



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
INSENERITEADUSKOND

Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituut

NORRA HÜDROENERGIA KORRELATSIOON EESTI ELEKTRIHINNAGA

NORWAY HYDROPOWER CORRELATION WITH ESTONIAN ELECTRICITY PRICE

BAKALAUREUSETÖÖ

Üliõpilane: Jan-Bert Kaljuste

Üliõpilaskood: 164021AAVB

Juhendaja: Karl Kull, doktorant-nooremteadur

Tallinn, 2019

(Tiitellehe pöördel)

AUTORIDEKLARATSIOON

Olen koostanud lõputöö iseseisvalt.

Lõputöö alusel ei ole varem kutse- või teaduskraadi või inseneridiplomit taotletud. Kõik töö koostamisel kasutatud teiste autorite tööd, olulised seisukohad, kirjandusallikatest ja mujalt pärinevad andmed on viidatud.

“.....” 201.....

Autor:

/ allkiri /

Töö vastab bakalaureusetöö/magistritööle esitatud nõuetele

“.....” 201.....

Juhendaja:

/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

“.....”201... .

Kaitsmiskomisjoni esimees

/ nimi ja allkiri /

LÕPUTÖÖ LÜHIKOKKUVÕTE

Autor: Jan-Bert Kaljuste

Lõputöö liik: Bakalaureusetöö

Töö pealkiri: Norra hüdroenergia korrelatsioon Eesti elektri hinnaga

Kuupäev: 24.05.2019

42 lk

Ülikool: Tallinna Tehnikaülikool

Teaduskond: Inseneriteaduskond

Instituut: Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituut

Töö juhendaja(d): doktorant-nooremteadur Karl Kull

Töö konsultant (konsultandid): Sander Randver

Sisu kirjeldus:

Käesolev bakalaureuse töö uurib kuidas mõjutab Eesti elektri hinda Norra veetase ja hüdroenergia üldiselt. Uurimise aluseks on võetud Nord Pool Spot'i kättesaadavad ajaloolised andmed. Kogutud lähteandmete töötlemise meetodina on kasutatud Excel tarkvaras korrelatsiooni funktsiooni, et välja tuua andmete vahelised seosed. Andmete analüüsis keskendutakse Norra hüdroelektrijaamade reservuaaride mahtude ning Eesti elektri hinna seosele nädalate lõikes aastatel 2016-2018. Käesoleva töö käigus on koostatud lihtsustatud mudel.

Märksõnad: Nord Pool Spot, Norra hüdroenergia, reservuaarid, Eesti elektri hind, korrelatsioon.

ABSTRACT

Author: Jan-Bert Kaljuste

Type of the work: Bachelor

Title: Norway hydropower correlation with Estonian electricity price

Date: 24.05.2019

42 pages

University: Tallinn University of Technology

School: School of Engineering

Department: Department of Electrical Power Engineering and Mechatronics

Supervisor(s) of the thesis: doctorant Karl Kull

Consultant(s): Sander Randver

Abstract:

This bachelor's thesis examines how the electricity price in Estonia is influenced by Norwegian water levels and hydropower in general. The study is based on historical data available from Nord Pool Spot. The analysis of the data focuses on the connection between the reservoirs of the Norwegian hydroelectric power plants and the electricity price of Estonia in the week-to-week period between 2016-2018. A simplified model has been created in this work.

Keywords: Nord Pool Spot, Hydroenergy, reservoir, Electricity price in Estonia, Correlation.

LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Lõputöö teema:	Elektrihinna mõju/korrelatsioon Norra veetasemega
Lõputöö teema inglise keeles:	Electricity price correlation with Norwegian water level
Üliõpilane:	Jan-Bert Kaljuste 164021AAVB
Eriala:	Elektroenergeetika
Lõputöö liik:	bakalaureusetöö
Lõputöö juhendaja:	Karl Kull
Lõputöö ülesande kehtivusaeg:	
Lõputöö esitamise tähtaeg:	

Üliõpilane (allkiri)

Juhendaja (allkiri)

Õppekava juht (allkiri)

1. Teema põhendus

Kuna elektrihinda Nord Pool Spoti piirkonnas mõjutab suuresti Norra hüdroenergia, on vaja teada kuidas hind on mõjutatud Norra veetasemega. Vajalik on see kõigile, kes soovivad teada, kuidas kujuneb elektrihind ka Eestis. Lisaks teadaolevale infole kuidas kujuneb üldine elektrihind annab uurimus lisaks infot, et täpsemini hinna kujunemist kirjeldada.

2. Töö eesmärk

Töö eesmärgiks on teada saada kuidas mõjutab Norra veetase Nord Pool Spoti liikme, Eesti, elektrihinda.

3. Lahendamisele kuuluvate küsimuste loetelu:

Nord Pool Spot'i olemus

Norra spetsiifika uurimine

Hüdrojaamade eripärad

Ajalooline hinnainfo

Norra veetaseme ajalooline uurimine

4. Lähteandmed

Norra statistikaameti andmed

Nord Pool Spot turuinfo

Eesti Energia portfelli halduri informatsioon

Juhendaja materjalid

5. Uurimismeetodid

Tulemusteni plaanin jõuda kirjanduse ja turuinfo analüüsimisel.

Andmete analüüsimiseks kasutan korrelatsiooniarvutusi Excelis.

6. Graafiline osa

Graafiline osa on töö põhiosas

7. Töö struktuur

1) Nord Pool Spot ehk turg (**NPS**)

- Riikide/võimsuste osakaalud

- Tootmisüksuste tüübi osakaalud (PV, Wind, CHP, SEJ, Hüdro)

- Toodetud energia osakaalud (PV, Wind, CHP, SEJ, Hüdro)

2) Norra spetsiifika (**Norra energiamajanduse arengukavad**),

- Tootmisvõimsused

- Toodetud energia

3) Ajalooline hinnainfo (NPS)

4) NORRA sademete hulk või veetase.

5) Hüdroelektrijaamad – millest sõltuvad. (TalTechi materjalid, IEEEExplore jne.)

6) Analüüs- seosed .

7) Kokkuvõte

8. Kasutatud kirjanduse allikad

IEEEExplore ja TalTechi materjalid.

Nord Pool Spoti ajalooline turuinfo.

Norra arengukavad

9. Lõputöö konsultandid

Sander Randver, Eesti Energia portfelli haldur. Norra hüdroloogia info arvestamine hinna ennustamiseks.

10. Töö etapid ja ajakava

15.jaanuar-1.veebruar: 1) NPS ehk turg

25.veebruar-10. märts: 2) Norra spetsiifika

11.märts- 24. märts: 3) Ajalooline hinnainfo

25. märts- 14. aprill: 4) Norra veetase/ sademete hulk

15.aprill- 5. mai 5) Hüdroelektrijaamad

6. mai- 20.mai Analüüs + kokkuvõte

20. mai alates: juhendajale esitamine, parandused, lõplik versioon.

3. juuni Töö lõplik versioon valmis.

SISUKORD

LÕPUTÖÖ LÜHIKOKKUVÕTE.....	3
ABSTRACT	4
LÕPUTÖÖ ÜLESANNE	5
EESSÕNA.....	10
LÜHENDITE JA TÄHISTE LOETELU	11
SISSEJUHATUS	12
1. Nord Pool Spot	13
1.1 Võimsuste osakaalud riikide lõikes	14
2. Norra spetsiifika	15
2.1 Norra toodetud energia.....	16
2.2 Norra tootmisvõimsused	18
3. Ajalooline hinnainfo	20
3.1 Hinna kujunemine.....	20
3.2 Pakkumiste piirkonnad	21
3.3 Nord Pool ajalooline hinnainfo	21
4. Hüdrolektriijaamad	23
4.1 Hüdrolektriijaamade tüübid	23
4.2 Hüdrolektriijaamade omatarve	24
4.3 Norra suuremad hüdrolektriijaamad.....	25
5. Elektrienergia julgeolek.....	27
6. Korrelatsioon.....	29
7. Analüüs.....	30
7.1 Korrelatsioon aastatel 2016 - 2018.....	30
KOKKUVÕTE	36
SUMMARY	37

KASUTATUD KIRJANDUS	38
LISAD	40
L1 2016. aasta korrelatsiooni leidmine.....	40
L2 2017. aasta korrelatsiooni leidmine.....	41
L3 2018. aasta korrelatsiooni leidmine.....	42

EESSÕNA

Lõputöö teema pakuti välja Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituudi doktorant-nooremteaduri Karl Kulli poolt, kes andis lisaks ka käesoleva töö autorile töö kostamise käigus nõuandeid ja lisainformatsiooni.

Soovin avaldada tänu Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituudi doktorant-nooremteadurile Karl Kullile, kelle juhendamisel valmis käesolev lõputöö. Samuti soovin tänu avaldada Eesti Energia portfellihooldurile Sander Randverile, kes aitas kaasa lõputöö valmimisele.

Käesolev lõputöö on valminud Tallinnas.

LÜHENDITE JA TÄHISTE LOETELU

<i>DK1</i>	Lääne- Taani
<i>DK2</i>	Ida- Taani
<i>EE</i>	Eesti
<i>FI</i>	Soome
<i>LT</i>	Leedu
<i>LV</i>	Läti
<i>NO1</i>	Oslo (Norra)
<i>NO2</i>	Kristiansand (Norra)
<i>NO3</i>	Molde, Trondheim (Norra)
<i>NO4</i>	Tromsø (Norra)
<i>NO5</i>	Bergen (Norra)
<i>NPS</i>	Nord Pool Spot
<i>SE1</i>	Luleå (Rootsi)
<i>SE2</i>	Sundsvall (Rootsi)
<i>SE3</i>	Stockholm (Rootsi)
<i>SE4</i>	Malmö (Rootsi)

SISSEJUHATUS

Käesolevas uurimustöös keskendutakse Norra hüdroenergia ja Eesti elektriinna vahelisele korrelatsioonile, et tuua välja kuidas on Eesti elektri hind sõltuvuses Norra hüdroenergia mahtudega läbi Nord Pool turu. Antud teema on vajalik, et näidata kuidas kujuneb elektri hind Eestis ning millisel tasemel on Eesti elektrienergiajulgeolek tuues välja, kui palju sõltub Eesti Norra hüdroelektrienergia korrelatsiooni meetodi kaudu. Töö tulemusteni jõudmiseks on kasutatud lihtsustatud mudeleid.

Töö käigus uuritakse peamiselt ajaloolisi Nord Pool Spot'i arhiveeritud andmeid Norra hüdroenergia mahtude kohta ning võrreldakse neid Nord Pool Spot'is välja toodud Eesti ajalooliste elektri hindadega. Saada olevatest materjalidest oli raskeim osa Norra hüdrojaamade reservuaaride ajalooline veetasemete (kuupmeetrites) info kättesaadavus, kuna ajalooline avalik info puudus ning olemasolev oli vaid reaalaegaline informatsioon.

Töö tulemusteni jõutakse töödeldes ja analüüsid andmeid MS Excelis.

Töö esimeses peatükis tutvustatakse turu ehk Nord Pool Spot'i olemust. Lisaks tuuakse välja NPS piirkonnas olevate riikide võimsuste osakaalud.

