

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
Majandusteaduskond
Majandusanalüüsi ja rahanduse instituut

Karl-Thomas Sepp
CO₂ JA FOSSILKÜTUSTE HINDADE MÕJU ELEKTRIHINNALE

Bakalaureusetöö
Õppekava RAKENDUSLIK MAJANDUSANALÜÜS, peeriala majandusanalüüs

Juhendaja: Ako Sauga, PhD

Tallinn 2022

Deklareerin, et olen koostanud lõputöö 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 7422 sõna sissejuhatusest kuni kokkuvõtte lõpuni.

Karl-Thomas Sepp.....

(allkiri, kuupäev)

Üliõpilase kood: 185922TAAB

Üliõpilase e-posti aadress: karlthomas.sepp@gmail.com

Juhendaja: Ako Sauga, PhD:

Töö vastab kehtivatele nõuetele

.....

(allkiri, kuupäev)

Kaasjuhendaja :

Töö vastab kehtivatele nõuetele

.....

(allkiri, kuupäev)

Kaitsmiskomisjoni esimees:

Lubatud kaitsmisele

.....

(nimi, allkiri, kuupäev)

SISUKORD

LÜHIKOKKUVÕTE.....	5
SISSEJUHATUS	6
1. ELEKTRIENERGIA PÄRITOLU FOSSIILSETEST KÜTUSTEST	8
1.1. Energiasüsteem Euroopas.....	8
1.2. Gaasist tulenev elektrienergia.....	10
1.2.1. CO ₂ teke gaasist elektri tootmisel.....	11
1.3. Kivisöest tulenev elektrienergia	12
1.3.1. CO ₂ teke kivisöest elektri tootmisel	12
1.4. Elektriturg Euroopas.....	14
2. Elektrihipida mõjutavad muutujad fossiilkütuste näol	17
2.1. Andmete kirjeldus.....	17
2.2. Metoodika.....	22
3. Euroopa riikide elektrihipida mõjutavate tegurite analüüs.....	23
3.1. Elektri hipida mõjutavate tegurite analüüsi tulemused.....	23
3.1.1. Analüüsi tulemused Eestis.....	25
3.1.2. Analüüsi tulemused Lätis	27
3.1.3. Analüüsi tulemused Leedus.....	30
3.2. Järeldused ja ettepanekud elektri hipidade poliitika kujundamisel	33
KOKKUVÕTE.....	35
SUMMARY.....	37
KASUTATUD ALLIKATE LOETELU	40
LISAD	43
Lisa 1. Ühikjuure testimine Dickey-Fuller testiga.....	43
Lisa 2. Ühikjuure testimine Dickey-Fuller testiga peale diferentside kasutamist.....	46
Lisa 3. Esialgne mudel Eesti elektrihipidade kohta.....	47
Lisa 4. Uuendatud mudel Eesti elektrihipidade kohta	48
Lisa 5. White'i testi tulemus Eesti elektrihipidade kohta.....	49
Lisa 6. Kohandatud standardvigadega mudel Eesti elektrihipidade kohta.....	50
Lisa 7. Uuendatud kohandatud standardvigadega mudel Eesti elektrihipidade kohta	51
Lisa 8. Esialgne viitaegu ja standardvigu kasutades saadud mudel Eesti elektrihipidade kohta.....	52
Lisa 9. Lõplik viitaegu ja standardvigu kasutades saadud mudel Eesti elektrihipidade kohta.....	53

Lisa 10. Esialgne mudel Läti elektrihindade kohta	54
Lisa 11. Uuendatud mudel Läti elektrihindade kohta.....	55
Lisa 12. White'i testi tulemus Läti elektrihindade kohta.....	56
Lisa 13. Uuendatud kohandatud standardvigadega mudel Läti elektrihindade kohta.....	57
Lisa 14. Esialgne viitaegu ja standardvigu kasutades saadud mudel Läti elektrihindade kohta	58
Lisa 15. Lõplik viitaegu ja standardvigu kasutades saadud mudel Läti elektrihindade kohta ..	59
Lisa 16. Esialgne mudel Leedu elektrihindade kohta.....	60
Lisa 17. Uuendatud mudel Leedu elektrihindade kohta	61
Lisa 18. White'i testi tulemus Leedu elektrihindade kohta	62
Lisa 19. Uuendatud kohandatud standardvigadega mudel Leedu elektrihindade kohta	63
Lisa 20. Esialgne viitaegu ja standardvigu kasutades saadud mudel Leedu elektrihindade kohta	64
Lisa 21. Lõplik viitaegu ja standardvigu kasutades saadud mudel Leedu elektrihindade kohta	65
Lisa 24. Lõputöös kasutatavad Nord Pool ja Revinitiv Eikon andmebaasist saadud andmed ..	66
Lisa 23. Lihtlitsents	67

LÜHIKOKKUVÕTE

Lõputöö eesmärgiks on anda ülevaade Balti riikide elektri hindu mõjutavatest teguritest, milleks valiti CO₂ kvootide ja fossiilkütuste hinnad. Uuring on vajalik, et selgitada välja, kas hetkel Euroopas toimunud järsk hindade tõus on põhjustatud CO₂ kvootide hinna tõusust, mis omakorda võib mõjutada fossiilkütuste hinnatõusu. Autor on eesmärgi täitmiseks püstitanud viis peamist ülesannet: anda ülevaade Euroopa energiaturust ja selgitada, kui palju toodetavast elektrist pärineb fossiilkütustest ning kuidas on selle osakaal ajas muutunud, analüüsida elektri, CO₂ ja fossiilkütuste hindade muutusi, modelleerida vastav mudel ning teha selle põhjal järeldused.

Autor on analüüsinud CO₂, fossiilkütuste ja elektri hindade tulemusi perioodil 2017-2022, mille põhjal on koostatud Balti riikide kohta kolm erinevat vähimruutude meetodiga mudelit. Sõltuvaks tunnuseks on vastaavalt riigile – Eesti, Läti, Leedu – elektri hind. Sõltumatuteks teguriteks on CO₂ ja fossiilkütuste hinnad.

Analüüside käigus on selgunud, et kindlaid järeldusi koostatud mudelite põhjal teha ei saa. Nii Läti kui Leedu mudelis eesmärgi täitmiseks olulisi tunnuseid ei esinenud. Eesti elektri hindade kujunemisel on aga vähesel määral oluline gaasi hind, mille tulemusel leiti, et kõrgem gaasi hind põhjustab elektri hinna kasvu 12,5% punkti võrra. Kasutades aga viitaegadega mudelit saab kõigi kolme riigi puhul väita, et nafta hind eelmise päeva seisuga on vähesel määral oluline ning positiivselt seotud elektri hinna kujunemisega. Kõigi kolme riigi puhul oli nafta hinna koefitsendid sarnased – Eestis 1,82, Lätis 1,98 ja Leedus 1,92.

Võtmesõnad: Energiaturg, elektrienergia hinnad, fossiilkütuste hinnad, CO₂ kvootide hind

SISSEJUHATUS

Lõputöö teemaks on „CO₂ ja fossiilkütuste hindade mõju elektri hinnale“, mis käsitleb CO₂ ning erinevate fossiilsete kütuste - nafta, gaas ja kivisüsi - hindade muutusi viimase viie aasta põhjal. Tulemuste leides uuritakse, kuidas on antud muutused seotud elektri hindade kõikumisega Balti riikides.

Elektrihindade järsk tõus on tänapäeva ühiskonnas osutunud suureks murekohaks. Paljud kodumajapidamised on hädas oma igakuiste elektriarvete tasumisega ning tihti tuleb kaaluda kellaage, millal oleks mõistlik tarbimist suurendada ja millal vähendada. Sellest tulenevalt on tekkinud küsimus, et millest küll see äkiline kasv tuleneb - uurimistöös proovitakse välja selgitada, kas antud protsess on põhjustatud sellest, et elektri energia tootmine toimub jätkuvalt suuresti fossiilkütustest nagu kivisüsi ja gaas, mille hinnad on samuti järsult tõusnud. Kas hindade tõus võib tuleneda üleminekust rohepoliitikale, mille tõttu on kasvanud ka CO₂ kvootide hinnad? Kõigele sellele proovib autor oma lõputöös vastuse saada.

Töö eesmärgiks on välja selgitada, kas elektrihindade tõus Balti riikides on tingitud CO₂ kvootide ja fossiilkütuste hinna tõusust.

Lõputöö autor on püstitanud eesmärgi saavutamiseks järgnevad uurimisküsimused:

- Kui suur osa Euroopa Liidus toodetavast elektrist pärineb fossiilsetest kütustest ehk naftast, gaasist ja söest?
- Kuidas on fossiilsetest kütustest toodetava elektri osakaal ajas muutunud?
- Kui palju on CO₂ ja fossiilkütuste hinnad viimaste aastatega muutunud?
- Kui palju on elektri hinnad Balti riikides viimaste aastatega muutunud?
- Kas saab järeldada, et elektri hinna tõus Balti riikides on otseselt seotud CO₂ ja fossiilkütuste hinna tõusust?

Teoreetiline osa antud lõputöös keskendub Euroopa energiaturu uuringutele. Sellega seoses analüüsitakse ka elektrienergia päritolu fossiilsetest kütustest ning võetakse läbi varasemaid teadustöid seoses CO₂ tekkega gaasi ja kivisöest elektri tootmisel. Uuritakse ka trendi ehk kuidas on fossiilsetest kütustest toodetava elektri osakaal ajas muutunud ning proovitakse ka pöörata tähelepanu tulemuste erinevuste selgitamisele. Eelkõige on teooria analüüsimisel lähtutud erinevate rahvusvaheliste uuringute analüüsimisest.

Andmete analüüsi käigus lähtutakse Nord Pool ja Refinitiv Eikon andmebaasidest. Andmed pärinevad Balti riikide kohta ning ajavahemikuks on võetud 2017-2022, et leida tulemused kasutades kõige värskemaid andmeid. Mudelisse koondatakse andmed CO₂, nafta, kivisöe, gaasi, elektrihindade ning tootmis- ja tarbimismahu muutuste kohta Eestis, Lätis ja Leedus. Kasutades aegridu viiakse läbi regressioonanalüüs andmetöötlus programmis Gretl. Analüüsi mudeli koostamiseks valitakse vähimruutude meetod. Kokku koostatakse kolm mudelit – Eesti, Läti ja Leedu kohta. Sõltuvaks tunnuseks loetakse elektri hindu vastavas riigis ning sõltumatuteks tunnusteks on fossiilkütuste hinnad ja tarbimis-tootmismahud. Töös on plaanis kasutada sekundaarseid kvantitatiivseid makroandmeid.

Kolmandas peatükis keskendutakse andmete ja mudelite analüüsimisele ning proovitakse välja selgitada tulemuste erinevus. Samuti antakse soovitusi, kuidas mudelit edaspidi paremini üles ehitada ja arendada.

Autor soovib tänada oma juhendajat, kes on aidanud lõputöö valmimisele kaasa.

1. ELEKTRIENERGIA PÄRITOLU FOSSIILSETEST KÜTUSTEST

Tänapäeva ühiskonnas on palju erinevaid võimalusi, kuidas genereerida elektrit madala süsinikuheitega. Siiski leidub Euroopas siiani elektrijaamu, mille generaatorid töötavad vaid fossiilkütustel. Üheks suurimaks sammuks fossiilkütustest vabanemiseks oleks soojuse ja transpordi elektrifitseerimine, mis võimaldaks dekarboniseerida energiakasutust kogu maailma majanduses (Green, Staffell 2016). Antud peatükis annab töö koostanud autor ülevaate elektrienergia päritolust Euroopas ning analüüsib lähemalt kivisöest ja gaasist tulenevat energia kogust.

1.1. Energiasüsteem Euroopas

Euroopa Liidu energiasüsteem on endiselt suhteliselt kõrge heitkogusega fossiilkütuseid kasutav portfelli. Siiani leidub mitmeid suuri levialasid, kus jätkub suur sõltuvus söest, mis tähendab, et süsiniku kogumine ja ladustamine on Euroopa Liidu jaoks hädavajalik saavutamaks süsinikdioksiidiheite vähendamise eesmärgid. Fossiilkütused pakkusid 2012. aastal ligikaudu 74 protsenti kogu Euroopa Liidu energiavajadusest, sealhulgas elektri tootmiseks, kütmiseks ja transpordiks. Umbes 17 protsenti sellest kaeti kivisöega, 23 protsenti gaasiga ja 34 protsenti naftaga. (Eurostat 2014) 2020. aastaks on fossiilkütuste maht energia tootmisel vähenenud 70 protsendini. (Eurostat 2022) Kuigi Euroopa Liit on suuresti fossiilkütuste netoimportija, eelkõige Venemaalt, osutuvad kodumaised söe- ja gaasiallikad endiselt olulisteks majandulikeks allikateks. 2013. aastal ulatusid söevarud kokku veidi üle 56 miljardi tonni. Nendest piisaks, et rahuldada söe nõudlust umbes saja aasta jooksul. Tõestatud maagaasi varud EL-is on tagasihoidlikumad, kuid siiski ei tasu nende olemasolu vähem tähtsamaks pidada. 2013. aastal oli gaasi maht ligikaudu 1,6 triljonit kuupmeetrit, millest piisab gaasinõudluse rahuldamiseks Euroopa Liidus veidi vähem kui 11 aastaks. (BP 2014) Euroopa komisjoni (2013) hinnagutel võivad fossiilsed kütused moodustada 2030. aastaks siiski üle 50 protsendi Euroopa Liidu energiaallikatest. Selline suur sõltuvus fossiilsetest kütustest näib olevat ebatõenäoline ühtima EL-i kliimamuutuste eesmärkidega. Antud lahknevus võib kaasa tuua olukorra, kus fossiilkütuste varade kasutus võib takerduda ning riigid,

kes sõltuvad suuresti just antud varadest võivad seetõttu aeglustada Euroopa Liidu kliimamuutuste poliitikat. Välja arvatud küll juhul, kui süsinikdioksiidi kogumist ja säilitamist suudetakse rakendada tõhusalt ning laialdaselt. (Bassi *et al* 2015)

G7 tööstusriigid on käesoleva sajandi jooksul pannud suurt rõhku maailmamajanduse dekarboniseerimisele (G7Germany, 2015). Sarnased vaated on ka organisatsioonidel nagu ülemaailmne Apollo programm, mille eesmärgiks on muuta idee fossiilkütustest vananenuks, arendades taastuvenergia baaskoormusega tootmist, mis on kivisöest odavam. Suurimaks tagajärjeks antud eesmärgile on see, et olemasolevad fossiilkütustel töötavad jaamad võivad vananeda enne nende aastakümnete pikkuse tehnilise eluea lõppu. Hetkel Euroopas umbes 210 GW fossiilvõimsusest alla 40-aastased ja 115 GW alla 25-aastased. Ligikaudu 30 protsenti sellest noorest võimsusest (35 GW) asub Saksamaal, 15 protsenti Poolas ja 8 protsenti. Ühendkuningriigis. Kolm kommunaalettevõtet paistavad silma: RWE, Vattenfall ja E.ON – nendest igaüks omab 10–15 GW, mis on alla 40 aasta vana, sealhulgas 13 GW Vattenfalli fossiilsetest varadest on alla 25 aasta vanad. (Green, Stafell 2016).

