

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL  
Majandusteaduskond  
Majandusanalüüsi ja rahanduse instituut

Kristi German

**ELEKTRIENERGIA HINNA MÕJUTATUS TAASTUVENERGIA  
OSAKAALUST EESTIS AASTATEL 2007- 2016**

Bakalaureusetöö

Õppekava TAAB, peeriala keskkonna- ja säästva arengu ökonoomika

Juhendaja: Jelena Rõbakova, lektor

Tallinn 2018

Deklareerin, et olen koostanud töö iseseisvalt ja olen viidanud kõikidele töö koostamisel kasutatud teiste autorite töödele, olulistele seisukohtadele ja andmetele, ning ei ole esitanud sama tööd varasemalt ainepunktide saamiseks. Töö pikkuseks on 5068 sõna sissejuhatusest kuni kokkuvõtte lõpuni.

Kristi German .....

(allkiri, kuupäev)

Üliõpilase kood: 155615TAAB

Üliõpilase e-posti aadress: kristi.german@gmail.com

Juhendaja: Jelena Rõbakova:

Töö vastab kehtivatele nõuetele

.....

(allkiri, kuupäev)

Kaitsmiskomisjoni esimees:

Lubatud kaitsmisele

.....

(nimi, allkiri, kuupäev)

# SISUKORD

LÜHIKOKKUVÕTE .....	4
SISSEJUHATUS .....	5
1. TAASTUVENERGIA .....	7
1.1 Taastuvenergia osakaal Eestis .....	9
1.2 Taastuvenergia eesmärgid Euroopa Liidus.....	9
1.2.1 Taastuvenergia eesmärgid Eestis.....	10
1.3 Taastuvenergia mõju elektriinnale.....	11
2. ELEKTRITURG EESTIS .....	13
2.1 Elektriarve ja elektriinna kujunemine.....	14
2.1.1 Taastuvenergia tasu .....	16
2.1.2 Elektriaktsiis .....	16
2.2 Nord Pool elektribörs .....	17
2.2.1 Nord Pool börsi elektri hind .....	17
3. TAASTUVENERGIA OSAKAAL JA ELEKTRIHINNAD EESTIS .....	19
4. ELEKTRIENERGIA HINNA MÕJUTATUS TAASTUVENERGIA OSAKAALUST .....	22
KOKKUVÕTE .....	26
SUMMARY .....	29
KASUTATUD ALLIKATE LOETELU .....	31
LISAD .....	34
Lisa 1. Sõltuva ja sõltumatu tunnuse vaheliste seoste graafikud.....	34
Lisa 2. Analüüsis kasutatud andmed .....	35
Lisa 3. Hinnatud mudel 1 .....	36
Lisa 4. White'i test .....	37
Lisa 5. Durbin- Watsoni statistiku ülemine ja alumine väärtus.....	38
Lisa 6. Normaaljaotuse test .....	39
Lisa 7. ANOVA.....	40
Lisa 8. Engle- Grangeri test.....	41
Lisa 9. Mudel 2 esimest järku diferentsid.....	43

## LÜHIKOKKUVÕTE

Bakalaureusetöö eesmärk on välja selgitada elektrienergia hinna mõjutatus taastuvenergia osakaalust Eestis, võimaldamaks sellest järeldada taastuvenergia osakaalu suurenemisega kaasnevaid mõjusid elektritarbijale. Eesmärgini jõudmiseks püstitati hüpotees: Taastuvenergia osakaal elektri kogutarbimises mõjutab oluliselt elektrienergia hinda Eestis. Töös antakse teoreetiline ülevaade taastuvenergia osakaalust Eestis, taastuvenergia eesmärkidest Euroopa Liidus ja Eestis, Eesti elektriturust, elektrienergia kujunemisest ja turul valitsevast elektribörsist Nord Pool.

Töö eesmärgi täitmiseks ja seose uurimiseks koostatakse taastuvenergia osakaalu ja elektrienergia analüüsiks sobiv ekonomeetriline mudel ja seose analüüsiks kasutatakse vähimruutude meetodit programmis Gretl. Uuringu perioodiks on 2007- 2016 aastad.

Kuigi esialgsest mudeli hindamisest selgus, et mudel on statistiliselt oluline ja elektri hinna varieerumine on tingitud taastuvenergia osakaalust, siis regressioonmudeli hindamisest esimest järku diferentside vahel ilmnas, et esineb näiv regressioon ja püstitatud hüpotees: taastuvenergia osakaal elektri kogutarbimises mõjutab oluliselt elektrienergia hinda Eestis ei ole tõestatud. Sellest tulenevalt ei saa ka väita, et taastuvenergia osakaalu suurenedes tõuseks ka elektrienergia hind Eestis.

Võtmesõnad: Taastuvenergia, elektriturg, elektri hind

## SISSEJUHATUS

Üha enam juhitakse maailmas tähelepane globaalsetele probleemidele ning otsitakse lahendusi nende vähendamiseks. Seetõttu seatakse rahvusvahelisi eesmärke õhusaaste vähendamiseks. Praegu toodetakse Eestis peamiselt elektrit põlevkivist, kuid fossiilkütuste kasutamine suurendab riigi globaalset jalajälge. Selleks, et tulevik oleks suunatud puhtama ja säästlikuma keskkonna poole, on seatud mitmeid eesmärke vähendada fossiilkütuste kasutust. Põlevkivist energia tootmine soovitakse asendada taastuvatest allikatest energia tootmisega. Seetõttu kasvab pidevalt taastuvenergia osakaal kogu energiatarbimises. Lähtudes taastuvenergia suurendamise eesmärgist, soovitakse töös uurida, kuidas mõjutab taastuvenergia osakaal kogutarbimises elektri hinda Eestis aastatel 2007-2016.

Töö eesmärk on välja selgitada elektrienergia hinna mõjutatus taastuvenergia osakaalust Eestis, võimaldamaks sellest järeldada taastuvenergia osakaalu suurenemisega kaasnevaid mõjusid elektritarbijale. Eesmärgini jõudmiseks püstitati hüpotees: Taastuvenergia osakaal elektri kogutarbimises mõjutab oluliselt elektrienergia hinda Eestis.

Käesolevas töös otsitakse vastuseid järgnevatele uurimisküsimustele:

1. Kuidas on muutunud taastuvenergia osakaal läbi aja?
2. Mis kujundab elektrienergia hinda?
3. Millises seoses on taastuvenergia osakaal ja elektrienergia hind?

Bakalaureusetöö on jaotatud neljaks peatükiks. Esimene ja teine peatükk on teoreetilised. Esimeses kirjeldatakse taastuvenergia vajalikkust ning kasutamise põhjuseid, hetkeosakaalu Eestis, tuuakse välja taastuvenergia eesmärgid Euroopa Liidus ja Eestis ning tutvustatakse varasemaid uuringuid taastuvenergia ja elektrienergia vahel. Teine peatükk keskendub Eesti elektriturule ja Nord Pool börsile, samuti tuuakse välja elektriarvet ja -hinda kujundavad tegurid. Kolmandas peatükis vaadeldakse taastuvenergiast toodetud elektri osatähtsust kogutarbimises ja elektrienergia lõpphinda kodutarbijale ning uuritakse nende kõikumisi. Neljandas ehk empiirilises osas koostab autor taastuvenergia osakaalu ja elektri hinna analüüsiks sobiva ökonomeetrilise

mudeli ja teostab analüüsi selgitamaks, kas taastuenergia osakaal kogutarbimises mõjutab elektrienergia hinda. Bakalaureusetöö lõpus tehakse läbiviidud analüüside põhjal taastuenergia osakaalu ja elektrienergia seoste kohta järeldused ja kokkuvõte.

Käesolevas töös kasutatakse kvalitatiivseid ja kvantitatiivseid analüüsimeetodeid. Taastuenergia osakaalu ja elektrienergia hinna seose analüüsimiseks kasutatakse vähimruutude meetodit programmis Gretl. Selleks, et saada rohkem infot taastuenergia toetuse ja eesmärkide kohta, viib autor läbi intervjuu energeerika nõunik Mart Raamatuga.

Andmeid taastuenergia osakaalu ja elektrienergia hinna kohta saadakse Eesti Statistikaametist. Kuna taastuenergia kasutamine hakkas suurenema alles 2000-ndate alguses ja elektri hinna andmed on avalikud 2007. aastast, siis on 2007-2016 suurim võimalik valim.

## 1. TAASTUVENERGIA

Inimtekkelised kasvuhoonegaasi emissioonid põhjustavad Maa pinna soojenemist ennenägematutes kogustes. Kliima soojenemise ohu juured pärinevad kasvuhooneefektist, kuid probleeme tekitab suurenenud kasvuhooneefekt, mis avastati esmakordselt 1896. aastal ja süüdlaseks peeti kivisöe põletamist, mis suurendab CO<sub>2</sub> osakaalu. 1985. aastal jõuti konsensussele, et kliimamuutused seavad ohtu rahvusvahelise üldsuse. Valitsustel soovitati koheselt läbi mõelda oma pikaajagsed strateegiad, et vähendada õhusaastatust ja CO<sub>2</sub> emissioone. 1988. aastal Toronto konverentsil kutsuti üles riike vähendama oma CO<sub>2</sub> emissioone 20% aastaks 2005. (Betsill 2011)

Kliimamuutus on üks inimkonna esmaseid probleeme 21. sajandil. See võib mõjutada tervist, näiteks kuumalainete sageduse ja intensiivsuse, suurenenud üleujutuste ja põuaperioodi tagajärjel. Üldine mõju tervisele on tõenäoliselt negatiivne ja madala sissetulekuga riikide populatsioonid on eriti vastuvõtlikud kahjulike mõjude suhtes. Energiaga seotud potentsiaalselt kõige olulisem keskkonnaprobleem on globaalne soojenemine või kasvuhooneefekt. Kasvuhoonegaaside atmosfääris kasvav kontsentratsioon mõjutab Maa pinnal kiiratavat soojust ja suurendab Maa pinnatemperatuuri. (Panwar *et al.* 2011)

Taastuvad energiaallikad mängivad olulist rolli maailma tulevikus. Energiavarud on jaotatud kolme kategooriasse: fossiilkütused, taastuvad ressursid ja tuumaressursid. Taastuvad energiaallikad on need ressursid, mida saab taaskasutada energia taaskasutamiseks, neid nimetatakse tihti ka alternatiivseteks energiaallikateks. (*Ibid.*)

Maa kliima muutub inimtegevuse, eelkõige fossiilenergia kasutamise tagajärjel. Taastuvate energiaallikate osakaalu suurendamine ülemaailmses primaarenergias on keeruline, kuna on olemas mitmeid odavaid fossiilkütuseid. Kliimateadlased on öelnud, et kivisöe, gaasi ja nafta jätkuva kasutamise tagajärjeks on suurem kliimamuutuste ebastabiilsus. (Sims 2004)