Teises peatükis keskendutakse Norra spetsiifikale, tuues välja Norra ajaloolised aastapõhised toodetud energiamahud ning tehakse ülevaade Norra tootmisvõimsuste kohta.

Töö kolmandas peatükis keskendutakse ajaloolisele hinnainfole. Peatükis kirjeldatakse, kuidas kujuneb elektri hind ning millised on Nord Pool Spot'i pakkumiste piirkonnad. Tehakse ülevaade Nord Pool Spot turu ajaloolisele hinnainfole pakkumiste piirkonda kuuluvate riikide lõikes.

Töö neljandas peatükis kirjeldatakse ülevaatlikult hüdroelektrijaamasid, tuuakse välja nende tüübid ning tööpõhimõtted. Neljandas peatüki viimases osas on välja toodud tabelina Norra suuremad hüdroelektrijaamad.

Töö viiendas peatükis on välja toodud aspektid elektrienergiajulgeoleku kohta, kus keskendutakse peamiselt Eesti energiajulgeolekule.

Uurimustöö kuuendas peatükis on kirjeldatud korrelatsiooni meetodi kasutamise olemust, mida kasutati käesoleva töö tulemusteni jõudmiseks. Välja on toodud korrelatsioonikordaja omadused ning korrelatsioonikordaja arvulise väärtuse kokkuleppelised piirid seose tugevuse iseloomustamiseks.

1. Nord Pool Spot

Nord Pool (endise nimega Nord Pool Spot) on Euroopa suurim elektri börs, mis tegutseb Norras, Taanis, Rootsis, Soomes, Eestis, Lätis, Leedus, Saksamaal ja Ühendkuningriigis. Samuti on Nord Pool *Nominated Electricity Market Operator* (NEMO) 15 Euroopa riigis ning pakub võimsuste turgu Horvaatias ja Bulgaarias. Nord Pool loodi 1993. Aastal Norras.

Nord Pool AS'i omanikud on:

28,2% Norra riiklik energeetika ettevõtte Statnett,

28,2% Rootsi riiklik energeetika ettevõtte Svenska kraftnät,

18,8% Soome energeetika ettevõtte Fingrid,

18,8% Taani riiklik energeetika ettevõtte Energinet.dk

2% Eesti riiklik energeetika ettevõtte Elering

2% Leedu riiklik energeetika ettevõtte Litgrid

2% Läti riiklik energeetika ettevõtte AST (Augstsprieguma Tīkls AS). [1]

Nord Pool pakub börsil kahte turgu, nii päev-ette (*day-ahead*), kui ka päevasisest (*intraday*) turgu. Päev-ette ehk Elspot turul fikseeritakse kogused ja hinnad järgneva 24 tunniks, kus kõik mahud on esitatud MW tundides. Elspot kauplemine toimub neljal erineval tellimustüübil:

- *Single hourly orders*
- *Block orders*
- *Exclusive groups*
- *Flexi orders* [2]

Nord Pooli päevasisene turg ehk Elbas on avatud 24/7, 365 päeva aastas, mis pakub 15-minutilise, 30-minutilise, tunniseid ja blokk (*block*) pakkumisi, mis võimaldavad paindlikust turu erinevates piirkondades. Elbas kauplemine toimub viiel erineval tellimustüübil:

- *Limit order*
- *User-defined block order*
- *Predefined block order*
- *Iceberg order*
- *Execution constraints.* [3]

1.1 Võimsuste osakaalud riikide lõikes

Nord Pool'i kuuluvate riikidega toodang on mahtudelt üksteisest üsna erinev ning põhjuseks võib tuua riikide geograafilise paiknemise eripärasid, mis loovad igale riigile erinevad võimalused. Nord Pool'i kuuluvate riikide aastane elektritoodang 2016.-2017. aastate kohta on toodud tabelis 1.1. [4]

Tabel 1.1. Riikide toodang MWh [4]

	Norra	Rootsi	Soome	Taani	Eesti	Läti	Leedu
2017	148 196 228	158 524 509	63 339 489	27 996 413	11 065 107	7 295 896	2 483 031
2016	148 797 038	150 411 775	65 319 347	27 338 983	10 266 836	6 201 634	2 661 433

Nord Pool'i riikides on erinevad tootmisüksuste tüübid (tabel 1.2), näiteks on peamiseks tootmisüksuse tüübiks Norras hüdrojaamad, Rootsis nii tuuma- kui ka hüdrojaamad ning Taanis kasutatakse palju tuulikuid ja kivisõejaamu. Nord Pool'i elektribörsi kohta võib aga öelda, et turuolukorda mõjutab palju Norra hüdrojaamade toodang. Sellest tulevnevalt võib öelda, et sademete ja veetaseme hulk Skandinaavias mõjutab kogu Põhja-Euroopa ja Baltikumi elektrihinda.

Nord Pool'i kuuluvate riikide tootmisvõimsuste tüübid 2016. aasta andmetel on toodud tabelis 1.2 [5].

Tabel 1.2. Nord Pool'i piirkonnas olemasolev tootmisvõimsus [5]

Tootmisvõimsuse tüüp	Eesti, MW	Soome, MW	Leedu, MW	Läti, MW	Taani, MW	Rootsi, MW	Norra, MW	Summa tootmisvõimsuste kaupa, MW	Osakaal koguvõimsusest
Hüdrojaamad	10	3110	1030	1540	10	8580	27830	42100	0,46
Tuulikud	330	1080	280	50	4850	770	640	8000	0,09
Tuumajaamad	0	2780	0	0	0	9070	0	11850	0,13
Gaasijaamad	180	480	2650	1140	2940	700	1300	9390	0,10
Kivisõejaamad	0	3420	0	0	4850	0	0	8260	0,09
Taastuvenergia	90	2640	130	80	890	220	0	4050	0,04
Muu	1800	2250	210	0	1410	2130	0	7810	0,09
Kokku	2410	15760	4310	2810	14940	21460	29770	91450	1,00

2. Norra spetsiifika

Põhja-Euroopas on Norra väga suur elektrienergia tootja. Suurim osa Norra elektrienergiast toodetakse hüdroelektrijaamades, millest tulevnevalt on Norra tuntud, kui üks põhilisemaid taastuvenergia tootjaid Euroopas. Põhjus, miks Norras saab toota nii suure osa elektrienergiast hüdrojaamades on tingitud riigi topograafiast. Kuna Norra on tuntud oma kõrgete mägiipiirkondade, järskude orgude, fjordide ja looduslike järvede poolest, on käesolev riik ideaalne hüdrojaamade loomiseks ja arendamiseks. [6]

Kuna Norral on teiste riikide ees eelised just taastuvenergia tootmisel, on riigi energiapoliitika eesmärgiks neid eeliseid ära kasutada ja kaasa aidata energiavarustuse süsteemi moderniseerimisele. Samuti aitab riik kohandada seadusi ja õigusraamistikku vastavalt kiiresti muutuvatele turgudele. [7]

Norra arengukava eesmärkideks on varustuskindluse parandamine, taastuvenergia kasumlikkuse arendamine, tõhusam ja keskkonnasõbralikum energia kasutamine, muude väärtuste loomine, mis põhinevad Norra taastuvatel energiaallikatel. [8]

2.1 Norra toodetud energia

Norra aastapõhised toodetud, imporditud ja eksporditud elektrienergia on toodud tabelis 2.1. [9]

Tabel 2.1. Aasta põhised toodetud, imporditud ja eksporditud elektrienergia mahud. [9]

	Kogutoodang, GWh	Import, GWh	Eksport, GWh
2001	121608	10760	7162
2002	130473	5329	15002
2003	107245	13472	5587
2004	110472	15334	3842
2005	137811	3653	15695
2006	121400	9802	8947
2007	137164	5284	15320
2008	142108	3414	17291
2009	131773	5650	14633
2010	123630	14673	7123
2011	127631	11255	14329
2012	147716	4190	22006
2013	133975	10135	15140
2014	141968	6347	21932
2015	144511	7411	22038
2016	148989	5741	22151
2017	149402	6112	21276

Tabelis 2.1 on märgata, et viimastel aastatel on Norras elektrienergia ekspordi mahud suurenenud. Samuti on suurenenud kogutoodang.

Tabelis 2.2 on välja toodud Norra osakaalud hüdro-, geotermaal- ja tuuleenergia toodangus. [9]

Tabel 2.2 Norra elektrienergia toodangu osakaalud. [9]

	Hüdroenergia toodang, GWh	Geotermaalenergia toodang, GWh	Tuuleenergia toodang, Gwh
2001	121026	555	27
2002	129837	561	75
2003	106084	943	218
2004	109291	929	252
2005	136452	860	499
2006	119729	1035	636
2007	134736	1536	892
2008	139981	1214	913
2009	126077	4719	977
2010	117152	5599	879
2011	121553	4795	1283
2012	142810	3358	1548
2013	128699	3395	1881
2014	136181	3570	2217
2015	138450	3546	2515
2016	143417	3456	2116
2017	143112	3436	2854

Antud tabelit 2.2 analüüsid on aru saada, et hüdroenergia moodustab suurima osa Norra elektrienergia toodangust.

2.2 Norra tootmisvõimsused

Norra aastapõhised kogu tootmisvõimsused vastavalt aastatele 2008-2017 on välja toodud tabelis 2.3. [10]

Tabel 2.3 Norra aastapõhised kogutootmisvõimsused. [10]

	Koguvõimsus	Koguvõimsus
	Elektrijaamade arv	Väljundvõimsus (GW)
2017	1131	34,2
2016	1125	33,8
2015	1065	33,8
2014	1038	33,7
2013	1025	33,5
2012	994	32,9
2011	933	32,1
2010	810	31,7
2009	789	31,3
2008	737	30,6

Tabelis 2.4 On välja toodud Norra elektrienergia tootmisüksuste tootmisvõimsuste osakaalud ja elektrijaamade arvud. [10]

Tabel 2.4 on vajalik mõistmaks, millistes vahekordades on tootmisüksuste võimsused ning millised tootmisüksused on suurema osakaaluga. Tabelist 2.4 on näha, et Norras on suurim hulk just hüdroenergia elektrijaamu, samuti on võimsus nendel suurim.

Tabel 2.4 Norra elektrienergia tootmisüksuste tootmisvõimsuste osakaalud aastatel 2008-2017. [10]

	Hüdroenergia	Hüdroenergia
	Elektrijaamade arv	Väljundvõimsus (GW)
2017	1070	31,9
2016	1066	31,8
2015	1003	31,4
2014	977	31,2
2013	968	31,0
2012	937	30,5
2011	883	20,0
2010	766	29,7
2009	739	29,5
2008	691	29,4
	Geotermaalenergia	Geotermaalenergia
	Elektrijaamade arv	Väljundvõimsus (GW)
2017	32	1,11
2016	32	1,11
2015	36	1,59
2014	36	1,59
2013	34	1,63
2012	36	1,64
2011	34	1,60
2010	30	1,57
2009	33	1,29
2008	29	0,76

	Tuuleenergia	Tuuleenergia
	Elektrijaamade arv	Väljundvõimsus (GW)
2017	29	1,21
2016	27	0,88
2015	26	0,87
2014	25	0,86
2013	23	0,82
2012	21	0,71
2011	16	0,51
2010	14	0,43
2009	17	0,42
2008	17	0,40

3. Ajalooline hinnainfo

3.1 Hinna kujunemine

Elektrienergia hind, nii nagu iga teisegi turul kaubeldava kauba hind, kujuneb nõudluse ja pakkumise suhtena.