Taastuvenergia kasutamine kasvab Euroopas ja kogu maailmas palju kiiremini kui ülejäänud majandus. See ja dramaatiline naftahinna tõus 2005. aastal on toonud kaasa taastuvenergia sektori märkimisväärse ümberhindamise poliitikute ja finantseerimisasutuste poolt. Hoolimata asjaolust, et Euroopa Liidu ja USA vahel valitseb endiselt lahknevusi kliimamuutustega toimetulemise osas, on taastuvenergial oluline roll Kyoto protokolliga elluviimisel ja kaubeldavate roheliste sertifikaatide ülemaailmsel kasutuselevõtul. Lisaks elektrisektorile muutuvad tulevikus üha olulisemaks ka taastuvad energiaallikad soojuse tootmiseks ja keskkonnasõbralike biokütuste kasutamine transpordisektoris. Euroopa Liit on käesoleva seisuga suurim majandusüksus, mille õiguslikult siduv eesmärk on saavutada 2020. aastaks 20% oma energiatarbimisest taastuvatest energiaallikatest. Antud eesmärgi täitmiseks tuleks taastuvatest energiaressurssidest toota ligikaudu 1120-1400 TWh elektrit. 2005. aastal pärines 14% (460 TWh) elektri kogutoodangust (3300 TWh) taastuvatest energiaallikatest ja kasvas 2009. aastal 19,9%-ni (608 TWh) Euroopa kogu netoelektritoodangust (3042 TWh). Suurim osakaal sellest tuli hüdroenergiast (11,6%), järgnesid tuul (4,2%), biomass (3,5%) ja päike (0,4%). Autorid leiavad, et järgmisel kümnendil hüdroenergia säilitab oma elektritootmise ilma suurema kasvuta, samal ajal teised osapooled suurendavad oma panust erineval määral. Biomassist tulenev elekter peaks järgmisel kümnendil ootuste kohaselt lausa kahekordistuma. Selline taastuvast energiaallikast elektri tootmine seisab silmitsi mitmete väljakutsetega, mis peegeldab kütusevarude ja -tehnoloogiate mitmekesisust.

Täiendavaid jõupingutusi on vaja teha bioenergia tehnoloogiate, süsteemide integreerimise, kulutasuvuse ja erinevate biomassi lähteainete suunas, parandada biomassi kasutamise paindlikkust. Tuuleenergia seevastu on juba hästi arenenud tehnoloogia, millel on kiiresti kasvav ülemaailmne turg. Viimase kümnendi tehnoloogiline areng on muutnud tuuleenergia kulud tavapärase energiaallikatega konkurentsivõimeliseks ka heade tuuleressurssidega piirkondades. Uued turuarengud, mis sisaldavad suuremate turbiinidega avamerepaigaldisi ja väikeste turbiinidega integreeritud paigaldiste ehitust toob kaasa tuuleenergia massiivse arengu. Samuti on arengule kaasa aidanud ka tuule edasine laienemine uutele maailmaturgudele. Kõik see tekitab võimaluse, et tuulest saab tõepoolest homse jätkusuutliku energiavarustuse oluline osa. Suur osa taastuvatest energiaallikatest kuulub ka päikesele. Fotogalvaanika on liikumas automatiseeritud tööstuslikule masstootmisele, mis annab võimaluse kasutada ära suurte tootmisüksuste mastaabisäästu ja alandada oluliselt PV-süsteemide kulusid. Juba praegu pakub PV kulukonkurentsivõimelisi lahendusi mitte ainult keskustest kaugematele asukohtadele, vaid ka tippkoormuselektrile nt. Californias. Integratsioon ja võrguga ühendatud fotoelektriline elektrienergia on üks peamisi turu kasvu liikumapanevaid jõude. Selle kasvu säilitamiseks on eratarbijate ja tööstuse investeeringute soodustamiseks vajalikud stabiilsed majanduslikud ja poliitilised tingimused. (Jäger-Waldau *et al* 2011)

1.2. Gaasist tulenev elektrienergia

Globaalne üleminek puhtale energiale ja Euroopa Liidu 2020 aasta eesmärgid nõuavad üha enam edasist üleminekut söelt ja naftalt maagaasile. Maagaas on suhteliselt puhas fossiilkütus, kuid Euroopa kohustus põletada gaasist puhtamat energiat tähendab, et Euroopa on muutunud tarnekatkestuste ja hinnašoki suhtes üha haavatavamaks, kuna peaaegu pool tema maagaasist pärineb kontinentidevahelisest impordist (torujuhtmete ja veeldatud maagaasi saadetised). Maagaas moodustab 2018. aastal kolmandiku energiatarbimisest, selle tarbimine kasvas perioodil 1960–2018 1,94%-lt 28,05%-le (Paraschiv 2020). Autorid (Weijermars *et al* 2011) leiavad, et Euroopa saab omamaise gaasitootmise vähenemist leevendada ebatraditsiooniliste gaasivarude arendamisega, mis on vajalik taastuvenegiatehnoloogiate küpseks saamiseks, et nõudluse rahuldamiseks saaks säästlikult toota suuremaid energiakoguseid. Seni kauaks on Euroopas vaja gaasi ja energiastsenaariumide kohaselt ulatub maagaasi tarbimine 2020. aastal 650 miljardi kuupmeetrini ja 2030. aastal 780 miljardi kuupmeetrini. Tavapärane gaasitootmine EL-is aga

väheneb 2020. aastal 230 miljardi kuupmeetri ja 2030. aastal 140 miljardi kuupmeetri. Sõltuvus mandritevahelisest veeldatud maagaasi ja torujuhtmete impordist seeläbi suureneb veelgi ja peab 2030. aastaks uuringute kohaselt moodustama kuni 80% kogu gaasitarnetest. Sellest tulenevalt võib Euroopa ebakonventsionaalsete gaasivarude arendamine vähendada vajalikku gaasiimporti ja parandada varustuskindlust ning seeläbi vähendada ka hinnašoki riski. (Weijermars et al. 2011)

1.2.1. CO₂ teke gaasist elektri tootmisel

Fossiilkütuste kasutamine energia tootmiseks põhjustab märkimisväärsed CO₂, NO_x, SO₂ ja PM heitkoguste teket. (Paraschiv 2020) on viinud läbi uuringu, kus analüüsitakse fossiilkütuste põletamisel energia tootmiseks tekkivate süsinikdioksiidi heitkoguste muutumist Euroopa Liidu liikmesriikides aastatel 1960–2018. Analüüsis jälgiti 28 liikmesriigi söe, gaasi ja nafta põlemisel tekkivate CO₂ heitkoguste muutumist. Uuringu tulemus näitas, et 2018. aastal suurenesid CO₂ heitkogused 1960. aastaga võrreldes kõige rohkem Küprosel, Portugalis, Kreekas ja Hispaanias, samas kui Tšehhi Vabariigis ja Lätis oli CO₂ heitkoguste tõus 1960. aastaga võrreldes kõige väiksem, vaid 7%. Kahekümne kaheksast analüüsitud liikmesriikmeriigist olid vaid Saksamaal, Luksemburgis, Rootsis ja Ühendkuningriigis 2018. aastal CO₂ heitkogused 1960. aasta omadest madalamad või sellega võrdsed. 2018. aastal suurenes söe põletamisel tekkiv CO₂ emissioon üheteistkümnes riigis ja vähenes 2018. aastal ülejäänud seitseteistkümnes riigis võrreldes 1960. aasta heitkogustega. Gaasi põletamisel tekkivad CO₂ heitkogused suurenesid kõigis 28 analüüsitud riigis, mainides, et 1960. aastal puudus üheteistkümnes riigis gaasitarbimine. Autorid leiavad, et fossiilkütuste kasutamine EL-is on endiselt peamine ressurss ja jääb CO₂ otseheidete peamiseks allikaks, kuigi viimastel aastatel on energiaallikas palju mitmekesisunud. Heitkoguste vähendamiseks ja kasvuhoonegaaside netoheittega majanduse saavutamiseks peab Euroopa Liit rakendama taastuvenergia edendamise ja energiaallikate mitmekesistamise meetmeid, kuna paljud EL-i riigid kasutavad endiselt väga suurel määral fossiilkütuseid. ELi liikmesriigid peaksid ära kasutama taastuvenergia nagu näiteks tuuleenergia kulude vähendamist, investeerima sellesse valdkonda rohkem ja suurendama oma taastuvenergia osakaalu eesmärke energiaallikate kombinatsioonis. (Paraschiv 2020)

1.3. Kivisöest tulenev elektrienergia

Kliimaeesmärkide täitmine on suur väljakutse riikidele, kes on ajalooliselt tugevalt seotud söekaevandamisega ning kelle energiatootmine sõltub suuresti just söe kasutamisest. Paljudes riikides on tänapäeval kujunenud välja poliitika, mis suurendab vähem süsinikupõhise tehnoloogia osakaalu elektritootmises. See aga ei tähenda automaatselt, et süsinikupõhise elektritootmise hulk oleks selle tõttu vastaval määral vähenenud. Heaks näiteks saab kasutada Saksamaad. Aastatel 1990–2015 kasvas taastuvatest energiaallikatest toodetud elektri kogus 171 TWh-ni aastas. Sellega ei kaasnenud aga samaaegne kivisöe kasutamise vähenemine; söe kasutamine vähenes aastatel 1990–2017 vaid 38 TWh aastas (Euroopa Komisjon 2019). Rentier, Lelieveldt ja Kramer on oma uuringus kasutanud kapitalismi sortide analüütilist raamistikku, et võrrelda süsiniku sulgemise taset koordineeritud turumajanduses (CME) ja liberaalses turumajanduses (LME). Koordineeritud turumajanduses leiavad tihti kasutust väljendid nagu "strateegiline suhtlus", "töökaitse" ja "valitsuse omandiõigus", mis pooldavad konkurentsivõimetu kodumaise söetegevuse ja -varade toetamist veto keelu läbi. Liberaalses turumajanduses sõltub aga söe kasutamine rohkem selle turuhinnast rahvusvahelisel energiaturul. Autorid on teostanud võrdluse söekaevandamise ja söeküttel elektritootmise arengu kvalitatiivsuse kohta kolmes CME riigis (Saksamaa, Hispaania, Poola) ja ühes LME riigis (Ühendkuningriik) aastatel 1990–2017. Tulemuste põhjal jõudsid autorid järelduseni, et Ühendkuningriigi liberaalne turumajandus soodustas söekaevandamise ja söe kasutamise suhteliselt kiire järkjärgulist lõpetamist. Palju vastumeelsema arvamusega ülemineku suunas olid aga ülejäänud kolm riiki. (Rentier, Lelieveldt, Kramer 2019)

1.3.1. CO₂ teke kivisöest elektri tootmisel

Fossiilsete kütuste põletamisel atmosfääri eralduv süsihappegaas (CO₂) on peamine inimtekkeline põhjus, miks CO₂ kontsentratsioon on viimaste kümnendite jooksul märkimisväärselt kasvanud. Le Quere et al. 2009 leidis, et aasta jooksul eraldus kütuste põletamisel atmosfääri 91% 9,28 Pg C-st. Andres et al 2010 on leidnud, et seos mitte taastuvate fossiilkütuste põletamise ja süsihappegaasi kontsentratsiooni vahel on ära põhjendatud järgneva viie tõendiga. Esiteks ajaline korrelatsioon eralduvate koguste ja täheldatud kontsentratsioonide vahel (Forster et al., 2007).

Teiseks atmosfääri põhja-lõuna pooluselt tulenev gradient CO₂ kontsentratsioonis (Denman et al., 2007). Kolmandaks tõendiks on stabiilsete süsinikuisotoopide atmosfääritunnuse areng ($\delta^{13}\text{C}$, Ciais et al., 1995). Neljandaks teguriks on täheldatud muutusi radioaktiivse süsiniku atmosfääri tunnuse (^{14}C) suhtes. , Levin et al., 2010) ja viiendaks täheldatud muutused õhuhapniku kontsentratsioonis (Keeling et al., 1993). Autor leiab, et kõik need viis tõendit põhinevad fossiilkütuste CO₂ heitkoguste loenditel. Seoses suurenenud huviga globaalse süsinikuringe üksikasjade vastu on tekkinud vajadus heitkoguste andmekogude järele, mis võimaldaksid hoida saastet kontrolli all. Selle juures on andmekogu ka vajalik tagamaks, et riigid täidavad oma kohustusi ja et need, kes ostavad heitelubasid või heitkoguste kompensatsioone, saavad tõepoolest ostetu kätte. (Andres et al. 2010)

Süsiniku jalajäljed on tavaliselt soodsamad erinevate ettevõtete või riikide võrdleva analüüsi või süsinikdioksiidi haldamise tegemiseks. Selle kohta, kuidas täpselt hinnata süsiniku jalajälge söeküttel töötava elektri kWh kohta, võivad erineda uuringud anda erinevaid vastuseid, kuna puuduvad ühtsed süsteemiipiirid ja andmeallikad, mis takistavad süsiniku vähendamise juhtimist söe-küttel töötavates elektritööstustes. Viimase 40-ne aastaga on globaalne energia tarbimine kasvanud 6,458 miljoni tonnilt 1978. aastal 13,276 miljoni tonnini 2016. aastal. Wang et al. 2018 analüüsib oma uurimistöös söe küttega toimivates energijaamades tekkiva süsiniku heitkoguste otseseid ja kaudseid tegureid Hiina näitel. Uuring näitas, et olelusringi CO₂ kogused muutusid peaaegu samas tempos kui hiina söe tarbimine, näidates esmalt suurenemise ja seejärel vähenemise trendi, saavutades 2014. aasta tippu 3783 Mt CO₂e. Elutsükli toimiva (LCA) süsiniku jalajälj (CF) analüüs näitas, et LCA on rohkem kui 10% kõrgem kui ainult elektritootmise CF. Aastatel 2010–2016 vähenes elektritootmise süsiniku jalajalg 6,3%, samas kui LCA süsiniku jalajalg langes 7,3% ehk 71 g CO₂e/kWh tasemelt 971 kuni 900 g CO₂e/kWh. Mootühik g CO₂e/kWh näitab süsinikdioksiidi ekvivalenti grammides toodetud elektrienergia kWh kohta. Antud langus on peamiselt tingitud kaudse heite vähendamise panusest ja elektritootmise efektiivsuse paranemisest. Selle tulemusena saavutas olelusringi süsinikdioksiidi heitkoguste summaarne vähenemine kuue aasta jooksul 1066,5 Mt CO₂e, mis moodustab 4,92% koguheitest. (Wang et al. 2018)

