juhtiv elektriturg, mis pakub päev-ette ja päevasisest kauplemist, arveldust, andmeid ja nõustamisteenuseid 16 Euroopa riigis [11]. Nord Pool asutati 1993. aastal Norra elektribörsina, mis laiendas oma kaubavahetust 1996. aastal Norrasse ja Rootsi. Nii sai sellest maailma esimene rahvusvaheline elektrienergia lepingutega kauplemise börs. Nord Pooli struktuuri eristab teistest elektribörsidest üle maailma see, kuidas hetketuru tasakaalu hoitakse kuni tegeliku füüsilise tarnimiseni Norra reguleeriva elektrituru kaudu [12]. [13]

Nord Pool haldab kahte erinevat elektriturgu: Elspot ja Eltermin [11]. Elspoti turg on igapäevane hetketurg, mis sõlmitakse päev-ette etapis. Turuosalised saavad esitada füüsilise elektrienergia müügi- või ostupakkumisi järgmiseks päevaks. Eltermin turg koosneb finantsfutuuridest ja forvardlepingutest kindla võimsuse arveldamiseks tasase koormusprofiiliga kokkulepitud hinna ja tarneperioodi alusel. [14]

Käesolevas uurimistöös on kasutatud Nord Pool Elspot turu elektrihindu, mis uuritavatest riikidest on saadaval Eesti, Läti, Leedu ja Soome jaoks. [11]

### 3.2 ENTSO-E

ENTSO-E on Euroopa põhivõrguettevõtete ühendus, mille eesmärgiks on edendada piiriülest kaubandust ja tagada elektripõhivõrgu optimaalne juhtimine. Kõigi ENTSO-E liikmete vahel toimub sidus ja koordineeritud koostöö [9]. Käesoleva kliimaneutraalsuse eesmärgi saavutamise nimel aitab organisatsioon kaasa uute tootmisvõimsuste integreerimisele, taastuenergia osakaalu suurendamisele ja kasvuhoonegaasi vähendamisele. Kõik töös uuritavad riigid kuuluvad antud ühendusse oma põhivõrguettevõtetega Elering AS (Eesti), *AS Augstsprieguma tīkls* (Läti), *Litgrid AB* (Leedu), *Fingrid Oyj* (Soome) ja *Polskie Sieci Elektroenergetyczne S.A.* (Poola). ENTSO-E lehelt leiab nende riikide kohta andmeid elektri tarbimise ja tootmise (ka liikide) kohta, mida on kasutatud analüüside teostamiseks. [14]

PSE (*Polskie Sieci Elektroenergetyczne S.A.*), mis on Poola elektri ülekandesüsteemi haldur ja riigi kõrgepingeliinide ainuoperaator, haldab ühtlasi ka Poola elektri hulgituruhindu. Kuna Nord Pool turul Poola elektri hindu saadaval ei ole, on antud töös kasutatud just PSE hindu, mis on kohalikus valuutakursis. Ka need on päev-ette hinnad nagu Elspot turul, seega võrreldavad teiste riikide elektrihindadega, peale valuuta konverteerimist. [15]

### 3.3 Võrgutasud

Võrguteenuste kvaliteetseks toimimiseks on elektrihindadele lisatud võrgutariifid. Need on jaotusvõrguettevõtjate (DSO) peamine tuluallikas ja määratakse kindlaks tulu regulatsioonidega [16]. DSO kliendid jagunevad oma elektritarbimise alusel segmentideks. Lisaks on võimalik klientidel ise valida fikseeritud, tarbimise mahu põhjal kujunevaid, kellaajalisi ja hooajalisi võrgutasusid. [17]

Antud uurimistöös on käsitletud 3 erinevat kliendisegmenti ja leitud iga uuritava riigi DSO võrgutasud, mis vastaksid kirjeldatud segmendi tüübile. Eestis on suurim DSO Elektrilevi OÜ, Lätis *AS Sadales tīkls* (ST) ja Leedus *Energijos Skirstymo Operatorius AB* (ESO). Soomes on 3 suuremat jaotusvõrku [18], [19]. Nende seast on valitud Caruna Networks Oy, mille piirkonna alla kuulub ka Soome pealinn Helsingi. Poola on piirkonniti jaotatud 4 suurima DSO vahel [20]. Antud riigi jaoks on kasutatud Tauroni võrgutasusid, mille valdusesse kuulub Edela-Poola. Kõikide riikide jaoks on valitud tasud

kahetariifsed (öö ja päev). Lisaks, kuna uuritavates riikides vahetub ajatsoon vastavalt hooajale (suvi ja talv), on võrgutariifid valitud ühe ajavööndi jaoks, välja arvatud Poola puhul.

### 3.3.1 Madalpingel väiketarbija

Antud kliendisegment on riikide jaoks defineeritud järgnevate tingimustega:

- Eesti: madalpinge, peakaitsme võimsus kuni 63 A [21]
- Läti: madalpinge, peakaitsme võimsus kuni 63 A [22]
- Leedu: madalpinge, lubatud võimsus on kuni 30 kW [23]
- Soome: madalpinge, peakaitsme võimsus kuni 63 A [24]
- Poola: madalpinge, lubatud võimsus on kuni 40 kW [25]

Madalpingel väiketarbija on elamu- ja väikehoonetele mõeldud kliendisegment. Sellised kliendid on tavalised majapidamised ja ka väikeettevõtted, kelle elektrivajadus ei ole väga suur.

Tabel 1. Madalpingel väiketarbija võrgutasud uuritavates riikides.

		<b>Suvi</b>	<b>Talv</b>	<b>Hind</b>	<b>Mõõtühik</b>	<b>EUR/MWh</b>	<b>DSO</b>
<b>Eesti</b>	Päev	E-R 8-24	E-R 7-23	6,16	senti/kWh	<b>61,6</b>	Elektrilevi [21]
	Öö	E-R 24-8 + L, P	E-R 23-7 + L, P	3,58	senti/kWh	<b>35,8</b>	
<b>Läti</b>	Päev	E-R 8-24	E-R 7-23	0,05138	EUR/kWh	<b>51,4</b>	ST [22]
	Öö	E-R 24-8 + L, P	E-R 23-7 + L, P	0,0265	EUR/kWh	<b>26,5</b>	
<b>Leedu</b>	Päev	E-R 8-24	E-R 7-23	0,036	EUR/kWh	<b>36,0</b>	ESO [23]
	Öö	E-R 24-8 + L, P	E-R 23-7 + L, P	0,027	EUR/kWh	<b>27,0</b>	
<b>Soome</b>	Päev		E-L 7-22	3,21	senti/kWh	<b>32,1</b>	Caruna [24]
	Öö	E-P 00-24	E-L 22-7 + P	1,33	senti/kWh	<b>13,3</b>	
<b>Poola</b>	Päev	E-R 6-21	E-R 6-21	159,9	PLN/kWh	<b>35,5</b>	Tauron [25]
	Öö	E-R 21-6 + L, P	E-R 21-6 + L, P	106,9	PLN/kWh	<b>23,8</b>	

### 3.3.2 Madalpingel suurtarbija

Antud kliendisegment on riikide jaoks defineeritud järgnevate tingimustega:

- Eesti: madalpinge, peakaitsme võimsus on suurem kui 63 A [21]



- Läti: madalpinge, peakaitsme võimsus on suurem kui 63 A [22]
- Leedu: madalpinge, lubatud võimsus on suurem kui 30 kW [23]
- Soome: madalpinge, peakaitsme võimsus on suurem kui 63 A [24]
- Poola: madalpinge, lubatud võimsus on suurem kui 40 kW [25]

Madalpingel suurtarbija on väiketööstustele mõeldud kliendisegment. Sellised kliendid on tootmisettevõtted, kauplused ja farmid, kelle elektrivajadus on suurem kui tavalisel majapidamisel. Nii madalpingel väiketarbija kui ka suurtarbija elekter tuleb madalpingeliinidest, kus elektrit tarnitakse ja mõõdetakse 0,4 kV kaupa.

Tabel 2. Madalpingel suurtarbija võrgutasud uuritavates riikides.

		<b>Suvi</b>	<b>Talv</b>	<b>Hind</b>	<b>Mõõtühik</b>	<b>EUR/MWh</b>	<b>DSO</b>
<b>Eesti</b>	Päev	E-R 8-24	E-R 7-23	2,67	senti/kWh	<b>26,7</b>	Elektrilevi [21]
	Öö	E-R 24-8 + L, P	E-R 23-7 + L, P	1,54	senti/kWh	<b>15,4</b>	
<b>Läti</b>	Päev	E-R 8-24	E-R 7-23	0,02626	EUR/kWh	<b>26,3</b>	ST [22]
	Öö	E-R 24-8 + L, P	E-R 23-7 + L, P	0,01946	EUR/kWh	<b>19,5</b>	
<b>Leedu</b>	Päev	E-R 8-24	E-R 7-23	0,023	EUR/kWh	<b>23,0</b>	ESO [23]
	Öö	E-R 24-8 + L, P	E-R 23-7 + L, P	0,017	EUR/kWh	<b>17,0</b>	
<b>Soome</b>	Päev		E-L 7-22	2,18	senti/kWh	<b>21,8</b>	Caruna [24]
	Öö	E-P 00-24	E-L 22-7 + P	0,95	senti/kWh	<b>9,5</b>	
<b>Poola</b>	Päev	E-R 6-21	E-R 6-21	178,3	PLN/kWh	<b>39,6</b>	Tauron [25]
	Öö	E-R 21-6 + L, P	E-R 21-6 + L, P	65	PLN/kWh	<b>14,4</b>	

### 3.3.3 Keskpingle suurtarbija

Antud kliendisegment on riikide jaoks defineeritud järgnevate tingimustega:

- Eesti: keskpinge, liitumispunkt võrguga asub 110 kV alajaama alampinge poolel [21]
- Läti: keskpinge, 6-20 kV liinid [22]
- Leedu: keskpinge [23]
- Soome: keskpinge, lubatud võimsus suurem kui 1000 kW [24]
- Poola: keskpinge [25]

Keskpingel suurtarbija on suure võimsusvajadusega kliendisegment. Sellised kliendid on suured tootmisettevõtted, kus aastane tarbimine on suurem kui 6500 MWh. Keskpingeliinidest tarnitakse ja mõõdetakse elektrit 6-20 kV kaupa.

Tabel 3. Keskpingel suurtarbija võrgutasud uuritavates riikides.

		<b>Suvi</b>	<b>Talv</b>	<b>Hind</b>	<b>Mõõtühik</b>	<b>EUR/MWh</b>	<b>DSO</b>
<b>Eesti</b>	Päev	E-R 8-24	E-R 7-23	0,54	senti/kWh	<b>5,4</b>	Elektrilevi [21]
	Öö	E-R 24-8 + L, P	E-R 23-7 + L, P	0,31	senti/kWh	<b>3,1</b>	
<b>Läti</b>	Päev	E-R 8-24	E-R 7-23	0,00667	EUR/kWh	<b>6,7</b>	ST [22]
	Öö	E-R 24-8 + L, P	E-R 23-7 + L, P	0,00494	EUR/kWh	<b>4,9</b>	
<b>Leedu</b>	Päev	E-R 8-24	E-R 7-23	0,011	EUR/kWh	<b>11,0</b>	ESO [23]
	Öö	E-R 24-8 + L, P	E-R 23-7 + L, P	0,009	EUR/kWh	<b>9,0</b>	
<b>Soome</b>	Päev		E-L 7-22	0,95	senti/kWh	<b>9,5</b>	Caruna [24]
	Öö	E-P 00-24	E-L 22-7 + P	0,5	senti/kWh	<b>5,0</b>	
<b>Poola</b>	Päev	E-R 6-21	E-R 6-21	60,71	PLN/kWh	<b>13,5</b>	Tauron [25]
	Öö	E-R 21-6 + L, P	E-R 21-6 + L, P	48,44	PLN/kWh	<b>10,8</b>	

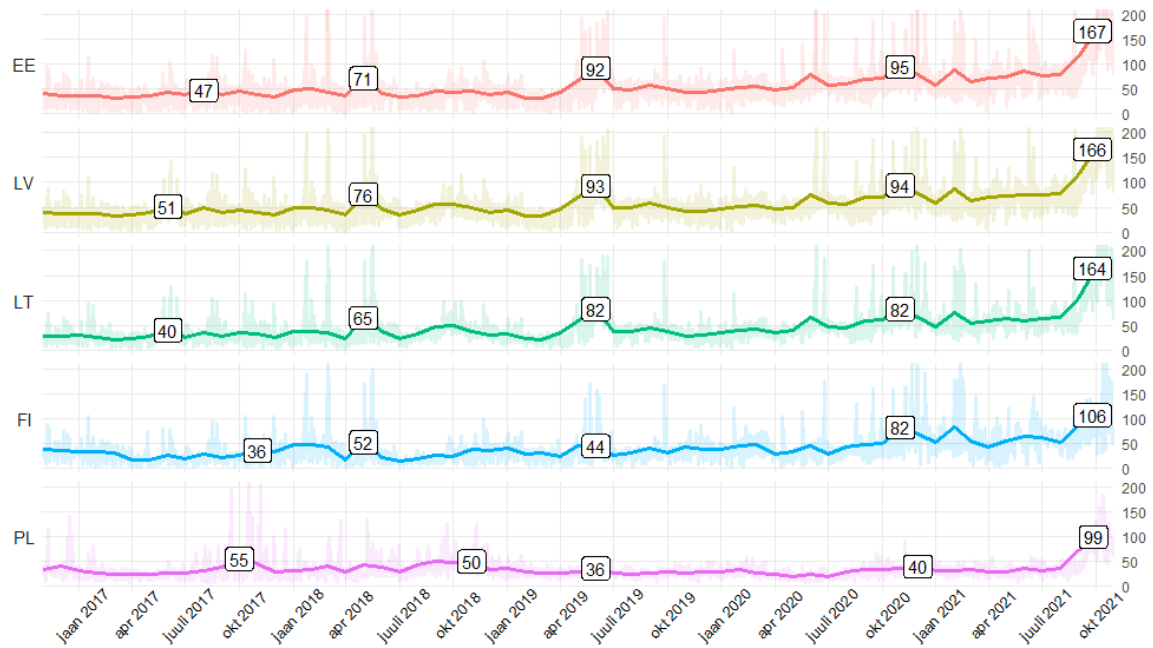
## 4 Elektrihindade volatiilsus

Paarkümmend aastat tagasi oli elektrisektor üle maailma vertikaalselt integreeritud tööstusharu, kus regulatsioonid määrasid hinnad, mis kajastasid tootmise, ülekande ja jaotuse kulusid. Tänu sellele muutusid elektri hinnad harva. Tänapäeval on tootmine ja ülekande reguleerimata ning hinnad kujunevad pakkumise ja nõudluse järgi. Kuna elekter oma loomult ei ole salvestatav (välja arvatud hüdroenergia), on nende hinnad palju tõenäolisemalt tingitud hetke nõudlusest ja pakkumisest, kui mis tahes muu toote puhul. Selle tulemusena võivad suured muutused tootmises või tarbimises põhjustada hindade hüppeid, mida on täheldatud alates 1998. aastast. [26]

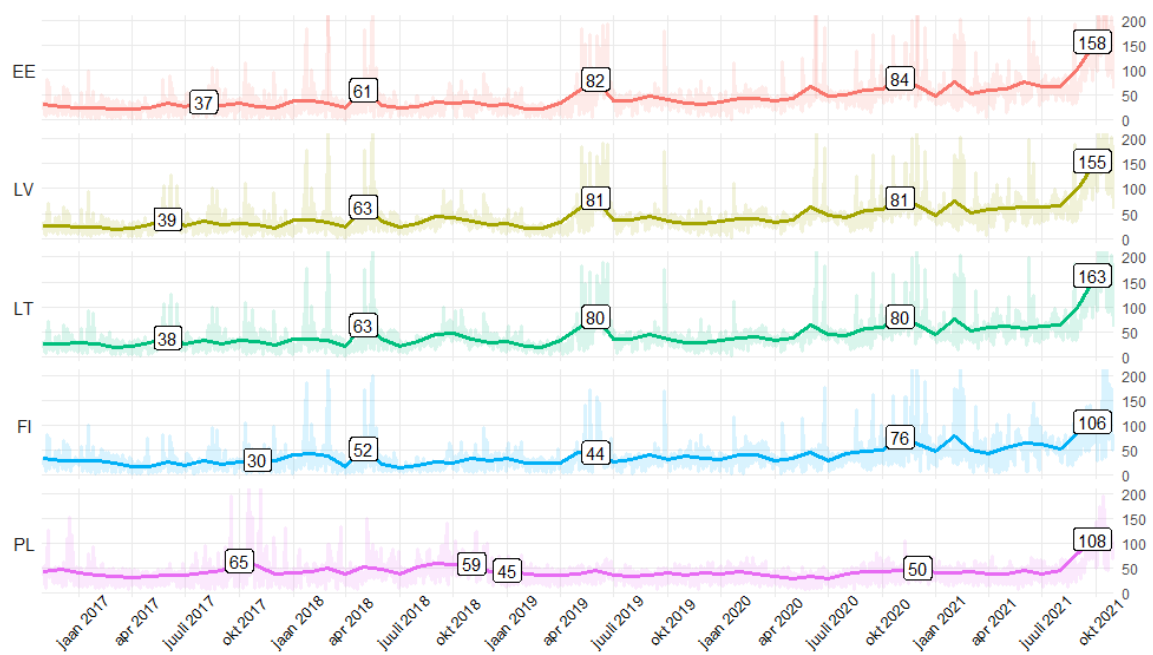
Selliseid hindade hüppeid iseloomustatakse elektri hindade volatiilsusega. Volatiilsuse ulatus ja püsivus ning hüpete suurus ja intensiivsus on elektriturudel väga erinev [27]. Kui elektriturul on kõrge volatiilsus, ei pruugi see tähendada seda, et turg oleks ebastabiilne. Regulaarne, kuid kõrge hindade volatiilsus võib tähendada ka seda, et see ongi teatud sorti turu stabiilsus, mida saaksid seejärel hallata ka selle konkreetse turu erinevad osanikud. Riskide vältimiseks ja äri võimaluste väljaselgitamiseks pööravad aktsionärid tavaliselt rohkem tähelepanu elektrienergia hinna äärmustele, mis võivad nende otsuseid oluliselt mõjutada. [28]