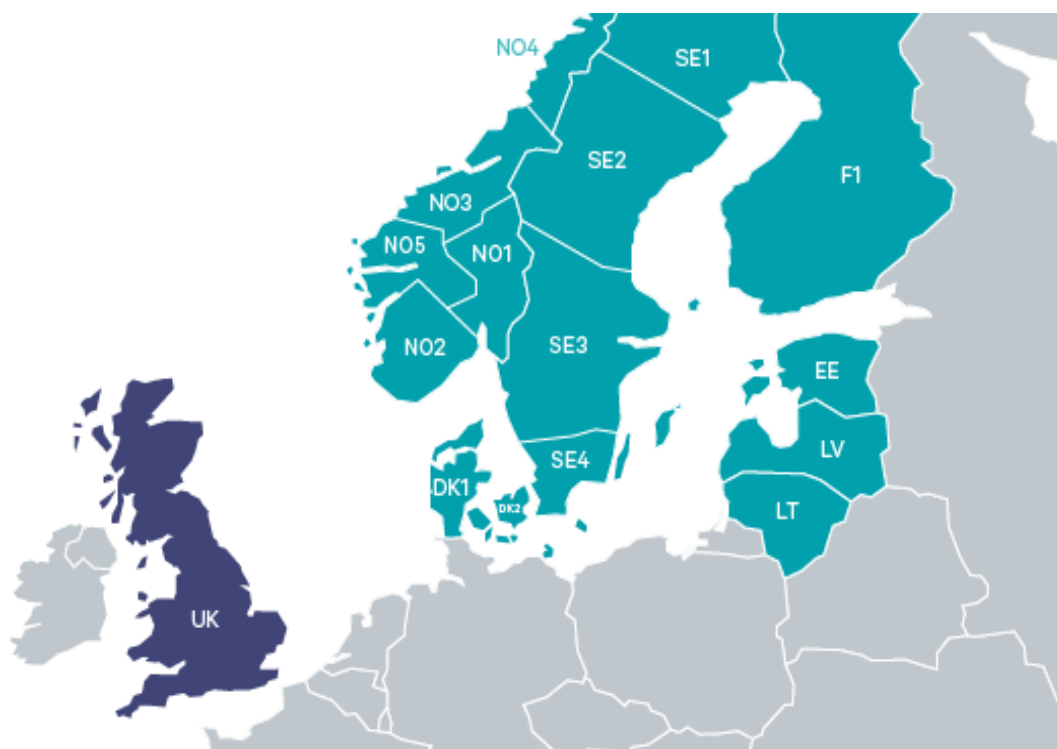
Peamiseks elektrienergia hinda mõjutavaks teguriks avatud elektriturul ja elektribörsil on piisavate tootmisvõimsuste ning elektriühenduste olemasolu, et tagada elektri liikumine nii siseriiklikult kui naaberriikide vahel. Lisaks neile on aga veel mitmeid teisi tegureid, mis mõjutavad elektrienergia hinna kujunemist nii lühemas kui ka pikemas vaates. Üks peamisi faktoreid, mis määrab elektrienergia hinna, on tarbimine. Ka on hinna kujunemisel oluline roll regioonis valitsevatel ilmastikuoludel ning kliimapolitiika ja Euroopa Liidu heitmekaubanduse reeglid mõjutavad elektri hinda samuti. [11]

Põhjamaades tegutseval elektibörsil Nord Pool'il kaupleb elektrihindadega ka Eesti. Elektribörsi eesmärgiks on eelkõige pakkuda võrdset võimalust turuosalistele oma toodangu müügiks või elektrienergia ostmiseks, olles samas ka alternatiiviks kahepoolsetele lepingutele. Elektribörs tagab, et elektrienergiale tekiks läbipaistev ja turupõhine hind, mis annaks investoritele ja tootjatele aluse turusituatsiooni hindamiseks ning investeerimisotsuste tegemiseks. Erinevate hinnapiirkondade vahel liigub elektrienergia alati suunaga madalama hinnaga piirkonnast kõrgema hinnaga piirkonda ning kui ühes piirkonnas on nõudlus suurem kui kahe piirkonna vahel olev läbilaskevõime, siis tekivadki piirkondades erinevad hinnad. [12]

Hoidmaks ära piirkondadevahelisi suuri hinnaerinevusi, on Nord Pool kasutusele võtnud *implicit* oksjoni ehk kaudsel arvutusel põhineva meetodi. Kuna igas hinnapiirkonnas arvutatakse esitatud müügi- ja ostupakkumiste lõikepunktis vastava hinnapiirkonna hind, siis võib tekkida olukordi, kus ühes piirkonnas on elektrienergia ülejääk (madalama hinnaga piirkond) ja teises puudujääk (kõrgema hinnaga piirkond). Loodud süsteem aga optimeerib hindasid hinnapiirkondade vahel ja arvestab järgmise sammuna hindade kalkuleerimisel kahe piirkonnavahelist läbilaskevõimet, mistõttu hinnad ühtlustuvad. Seega annavad piirkondadevahelised ülekandeliinid võimaluse suunata ülejäägiga ehk madalama hinnaga piirkonnast elektrienergia sellesse piirkonda, kus on puudujääk ja kõrgem hind. [12]

3.2 Pakkumiste piirkonnad

Nord Pool'i turud on jagatud erinevateks pakumiste piirkondadeks (joonis 1). Erinevad pakumise piirkonnad aitavad näidata ülekandesüsteemide piiranguid ja tagada, et hinnas kajastuvad piirkondlikud turutingimused. Ülekandesüsteemi kitsaskohtade tõttu võivad pakumise piirkonnad saada erinevaid hindu, mida nimetatakse piirkonna hindadeks. Süsteem tagab, et ühelgi turuosalisel ei teki eeliseid süsteemi kitsaskohtadel, mis on liberaalse turu oluline tunnusjoon. Nord Pool arvutab üldise hinna igale pakumise piirkonnale igaks tunniks järgneva päeva jaoks. [13]



Joonis 3.1 Nord Pool'i pakumiste piirkonnad. [13]

3.3 Nord Pool ajalooline hinnainfo

Nord Pool'i ajalooline hinnainfo on välja toodud tabelis 3.1. Välja toodud hinnad on aasta keskmised. Piirkonnad on vastavalt joonisele 3.1. [14]

Tabel 3.1 on vajalik, et mõista kuidas on hinnastatud elektrienergia erinevates piirkondades NPS'i turualadel.

Tabel 3.1 Nord Pool ajalooline hinnainfo. [14]

Päev ette hinnad EUR/MWh						
	EE	LV	LV	LT	FI	DK1
2018	47,07	49,9	49,9	50	46,8	44,05
2017	33,2	34,68	34,68	35,13	33,19	30,08
2016	33,06	36,09	36,09	36,54	32,45	26,67
2015	31,08	41,85	41,85	41,92	29,66	22,9
2014	37,61		50,12	50,13	36,02	30,67
2013	43,14			48,93	41,16	38,98
2012	39,2				36,64	36,33
2011	43,35				49,3	47,96
	NO1	NO2	NO3	NO4	NO5	
2018	43,65	43,25	44,08	43,71	43,05	
2017	29,04	28,83	29,53	25,73	28,84	
2016	26,17	25,15	28,69	25,05	24,91	
2015	19,85	19,82	21,28	20,43	19,75	
2014	27,33	27,23	31,54	31,44	27,14	
2013	37,56	37,33	38,96	38,6	37,6	
2012	29,56	29,16	31,48	31,17	28,95	
2011	46,41	46,09	47,49	47,48	45,85	
	SE1	SE2	SE3	SE4		
2018	44,23	44,23	44,54	46,36		
2017	30,84	30,84	31,24	32,18		
2016	28,95	28,95	29,24	29,53		
2015	21,16	21,18	22	22,9		
2014	31,42	31,42	31,62	31,91		
2013	39,19	39,19	39,45	39,93		
2012	31,72	31,78	32,32	34,21		

4. Hüdrolektrijaamad

Selleks, et mõista hüdrolektrijaamade olemust, tuleb selgeks teha nende tööpõhimõtted ning erinevate jaamade tüübid.

Hüdrolektrijaam on ehitiste ja seadmete komplekt, mille vahendusel veevoolu energia muundatakse elektrienergiaks. Hüdrolektrijaam koosneb vesiehitusest (pais, juurde- ja äravoolukanalid, lüüsid jne), mis tekitavad surukõrguse (rõhu) ja konstantse veevoolu, ning energiaseadmetest, mis muundavad voolava vee energia elektrienergiaks. [15]

Surukõrguse järgi eristatakse kõrgsurve- (surukõrgus üle 80 m), kesksurve- (80 - 25m) ja madalsurveelektrijaamu (kuni 25 m).

Vesiehituslikult eristatakse paisuelektrijaamu, milles vee taset on tõstetud paisuga, ja derivatsioonielektrijaamu, milles vee tasemete vahe on tekitatud vee juhtimisega sellekohase kanali või torustiku kaudu jõesängist jaama. Paisuelektrijaamad jagunevad paisu ja jaamahoone omavahelise asendi järgi paisurindeelektrijaamadeks (hoone kuulub paisu koostisse) ja paisutagusteks elektrijaamadeks (hoone paikneb paisu taga). Hüdrolektrijaamad jaotatakse oma tehnoloogilise ja elektrilise skeemi järgi kahte suurde gruppi: suure võimsusega hüdrolektrijaamad (võimsus üle 20MW) ja minihüdrolektrijaamad (võimsus 2 - 20 000 kW). Tänapäeval on maailmas enamuse suurte jõgede hüdroenergia varudest ära kasutatud, seda eriti arenenud riikides. Suhteliselt suured kasutamata hüdroressursid on tänapäeval vaid arengumaades ja nende ärakasutamine nõuab väga suuri investeeringuid (Aasia riigid (Hiina), Aafrika riigid ja Lõuna-Ameerika riigid). See tõttu on viimastel aastatel maailmas suurenenud huvi just minihüdrolektrijaamade ehitamise vastu. [15]

4.1 Hüdrolektrijaamade tüübid

Peamiselt eristatakse nelja hüdrojaamade tüüpi.

- Jõevoolu hüdrolektrijaam (*Run-of-river hydropower*): Nimetatakse ka otsevoolu hüdrolektrijaamaks. Jõe voolav vesi suunatakse läbi kanali, et panna turbiin pöörlema. Sobilik baaskoormuse täitmiseks.
- Paisu ja veehoidlaga hüdrolektrijaamad (*Storage hydropower*): Jõe ehitatakse pais ja sellele taht moodustub veehoidla, et tagada võimalikult ühtlane pealevool turbiinidele.