Söe kasutamine põhjustab 1/5 ülemaailmsetest kasvuhoonegaaside (KHG) heitkogustest. Kivisöe asendamine biomassi kütustega on üks väheseid lähiaja võimalusi nende heitkoguste oluliseks vähendamiseks. Zhang et al. 2010 on oma uurimistöös proovinud vähendada söe kasutamisest tulenevat süsiniku emissiooni kasutades töötlemisel puidugraanuleid. Protseduur viidi läbi kahes

söetootmisjaamas Kanadas Ontarios ning kasvuhoonegaaside ja õhusaasteainete heitkoguseid võrreldakse praeguste kivisöe ja hüpoteetilise maagaasi kombineeritud tsükli (NGCC) rajatistega. 100% graanulite kasutamine annab suurima kasvuhoonegaaside kasu kilovatt-tunni baasil, vähendades heitkoguseid vastavalt 91% ja 78% võrreldes söe ja NGCC süsteemidega. Võrreldes kivisöega vähendab 100% graanulite kasutamine NO_x emissiooni 40-47% ja SO_x emissiooni 76-81%. Autorid leidsid, et biomassi kasutamine kivisöe tootmisel oleks kulutõhus lahendus kasvuhoone gaaside leevendamiseks. (Zhang *et al.* 2010)

1.4. Elektriturg Euroopas

Euroopa elektrituru liberaliseerimise protsess sai alguse enam kui 20 aastat tagasi. Selle üks peamisi eesmärke on korraldada elektri- ja gaasivarustust tõhusamalt, võttes võimaluse korral kasutusele konkurentsivõimelisemaid jõude ning vajaduse korral erinevaid regulatsioone. Vaatamata sellele, et enamik Euroopa Liidu liikmesriike on oma elektrituru liberaliseerinud, ei ole Euroopa elektriturg siiani veel siseturg. Pepermans (2019) leiab, et EL energiapoliitika lõppeesmärkide täitmiseks oleks jaemüügiture tasandil vaja teha täiendavaid jõupingutusi konkurentsi suurendamiseks, et kaotada reguleeritud jaehinnad. Samuti tuleb teha rohkem jõupingutusi olemasolevate piirkondlike elektriturude füüsiliseks integreerimiseks, kõrvaldades olemasolevad tõkked piirkondade ja riikide vahel. Uue ühendusvõimsuse loomine ja piiriülese võimsuse eraldamise korra parandamine võib aidata seda saavutada. (Pepermans 2019) Kanellakis, Martinopoulos ja Zachariadis (2013) leiavad, et EL seisab silmitsi kasvava sõltuvusega fossiilkütustest, kasvavast energiaimpordist ja kasvavatest energiakuludest. Antud väljakutsed muudavad Euroopa ühiskonnad ja majandused haavatavaks. Probleemidega toimetulekuks on EL välja töötatud strateegia, mis põhineb kolmel olemuslikult seotud elemendil: säästev vähese CO₂-heittega areng, meetmed ühtse energiaturu eesmärgi saavutamiseks, et alandada energiakulusid ja edendada konkurentsivõimet ning energiapoliitika ja välissuhted. Autorid leiavad, et probleemid tekivad aga siseturu energiapoliitika kombineerimisega kliimapolitiitika eesmärkidega, mis võib ohustada Euroopa majanduse konkurentsivõimet. Seetõttu tuleks ELi energiapoliitika ümber hinnata, võttes arvesse hiljutisi ülemaailmseid sündmusi nagu finantskriis, läbirääkimised kliimapolitiitika kokkulepete üle ning tehnoloogilised edusammud fossiilkütuste uurimise ja taastuvenergia tehnoloogiate vallas. (Kanellakis *et al.* 2013)

Elektriga kaubeldakse nii hetke-kui ka futuuriturgudel. Elekter on mittesalvestatav kaup ja seisab tihti silmitsi tootmispiirangute, ülekandepiirangute ja hooajaliste probleemidega. Selle tõttu võib elektrihindade turul esineda kõikumisi ja kaubanduse ajastuse tasakaalustamatus. Liu et al (2020) on oma artiklis analüüsinud söe, maagaasi ja toornafta turgude tulude ja volatiilsuse ülekandumise mõju Euroopa elektri hetke- ja futuuriturgudele, kasutades uut empiirilist meetodit aja-sageduse valdkonna raamistikus, mis on välja töötatud Diebold ja Yilmaz (2012) ning Barunik ja Krehlik (2018) poolt. Analüüsi tulemuste põhjal leiti, et maagaasil on suurim tootlusmõju elektri hetke- ja futuuriturgudele, sellele järgnevad kivisüsi ja toornafta. Tulemusi võib seletada esmalt sellega, et elektritootmises eelistatakse ühte konkreetset fossiilkütust või teisalt sellega, et ladustamiskulud on gaasil väiksemad kui teistel kütustel. (Liu et al 2020) Sarnasele järeldusele on jõudnud ka Kulagin, Grushevenko ja Kapustin (2020), kes leiavad, et tänu tehnoloogilistele läbimurrete ning põhjalike sotsiaalmajanduslike muutuste mõjul on energiasektor läbimas globaalset ümberkujunemist, mida nimetatakse „energia üleminekuks“. Kõik see avaldab aga pikaajalist mõju fossiilkütuste turgudele. Autorid järeldavad, et gaasitööstus saab antud ülemineku jooksul kõige vähem kahjustada, sest on fossiilkütustest kõige energiasõbralikum. Järgmise 20 aasta jooksul peaks maagaasi tarbimine ja tootmine oluliselt kasvama, sest sellel on suur potentsiaal täiendada uute taastuvate energiaallikate tootmist. Naftale seevastu avaldab tõsist survet keskkonnavalitsused õigusaktid ja kasvav kütusevaheline konkurents transpordisektoris ning suure tõenäosusega jõuab tarbimine haripunkti enne 2040. aastat. Sõeturg seevastu on käesoleva uuringu põhjal seatud peaaegu vältimatuks tarbimise vähendamiseks. Uued tehnoloogiad heitkoguste kogumiseks võivad söekasutuse vähenemise kiirust vaid osaliselt mõjutada. (Kulagin, Grushevenko, Kapustin 2020)

Euroopa Liidu heitkogustega kauplemise süsteem on tugevdanud infovoogu ja seost süsinikuturu ja energiaturgude vahel. See omakorda muudab aga süsinikuenergia süsteemi keerulisemaks. Ji, Zhang ja Geng (2018) on oma artiklis uurinud teabe seoseid ja dünaamilisi kõrvalmõjusid süsiniku ja energiaturgude vahel. Üldiselt mängivad toornafta, taastuv energia ja kivisüsi nii tootlus- kui ka volatiilsussüsteemides kesksel rolli. Analüüsi tulemustest järeldati, et Brenti nafta hinnad mängivad olulist rolli süsiniku hinna muutuste ja riskide mõjutamisel. Süsinikdioksiiditurumutused mõjuvad teistele energiaturgudele, mille tõttu on süsteemi suurimaks mõjuteguriks elektri hinnad. Samuti on uuring näidanud, et seotuse tase volatiilsussüsteemis on oluliselt kõrgem

kui tootlussüsteemis. Tulemused võivad anda kasulikku mõju poliitikakujundajatele turumehhanismide kavandamisel ja turuinvestoritele oma portfelli haldamisel. (Ji *et al.* 2018)

2. Elektri hindade mõjutavad muutujad fossiilkütuste näol

2.1. Andmete kirjeldus

Käesoleva uurimistöö analüüsil läbiviimisel on autor kasutanud sekundaarseid kvantitatiivseid makroandmeid. Andmed on võetud Eesti, Läti ja Leedu kohta. Peamiseks allikaks andmete saamisel oli Nord Pooli andmebaas, mis haldab Euroopa juhtivat elektriturgu. Antud andmebaasis on võimalik eraldi valida jaotus Skandinaavia, Balti või Kesk-Lääne Euroopa (CWE) riikide ning Ühendkuningriikide vahel. Lisaks sellele on andmebaasist võimalik vaadata andmeid kas päevasiseselt või päev ette.

Andmebaas võimaldab leida muutujaid vastavalt andmete kriteeriumitele. Kriteeriumiteks loetakse riike, aega ja valuutat. Ajaliselt on võimalik leida andmeid nii tunni, päeva, nädala, kuu või ka aasta kohta. Valuutadest on võimalik valida, kas euro (EUR), Taani kroon (DKK), Norra kroon (NOK) või Rootsi kroon (SEK). Kui antud kriteeriumid on valitud tekib andmebaasi andmetabel, mida on võimalik näha ka graafiliselt. Andmed on esitatud vastavalt valuutale megavatt tunni kohta (MWh).

Antud uurimistöös on leitud andmed Balti riikide kohta. Uuringus kasutatakse viimase viie aasta 2017-2022 elektri hindu Eestis, Lätis ja Leedus. Valuutaks on valitud euro. Hindadeks on valitud Elspot turu hinnad. Elspot turul kaubeldakse iga päev tunnipõhiste elektrilepingutega, mis võimaldavad kauba tarnet füüsiliselt järgmisel päeval. Hinna arvutamise aluseks on kõikide turuosaliste pakkumise ja nõudluse tasakaal. (Määttä, Johansson 2011). Lisaks Elspot elektri turu hindadele on autor Nord Pooli andmebaasist võtnud sõltumatuteks muutujateks ka tarbimise ja tootmise Eesti, Läti ja Leedu viimase viie aasta kohta. Antud muutujad on andmebaasis toodud tarbimise või tootmise kohta MWh päevas. Elektrienergia hind moodustub turul tarbimise ehk nõudluse ja tootmise ehk pakkumise kõvera tasakaalupunktis. Sellest tulenevalt on tarbimine ning tootlus statistiliselt olulised tunnused ning need tuleks lisaks fossiilkütuste hindadele lisada mudelisse sõltuvateks muutujateks. (Konkurentsiamet 2021)

Elektrihinna ja tarbimise mõjutajaid on uurinud ka Bojnec ja Križaj (2021). Autorid analüüsisid Sloveenia elektriturge turu dereguleerimise ja hindade liberaliseerimise perioodil milleks osutus jaanuar 2000 – detsember 2011. Sloveeria elektriturgu analüüsi seoses Euroopa Energiabörsi (EEX) turuga. Regressioonanalüüsi tulemustena leiti positiivne seose ühelt poolt EEX-turu elektrihindade ning teiselt poolt energia primaarallikate hindade ja CO₂ heitkoguste kupongihindade vahel. (Bojnec, Križaj 2021) Elektrihindu on analüüsinud ka Oosthuizen ja teised (2019). Analüüsi eesmärgiks oli teha kindlaks taastuvenergia osakaalu suurenemise mõju elektri jaemüügihindadele, milleks kasutati turustruktuuri muutust paneelandmete raamistikus aastatel 1997–2015. Lisaks võeti sõltumatute tunnustena arvesse ka muid tegureid, nagu SKT elaniku kohta, energiasektori kasvuhooonogaaside heitkogused, energiasõltuvus ja elektrituru kontsentratsioon. Kahesuunalise fikseeritud mõju hindamise tulemused kinnitasid prioriteetseid teoreetilisi ootusi taastuvenergia osakaalu positiivsele koefitsiendile, mis tähendab, et selle osakaalu suurenemine tõi valimisse kaasa elektri jaemüügihindade tõusu. (Oosthuizen *et al.* 2021) Sarnastele tulemustele jõudsid ka Moreno ja teised (2012), kes töötasid välja ökonomeetrilisi paneelmudeleid, et uurida kodumajapidamiste elektrihindade sõltuvust muutujatest nagu elektrienergia taastuvatest energiaallikatest (RES-E) ning konkurents elektrienergia tootmise turul. Tulemused viitavad sellele, et elektrihinnad tõusevad koos RES-E kasutuselevõtuga ja energiatööstuse poolt tekitatud kasvuhooonogaaside heitkoguste suurenemisega – kuna on olemas Euroopa Liidu CO₂ heitkogustega kauplemise süsteem. Samuti näitavad tulemused, et riigi iseärasused võivad mõjutada kodumajapidamiste elektrihindu. (Moreno *et al.* 2012)

Lisaks Nord Pooli andmebaasile kasutati uurimistöös ka Refinitiv Eikon andmebaasi. Refinitiv Eikoni näol on tegemist avatud tehnoloogiaga lahendusega finantsturgude professionaalidele, mis pakub juurdepääsu valdkonna juhtivatele andmetele, ülevaadetele ning eksklusiivsetele ja usaldusväärsetele uudistele. Antud programmile pääsevad ligi kõik, kes on tasunud aastase litsentsi. Uurimistöö autor sai andmebaasile ligipääsu tänu tuttavale, kes soovib jääda anonüümseks.

Refinitiv Eikoni andmebaasist on autor valinud nafta, gaasi, söe ja CO₂ viimase 5 aasta hinnad. Antud näitajad on valitud kuna andmebaasi hinnangul on tegemist kaupadega, mis on globaalsel finantsturul enim kaubeldavad. Samuti on valitud andmed kõige likviidsemad ja kõige enam raporteeritavad, kui räägitakse energiaturgude ja sellega seotud kaupade hinnamuutustest. Varasemale kirjandusele tuginedes on füüsiliste kaupade hinnad võetud kaubeldavate

futuurilepingute läbi, mis annavad kauplejale õiguse, aga ka kohustuse antud kaupa järgmisel kuul vastava hinna eest soetada.

Antud lõputöö käigus koostatud analüüs võimaldab selgitada, kuidas sõltumatud tunnused mõjutavad elektri hindu. Elektri hinnad on autor oma mudelisse valinud Eesti, Läti ja Leedu kohta. Sõltumatute tunnustena käsitletakse järgnevaid näitajaid:

- Nafta hind (€/bbl) – nafta_hind
- Gaasi hind (€/MWh) – gaasi_hind
- Sõe hind (€/mt) – sõe_hind
- CO₂ hind (€/mt) – co2_hind
- Eesti Tarbimine (MWh/päev) – EE_tarbimine
- Läti Tarbimine (MWh/päev) – LV_tarbimine
- Leedu Tarbimine (MWh/päev) – LT_tarbimine
- Eesti Tootmine (MWh/päev) – EE_tootmine
- Läti Tootmine (MWh/päev) – LV_tootmine
- Leedu Tootmine (MWh/päev) – LT_tootmine

Sõltumatuteks muutujateks on vastavalt töö eesmärgile valitud fossiilkütuste hinnad, sest soovitakse teada saada, kas hetkel maailmas toimuv järsk elektri hinna tõus võib olla põhjustatud just nendest näitajatest. Lisaks fossiilkütuste hindadele valiti sõltumatuteks muutujateks ka tarbimine ja tootmine, sest need on elektri hinna kujunemisel statistiliselt olulisteks näitajateks. Analüüsi käigus loodetakse leida vastus, et kas vaatamata rohepoliitika suurele mõjule sõltuvad Balti riikide energia hinnad siiski veel fossiilkütuste ning CO₂ kvootide hindadest.

Antud küsimustele vastuse leidmiseks tuli autoril esmalt läbi viia andmete puhastamine, millega eelmaldati kõik tühjad väärtused, mis erinevates andmebaasides puudusid. Seejärel oli võimalik läbi leida andmete kirjeldav statistika.