Praegu suureneb fossiilkütuste tarbimine järsult, samuti paraneb elukvaliteet, toimub arenevate riikide industrialiseerimine ja maailma elanikkonna kasv. Juba ammu on leitud, et ülemäärane fossiilkütuste tarbimine ei too kaasa vaid fossiilkütuste varude vähenemise kiirenemist, vaid avaldab märkimisväärset kahjulikku mõju keskkonnale, mille tagajärjel suurenevad terviseriskid ja üleilmse kliimamuutuste oht. Keskkonnaalaste edusammude tegemine muutub kogu maailmas poliitiliselt vastuvõetavaks, eriti arenenud riikides. Ühiskond on võtnud suuna säästvamate tootmismeetodite, jäätmete miinimumi viimise, sõidukite vähendatud õhusaaste, hajutatud energia tootmise, looduslike metsade kaitse ja kasvuhoonegaaside heitkoguste vähendamise poole. (Panwar *et al.* 2011)

Taastuvaid tehnoloogiaid peetakse puhasteks energiaallikateks ja nende ressursside optimaalne kasutamine vähendab keskkonnamõju, toodab minimaalselt jäätmeid ja on jätkusuutlik, tuginedes praegustele ja tulevastele majanduslikele ja ühiskondlikele vajadustele. Taastuvate energiaallikate tehnoloogiad pakuvad võimaluste kasvuhoonegaaside leevendamiseks ja globaalse soojenemise vähendamiseks traditsiooniliste energiaallikate asendamise kaudu. (*Ibid.*)

Uue süsteemi arendamine võimaldab lahendada praegu kõige olulisemad ülesanded, nagu energiavarustuse usaldusväärsus ja orgaanilise kütusejõu paranemine, kohaliku energia ja veevarustuse probleemide lahendamine, kohaliku elanikkonna elatusaseme ja tööhõive taseme tõstmine, tagades kaugemate piirkondade säästva arengu kõrbes ja mägiapiirkondades. Taastuvenergiaprojekti väljatöötamine ja rakendamine maapiirkondades võib luua töövõimalusi ja seeläbi vähendada rännet linnapiirkondadesse. Taastuvenergia hajutamine detsentraliseeritult on üks võimalusi maa ja väikeste energiavajaduste rahuldamiseks usaldusväärsel, taskukohasel ja keskkonnasäästlikul viisil. (*Ibid.*)

Taastuvad energiaallikad on elektritootmise uuenduslikud võimalused ja nende potentsiaal on tohutu, kuna nad võivad põhimõtteliselt ületada maailma energiavajaduse taset, seetõttu on nendel ressurssidel oluline osa tulevases ülemaailmses energiaportfellis, millest enamus keskendub nüüd taastuvate energiaallikate kogumi edendamisele. Olemasolevate tehnoloogiate nagu hüdroenergia ning ka uuemad tehnoloogiad nagu tuule- ja päikeseenergia kasutamine on kiiresti kasvanud, mis on suurendanud usaldust uute tehnoloogiate vastu, vähendanud kulusid ja avanud uusi võimalusi. (Ellabban *et al.* 2014)



## **1.1 Taastuvenergia osakaal Eestis**

Üleminek taastuvenergiale tagab madalamad elektrihinnad, parema elukeskkonna, vähendades kasvuhooonegaaside heitkoguseid ning säästab loodust, tootes jäätmeid minimaalselt. Kasutades taastuvaid energiaallikaid saame kohalikel ressursidel põhineva ja hajusa energiatootmise, mis kindlustab riigi energiajulgeoleku. Rohelisema tuleviku suunas liikumine ja tulevastele põlvedele elamisväärse keskkonna tagamine on kapitalimahukas protsess. Seetõttu on oluline järgida energiasäästu, suurendada investeringuid, arendada infrastruktuuri ja energia salvestamisvõimalusi, tagada energiaturgude tõhusam toimimine ja efektiivsemate lahenduste teostamine. Eesti taastuvenergia laiemale kasutuselevõtmisele aitab kaasa Eesti Taastuvenergia Koda, mis on 2011. aastal loodud taastuvenergia tootjate ja mittetulundusühingute poolt. (Eesti Taastuvenergia Koda 2012)

Alates 2006. aastast on taastuvenergia osakaal energia lõpptarbimises märkimisväärselt suurenenud. Kõige rohkem kasutatakse taastuvenergiast elektritootmisel biomassi ja tuuleenergiat. Hüdroenergia kasutamist Eestis pärssivad riigi geograafilised tingimused ja päikeseenergiast toodavad elektrit pigem mikrotootjad. (Energiamajanduse ... 2017)

Eesti Taastuvenergia Koja andmetel võimaldab Eesti geograafiline asukoht ja tingimused toota kogu vajamineva elektrienergia taastuvatest allikatest. Eestis saaks energiat toota põhiliselt tuuleenergiast, päikeseenergiast, bioenergiast ja hüdroenergiast. Skinest Energia juhatuse liikme Jaak Tuksami sõnul on Eestil igati efektiivne tuuleenergia potentsiaal, võttes arvesse mitte ainult maismaa ja rannikuala tuuleenergiat, vaid ka meretuuleparkide potentsiaali. Eesti päikeseenergia potentsiaali võrreldakse Saksamaaga ehk Euroopa suurima päikeseenergia tootjaga. Bioenergia alla kuulub nii biomassist kui ka biogaasist energia tootmine. Biomassi efektiivselt ära kasutades saaks sellest jätkusuutlikult toota kolmandiku Eesti energiavarudest ning Eestis toodetud biogaasiga oleks võimalik asendada kogu Venemaalt imporditav maagaas. Hüdroenergia ressursside laiemat kasutamist Eestis ei plaanita arendamisega kaasnevate keskkonnaprobleemide tõttu. (Eesti Taastuvenergia koda 2018)

## **1.2 Taastuvenergia eesmärgid Euroopa Liidus**

Euroopa Liidu taastuvenergia poliitika alused pärinevad aastast 1997, kui Euroopa Ülemnõukogu ja Euroopa Parlament võtsid vastu ühenduse strateegia ja tegevuskava käsitleva „Valge Raamatu“.

Sellest ajast peale on tehtud edasiminekuid ja Euroopa Ülemnõukogu kinnitas 2007. aastal siduva eesmärgi, mille kohaselt peab olema taastuvenergia osakaal 20% kogu Euroopa Liidu energiatarbimisest aastaks 2020. Liikmesriigid pidid koostama riiklikud tegevuskavad koos üksikasjalike tegevuskavadega ja meetemetega, mis on võetud ette selleks, et saavutada 2020. aasta taastuvenergia eesmärgid ja arendada energiainfrastruktuuri. (Scarlat *et al.* 2015)

Viimaste aruannete kohaselt on Euroopa Liit teinud märkimisväärse edasiminekuvõrreldes 2005. aastaga ja eesmärkide saavutamist peetakse võimalikuks. Taastuvenergia osakaal moodustas 2012. aastal ligikaudu 19% kogu maailma energia lõpptarbimisest. Üleeuroopalised taastuvad energiaallikad on palju arenenud ja modernsete taastuvate energiaallikate tehnoloogiate panus moodustab 19%-st 10%. (*Ibid.*)

Pikemas perspektiivis on Euroopa Liit loonud ambitsioonika eesmärgi 2050. aastaks luua konkurentsivõimeline vähese CO<sub>2</sub>-heitmega majandus ja saavutada 80-95% kasvuhoonegaasi heitkoguste vähendamine võrreldes 1990. aasta tasemega, selleks, et hoida kliimamuutus alla 2°C. Euroopa Liidus võib taastuvenergia osakaal oluliselt suureneeda, moodustades 2050. aastaks 55-75% kogu energia lõpptarbimisest, seal hulgas 2030. aastaks on vahe-eesmärgiks seatud 27%. (*Ibid.*)

2015. aasta andmetel on taastuvenergia direktiivis Euroopa Liidu liikmesriikidele püstitatud taastuvenergia eesmärgi täitnud 11 riiki: Bulgaaria, Tšehhi, Taani, Eesti, Horvaatia, Itaalia, Leedu, Ungari, Rumeenia, Soome, ja Rootsi. Kõige kaugemal seatud eesmärkidest on Holland, Prantsusmaa, Iirimaa, Suurbritannia ja Luksemburg. Eesti taastuvenergia eesmärgi saavutamine põhineb soojusmajanduses toimival üleminekul maagaasilt ja põlevkivilt biokütusele, kuid täitmata on veel elektri- ja transpordisektori taastuvenergia alaeesmärgid. (Taastuvenergia... 2016)

### **1.2.1 Taastuvenergia eesmärgid Eestis**

Euroopa Liit on loonud eesmärgid taastuvenergia kasutamiseks aastaks 2020 ja 2030, mis kehtivad ka Eestile. 2020. aastaks soovitakse taastuvenergia osakaal lõpptarbimises viia 20%-le. Samaks aastaks on eesmärk vähendada energia lõpptarbimist vähemalt 20% võrra prognoositud tasemest. 2030. aastaks soovitakse energiatarbimist vähendada 27% ning taastuvenergia osakaal Euroopa Liidu üleselt peab olema 27%. (Eesti Taastuvenergia Koda 2016)

2013. aastal algatas Vabariigi valitsus Energiamaajanduse arengukava koostamise aastani 2030 ehk ENMAK 2030. Arengukava eesmärkideks teiste hulgas on taastuvatest energiaallikatest elektri tootmine 50% ulatuses sisemisest elektri lõpptarbimisest ja uute taastuvelektri tootmiseseadmete rajamine avatud elektrituru tingimustel. Samuti toimib vaba, toetusteta ja avatud kütuse- ja elektriturg ning jaotusvõrgus katkestuste keskmine kogukestus minutites tarbimiskoha kohta aastas ei ületa 90 minutit, mis saavutatakse ilma täiendava koormuseta tarbijatariifile. (Energiamaajanduse ... 2017)

Taastuenergia direktiivi 2009/28/EÜ kohaselt peab aastaks 2020 olema taastuenergia osakaal 25% energia lõpptarbimisest. Samuti on ELi üleseks eesmärgiks suurendada taastuenergia osakaalu 27%-ni energia lõpptarbimises aastaks 2030. (Energiamaajanduse ... 2017) Energeetika nõuniku Mart Raamatu (2018) hinnangul on taastuenergia eesmärgid aastaks 2030 saavutatavad, kuid nende saavutatavus oleneb panusest. Paljud investorid liiguvad taastuenergia tootmise suurendamise suunas.

### **1.3 Taastuenergia mõju elektri hinnale**

Suurenev teadlikkus kliimamuutustest tulenevate ohtude vastu on paljudes riikides heaks kiitnud strateegiad üleminekul vähese CO<sub>2</sub>-heitega majandusele. Taastuvate energiaallikate kasutuselevõtt soodustab innovatsiooni, hõlbustab roheline tehnoloogia sektori arengut ja loob uusi turge. Lisaks vähendab kodumaiste taastuvate energiaallikate kasutamine fossiilkütuste impordi. (Blazejczak *et al.* 2014)

Taastuvate energiaallikate toetamine ja kasutamine mõjutab ka majandust, see loob ärivõimalusi taastuenergiasektoris, kuid sellega kaasnevad kulud, mis on seotud taastuenergia kasutuselevõtu toetamisega. Taastuvate energiaallikate kasutamisel kaasnevad täiendavad investeeringud võrreldes teiste elektritootmise tehnoloogiatega. Lisakulude tõttu sõltuvad taastuvad energiaallikad poliitilisest toetusest, mis tähendab tavaliselt kõrgemaid energiahindu. Samuti suurendavad energiahinnad eelkõige energiamaahukaid tööstusharusid. (*Ibid.*)

Viimase kümne aasta jooksul on elektrienergia hinnad Euroopa Liidus suurenenud, kuigi elektrienergia turu avanemisega peaks kaasnema elektrihindade alanemine, siis arvatakse, et hinnatõusu peamiseks põhjuseks on taastuenergiast toodetud elektrienergia kulude kasv. Elisa

Trujillo-Baute, Pablo del Tio ja Pere Mir-Artigues (2017) viisid läbi uuringu, mille eesmärgiks oli analüüsida taastuvenergia mõju jaekaubanduse elektrihindadele Euroopa Liidus. Andmed saadi Eurostatist ning uuriti aastaid 2007- 2013 kaheastmelisel diferentsiaal GMM- meetodil. Teostatud uuringust selgus, et lõpptarbijate hinnad kasvasid märkimisväärselt. 2007.-2013. aastatel kasvasid elektrienergia hinnad Euroopa Liidus eratarbijatele 34% ja tööstustarbijatele 29%. Kuigi taastuvenergia kasutuse mõju on märgatav, ei oma see statistiliselt olulist mõju ning võrreldes teiste muutujatega on selle osakaal väike.