- Pumphüdroelektrijaamad (*pumped-storage hydropower*). Sobilik tipukoormuse täitmiseks. Kasutatakse kaht veehoidlat ülemist ja alumist. Tippkoormuse ajal voolab vesi ülemisest veehoidlast alumisse pannes tööle turbiinid. Miinimumkoormuse ajal pumbatakse vesi alumisest veehoidlast taas ülemisse.
- Avamere hüdroelektrijaamad (*Offshore hydropower*). Vähem arenenud tehnoloogia, kuid kasvava populaarsusega meetod, kus kasutatakse lainete ja tõusuvee energiat elektrienergia tootmiseks. [16] [17]

4.2 Hüdroelektrijaamade omatarve

Hüdroelektrijaamade omatarbeseadmed jagatakse kaheks grupiks, jaamalised ja agregatsioonid omatarbeseadmed. [15]

Hüdroelektrijaamade agregatsioonid omatarbe seadmed on järgmised:

- hüdroturbiinide regulaatorite õlipumbad
- trafode jahutuspumbad ja jahutusventilaatorid
- agregaatide õlituspumbad
- generaatorite vesijahutuse pumbad
- agregaadid pidurduskompressorid
- generaatorite õhkjahutuse ventilaatorid
- generaatorite ergutusüsteemid
- turbiini kaanelt vee ärastuspumbad

Üldjaamalised omatarbe seadmed on:

- tehniliseveevarustussüsteemi pumbad
- spiraalkambrite tühjenduspumbad
- dreanažipumbad
- tuletõrjepumbad
- kraanad
- küte
- jaotusseadme kompressorid.

Hüdroelektrijaamade omatarve on tavaliselt piirides 0.5 - 2%. [15]

4.3 Norra suuremad hüdroelektrijaamad

Tabelis 4.1 on välja toodud Norra suuremad hüdrojaamad võimsuselt kahanevas järjekorras. [18]
[19]

Tabel 4.1. Norra suuremad hüdroelektrijaamad [18] [19]

Elektrijaam	Asukoht	Võimsus (MW)	Staat
Tonstad Hydroelectric Power Station	Tonstad	960	Funktsioneeriv
Saurdal Hydroelectric Power Station	Suldal	640	Funktsioneeriv
Svartisen Hydroelectric Power Station	Meløy	600	Funktsioneeriv
Rana Hydroelectric Power Station	Rana	500	Funktsioneeriv
Tokke Hydroelectric Power Station	Tokke	430	Funktsioneeriv
Tyin Hydroelectric Power Station	Årdal	380	Funktsioneeriv
Kobbelv Hydroelectric Power Station	Sørfold	350	Funktsioneeriv
Brokke Hydroelectric Power Station	Valle	330	Funktsioneeriv
Evanger Hydroelectric Power Station	Voss	330	Funktsioneeriv
Holen Hydroelectric Power Station	Bykle	328	Funktsioneeriv
Vinje Hydroelectric Power Station	Vinje	300	Funktsioneeriv
Aura Hydroelectric Power Station	Sunndal	290	Funktsioneeriv
Nore Hydroelectric Power Station	Nore og Uvdal	256	Funktsioneeriv
Fortun Hydroelectric Power Station	Luster	254	Funktsioneeriv
Mauranger Hydroelectric Power Station	Kvinnherad	250	Funktsioneeriv
Nes Hydroelectric Power Station	Nes	250	Funktsioneeriv
Matre Hydroelectric Power Station	Masfjorden	246	Funktsioneeriv
Hol I Hydroelectric Power Station	Hol	220	Funktsioneeriv
Vamma Hydroelectric Power Station	Østfold	215	Funktsioneeriv
Lysebotn Hydroelectric Power Station	Forsand	210	Funktsioneeriv
Duge Hydroelectric Power Station	Sirdal	200	Funktsioneeriv
Solhom Hydroelectric Power Station	Kvinesdal	200	Funktsioneeriv
Såheim Hydroelectric Power Station	Rjukan	185	Funktsioneeriv
Mår Hydroelectric Power Station	Tinn	180	Funktsioneeriv
Tunnsjødal Hydroelectric Power Station	Namsskogan	176	Funktsioneeriv
Nea Hydroelectric Power Station	Tydal	175	Funktsioneeriv
Hylen Hydroelectric Power Station	Suldal	160	Funktsioneeriv
Alta Hydroelectric Power Station	Alta	150	Funktsioneeriv
Åna-Sira Hydroelectric Power Station	Flekkefjord	150	Funktsioneeriv
Bratsberg Hydroelectric Power Station	Trondheim	124	Funktsioneeriv
Tjørhom Hydroelectric Power Station	Sirdal	120	Funktsioneeriv

Tjodan Hydroelectric Power Station	Forsand	110	Funksioneeriv
Finndøla Hydroelectric Power Station	Fyresdal	108	Funksioneeriv
Øyberget Hydroelectric Power Station	Skjåk	105	Funksioneeriv
Hjartdøla Hydroelectric Power Station	Hjartdal	104	Funksioneeriv
Tyssedal Hydroelectric Power Station	Odda	100	Muuseum
Svelgfoss Hydroelectric Power Station	Notodden	92	Funksioneeriv
Kvinen Hydroelectric Power Station	Sirdal	80	Funksioneeriv
Nygårds Hydroelectric Power Station	Narvik	75	Funksioneeriv
Sildvik Hydroelectric Power Station	Narvik	72	Funksioneeriv
Roskrepp Hydroelectric Power Station	Sirdal	50	Funksioneeriv
Byrte Hydroelectric Power Station	Tokke	20	Funksioneeriv
Hammeren Hydroelectric Power Station	Oslo	5	Funksioneeriv
Brandåa Hydroelectric Power Station	Rindal	4,1	Funksioneeriv
Gryta Hydroelectric Power Station	Rindal	1,5	Funksioneeriv
Kysinga Hydroelectric Power Station	Rindal	1,3	Funksioneeriv
Kvilldal Hydroelectric Power Station	Suldal	1,2	Funksioneeriv
Aurland Hydroelectric Power Station	Aurland	1,1	Funksioneeriv
Sima Hydroelectric Power Station	Eidfjord	1,1	Funksioneeriv

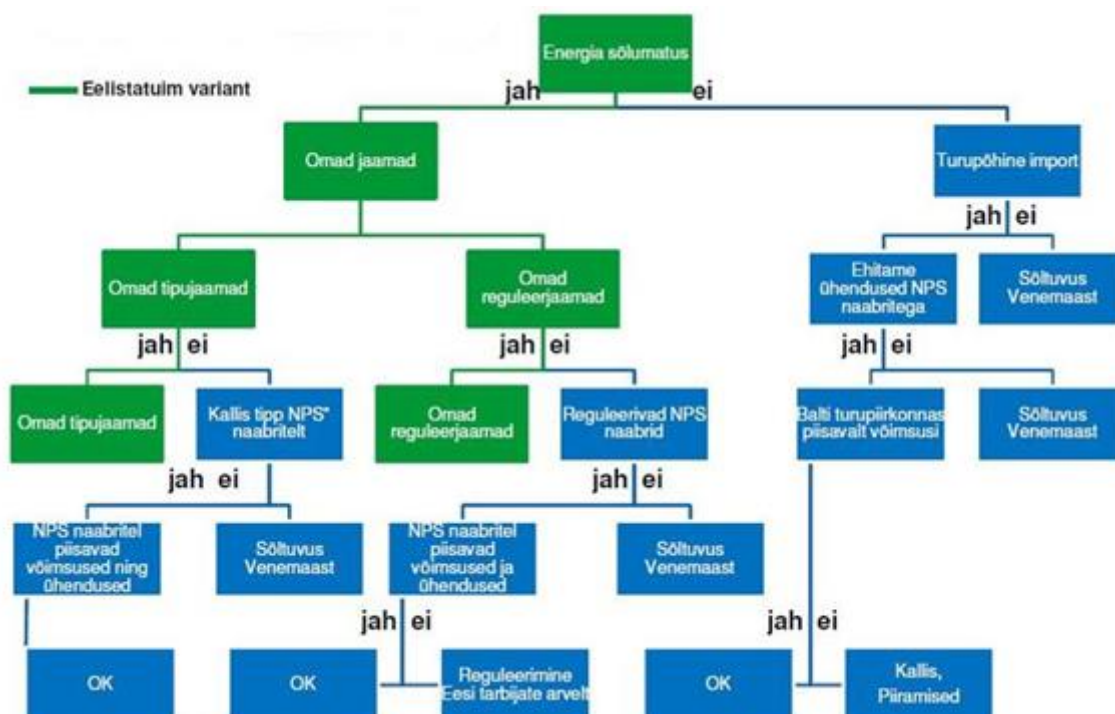
Tabelist 4.1 on näha, et norras on suur hulk funktsioneerivaid hüdroelektrijaamasid. Sellest tulevnevalt on arusaadav ka, et suur hulk hüdroelektrienergiast tuleb just Norrast.

5. Elektrienergia julgeolek

Elektrienergia julgeolek tähendab välisteguritest sõltumatud võimet tagada tiputarbimise ajal Eestis asuvate tarbijate elektriga varustamine. Elektrienergia julgeolek tagamisel tuleb valikute tegemisel kahe peamise kriteeriumina arvestada pikaajaliselt (25 aasta jooksul) ühiskonnale majanduslikult kõige soodsamaid tootmisviise ja keskkonnamõjusid. Energiajulgeoleku tagamiseks peab arvestama teatud punktidega:

- riigi territooriumil peab asuma piisaval hulgal ja eelnimetatud peamistele kriteeriumidele vastavate tehnoloogiatega elektrijaamu koos nende elektrijaamade käitamiseks vajalike primaarenergia ressursidega varustatusega, samuti elektrienergia ülekannet võimaldavaid ülekandeliine;
- elektrisüsteemi juhtimisautomaatika ja –korraldus olema võimeline töötama isoleerituna naabersüsteemidest;
- olema tagatud primaarenergia allikate mitmekesisus, eelistades taastuvaid ehk ammendamatu allikaid ammenduvatele kütustele;
- iseseisva, naabersüsteemidest sõltumatu elektrisüsteemi talitluse miinimumkestuseks peab olema vähemalt 1 aasta. [20]

Joonisel 5.1 on toodud välja toodud erinevad energiajulgeoleku stsenaariumid, kus rohelisena on märgitud eelistatuid variantid. [21]



Joonis 5.1. Elektrienergiajulgeoleku võimalikud variandid [21]

Jooniselt 5.1 saab järeldada, et ka NPS ei ole eelistatav variant, kuna turupõhisel importil jääb siiski sõltuvus teistest riikidest.

Energiasalve 2011. aastal koostatud Eesti energiasüsteemi arengu võimalike stsenaariumite analüüsis on välja toodud mõte, et Pumphüdroakumulatsioonielektrijaam (PHAJ) koostöös 1,000 MW tuuleparkide ning gaasijaamaga võib olla väga efektiivne ning odav viis baaskoormuse tagamiseks [21]. Sellest tulevnevalt on järeldatud, et PHAJ võib langetada elektrienergia hinda ja suurendada elektrienergia julgeolekut. Samuti on huvitavaks kasutuvaldkonnaks kaevandatud graniit, mis tekib PHAJ ehitamisel, mis pikendab hinnanguliselt Eesti uute teede eluiga 10 aasta võrra. [20]

6. Korrelatsioon

Andmestiku uurimisel kahe või rohkema tunnuse alusel saab kasutada korrelatsiooni ehk seost kahe suuruse vahel. Korrelatsioonitugevust väljendab lineaarne korrelatsioonikordaja r (Pearsoni korrelatsioonikordaja). [22]

Korrelatsioonikordaja omadused:

- $|r| \leq 1$
- Mida lähemal on $|r|$ arvule 1, seda tugevam on seos (korrelatsioon) tunnuste vahel.
- Mida lähemal on $|r|$ arvule 0, seda nõrgem on seos tunnuste vahel.
- Kui tunnused on sõltumatud on $r = 0$.
- Kui $r > 0$, siis ühe tunnuse suuruste kasvamisega suurenevad ka teise tunnuse väärtused.
- Kui $r < 0$, siis ühe tunnuse suuruste kasvamisega vähenevad teise tunnuse väärtused.