Tabel 1. Kirjeldav statistika Elspot market hindade kohta Eestis, Lätis ja Leedus

Elspot hind (€/MWh)	Keskmine	Mediaan	Min väärtus	Max väärtus	Standardhälve
Eesti	53,18	45,35	14,91	469,03	34,49

Läti	54,81	45,94	14,91	469,03	35,96
Leedu	55,29	46,28	14,91	469,03	36,85

Allikas: Autori koostatud tabel Nord Pooli andmete põhjal

Antud tabelist on näha, et 2017-2022 kättesaadavate elektrihindade põhjal kolossaalseid erinevusi riikide vahel ei ole. Perioodide keskmise vaatlemine näitab, et Eestis on keskmiseks hinnaks kujunenud 53,18€, mis on 2€ võrra väiksem kui Leedus. Sama võib öelda ka mediaan hinna kohta, mis on Eestis madalaim ja Leedus kõrgeim. Miinimum ja maksimum hindu vaadates on näha, et hinnad riikide vahel on identsed, kuid väärtused omavahel erinevad kolosaalselt. Graafiliselt hindu vaadates leidis autor, et maksimum punkt olid hinnad 7. detsembril 2021 aastal ja miinimum punkt leidis aset 10. mail 2018 aastal. Standardhälve jääb vahemikku 34,49-36,85.

Tabel 2. Kirjeldav statistika muutujatest

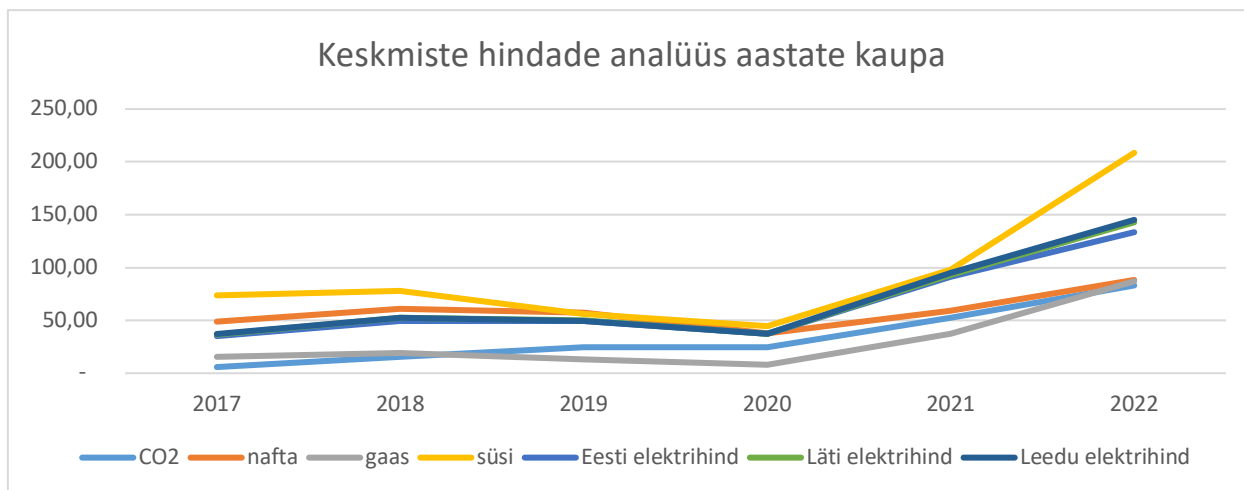
Muutujad	Keskmine	Mediaan	Min väärtus	Max väärtus	Variatsioonikordaja
Nafta hind (€/bbl)	53,68	54,28	17,81	110,51	0,23
Gaasi hind (€/MWh)	19,91	14,90	3,27	155,56	0,96
Söe hind (€/mt)	73,29	68,09	35,46	417,16	0,51
CO ₂ (€/mt)	24,98	22,90	4,34	96,42	0,75
EE Tarbimine (MWh/päev)	23 510,91	23 168,00	14 664,00	32 847,00	0,14
LV Tarbimine (MWh/päev)	20 607,34	20 350,00	14 255,00	25 309,00	0,09
LT Tarbimine (MWh/päev)	33 460,30	32 887,00	23 601,00	45 332,00	0,11

EE Tootmine (MWh/päev)	22 584,14	20 312,00	4 873,00	46 400,00	0,44
LV Tootmine (MWh/päev)	18 651,36	18 465,00	2 854,00	42 547,00	0,36
LT Tootmine (MWh/päev)	11 289,11	10 678,00	1 482,00	24 693,00	0,37

Allikas: Autori koostatud tabel Refinitiv Eikon ja Nord Pool andmete põhjal

Tabelist 2 on näha, et kõige suurem hajuvus on gaasi hindadel, sest antud muutuja variatsioonikordaja erineb teistest märkimisväärselt. Antud muutujatest on söe hinnal kõige kõrgem maksimaalne ja minimaalne väärtus, mis jääb vahemikku 35,46-417,16 (€/mt). Graafiliselt leiti, et söe maksimum hind leidis aset 9. märts 2022. aastal ja miinimum hind 30. aprillil 2020. aastal. Kõige madalama keskmise ja mediaan hinnaga oli gaasi hind, mille väärtused jäid vahemikku 3,27-155,56 (€/MWh). Gaasi hinna tipuks oli 2. märts aasta 2022. ja madalaim punkt 29. mai 2020. Tabelist näeb, et kõige väiksema hajuvusega hindade muutujatest on nafta hind, see tähendab, et võrreldes teiste näitajatega on selle hinnad kõikunud kõige vähem, kuid sarnaselt söe ja gaasiga jõudis selle hind maksimumini 23. märtsil 2022. aastal ja oli madalaim 21. aprillil 2020. Tarbimis- ja tootmismahute jälgides on näha, et erinevused riigiti on olemas, mis on ka loogiline sest mahud olenevad mitmeti riigi suuruselt, rahvaarvust, tehastest ja paljust muust.

Autor on hindade kõikumise kirjeldamiseks koostanud ka graafiku, mida on näha joonisel 1.



Joonis 1. Autori koostatud graafit hindade kõikumisest

Allikas: Autori koostatud tabel Nord Pooli ja Refinitiv Eikon andmete põhjal

Antud joonisel on näha, et elektrihindade kõikumine toimub pea käsikäes fossiilkütuste hindade kõikumisega. Kuigi 2020. aastal on toimunud mõningane hindade langus, mis on põhjustatud Covid-19 pandeemiast, mille tõttu mitmetest tehastes tootmine seiskus ja vajadus tooraine ning elektri järgi vähenes on siiski jooniselt näha kasvavat trendi. Graafikut analüüsid on näha, et võrreldes 2017. aastaga on fossiilkütuste, CO₂ kvootide ja elektri hinnad mitmekordistunud. Suurim muutus on toimunud CO₂ hindades, mille hind on võrreldes 2017. aastaga 14 korda suurenenud – 5,83 €/mt 2017. aastal ning 83,05 €/mt 2022. aastal. Kõige väiksem on muutus olnud nafta hindades – 48,55 €/bbl 2017. aastal ning 88,31 €/bbl 2022. aastal. Siiski on hinnatõus olnud pea kahe kordne. Kui vaatada elektri hindade kasvu on näha, et Samas tuleb meeles pidada, et 2022. aasta keskmised hinnad võivad olla mõjutatud poliitilistest teguritest nagu sõda Venemaa ja Ukraina vahel. Kuna Balti riigid on suur fossiilkütuste netoimportija just Venemaalt võivad selle tulemusel hinnad antud riikides olla suurest mõjutatud.

2.2. Metoodika

Autor on lõputöö eesmärgi saavutamiseks kasutanud andmete analüüsiks aegridade kvantitatiivset analüüsi, kasutades lineaarset regressiooni hindamiseks vähimruutude (OLS) meetodit. Meetodit kasutades võetakse arvesse ka korrelatsiooni olemasolu andmetes. Regressioonanalüüs viiakse läbi andmetöötlus programmis Gretl. Analüüs annab kokkuvõtva mudeli, kus sõltuvaks muutujaks on elektri hind Eestis, Lätis ja Leedus ning sõltumatuteks muutujateks on nafta, gaasi, söe ja CO₂ hinnad.

3. Euroopa riikide elektri hindade mõjutavate tegurite analüüs

3.1. Elektri hindade mõjutavate tegurite analüüsi tulemused

Enne mudeli koostamist tuleb autoril läbi viia ühikjuure testid, et kontrollida aegriidade statsionaarsust. Kui turg on täies mahus efektiivne, järgib turuhind juhuslikku liikumist ja prognoosimudeli väljatöötamine on üleliigne ning sellisel juhul tuleb mudeli koostamiseks modelleerida diferentse. (Määttä, Johansson 2011) Selleks, et kontrollida kas elektri hind järgib juhuslikku liikumist või mitte otsustas autor läbi viia Dickey-Fuller testi, mis uurib hüpoteesi, kas antud tunnusel esineb ühikjuur või mitte. Ühikjuure esinemise korral on kordaja ρ väärtus võrdne ühega ning sellisel juhul on aegriid mittestatsionaarne ja vastu tuleb võtta nullhüpotees. Kui ρ väärtus on väiksem kui üks on protsess statsionaarne ning juhulik ekslemine puudub.

Autor testis muutujaid programmis Gretl koos konstandi ja trendiga. Tulemusi on näha tabelis 3.

Tabel 3. Statsionaarsuse hindamine

Muutuja	Ühikjuure testi olulisuse tõenäosus p
CO ₂ _hind	0,936
NAFTA_hind	0,979
GAAS_hind	0,554
SASI_hind	0,959
EE_Elspot_hind	$1,151 \cdot 10^{-12}$
LV_Elspot_hind	$3,008 \cdot 10^{-11}$
LT_Elspot_hind	$5,422 \cdot 10^{-11}$
EE_Tarbimine	0,00422
LV_Tarbimine	0,000176
LT_Tarbimine	0,000233
EE_Tootmine	$1,212 \cdot 10^{-10}$
LV_Tootmine	$1,144 \cdot 10^{-12}$
LT_Tootmine	$7,799 \cdot 10^{-42}$

Allikas: Autori koostatud tabel Gretli analüüsi põhjal (Lisa1).

Tabelist 3 on näha, et kuigi kõikidel muutujatel tuli ρ väärtus alla ühe eksisteerib siiski muutujaid nagu CO₂, nafta, gaasi ja sõe hind, mille väärtus on ühele väga lähedal ning ligikaudsel ümardamisel oleks tulemuseks üks. Kuna autor on lõputöö kirjutamisel otsustanud kasutada olulisuse nivood 0,1 ei allu teststatistik enam t-jaotusele ning mudelis kasutatavad väärtused on valed. Probleemi lahendamiseks tuleb autoril kasutada antud näitajate puhul esimest järku diferentse. Diferentside kasutamisel saadud tulemused on nähtaval tabelis 4.

Tabel 4. Diferentside kasutamisel saadud statsionaarsuse hindamine.

Muutuja	Ühikjuure testi olulisuse tõenäosus p
d_CO ₂ _hind	$3,674 \cdot 10^{-136}$
d_NAFTA_hind	$2,876 \cdot 10^{-96}$
d_GAAS_hind	$1,253 \cdot 10^{-120}$
d_SASI_hind	$7,717 \cdot 10^{-88}$
EE_Elspot_hind	$1,151 \cdot 10^{-12}$
LV_Elspot_hind	$3,008 \cdot 10^{-11}$
LT_Elspot_hind	$5,422 \cdot 10^{-11}$
EE_Tarbimine	0,00422
LV_Tarbimine	0,000176
LT_Tarbimine	0,000233
EE_Tootmine	$1,212 \cdot 10^{-10}$
LV_Tootmine	$1,144 \cdot 10^{-12}$
LT_Tootmine	$7,799 \cdot 10^{-42}$

Allikas: Autori koostatud tabel Gretli analüüsi põhjal (Lisa2).

Tabelist 4 on näha Dickey-Fulleri ühikjuure testiga läbi viidud tulemusi peale CO₂, nafta, gaasi ja kivisõe hindade esimest järku diferentsi võtmist. Kõigi uurimistöös kasutatavate muutujate puhul on ρ väärtus alla 0,05 ja nullile väga lähedal, mis tähendab, et nad on statistiliselt olulised. Seetõttu saab testi tulemusel saadava nullhüpoteesi ümber lükata. Aegread on statsionaarsed ning juhuslikku ekslemist ei toimu.

Peale ühikjuure testimist saab vastavate muutujatega läbi viia lineaarse regressioonmudeli parameetrite hindamise. Autor kasutab analüüsiks vähimruutude meetodit.

3.1.1. Analüüsi tulemused Eestis

Leidmaks, kas elektri hinnad Eestis sõltuvad CO₂, gaasi, kivisöe ja nafta hindadest otsustas autor läbi viia regressioonanalüüsi, kus lisaks fossiilkütuste hindade diferentsidele lisati mudelisse sõltumatuks muutujaks ka elektrienergia tootmine ja tarbimine Eestis. Regressioonanalüüs viidi läbi vähimruutude meetodil andmetöötlus programmis Gretl. Tulemused on näha tabelis 5.

Tabel 5. Analüüs Eesti elektri hindade kohta.

	Mudel 1	Mudel 2	Mudel 3
Konstant	17,67** (6,87)	17,66** (6,88)	17,66 (22,83)
D_ CO ₂ hind	2,91*** (0,9025)	3,027*** (0,895)	3,027 (2,33)
D_ Nafta hind	1,017 (0,747)		
D_ Gaasi hind	0,787** (0,372)	1,125*** (0,287)	1,13* (0,657)
D_ Söe hind	0,175 (0,176)		
EE Tarbimine	0,00189*** (0,000314)	0,00189*** (0,000315)	0,00189* (0,00113)
EE Tootmine	-0,0004054*** (0,0001067)	-0,0004087*** (0,0001067)	-0,0004087** (0,000182)
R ²	0,0521	0,0489	0,0489
R ² _a	0,0473	0,0457	0,0457

Allikas: Autori koostatud tabel Gretli analüüsi põhjal (Lisa 3, 4 ja 6).

Märkused: Statistiline olulisus: *** $p < 0,01$, ** $p < 0,05$, * $p < 0,1$

Esialgne mudel (Mudel 1) on küll statistiliselt oluline nivool 0,01, kuid korrektse mudeli saavutamiseks tuleb mudelit modelleerida nii, et sinna jääksid vaid statistiliselt olulised tunnused nivool 0,1. Selle tõttu eemaldati mudelist ükshaaval statistiliselt mitteolulised näitajad, milleks osutusid CO₂ hind ning nafta hind. Lõplikusse mudelisse (Mudel 2) jäid järgnevad sõltumatud muutujad: konstant (0,0104**), CO₂ hind (0,0007***), gaasi hind ($9,61 \times 10^{-5}$ ***), EE tarbimine ($2,35 \times 10^{-9}$ ***) ja EE tootmine (0,0001***) (Lisa 4).