Sisendtariife (*feed-in tariffs*) peetakse kõige efektiivsemaks poliitikaks taasuvenergia kiireks arenguks. Toby Couture ja Yves Gagnon (2010) artiklis jaotati sisendtariifid kahte kategooriasse: need, mille tasu sõltub elektri hinnast ja need, mis on sõltumatud.

Frank Sensfub, Mario Ragxitz ja Massimo Genoese (2008) uuringus analüüsitakse taastuvatest energiaallikatest toodetud elektritarbimise mõju Saksamaa elektriturule aastatel 2001-2006. Saksamaal on taastuvenergia toodang viimastel kümnenditel hoogsalt kasvanud ja seda pideva sisendtariifi tõttu. Vastavalt seadusele peavad Saksamaa võrguettevõtjad ostma taastuvatest energiaallikatest toodetud elektrit tariifide alusel ja sisendtariifide lisakulud peavad lõpuks maksma tarbijad. Kuna tarneettevõtjad peavad taastuvatest allikatest toodetud elektrienergia ostma ette, siis allesjäänud nõudlus elektriturul vastavalt väheneb. Seetõttu on pideva toetustega taastuvenergiast toodetud energia mõju vähendada nõudlust elektriturul. Uuringus analüüsiti toetustega taastuvenergiast toodetud energia mõju hetke elektrituruhindadele Saksamaal. Analüüsist selgus, et taastuvenergia tootmisel on märkimisväärne mõju turuhindadele.

Eesti keskkonnaministeeriumi energeetika nõunik Mart Raamat (2018) ei nõustu väitega, et taastuvenergia osakaal elektri kogutarbimises mõjutab oluliselt elektrienergia hinda Eestis, sest turuhinda ei mõjuta niivõrd Eestis toodetud taastuvenergia. Eesti elektriturgu juhtiv Nord Pool börs põhineb kõige odavamal elektril ja pigem määravad elektri hinna Norra ja Rootsi hüdroressursid. Siseriiklikult on Eesti nii väike tootja, et siin toodetud taastuvenergia ei mõjuta elektri hinda turul.

Kuna käesolevas töös otsitakse seost taastuvenergia osakaalu ja elektrienergia hinna vahel Eestis, siis antakse järgnevas peatükis ülevaade Eesti elektrituru kohta. Selgitatakse, kuidas Eesti elektriturg toimib ning tutvustatakse turgu valitsevat börsi. Samuti tuuakse välja, millest koosneb elektriarve ja kuidas kujuneb elektrite hind.

## 2. ELEKTRITURG EESTIS

Eesti energiasektori arengut on mõjutanud mitmed muudatused Maailma energeetikas: kütusehindade tõus maailmaturgudel, energiaturgude liberaliseerimine, EL heitmekaubanduse käivitumine, energia tarneprobleemide süvenemine, energiajulgeoleku temaatika tõusmine ja taastuvenergeetika kiire areng. (Energiamajanduse...2018 )

Esimesed tööstuslikud elektrijõujaamad Eestis ehitati 19. sajandi lõpus ja 20. sajandi alguses. Pärast 1920. aastat hakkasid linna elektrivõrgud arenema tööstuslike elektrijaamade baasil. 1963. aastal alustati ettevalmistusi ehitamiseks Eesti elektrijaama ning 1973. aastal saavutas elektrijaam oma projektvõimsuse. Põlevkivi kütusena kasutatav Eesti elektrijaam on maailma suurim põlevkiviküttel töötav elektrijaam. (Energeetika... 2018)

Esimene taasiseseisvunud Eesti elektrimajandust reguleeriv seadus, energiaseadus, võeti vastu Riigikogus 1997. aastal. Seadusega reguleeriti kütuse- ja energiaturgu ning selle riiklikku järelevalvet. 2003. aastal võeti vastu elektrituruseaduse esimene versioon, millega kehtestati esimest korda tururegulatsioon. 2007. aastal said Eesti tootjad võimaluse müüa oma toodangut enda valitud turuosalisele kahepoolselt kokkulepitud hinnaga. (Elering 2015)

Enne elektrituru avamist 2013. aastal kuulus Eesti elektrisüsteem ühendussüsteemi BRELL, mille moodustavad Eestiga vahelduvvooluliinide kaudu ühendatud Läti ja Venemaa ning nende naabrid Leedu ja Valgevene. Alates 2006. aastast on alalisvoolühendus ka Eesti ja Soome vahel tänu merekaablile EstLink 1, millel oli ka sümboolne tähendus ühendada Balti riikide ja Põhjamaade elektrisüsteeme. (*Ibid.*)

2020. aastaks seatud Eesti elektrimajanduse arengukava eesmärk, mis tagaks tarbijatele põhjendatud hinnaga energiavarustuse, avas 2013. aastal elektrituru Eestis ning elektrihinda hakkas määrama nõudlus ja pakkumine elektriturul. Edaspidi sai tarbija valida peamiselt kolme variandi vahel: börsihinnast sõltuv pakett, fikseeritud hinnaga pakett või müüjat valimata, üldteenuse korras (Elering 2012). Selleks, et paraneks kaugkütte jätkusuutlikkus, toimuvad üleminekud kallimatelt fossiilkütustelt odavamatele kodumaistele kütustele ehk gaasi ja põlevkivi hakatakse asendama puuhakke, pelletite ja turvasega. Suurematele elektritarbijatele avati elektriturg juba 2009. aastal. Elektrituru avanemisega kujuneb elektrienergia hind Põhja- ja

Baltimaade ühisel elektriturul tootjate ja tarbijate nõudluse tasakaalupunktis. (Energiamajanduse ... 2017)

2017. a. aprilli seisuga on elektrimüüjatega elektri ostu-müügilepingu sõlminud üle 80% kliente, mis tõestab elektrituru käivitumist ootuspäraselt ja elektritarbijate elektrituru võimalustega kohanemist. (*Ibid.*)

Kuigi Eesti avatud elektriturul määrab hinna nõudlus ja pakkumine, siis on veel mitmeid tegureid, mis mõjutavad elektri hindu ja elektriarvet. Need tuuakse välja järgnevas peatükis.

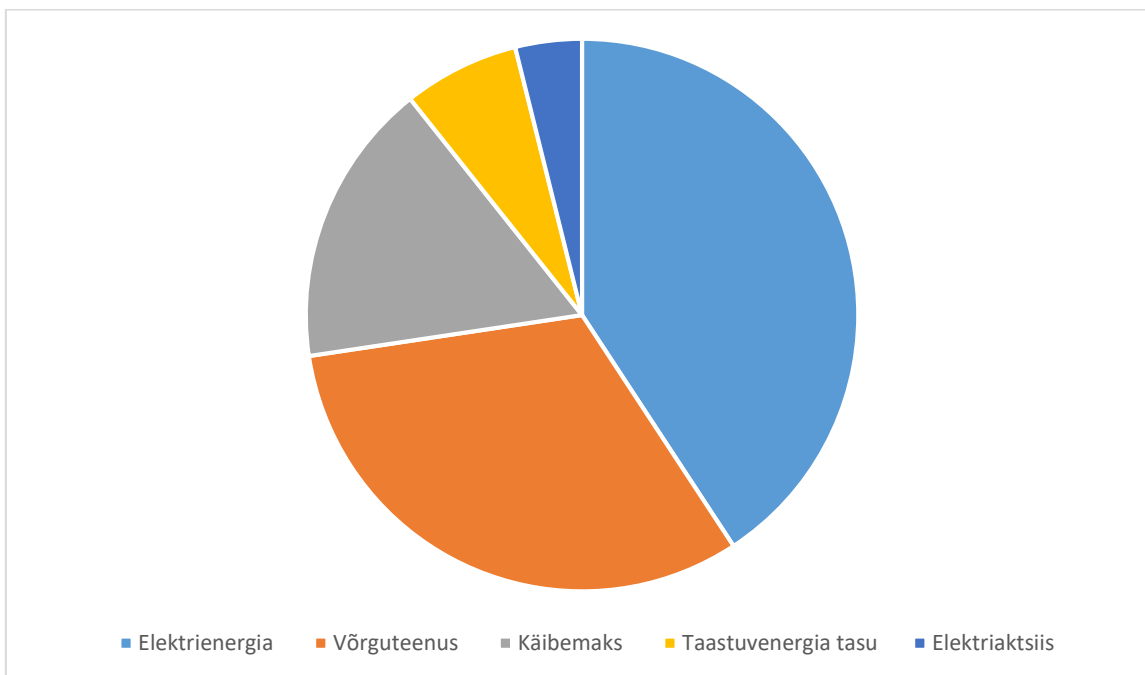
## **2.1 Elektriarve ja elektri hinna kujunemine**

Avatud elektriturul kujuneb elektrienergia hind nõudluse ja pakkumise suhtena. Nõudluse määrab tarbija oma elektritarbimisega. Pakkumise panevad paika turul olemasolevad elektriühendused ja piisavad tootmisvõimsused. Samuti mõjutavad hinna kujunemist ilmastikuolud ning Kliimapoliitika ja Euroopa Liidu heitmekabanduse reeglid. (Elektri ... 2018)

Ilm mõjutab kõige enam hüdroelektrijaamasid, kui sademeid on rohkem, siis toodetakse rohkem energiat ning elektri hind langeb. CO<sub>2</sub> heitme hind mõjutab kõige rohkem põlevkivist elektri tootmist, mida kõrgem on heitme hind, seda suurem on ka lõpp-produkti ehk elektri hind. Samuti on seotud elektri hind ja kütuse hind, mida suurem on kütuse maksumus, seda suurem on elektri hind. Nõudlus elektri järele võib kasvada ka maailmamajanduse kasvuga ning majanduskasvu aeglustusega võib elektri hind langeda. (Mis mõjutab... 2018)

Avatud elektriturul ja börsil on peamisteks elektri hinna mõjuriteks piisavate tootmisvõimsuste ja elektriühenduste olemasolu tagamiseks elektri liikumine siseriiklikult ja naaberriikidega. Seega on kõige olulisemad elektrienergia hinna kujundajad ülekandevõimsused, lisanduvad tootmisvõimsused regioonis, hüdroenergia tase ja Euroopa Liidu heitmekaubanduse reeglid. Hüdroenergia tasemel on oluline mõju, kuna hüdroenergia on kõige odavam elektrienergia. Ka varasemalt 2011. aasta sügisel on Norra ja Rootsi hüdroressursside kõrge tase kaasa toonud elektri hinna märgatava languse Põhjamaade hinnapiirkonnas. (Elering 2012)