### 4.1 Elektri hindade volatiilsuse muutus ajas

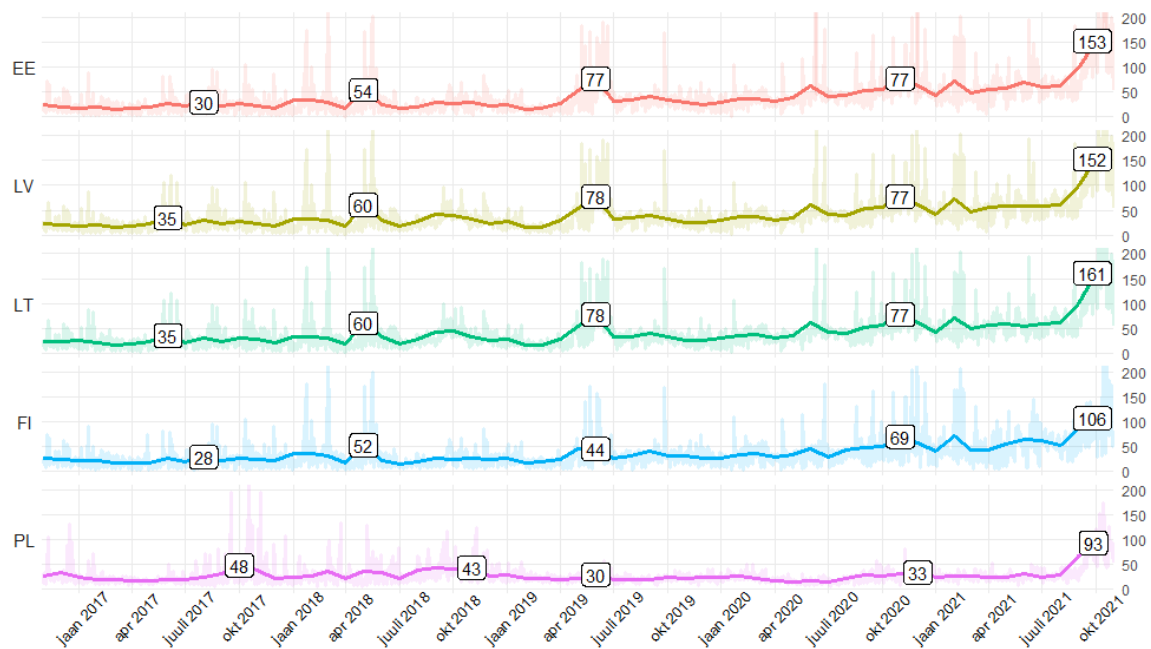
Järgnevalt on töö autor analüüsinud elektri hindade volatiilsuse muutusi viimase 5 aasta jooksul uuritavates riikides. Volatiilsuse arvutamiseks on leitud päevase maksimaalse ja minimaalse elektri hinna vahe, millele on eelnevalt liidetud võrgutasud. Saadud tulemus iseloomustab elektri hindade päevast kõikumist. Lisaks saab päevaste volatiilsuse andmete põhjal leida ka keskmised kuised ja aastased tulemused.



Joonis 1. Madalpingel väketarbija elektrihindade volatiilsus viimase 5 aasta jooksul, €/MWh.



Joonis 2. Madalpingel suurtarbija elektrihindade volatiilsus viimase 5 aasta jooksul, €/MWh.



Joonis 3. Keskipingel suurtarbija elektrihindade volatiilsus viimase 5 aasta jooksul, €/MWh.

Joonistel 1, 2 ja 3 on näidatud erinevate kliendisegmentide keskmist kuist elektrihindade volatiilsust ning taustal päevaseid volatiilsusi. Need joonised on autori poolt genereeritud Nord Pool ja PSE elektrihindade andmetel [11], [15], millele on liidetud juurde eelmises peatükis käsitletud võrguettevõtete tasud. Kuna elektriturud on erinevates piirkondades oma ülesehituselt erinevad [29], on märgata sarnasusi Nord Pool Elspot elektrihindade volatiilsuste vahel. Seevastu on Poola elektri hinnad teistest riikidest märgatavalt erinevad. Madalpingel väiketarbija puhul on 2021.aasta oktoobris suurim volatiilsus Eestis, teiste kliendisegmentide puhul Leedus. Kõikide graafikute pealt on näha volatiilsuse suurt kasvu viimase 2021.aasta jooksul, mis soodustab salvestustehnoloogiate kasutust elektriturul. Lisaks on ka päevane volatiilsus, mida on kujutatud jooniste taustal heledama tooniga, väga suuri hüppeid hakanud tegema, mida võib iseloomustada ebastabiilsusega.

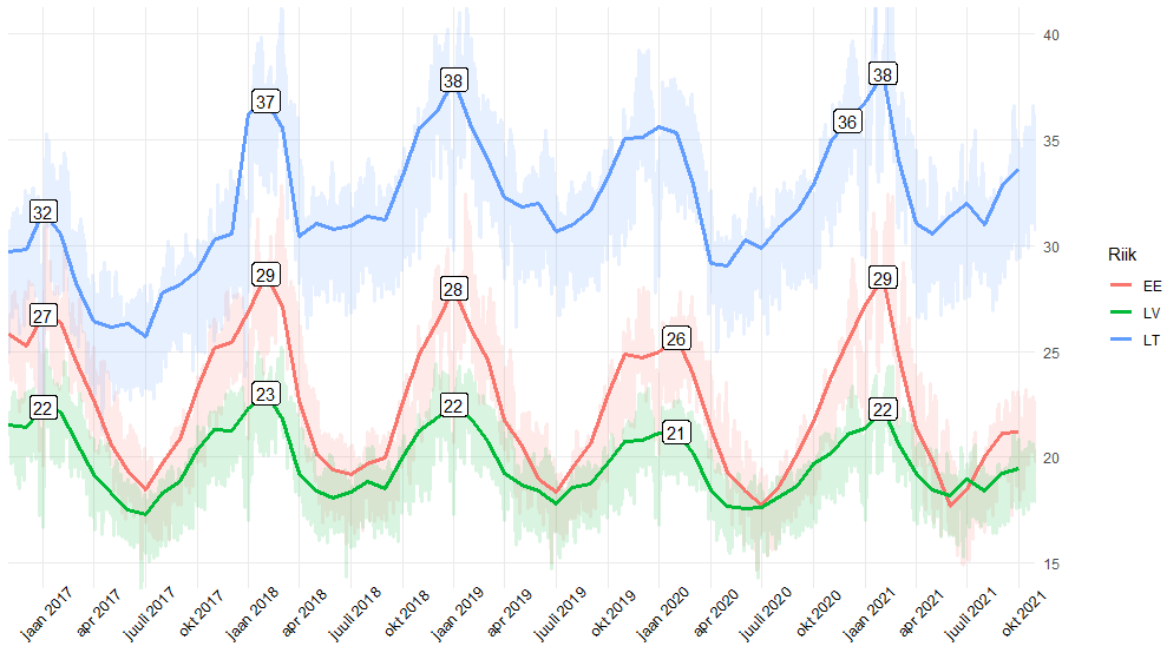
## **5 Elektrihindade volatiilsuse põhjused**

Elektrihinnad on teadaolevalt väga kõikumavad ja võivad sageli tõusta [30]. Kõrge elektrihindade kõikumine võib põhjustada elektrituru peatumist. Seega peavad reguleerivad asutused ja poliitikud säilitama piisava tootmisvõimsuse ja stabiilsete elektrihindadega reguleeritud elektrisektori või sekkuma tugevalt konkurentsivõimelisele elektriturule, et säilitada elektrihindade stabiilsust [31]. Elektriinna volatiilsus sõltub paljudest teguritest – kütusehinnad, kättesaadavus tootmisüksustes, taastuenergia tootmise maht ning võrkude ülekoormused [5]. Seega võib hindade hüpete põhjuseid otsida nii tarbimise, tootmise, energiaressursside koguste kui ka hindade muutustest [27], [32], [33]. Järgnevates alapeatükkides uurib autor, kuidas need elektrihindade volatiilsuse põhjused on viimase 5 aasta jooksul käitunud ning otsib seoseid elektrihindade vahel.

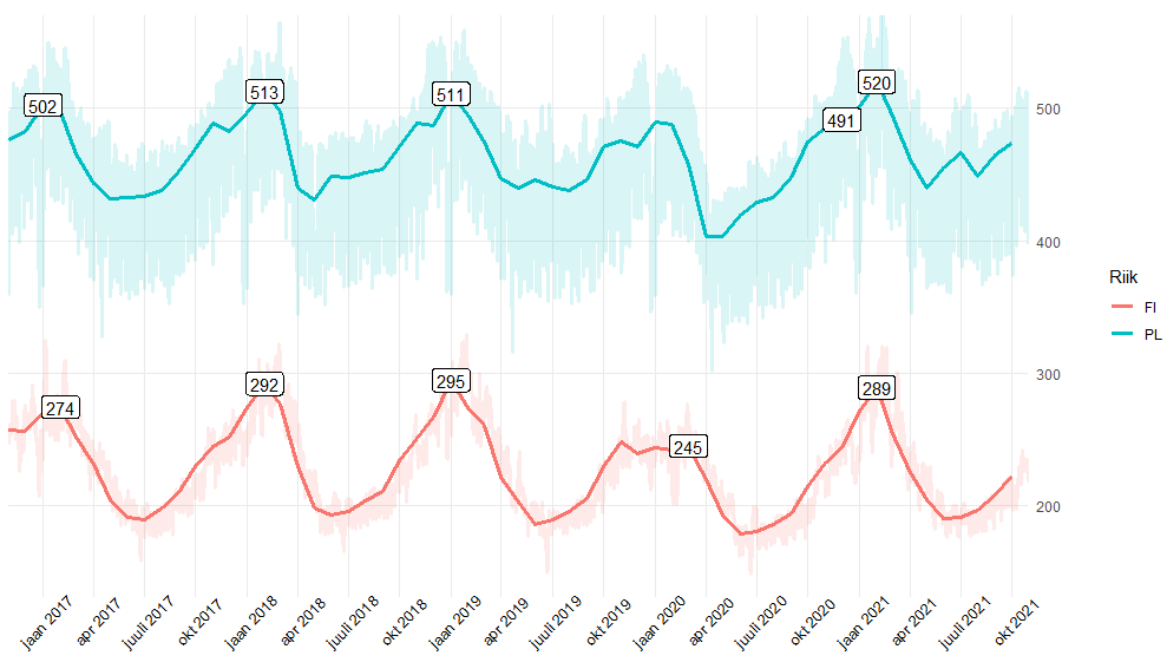
### **5.1 Elektri tarbimine**

Elekter on maailmamajanduse arengu, edu, turvalisuse ja tavapärase elustiili jaoks ülioluline faktor [8]. Elektrienergiat tarbitakse kõigis sektorites ja selle järgi on nõudlus suurem kui üldise energia vastu. Kasvav populatsioon, pidev surve paremate elutingimuste saavutamiseks ning laiaulatuslik industrialiseerimine arengumaades põhjustavad elektritarbimise kasvu [34]. Seetõttu sõltub riigi majanduskasv väga palju elektritarbimisest [35], [36].

Elektrihinnad sõltuvad pakkumise ja nõudluse muutustest. Kui nõudlus elektri järele suureneb, siis hinnad tõusevad ja vähenemise korral langevad. Seda põhjustab elektri salvestamatuse omadus [4], [37].



Joonis 4. Kuine keskmine elektritarbimine viimase 5 aasta jooksul Balti riikides, GWh/päev.



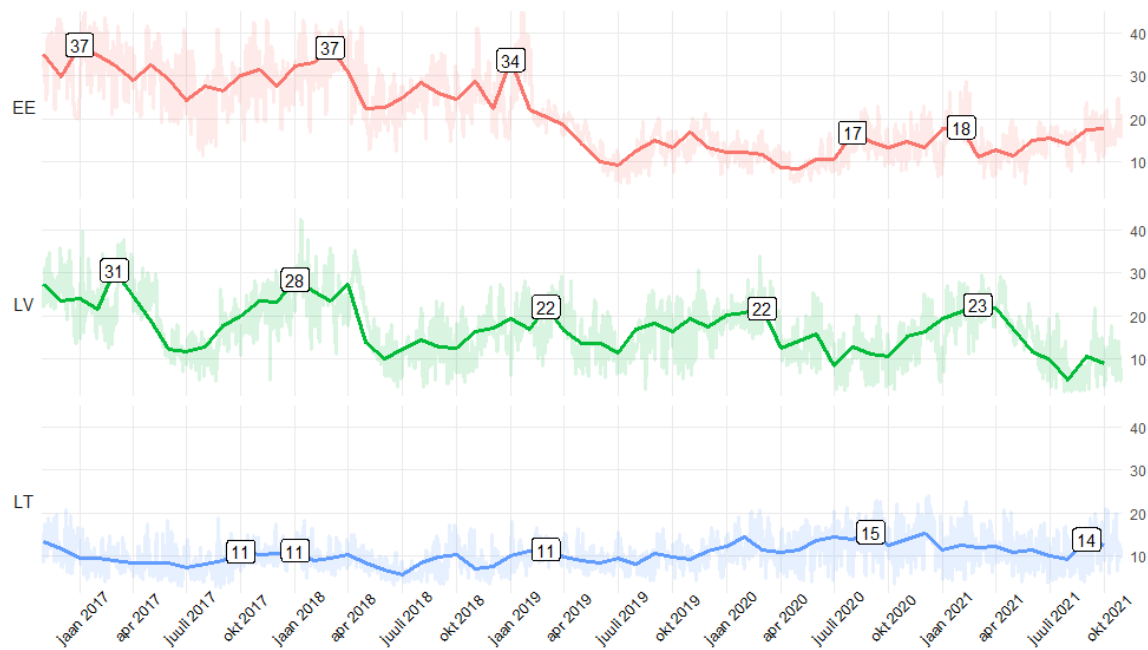
Joonis 5. Kuine keskmine elektritarbimine viimase 5 aasta jooksul Soomes ja Poolas, GWh/päev.

Joonistel 4 ja 5 iseloomustatakse kuist ning taustal päevast elektritarbimist uuritavates riikides viimase 5 aasta jooksul. Joonised on autori poolt genereeritud Nord Pool ja ENTSO-E andmete põhjal [11], [14]. Elektritarbimine on olnud viimastel aastatel pigem

muutumatu. Ainult Leedu puhul on märgata 4 aasta jooksul 15% tõusu, 2017.aasta jaanuaris oli keskmine tarbimine 32 GWh/päevas ja 2021.aasta jaanuaris 37 GWh/päevas. Kõikide riikide puhul on märgata tarbimises perioodilisust – suviti on tarbimine madalam ja talviti kõrgem. Lisaks on talvisel pühade ajal näha tarbimise langust. Kuid viimase 2021.aasta jooksul sellist tõusu tarbimises ei esine, mis võiks põhjendada elektrihindade volatiilsuse kasvu.