Mudeli heteroskedastiivsuse hindamiseks kasutab autor White'i testi, mille tulemusel selgitatakse kas jääkliikmete jaotus on korrektne. Testi tõenäosuseks saadi 0 (Lisa 5). Järelikult tuleb vastu võtta sisukas hüpotees, mis tähendab, et mudelis esineb heteroskedastiivsus. Antud nähtus võib tuleneda sellest, et mudel võib olla esitatud valel kujul ning mõni oluline tunnus korrektse tulemuse saamiseks on välja jäänud. Seetõttu tuleb autoril mudel ümber modelleerida, sest heteroskedastiivsuse esinemise korral on standardvead alahinnatud ja seetõttu t-statistikud ning nende olulisuse tõenäosused valed. Mudeli ümber modelleerimiseks tuleb kasutada kohandatud standardvigu, mis võimaldab arvestada heteroskedastiivsusega (Lisa 6.). Standardvigu kasutades saadi tulemuseks aga täiesti uus mudel, kus varasemalt olulised olnud tunnused nagu konstant ja CO₂ hind on muutunud ebaoluliseks. Seetõttu üritas autor oma mudelik korrastada eemaldades sealt mitteolulised tunnused, milleks esmalt valiti CO₂ hind (Lisa 7.). Kuna mudeli korrigeeritud determinatsioonikordaja seetõttu aga vähenes otsustas autor enda lõpliku järelduste tegemiseks kasutada siiski eelnevat mudelit (Mudel 3).

Tabelist on näha, et kasutades kohandatud standardvigu jäid mudelisse ainukesteks olulisteks tunnusteks nivool 0,1 gaasi hind ja EE tarbimine ning nivool 0,05 EE tarbimine. Kasutades aga mudelis tunnuseid nivool 0,1 tuleb silmas pidada, et antud tegurid võivad sõltuvat muutujat mõjutada vaid vähesel määral. Autor otsustas kasutada maksimaalset nivood, et tuua mudelisse rohkem erinevaid tunnuseid.

Kuna lõplikus mudelis on arvestatud heteroskedastiivsusega otsustas autor elektri hinna modelleerimiseks läbi viia veel ühe mudeli (Mudel 4), kus sõltumatute muutujate tunnuseid on väljendatud kasutades lisaks kohandatud standardveale ka viitaegu (Lisa 8). Esialgselt mudelist

hakati ükshaaval eemaldama mitteolulisi tunnuseid kuniks kõik tegurid olid olulised nivool 0,1. Lõplikut mudelit (Mudel 5) kasutades viitaegu ja kohandatud standardvigu on näha tabelis 6.

Tabel 6. Viitaegu ja standardvigu kasutades saadud mudelid Eesti elektrihindade kohta

	Mudel 4	Mudel 5
Konstant	17,57 (22,94)	17,36 (23,28)
D_CO ₂ _hind_1	2,93 (2,56)	
D_Nafta_hind_1	1,56 (1,12)	1,82* (1,0019)
D_GAAS_hind_1	0,217 (0,890)	
D_SASI_hind_1	0,0224 (0,347)	
EE_Tarbimine	0,001903* (0,00114)	0,00192* (0,00116)
EE_Tootmine	-0,000413** (0,000183)	-0,000416** (0,000186)
R ²	0,0466	0,03804
R ² _a	0,0417	0,0356

Allikas: Autori koostatud tabel Gretli analüüsi põhjal (Lisa 8 ja 9).

Märkused: Statistiline olulisus: ***p<0,01, **p<0,05, *p<0,1

Antud tabelis on näha, et kasutades viitaegu on statistiliselt olulisteks tunnusteks elektrihindade mudelis (Mudel 5) nafta hind ning tarbimis-ja tootmismahud Eestis. Autori poolt kasutavad nivood järgides on võimalik väita, et nafta hinna muutus eelmisel päeval on oluline elektrihindade kujunemisel.

3.1.2. Analüüsi tulemused Lätis

Leidmaks elektrihindu mõjutavaid tegureid Lätis otsustas autor sarnaselt varasemas peatükis kirjutatule kasutada regressioonanalüüsi, mis viidi läbi vähimruutude meetodil andmetöötlus

programmis Gretl. Autor on esialgsesse mudelisse (Mudel 1) lisanud samad sõltumatud muutujad nagu mudeli puhul, kus sõltuvaks tunnuseks oli Eesti elektri hinnad. Ainukeseks erinevuseks on tootmine ja tarbimine, mis on antud olukorras võetud vastavalt Läti tootmis- ja tarbimismahtudele. Esialgsest modelleeritud mudelist on näha sarnaselt varasemaga, et mudelis esineb mitmeid tunnuseid, mis osutuvad statistiliselt mitteolulisteks (Tabel 7).

Tabel 7. Analüüs Läti elektri hindade kohta.

	Mudel 1	Mudel 2	Mudel 3
Konstant	-54,67*** (12,23)	-54,60*** (12,24)	-54,60 (40,0337)
D_ CO ₂ hind	2,82*** (0,91)	2,94*** (0,9047)	2,94 (2,35)
D_ Nafta hind	0,974 (0,756)		
D_ Gaasi hind	0,7301* (0,376)	0,984*** (0,2905)	0,984 (0,689)
D_ Söe hind	0,117 (0,178)		
LV Tarbimine	0,00682*** (0,000672)	0,00682*** (0,000672)	0,00682*** (0,00218)
LV Tootmine	-0,00168*** (0,000182)	-0,00169*** (0,000183)	-0,00169*** (0,000325)
R ²	0,1084	0,1062	0,1062
R ² _a	0,1038	0,1032	0,1032

Allikas: Autori koostatud tabel Gretli analüüsi põhjal (Lisa 10, 11 ja 13).

Märkused: Statistiline olulisus: ***p<0,01, **p<0,05, *p<0,1

Mudelid 1 on näha, et statistiliselt mitteolulisteks tunnusteks osutusid söe hind ja gaasi hind, mille tõttu eelmaldati muutujad ükshaaval mudelist kuniks kõik muutujad olid olulised nivool 0,1. Lõplikusse mudelisse (Mudel 2) jäid olulisteks muutujateks konstant, CO₂ hind, gaasi hind, LV tarbimine ja LV tootmine.

Sarnaselt Eesti elektrihindade mudelile osutus ka Läti elektrihindade mudelis statistiliselt olulisteks tunnusteks CO₂ ja gaasi hind ning tarbimis- ja tootmismahud Lätis. Võrreldes kahe mudeli korrigeeritud determinatsioonikordajaid – Eestis 0,046 ja Lätis 0,1032, näeme, et Läti kordaja on märgatavalt suurem, mis tähendab, et mudeli seletusvõime on parem.

Nii nagu eelnevas peatükis koostatud mudelis, viidi ka selle mudeli korral läbi White'i test, mille kaudu leiti, et mudelis esineb heteroskedastiivsus (Lisa 12). Autoril tuli taas läbi viia mudeli korrigeerimine kasutades kohandatud standardvigu. Kohandatud standardvigadega mudelit on näha tabelis 7 mudel 3.

Mudelid 3 on näha, et kohandatud standardvigade kasutamisel vähenes tunnuste statistiline osatähtsus mudelis. Tulemuse põhjal on näha, et statistiliselt olulisteks tunnusteks jäid Läti elektrihindade mudelisse ainukesene tootmis- ja tarbimismahud. Mudelist prooviti ka ükshaaval mitteolulisi tunnuseid eemaldada, aga kuna seeläbi korrigeeritud determinatsioonikordaja vähenes otsustas autor siiski mudelile 3 kindlaks jääda. Kuna lõputöö eesmärgi saavutamiseks on mudelist välja jäänud kõik fossiilkütuste hindu seletavad tegurid otsustas autor sarnaselt eelmises peatükis läbi viidud analüüsile kasutada ka Läti elektrihindade mudeli korral lisaks kohandatud standardveale fossiilkütuste hindade muutujate korral ka viitaegu (Lisa 14). Nagu ka eelnevalt tehtud mudelite põhjal hakkas autor ükshaaval viitaegadega koostatud mudelist (Mudel 4) ükshaaval eemaldama statistiliselt mitteolulisi tunnuseid. Mudelid on võimalik näha tabelist 8.

Tabel 8. Viitaegu ja standardvigu kasutades saadud mudelid Läti elektrihindade kohta

	Mudel 4	Mudel 5
Konstant	-54,83 (40,11)	-55,43 (40,82)
D_ CO ₂ _hind_1	2,38 (2,64)	

D_Nafta hind_1	1,80207 (1,15)	1,98* (1,036)
D_GAAS_hind_1	0,3033 (0,861)	
D_SASI_hind_1	-0,0375 (0,413)	
LV_Tarbimine	0,00683*** (0,00219)	0,00688*** (0,00223)
LV_Tootmine	-0,00168*** (0,000327)	-0,00170*** (0,000332)
R ²	0,1045	0,0993
R ² _a	0,09996	0,09696

Allikas: Autori koostatud tabel Gretli analüüsi põhjal (Lisa 14 ja 15).

Märkused: Statistiline olulisus: ***p<0,01, **p<0,05, *p<0,1

Mudeli 5 põhjal saab väita, et sarnaselt Eesti elektrihindadele on ka Läti elektrihindade mudelis oluliseks tunnuseks lisaks tootmis- ja tarbimismahtudele ka nafta hinna muutus eelmisel päeval. Samas tuleb meeles pidada, et väärtus on väga lähedal nivoole, mille tõttu ei pruugi näitaja siiski mudelile piisavat mõju avaldada.

3.1.3. Analüüsi tulemused Leedus

Sarnaselt Eesti ja Läti elektrihindade mudelile lisati ka Leedu elektrihindade mudelisse samad sõltumatud tunnused, mis varasemate testide puhul. Ainukesteks erinevateks tunnusteks vastavalt riigile on tootmine ja tarbimine, mis on võetud vastavalt Leedu tootmis- ja tarbimismahule. Nagu ka varasemates mudelites oli ka Leedu elektrihindade esialgses mudelis (Mudel 1) ebaolulisteks tunnusteks nafta ja söe hind, kuid lisaks nendele muutujatele oli Leedu mudeli korral ebaoluliseks tunnuseks ka tootmine (Lisa 16). Selle tõttu hakati mudelist ükshaaval eemaldama mitteolulisi tunnuseid alustades suurima väärtusega muutujast. Kõigepealt eemaldati mudelist söe hind ning hiljem ka tootmine ja nafta hind. Lõplikku elektrihindade mudelisse (Mudel 2) jäid konstant, CO₂ kvootide hind, gaasi hind ning tarbimine. Mudeleid on võimalik näha tabelist 9.

Tabel 9. Analüüs Leedu elektrihindade kohta.

	Mudel 1	Mudel 2	Mudel 3
Konstant	-88,84*** (9,27)	-89,39*** (9,25)	-89,39** (37,05)
D_ CO ₂ hind	2,59*** (0,893)	2,704*** (0,884)	2,704 (2,207)
D_ Nafta hind	0,838 (0,739)		
D_ Gaasi hind	0,933** (0,368)	1,022*** (0,284)	1,022 (0,669)
D_ Söe hind	0,007504 (0,175)		
LT Tarbimine	0,00421*** (0,000291)	0,00432*** (0,000275)	0,00432*** (0,00116)
LT Tootmine	0,000256 (0,000246)		
R ²	0,188	0,186	0,186
R ² _a	0,184	0,184	0,184

Allikas: Autori koostatud tabel Gretli analüüsi põhjal (Lisa 16, 17 ja 19).

Märkused: Statistiline olulisus: ***p<0,01, **p<0,05, *p<0,1

Kõik mudelisse 2 alles jäänud muutujad on statistiliselt olulised nivool 0,01. Mudeli determinatsioonikordaja on 0,186, mis on analüüsis läbi viidud mudelitest kõige suurem. Järelikult on ka Leedu elektrihindade mudeli seletusvõime kõidu suurem. Eelnevatest peatükkidele tuginedes viis autor ka sel korral läbi White'i testi, et hinnata mudeli kuju õigsust (Lisa 18). White'i testi tulemuseks saadi 0,0000, mis tähendab, et sarnaselt eelnevatele mudelitele tuleb ka seekord vastu võtta sisukas hüpotees, mis väidab, et mudelis esineb heteroskedastiivsus. Kuna

heteroskedastiivsusest vabaneda ei suudetud tuleb autoril taaskord kasutada kohandatud standardvigu (Tabel 9).

Mudelid 3 on näha, et ka sel korral on osade tunnuste statistiline osatähtsus mudelis vähenenud. Ainukesteks olulisteks tunnusteks kohandatud standardvigu kasutades on konstant nivool 0,05 ja LV tarbimine nivool 0,01. Sarnaselt Eesti ja Läti elektrihindade mudelile otsustas autor ka sel korral läbi viia analüüsi, kus fossiilkütuste hindadele lisatakse ka viitajad, et leida milliste tunnuste muutused mõjutavad elektrihindade päevase nihkega (Lisa 18). Mudeli 4 koostamisel kasutati lisaks viiteajale ka standardvigu, et arvestada heteroskedastiivsusega. Ebaolulised tunnused eemaldati ükshaaval mudelist kuni kõik tunnused olid olulised vähemalt nivool 0,1. Leedu elektrihindade viitaegadega mudeleid on võimalik näha tabelis 10.

Tabel 10. Viitaegu ja standardvigu kasutades saadud mudelid Leedu elektrihindade kohta

	Mudel 4	Mudel 5
Konstant	-89,03** (37,15)	-89,94** (37,61)
D_CO ₂ _hind_1	1,83243 (2,38944)	
D_Nafta_hind_1	1,8012* (1,0808)	1,92** (0,944)
D_GAAS_hind_1	0,265 (0,827)	
D_SASI_hind_1	-0,0590 (0,399)	
LT_Tarbimine	0,00423*** (0,00120)	0,00434*** (0,00118)
LT_Tootmine	0,000236 (0,000406)	
R ²	0,183143	0,179
R ² _a	0,178954	0,178

Allikas: Autori koostatud tabel Gretli analüüsi põhjal (Lisa 20 ja 21).

Märkused: Statistiline olulisus: ***p<0,01, **p<0,05, *p<0,1

Tabelist 5 on näha, et sarnaselt Eesti ja Läti viitaegadega kasutatud mudelile on ka Leedu korral oluliseks tunnuseks nafta hind eelmisel päeval. Erinevalt aga teistele mudelitele on Leedus nafta hind oluline nivool 0,05, mis võimaldab paremini seletada tunnuse olulisust elektrihinna kujunemisel. Lisaks on Leedu elektrihindade mudelis erinevuseks ka see, et ebaolulise tunnusena jäeti välja tootmine.

3.2. Järeldused ja ettepanekud elektri hindade poliitika kujundamisel

Lõputöö mudeli koostamisel, viis autor esimese sammuna läbi aegridade statsionaarsuse kontrolli, milleks kasutati Dickey-Fuller testi. Testi läbiviimine võimaldas leida, kas turg järgib juhuslikku liikumist või mitte. Antud tegevus oli mudeli koostamiseks oluline, sest vähimruutude meetodiga analüüsi on võimalik läbi viia vaid statsionaarsete aegridade puhul. Analüüsi tulemusel leiti, et fossiilkütuste hindade aegread on mittestatsionaarsed. Selle tõttu tuli antud muutujate puhul kasutada esimest järku diferentse, mille tulemusena muutusid aegread statsionaarseks. See läbi oli võimalik edasi minna mudeli koostamisega.