Elektriarve kujuneb kolmest peamisest komponendist: elektrienergia, võrguteenus ning riikilikud maksud ja tasud. Nende osakaalud varieeruvad olenevalt kliendirühmast, paketist ja tarbimismahust, joonisel 2.1.1 on välja toodud Elektrilevi klientide keskmisel põhinevad hinnakomponendid. Maksude ja tasude alla kuuluvad riigi kehtestatud taastuenergia tasu, elektriaktsiis ja käibemaks. (Elektrilevi 2018)



Joonis 2.1.1 Elektrilevi klientide keskmisel põhinev hinnakomponentide jagunemine  
Allikas: Elektrilevi Võrguteenus elektrikuludes

Võrgutasusid arvutatakse ühtse kaalutud keskmise kapitalikulul põhineval meetodil, mille töötab välja Konkurentsiamet. Meetodikat rakendades kooskõlastab ja analüüsib Konkurentsiamet võrguettevõtjate võrgutasud. Meetodika on Konkurentsiameti kaalutusõiguse kasutamist tutvustav dokument, millel on haldusväliselt informatiivne tähendus. (Konkurentsiamet 2018)

Vastavalt elektrikpaketele võib elektrihinda mõjutada ka börsihind. Kui on valitud tunnipõhise tariifiga pakett, sõltub elektriarve igal tunnil tarbitud elektrikogusest ja sellel tunnil kehtivast börsihinnast. Kui on valitud muutuv või kombineeritud pakett, sõltub elektrihind kaalutud keskmisest börsihinnast. Kui on valitud kindel pakett, on elektri kilovatt- tunni hind kokkulepitud ajaks fikseeritud. (Elektrituru... 2018)

### **2.1.1 Taastuenergia tasu**

Taastuenergia tasu eesmärk on toetada taastuvatest allikatest või tõhusa koostootmise režiimil elektrienergia tootmist. Tasu maksumus sõltub järgneval aastal taastuvatest energiaallikatest toodetud elektrienergia koguse hinnangust ja võrguteenuse müüginahaku prognoosist. (Elektrilevi 2018)

Üldiselt aitab taastuenergia toetus edendada taastuenergia kasutuselevõttu, tehnoloogia kulude ja konkurentsivõime parandamine, kodumaise tootmise jätkusuutlikkuse tõstmine ja turuosa kasvatamine liikudes säästvama ja turvalisema energiasüsteemi suunas. Poliitikat tuleks regulaarselt hinnata, kuna kaasatud on rahaline toetus. Üldiselt hinnatakse tõhususe, efektiivsuse, omakapitali, institutsioonilise teostatavuse ja replikatsioonivõime indikaatoreid. (IRENA 2012)

Elektrituruseaduse paragrahvis 59<sup>2</sup> on märgitud, et taastuenergia toetust rahastab tarbija, arvestades võrguteenuse tarbimise mahtu ja otseliini kaudu tarbitud elektrienergia kogust. Iga aasta hinnangulise toetuste rahastamiseks kuuluva summa avaldab põhivõrguettevõtja oma veebilehel ning selle alusel määratakse aasta toetuse rahastamisele kulu suurus ühe kilovatt-tunni kohta. (Elektituruseadus)

Energeetika nõuniku Mart Raamatu (2018) sõnul on seadusandlus pidevas muutuses ja praegu on fikseeritud toetus taastuenergiale *feed-in* tariifi näol. Tulevikus hakkab riik korraldama vähempakkumisi taastuenergia tootmise toetamiseks. Arvestades trendide ja turutoimimisega, võib eeldada, et vajadus taastuenergia toetuseks hakkab kaduma, sest turud jõuavad konkurentsi ilma toetuseta. Praegu tarbija jaoks midagi ei muutu, sest tarbija makstav taastuenergia toetus jääb siiski alles. Samas tulevikus on pigem oodata tarbija taastuenergimaksu vähenemist.

### **2.1.2 Elektriaktsiis**

Elektriaktsiisi koguvad tarbitud kilovatt-tundide alusel võrguettevõtjad ja edastavad riigile (Elektrilevi 2018). Elektrienergia muutub maksustatavaks alates selle edastamisest tarbijale või elektrienergia ise tarbimiseks kasutusele võtmisel. Aktsiisimaksud kohustust ei teki seni, kuni elektrienergiat vaid edastatakse võrkude vahel ja võrgusiseselt, samuti ei maksustata aktsiisiga võrgukadusid. (Maksu- ja tolliamet 2016)



Vastavalt Elektriturseadusele §71 võtab võrguettevõtja võrgutasusid võrguga ühendamise eest ehk liitumistasu, tingimuste muutumise tasu, võrguühenduse kasutamise tasu, edastamistasu, võrguteenustega ostseselt seotud lisateenuste ja võrguga võetava ning võrku antava reaktiivenergia eest. Võrgutasu hind kujuneb Euroopa parlamendi ja nõukogu määrustel ja direktiividel. Võrgutasu katab õigusakti ja tegevusloa kohustused ja tagab tulukuse investeeritud kapitalilt. (Elektriturseadus)

## **2.2 Nord Pool elektribörs**

Kuna üheks vabaturu kauplemise võimaluseks on osaleda elektribörsil, siis 2013 aastal elektrituru avamisega otsustas Elering süsteemihaldurina liituda Põhjamaades tegutseva elektribörsiga Nord Pool Spot. Elektribörs nõuab igapäevast kauplemistegevust ning kauplejateks on eelkõige tootajad, jaemüüjad, kauplejad ja suurtarbijad. (Elering 2012)

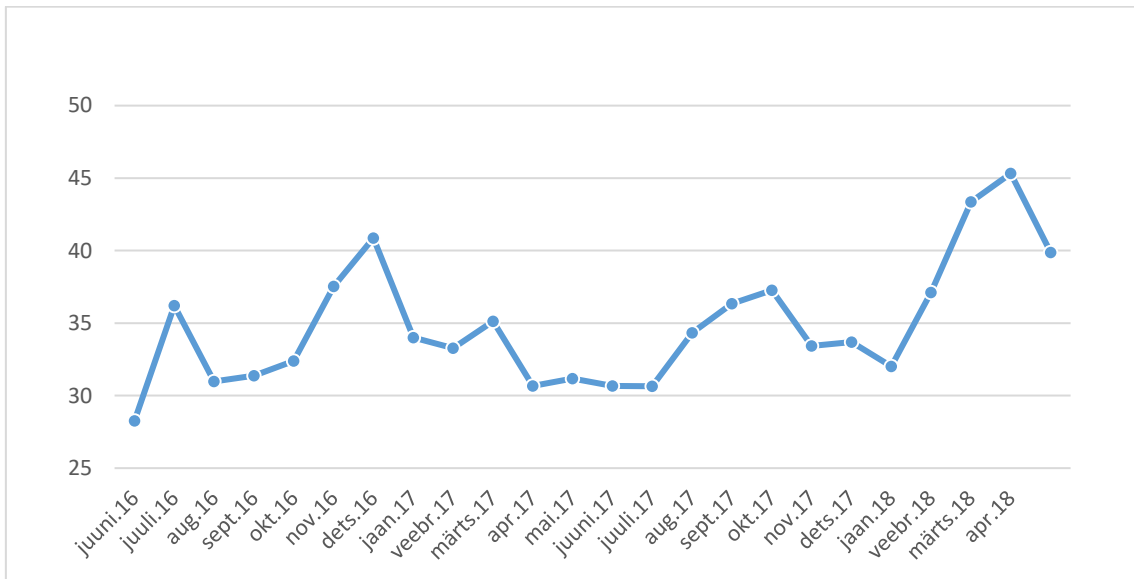
Nord Pool (NP) on üks maailma suurimaid elektribörse, mis tegutseb peale Eesti veel Põhjamaades, Saksamaal, Leedus ja Suurbritannias. Elektribörsi eesmärgiks on pakkuda võrdset võimalust turuosalistele toodangu müügiks või ostmiseks ning tagada läbipaistev ja turupõhine hind. (Nord... 2018) Kuna aastate jooksul on elektrienergia tootmine ja ülekandevõime arenenud, siis on riikidevaheline elektrienergia edastamine levinud (The power... 2018).

1990. aastate alguses kadusid Põhjamaade elektriturud ja moodustasid koos ühise Põhjamaade turu. Aastatel 2010- 2013 läksid Eesti, Läti ja Leedu elektriturud üle vabale konkurentsile ja ühinesid Nord Pooli turuga. Üleminek avatud elektriturule võeti vastu, et luua tõhusam turg, riikide vaheline ülekandevõimsus ja turvalisem energiavarustus. Olemasolevat võimsust saab suuremas piirkonnas tõhusamalt kasutada kui väikeses piirkonnas ja integreeritud turud suurendavad tootlikkust ja suurendavad tõhusust. Nord Pool elektriturg hõlmab suuri osi Euroopas ning kasutusel on mitmed erinevad energiaallikad: hüdro-, termiline-, tuuma-, tuule- ja päikeseenergia. See omakorda tagab turu likviidsuse. (The power... 2018)

### **2.2.1 Nord Pool börsi elektrihind**

Elektri hind börsil kujuneb elektritootjate info põhjal, mis hinnaga nad järgmise päeva igal tunnil elektrit toota saavad. Hind on muutlik ja sõltub elektrijaamade või kaabli hooldus- ja avariitõdedest, riikidevahelisest ülekandevõimsusest, üldisest majanduskliimast ja ilmast. (Elektrituru... 2018)

Nord Pool päevapõhine turg on oksjonil põhinev vahetus elektrienergia ostmiseks. Turg saab pakkumisi nii tootjatelt kui ka tarbijatelt ja arvutab nende põhjal hinna, mis tasakaalustab vastaspooli. Igal hommikul saadavad liikmed oma tellimused eelseisva päeva enampakkumiseks. Iga tellimus täpsustab mahu MWh/h, mida liige soovib osta või müüa konkreetse hinnataseme (EUR/MWh) kohta iga järgmise tunni kohta. (Price... 2018)



Joonis 2.2.1.1 Nord Pool kuu keskmised hinnad EUR/MWh  
Allikas: Nord Pool koduleht

Joonisel 2.2.1.1 on välja toodud graafik Nord Pool elektrihindadest, et illustreerada hindade muutlikkust. Kuna börsi hind pole fikseeritud, siis muutub hind iga tund ja seetõttu on hind muutlik nii päeva kui kuu arvestuses. Siiski on näha, et hind on pigem tõusutrendis.