Korrelatsioonikordaja arvulise väärtuse kokkuleppelised piirid seose tugevuse iseloomustamiseks on järgmised:

- $|r| \leq 0,3$ – olematu seos;
- $0,3 < |r| \leq 0,5$ – nõrk seos;
- $0,5 < |r| \leq 0,7$ – keskmise tugevusega seos;
- $|r| > 0,7$ – tugev seos. [22]

7. Analüüs

Leidmaks Eesti elektri hinna sõltuvust Norra hüdroenergiast kasutati korrelatsiooni meetodit, kus võeti aluseks Nord Pool'i ajaloolise andmebaasi nädala põhised Eesti elektri hinna andmed, mida võrreldi sama andmebaasi Norra hüdroreservuaaride nädalapõhiste mahtudega aastatel 2016 kuni 2018.

Võrdluseks Eesti korrelatsiooniga on valitud NPS pakkumiste piirkonnast rannikuäärsed alad DK1, DK2, SE3 ja SE4, et võrrelda nende korrelatsioone. Arvesse tuleb võtta, et mainitud piirkonnad on seotud suurel määral tuuleenergiaga, mis vajavad kompenseerimiseks tuge muudelt elektrijaamadelt.

Järgnevatel joonistel 7.1, 7.4 ja 7.7 on näha, et talve lõpu perioodil toimub hüdroreservuaaride mahtude osas langus, sellest tulevnevalt võib öelda, et talve alguse perioodil toimub nii-öelda mahtude akumulatsioon. Kevade keskpaigas (17. nädal) on reservuaarides mõõn. Alates 19. nädalast hakkab taas toimuma reservuaari mahtude täienemine, mida põhjustab nii lume sulamine kui ka tihenevad vihasajud.

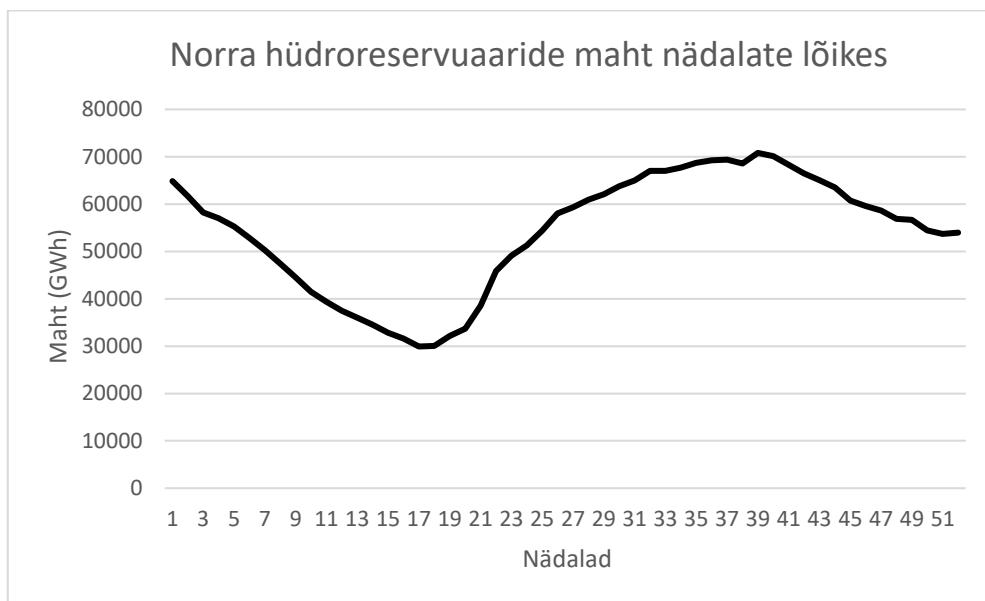
Joonistel 7.2, 7.5 ning 7.8 on näha Eesti elektri hinna muutusi aasta jooksul nädalate lõikes. Jälgides kolmanda astme polünoomi trendijoont on märgata sarnasusi hüdroreservuaaride mahtude muutustega mis suures pildis võib aga tähendada, et tegu on pöörsõltuvusega. Hind ei ole alati kõige kõrgem siis, kui reservuaaride täituvus on väike ja vastupidi. See tähendab, et elektri hind ei ole täielikus sõltuvuses hüdroreservuaaride mahtuvusega, vaid hinda mõjutavad ka teised tegurid. Joonistel 7.3, 7.6 ja 7.9 on viidud paremaks visualiseerimiseks nii hüdroreservuaaride mahtuvus kui muutuv elektri hind ühele joonisele, et paremini aru nende omavahelistest seostest. Tabelites 7.1, 7.2 ja 7.3 on välja toodud korrelatsiooni tulemused mis on kokkuvõtlikult kajastatud tabelis 7.4. Saadud korrelatsiooni tulemuste tabeleid kasutatakse järelduste tegemisel.

7.1 Korrelatsioon aastatel 2016 - 2018

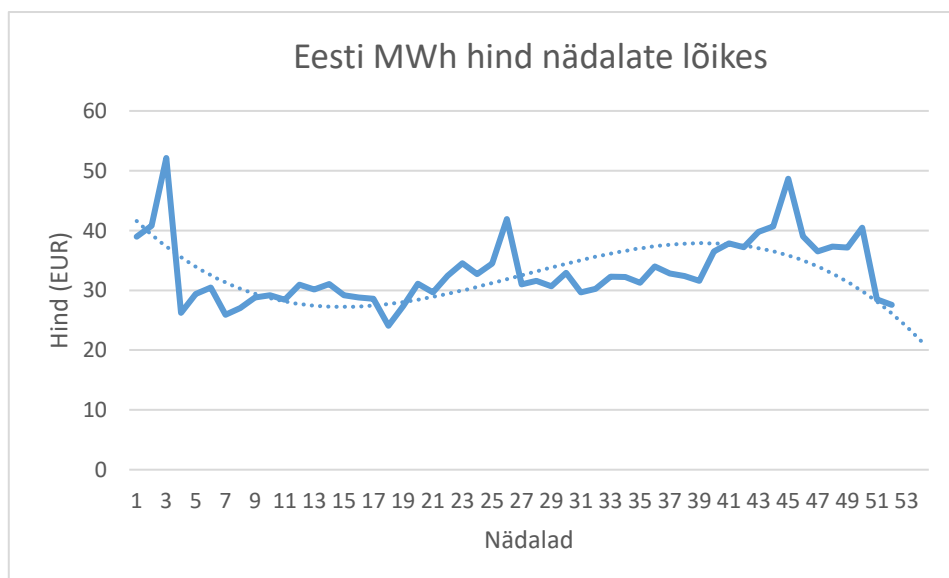
2017. aastal (tabel 7.2) on DK1, DK2, SE3 ja SE4 suur korrelatsiooni muutus – analüüsides korrelatsiooni andmeid tuleb välja aspekt, et aastal 2017 sõltusid DK1, DK2, SE3 ja SE4 väga vähe Norra hüdroenergia mahtudest, kuid aastatel 2016 ja 2018 (tabel 7.4) on sõltuvus keskmise tugevuse piirides. Põhjuseks võib oletuslikult tuua asjaolu, et 2017. aastal oli Taani uudiste andmetel rekord tuule aasta ning tuul oli ka stabiilne, millest tulevnevalt oli võimalik reguleerida võimsusi mainitud piirkondadel nii, et ei vajatud tuge sisseostetavast elektrienergiast [23] [24]. Tulemustest saab järeldada, et aastate lõikes ei ole stabiilsust DK ja SE piirkondades – oleneb kui

palju ja kui stabiilselt on tuult. Sellest tulevnevalt sõltuvad mainitud piirkonnad mõnel aastal Norra hüdroenergiast rohkem, teisel aastal vähem.

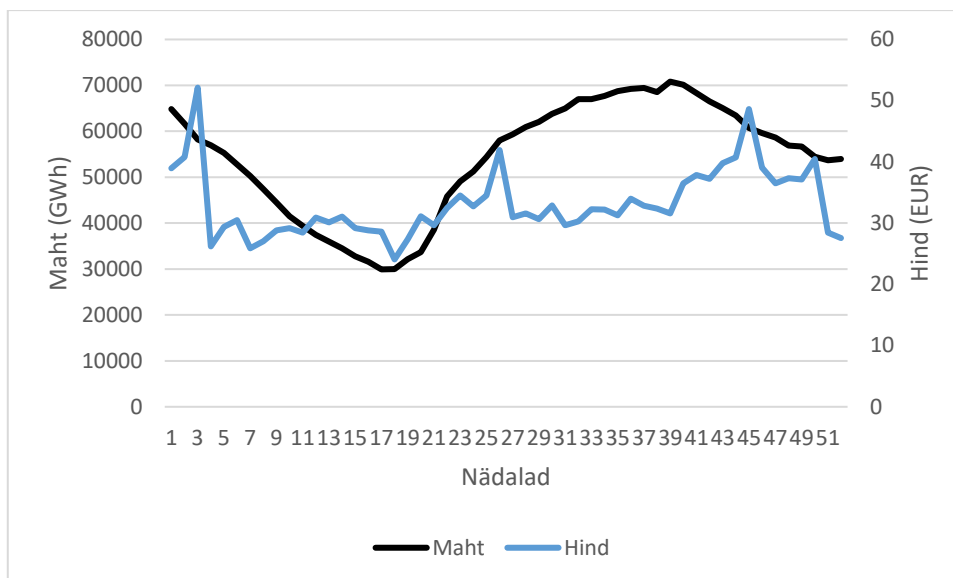
Eesti on aastate lõikes stabiilselt madalas sõltuvuses korrelatsiooni analüüsi tulemusel. Elektrienergiajulgeoleku mõttes on samuti Eestil hea positsioon – Eesti sõltub välisriikide elektrienergiast vähem. Iseseisvuse põhjuseks võib tuua põlevkivijaamade olemasolu, mis hoiavad Eestis stabiilsust.