Mudelis, kus sõltuvaks tunnuseks osutus Eesti elektrihind, olid autori poolt läbiviidud mudelis olulisteks tunnusteks vaid gaasi hind ning tootmine ja tarbimine Eestis. Oluliste tunnustena jäid välja kõik ülejäänud fossiilkütuste hinnad. Tulemust tõlkides saab järeldada, et elektrihind Eestis sõltub päevasisestest toomis- ja tarbimismahtudest ning vähesel määral ka gaasi hindadest. Gaasi hinna koefitsendiks antud mudeli korral on 1,13, mis tähendab, et kõrgem gaasi hind põhjustab elektrihinna kasvu 12,5% punkti võrra. Nõrk positiivne seos on ka tarbimise ja elektrihinna vahel, mis tähendab, et mida rohkem tarbitakse seda kallimaks osutub ka elekter. Nõrk negatiivne seos on aga tootmise ja elektrihinna vahel, mis on ka loogiline, sest mida rohkem elektrit antud päeval toodetakse, seda odavamaks kujuneb ka hind. Kuna aga mudelis esines heteroskedastiivsus ning enamused olid olulised vaid nivool 0,1 ei saa antud tulemusi saja protsendiliselt õigeaks tõlgendada.

Mudelis, kus kütuse hinnad olid toodud viitaegadega osutus oluliseks tunnuseks nafta hind ning sarnaselt eelmise mudeliga ka tootmis- ja tarbimismahud Eestis. Kuna nafta hinna koefitsendiks kujunes 1,82 saab antud mudeli korral järeldada, et elektrihind on mõjutatud eelmise päeva nafta hinna muutustest, ehk mida suurem on nafta barreli hind eelneval päeval, seda suuremaks kujuneb elektrihind järgmisel päeval.

Analüüsil, mis võttis aluseks kütusehinnad Lätis jäid standardvigade kasutamisel mudelisse vaid tootmine ja tarbimine. Mitte ükski lõputöö eesmärgi täideviimiseks saadud tunnus ei olnud oluline nivool 0,1. Antud tulemus võib tuleneda sellest, et mudelist on välja jäänud mõni oluline tunnus, milleks võib uuritud kirjandusele tuginedes olla näiteks õhutemperatuur. Sarnaselt aga Eesti mudelile oli ka Läti elektrihindade kujunemisel positiivne mõju tarbimisel ja negatiivne mõju tootmisel. Kasutades, aga fossiilkütuste hindade muutjaid viitaegadega, saadi Eesti elektrihindadega samasugused tulemused – nafta hinna muutused eelmisel päeval on positiivselt seotud elektrihinna kujunemisel järgmisel päeval.

Kolmanda analüüsina koostati ka mudel Leedu elektrihindade kohta, kus ainukeseks oluliseks tunnuseks kasutades standardvigadega mudelit osutus tarbimismaht Leedus. Tulemus oli aga sarnane selle poolest, et ka antud riigi puhul mõjutab tarbimine elektrihinna positiivselt. Sarnaselt Eesti ja Läti viitaegu kasutades saadud mudelile, oli ka Leedu mudelis oluliseks tunnuseks nafta hind ning tootmine ja tarbimine antud piirkonna puhul. Erinevalt aga teiste Balti riikide mudelitele oli Leedu mudelis nafta hind oluline nivool 0,05, mis võimaldab paremini selgitada tunnuse olulisust mudelis.

Autoril tuleb lõplikku järeldust tehes aga leppida olukorraga, et koostatud mudelid ei anna siiski täielikku ülevaadet käesolevate elektrihindade muutuste kohta. Analüüsi probleemiks võib olla see, et mudelisse pole lisatud piisavalt olulisi tunnuseid ning perioodiks on valitud aeg kuhu sisse jäävad mitmed ekstreemsed poliitilised sündmused nagu koroonakriis ja hetkel käimasolev sõda Venemaa ja Ukraina vahel. Kuna viimaste aastatega on Euroopas toimunud järsk üleminek rohepoliitikale, mille tõttu sulgetakse mitmeid fossiilkütustel toimivaid elektrijaamu, oleks mõistlik analüüs läbi viia ka paari aasta pärast. Suurimaks probleemiks mudelite korral oli heteroskedastiivsuse esinemine, mille autor lahendas kohandatud standardvigu kasutades. Selle tõttu jäid aga mudelist välja mitmed esialgu olulisena olnud tunnused nagu CO₂ ja gaasi hind, mis varasemate uuringute kohaselt on osutunud olulisteks tunnusteks. Selle tõttu soovitab autor tuleviku uuringute puhul muuta lähenemisviisi ja lisada mudelisse rohkem olulisi tunnuseid nagu näiteks õhutemperatuur, majandustsüklid ja näiteks veehoidlate sisaldus, et jätta fossiilkütuste hinnad siiski olulisteks. Samuti soovitab autor analüüsi läbi viia lisaks Balti riikidele ka teiste Euroopa riikide kohta.

KOKKUVÕTE

Elektrienergia hinna kujunemine on tänapäeva ühiskonnas oluliseks teguriks energiapoliitika strateegiatega koostamisel. Samuti võimaldab elektrienergia hinna prognoosimine aidata kaasa ka kodumajapidamiste eelarve koostamiseks. Kuna antud ajaperioodil on aga elektrienergia hind järsult tõusnud otsustas autor enda lõputöös lähemalt uurida, millest on see põhjustatud.

Töö eesmärgiks oli välja selgitada, kas hindade kasv Balti riikides on põhjustatud sellest, et elektrienergia tootmine toimub jätkuvalt suuresti fossiilkütustest nagu nafta, kivisüsi ja gaas, mille hinnad on sarnaselt elektrienergia hindadele järsult tõusnud. Samuti sooviti teada, kas fossiilkütuste hindade tõus võib tuleneda üleminekust rohepoliitikale, mille tõttu on kasvanud ka CO₂ kvootide hinnad. Kõigile neile eesmärkidele vastuse saamiseks püstitas autor erinevaid uurimisküsimusi, et leida elektrienergia hinna mõjutavad muutujad.

Uurimisküsimustele vastuse saamiseks tuli autoril esmalt analüüsida varasemalt tehtuid töid seoses energiapoliitika kujundamisega Euroopas. Autor leidis, et fossiilkütused pakkusid 2012. aastal ligikaudu 74 protsenti kogu Euroopa Liidu energiavajadusest, sealhulgas elektrienergia tootmiseks, kütmiseks ja transpordiks. Umbes 17 protsenti sellest kaeti kivisüsi, 23 protsenti gaasiga ja 34 protsenti naftaga. (Eurostatile 2014). 2020. aastaks on fossiilkütuste maht energia tootmisel vähenenud 70 protsendini. Antud uuringust oli ka näha, et kõige enam on fossiilkütuste kasutus energia tootmisel viimase kümne aastaga vähenenud Eestis – 91 protsendilt 2010. aastal 66 protsendini 2020. aastal. (Eurostat 2022)

Võrreldes elektrienergia hindade muutusi fossiilkütuste hindade muutustega oli näha, et tulemused liikusid samas suunas. Andmete kirjeldamisel leiti, et vaatamata 2020. aastal alguse saanud koroonakriisi pandeemiast on hinnad olnud peamiselt kasvutrendis. Suurim hinna tõus on toimunud CO₂ kvootide hinnal, mis on võrreldes 2017. aastaga tõusnud ligikaudu 14 korda – 5,83 €/mt 2017. aastal ja 83,05 €/mt kohta 2022. aastal. Kõige väiksem hinna kasv on olnud nafta hindadel - 2017. aastal 48,55 €/bbl ja 2022. aastal 88,31 €/bbl. Elektrienergia hindade kasv on Balti riikidel toimunud võrdses mahu – Eestis, Lätis ja Leedus on hind tõusnud võrreldes 2017. aastaga ligikaudu neli

korda. 2017. aastal oli elektri hinnaks Balti riikides keskmiselt 36 €/MWh kohta ning 2022. aastal on hinnaks ligikaudu 140 €/MWh kohta. Samuti tuleb meles pidada, et 2022. aastal esinevad ekstreemselt kõrged hinnad võivad tuleneda ka sõjalisest konfliktist Venemaa ja Ukraina vahel.

Lõputöö eesmärgiks oli modelleerida elektri hindade mudel Balti riikide näitel, et näidata fossiilkütuste hindade olulisust elektri hinna kujunemisel. Lisaks fossiilkütuste hindadele otsustas autor mudelisse lisada ka tarbimis- ja tootmismahud vastavalt analüüsitava riigile. Autor täitis antud eesmärgi osaliselt, sest enamikes analüüsides jäid olulisteks tunnusteks peetavad CO₂, nafta, gaasi ja kivisöe hinnad lõplikult mudelist välja. Esimese mudelina viis autor läbi analüüsi, kus sõltuvaks tunnuseks valiti elektri hinnad Eestis. Mudel näitas, et olulise tunnuseksena nivool 0,1 osutus vaid gaasi hind ja tarbimine ning nivool 0,05 tootmine. Mudeli tulemusena saab väita, et mida kõrgem on gaasi hind antud päeval, seda kõrgemaks kujuneb ka elektri hind. Antud tulemuses ei saa siiski saja protsendiliselt kindel olla, sest tunnus osutus oluliseks vaid nivool 0,1. Läti elektri hindade tulemusel selgus, et oluliste tunnustena jäid lõplikult mudelisse vaid tootmine ja tarbimine, mille tulemusel näib, et tarbimine mõjutab elektri hindu positiivselt ja tootmine negatiivselt. Paraku jäid mudelist välja kõik autori poolt esialgu oluliseks peetud tunnused. Sarnased tulemused esinesid ka Leedu mudeli puhul, kus ainukeseks oluliseks tunnuseks lõpliku mudelisse jäi tarbimismaht. Muutes aga mudelisse lisatud sõltumatute tunnuste viitaegu leidis autor, et kõigi kolme riigi puhul jäi mudelisse oluliseks tunnuseks nafta hind – Eestis ja Lätis nivool 0,1 ning Leedus nivool 0,05. Antud tulemuse põhjal saab võita, et nafta hinna kujunemine eelmisel päeval on positiivselt seotud elektri hinna kujunemisega. Kõigi kolme riigi puhul oli nafta hinna koefitsendid sarnased – Eestis 1,82, Lätis 1,98 ja Leedus 1,92.

Puudulikest mudelitest tingituna ei ole autoril võimalik anda selgeid juhiseid elektri hinna poliitika kujundamisel. Kindlasti ei soovitata ka nafta hinna muutustest tuginevalt hakata prognoosima elektri hinna kujunemist, sest elektri hind võib sõltuda lisaks naftale ka mitmetest teisest tunnusest. Teooriast lähtudes on järelduste tegemiseks soovitatav jälgida erinevate rahvusvaheliste analüüsitud tulemusi.

SUMMARY

THE IMPACT OF CO₂ AND FOSSIL FUEL PRICES ON ELECTRICITY PRICE

Karl-Thomas Sepp

The development of the electricity prices is an important factor drawing up the strategies for the energy policy strategies in today's society. Forecasting the electricity price also makes it possible to support households preparing their budgets. However, as the price of electricity has risen sharply during this period, the author decided to take a closer look at the reasons what caused it.

The aim of the study is to find out whether the increase in prices in the Baltic States is due to the fact that electricity production continues to be largely based on fossil fuels such as oil, coal and gas, whose prices have risen sharply, similarly to electricity prices. It is also asked whether the rise in fossil fuel prices may be due to the transition to a green policy, which has also led to an increase in CO₂ prices. To answer all these questions, the author has asked various research questions to find the variables that affect electricity prices.

In order to answer the research questions, the author first had to analyze the work done in the past regarding the development of energy policy in Europe. The author found that in 2012, fossil fuels accounted for around 74% of the European Union's total energy needs, including electricity generation, heating and transport. About 17 percent of it was covered by coal, 23 percent by gas and 34 percent by oil. (Eurostat 2014). By 2020, the volume of fossil fuels in energy production has fallen to 70 percent. This study also showed that the use of fossil fuels in energy production has decreased the most in Estonia over the last ten years - from 91 percent in 2010 to 66 percent in 2020. (Eurostat 2022)

Comparing the changes in electricity prices with the changes in fossil fuel prices, it was seen that the results were moving in the same direction. When describing the data, it was found that despite the corona crisis pandemic that started in 2020, prices have been on the rise. The largest price

increase has taken place at the price of CO2 quotas, which has increased approximately 14 times compared to 2017 - 5.83 € / mt in 2017 and 83.05 € / mt in 2022. The smallest price increase has been in oil prices - 48.55 € / bbl in 2017 and 88.31 € / bbl in 2022. The growth of electricity prices in the Baltic States has taken place in equal volumes - in Estonia, Latvia and Lithuania, the price has increased approximately four times compared to 2017. In 2017, the average electricity price in the Baltic States was 36 € / MWh, and in 2022 the price will be approximately 140 € / MWh. It should also be borne in mind that the extremely high prices in 2022 may also be the result of a military conflict between Russia and Ukraine.

The aim of the dissertation was to create the model of the electricity prices on the example of the Baltic States in order to show the importance of fossil fuel prices in the formation of electricity prices. In addition to fossil fuel prices, the author decided to include consumption and production volumes in the model according to the country under analysis. The author partially fulfilled this goal, because the prices of CO2, oil, gas and coal, which are considered to be important features in most analyzes, were left out of the final model. As for the first model, the author conducted an analysis in which electricity prices in Estonia were chosen as a dependent feature. The model showed that the only significant feature of the 0.1 level was the price and consumption of gas and the 0.05 level of production. As a result of the model, it can be said that the higher the price of gas on a given day, the higher the price of electricity will be. However, it is not possible to be 100% sure of this result, because only the level of 0.1 was significant. As a result of the electricity prices in Latvia, it turned out that only production and consumption remained in the final model as important features, as a result of which it seems that consumption has a positive effect on electricity prices and production has a negative effect. Unfortunately, all the features that the author initially considered important were left out of the model. Similar results were observed for the Lithuanian model, where the only significant feature in the final model was consumption. However, changing the reference times of the independent features added to the model, the author found that the price of oil remained an important feature of the model for all three countries - the level of 0.1 in Estonia and Latvia and the level of 0.05 in Lithuania. Based on this result, it can be considered that the development of the oil price on the previous day is positively related to the development of the electricity price. The oil price coefficients were similar in all three countries - 1.82 in Estonia, 1.98 in Latvia and 1.92 in Lithuania.

Due to incomplete models, the author is not able to give clear instructions when formulating electricity pricing policy. It is certainly not recommended to start forecasting the development of

electricity prices based on changes in the oil price, because the price of electricity may depend on several other characteristics in addition to oil. Based on the theory, it is desirable to monitor the results of various international analyzes in order to draw conclusions.