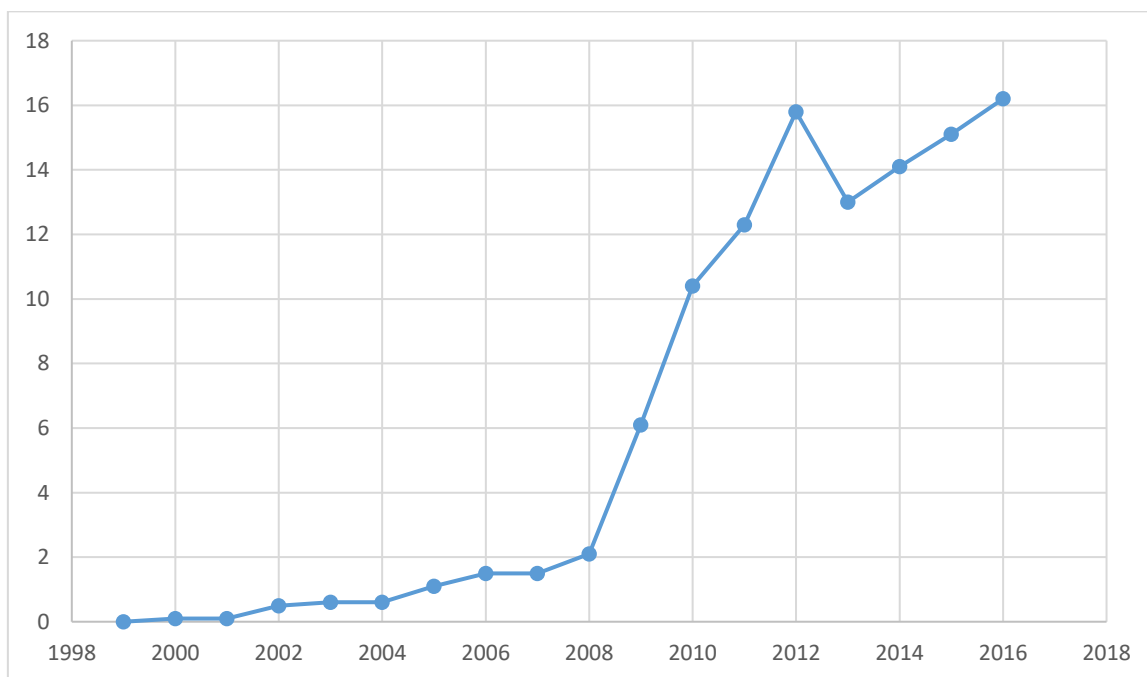
Järgnevalt vaadeldakse elektrienergia hindu Eesti kodutarbijale ja samuti uuritakse taastuenergia osakaalu koguelektritarbimises, et leida andmed nende parameetrite vahelise seose analüüsiks.

### 3. TAASTUVENERGIA OSAKAAL JA ELEKTRI HINNAD EESTIS

Käesoleva peatüki eesmärk on vaadelda taastuvenergia osakaalu kogu elektritarbimises ja elektrienergia lõpptarbimise hinda kodutarbijale ning analüüsida nende kõikumisi. Samuti leitakse analüüsiks sobivad andmed ja ajaperiood.

Joonisel 3.1. on taastuvenergiast toodetud elektrienergia osatähtsus elektri kogutarbimises protsentides aastatel 1999-2016. Andmed on sekundaarsed ning pärinevad Eesti Statistikaametist. Jooniselt on näha, et taastuvenergia osakaal liigub üldiselt tõusutrendis. 2012. aastal toimub võrreldes eelmiste aastatega suurem tõus ning sellele järgneb 2013. aastal langus.

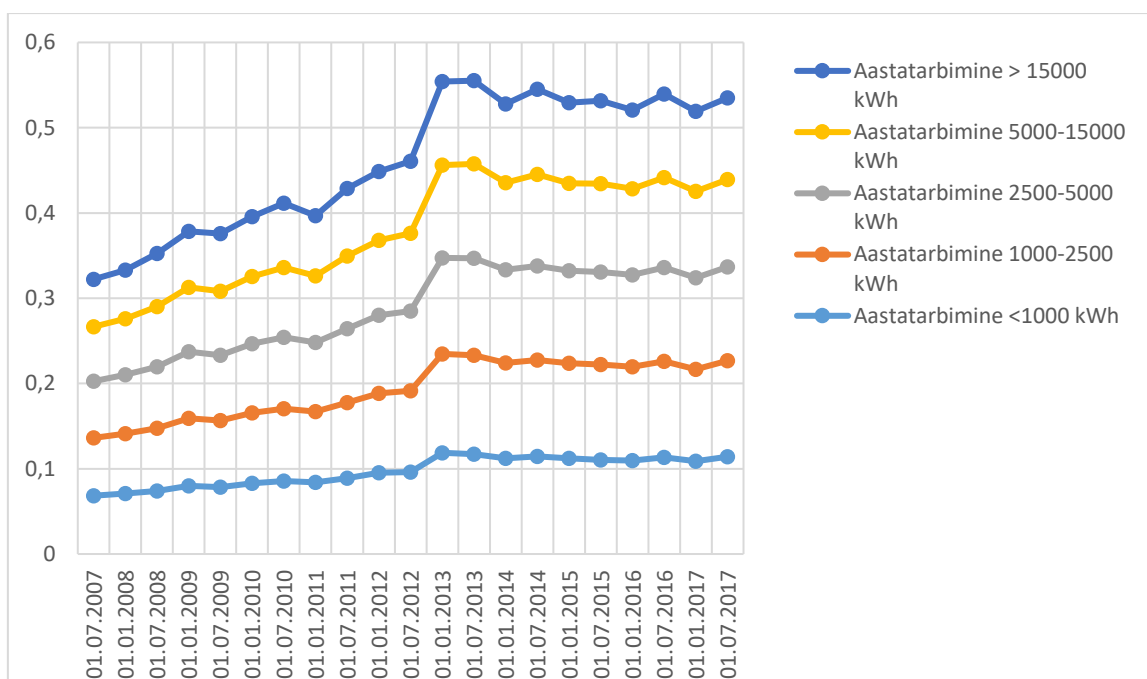
Taastuvenergia aastaraamatus on 2012. aasta tõusu ja 2013. aasta langust seostatud hakkepuidu põletamisega Narva elektrijaamas. 2012. aastal kasvas taastuvenergia toodang tänu sellele, et Narva elektrijaamades põletati massiliselt hakkepuitu ning 2013. aastal lõpetati põletamine, mis tõi kaasa märgatava languse. (Eesti Taastuvenergia koda 2013)



Joonis 3.1. Taastuvenergiast toodetud elektri osatähtsus elektri kogutarbimises protsentides, 1999-2016 aastatel

Allikas: Eesti Statistikaamet, tabel KE36

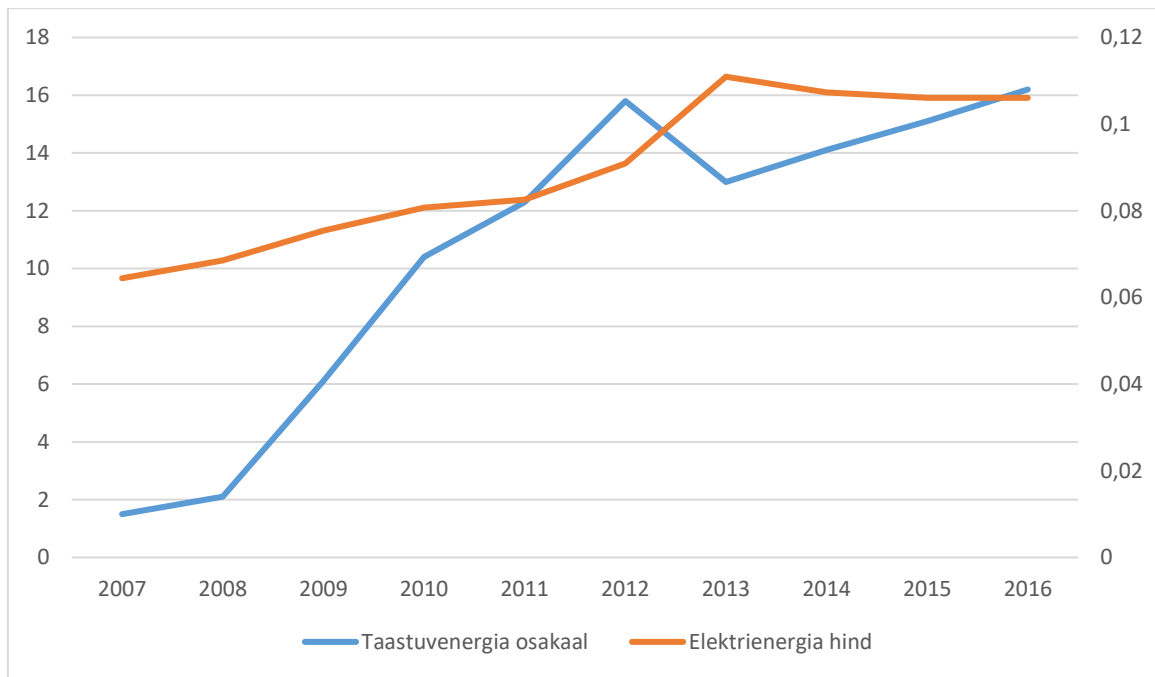
Joonisel 3.2 on toodud Elektrienergia lõpptarbimise hind kodutarbijale tarbimiskoguse järgi aastatel 2007-2017 poole aasta kohta, mõõtühikuks on eurot kilovatt- tunni kohta ja hinnad ei sisalda käibemaksu. Andmed on sekundaarsed ja pärinevad Eesti Statistikaametist. Tarbimiskogused on jaotatud viite rühma ning mida suurem on elektritarbimine, seda väiksem on elektrihind. Kõige rohkem on kõikumisi väikseimas aastatarbimise rühmas ja kõige stabiilsem on suurim aastatarbimise rühm. Jooniselt on näha, et suurim tõus hinnas toimus 2013. aastal, kui elekter läks vabaturule. Avatud konkurentsil hakkas hinda määrama nõudluse ja pakkumise tasakaal.



Joonis 3.2. Elektrienergia lõpptarbimise hind kodutarbijale tarbimiskoguse järgi 2007-2017 aastatel

Allikas: Eesti Statistikaamet, tabel KE34

Selleks, et analüüsida taastuvenergia osakaalu ja elektrihinna sõltuvust piiritleti andmeid ning arvutati elektrihinna keskmised aastate ja tarbimiskoguste kohta. Joonisel 3.3. on välja toodud taastuvenergiast toodetud elektri osakaal kogutarbimises ja arvutatud keskmine elektrienergia lõpptarbimise hind kodutarbijale. Detailed töös kasutatavad andmed on välja toodud töö lõpus, lisa 2.



Joonis 3.3. Taastuenergiast toodetud elektri osakaal kogutarbimises ja keskmine elektrienergia lõpptarbimise hind kodutarbijale

Allikas: autori koostatud, kasutades Statistikaameti andmeid

Jooniselt 3.3. on näha, et nii taastuenergiast toodetud elektrienergia kui ka keskmine elektrihind on jõudnud 2012.-2013. aastal tippu ning seejärel langenud ja 2016. aastaks liiguvad uuesti tippu poole.

Saadud andmete põhjal analüüsitakse järgmises peatükis taastuenergia osakaalu ja elektrihinna vahelist seost ning selgitatakse välja, kas taastuenergia osakaal kogu elektritarbimises mõjutab elektrienergia hinda kodutarbijale.