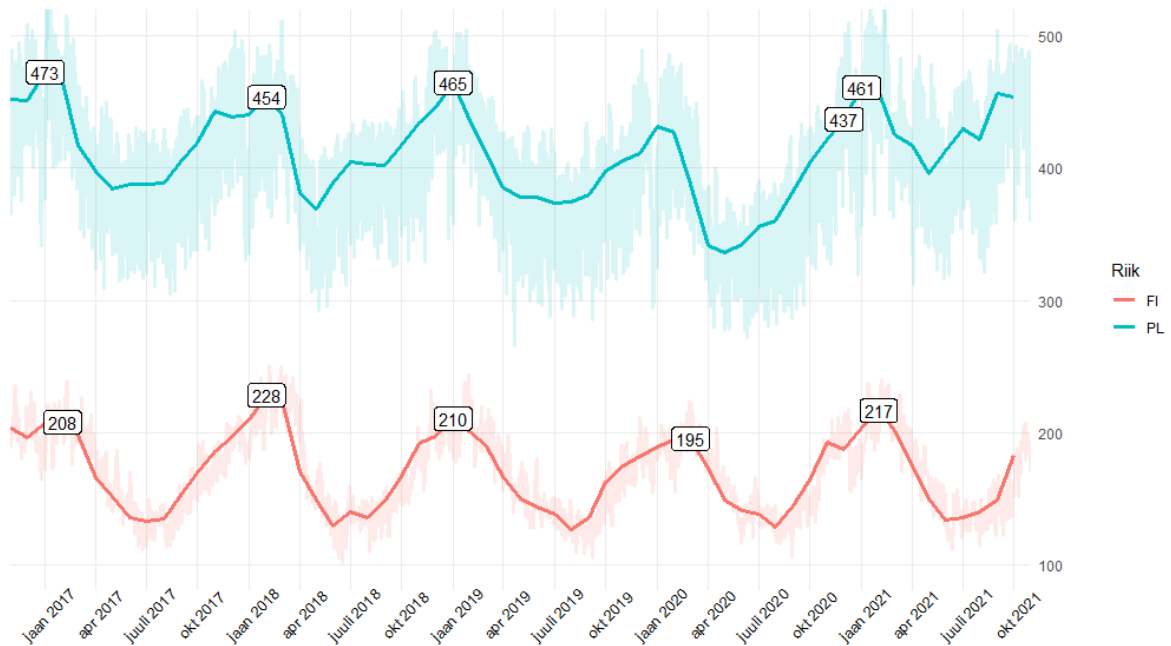
## 5.2 Elektri tootmine

Elektri tarbimiseks on vaja seda toota. Tootmismahut ei pruugi vastata tarbimismahule ja see omakorda mõjutab elektrihindu. Kui energiavarustus suureneb, kalduvad hinnad langema ja puuduse korral tõusma. [4]



Joonis 6. Kuine keskmine elektri kogutoodang viimase 5 aasta jooksul Balti riikides, GWh/päev.





Joonis 7. Kuine keskmine elektri kogutoodang viimase 5 aasta jooksul Soomes ja Poolas, GWh/päev.

Tarbimise andmed on saadaval ENTSO-E lehel [14] uuritavate riikide jaoks ning nende põhjal on autor genereerinud joonised 6 ja 7. Jooniselt 6 on näha Eestis ja Lätis toodangu langemist. 2016.aasta oktoobris oli Eestis keskmine toodang 33 GWh/päevas ja Lätis 17 GWh/päevas ning 2021.aasta oktoobris vastavalt 18 GWh/päevas ja 9 GWh/päevas, mis tähendab mõlema riigi jaoks peaaegu 50% langust. Eelnevalt aga nägime, et tarbimine on mõlemas riigis jäänud muutumatuks (Joonis 4), seega võib tootmismahu langus põhjustada elektrihindade kasvu antud riikides. Leedus seevastu on toodang tõusnud ligikaudu 20%. 2017. aasta jaanuaris oli keskmine elektritoodang 9 GWh/päevas ja 2021.aasta jaanuaris 11 GWh/päevas. Sellel ajavahemikul tõusis Leedus tarbimine vaid 15%, mis peaks põhjustama elektrihindade langust. Sellegipoolest jäävad Balti riikides tootmiskogused tunduvalt alla tarbimismahtudele ning enamus elektrist tuleb importida. Seetõttu ei väljendu antud analüüsi tulemused nende hindade volatiilsuses. Jooniselt 7 näeme, et Soomes ja Poolas on kogutoodang enamasti sama. Nagu elektri tarbimisel (Joonis 5), esineb ka siin nende riikide puhul perioodilisust, kus talvel (v.a. pühade ajal) on tootmine suurenenud. Küll aga on käesoleva 2021.aasta suvel näha Soome puhul kõrgemat tootmist, mis erineb tavapärasest. Selle mõju elektrihindadele on peegeldunud volatiilsuse väikeses vähenemises. Lisaks on Soome ainuke riik uuritavatest, mille

tootmiskaht on suurem kui tarbimiskaht. Seetõttu on seal hindade volatiilsus suhteliselt madal, kuna saavad elektrit eksportida ja teenida tulu (Joonised 1, 2 ja 3).

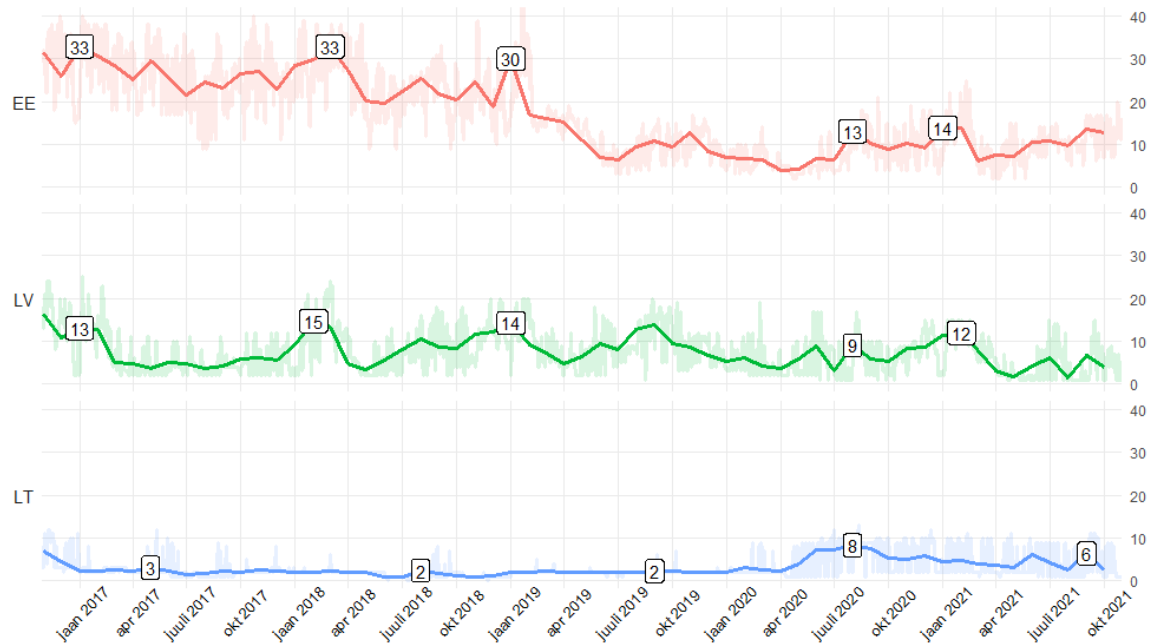
### 5.2.1 Mittetaastuenergia

Fossiilkütused, tuumaenergia ja taastuvad ressursid on kolm peamist energiaallikat [38]. Praegu toodetakse suurem osa elektritootmisest (~75%) fossiilkütustel põhinevatel generaatoritel nagu gaas ja mikroturbiinid [39]. Kuna fossiilkütustel põhinevad elektrijaamad on tootmises paindlikud, on nende kasutus varustuskindluse tagamiseks hädavajalik [40]. Siiski on tulevikus oodata fossiilkütuste puudujääki, mis on tingitud nende loomuliku varu vähenemisest [41]. Mittetaastuenergia suure kasutuse tõttu tootmises, on oluline uurida selle mõjusid elektrihindade volatiilsusele. [42]

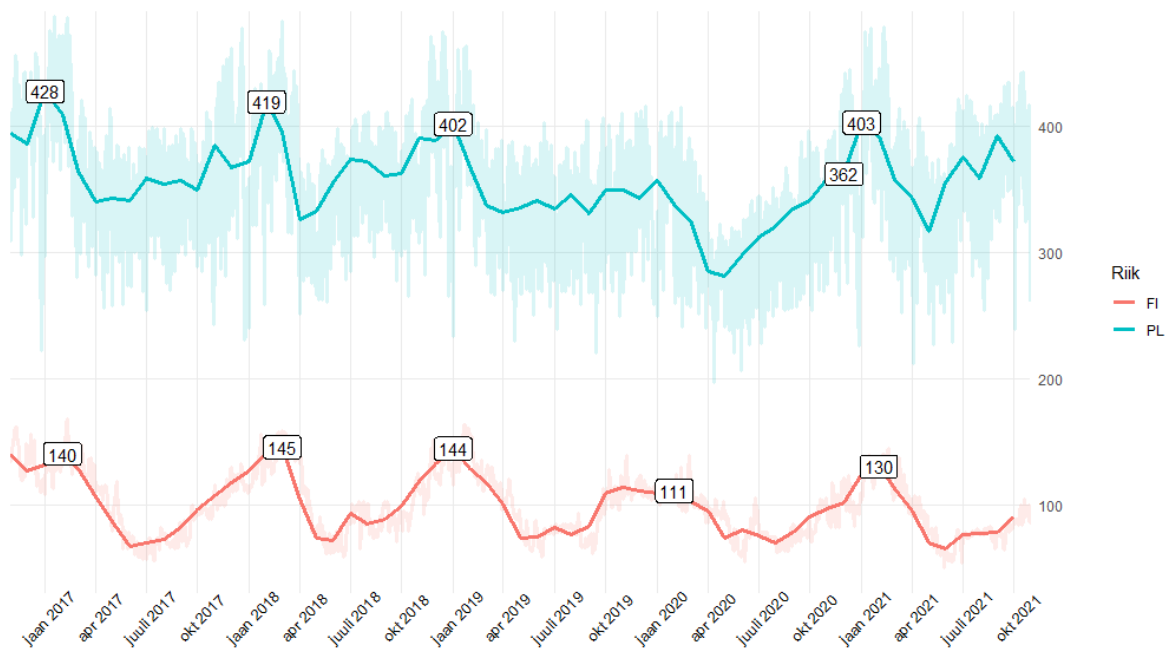
ENTSO-E kajastab elektritoodangut liigiti [14], millest mittetaastuenergia osa moodustavad:

- Pruunsüsi ehk ligniit
- Kivisõegaas
- Kivisüsi
- Fossiilne õli
- Põlevkivi
- Turvas (kuigi taastuv ressurss, siis kasv on aeglane ja elektritootmisel paiskab süsihappegaasi õhku; üldiselt liigitatakse mittetaastuva alla)
- Tuumaenergia
- Jäätmed
- Muu mittetaastuenergia

Nende tootmisandmete põhjal on töö autor koostanud joonised analüüsimaiks mittetaastuenergia toodangut.



Joonis 8. Mittetaastuvenergia kuine keskmine kogutoodang Balti riikides viimase 5 aasta jooksul, GWh/päev.



Joonis 9. Mittetaastuvenergia kuine keskmine kogutoodang Soomes ja Poolas viimase 5 aasta jooksul, GWh/päev.

Jooniselt 8 osutub, et Eestis ja Lätis on mittetaastuva energia tootmine vähenenud ning Leedus tõusnud. Eestis on langus vägagi märgatav, kui 2017.aasta jaanuari keskmine mittetaastuvenergia tootmiskaht oli 33 GWh/päevas, siis käesoleva 2021.aasta jaanuaris

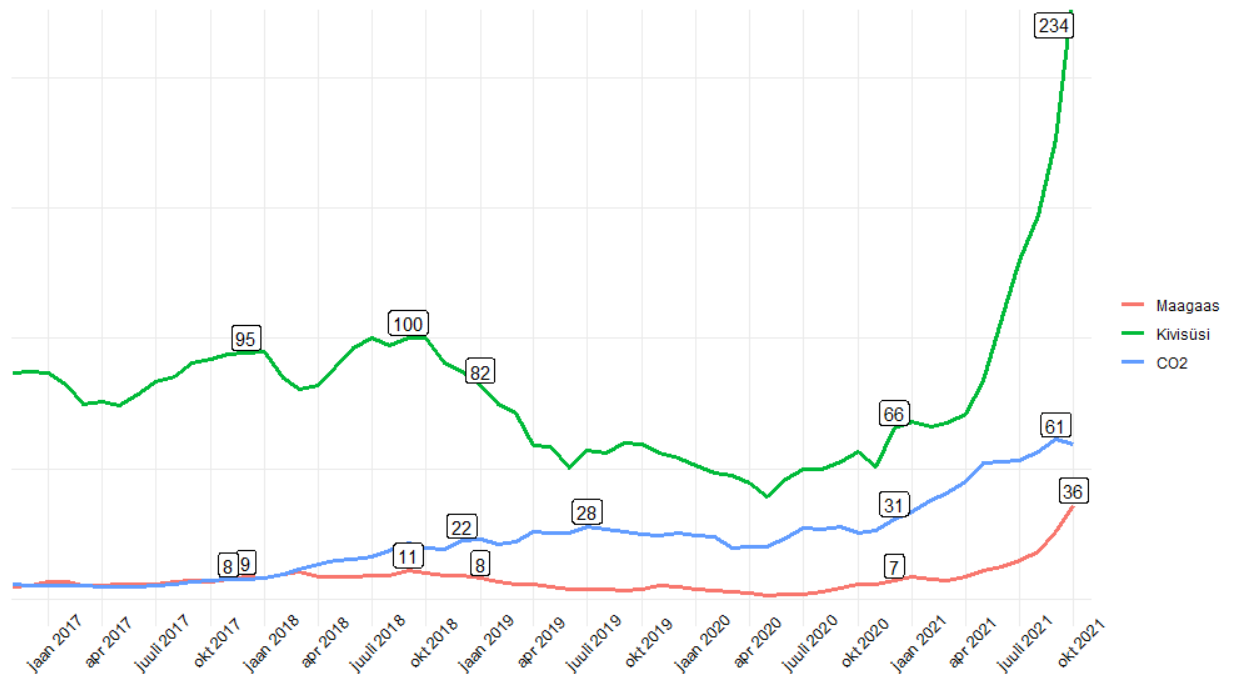
oli see 14 GWh/päevas. Leedus on mittetaastuenergia tootmine igapäevaselt väga palju varieeruma hakanud, kuid keskmine tõus on olnud pea kahekordne. Jooniselt 9 märkame, et ka Soomes ja Poolas on mittetaastuva energia tootmine vähenenud, kuid muutus on olnud väike.

Igapäevase maksimaalse ja minimaalse elektriinna vahe sõltub paljudest teguritest, sealjuures mängivad rolli ka fossiilsete kütuste hinnad [33]. Fossiilsete kütuste kasutamine energiaallikana paiskab õhku süsihappegaasi ja muid ühendeid [43]. Kuna see on keskkonnale kahjulik, tuleb uuritavates riikides maksta iga õhku paisatud CO<sub>2</sub> tonni eest tööstustel tasu. Lisaks plaanitakse Euroopa Liidus (EL) 2026.aastast nõuda tasu ka importijatelt ja ELi välistelt tootjatelt nende ELis müüdavate kaupade ja materjalidega seotud süsinikdioksiidi heitkoguste eest [44]. Edasi on töö autor analüüsinud süsihappegaasi emissiooni ja selle ning enimkasutatavate fossiilsete energiaressursside, mille kasutusel tootmises eraldub samuti süsihappegaasi, hindade muutust, et leida seoseid elektrihindade volatiilsusega.

Tabel 4. CO<sub>2</sub> emissioon energiatööstuses, kilotonnides (kt).

	<b>Eesti</b>	<b>Läti</b>	<b>Leedu</b>	<b>Soome</b>	<b>Poola</b>
<b>2016</b>	13 480	1 822	3 149	18 970	167 382
<b>2019</b>	8 166	1 783	2 453	16 012	154 256

Tabelis 4 on kujutatud kõige hilisemaid 2019. ja võrdluseks ka 2016.aasta CO<sub>2</sub> emissiooni koguste andmeid [45]. Kuna Eesti on märgatavalt vähendanud oma mittetaastuenergia tootmishulka, siis on ka süsihappegaasi emissioon riigis alates 2016.aastast palju langenud. Kõik uuritavad riigid liiguvad süsinikuneutraalsuse suunas ja vähendavad heitgaaside paiskamist õhku. Tabelis 4 toodud andmete põhjal on antud eesmärki kõige keerulisem saavutada Poolal ning kõige lihtsam Lätil. Eestis on võrreldes teiste Balti riikidega süsihappegaasi emissioon suurim, mis ilmselt on põhjendatud sellega, et Eesti toodab elektrit ise enim võrreldes nende riikidega.



Joonis 10. Fossiilsete energiaressursside hindade muutus viimase 5 aasta jooksul, €/tonn ja €/MMBtu.

Fossiilsete energiaressursside hindade andmete põhjal [46]–[50] on töö autor koostanud joonise 10. Viimase aasta jooksul on teinud kõik joonisel nähtavad ressursid mitmekordse hinnatõusu. Mittetaastuva energia kasutamine on läinud aina kallimaks, millel on mõju ka elektrihindadele. Fossiilsete energiaressursside hindu mõjutab majandus ja poliitika. Venemaa, kes on ELi peamine maagaasi tarnija, on tagasi hoidnud tarnete suurenemist läände, hoides hindu kõrgel [51]. Sõe hinda tõstavad mitmed tegurid, sealhulgas tarneahela häired, kasvav pandeemiajärgne nõudlus ja kõrged maagaasihinnad [52].