Joonis 7.1. Norra hüdroreservuaaride maht nädalate lõikes 2016. aastal



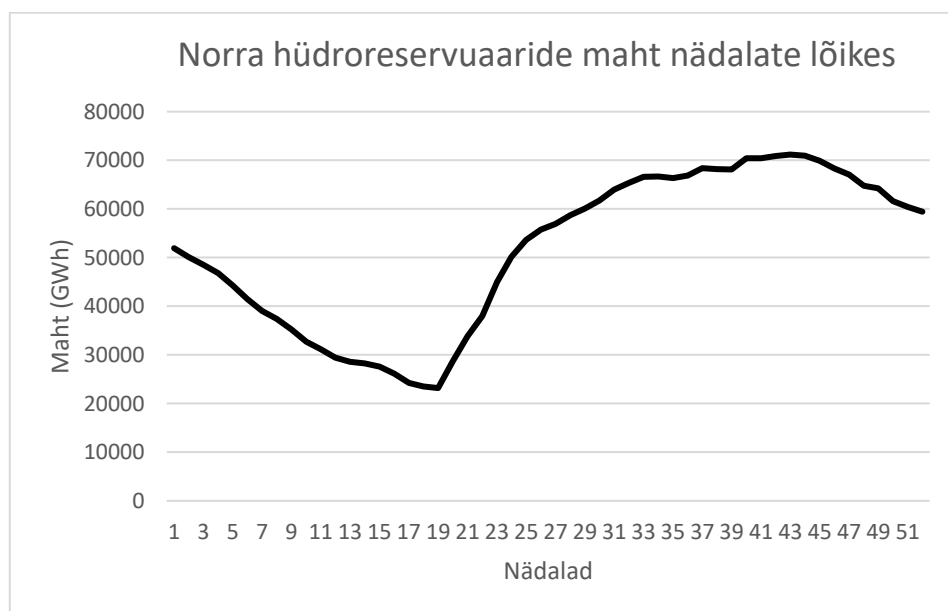
Joonis 7.2. Eesti elektri hind nädalate lõikes 2016. aastal



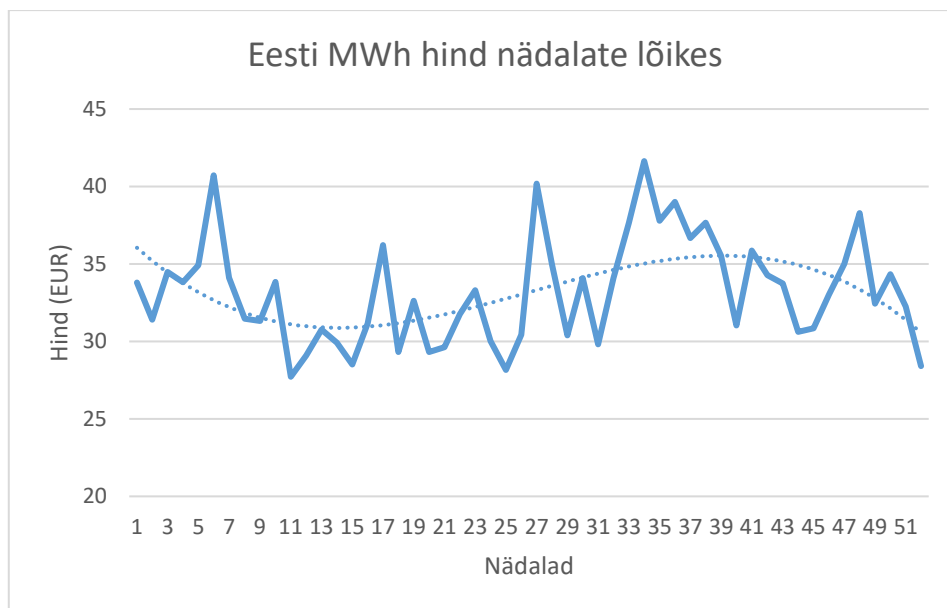
Joonis 7.3. Eesti elektri hind ja Norra hüdroreservuaaride maht 2016. aastal

Tabel 7.1. Piirkondade korrelatsioon aastal 2016.

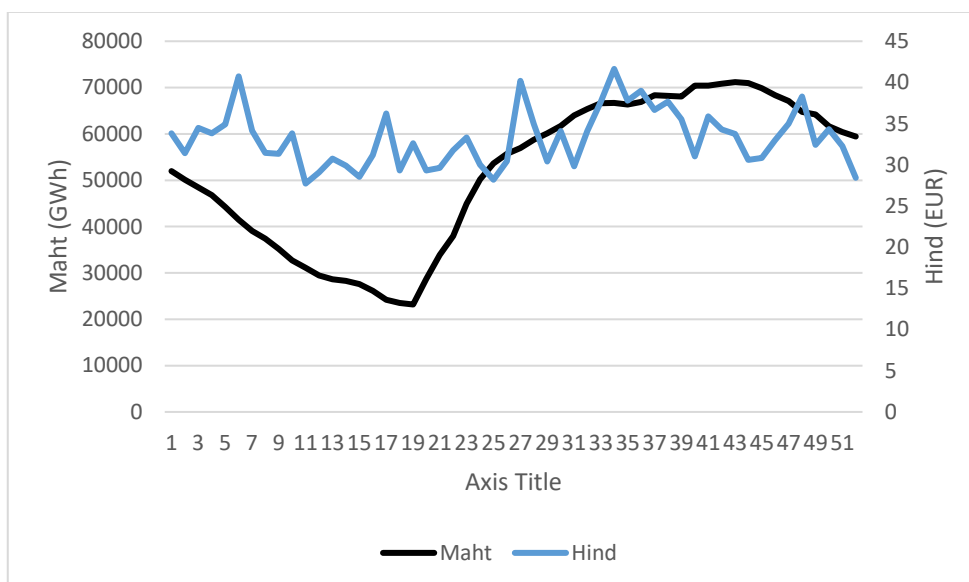
EE	0,449229418
DK1	0,499504004
DK2	0,560947074
SE3	0,555834088
SE4	0,555814923



Joonis 7.4. Norra hüdroreservuaaride maht nädalate lõikes 2017. aastal



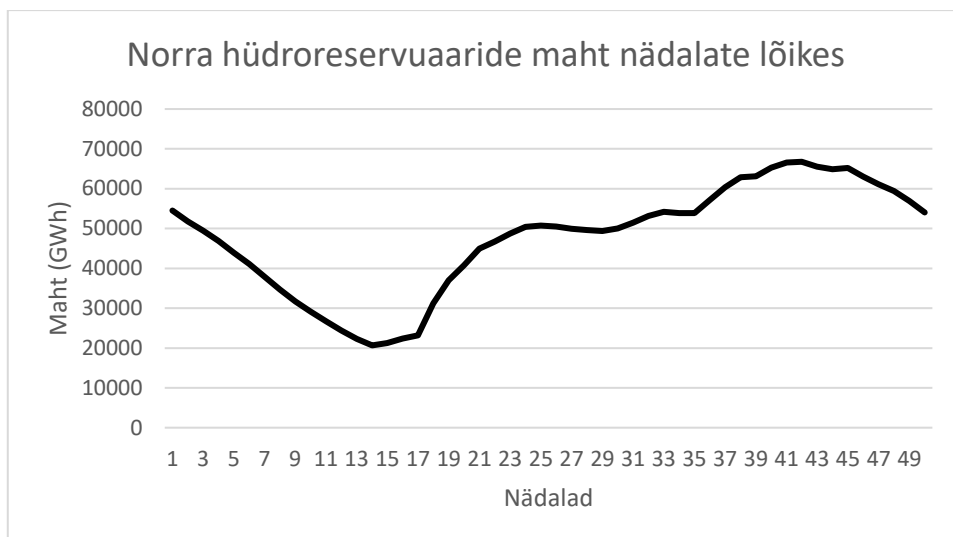
Joonis 7.5. Eesti elektri hind nädalate lõikes 2017. aastal



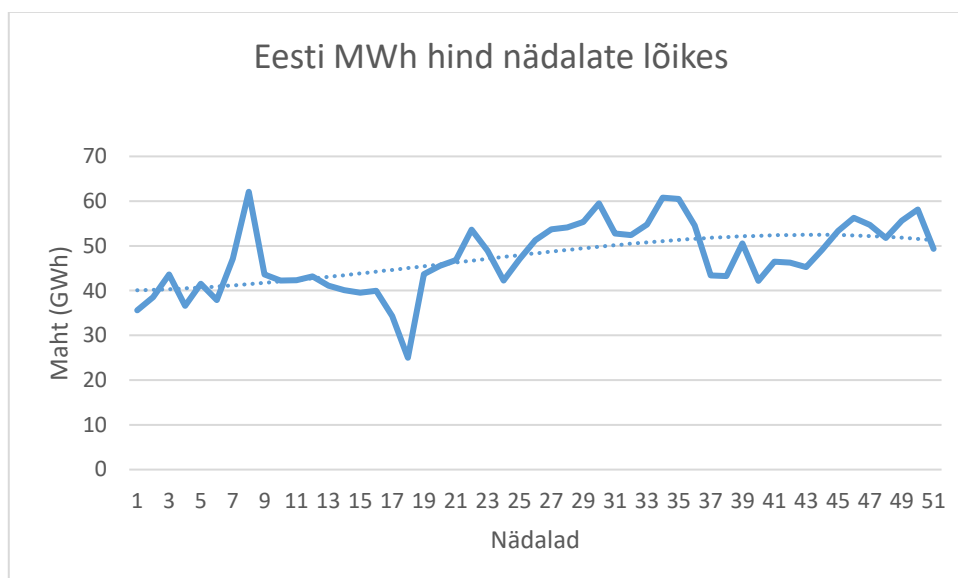
Joonis 7.6. Eesti elektri hind ja Norra hüdroreservuaaride maht 2017. aastal

Tabel 7.2. Piirkondade korrelatsioon aastal 2017.

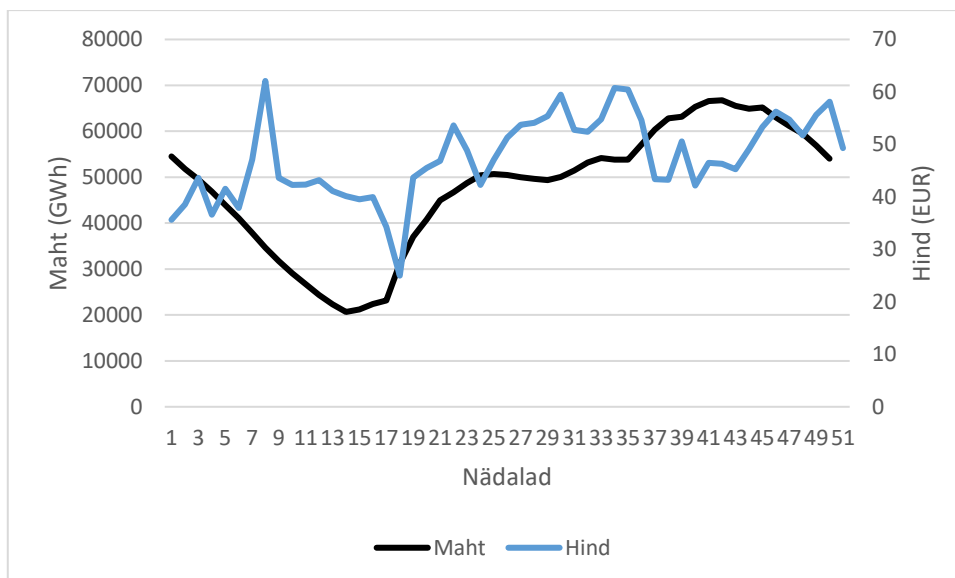
EE	0,409057886
DK1	0,252142104
DK2	0,394385
SE3	0,289746449
SE4	0,376711214



Joonis 7.7. Norra hüdroreservuaaride maht nädalate lõikes 2018. aastal



Joonis 7.8. Eesti elektri hind nädalate lõikes 2018. aastal



Joonis 7.9. Eesti elektri hind ja Norra hüdroreservuaaride maht 2018. aastal

Tabel 7.3. Piirkondade korrelatsioon aastal 2018.