## 4. ELEKTRIENERGIA HINNA MÕJUTATUS TAASTUVENERGIA OSAKAALUST

Regressioonimudeli kuju valikul uuriti graafilist seost taastuvenergiast toodetud elektri osatähtsuse ja elektrienergia lõpptarbimise hinna vahel. Lisas 1 toodud jooniselt on näha, et taastuvenergia osakaalu ja elektri hinna vahel on lineaarne seos. Samuti toetab lineaarse mudeli valikut see, et taastuvenergia andmed on antud osakaaluna. Seega võetakse kasutusele lineaarne mudel.

Püstitatud regressioonimudel:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X + u_i, \text{ kus}$$

Y- Keskmine elektrienergia lõpptarbimise hind kodutarbijale;

X – Taastuvenergiast toodetud elektri osatähtsus elektri kogutarbimises;

$\beta_0$  – mudeli vabaliige, mis näitab, milline on elektrihind juhul, kui taastuvenergia osakaal on null;

$\beta_1$  – mudeli parameeter, mis näitab elektrihinna muutust, kui taastuvenergia osakaal muutub ühe ühiku võrra;

$u_i$  – mudeli vabaliige.

Selleks, et uurida taastuvenergia osakaalu mõju elektri hinnale, kasutati vähimruutude meetodit programmis Gretl. Viidi läbi regressioonimudeli parameetrite hindamine, kus sõltuvaks tunnuseks oli elektrienergia hind ja sõltumatuks taastuvenergia osakaal. Saadi mudel:  $Y = 0,0602923 + 0,00272202x + u_i$ , mis on välja toodud lisas 3. Mudelist saab tõlgendada, et kui taastuvenergia osakaal tõuseb ühe ühiku võrra, siis elektrihind tõuseb 0,00272202 ühiku võrra ning kui taastuvenergia osakaal on null, siis keskmine elektrihind on 0,0602923 senti. Leitud parameetri hinnangu olulisuse tõenäosus näitab, et taastuvenergia osakaalu parameeter on statistiliselt oluline.

Mudeli statistilise olulisuse kontrollimiseks kasutatakse F-testi. Saadud mudeli statistilist olulisust näitab F-statistik ning selle olulisuse tõenäosus ( $p = 0,001206$ ), välja toodud ka lisas 3. Kuna empiiriline väärtus ületab kriitilise,  $p = 0,001206 < 0,05$ , siis võetakse vastu sisukas hüpotees: mudel on statistiliselt oluline.

Järgnevalt uuriti, kas saadud mudeli puhul kehtivad klassikalised regressioonimudeli eeldused. Eeldusteks on: juhuslike liikmete keskvärtus on null; juhuslike liikmete dispersioon on konstantne; juhuslikud liikmed ei korreleeru omavahel; juhuslikud liikmed ei korreleeru seletatava tunnusega; juhuslikud liikmed alluvad normaaljaotusele.

Klassikalise lineaarse regressioonimudeli eelduseks on, et juhuslike liikmete keskvärtus on null, mis on täidetud, sest mudeli hindamisel on mudelisse lülitatud ka konstant ja selle tõttu on eeldus automaatselt täidetud ning eraldi seda testida pole vaja.

Järgnevalt testiti, kas juhuslike liikmete dispersioon on konstantne ehk homoskedastiivne või dispersioon on muutuv ehk heteroskedastiivne. Heteroskedastiivsuse testimiseks viidi läbi White'i test. Lisast 4 on näha, et mudeli teststatistikule vastav olulisuse tõenäosus on 0,220775. Kuna testi olulisuse tõenäosus on  $0,220775 > 0,05$ , siis võetakse vastu nullhüpotees: heteroskedastiivsus puudub, seega on juhuslike liikmete dispersioon konstantne ja mudelit iseloomustab heteroskedastiivsus.

Klassikalise lineaarse regressioonimudeli eelduseks on autokorrelatsiooni puudumine. Durbin-Watsoni testiga testiti, kas juhuslike liikmete kovariansioon on null ehk nad ei korreleeru omavahel. Mudelis (lisa 3) on näha Durbin-Watsoni statistiku empiiriline väärtus  $DW = 1,331931$ . Leiti Durbin-Watsoni statistiku alumine ja ülemine kriitiline väärtus, kus ülemine oli  $dL = 0,8791$  ja alumine  $dU = 1,3197$ , mis on nähtavad ka lisa 5. Kuna  $1,331931 > 1,3197$  ehk  $DW > dU$ , siis võtame vastu nullhüpoteesi: autokorrelatsioon puudub.

Eksogeensust ehk juhusliku liikme mittekorreleeruvust seletava tunnusega ei esine ning pole võimalik leida dispersiooni inflatsiooni tegurit, kuna mudelis on vaid üks sõltumatu tunnus.

Järgmiseks testiti, kas juhuslikud liikmed alluvad normaaljaotusele. Kui juhuslikud liikmed alluvad normaaljaotusele, siis parameetrite hinnangud on mõjusad. Jääkliikmete normaaljaotuse kontrollimiseks viidi läbi erinevaid normaaljaotuse teste, mis on nähtavad lisa 6. Jarque-Bera testi tulemuseks oli  $JB = 0,266183$ ,  $p = 0,875385$  ja Doornik-Hanseni statistiku väärtus 0,0715, olulisusetõenäosusega  $p = 0,890569$ . Kuna saadud testides  $p > 0,05$ , siis jääkliikmed alluvad normaaljaotusele.

Eelpool välja toodud testidest lähtudes on antud mudeli puhul kõik regressioonimudeli klassikalised eeldused täidetud.

Veel viidi läbi regressiooni dispersioonanalüüs ANOVA, kus otsiti vastust küsimusele, kas elektrihinna varieerumine on tingitud taastuvenergia osakaalu varieeruvusest. Testi tulemused asuvad lisa 7. Kuna f-testi olulisuse tõenäosus  $p = 0,0012$ , siis tähendab, et olulisuse nivool 0,01

on mudel statistiliselt oluline ja elektri hinna varieerumine on tingitud taastuenergia osakaalust. Samuti andis test mudeli hajuvuse hinnangu. Determinatsioonikordajaks  $R^2$  tuli 0,749 ehk saadud mudel suudab ära kirjeldada 74,9% kogu elektri hinna hajuvusest.

Kointegratsioon esineb, kui mõlemad aegread on mittestatsionaarsed, kuid nende lineaarne kombinatsioon on statsionaarne. Kointegratsiooni testimiseks kasutati Engle-Grangeri testi, mille tulemused asuvad lisas 8. Testi tulemusena kointegratsioon puudub, kointegratsiooni regressiooni jääkliikmed on mittestatsionaarsed, vastava ühikjuure testiga  $p=0,3018$ . Kuna mõlemad aegread on mittestatsionaarsed, siis on tegemist näiva regressiooniga.

Näiva regressiooni kontrollimiseks viidi läbi lineaarse regressioonimudeli hindamine 1. järku diferentside vahel, kus sõltuvaks tunnuseks on elektri hinna 1. järku diferents ja sõltumatuks taastuenergia osakaalu 1. järku diferents. Saadi mudel  $\Delta y_t = 0,00650283 - 0,00115071x_t + u_t$ , kus  $y$  on elektri hind ja  $x$  taastuenergia osakaal, mudeli parameetrid on nähtavad lisas 9. Mudeli F-testi  $p=0,340983$  ehk mudel ei ole statistiliselt oluline, samuti pole oluline taastuenergia parameeter. Seega esineb näiv regressioon.

Järgnevalt esitatakse teostatud analüüside põhjal järeldused. Vähimruutude meetodiga ilmnis, et taastuenergia osakaalul on oluline mõju elektri hinnale ehk sissejuhatuses püstitatud hüpotees: taastuenergia osakaal elektri kogutarbimises mõjutab oluliselt elektrienergia hinda Eestis on tõene. Järgnevalt testiti regressioonimudeli klassikaliste eelduste täidetavust ning selgus, et eeldused on täidetud. Seejärel selgus regressioonimudeli dispersioonanalüüsisit, et elektrienergia hinna varieeruvus on tingitud taastuenergia varieeruvusest. Kuna Engle-Grangeri testist selgus, et mõlemad aegread on mittestatsionaarsed, siis viidi läbi regressioonimudeli hindamine esimest järku diferentside vahel. Viimasest testist selgus, et mudel pole statistiliselt oluline ning tegemist on näiva regressiooniga ehk sissejuhatuses püstitatud hüpotees: taastuenergia osakaal elektri kogutarbimises mõjutab oluliselt elektrienergia hinda Eestis ei ole tõestatud.

Antud analüüside abil ei õnnestunud tõestada seose olemasolu taastuenergia osakaalu ja elektrienergia hinna vahel. Põhjus, miks seost ei õnnestunud tõestada võib olla selles, et seos puudub, kuid on ka võimalik, et valim oli liiga väike või mudeli kuju vale.

Oletades, et seos Eestis taastuenergia osakaalu ja elektrienergia hinna vahel puudub, võib leida sellele mitmeid põhjuseid. Üks neist on esimeses peatükis välja toodud energeetika nõunik Mart



Raamatu väide, et turuhinda ei mõjuta niivõrd Eestis toodetud taastuvenergia. Nord Pool elektri hinna määravad pigem Norra ja Rootsi hüdroressursid. Siseriiklikult on Eesti nii väike tootja, et siin toodetud taastuvenergia ei mõjuta elektri hinna turul. Sellest saaks järeldada, et taastuvenergia osakaalu kasv koguelektritarbimises ei too tarbijale kaasa elektri hinna suurenemist. Samas võib taastuvenergia osakaal mõjutada taastuvenergia tasu ning see omakorda elektriarvet tarbijale. Kuigi energeetkanõuniku sõnul võib eeldada, et vajadus taastuvenergia toetuseks hakkab kaduma, sest turud jõuavad konkurentsi ilma toetuseta, siis tarbija makstav taastuvenergia toetus jääb siiski alles. Samas tulevikus on pigem oodata tarbija taastuvenergiamaksumaksu vähenemist.

## KOKKUVÕTE

Alates 2013. aastast on Eestis avatud elektriturg, kus hind kujuneb nõudluse ja pakkumise suhtena. Nõudluse määrab tarbija, kuid pakkumist mõjutab piisavate tootmisvõimsuste ja elektriühenduste olemasolu, samuti ilmastikuolud, Euroopa Liidu heitmekaubanduse reeglid ja kliimapoliitika. Elektriarve sisaldab aga peale elektrienergia tasu veel võrguteenuseid ning riiklikke makse ja tasusid, mis omakorda sisaldavad taastuvenergia tasu, elektriaktsiisi ja käibemaksu. Kuna üheks vabaturu kauplemise võimaluseks on osaleda elektribööril, siis liitus Eesti 2013. aastal Nord Pool Spot börsiga. Käesolevas bakalaureusetöös keskenduti taastuvenergia osakaalu ja elektrienergia hinna vaheliste seoste uurimisele Eestis aastatel 2007-2016. Esimeses peatükis käsitletud varasemad uuringud olid erinevatel seisukohtadel. Uuringus Euroopa Liidu riikide andmetega selgus, et seos pole piisavalt oluline, samas uuringus Saksamaa andmetega selgus, et seos on oluline.