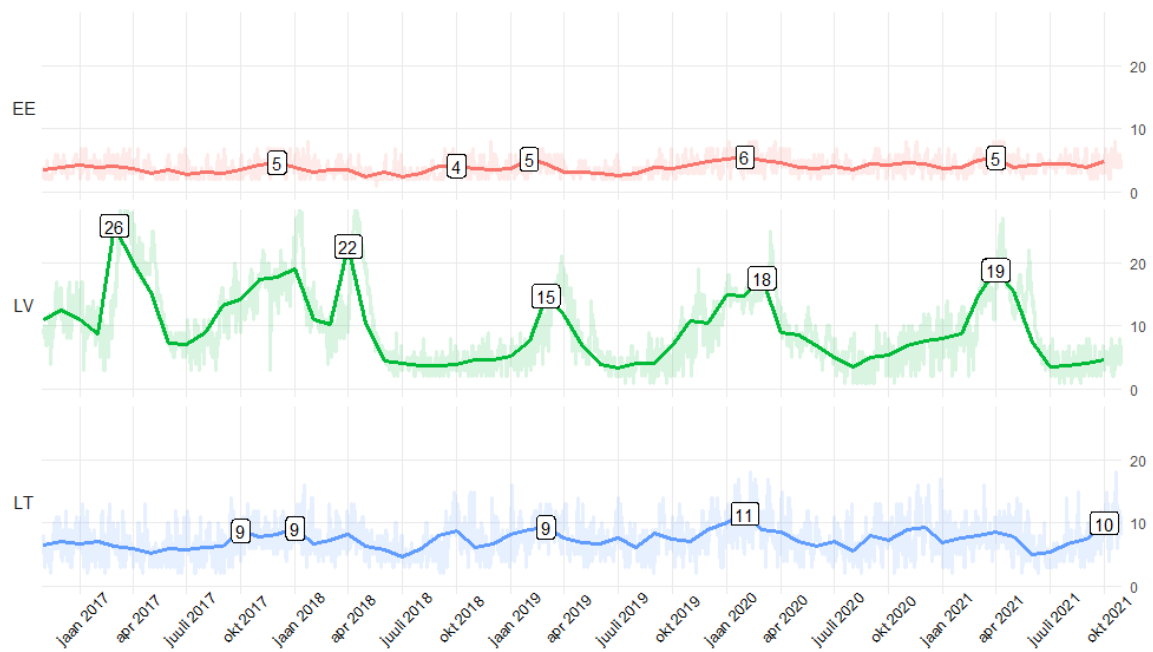
### 5.2.2 Taastuvenergia

Taastuvad energiaallikad aitavad leevendada kliimamuutusi ja mitmekesistada energiaallikaid, suurendada energiavarustuse kindlust ja lahutada majanduskasv kasvavast energianõudlusest. Taastuvate energiaallikate kasutamisel on aga suur mõju elektrisüsteemidele, millega need on integreeritud. See seab elektriturude majandusele ja toimimisele oma katkendliku olemuse tõttu väljakutse. Kuigi mittetaastuvenergia leiab suuremat kasutust, on taastuvenergia hulk elektritootmises pidevas kasvus ja seetõttu on oluline uurida ka selle mõju elektrihindadele. [53]

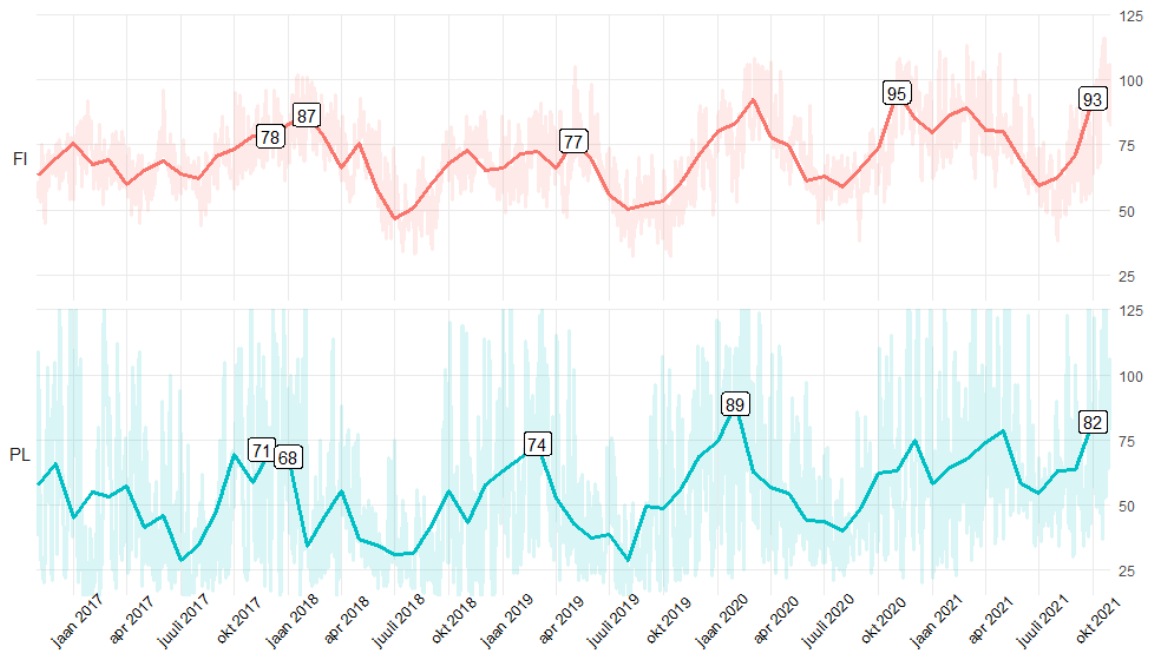
ENTSO-E kajastab elektri toodangut liigiti [14], millest taastuvenergia osa moodustavad:

- Biomass
- Geotermiline energia ehk maasoojusenergia
- Hüdroenergia (vesi)
- Mereenergia
- Päikeseenergia
- Tuuleenergia
- Muu taastuvenergia

Nende tootmisandmete põhjal on töö autor koostanud joonised analüüsima taastuvenergia toodangut ja mõju elektrihindade volatiilsusele.



Joonis 11. Taastuvenergia kuine keskmine kogutoodang Balti riikides viimase 5 aasta jooksul, GWh/päev.



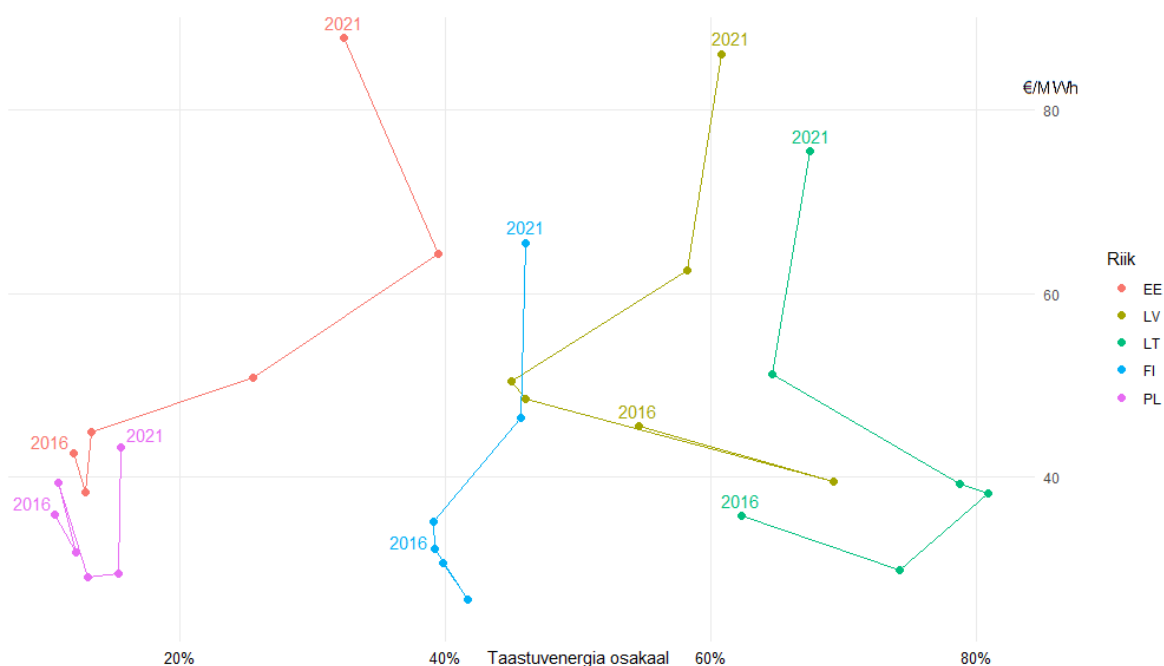
Joonis 12. Taastuvenergia kuine keskmine kogutoodang Soomes ja Poolas viimase 5 aasta jooksul, GWh/päev.

Jooniselt 11 on näha, et Eestis on taastuvenergia tootmise hulk olnud viimase 5 aasta jooksul pigem muutumatu, Lätis on veidi langenud ja Leedus veidi tõusnud. Läti tootmises on viimase 3 aasta jooksul näha ka perioodilisust, kus talvel kiputakse rohkem tootma. Jooniselt 12 saab täheldada vähest tõusu taastuvenergia tootmises ka Soomes ja Poolas. Poolas on toodangu kõikumine päeviti väga suur, mida täheldati ka mittetaastuvenergia tootmises (Joonis 9).

Taastuvad energiaallikad võivad mõjutada elektrihindade volatiilsust, vähendades hindu, kui nende toodang on suur [48]. Mõned taastuvenergia liigid, nagu hüdroenergia väga suurte reservuaaridega, võib mõjutada hinnavolatiilsust pikema aja jooksul, kasutades ära elektrihindade nädalaseid erinevusi, mis on tingitud väiksemast nõudlusest nädalavahetustel, mitte taastuvate energiaallikate kasutusest [55]. Tuul ja päike, mis enamasti toodavad energiat päevasel ajal, kui elektri hinnad on kallimad, võivad hinnavolatiilsust vähendada. See näib olevat nii Saksamaal, kus päikeseenergia (PV) tipptoodangu aeg langeb kokku päevase tippnõudlusega ja surub hindu päeva jooksul alla, mille tulemuseks on madalamad tipp hinnad, mis praegu esinevad hommikul ja õhtul [56]. Suurbritannia tipp hinnad tekivad õhtuti ja nii võib PV hoopis päevast hinnavolatiilsust suurendada. Tuuleenergia ööpäevane muster on vähem süstemaatiline, kuid Saksamaal ja

Suurbritannias täheldatud penetratsioonid on praegu piisavad, et tekitada negatiivseid elektri hindu ja seega suurendada igapäevast hinnavolatiilsust. [57]

Edasi on töö autor analüüsinud, kas suur taastuvenergia osakaal tõstab elektri hindade volatiilsust ka uuritavates riikides. Analüüsi teostamiseks on leitud aastased keskmised elektri hindade volatiilsused ja taastuvenergia osakaalud kogutoodangust. Lihtsuse mõttes on kasutatud hinnavolatiilsusi madalpingel väiketarbija segmendi kohta.



Joonis 13. Kogutoodangust taastuvenergia osakaalu mõju elektri hindade volatiilsusele, €/MWh.

Joonisel 13 on kujutatud taastuvenergia osakaalu ja elektri hindade volatiilsuse omavahelist suhet. Kõikides uuritavates riikides on keskmine volatiilsus tõusnud ja saavutanud maksimumi viimasel 2021.aastal. Eesti puhul hakkab silma, et taastuvenergia osakaal on tõusnud palju ja see võib olla mõjutanud ka elektri hindu. Läti ja Leedu puhul on taastuvenergia osakaal väga suure varieeruvusega. Selline ebastabiilsus võib samuti mõjutada elektri hindu ja tõsta nende volatiilsust. Soomes on keskmine hinnavolatiilsus kasvanud palju, kuid kuna taastuvenergia osakaal on muutunud vähe, on see seos väike. Poolas on nii volatiilsus kui ka taastuvenergia osakaal tõusnud vähe, seega on antud riigis seos nende muutujate vahel olemas.



### 5.2.3 Elektrienergia tootmise tulevik

Euroopa Liit on seadnud eesmärgiks saavutada 2050. aastaks kliimaneutraalsus, mida peavad täitma kõik liikmesriigid. Kliimaneutraalsus tähendab, et riik ei tohi oma tegevusega atmosfääri paisata rohkem kasvuhoonegaase kui suudab siduda [58]. Märkimisväärne osa süsinikuheidetest tuleb elektrisüsteemidest. Energia tootmine ja kasutamine moodustavad 79% ELi kasvuhoonegaaside heitkogustest, millest kõige suurema osa tekitavad energiavarustuse ja transpordi valdkond. Selle muutmiseks tuleb taastuvate energiaallikate osakaalu energiatarbimises suurendada. Samas peab energia olema tarbijatele ja ettevõtjatele kindel ja taskukohane. [59]

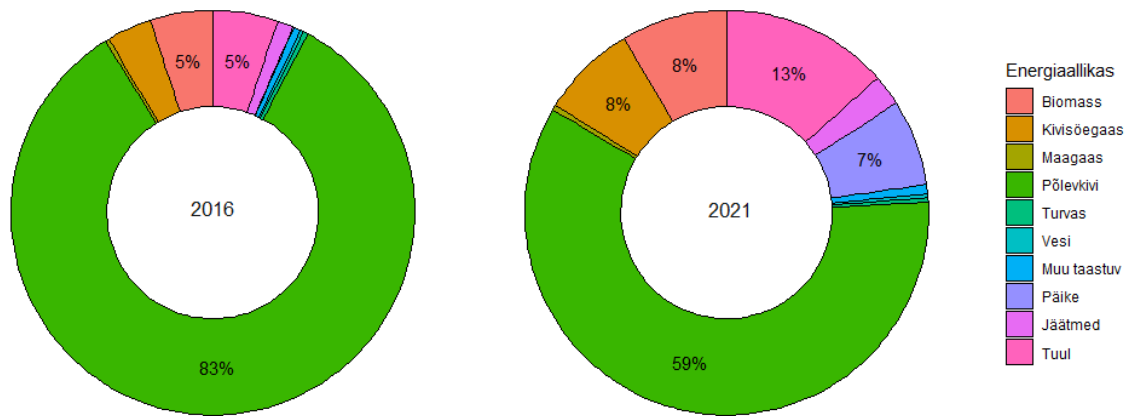
Järgnevalt on töö autor analüüsinud taastuvenergia osakaalu muutusi tootmises ning millised on peamised elektrienergia ressursid uuritavates riikides, et hinnata riikide võimet kliimaneutraalsuse saavutamiseks ja millised ressursid peamiselt mõjutavad seal elektri hindu. [14]

Tabel 5. Taastuvenergia osakaal kogutoodangust, %.

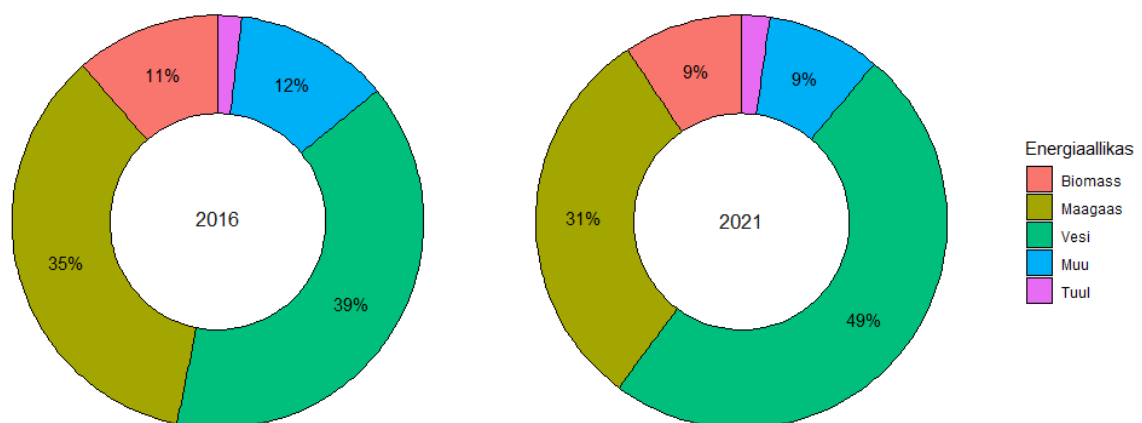
	<b>2016. oktoober</b>	<b>2020. oktoober</b>	<b>2021. oktoober</b>
<b>Eesti</b>	10%	33%	28%
<b>Läti</b>	32%	50%	53%
<b>Leedu</b>	77%	59%	80%
<b>Soome</b>	33%	45%	51%
<b>Poola</b>	12%	15%	18%

Tabelist 5 näeme, et viimase 5 aasta võrdluses on kõikides uuritavates riikides taastuvenergia tootmine suurenenud. Viimase aasta jooksul on see vähenenud vaid Eestis. Väga kõrgel tasemel on taastuvenergia tootmine Leedus, kus põhilisteks energiaallikateks on tuul, vesi ja biomass (Joonis 16). Kui tuule- ja päikeseenergia sõltuvad ilmast ja on seetõttu ebastabiilsed energiaallikad, siis veest ja biomassist saab energiat toota vastavalt vajadusele. Fossiilsetest kütustest on seal enim kasutusel maagaas, mille osakaal on viimase 5 aasta jooksul 2% suurenenud. Lätis toodetakse enamus taastuvenergiat samuti veest ja ka seal on suurim osakaal fossiilsetest kütustest maagaasil (Joonis 15). Soome on kolmas riik uuritavatest, mille taastuvenergia osakaal on suurim. Ka seal on põhiliseks taastuvenergiaallikaks vesi, kuid fossiilseid kütuseid kasutatakse seal elektri allikana tunduvalt vähem (Joonis 17). Soomes toodetakse enamus elektrist tuumajaamadest, mille

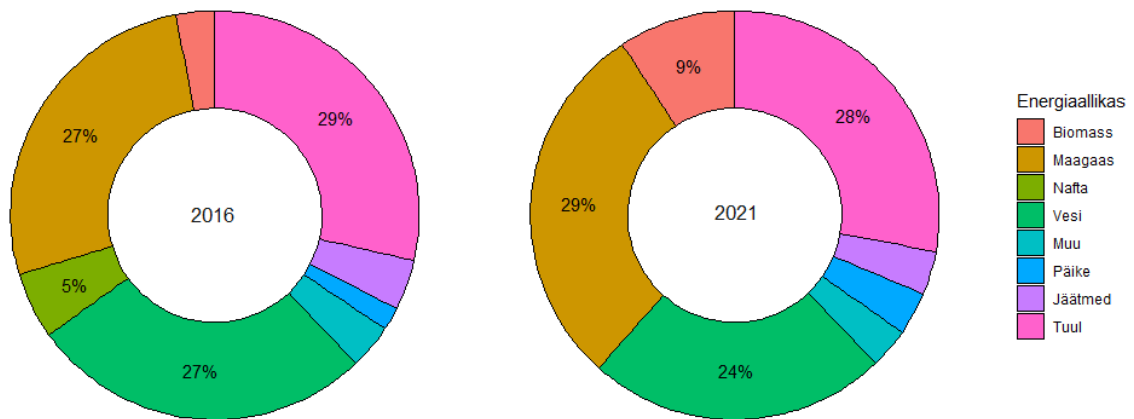
tulemusel õhku süsihappegaasi ei paisata [60]. Eelviimasel kohal on Eesti, kus suurimaks taastuvenergiaallikaks on tuul (Joonis 14). Poolas on taastuvenergiat kõige vähem, seal endiselt domineerib tootmises kivisüsi (Joonis 18).