Tekst

KASUTATUD ALLIKATE LOETELU

- Andres, R.J., Gregg, J.S., Losey, L., Marland, G., Boden, T.A. (2010) Monthly, global emissions of carbon dioxide from fossil fuel consumption. *Tellus B: Chemical and Physical Meteorology* 63 (3)
- Baruník, J., Křehlík, T. (2018) Measuring the frequency dynamics of financial connectedness and systemic risk. *J. Financ. Econ* 271–296.
- Bassi, S., Boyd, R., Buckle, S., Fennell, P., *et al.* (2015), *Bridging the Gap: Improving the Economic and Policy Framework for Carbon Capture and Storage in the European Union*, Grantham Institute Policy Brief
- Bojnec, Š., Križaj, A. (2021) Electricity Markets during the Liberalization: The Case of a European Union Country. *Energies* 14, 4317
- BP (2014) Strategic Report
- Ciais, P., Tans, P. P., White, J. W. C., Trolier, M., Francey, R. J., and co-authors. 1995. Partitioning of ocean and land uptake of CO₂ as inferred by $\delta^{13}\text{C}$ measurements from the NOAA Climate Monitoring and Diagnostics Laboratory global air sampling network. *J. Geophys. Res.* 100, 5051–5070.
- Denman, K. L., Brasseur, G., Chidthaisong, A., Ciais, P., Cox, P. M., Dickinson, R. E., and co-authors. 2007. Couplings between changes in the climate system and biogeochemistry. In: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (eds. Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., and co-editors). Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 516, 517.
- Diebold, F.X., Yilmaz, K. (2012) Better to give than to receive: Forecast-based measurement of volatility spillovers. *Int. J. Forecast.* 28, 57–66.
- European Commission (2019) Energy statistical pocketbook and country datasheet.
- Eurostat (2014) Supply, transformation, consumption.

- Eurostat (2022) Fossil fuels in gross available energy: 70% in 2020.
- Forster, P., Ramaswamy, V., Artaxo, P., Berntsen, T., Betts, R., and co-authors. 2007. Changes in atmospheric constituents and in radiative forcing. In: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (eds. Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., and co-editors). Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 138.
- Green, R., Staffell, I. (2016). Electricity in Europe: exiting fossil fuels? *Oxford Review of Economic Policy*, 32 (2), 282-303.
- G7Germany (2015) Leaders' Declaration.
- Ji, Q., Zhang, D., Geng, J. (2018) Information linkage, dynamic spillovers in prices and volatility between the carbon and energy markets. *Journal of Cleaner Production* (198), 972-978
- Jäger-Waldau, A., Szabo, M., Scarlat, N., Monforti-Ferrario, F. (2011). Renewable electricity in Europe. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15 (8), 3703-3716
- Kanellakis, M., Martinopoulos, G., Zachariadis, T. (2013) European energy policy—A review. *Energy Policy* (62), 1020-1030
- Keeling, R. F., Najjar, R. P., Bender, M. L. and Tans, P. P. 1993. What atmospheric oxygen measurements can tell us about the global carbon cycle. *Global Biogeochem. Cycles* 7, 37–67.
- Konkurentsiamet (2021) Elektrienergia hinnatõusu analüüs 2021.
- Kulagin, V.A., Grushevenko, D.A., Kapustin, N.O. (2020) Fossil fuels markets in the “energy transition” era. *Russian Journal of Economics* 6(4), 424-436
- Levin, I., Naegler, T., Kromer, B., Diehl, M., Francey, R. J., and co-authors. 2010. Observations and modelling of the global distribution and long-term trend of atmospheric ¹⁴CO₂. *Tellus* 62 B, doi:10.1111/j.1600-0889.2009.00446.x.
- Le Quere, C., Raupach, M. R., Canadell, J. G., Marland, G., Bopp, L., and co-authors. 2009. Trends in the sources and sinks of carbon dioxide. *Nat. Geosci.* 2, 831–836, doi:10.1038/ngeo689.
- Liu, T., He, X., Nakajima, T., Hamori, S. (2020) Influence of Fluctuations in Fossil Fuel Commodities on Electricity Markets: Evidence from Spot and Futures Markets in Europe. *Energies* 13(8), 1900.
- Moreno, B., Lopez, A.J., Garcia-Alvarez, M.T. (2012) The electricity prices in the European Union. The role of renewable energies and regulatory electric market reforms. *Energy* 48, 307-313

- Määttä, T., Johansson, T-F. (2011) The System Price of Electricity on Nord Pool, A Matter of Fundamental Factors? *Umeå University, Department of Economics*
- Oosthuizen, A.M., Inglesi-Lotz, R., Thopil, G.A. (2021) The relationship between renewable energy and retail electricity prices: Panel evidence from OECD countries. *Energy* 238
- Paraschiv, S., Paraschiv, L.S. (2020) Trends of carbon dioxide (CO₂) emissions from fossil fuels combustion (coal, gas and oil) in the EU member states from 1960 to 2018. *Energy Reports* 6, (8), 237-242
- Pepermans, G. (2019) European energy market liberalization: experiences and challenges. *International Journal of Economic Policy Studies* (13), 3-26
- Rentier, G., Lelieveldt, H., Kramer, G.J. (2019) Varieties of coal-fired power phase-out across Europe. *Energy Policy* 132, 620-632
- Wang, N., Ren, Y., Zhu, t., Meng, F., Wen, Z., Liu, G. (2018) Life cycle carbon emission modelling of coal-fired power: Chinese case. *Energy* (162), 841-852
- Weijermars, R., Drijkoningen, G., Heimovaara, T.J., Rudolph, E.S.J., Weltje, G.J., Wolf, K.H.A.A. (2011) Unconventional gas research initiative for clean energy transition in Europe. *Journal of Natural Gas Science and Engineering* 3, 402-412
- Zhang, Y., McKechnie, J., Cormier, D., Lyng, R., Mabee, W., Ogino, A., MacLean, H.L. (2010). Life Cycle Emissions and Cost of Producing Electricity from Coal, Natural Gas, and Wood Pellets in Ontario, Canada. *Environmental Science & Technology* 2010 44 (1), 538-544

LISAD

Lisa 1. Ühikjuure testimine Dickey-Fuller testiga

Augmented Dickey-Fuller test for CO2_hind
testing down from 1 lags, criterion \overline{AIC}
sample size 1177
unit-root null hypothesis: $a = 1$

with constant and trend
including one lag of (1-L)CO2_hind
model: $(1-L)y = b_0 + b_1*t + (a-1)*y(-1) + \dots + e$
estimated value of $(a - 1)$: -0.00371352
test statistic: $\tau_{ct}(1) = -1.04338$
asymptotic p-value $\overline{0.9364}$
1st-order autocorrelation coeff. for e: 0.003

Augmented Dickey-Fuller test for NAFTA_hind
testing down from 1 lags, criterion \overline{AIC}
sample size 1178
unit-root null hypothesis: $a = 1$

with constant and trend
including 0 lags of (1-L)NAFTA_hind
model: $(1-L)y = b_0 + b_1*t + (a-1)*y(-1) + e$
estimated value of $(a - 1)$: -0.00198208
test statistic: $\tau_{ct}(1) = -0.592771$
asymptotic p-value $\overline{0.979}$
1st-order autocorrelation coeff. for e: 0.026

Augmented Dickey-Fuller test for GAAS_hind
testing down from 1 lags, criterion \overline{AIC}
sample size 1177
unit-root null hypothesis: $a = 1$

with constant and trend
including one lag of (1-L)GAAS_hind
model: $(1-L)y = b_0 + b_1*t + (a-1)*y(-1) + \dots + e$
estimated value of $(a - 1)$: -0.0125214
test statistic: $\tau_{ct}(1) = -2.08412$
asymptotic p-value $\overline{0.5541}$
1st-order autocorrelation coeff. for e: -0.024

Augmented Dickey-Fuller test for SASI_hind
testing down from 1 lags, criterion \overline{AIC}
sample size 1177

unit-root null hypothesis: $a = 1$

with constant and trend
including one lag of (1-L)SASI_hind
model: $(1-L)y = b_0 + b_1*t + (a-1)*y(-1) + \dots + e$
estimated value of $(a - 1)$: -0.00541726
test statistic: $\tau_{ct}(1) = -0.855842$
asymptotic p-value 0.9592
1st-order autocorrelation coeff. for e: 0.008

Augmented Dickey-Fuller test for EE_Elspot_hind
testing down from 1 lags, criterion AIC
sample size 1177
unit-root null hypothesis: $a = 1$

with constant and trend
including one lag of (1-L)EE_Elspot_hind
model: $(1-L)y = b_0 + b_1*t + (a-1)*y(-1) + \dots + e$
estimated value of $(a - 1)$: -0.119986
test statistic: $\tau_{ct}(1) = -8.06881$
asymptotic p-value 1.151e-12
1st-order autocorrelation coeff. for e: -0.006

Augmented Dickey-Fuller test for LV_Elspot_hind
testing down from 1 lags, criterion AIC
sample size 1177
unit-root null hypothesis: $a = 1$

with constant and trend
including one lag of (1-L)LV_Elspot_hind
model: $(1-L)y = b_0 + b_1*t + (a-1)*y(-1) + \dots + e$
estimated value of $(a - 1)$: -0.108812
test statistic: $\tau_{ct}(1) = -7.63284$
asymptotic p-value 3.008e-11
1st-order autocorrelation coeff. for e: -0.008

Augmented Dickey-Fuller test for LT_Elspot_hind
testing down from 1 lags, criterion AIC
sample size 1177
unit-root null hypothesis: $a = 1$

with constant and trend
including one lag of (1-L)LT_Elspot_hind
model: $(1-L)y = b_0 + b_1*t + (a-1)*y(-1) + \dots + e$
estimated value of $(a - 1)$: -0.110678
test statistic: $\tau_{ct}(1) = -7.55151$
asymptotic p-value 5.422e-11
1st-order autocorrelation coeff. for e: -0.010

Augmented Dickey-Fuller test for EE_Tarbimine
testing down from 1 lags, criterion AIC
sample size 1177
unit-root null hypothesis: $a = 1$

with constant and trend
including one lag of (1-L)EE_Tarbimine
model: $(1-L)y = b_0 + b_1*t + (a-1)*y(-1) + \dots + e$
estimated value of $(a - 1)$: -0.0323162
test statistic: $\tau_{ct}(1) = -4.21241$
asymptotic p-value 0.004219
1st-order autocorrelation coeff. for e: -0.013

Augmented Dickey-Fuller test for LV_Tarbimine
testing down from 1 lags, criterion AIC
sample size 1177
unit-root null hypothesis: $a = 1$

with constant and trend

including one lag of (1-L)LV_Tarbimine
model: $(1-L)y = b_0 + b_1*t + (a-1)*y(-1) + \dots + e$
estimated value of (a - 1): -0.0491163
test statistic: $\tau_{ct}(1) = -5.00598$
asymptotic p-value $\bar{0}.0001759$
1st-order autocorrelation coeff. for e: -0.030

Augmented Dickey-Fuller test for LT_Tarbimine
testing down from 1 lags, criterion AIC
sample size 1177
unit-root null hypothesis: a = 1

with constant and trend
including one lag of (1-L)LT_Tarbimine
model: $(1-L)y = b_0 + b_1*t + (a-1)*y(-1) + \dots + e$
estimated value of (a - 1): -0.0474464
test statistic: $\tau_{ct}(1) = -4.94315$
asymptotic p-value $\bar{0}.0002328$
1st-order autocorrelation coeff. for e: -0.018

Augmented Dickey-Fuller test for EE_Tootmine
testing down from 1 lags, criterion AIC
sample size 1177
unit-root null hypothesis: a = 1

with constant and trend
including one lag of (1-L)EE_Tootmine
model: $(1-L)y = b_0 + b_1*t + (a-1)*y(-1) + \dots + e$
estimated value of (a - 1): -0.0992767
test statistic: $\tau_{ct}(1) = -7.43902$
asymptotic p-value $\bar{1}.212e-10$
1st-order autocorrelation coeff. for e: -0.000

Augmented Dickey-Fuller test for LV_Tootmine
testing down from 1 lags, criterion AIC
sample size 1177
unit-root null hypothesis: a = 1

with constant and trend
including one lag of (1-L)LV_Tootmine
model: $(1-L)y = b_0 + b_1*t + (a-1)*y(-1) + \dots + e$
estimated value of (a - 1): -0.131537
test statistic: $\tau_{ct}(1) = -8.06956$
asymptotic p-value $\bar{1}.144e-12$
1st-order autocorrelation coeff. for e: -0.014

Augmented Dickey-Fuller test for LT_Tootmine
testing down from 1 lags, criterion AIC
sample size 1177
unit-root null hypothesis: a = 1

with constant and trend
including one lag of (1-L)LT_Tootmine
model: $(1-L)y = b_0 + b_1*t + (a-1)*y(-1) + \dots + e$
estimated value of (a - 1): -0.430422
test statistic: $\tau_{ct}(1) = -14.769$
asymptotic p-value $\bar{7}.799e-42$
1st-order autocorrelation coeff. for e: -0.016

Lisa 2. Ühikjuure testimine Dickey-Fuller testiga peale diferentside kasutamist

Augmented Dickey-Fuller test for d_CO2_hind
testing down from 1 lags, criterion AIC
sample size 1177
unit-root null hypothesis: $a = 1$

with constant and trend
including 0 lags of $(1-L)d_CO2_hind$
model: $(1-L)y = b_0 + b_1*t + (a-1)*y(-1) + e$
estimated value of $(a - 1)$: -1.08445
test statistic: $\tau_{ct}(1) = -37.2774$
asymptotic p-value $\bar{3}.674e-136$
1st-order autocorrelation coeff. for e: 0.002

Augmented Dickey-Fuller test for d_NAFTA_hind
testing down from 1 lags, criterion AIC
sample size 1176
unit-root null hypothesis: $a = 1$

with constant and trend
including one lag of $(1-L)d_NAFTA_hind$
model: $(1-L)y = b_0 + b_1*t + (a-1)*y(-1) + \dots + e$
estimated value of $(a - 1)$: -1.03127
test statistic: $\tau_{ct}(1) = -25.2719$
asymptotic p-value $\bar{2}.876e-96$
1st-order autocorrelation coeff. for e: -0.004

Augmented Dickey-Fuller test for d_GAAS_hind
testing down from 1 lags, criterion AIC
sample size 1176
unit-root null hypothesis: $a = 1$

with constant and trend
including one lag of $(1-L)d_GAAS_hind$
model: $(1-L)y = b_0 + b_1*t + (a-1)*y(-1) + \dots + e$
estimated value of $(a - 1)$: -1.35191
test statistic: $\tau_{ct}(1) = -31.1351$
asymptotic p-value $\bar{1}.253e-120$
1st-order autocorrelation coeff. for e: 0.010

Augmented Dickey-Fuller test for d_SASI_hind
testing down from 1 lags, criterion AIC
sample size 1176
unit-root null hypothesis: $a = 1$

with constant and trend
including one lag of $(1-L)d_SASI_hind$
model: $(1-L)y = b_0 + b_1*t + (a-1)*y(-1) + \dots + e$
estimated value of $(a - 1)$: -1.03193
test statistic: $\tau_{ct}(1) = -23.5504$
asymptotic p-value $\bar{7}.717e-88$
1st-order autocorrelation coeff. for e: 0.004