Töö peamine eesmärk oli välja selgitada elektrienergia hinna mõjutatus taastuvenergia osakaalust Eestis, võimaldamaks sellest järeldada taastuvenergia osakaalu suurenemisega kaasnevaid mõjusid elektritarbijale. Töös otsiti vastuseid järgmistele küsimustele:

1. Kuidas on muutunud taastuvenergia osakaal läbi aja?
2. Mis kujundab elektrienergia hinda?
3. Millises seoses on taastuvenergia osakaal ja elektrienergia hind?

Leiti vastused uurimisküsimustele ja antud töö eesmärk sai täidetud. Selgus, et taastuvenergiast toodetud elektri osakaal elektri kogutarbimises on viimase aastakümnega oluliselt kasvanud ning liigub üldiselt kasvutrendis.

Sissejuhatuses püstitati ka hüpotees: taastuvenergia osakaal elektri kogutarbimises mõjutab oluliselt elektrienergia hinda Eestis. Hüpoteesi kontrollimiseks ja seose välja selgitamiseks viidi läbi regressioonimudeli parameetrite hindmine, kus sõltuvaks tunnuseks oli elektrienergia hind ja sõltumatuks taastuvenergia osakaal.

Lõplik mudel jäi kujule:

$$Y=0,0602923+0,00272202x+u_i \quad R^2=0,749 \\ (0,00660994) (0,000556416) \quad n=10$$

Antud mudeli puhul kontrolliti mudeli kuju õiget valikut, mille kohaselt on tegemist lineaarse mudeliga. Vähimruutude meetodil saadud hinnatud mudeli näitajad on toodud lisas 3. Saadud mudel on statistiliselt oluline, samuti on statistiliselt oluline, ( $p < 0,05$ ) 95% usaldusnivool, muutuja parameeter. Saadud mudel suudab kirjeldada 74,9% kogu sõltuva tunnuse (elektri hinna) hajuvusest,  $R^2 = 0,749$ .

Kontrolliti regressioonmudeli klassikaliste eelduste täidetust ehk juhuslike liikmete keskväärtuse võrdumist nulliga; juhuslike liikmete dispersiooni konstatantsust; juhuslike liikmete mitte korreleerumist omavahel; juhuslike liikmete mitte korreleerumist seletava tunnusega; juhuslike liikmete allumist normaaljaotusele. Vastavalt testidele olid kõik regressioonmudeli klassikalised eeldused täidetud.

Et välja selgitada elektri hinna varieeruvus taastuenergia osakaalu varieeruvusest, viidi läbi regressiooni dispersioonanalüüs. Analüüsist selgus, et elektri hinna varieerumine on tingitud taastuenergia osakaalust ja saadud mudel suudab ära kirjeldada 74,9% kogu elektri hinna hajuvusest. Kointegratsiooni testimiseks kasutati Engle-Grangeri testi, mille tulemusena kointegratsioon puudus ja aegread olid statsionaarsed.

Viimasena viidi läbi regressioonmudeli hindamine esimest järku diferentside vahel. Testist selgus, et mudel pole statistiliselt oluline ning tegemist on näiva regressiooniga ehk sissejuhatuses püstitatud hüpotees: taastuenergia osakaal elektri kogutarbimises mõjutab oluliselt elektrienergia hinda Eestis ei ole tõestatud.

Põhjuseid, miks taastuenergia osakaalu elektri kogutarbimises ja elektrienergia hinna vahel seost ei õnnestunud tõestada võib olla mitmeid. Oletades, et parameetrite vahel seos puudub võib põhjus seisneda esimeses peatükis välja toodud energeetika nõunik Mart Raamatu väites, et turuhinda ei mõjuta niivõrd Eestis toodetud taastuenergia. Nord Pool elektrienergia määravad pigem Norra ja Rootsi hüdroressursid. Siseriiklikult on Eesti nii väike tootja, et Eestis toodetud taastuenergia ei mõjuta elektri hinda turul. Sellest saab järeldada, et taastuenergia osakaalu kasv koguelektritarbimises ei too tarbijale kaasa elektrienergia suurenemist. Siiski võib taastuenergia osakaal mõjutada taastuenergia tasu ning see omakorda elektriarvet tarbijale.

Kuna taastuenergia osakaalu ja elektrienergia vahelist seost ei suudetud tõestada võib põhjus olla ka väikses valimis või vales mudeli kujus. Seetõttu saaks antud teemat edasi uurida suurema

valimiga. Kuna taastuenergia Eestis on arenema hakanud alles viimase kümnendi jooksul, saaks parema valimi saavutamiseks seost uuesti analüüsida umbes kümne aasta pärast.

Kokkuvõttes on bakalaureusetöö eesmärk täidetud, kuna analüüside käigus saadi vastused sissejuhatuses seatud küsimustele ja hüpoteesile. Kuigi seos taastuenergia osakaalu ja elektrienergia hinna vahel Eestis ei leidnud kinnitust, võib sellest tulenevalt oletada, et taastuenergia osakaalu kasv koguelektritarbimises ei too tarbijale kaasa elektri hinna kasvu. Siiski võib mõjutada taastuenergia osakaal elektriarve summat.

## **SUMMARY**

### **RENEWABLE ENERGY IMPACTS ON THE ELECTRICITY PRICE IN ESTONIA FOR 2007-2016**

Kristi German

Global issues are becoming more and more current, so the world is looking for solutions to them. One option is to increase the share of renewable energy and reduce the use of fossil fuels. Based on the objective of increasing renewable energy, the writing is to study how the share of renewable energy in total consumption will affect the electricity price in Estonia in 2007- 2016.

The aim of this paper is to find out the impact the share of renewable energy on electricity prices in Estonia, in order to conclude that the effects of increasing the share of renewable energy to the electricity consumer. The hypothesis of this thesis is: The share of renewable energy in total electricity consumption has a significant impact on the price of electricity in Estonia.

The writing consists of 4 chapters. The first chapter gives an overview of the need for renewable energy, the share in Estonia, renewable energy targets in Estonia and European Union and also introduces previous studies on renewable energy and electricity prices. The second chapter focuses on the Estonian electricity market and on the factors shaping the electricity prices and bills. The third chapter examines the share of electricity produced from renewable energy in total consumption and the final price of electricity for household consumers. In the fourth chapter, the author compiles an econometric model suitable for the analysis of the share of the renewable energy and the electricity price, and analyzes whether the share of renewable energy in total consumption affects the price of electricity.

The first analyzes showed that the model is statistically significant and the variation in electricity prices is due to the share of renewable energy. The first-order differences between the assessment of the regression model showed that there was a dummy regression. Therefore the hypothesis: the

share of renewable energy in total electricity consumption has a significant impact on the price of electricity in Estonia has not been proven. Consequently, it can not be said that the increase in the share of renewable energy would also increase the price of electric energy in Estonia. However, the share of renewable energy might affect the electricity bill.

## KASUTATUD ALLIKATE LOETELU

Betsill, M. M. (2011). International Climate Change Policy: Toward the Multilevel Governance of Global Warming- *International Climate Change Policy*, 111-112

Blazejczak, J., Braun, F. G., Edler, D., Schill, W. P. (2014). Economic effects of renewable energy expansion: A model- based analysis for Germany- *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Elsevier, 1070- 1080

Couture, T., Gagnon, Y. (2010). An analysis of feed-in tariff remuneration models: Implications for renewable energy investment.- *Energy Policy*. Elsevier

Eesti Energia *Elektrituru toimimine*. Kättesaadav: <https://www.energia.ee/elekter/elektriturg> 10. aprill 2018.

Eesti Energia *Energeetika ajalugu*. Kättesaadav: [https://www.energia.ee/c/document\\_library/get\\_file?uuid=3cbe8bd1-611e-45a5-b6ed-4f69f69cbee1&groupId=10187](https://www.energia.ee/c/document_library/get_file?uuid=3cbe8bd1-611e-45a5-b6ed-4f69f69cbee1&groupId=10187) 29. aprill 2018.

Elektrituruseadus RT I 2003, 25, 153.

Ellabban, O., Abu- Rub, H., Blaabjerg, F. (2014). Renewable energy resources: Current status, future prospects and their enabling technology- *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Elsevier. 748-764

(2017). *Energiamajanduse arengukava aastani 2030*. Kättesaadav: [https://www.mkm.ee/sites/default/files/enmak\\_2030.pdf](https://www.mkm.ee/sites/default/files/enmak_2030.pdf) 17. märts 2018.

*Energiamajanduse riiklik arengukava aastani 2020*. Kättesaadav: [https://mkm.ee/sites/default/files/elfinder/article\\_files/energiamajanduse\\_arengukava\\_2020.pdf](https://mkm.ee/sites/default/files/elfinder/article_files/energiamajanduse_arengukava_2020.pdf) 17. märts 2018.

Eesti Taastuenergia Koda (2012). *Taastuenergia 100%- üleminek puhtale energiale*. 5, 20-21

Eesti Taastuenergia Koda (2013). *Taastuenergia aastaraamat 2013*.

Eesti Taastuenergia Koda (2016). *Taastuenergia aastaraamat 2016*.

Eesti Taastuenergia Koda *Taastuenergia Eestis*. Kättesaadav: <http://www.taastuenergeetika.ee/taastuenergia-eestis/#1482065136293-0ea9767f-f12b> 12. aprill 2018.

Elektrum *Elektri hinna kujunemine*. Kättesaadav: <https://www.elektrum.ee/ee/kodu/naidud-ja-arved/elektri-hinna-kujunemine/> 19. märts 2018.