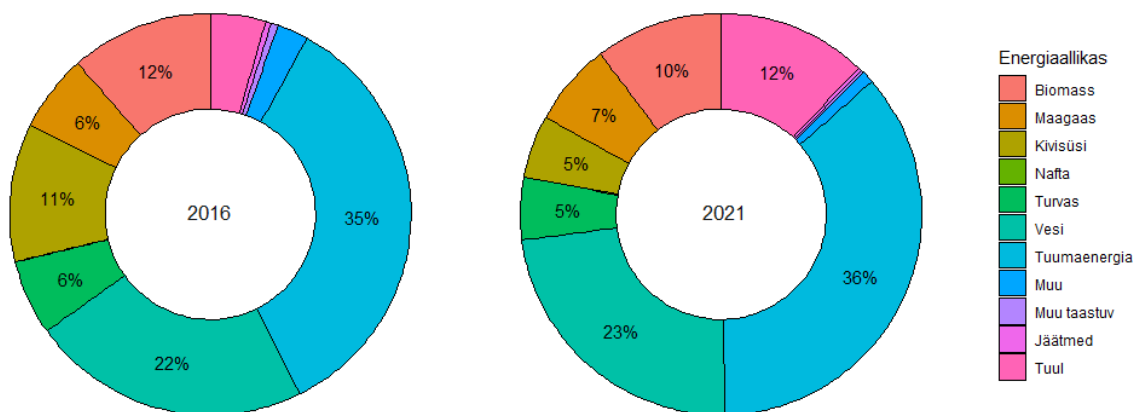
Joonis 14. Elektritootmine liigiti Eestis 2016. ja 2021.aastal, %.



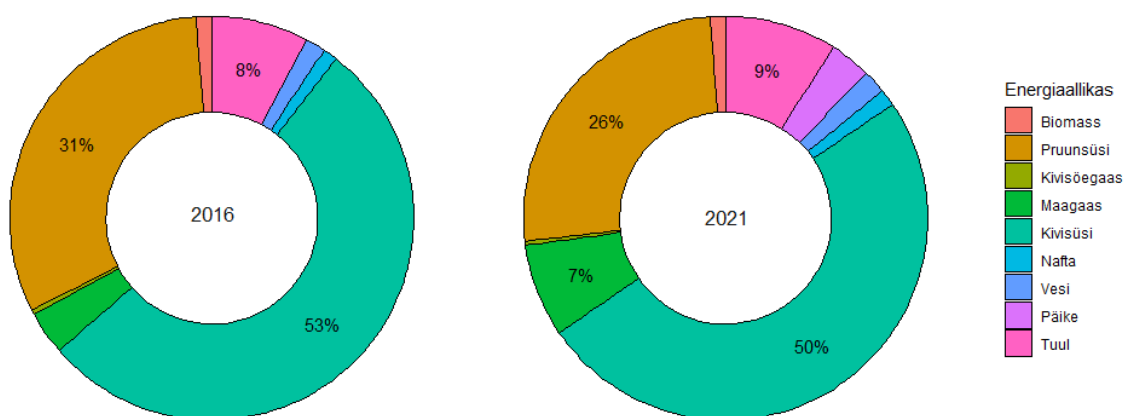
Joonis 15. Elektritootmine liigiti Lätis 2016. ja 2021.aastal, %.



Joonis 16. Elektritootmine liigiti Leedus 2016. ja 2021.aastal, %.



Joonis 17. Elektritootmine liigiti Soomes 2016. ja 2021.aastal, %.



Joonis 18. Elektritootmine liigiti Poolas 2016. ja 2021.aastal, %.

Kuna Lätis ja Leedus on suurimaks elektriallikaks maagaas, mille hind on viimase aasta jooksul mitmekordistunud, on see ilmselt suurimaks põhjuseks elektrihindade kasvule nendes riikides (Joonised 15 ja 16). Kuna neis riikides on taastuenergia osakaal suurim, võib see põhjendada ka suurt elektrihindade volatiilsust (Tabel 5). Poola toodab enamuse elektrist kivisöest, mille hind on samuti mitmekordistunud (Joonis 18). Kuid, kuna Poolas on taastuenergia osakaal väga madal, võiksid seal 2021.aasta lõpus olla kõrged, kuid madala volatiilsusega elektri hinnad. Eestis on suurimaks elektrienergia allikaks põlevkivi, millest energia tootmisel paiskub õhku süsihappegaasi, mis omakorda tõstab elektri hindu (Joonis 14). Kuna taastuenergiat toodetakse seal enim tuulest, mis on ebastabiilne, põhjustab see hindade kõrget volatiilsust. Teisest küljest, kuna taastuenergia osakaal on Eestis suhteliselt madal, ei tohiks sealne hindade volatiilsus sarnaneda Läti ja Leedu omale. Soome on uuritavatest ainuke riik, mis suudab oma tarbimisvajaduse tootmisega ise katta ilmselt tänu suurele tuumajaamade kasutusele (Joonis 17). See võimaldab toota elektrit vastavalt vajadusele ja seega ei tõsta elektri hindade volatiilsust.

### 5.3 Järeldused

Volatiilsus kujutab endast negatiivset välismõju, mille on põhjustanud teatud turuosalised, kuid mis mõjutab kõiki osalejaid. Taastuvate energiaallikate mõju elektri hindadele valmistab suuri probleeme energiaturu osalistele, nagu näiteks riskijuhtidele, kellel peab olema selge arusaam hinnadünaamikast. Lisaks peavad ka poliitikakujundajad kohandama turgu uute väljakutsete alusel, et parandada turu tõhusust ja seeläbi sotsiaalset heaolu. [53]

Eelnevates alapeatükkides analüüsiti erinevaid elektri hindade suure volatiilsuse põhjustajaid ning ajalooliste andmete põhjal üritati leida seoseid nende põhjuste ja volatiilsuse vahel. Antud seoseid oli keeruline leida, kohati oli sarnasusi märgata, kuid esines ka vastuolusid. Uuritud põhjused ei olnud ainsad, mis hindu mõjutavad ning elektril on veel mitu omadust, mis muudavad selle ainulaadseks ja hindade prognoosimise keeruliseks. Nendeks omadusteks on:

- Salvetusvõime puudumine – tulemuseks on kõrge hinnavolatiilsus, kuna elektritoodangut on vaja kohe tarbida.

- Painumatu nõudlus – osad kliendid maksavad elektri eest fikseeritud hinda, mistõttu tarbimise aeg ei mängi nende jaoks rolli; lisaks kliendid ei huvitu lühiajalistest muutustest elektrihindades, et muuta oma tarbimisharjumusi vastavalt sellele.
- Piiravad transpordivõrgud – elektrivarustust teatud piirkondades piirab põhivõrk, mis tähendab, et välistarnijad ei suuda sageli hinnasignaale reageerida, isegi kui neil on vaba tootmisvõimsust.
- Pakkumiste kõver – tootmisjaamad toodavad elektrit ühtlaselt, kuid maksimaalsele tootmisvõimsusele lähenedes, muutub toodang kõikuvaks. Koos painumatu nõudlusega põhjustab see suurt hinnavolatiilsust ka väikeste nõudluse muutuste korral.
- Sõltuvus ilmast – ekstreemne ilm põhjustab sageli äärmuslikku toodangut. Kuna igapäevane ilm on tugevas korrelatsioonis, on äärmuslik toodang ja äärmuslikud hinnad positiivses korrelatsioonis. Sõltuvus ilmast tähendab ka raskusi prognooside tegemisel. [61]

Kõiki neid analüüsitud elektri negatiivseid omadusi saab leevendada salvestustehnoloogiatega. Järgnevas peatükis keskendutakse nende rollile elektriturul.

## 6 Salvestustehnoloogiad ja *spreadi* leidmise algoritmi

### kirjeldus

Elektrisalvestustehnoloogiaid saab kasutada paljudes rakendustes, mis hõlmavad kogu elektrivarustusahelat [62]. Salvestustel on paindlikkus tegutseda energiaturul, kus kaubeldakse energiaga, et saada kasu arbitraazist, ja abiturgudel, pakkudes reservi-, toitekvaliteedi- ja töökindlusteenuseid. Arbitraaz tähendab turul madala hinnaga elektri ostmist ja kõrge hinnaga müümist, mistõttu on eelnevates peatükkides volatiilsuse analüüs andnud hinnangu, kui palju kasu on võimalik teenida. Salvestust saab integreerida ka olemasoleva infrastruktuuriga: generaatorid, nagu tuulepargid (et vähendada tasakaalustamiskulusid, tarnida ajas nihkega või juhtida piiranguid); nõudluskeskused (võrguteenuse tasude vähendamiseks, näiteks triaadi vältimine); või võrgud (edastus- ja jaotussüsteemide kulukate uuenduste edasilükkamine). [57]

Taastuenergiat levib aina rohkem tänu suurenenud õhusaastele, millest enamik on keskkonnale pöördumatu. Kuid taastuenergia tehnoloogiate levik põhjustab suuri probleeme võrgu stabiilsusele. Kuna taastuenergia tehnoloogiate tootmine on kõikuv, siis on salvestamine oluline energia ja pinge tasandamiseks. Lisaks on see oluline ka energiahalduse, sageduse reguleerimise, tippkoormuse alandamise, hooajalise salvestamise ja rikke ajal ooterežiimi genereerimise jaoks. Seega on salvestustehnoloogiad pälvinud suurenenud tähelepanu ja muutunud tänapäeval enam kui hädavajalikuks. [63]

Salvestustehnoloogiate alla kuuluvad näiteks pumphüdrosalvestamine, erinevat tüüpi akud, vesiniku säilitamine, suruõhk, soojussalvestid ja erinevad gaasihoidlad. ELis on pumphüdrosalvestamine kõige levinum elektri salvestamise tehnoloogia, mis moodustab paigaldatud salvestusmahust 88% [59]. Seda kasutatakse nii päevase kui hooajalise salvestamise jaoks. Uute suurte pumphüdrosalvestuse rajatiste ehitamisega kaasnevateks probleemideks on geoloogilised piirangud, keskkonnasäästlikkus ja üldsuse heakskiit. Aku salvestab elektrienergiat keemilise energia kujul ja muundab selle elektrienergiaks. Akusid saab kasutada tundide ja päevade jooksul lühiajaliselt energia salvestamiseks, näiteks päevase tippkoormuse nihutamiseks. Akud ei saa aga salvestatud energiat nädalate või kuude kaupa ilma suuremate kadudeta säilitada. Kommertskasutuses on eri

liiki akusid, millest enim tähelepanu pälvivad liitium-ioon akud. Neid kasutatakse tavaliselt ka elektri- ja hübriidsõidukites. Taastuvatest energiaallikatest toodetud vesinikku võib kasutada ka autode ja muude sõidukite kütuseelementide energiaallikana. Neid sõidukeid saab tankida mõne minutiga. Vesinikku on võimalik muuta sünteetiliseks maagaasiks, mida võib kasutada ka lennukite ja laevade energiaallikana. Hetkel on probleemiks see, et vesiniku tootmine on kulukas. [64]

Käesolevas uurimistöös keskendutakse akudele, kuna neid kasutatakse lühiajaliselt energia salvestamiseks. Põhiliselt uuritakse liitium-ioon akusid tänu nende suurele energiatihedusele, madalale isetühjenemise omadusele, peaaegu nullmäluefektile, kõrgele avatud vooluahela pingele ja pikale elueale. [65]

## 6.1 Akude kasutus elektriturul

Kõige lihtsam viis akude kasutuseks igapäevaselt elektriturul, on aku täis laadida madala tarbimise ajal, millal on ka võrgutasud soodsamad. Tavaliselt on selleks ajaks öö. Seejärel müüa laetud elekter turule tagasi tipuhindadel, mis on tavaliselt hommikul ja õhtul. Hulgimüügituru kontekstis on olnud sellised päevasised volatiilsused üldiselt etteaimatavad ja piisavalt suured, et tagada regulaarne igapäevane kasum hinnaarbitraažilt. Taastuvenergia tootmistehnoloogiate pealetung on aga päevasisest hinnadünaamikat nii palju muutnud, et olenevalt ilmast on võimalike arbitraaživahede (*spreadide*) suurus ja ajastus päeviti märkimisväärselt erinev. Akude kasutus on seetõttu muutunud riskantsemaks ja sõltuvamaks täpsetest ilmastikust sõltuvatest tunnihinna prognoosidest. [66]

Akuoperaatoritel on palju põhjusi analüüsida elektrihindade *spread*e järgmise päeva turuhindade alusel. Energia hulgimüügi päev-ette oksjonid sulguvad tavaliselt enne keskpäeva ja määravad hinnad üheaegselt kogu 24 tunniks järgmisel päeval. See tähendab, et ostu ja müügi otsuseid on võimalik operatiivselt planeerida järgmiseks päevaks. Seega on igapäevaste aku tsüklite planeerimine ja kasumi päev-ette fikseerimine rahaliselt tõhus. Selleks peab kaupleja eelnevalt otsustama, millistel tundidel soovib ta elektrit osta ja müüa, mis nõuab täpset prognoosimist ja riskianalüüsi. [67]

## 6.2 Algoritm *spreadi* prognoosimiseks

Päev-ette elektrihindadega turul on võimalik aku täislaadimise ja tühjakslaadimise otsused teha eelneval päeval. E. Abramova ja D. Bunn on kirjeldanud meetodit, kus leitakse 276 päevasisest *spreadi* ja seejärel valitakse neist optimaalseim(ad). Nende meetod arvestab prognoosi tegemisel ka ilmastikuolusid. H. Mohsenian-Rad arvutab optimaalse aku ajakava California päeva-ette turu järgi ja Lucas dokumenteerib Londonis kaubandusliku aku tegelikku igapäevast töötüklit. Seetõttu on laialt levinud tõendeid selle kohta, et igapäevastel tsüklilistel toimingutel põhinev kasumi maksimeerimine, mille puhul kasutatakse *spreadide* jaoks päev-ette turuhindu, on oluliseks tuluallikaks. [67]–[69]

Antud uurimistöös on autor ise koostanud algoritmi, mis arvutab päevased elektrihinna vahed aku tsükli kohta (*spread*). Aku tsükkel sõltub aku *c-rate*'ist. Kui aku *c-rate* on 1, siis kulub akul täislaadimiseks 1 tund, kui see on 0,2, kulub akul täislaadimiseks 5 tundi. Elektrihindade vahe leidmiseks tsükli kohta tuleb arvesse võtta ka aku efektiivsus, mis on protsent aku mahust ja näitab, kui palju jääb elektrist alles aku tühjakslaadimisel. Nii aku *c-rate* kui ka efektiivsus on algoritmis muudetavad väärtused erinevate spetsifikatsioonidega akude hindamiseks.

Tegemist on heuristilise algoritmiga, mille eesmärgiks on leida päevane võimalikult maksimaalne *spread*. Selle saavutamiseks tuleb leida päevane/sed minimaalne/sed elektrihin(na)d, millal aku saaks täis laadida ja maksimaalne/sed elektrihin(na)d, millal aku saaks tühjaks laadida. Seejuures tuleb arvesse võtta, et iga päev peab täislaadimine toimuma enne tühjakslaadimist.