EE	0,445503064
DK1	0,548371
DK2	0,544051
SE3	0,406425521
SE4	0,521814

Tabelis 7.4 on välja toodud kokkuvõtlik tabel aastatel 2016 – 2018.

Tabel 7.4. Korrelatsioonide kokkuvõtlik tabel

	EE	DK1	DK2	SE3	SE4
2016	0,4492	0,4995	0,5609	0,5558	0,5558
2017	0,4090	0,2521	0,3943	0,2897	0,3767
2018	0,4455	0,5483	0,5440	0,4064	0,5218

KOKKUVÕTE

Käesoleva lõputöö eesmärgiks oli uurida, kuidas sõltub Eesti elektri hind Norra hüdroelektrijaamade toodangust. Täpsemalt keskenduti uurimustöös Norra hüdroenergia mahtude ja Eesti elektri hinna vahelisele suhtele ning andmete töötlemiseks ning analüüsimiseks kasutati korrelatsioonimeetodit. Töö eesmärgiks oli ka uurida milline on Eesti elektrienergiajulgeolek võttes arvesse korrelatsiooni tulemusi ning tehes nendele põhinedes järeldusi, kui sõltuv on Eesti energeetiliselt teistest riikidest.

Põhiliseks info kogumise andmebaasiks töö käigus oli Nord Pool Spot'i ajaloolised arhiivid kust saadi informatsiooni ajalooliste hindade kui ka hüdroenergia mahtude kohta. Andmete töötlemiseks ning analüüsimiseks kasutati MS Excel tarkvara.

Töö käigus ilmnis, et kättesaadav ajalooline informatsioon täpsete hüdroreservuaaride mahtude kohta (näiteks kuupmeetrites) Norra riikliku veeinfo kodulehel puudub ning kättesaadav oli vaid hetkeline veetasemete info, mis uuenes igapäevase intervalliga. Selleks, et saada täpsem ülevaade ning korrelatsioon, tuleks läbi viia ajalisel pikem andmete kogumise protsess täpsete veetasemete ja hüdroreservuaaride mahtude osas, viies need sõltuvusse Eesti elektri hindadega ning analüüsid tulemusi.

Käesoleva töö tulemusi analüüsid ning võttes arvesse korrelatsioonikordaja arvulise väärtuse kokkuleppeliste piiride seoste tugevuste iseloomustuse, võib öelda, et Eesti elektri hind on vaadeldud perioodil nõrgas sõltuvuses Norra hüdroreservuaaride mahtudega. Vaadeldud perioodil jäi korrelatsioonikordaja arvuline väärtus Nord Pool Spot'i Eesti piirkonnas vahemikku 0,4...0,45 mis näitab, et seos kahe andmestiku vahel on nõrk. Sellest tulevnevalt võib öelda, et Eesti elektri hind ei ole nii tugevas sõltuvuses Norra hüdrojaamadest, kui seda vahel energeetika valdkonna aramusliidrite poolt väidetakse olevat.

Töö tulemusi analüüsid võib teise aspektina välja tuua, et aastate lõikes stabiilselt madal korrelatsiooninäitaja tähendab elektrienergiajulgeoleku osas, et Eesti sõltub välisriikide elektrienergiast vähesel määral. Selle tulemusena on ka Eesti üldine julgeolek suurem. Eesti elektrienergiajulgeoleku hea taseme põhjuseks võib olla põlevkivijaamade olemasolu, mis tagavad Eestile stabiilse elektrienergia ka kriisi olukorras.

SUMMARY

The purpose of this thesis was to examine how the price of electricity in Estonia depends on the production of hydroelectric power plants in Norway. More specifically, the research focused on the ratio between Norwegian hydropower volumes and the Estonian electricity price, correlation method was used to process and analyse the data. The aim of the thesis was also to examine what Estonia's electricity security would be like, taking into account the results of the correlation and drawing conclusions on how dependent Estonia was on energy from other countries. The main data collection database in the course of the work was the historical archives of Nord Pool Spot, where historical prices as well as hydropower volumes were obtained. MS Excel software was used to process and analyze obtained data.

The thesis revealed that historical information on the volumes of accurate hydroreservoirs (e.g. cubic metres) on the Norwegian national water information website was not available and only current water level information was available, which was updated at daily intervals. In order to obtain a more accurate overview and correlation, a longer data collection process should be carried out for accurate water levels and hydro reservoirs volumes, making them dependent on Estonian electricity prices and analysing the results.

Analysing the results of this work and taking into account the characterisation of the strengths of the relationship between the agreed limits of the numerical value of the correlation coefficient, it can be said that the electricity price in Estonia is weak in ratio to the volumes of the Norwegian hydro reservoirs during the period considered. During the period considered, the numerical value of the correlation coefficient in the Estonian area of Nord Pool Spot ranged from 0.4 to 0,45 indicating that the link between the two data sets is weak. Therefore, it can be said that Estonia's electricity price is not as heavily dependent on Norwegian hydro plants as it is sometimes claimed by energy opinion leaders. In analysing the results of the work, it may be pointed out, as a second aspect, that a stable, low correlation indicator over the years means that Estonia is slightly dependent on electricity from foreign countries in terms of electricity security. As a result, Estonia's overall security is also higher. The reason for a good level of electricity security in Estonia may be the existence of shale plants which provide Estonia with stable electricity even in the event of a crisis.

KASUTATUD KIRJANDUS

- [1] Nord Pool Spot [WWW]. <https://www.nordpoolgroup.com/> [05.12.2018]
- [2] Nord Pool Day-Ahead Trading [WWW]. <https://www.nordpoolgroup.com/trading/Day-ahead-trading/Order-types/> [05.12.2018]
- [3] Nord Pool Intra-Day Trading [WWW]. <https://www.nordpoolgroup.com/trading/intraday-trading/order-types/> [05.12.2018]
- [4] Nord Pool Market Data, Production [WWW]. <https://www.nordpoolgroup.com/Market-data1/Power-system-data/Production1/Production1/ALL1/Hourly/?view=table> [05.12.2018]
- [5] J. Matin, "Nord Pool elektribörsi päev-ette turu nõudluse ja pakkumise dünaamika analüüs," TTÜ Magistritöö, 2016.
- [6] IHA, International hydropower association "Norway," [WWW]. <https://www.hydropower.org/country-profiles/norway> [01.03.2019]
- [7] Energy Facts Norway, "Main elements of Norwegian Energy policy," [WWW]. <https://energifaktanorge.no/en/om-energisektoren/verdt-a-vite-om-norsk-energipolitikk/> [02.03.2019]
- [8] Ministry of Petroleum and Energy, Norway, "White Paper on Norway's energy policy: Power for Change," [WWW]. <https://www.regjeringen.no/en/aktuelt/white-paper-on-norways-energy-policy-power-for-change/id2484248/> [02.03.2019]
- [9] Statistisk sentralbyrå, "Electricity, Table 2" [WWW]. <https://www.ssb.no/en/energi-og-industri/statistikker/elektrisitet/aar> [04.03.2019]
- [10] Statistisk sentralbyrå, "Electricity, Table 1" [WWW]. <https://www.ssb.no/en/energi-og-industri/statistikker/elektrisitet/aar> [04.03.2019]
- [11] Elektrum, "Elektri hinna kujunemine," [WWW]. <https://www.elektrum.ee/ee/kodu/naidud-ja-arved/elektri-hinna-kujunemine/> [13.03.2019]
- [12] Elektrum, "Nord Pool hind," [WWW]. <https://www.elektrum.ee/ee/kodu/naidud-ja-arved/elektri-hinna-kujunemine/nord-pool-hind/> [13.03.2019]
- [13] Nord Pool, "Bidding areas," [WWW]. <https://www.nordpoolgroup.com/the-power-market/Bidding-areas/> [15.03.2019]

- [14] Nord Pool, "Price formation," [WWW]. <https://www.nordpoolgroup.com/the-power-market/Day-ahead-market/Price-formation> [15.03.2019]
- [15] H. Tammoja, "Elektrijaamad," TTÜ materjalid, 2013.
- [16] IHA, International hydropower association, "Types of hydropower," [WWW]. <https://www.hydropower.org/types-of-hydropower> [20.04.2019]
- [17] Digiõppevaramu, "Vee-energia," [WWW]. <https://vara.e-koolikott.ee/node/2564> [20.04.2019]
- [18] List of powerstation in Norway, [WWW]. https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_power_stations_in_Norway [29.04.2019]
- [19] Statkraft, Power plants, [WWW]. <https://www.statkraft.com/energy-sources/Power-plants/> [29.04.2018]
- [20] Energiatalgud, "Energiajulgeolek," [WWW]. https://energiatalgud.ee/index.php?title=Energiajulgeolek#cite_note-ENSALV-2 [03.05.2019]
- [21] Energiasalv, "Eesti energiasüsteemi arengu võimalikud stsenaariumid," 2011.
- [22] Digiõppevaramu, "Korrelatsioon," [WWW]. <https://vara.e-koolikott.ee/taxonomy/term/2355> [15.05.2019]
- [23] The Local DK, "Denmark set wind power record in 2017," [WWW]. <https://www.thelocal.dk/20180111/denmark-set-wind-power-record-in-2017-ministry> [19.05.2019]
- [24] Inhabitat, "Wind power supplied 43,6% of Denmark's energy in 2017," [WWW]. <https://inhabitat.com/wind-power-supplied-43-6-of-denmarks-energy-in-2017> [19.05.2019]