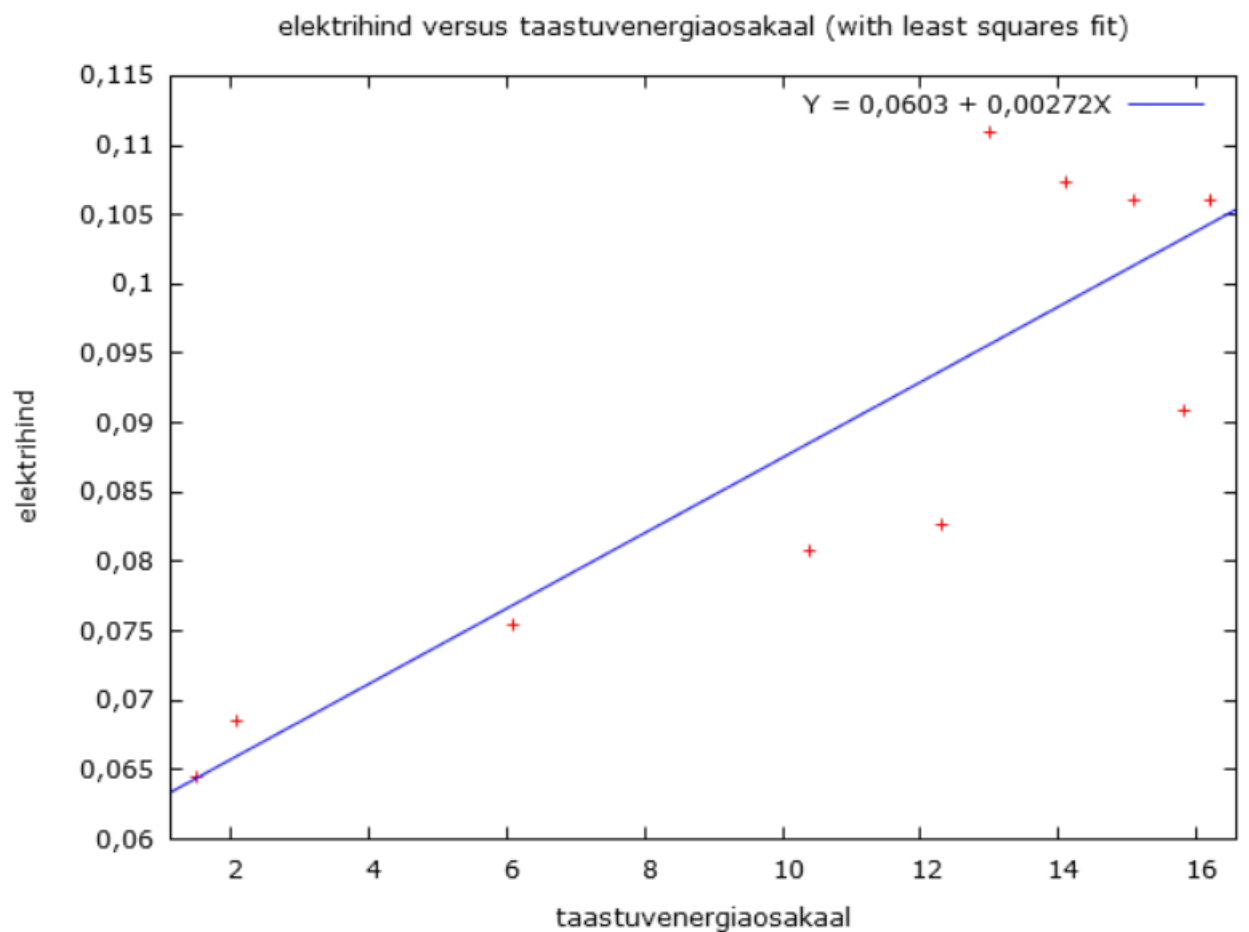
- Elektrum *Nord Pool hind*. Kättesaadav: <https://www.elektrum.ee/ee/kodu/naidud-ja-arved/elektri-hinna-kujunemine/nord-pool-hind/> 19. märts 2018.
- Elektrum *Mis mõjutab elektri-hinda*. Kättesaadav: <https://www.elektrum.ee/ee/kodu/naidud-ja-arved/muuja-vahetamine/mis-mojutab-elektri-hinda/> 25. märts 2018.
- Elektrilevi *Võrgutasu kujunemisest*. Kättesaadav: <https://www.elektrilevi.ee/et/vorgutasu-kujunemine> 27. märts 2018.
- Elektrilevi *Võrguteenuse hind- Võrguteenus elektrikuludes*. Kättesaadav: <https://www.elektrilevi.ee/hind> 30. aprill 2018.
- Elering (2012). *Eesti elektrituru täielik avanemine*. 4-6; 9-10
- Elering (2015). *Eesti elektrisüsteemi varustuskindluse aruanne 2015*. Tallinn, 67
- IRENA (2012). *Evaluating policies in support of the deployment of renewable power*. Irena policy brief, 4,6
- Konkurentsiamet (2018). *Elektrienergia võrgutasude arvutamise ühtne metoodika*. Tallinn, 3-4
- Maksu- ja tolliamet (2016). Elektriaktsiis. Kättesaadav: <https://www.emta.ee/et/ariklient/aktsiisid-vara-hasartmang/kutus-ja-elektrienergia/elektriaktsiis> 09. aprill 2018.
- Nord Pool *The power market*. Kättesaadav: <https://www.nordpoolgroup.com/the-power-market/> 29. märts 2018.
- Nord Pool *Price formation*. Kättesaadav: <https://www.nordpoolgroup.com/the-power-market/Day-ahead-market/Price-formation/> 18. aprill 2018.
- Panwar, N. L., Kaushik, S.C., Kothari, S. (2011). Role of renewable energy sources in environmental protection: A review- *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Elsevier, 1513-1524
- Raamat, M. Energeetika nõunik. Autori telefoniintervjuu. Helisalvestis. 18. aprill 2018
- Scarlat, N., Dallemand, J.F., Monforti- Ferrario, F., Banja, M., Motola, V. (2015). Renewable energy policy framework and bioenergy contribution in the European Union – An overview from National Renewable Energy Action Plans and Progress Reports- *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Elsevier, 969-985
- Sims, R. E. H. (2004). Renewable energy: a response to climate change- *Solar Energy*. Elsevier, 9-17
- Sensfub, F., Ragwitz, M., Genoese, M. (2008). The merit- order effect: A detailed analysis of the price effect of renewable electricity generation on spot market prices in Germany. – *Energy Policy*. Elsevier



Trujillo-Baute, E., del Rio, P., Mir-Artigues, P. (2017). Analysing the impact of renewable energy regulation on retail electricity prices. – *Energy Policy*. Elsevier, 153-161

# LISAD

## Lisa 1. Sõltuva ja sõltumatu tunnuse vaheliste seoste graafikud



## Lisa 2. Analüüsis kasutatud andmed

Aasta	Taastuenergia osakaal, %	Elektrihind, kWh
2007	1,5	0,06444
2008	2,1	0,06856
2009	6,1	0,07543
2010	10,4	0,08072
2011	12,3	0,08259
2012	15,8	0,09095
2013	13,0	0,11094
2014	14,1	0,10731
2015	15,1	0,10610
2016	16,2	0,10605

### Lisa 3. Hinnatud mudel 1

Model 1: OLS, using observations 2007-2016 (T = 10)

Dependent variable: elektrihind

	<i>Coefficient</i>	<i>Std. Error</i>	<i>t-ratio</i>	<i>p-value</i>	
const	0,0602923	0,00660994	9,121	<0,0001	***
taastuenergiaosak	0,00272202	0,000556416	4,892	0,0012	***
aal					
Mean dependent var	0,089309	S.D. dependent var		0,017376	
Sum squared resid	0,000681	S.E. of regression		0,009225	
R-squared	0,749469	Adjusted R-squared		0,718153	
F(1, 8)	23,93222	P-value(F)		0,001206	
Log-likelihood	33,78489	Akaike criterion		-63,56977	
Schwarz criterion	-62,96460	Hannan-Quinn		-64,23364	
rho	0,333356	Durbin-Watson		1,331931	

#### Lisa 4. White'i test

White's test for heteroskedasticity

OLS, using observations 2007-2016 (T = 10)

Dependent variable: uhat^2

	coefficient	std. error	t-ratio	p-value
const	-5,72819e-05	7,90260e-05	-0,7248	0,4921
taastuenergiaos~	2,75496e-05	2,25691e-05	1,221	0,2617
sq_taastuenergi~	-1,19272e-06	1,26054e-06	-0,9462	0,3756

Unadjusted R-squared = 0,302122

Test statistic:  $TR^2 = 3,021218$ ,

with p-value =  $P(\text{Chi-square}(2) > 3,021218) = 0,220775$

## **Lisa 5. Durbin- Watsoni statistiku ülemine ja alumine väärtus**

5% critical values for Durbin-Watson statistic,  $n = 10$ ,  $k = 1$

$$dL = 0,8791$$

$$dU = 1,3197$$

## **Lisa 6. Normaaljaotuse test**

Test for normality of  $\hat{u}_t$ :

Doornik-Hansen test = 0,23179, with p-value 0,890569

Shapiro-Wilk W = 0,963922, with p-value 0,829499

Lilliefors test = 0,133045, with p-value  $\approx$  0,88

Jarque-Bera test = 0,266183, with p-value 0,875385

## Lisa 7. ANOVA

Analysis of Variance:

	Sum of squares	df	Mean square
Regression	0,00203658	1	0,00203658
Residual	0,000680782	8	8,50977e-005
Total	0,00271736	9	0,000301929

$$R^2 = 0,00203658 / 0,00271736 = 0,749469$$

$$F(1, 8) = 0,00203658 / 8,50977e-005 = 23,9322 \text{ [p-value 0,0012]}$$



## Lisa 8. Engle- Grangeri test

Step 1: testing for a unit root in taastuenergiaosakaal

Augmented Dickey-Fuller test for taastuenergiaosakaal  
including one lag of (1-L)taastuenergiaosakaal  
sample size 8

unit-root null hypothesis:  $a = 1$

test with constant

model:  $(1-L)y = b_0 + (a-1)*y(-1) + \dots + e$

estimated value of  $(a - 1)$ : -0,372806

test statistic:  $\tau_c(1) = -2,70229$

asymptotic p-value 0,07357

1st-order autocorrelation coeff. for e: -0,390

Step 2: testing for a unit root in elektri hind

Augmented Dickey-Fuller test for elektri hind  
including one lag of (1-L)elektri hind  
sample size 8

unit-root null hypothesis:  $a = 1$

test with constant

model:  $(1-L)y = b_0 + (a-1)*y(-1) + \dots + e$

estimated value of  $(a - 1)$ : -0,21935

test statistic:  $\tau_c(1) = -1,1976$

asymptotic p-value 0,6779

1st-order autocorrelation coeff. for e: -0,044

Step 3: cointegrating regression

Cointegrating regression -

OLS, using observations 2007-2016 ( $T = 10$ )

Dependent variable: taastuenergiaosakaal

	coefficient	std. error	t-ratio	p-value	
const	-13,9299	5,11141	-2,725	0,0260	**
elektrihind	275,336	56,2822	4,892	0,0012	***

Mean dependent var 10,66000 S.D. dependent var 5,526341  
Sum squared resid 68,86185 S.E. of regression 2,933894  
R-squared 0,749469 Adjusted R-squared 0,718153  
Log-likelihood -23,83697 Akaike criterion 51,67394  
Schwarz criterion 52,27911 Hannan-Quinn 51,01007  
rho 0,286468 Durbin-Watson 1,344024

Step 4: testing for a unit root in uhat

Augmented Dickey-Fuller test for uhat  
including one lag of (1-L)uhat  
sample size 8  
unit-root null hypothesis:  $a = 1$

model:  $(1-L)y = (a-1)*y(-1) + \dots + e$   
estimated value of  $(a - 1)$ : -1,03313  
test statistic:  $\tau\_c(2) = -2,44927$   
asymptotic p-value 0,3018  
1st-order autocorrelation coeff. for e: -0,213

There is evidence for a cointegrating relationship if:

- The unit-root hypothesis is not rejected for the individual variables, and
- the unit-root hypothesis is rejected for the residuals (uhat) from the cointegrating regression.

## Lisa 9. Mudel 2 esimest järku diferentsid

Model 3: OLS, using observations 2008-2016 (T = 9)

Dependent variable: d\_elektrihind

	<i>Coefficient</i>	<i>Std. Error</i>	<i>t-ratio</i>	<i>p-value</i>	
const	0,00650283	0,00295573	2,200	0,0637	*
d_taastuenergiaos	-0,00115071	0,00112641	-1,022	0,3410	
akaal					
Mean dependent var	0,004623	S.D. dependent var		0,006959	
Sum squared resid	0,000337	S.E. of regression		0,006940	
R-squared	0,129745	Adjusted R-squared		0,005423	
F(1, 7)	1,043617	P-value(F)		0,340983	
Log-likelihood	33,09456	Akaike criterion		-62,18912	
Schwarz criterion	-61,79467	Hannan-Quinn		-63,04034	
rho	0,158103	Durbin-Watson		1,618604	