Algoritmile antakse sisendiks elektri hinnad, mis on pandud ühte ajatsooni, et ei oleks 23- ja 25-tunniseid päevi. Seejärel liidetakse elektrihindadele juurde võrgutasud ja reastatakse need kahanevasse järjekorda iga päeva kohta. Algoritm teeb läbi järgneva tsükli iga päeva kohta:

1. Esmalt valib algoritm esimese ja viimase elektri hinna (mis on vastavalt minimaalseim ja maksimaalseim) ning kontrollib hindadele vastavaid tunde. Kui esimese rea tund on võrdne maksimaalse tunniga päevas, võtab algoritm järgmise rea, vastasel juhul jääb selle rea juurde. Kui viimase rea tund on võrdne



minimaalse tunniga päevas, võtab algoritm eelneva rea, vastasel juhul jääb selle juurde. Need sammud on esmaseks kontrolliks, et aku täislaadimisele saaks järgneda tühjakslaadimine ning, et aku tühjakslaadimisele saaks eelneda täislaadimine.

2. Järgnevalt võrdleb algoritm valitud ridade tunde omavahel ning kui selle põhjal ilmneb, et täislaadimine toimub enne tühjakslaadimist, saab antud ridadele vastavad hinnad valida ja leida *spreadi*. Valitud read kustutatakse ja korratakse tsükli, kuni piisav arv hindu on valitud, mis on kahekordne pöördvõrdeline aku *c-rate*.
3. Kui aga täislaadimine ei toimu enne tühjakslaadimist, antud ridu ei valita. Sel juhul leiab algoritm uue esimese minimaalseima hinna täislaadimiseks, mis saaks toimuda enne eelnevalt valitud täislaadimist ning uue viimase maksimaalseima hinna tühjakslaadimiseks, mis saaks toimuda peale eelnevalt valitud tühjakslaadimist. Algoritm võrdleb uute ja vanade elektrihindade vahet ja leiab, kus on see suurim. Kui uus täislaadimise hind annab vana tühjakslaadimise hinnaga suurema kasumi, valib algoritm vanale täislaadimise reale järgneva rea ja kordab tsükli. Vastasel juhul valib see vanale tühjakslaadimise reale eelneva rea ja kordab tsükli.
4. Algoritm lõpetab töö, kui pöördvõrdelisele aku *c-rate*'le vastavate täis- ja tühjakslaadimiste hindade arv on leitud ja *spread* aku efektiivsust arvesse võttes arvutatud. Saadud *spreadid* päeva kohta korrutatakse seejärel läbi aku *c-rate*'ga ja liidetakse kokku. Lõpptulemusena väljastatakse iga päeva kohta üks *spread*.

### 6.2.1 Näide algoritmi toimimisest

Järgnevalt on töö autor analüüsinud algoritmi võimet leida kahe suvalise päeva jaoks sobilikud tunnid, millal aku peaks end täis ja tühjaks laadima. Näites kasutatava aku *c-rate* on 0,5 ja efektiivsus 90%. Lisatud on ekraanipildid, et näidata algoritmi toimimist.

	▲ Paev	Tund	Hind	▲ Paev	Tund	Hind	
1	2021-01-01	0	13 €	25	2021-01-02	0	20 €
2	2021-01-01	1	24 €	26	2021-01-02	1	16 €
3	2021-01-01	2	23 €	27	2021-01-02	2	10 €
4	2021-01-01	3	22 €	28	2021-01-02	3	3 €
5	2021-01-01	4	21 €	29	2021-01-02	4	5 €
6	2021-01-01	5	20 €	30	2021-01-02	5	4 €
7	2021-01-01	6	19 €	31	2021-01-02	6	6 €
8	2021-01-01	7	18 €	32	2021-01-02	7	13 €
9	2021-01-01	8	17 €	33	2021-01-02	8	23 €
10	2021-01-01	9	16 €	34	2021-01-02	9	24 €
11	2021-01-01	10	15 €	35	2021-01-02	10	22 €
12	2021-01-01	11	14 €	36	2021-01-02	11	21 €
13	2021-01-01	12	11 €	37	2021-01-02	12	19 €
14	2021-01-01	13	10 €	38	2021-01-02	13	17 €
15	2021-01-01	14	9 €	39	2021-01-02	14	12 €
16	2021-01-01	15	8 €	40	2021-01-02	15	8 €
17	2021-01-01	16	7 €	41	2021-01-02	16	9 €
18	2021-01-01	17	6 €	42	2021-01-02	17	14 €
19	2021-01-01	18	5 €	43	2021-01-02	18	15 €
20	2021-01-01	19	4 €	44	2021-01-02	19	18 €
21	2021-01-01	20	3 €	45	2021-01-02	20	11 €
22	2021-01-01	21	2 €	46	2021-01-02	21	7 €
23	2021-01-01	22	1 €	47	2021-01-02	22	1 €
24	2021-01-01	23	12 €	48	2021-01-02	23	2 €

Joonis 19. Kahe päeva iga tunni elektrihindade näidised.

Edasi reastab algoritm joonisel 19 toodud elektri hinnad kasvavasse järjekorda päeva kohta. Tulemused on toodud joonisel 20. Kuna aku *c-rate* on 0,5, siis tuleb algoritmil leida kummagi päeva jaoks kaks täislaadimise hinda ja kaks tühjaklaadimise hinda.

▲	Paev	Tund	Hind	▲	Paev	Tund	Hind
1	2021-01-01	22	1 €	25	2021-01-02	22	1 €
2	2021-01-01	21	2 €	26	2021-01-02	23	2 €
3	2021-01-01	20	3 €	27	2021-01-02	3	3 €
4	2021-01-01	19	4 €	28	2021-01-02	5	4 €
5	2021-01-01	18	5 €	29	2021-01-02	4	5 €
6	2021-01-01	17	6 €	30	2021-01-02	6	6 €
7	2021-01-01	16	7 €	31	2021-01-02	21	7 €
8	2021-01-01	15	8 €	32	2021-01-02	15	8 €
9	2021-01-01	14	9 €	33	2021-01-02	16	9 €
10	2021-01-01	13	10 €	34	2021-01-02	2	10 €
11	2021-01-01	12	11 €	35	2021-01-02	20	11 €
12	2021-01-01	23	12 €	36	2021-01-02	14	12 €
13	2021-01-01	0	13 €	37	2021-01-02	7	13 €
14	2021-01-01	11	14 €	38	2021-01-02	17	14 €
15	2021-01-01	10	15 €	39	2021-01-02	18	15 €
16	2021-01-01	9	16 €	40	2021-01-02	1	16 €
17	2021-01-01	8	17 €	41	2021-01-02	13	17 €
18	2021-01-01	7	18 €	42	2021-01-02	19	18 €
19	2021-01-01	6	19 €	43	2021-01-02	12	19 €
20	2021-01-01	5	20 €	44	2021-01-02	0	20 €
21	2021-01-01	4	21 €	45	2021-01-02	11	21 €
22	2021-01-01	3	22 €	46	2021-01-02	10	22 €
23	2021-01-01	2	23 €	47	2021-01-02	8	23 €
24	2021-01-01	1	24 €	48	2021-01-02	9	24 €

Joonis 20. Kahe päeva iga tunni elektrihindade näidised reastatud elektrihindade kasvavas järjekorras.

Vastavalt eelnimetud algoritmi tsüklile, valitakse esimese sammuna mõlemal päeval elektrihinnad 1 € ja 24 € (Joonis 20). Teises sammus jõutakse järeldusele, et madalamale elektrihinnale vastav tund on väiksem kui kõrgemale elektrihinnale vastav tund mõlemal päeval. See tähendab, et täislaadimine peaks toimuma peale tühjakslaadimist, mis on vastuolus *spreadi* leidmise põhimõttega. Kolmandas sammus leitakse, et 1.jaanuari päeval tuleb liikuda viimasest tühjakslaadimise hinnast ülespoole ja 2.jaanuari päeval esimesest täislaadimise hinnast allapoole. Uuteks valitud hindadeks saavad 1.jaanuari puhul 1 € ja 23 € ning 2.jaanuari puhul 2 € ja 24 € ning nendega korratakse tsüklit. Ilmneb, et ka need ei ole sobivad, seega uuteks hindadeks valitakse 1.jaanuari puhul 1 € ja 22 €

ning 2.jaanuari puhul 3 € ja 24 €. 1.jaanuari puhul see hindade paar endiselt ei sobi, seega valitakse jälle uued hinnad. 2.jaanuari puhul anud hindade paar täidab *spreadi* leidmise põhimõtet ning esimene hindade paar on selle päeva jaoks leitud. Valitud hinnad kustutatakse ning korratakse tsüklit ka teise hinnapaari leidmiseks. Tsüklit korratakse kuni mõlema päeva jaoks on valitud kaks hindade paari.

	Paev	Min_tund	Min_hind	Max_tund	Max_hind
1	2021-01-01	22	1 €	23	12 €
2	2021-01-01	0	13 €	1	24 €
3	2021-01-02	3	3 €	9	24 €
4	2021-01-02	5	4 €	8	23 €

Joonis 21. Algoritmi valitud elektri hinnad.

Algoritm leidis aku täislaadimiseks kaks soodsamat elektri hinda (Min\_hind) ja tühjakslaadimiseks kaks kallimat hinda (Max\_hind) kummagi päeva kohta (Joonis 21). Kõikide valitud hinnapaaride puhul on täislaadimise tund (Min\_tund) väiksem kui tühjakslaadimise tund (Max\_tund), seega on *spreadi* leidmise põhimõte täidetud. 1. jaanuari hinnapaaride vahe on kumbki 11 € ning 2. jaanuari hinnapaaride vahed on 21 € ja 19 €. Kõik vahed on maksimaalsed võimalikud, mis antud päevadel on võimalik saada.

	Paev	90%
1	2021-01-01	9.2 €
2	2021-01-02	17.65 €

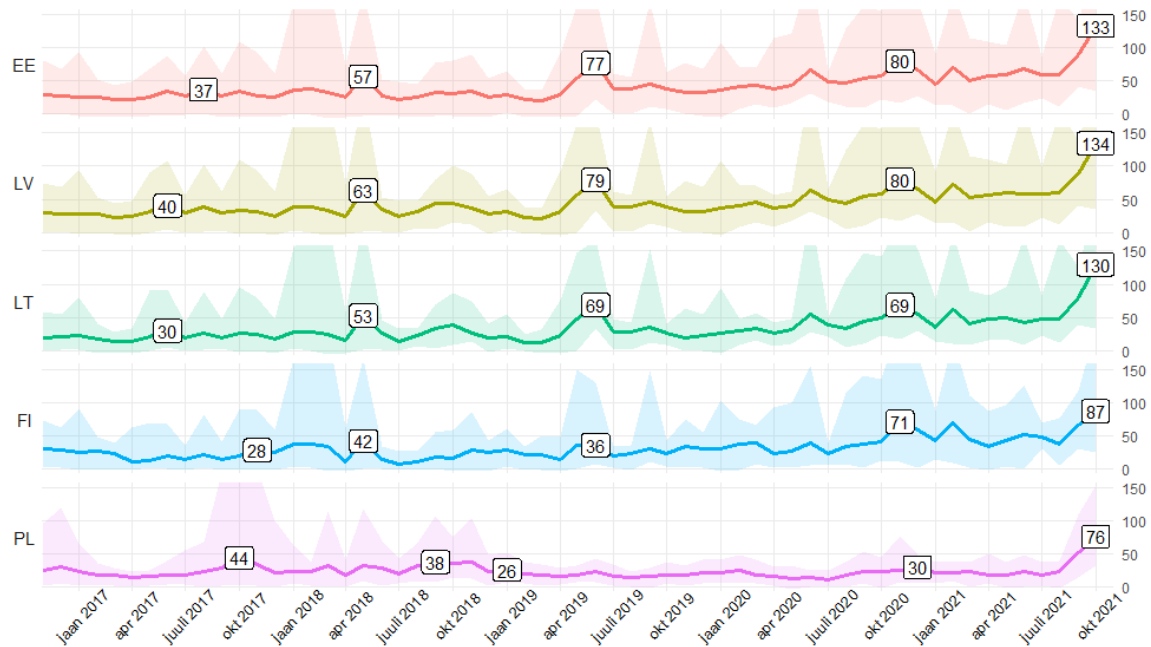
Joonis 22. Algoritmi leitud *spreadid*.

Edasi on tühjakslaadimise elektri hindadest (Max\_hind) võetud aku efektiivsuse protsent (90%) ning seejärel lahutatud tulemusest vastav täislaadimise hind. Saadud tulemused on korrutatud läbi aku *c-rate*'ga ning seejärel need päeva kohta kokku liidetud. Lõplikud *spreadid* on kujutatud joonisel 22.

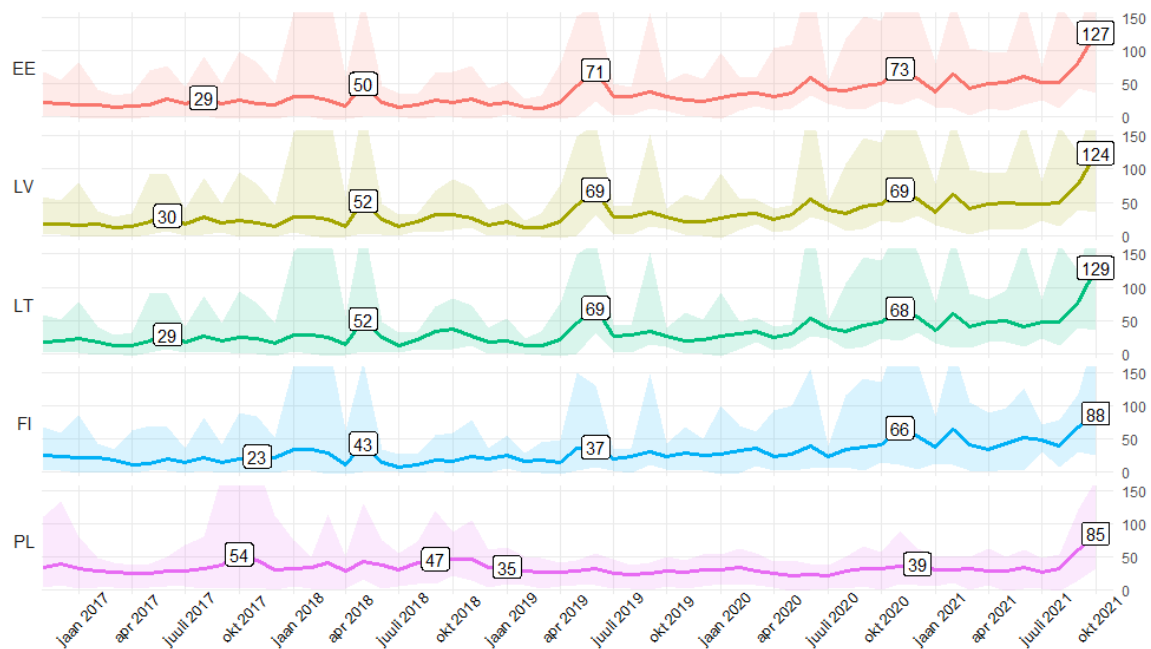
### 6.3 *Spreadide* muutus ajas

Eelnevalt kirjeldatud algoritmi põhjal on leitud iga uuritava riigi ja kliendisegmendi kohta keskmised kuised *spreadid* viimase 5 aasta jooksul. Nende leidmiseks on kasutatud kolmandas peatükis kirjeldatud elektri hindu ja võrgutasusid. Aku efektiivsust on

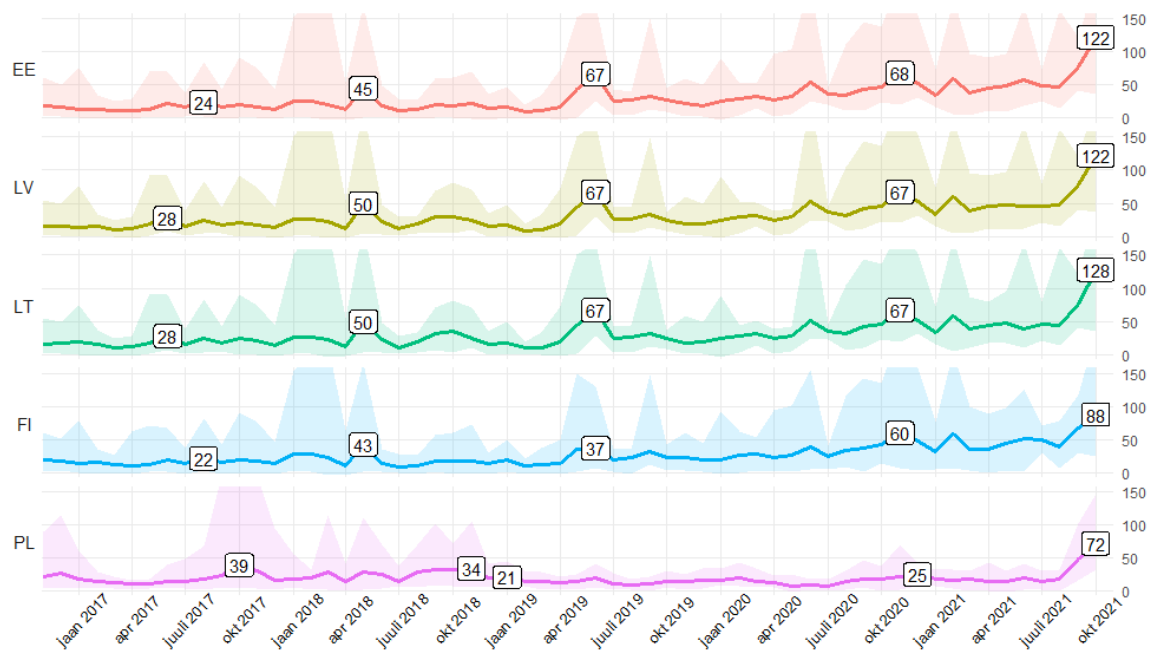
siinjuures arvestatud 90% ja *c-rate* 1, mis tähendab, et ühes päevas leitakse üks täislaadimise ja üks tühjaklaadimise elektri hind. Töö autor on algoritmist saadud väljundi põhjal koostanud graafikud, et hinnata, kui palju on võimalik akut kasutades ühes päevas kasumit teenida.