LISAD

L1 2016. aasta korrelatsiooni leidmine

2016 Eesti VS Norra	EUR/MWh	GWh	EUR/MWh	EUR/MWh	EUR/MWh	EUR/MWh		
nädal	Hind Eesti	Hydro Norra	Hind Taani		Hind Rootsi			
	EE	NO	DK1	DK2	SE3	SE4		
01 - 17	38,96	64848	22,52	27,96	27,96	27,96		
02 - 16	40,81	61654	29,92	38,05	38,01	38,05		
03 - 16	52,13	58235	36,58	46,77	46,77	46,77		
04 - 16	26,21	56990	16,04	16,78	17,44	17,44		
05 - 16	29,39	55266	15,98	17,06	17,57	17,57		
06 - 16	30,48	52814	18,11	18,45	18,7	18,96		
07 - 16	25,9	50239	18,88	20,75	20,36	21,53		
08 - 16	27,02	47424	20,09	20,49	20,78	20,97		
09 - 16	28,82	44505	21,04	22,36	21,22	22,36		
10 - 16	29,18	41456	23,94	24,13	23,94	24,13		
11 - 16	28,43	39364	21,87	23,11	21,82	23,11		
12 - 16	30,92	37478	19,84	20,13	20,46	20,54		
13 - 16	30,14	35976	18,4	20,27	20,36	21,39		
14 - 16	31,04	34504	21,78	21,87	21,8	21,87		
15 - 16	29,2	32801	22	22,2	22,21	22,21		
16 - 16	28,79	31593	20,96	21,13	21,13	21,13		
17 - 16	28,6	29923	23,53	23,61	23,59	23,59		
18 - 16	24,07	30014	21,82	21,93	21,75	21,77		
19 - 16	27,33	32136	22,77	23,04	22,86	22,99		
20 - 16	31,11	33688	25,11	25,91	25,8	25,85		
21 - 16	29,66	38549	23,91	27,17	24,09	24,09		
22 - 16	32,45	45833	26,28	27,14	27,11	27,11		
23 - 16	34,51	49092	27,73	30,66	30,57	30,65		
24 - 16	32,72	51242	29,6	31,65	31,65	31,65		
25 - 16	34,5	54369	29,08	31,6	31,53	31,53		
26 - 16	41,93	58018	25,58	41,68	41,68	41,68		
27 - 16	30,98	59329	24,97	28,17	28,15	28,15		
28 - 16	31,59	60932	25,67	29,19	29,2	29,2		
29 - 16	30,65	62061	29,59	30,59	30,55	30,59		
30 - 16	32,9	63807	28,97	29,85	29,52	29,83		
31 - 16	29,65	64991	24,74	29	29	29		
32 - 16	30,27	66996	22,12	27,72	28,09	28,09		
33 - 16	32,26	67029	30,08	32	32	32		
34 - 16	32,21	67724	30,99	31,87	31,83	31,85		
35 - 16	31,25	68720	29,48	30,72	30,56	30,6		
36 - 16	34,01	69235	30,44	31,08	30,29	30,36		
37 - 16	32,83	69411	27,21	28,92	28,8	28,92		
38 - 16	32,37	68544	30,93	32,75	30,82	31,52		
39 - 16	31,61	70814	26,97	33,3	26,67	27,74		
40 - 16	36,49	70102	27,75	31,81	31,37	31,37		
41 - 16	37,86	68334	31,8	36,63	37,84	38,08		
42 - 16	37,23	66485	34,34	38,99	37,15	38,63		
43 - 16	39,79	65043	38,43	39,72	39,78	39,79		
44 - 16	40,71	63471	39,57	40,59	40,73	40,73		
45 - 16	48,64	60755	45,39	49,1	49,1	49,1		
46 - 16	39,05	59577	30,02	39,12	39,12	39,12		
47 - 16	36,49	58649	34,47	36,89	36,44	36,92		
48 - 16	37,33	56891	33,43	36,3	37,36	37,36		
49 - 16	37,15	56649	33,13	35,32	35,77	35,97		
50 - 16	40,48	54457	36,47	40,86	38,94	40,87		
51 - 16	28,47	53687	22,23	26,77	28,06	30,86		
52 - 16	27,58	53987	19,26	20,3	27,09	27,27		
Korrelatsioon:	0,449229418		Kor:	0,499504004	0,560947074	Kor:	0,555834088	0,555814923

L2 2017. aasta korrelatsiooni leidmine

	GWh	EUR/MWh	EUR/MWh		EUR/MWh		EUR/MWh
	NO Hydro	EE Hind	SE Hind				DK Hind
Nädal							
	NO	EE	SE3	SE4		DK1	DK2
01 - 18	51959	33,81	33,91	35,05		31,44	34,12
02 - 17	50102	31,4	30,34	31,82		29,21	31,22
03 - 17	48484	34,49	33,02	35,28		33,02	35,29
04 - 17	46780	33,82	30,54	33,68		30,6	33,73
05 - 17	44240	34,91	32,64	36,1		32,19	36,1
06 - 17	41458	40,73	38,87	39,24		34,52	39,24
07 - 17	39043	34,12	32,96	34,61		32,08	34,29
08 - 17	37381	31,46	29,1	29,1		22,77	24,16
09 - 17	35222	31,32	30,09	30,18		27,14	28,2
10 - 17	32716	33,84	33,22	33,29		32,86	33
11 - 17	31142	27,72	27,75	28,46		25,43	26,35
12 - 17	29456	29,09	29,09	29,09		28,78	28,86
13 - 17	28601	30,76	30,72	30,72		30,84	31,04
14 - 17	28251	29,91	28,45	30,03		25,9	30,6
15 - 17	27589	28,52	26,61	26,61		26,08	26,32
16 - 17	26148	31,16	26,95	27,14		23,81	25,17
17 - 17	24236	36,22	33,95	33,98		33,13	33,52
18 - 17	23543	29,31	29,37	29,37		26,58	26,73
19 - 17	23183	32,63	32,4	32,4		32,51	32,75
20 - 17	28682	29,32	28,13	28,27		28,11	28,66
21 - 17	33857	29,63	27,04	27,37		28,26	28,73
22 - 17	37965	31,76	30,95	31,01		31,63	32,06
23 - 17	44950	33,31	24,46	24,46		25,23	25,79
24 - 17	50159	30,02	25,62	26,45		26,58	27,75
25 - 17	53631	28,17	26,54	29,53		28,78	30,34
26 - 17	55720	30,44	29,65	30,01		29,36	30,06
27 - 17	56950	40,19	33,83	33,84		33,28	34
28 - 17	58713	34,95	33,41	33,41		34,17	34,22
29 - 17	60102	30,4	29,28	29,48		31,53	31,59
30 - 17	61742	34,1	28,9	28,9		29,94	30,4
31 - 17	64004	29,81	26,12	26,12		27,04	27,71
32 - 17	65357	34,08	29,73	29,86		29,93	30,06
33 - 17	66620	37,64	32,71	32,72		29,55	32,74
34 - 17	66678	41,64	41,63	41,73		39,88	41,75
35 - 17	66334	37,79	37,64	38,97		37,56	39,04
36 - 17	66891	39	38,93	39,28		33,86	39,4
37 - 17	68380	36,67	36,31	36,31		29,27	36,5
38 - 17	68189	37,66	37,66	39,03		38,19	39,55
39 - 17	68088	35,53	32,22	32,22		31,97	38,33
40 - 17	70394	31,04	28,38	28,67		23,32	26,52
41 - 17	70449	35,87	35,2	35,62		31,36	35,08
42 - 17	70854	34,27	31,87	34,59		33,88	37,68
43 - 17	71179	33,74	27,96	30,81		20,54	27,12
44 - 17	70968	30,61	28,03	32,22		30,6	33,95
45 - 17	69864	30,84	29,78	32,82		33,73	35,66
46 - 17	68313	33,02	30,11	33		30,2	31,22
47 - 17	67072	34,99	34,07	35,38		33,19	34,05
48 - 17	64762	38,28	37,27	38,45		37,2	38,22
49 - 17	64229	32,43	29,49	29,75		26,37	26,65
50 - 17	61616	34,33	33,13	34,5		32,44	33,94
51 - 17	60398	32,25	31,13	34,9		28,43	30,5
52 - 17	59449	28,41	27,73	28,18		21,01	23,39
		Kor:	0,409057886	0,289746449	0,376711214	0,252142104	0,394385

L3 2018. aasta korrelatsiooni leidmine

	GWh	EUR/MWh	EUR/MWh		EUR/MWh		
	NO Hydro	EE Hind	SE Hind		DK Hind		
Nädal							
	NO	EE	SE3	SE4	DK1	DK2	
02 - 18	54521	35,61	34,58	35,03	34,35	34,69	
03 - 18	51801	38,55	34,01	34,03	32,95	33,24	
04 - 18	49476	43,63	32,13	33,59	28,04	29,74	
05 - 18	46858	36,63	32,25	32,76	30,42	30,96	
06 - 18	43915	41,53	39,9	42,13	36,34	40,94	
07 - 18	41079	37,87	35,38	36,05	34,46	35,13	
08 - 18	37892	47,1	44,79	44,82	43,94	44,65	
09 - 18	34662	62,09	53,77	53,77	38,23	53,53	
10 - 18	31734	43,64	43,13	43,16	41,6	42,72	
11 - 18	29092	42,26	42,14	42,16	29,09	35,23	
12 - 18	26681	42,33	42,31	42,79	42,45	42,94	
13 - 18	24347	43,18	43,03	43,03	39,98	41,38	
14 - 18	22328	41,13	41,05	41,05	36,08	36,36	
15 - 18	20658	40,12	40,42	40,42	36,11	36,21	
16 - 18	21220	39,51	39,44	39,59	39,12	39,55	
17 - 18	22371	39,95	35,63	35,67	34,47	34,61	
18 - 18	23142	34,29	30,4	30,82	30,12	31,6	
19 - 18	31190	24,99	22,48	22,48	27,65	28,57	
20 - 18	37027	43,69	33,69	40,94	35,44	41,49	
21 - 18	40774	45,52	37,61	43,27	38,9	43,46	
22 - 18	44964	46,83	44,08	45,39	45,07	45,81	
23 - 18	46690	53,63	45,97	47,28	47,42	47,69	
24 - 18	48731	48,87	46,1	49,8	45,51	56,38	
25 - 18	50420	42,27	39,32	39,72	36,73	39,79	
26 - 18	50709	47,08	45,82	49,4	49,45	50,96	
27 - 18	50465	51,3	51,05	51,26	49,4	51,27	
28 - 18	49974	53,72	52,65	52,69	51,86	52,43	
29 - 18	49632	54,11	53,03	53,08	52,84	53,09	
30 - 18	49371	55,37	53,47	55,28	54,26	56,23	
31 - 18	50038	59,48	54,29	57,26	55,97	58,5	
32 - 18	51448	52,79	50,95	53,71	53,28	54,04	
33 - 18	53168	52,41	52,03	53,12	54,06	54,58	
34 - 18	54189	54,79	54,98	55,45	56,67	57,06	
35 - 18	53841	60,75	61,15	61,15	59,32	61,13	
36 - 18	53837	60,48	60,78	60,78	60,15	62,27	
37 - 18	57134	54,57	54,41	56,83	56,59	58,22	
38 - 18	60389	43,37	43,25	44,2	41,78	44,96	
39 - 18	62837	43,28	37,74	37,74	38,64	39,69	
40 - 18	63149	50,56	49,29	54,35	50,26	53,33	
41 - 18	65295	42,15	40,82	48,77	40,98	49,63	
42 - 18	66608	46,49	43,63	58,52	60,12	61,11	
43 - 18	66757	46,28	42,54	45,39	41,28	43,3	
44 - 18	65541	45,24	43,89	45,73	44,71	45,33	
45 - 18	64879	49,13	48,33	52,57	52,44	52,88	
46 - 18	65220	53,32	47,44	52,29	52,58	53,07	
47 - 18	63031	56,25	52,07	58,97	58,21	59,42	
48 - 18	61132	54,72	53,31	54,19	52,4	53,91	
49 - 18	59451	51,76	47,04	47,14	39,52	42,04	
50 - 18	56906	55,64	53,94	55,97	51,9	56,9	
51 - 18	54034	58,14	55,54	56,24	55,11	56,31	
52 - 18		49,31	48,88	48,88	42,41	43,22	
		Kor:	0,445503064	0,406425521	0,521814	0,548371	0,544051