Joonis 23. Madalpingel väiketarbija kuine keskmine elektri hindade vahe tsükli kohta viimase 5 aasta jooksul, €/MWh.



Joonis 24. Madalpingel suurtarbija kuine keskmine elektrihindade vahe tsükli kohta viimase 5 aasta jooksul, €/MWh.



Joonis 25. Keskipingel suurtarbija kuine keskmine elektrihindade vahe tsükli kohta viimase 5 aasta jooksul, €/MWh.

Võrreldes elektrihindade volatiilsusega, on *spreadid* veidi madalamate tulemustega. Kuid nende tõus ja langus vastab volatiilsusele. Võrreldes volatiilsusega, erineb siin päevane *spread* ainult selle poolest, et madalam elektrihind, mida aku kasutab täislaadimiseks

peab vastama varasemale tunnile kui kõrgem elektri hind, mida aku kasutab tühjakslaadimiseks ning aku efektiivsuse protsent alandab kõrgemat elektri hindu. Seega saab ka siin täheldada viimase aasta suurt tõusu kõigi riikide puhul. Baltikumis on *spread*id kõrgemad kui Soomes ja Poolas. Madalpingel väiketarbija jaoks on 2021.aasta oktoobri suurim *spread* Lätis, madalpingel ja keskpingel suurtarbija jaoks Leedus. Kõikide kliendisegmentide jaoks on madalaim *spread* Poolas. Balti riikides on suurimad *spread*id madalpingel väiketarbijal, Soomes ja Poolas madalpingel suurtarbijal. Kuna võrgutasud vähenevad kliendisegmendi suuruse kasvades, on tavapärane näha suurimaid tulemusi just väiketarbija jaoks (Joonised 23, 24 ja 25).

## 6.4 Akude hinnad

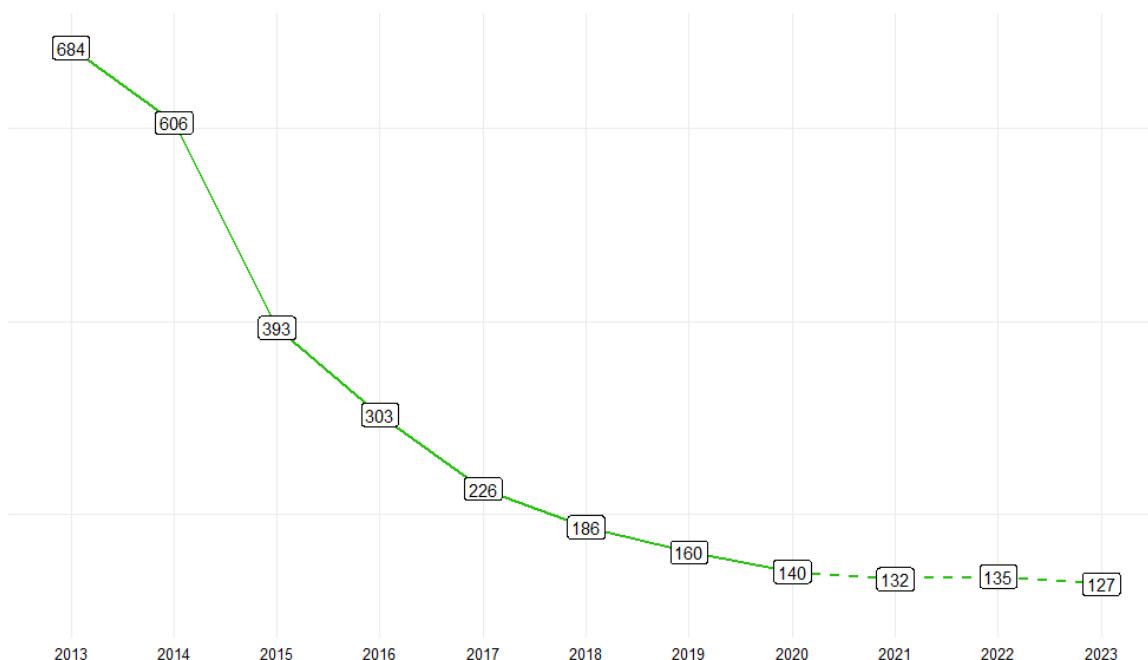
Elektrisalvestuslahenduste adekvaatne kulude hindamine on keeruline, kuna tehnoloogiad on erinevate kulu- ja toimivusomadustega ning salvestusrakenduste nõuded on erinevad [70]. Järgnevalt on leitud kaks hetkel avalikult müügilolevat liitium-ioon akut ja kirjeldatud nende omadusi (Tabel 6).

Tabel 6. Müügil olevate akude spetsifikatsioon ja hinnavõrdlus *spread*iga.

	Aku I [71]	Aku II [72]
<b>Hind</b>	774 800 \$ ~ 668 431,58 € [50]	4 000 £ ~ 4 679,42 € [73]
<b>Mahutavus</b>	1 MW	4 kW
<b>c-Rate</b>	1	1
<b>Eluiga</b>	20 aastat	4 000 tsükli
<b>Efektiivsus</b>	> 95%	90%
<b>Kasumlik <i>spread</i></b>	<b>91,5 €/MWh</b>	<b>292,5 €/MWh</b>
<b>2021.aasta oktoobri keskmine <i>spread</i> Eestis</b>	<b>127 €/MWh</b> (madalpingel suurtarbija)	<b>133 €/MWh</b> (madalpingel väiketarbija)

Tabelis 6 on aku I näol tegemist suure mahutavusega kontaineriga, mida võiks soetada omale suurem tööstus. Aku II on sobilik väiksemale kliendile. Vastavalt akude omadustele on arvatud välja kasumlikud *spread*id, millega saaks akude ostuks kulutatud raha tagasi teenida. Leitud *spread*idest ilmneb, et mahukam, kallim ja

efektiivsem aku I oleks kasumlik juba käesoleva 2021.aasta oktoobri *spreadiga* Eestis, aku II aga mitte. Kuna akude hinnad on pidevas muutumises nagu ka elektrihinnad, saab prognoosida nende kasumlikkust tulevikus.

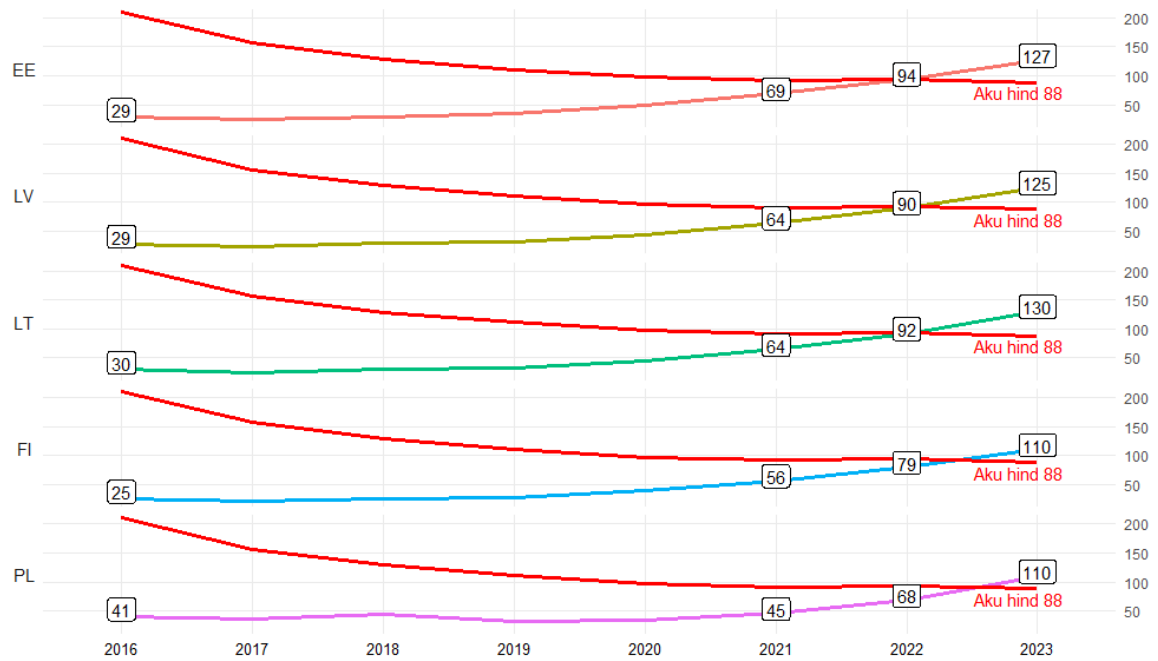


Joonis 26. Liitium-ioon akude keskmise hinna muutus ajas, \$/kWh.

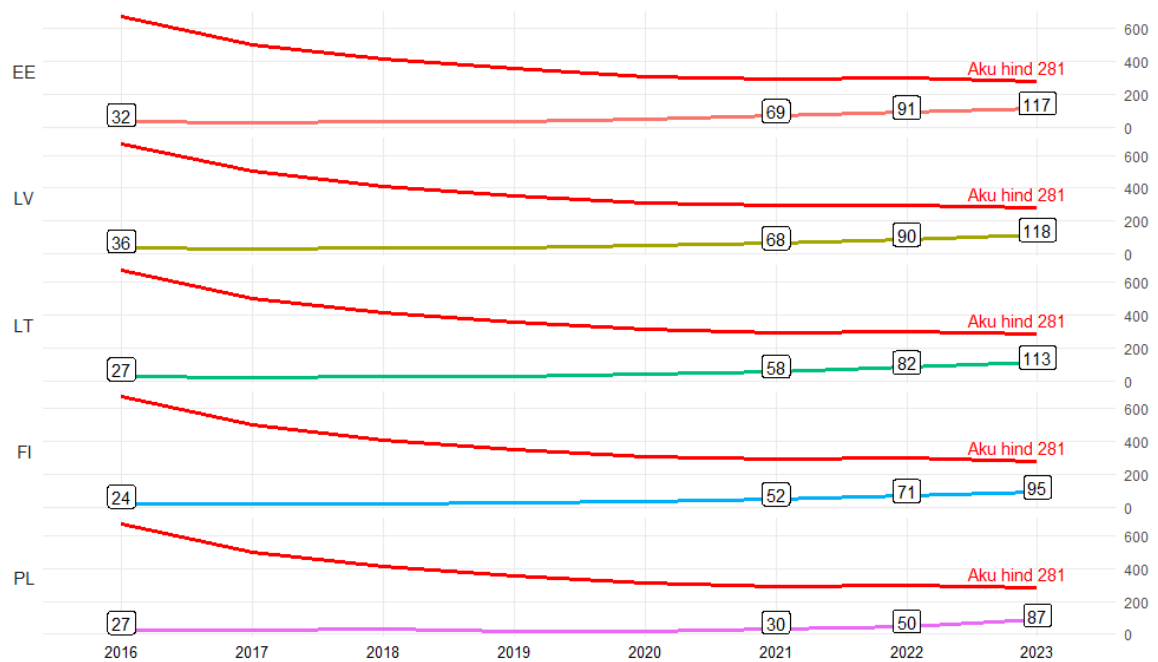
Bloomberg pakub ülevaadet liitium-ioon akude keskmisest hinnast ning prognoosib neid tulevikuks [74]. Antud analüüsi põhjal on keskmine liitium-ioon aku hind viimase 7 aasta jooksul langenud 80% (Joonis 26). 2021.aasta ennustatavaks hinnaks on 132 \$/kWh ja 2022.aastaks esmakordse tõusuga 135 \$/kWh. Peale seda aku hind uuesti langeb.

Edasi on leitud ristkorrutisega joonisel 26 kirjeldatud hinnamuutustele vastavad aku I ja aku II hinnad tabelist 6. Kuna aku I vastab madalpingel suurtarbijale ja aku II madalpingel väiketarbijale, on hinnamuutusi võrreldud nende kliendisegmentide vaatest aastaste keskmise elektrihinna vahega uuritavate akude tsükli kohta. *Spreadide* prognoosimiseks on kasutatud R paketi *B-spline* funktsiooni, mille näol on tegemist astmelise polünoomfunktsiooniga, mis läbib kõiki sisenditeks antud punkte ja moodustab nende vahele sujuva kõvera [75]. Ükski prognoos ei pruugi vastata tegelikkusele.





Joonis 27. Aku I hinnavõrdlus madalpingel suurtarbija aastase keskmise *spread*iga (efektiivsus 95%), €/MWh.



Joonis 28. Aku II hinnavõrdlus madalpingel väiketarbija aastase keskmise *spread*iga (efektiivsus 90%), €/MWh.

Jooniselt 27 ilmneb, et 2023.aastaks peaks aku I olema kasumlik, Eestis juba 2022.aastal, kuna aku ja *spread* on sellel aastal võrdsed. Eelnevast tabelist 6 nägime, et tegelikult oli antud aku kasumlik juba 2021.aasta oktoobris, kuid kui arvestada aastast keskmist

*spreadi*, siis selle vaates jõuab kasumlik aeg kätte lähiaastatel. Jooniselt 28 on näha, et antud prognooside kohaselt 2023.aastaks aku II veel kasumlikuks ei saa, kuid kaugemas tulevikus võib see juhtuda.

## 7 Kokkuvõte

Kuna varasemalt määrasid regulatsioonid elektriinnad, oli nende muutus minimaalne. Tänapäeval kujunevad hinnad nõudluse ja pakkumise järgi, mistõttu võib elektrihindades täheldada suuri hüppeid. Töös tehtud analüüs on näidanud, et elektriinnad on muutunud volatiilsemaks, eriti suurt tõusu on näha 2021.aastal. Balti riikides on volatiilsus kõrgem kui Soomes või Poolas.

Kuna elektriinnad sõltuvad otseselt pakkumise ja nõudluse vahekorradest, analüüsiti ka uuritavates riikides tarbimise ja tootmise muutusi. Elektritarbimises suuri muutusi ei täheldatud, kuid tootmises oli näha langust Eestis ja Lätis. Nendes riikides on langus olnud ühtlane ning ei seostu otseselt elektrihindade volatiilsuse kasvuga 2021.aastal. Lisaks analüüsiti tootmise all erinevate energiaressursside (sh ka taastuvenergia) mõju hindadele. Selgus, et 2021.aasta jooksul on maagaas, kivisüsi ja süsihappegaas teinud mitmekordse hinnatõusu, mida saab seostada elektrihindade volatiilsuse suure kasvuga. Kuna taastuvenergia kasutus sõltub ilmast ja on seetõttu ebastabiilne energiaallikas, võib eeldada, et taastuvenergia tootmine tõstab elektrihindade volatiilsust. Uuritavates riikides oli seda seost raske leida, kuid tulevikus võib see mõju muutuda märgatavamaks.

Elekter on oma olemuselt salvestusvõimeta ja suurt volatiilsust saab leevendada salvestustehnoloogiatega, mis võimaldavad muuta energiatarbimise aega. Salvestustehnoloogiaid on peetud kalliteks vahenditeks, mistõttu pole nende kasutus veel palju levinud. Käesolev uurimistöö on näidanud, et akude hinnad on languses ning kuna taastuvenergia levik ja elektrihindade volatiilsus on tõusuteel, siis on otstarbekas mõelda lähiaastatel akudesse investeerimist. Töös on kirjeldatud algoritmi, mis võimaldab akusid päev-ette elektriturul optimaalselt kasutada. See väljastab elektrihindade *spreadid*, mille põhjal saab hinnata akude tasuvust. Antud algoritmi testiti kahe avalikult müüdava aku peal. Selgus, et nendest üks oli juba 2021.aasta oktoobris Eestis kasumlik, kuid aastaseid tulemusi vaadates saab see kasumlikuks 2022.aastal ja teistes uuritavates riikides 2023.aastal. Teine, väiketarbijale mõeldud aku päevase volatiilsuse vaates veel kasumlik

ei ole, kuid kui kasutada seda vaid kõrgete elektrihindadega päevadel, on võimalik ka selle pealt tasu teenida.

## Kasutatud kirjandus

- [1] H. Zareipour, K. Bhattacharya, ja C. A. Cañizares, „Electricity market price volatility: The case of Ontario“, *Energy Policy*, kd 35, nr 9, lk 4739–4748, sept 2007, doi: 10.1016/j.enpol.2007.04.006.
- [2] P. Jorion, „Value at Risk: The New Benchmark for Managing Financial Risk“, 2000.
- [3] T. Andersen, T. Bollerslev, P. Christoffersen, ja F. Diebold, „Volatility Forecasting“, National Bureau of Economic Research, Cambridge, MA, w11188, märts 2005. doi: 10.3386/w11188.
- [4] H. Qu, Q. Duan, ja M. Niu, „Modeling the volatility of realized volatility to improve volatility forecasts in electricity markets“, *Energy Econ.*, kd 74, lk 767–776, aug 2018, doi: 10.1016/j.eneco.2018.07.033.
- [5] M. Benini, M. Marrassi, P. Pelacchi, ja A. Venturini, „Day-ahead market price volatility analysis in deregulated electricity markets“, *IEEE Power Engineering Society Summer Meeting*, Chicago, IL, USA, 2002, lk 1354–1359. doi: 10.1109/PESS.2002.1043596.
- [6] A. Masoumzadeh, E. Nekouei, T. Alpcan, ja D. Chattopadhyay, „Impact of Optimal Storage Allocation on Price Volatility in Energy-Only Electricity Markets“, *IEEE Trans. Power Syst.*, kd 33, nr 2, lk 1903–1914, märts 2018, doi: 10.1109/TPWRS.2017.2727075.
- [7] R. E. Brown ja B. G. Humphrey, „Asset management for transmission and distribution“, *IEEE Power Energy Mag.*, kd 3, nr 3, lk 39–45, mai 2005, doi: 10.1109/MPAE.2005.1436499.
- [8] O. H. Anuta, P. Taylor, D. Jones, T. McEntee, ja N. Wade, „An international review of the implications of regulatory and electricity market structures on the emergence of grid scale electricity storage“, *Renew. Sustain. Energy Rev.*, kd 38, lk 489–508, okt 2014, doi: 10.1016/j.rser.2014.06.006.
- [9] Elering AS, <https://elering.ee> (vaadatud nov 02, 2021).
- [10] P. Cramton, „Electricity market design“, *Oxf. Rev. Econ. Policy*, kd 33, nr 4, lk 589–612, nov 2017, doi: 10.1093/oxrep/grx041.
- [11] Nord Pool AS, <https://www.nordpoolgroup.com> (vaadatud nov 01, 2021).
- [12] K. Skytte, „The regulating power market on the Nordic power exchange Nord Pool: an econometric analysis“, *Energy Econ.*, kd 21, nr 4, lk 295–308, aug 1999, doi: 10.1016/S0140-9883(99)00016-X.
- [13] N. Flatabo, G. Doorman, O. S. Grande, H. Randen, ja I. Wangensteen, „Experience with the Nord Pool design and implementation“, *IEEE Trans. Power Syst.*, kd 18, nr 2, lk 541–547, mai 2003, doi: 10.1109/TPWRS.2003.810694.
- [14] European Network of Transmission System Operators for Electricity, <https://www.entsoe.eu> (vaadatud nov 04, 2021).
- [15] Polskie Sieci Elektroenergetyczne S.A., <https://www.pse.pl/home> (vaadatud nov 02, 2021).
- [16] K. Christensen, Z. Ma, ja B. N. Jørgensen, „Technical, Economic, Social and Regulatory Feasibility Evaluation of Dynamic Distribution Tariff Designs“, *Energies*, kd 14, nr 10, lk 2860, mai 2021, doi: 10.3390/en14102860.

- [17] K. Lummi, P. Trygg, P. Rautiainen, ja P. Järventausta, „Implementation Possibilities of Power-based Distribution Tariff by Using Smart Metering Technology“, *23rd International Conference and Exhibition on Electricity Distribution*, CIRED, 2015, lk 1–5.
- [18] M. Forest, „I Metsä Groups kartsystem finns redan 235 000 kilometer ellinjer - betydande förbättring av arbetssäkerheten“, *Euroinvestor*, jaan 17, 2017. Vaadatud: nov 15, 2021. [Online]. Available at: <https://www.globenewswire.com/news-release/2017/01/17/906148/0/sv/I-Metsä-Groups-kartsystem-finns-redan-235-000-kilometer-ellinjer-betydande-förbättring-av-arbetssäkerheten.html>
- [19] „Infranode investerar i finskt enegiföretag“, *Tidningen Fastighetsaktien*, aug 30, 2019.
- [20] „4.1.9. Sektor energetyczny w Polsce. Profil sektorowy EN“. Invest on Poland, 2012. [Online]. Available at: [http://www.paiz.gov.pl/prawo/odnawialne\\_zrodla\\_energii](http://www.paiz.gov.pl/prawo/odnawialne_zrodla_energii)
- [21] Elektrilevi AS, <https://www.elektrilevi.ee/avaleht> (vaadatud nov 02, 2021).
- [22] AS Sadales tikls, <https://sadalestikls.lv/lv> (vaadatud nov 02, 2021).
- [23] Energijos Skirstymo Operatorius AB, <https://www.eso.lt/lt/namams.html> (vaadatud nov 02, 2021).
- [24] Caruna Networks Oy, <https://www.caruna.fi/en> (vaadatud nov 02, 2021).
- [25] Tauron Polska Energia S.A, <https://www.tauron.pl/dla-domu> (vaadatud nov 11, 2021).
- [26] H. Geman ja A. Roncoroni, „Understanding the Fine Structure of Electricity Prices\*“, *J. Bus.*, kd 79, nr 3, lk 1225–1261, mai 2006, doi: 10.1086/500675.
- [27] M. Goto ja G. A. Karolyi, „Understanding Electricity Price Volatility Within and Across Markets“, *SSRN Electron. J.*, 2004, doi: 10.2139/ssrn.576982.
- [28] S. Dong, H. Li, F. Wallin, A. Avelin, Q. Zhang, ja Z. Yu, „Volatility of electricity price in Denmark and Sweden“, *Energy Procedia*, kd 158, lk 4331–4337, veebr 2019, doi: 10.1016/j.egypro.2019.01.788.
- [29] R. Wilson, „Architecture of Power Markets“, *Econometrica*, kd 70, nr 4, lk 1299–1340, juuli 2002, doi: 10.1111/1468-0262.00334.
- [30] R. Huisman ja R. Mahieu, „Regime jumps in electricity prices“, *Energy Econ.*, kd 25, nr 5, lk 425–434, sept 2003, doi: 10.1016/S0140-9883(03)00041-0.
- [31] C. Woo, M. King, A. Tishler, ja L. Chow, „Costs of electricity deregulation“, *Energy*, kd 31, nr 6–7, lk 747–768, mai 2006, doi: 10.1016/j.energy.2005.03.002.
- [32] T. Rintamäki, A. S. Siddiqui, ja A. Salo, „Does renewable energy generation decrease the volatility of electricity prices? An analysis of Denmark and Germany“, *Energy Econ.*, kd 62, lk 270–282, veebr 2017, doi: 10.1016/j.eneco.2016.12.019.
- [33] M. Genoese, F. Genoese, D. Most, ja W. Fichtner, „Price spreads in electricity markets: What are fundamental drivers?“, *2010 7th International Conference on the European Energy Market*, Madrid, Spain, juuni 2010, lk 1–6. doi: 10.1109/EEM.2010.5558727.
- [34] V. Bianco, O. Manca, ja S. Nardini, „Electricity consumption forecasting in Italy using linear regression models“, *Energy*, kd 34, nr 9, lk 1413–1421, sept 2009, doi: 10.1016/j.energy.2009.06.034.
- [35] M. M. Rahman, „Environmental degradation: The role of electricity consumption, economic growth and globalisation“, *J. Environ. Manage.*, kd 253, lk 109742, jaan 2020, doi: 10.1016/j.jenvman.2019.109742.
- [36] J. E. Payne, „A survey of the electricity consumption-growth literature“, *Appl. Energy*, kd 87, nr 3, lk 723–731, märts 2010, doi: 10.1016/j.apenergy.2009.06.034.

- [37] J. M. Griffin, „The Effects of Higher Prices on Electricity Consumption“, *Bell J. Econ. Manag. Sci.*, kd 5, nr 2, lk 515, 1974, doi: 10.2307/3003119.
- [38] A. Qazi *et al.*, „Towards Sustainable Energy: A Systematic Review of Renewable Energy Sources, Technologies, and Public Opinions“, *IEEE Access*, kd 7, lk 63837–63851, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2906402.
- [39] M. R. Elkadeem *et al.*, „Techno-economic Design and Assessment of Grid-Isolated Hybrid Renewable Energy System for Agriculture Sector“, *2019 14th IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications (ICIEA)*, Xi'an, China, juuni 2019, lk 1562–1568. doi: 10.1109/ICIEA.2019.8834172.
- [40] R. Green ja I. Staffell, „Electricity in Europe: exiting fossil fuels?“, *Oxf. Rev. Econ. Policy*, kd 32, nr 2, lk 282–303, 2016, doi: 10.1093/oxrep/grw003.
- [41] S. M. Dawoud, X. Lin, ja M. I. Okba, „Hybrid renewable microgrid optimization techniques: A review“, *Renew. Sustain. Energy Rev.*, kd 82, lk 2039–2052, veebr 2018, doi: 10.1016/j.rser.2017.08.007.
- [42] M. R. Elkadeem, M. Abd Elaziz, Z. Ullah, S. Wang, ja S. W. Sharshir, „Optimal Planning of Renewable Energy-Integrated Distribution System Considering Uncertainties“, *IEEE Access*, kd 7, lk 164887–164907, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2947308.
- [43] T. Y. A. Quek, W. L. Alvin Ee, W. Chen, ja T. S. A. Ng, „Environmental impacts of transitioning to renewable electricity for Singapore and the surrounding region: A life cycle assessment“, *J. Clean. Prod.*, kd 214, lk 1–11, märts 2019, doi: 10.1016/j.jclepro.2018.12.263.
- [44] T. Figures, M. Gilbert, M. McAdoo, ja N. Voigt, „The EU’s Carbon Border Tax Will Redefine Global Value Chains“, *Boston Consulting Group*, dets 10, 2021. Vaadatud: dets 01, 2021. [Online]. Available at: <https://www.bcg.com/publications/2021/eu-carbon-border-tax>
- [45] European Environment Agency, „Data viewer on greenhouse gas emissions and removals, sent by countries to UNFCCC and the EU Greenhouse Gas Monitoring Mechanism (EU Member States)“, apr 13, 2021. <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/data-viewers/greenhouse-gases-viewer/> (vaadatud nov 05, 2021).
- [46] International Carbon Action Partnership, „Carbon price“. <https://icapcarbonaction.com/en/ets-prices> (vaadatud nov 06, 2021).
- [47] Sandbag, „Carbon price“. <https://sandbag.be/index.php/carbon-price-viewer/> (vaadatud nov 06, 2021).
- [48] Market Insider, „COAL“. <https://markets.businessinsider.com/commodities/coal-price/euro> (vaadatud nov 06, 2021).
- [49] Federal Reserve Bank of St. Louis, „Global price of Natural gas, EU (PNGASEUUSDM)“. <https://fred.stlouisfed.org/series/PNGASEUUSDM> (vaadatud nov 06, 2021).
- [50] Federal Reserve Bank of St. Louis, „U.S. Dollars to Euro Spot Exchange Rate (EXUSEU)“. <https://fred.stlouisfed.org/series/EXUSEU> (vaadatud nov 06, 2021).
- [51] A. Kiersz, „3 reasons why gas prices are so high right now“, *Business Insider*, nov 25, 2021. Vaadatud: dets 27, 2021. [Online]. Available at: <https://www.businessinsider.com/why-are-gas-prices-so-high-right-now-3-reasons-2021-10>
- [52] P. Nagle ja K. Temaj, „Energy market developments: natural gas and coal prices surge amid constrained supply“, *World Bank Group*, aug 11, 2021. Vaadatud: dets 27, 2021. [Online]. Available at: <https://blogs.worldbank.org/opendata/energy-market-developments-natural-gas-and-coal-prices-surge-amid-constrained-supply>

- [53] E. Kyritsis, J. Andersson, ja A. Serletis, „Electricity prices, large-scale renewable integration, and policy implications“, *Energy Policy*, kd 101, lk 550–560, veebr 2017, doi: 10.1016/j.enpol.2016.11.014.
- [54] F. Sensfuß, M. Ragwitz, ja M. Genoese, „The merit-order effect: A detailed analysis of the price effect of renewable electricity generation on spot market prices in Germany“, *Energy Policy*, kd 36, nr 8, lk 3086–3094, aug 2008, doi: 10.1016/j.enpol.2008.03.035.
- [55] B. Steffen, „Prospects for pumped-hydro storage in Germany“, *Energy Policy*, kd 45, lk 420–429, juuni 2012, doi: 10.1016/j.enpol.2012.02.052.
- [56] J. Mayer, „Electricity Spot-Prices in Germany 2013“, 2013, doi: 10.13140/RG.2.1.4386.3760.
- [57] I. Staffell ja M. Rustomji, „Maximising the value of electricity storage“, *J. Energy Storage*, kd 8, lk 212–225, nov 2016, doi: 10.1016/j.est.2016.08.010.
- [58] „Mida tähendab kliimanetraalsus?“, *Kliimamuutused*, apr 09, 2019. Vaadatud: nov 18, 2021. [Online]. Available at: <https://www.kliimamuutused.ee/uudised/mida-tahendab-kliimanetraalsus>
- [59] Euroopa Komisjon, <https://ec.europa.eu/> (vaadatud dets 20, 2021).
- [60] „Nuclear power and the environment“, *U.S. Energy Information Administration*, dets 17, 2021. Vaadatud: dets 27, 2021. [Online]. Available at: <https://www.eia.gov/energyexplained/nuclear/nuclear-power-and-the-environment.php#:~:text=Nuclear%20power%20reactors%20do%20not,or%20carbon%20dioxide%20while%20operating>.
- [61] R. Ethier ja T. Mount, „ESTIMATING THE VOLATILITY OF SPOT PRICES IN RESTRUCTURED ELECTRICITY MARKETS AND THE IMPLICATIONS FOR OPTION VALUES“, dets 1998.
- [62] O. Schmidt, S. Melchior, A. Hawkes, ja I. Staffell, „Projecting the Future Levelized Cost of Electricity Storage Technologies“, *Joule*, kd 3, nr 1, lk 81–100, jaan 2019, doi: 10.1016/j.joule.2018.12.008.
- [63] M. C. Argyrou, P. Christodoulides, ja S. A. Kalogirou, „Energy storage for electricity generation and related processes: Technologies appraisal and grid scale applications“, *Renew. Sustain. Energy Rev.*, kd 94, lk 804–821, okt 2018, doi: 10.1016/j.rser.2018.06.044.
- [64] Euroopa Kontrollikoda, <https://www.eca.europa.eu/> (vaadatud dets 20, 2021).
- [65] T. Kim, W. Song, D.-Y. Son, L. K. Ono, ja Y. Qi, „Lithium-ion batteries: outlook on present, future, and hybridized technologies“, *J. Mater. Chem. A*, kd 7, nr 7, lk 2942–2964, 2019, doi: 10.1039/C8TA10513H.
- [66] D. Connolly, H. Lund, P. Finn, B. V. Mathiesen, ja M. Leahy, „Practical operation strategies for pumped hydroelectric energy storage (PHES) utilising electricity price arbitrage“, *Energy Policy*, kd 39, nr 7, lk 4189–4196, juuli 2011, doi: 10.1016/j.enpol.2011.04.032.
- [67] E. Abramova ja D. Bunn, „Optimal Daily Trading of Battery Operations Using Arbitrage Spreads“, *Energies*, kd 14, nr 16, lk 4931, aug 2021, doi: 10.3390/en14164931.
- [68] H. Mohsenian-Rad, „Optimal Bidding, Scheduling, and Deployment of Battery Systems in California Day-Ahead Energy Market“, *IEEE Trans. Power Syst.*, kd 31, nr 1, lk 442–453, jaan 2016, doi: 10.1109/TPWRS.2015.2394355.
- [69] R. Lucas, „Throughput v Revenues: Making the Most from Battery Storage“, *Solar Media Limited*, 2019. Vaadatud: veebr 15, 2021. [Online]. Available at: <https://www.current-news.co.uk/blogs/throughput-vs-revenues-making-the-most-from-battery-storage>



- [70] W. A. Braff, J. M. Mueller, ja J. E. Trancik, „Value of storage technologies for wind and solar energy“, *Nat. Clim. Change*, kd 6, nr 10, lk 964–969, okt 2016, doi: 10.1038/nclimate3045.
- [71] Electric Car Parts Company, „1MWH Energy Storage Banks in 40 ft Containers“. <https://www.electriccarpartscompany.com/1mwh-energy-storage-banks-in-40ft-containers> (vaadatud nov 11, 2021).
- [72] GreenMatch, „Solar Battery – Compare Offers from Local Installers“. <https://www.greenmatch.co.uk/blog/2018/07/solar-battery-storage-system-cost> (vaadatud nov 11, 2021).
- [73] Xenon Laboratories Incorporated, „1 GBP to EUR - Convert British Pounds to Euros“. <https://www.xe.com/currencyconverter/convert/?Amount=1&From=GBP&To=EUR> (vaadatud nov 06, 2021).
- [74] Bloomberg L.P., <https://www.bloomberg.com/> (vaadatud dets 07, 2021).
- [75] J. Fox ja S. Weisberg, *An R companion to applied regression*. 2019. Vaadatud: dets 27, 2021. [Online]. Available at: <http://www.vlebooks.com/vleweb/product/openreader?id=none&isbn=9781544336480>

## **Lisa 1 – Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks<sup>1</sup>**

Mina, Brigitta-Robin Raudne

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose „Elektrihindade volatiilsuse analüüs salvestustehnoloogiate vaatest“, mille juhendaja on Ants Torim
  - 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.

03.01.2022

---

<sup>1</sup> 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 loomingu 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.