Lisa 3. Esialgne mudel Eesti elektrihindade kohta

Model 11: OLS, using observations 2017-01-03:2022-04-12 (T = 1178)
 Dependent variable: EE_Elspot_hind

	<i>Coefficient</i>	<i>Std. Error</i>	<i>t-ratio</i>	<i>p-value</i>	
const	17.6741	6.87207	2.572	0.0102	**
d_CO2_hind	2.91303	0.902498	3.228	0.0013	***
d_NAFTA_hind	1.01672	0.747277	1.361	0.1739	
d_GAAS_hind	0.787024	0.372043	2.115	0.0346	**
d_SASI_hind	0.174589	0.176404	0.9897	0.3225	
EE_Tarbimine	0.00188765	0.000314290	6.006	<0.0001	***
EE_Tootmine	-0.00040544	0.000106671	-3.801	0.0002	***

7

Mean dependent var	53.19735	S.D. dependent var	34.51629
Sum squared resid	1329141	S.E. of regression	33.69047
R-squared	0.052135	Adjusted R-squared	0.047279
F(6, 1171)	10.73475	P-value(F)	1.21e-11
Log-likelihood	-5811.278	Akaike criterion	11636.56
Schwarz criterion	11672.06	Hannan-Quinn	11649.94
rho	0.892613	Durbin-Watson	0.219499

Lisa 4. Uuendatud mudel Eesti elektrihindade kohta

Model 13: OLS, using observations 2017-01-03:2022-04-12 (T = 1178)

Dependent variable: EE_Elspot_hind

	<i>Coefficient</i>	<i>Std. Error</i>	<i>t-ratio</i>	<i>p-value</i>	
const	17.6606	6.87766	2.568	0.0104	**
d_CO2_hind	3.02672	0.894691	3.383	0.0007	***
d_GAAS_hind	1.12507	0.287466	3.914	<0.0001	***
EE_Tarbimine	0.00189307	0.000314526	6.019	<0.0001	***
EE_Tootmine	-0.00040872	0.000106742	-3.829	0.0001	***

1

Mean dependent var	53.19735	S.D. dependent var	34.51629
Sum squared resid	1333628	S.E. of regression	33.71851
R-squared	0.048935	Adjusted R-squared	0.045692
F(4, 1173)	15.08866	P-value(F)	4.93e-12
Log-likelihood	-5813.264	Akaike criterion	11636.53
Schwarz criterion	11661.89	Hannan-Quinn	11646.09
rho	0.895867	Durbin-Watson	0.213809

White's test for heteroskedasticity -

Null hypothesis: heteroskedasticity not present

Test statistic: LM = 367.751

with p-value = $P(\text{Chi-square}(14) > 367.751) = 7.72755e-70$

LM test for autocorrelation up to order 10 -

Null hypothesis: no autocorrelation

Test statistic: LMF = 499.469

with p-value = $P(F(10, 1163) > 499.469) = 0$

LM test for autocorrelation up to order 5 -

Null hypothesis: no autocorrelation

Test statistic: LMF = 982.872

with p-value = $P(F(5, 1168) > 982.872) = 0$

Test for normality of residual -

Null hypothesis: error is normally distributed

Test statistic: Chi-square(2) = 2886.08

with p-value = 0

RESET test for specification -

Null hypothesis: specification is adequate

Test statistic: F(2, 1171) = 175.865

with p-value = $P(F(2, 1171) > 175.865) = 1.63859e-67$

Lisa 5. White'i testi tulemus Eesti elektrihindade kohta

White's test for heteroskedasticity

OLS, using observations 2017-01-03:2022-04-12 (T = 1178)

Dependent variable: \hat{u}^2

	coefficient	std. error	t-ratio	p-value	
const	44979.0	7208.61	6.240	6.13e-10	***
d_CO2_hind	-5224.57	986.651	-5.295	1.42e-07	***
d_GAAS_hind	-6131.42	630.066	-9.731	1.43e-21	***
EE_Tarbimine	-4.47839	0.635739	-7.044	3.18e-12	***
EE_Tootmine	0.550883	0.127748	4.312	1.75e-05	***
sq_d_CO2_hind	418.699	33.6960	12.43	2.24e-33	***
X2_X3	140.938	16.1343	8.735	8.32e-18	***
X2_X4	0.264978	0.0455581	5.816	7.77e-09	***
X2_X5	-0.0328582	0.0256801	-1.280	0.2010	
sq_d_GAAS_hind	15.6164	2.62834	5.942	3.73e-09	***
X3_X4	0.281201	0.0280879	10.01	1.09e-22	***
X3_X5	-0.0416120	0.0122867	-3.387	0.0007	***
sq_EE_Tarbimine	0.000105431	1.44917e-05	7.275	6.34e-13	***
X4_X5	-1.55756e-05	6.23353e-06	-2.499	0.0126	**
sq_EE_Tootmine	-4.22630e-06	2.03312e-06	-2.079	0.0379	**

Unadjusted R-squared = 0.312182

Test statistic: $TR^2 = 367.750906$,

with p-value = $P(\text{Chi-square}(14) > 367.750906) = 0.000000$

Lisa 6. Kohandatud standardvigadega mudel Eesti elektrihindade kohta

Model 36: OLS, using observations 2017-01-03:2022-04-12 (T = 1178)

Dependent variable: EE_Elspot_hind

HAC standard errors, bandwidth 7 (Bartlett kernel)

	<i>Coefficient</i>	<i>Std. Error</i>	<i>t-ratio</i>	<i>p-value</i>	
const	17.6606	22.8286	0.7736	0.4393	
d_CO2_hind	3.02672	2.33453	1.296	0.1951	
d_GAAS_hind	1.12507	0.657009	1.712	0.0871	*
EE_Tarbimine	0.00189307	0.00113168	1.673	0.0946	*
EE_Tootmine	-0.00040872	0.000181948	-2.246	0.0249	**

1

Mean dependent var	53.19735	S.D. dependent var	34.51629
Sum squared resid	1333628	S.E. of regression	33.71851
R-squared	0.048935	Adjusted R-squared	0.045692
F(4, 1173)	1.500939	P-value(F)	0.199631
Log-likelihood	-5813.264	Akaike criterion	11636.53
Schwarz criterion	11661.89	Hannan-Quinn	11646.09
rho	0.895867	Durbin-Watson	0.213809

Lisa 7. Uuendatud kohandatud standardvigadega mudel Eesti elektrihindade kohta

Model 37: OLS, using observations 2017-01-03:2022-04-12 (T = 1178)

Dependent variable: EE_Elspot_hind

HAC standard errors, bandwidth 7 (Bartlett kernel)

	<i>Coefficient</i>	<i>Std. Error</i>	<i>t-ratio</i>	<i>p-value</i>	
const	17.2432	23.2814	0.7406	0.4591	
d_GAAS_hind	0.821692	0.524271	1.567	0.1173	
EE_Tarbimine	0.00192746	0.00116114	1.660	0.0972	*
EE_Tootmine	-0.00041690	0.000186512	-2.235	0.0256	**

0

Mean dependent var	53.19735	S.D. dependent var	34.51629
Sum squared resid	1346640	S.E. of regression	33.86817
R-squared	0.039656	Adjusted R-squared	0.037202
F(3, 1174)	1.924548	P-value(F)	0.123784
Log-likelihood	-5818.982	Akaike criterion	11645.96
Schwarz criterion	11666.25	Hannan-Quinn	11653.61
rho	0.900387	Durbin-Watson	0.204322

Lisa 8. Esialgne viitaegu ja standardvigu kasutades saadud mudel Eesti elektrihindade kohta

Model 63: OLS, using observations 2017-01-04:2022-04-12 (T = 1177)

Dependent variable: EE_Elspot_hind

HAC standard errors, bandwidth 7 (Bartlett kernel)

	<i>Coefficient</i>	<i>Std. Error</i>	<i>t-ratio</i>	<i>p-value</i>	
const	17.5652	22.9411	0.7657	0.4440	
d_CO2_hind_1	2.92627	2.55939	1.143	0.2531	
d_NAFTA_hind_1	1.55683	1.11784	1.393	0.1640	
d_GAAS_hind_1	0.217141	0.889916	0.2440	0.8073	
EE_Tarbimine	0.00190272	0.00113783	1.672	0.0947	*
EE_Tootmine	-0.00041331	0.000182720	-2.262	0.0239	**
	0				
d_SASI_hind_1	0.0223643	0.347454	0.06437	0.9487	
Mean dependent var	53.21455	S.D. dependent var	34.52591		
Sum squared resid	1336486	S.E. of regression	33.79787		
R-squared	0.046618	Adjusted R-squared	0.041729		
F(6, 1170)	1.365918	P-value(F)	0.225149		
Log-likelihood	-5810.088	Akaike criterion	11634.18		
Schwarz criterion	11669.67	Hannan-Quinn	11647.56		
rho	0.883524	Durbin-Watson	0.237783		

Lisa 9. Lõplik viitaegu ja standardvigu kasutades saadud mudel Eesti elektrihindade kohta

Model 35: OLS, using observations 2017-01-04:2022-04-12 (T = 1177)

Dependent variable: EE_Elspot_hind

HAC standard errors, bandwidth 7 (Bartlett kernel)

	<i>Coefficient</i>	<i>Std. Error</i>	<i>t-ratio</i>	<i>p-value</i>	
const	17.3551	23.2764	0.7456	0.4561	
d_NAFTA_hind_1	1.82247	1.00192	1.819	0.0692	*
EE_Tarbimine	0.00192275	0.00116034	1.657	0.0978	*
EE_Tootmine	-0.00041636	0.000185543	-2.244	0.0250	**

2

Mean dependent var	53.21455	S.D. dependent var	34.52591
Sum squared resid	1348501	S.E. of regression	33.90601
R-squared	0.038047	Adjusted R-squared	0.035587
F(3, 1173)	2.267430	P-value(F)	0.079057
Log-likelihood	-5815.355	Akaike criterion	11638.71
Schwarz criterion	11658.99	Hannan-Quinn	11646.36
rho	0.891740	Durbin-Watson	0.221273

Lisa 10. Esialgne mudel Läti elektrihindade kohta

Model 43: OLS, using observations 2017-01-03:2022-04-12 (T = 1178)
 Dependent variable: LV_Elspot_hind

	<i>Coefficient</i>	<i>Std. Error</i>	<i>t-ratio</i>	<i>p-value</i>	
const	-54.6713	12.2348	-4.469	<0.0001	***
d_CO2_hind	2.82445	0.912957	3.094	0.0020	***
d_NAFTA_hind	0.974044	0.755683	1.289	0.1977	
d_GAAS_hind	0.730136	0.376191	1.941	0.0525	*
d_SASI_hind	0.117464	0.178352	0.6586	0.5103	
LV_Tarbimine	0.00682272	0.000671993	10.15	<0.0001	***
LV_Tootmine	-0.00168323	0.000182482	-9.224	<0.0001	***
Mean dependent var	54.82417	S.D. dependent var	35.98660		
Sum squared resid	1359054	S.E. of regression	34.06747		
R-squared	0.108383	Adjusted R-squared	0.103814		
F(6, 1171)	23.72393	P-value(F)	1.41e-26		
Log-likelihood	-5824.387	Akaike criterion	11662.77		
Schwarz criterion	11698.28	Hannan-Quinn	11676.16		
rho	0.856400	Durbin-Watson	0.292664		

Lisa 11. Uuendatud mudel Läti elektrihindade kohta

Model 16: OLS, using observations 2017-01-03:2022-04-12 (T = 1178)
 Dependent variable: LV_Elspot_hind

	<i>Coefficient</i>	<i>Std. Error</i>	<i>t-ratio</i>	<i>p-value</i>	
const	-54.5956	12.2389	-4.461	<0.0001	***
d_CO2_hind	2.94345	0.904679	3.254	0.0012	***
d_GAAS_hind	0.984278	0.290518	3.388	0.0007	***
LV_Tarbimine	0.00682254	0.000672226	10.15	<0.0001	***
LV_Tootmine	-0.00168533	0.000182541	-9.233	<0.0001	***
Mean dependent var	54.82417	S.D. dependent var		35.98660	
Sum squared resid	1362341	S.E. of regression		34.07955	
R-squared	0.106226	Adjusted R-squared		0.103178	
F(4, 1173)	34.85311	P-value(F)		1.57e-27	
Log-likelihood	-5825.810	Akaike criterion		11661.62	
Schwarz criterion	11686.98	Hannan-Quinn		11671.18	
rho	0.859596	Durbin-Watson		0.286907	

White's test for heteroskedasticity -

Null hypothesis: heteroskedasticity not present

Test statistic: LM = 346.854

with p-value = $P(\text{Chi-square}(14) > 346.854) = 1.87967e-65$

Test for normality of residual -

Null hypothesis: error is normally distributed

Test statistic: Chi-square(2) = 2777.06

with p-value = 0

Lisa 12. White'i testi tulemus Läti elektrihindade kohta

White's test for heteroskedasticity

OLS, using observations 2017-01-03:2022-04-12 (T = 1178)

Dependent variable: \hat{u}^2

	coefficient	std. error	t-ratio	p-value	
const	100181	18527.5	5.407	7.77e-08	***
d_CO2_hind	-11933.1	1914.65	-6.233	6.41e-10	***
d_GAAS_hind	-8810.16	1231.03	-7.157	1.46e-12	***
LV_Tarbimine	-10.0221	1.94481	-5.153	3.01e-07	***
LV_Tootmine	-0.0268461	0.392617	-0.06838	0.9455	
sq_d_CO2_hind	451.670	34.5078	13.09	1.28e-36	***
X2_X3	175.813	18.1170	9.704	1.83e-21	***
X2_X4	0.634161	0.103071	6.153	1.05e-09	***
X2_X5	-0.0567503	0.0317045	-1.790	0.0737	*
sq_d_GAAS_hind	18.5352	2.80397	6.610	5.83e-11	***
X3_X4	0.374323	0.0602330	6.215	7.16e-10	***
X3_X5	0.0418621	0.0116902	3.581	0.0004	***
sq_LV_Tarbimine	0.000248490	5.28680e-05	4.700	2.91e-06	***
X4_X5	5.95524e-06	2.28012e-05	0.2612	0.7940	
sq_LV_Tootmine	-3.30664e-06	3.64306e-06	-0.9077	0.3642	

Unadjusted R-squared = 0.294444

Test statistic: $TR^2 = 346.854459$,

with p-value = $P(\text{Chi-square}(14) > 346.854459) = 0.000000$

Lisa 13. Uuendatud kohandatud standardvigadega mudel Läti elektrihindade kohta

Model 46: OLS, using observations 2017-01-03:2022-04-12 (T = 1178)

Dependent variable: LV_Elspot_hind

HAC standard errors, bandwidth 7 (Bartlett kernel)

	<i>Coefficient</i>	<i>Std. Error</i>	<i>t-ratio</i>	<i>p-value</i>	
const	-54.5956	40.0337	-1.364	0.1729	
d_CO2_hind	2.94345	2.34792	1.254	0.2102	
d_GAAS_hind	0.984278	0.688546	1.430	0.1531	
LV_Tarbimine	0.00682254	0.00217926	3.131	0.0018	***
LV_Tootmine	-0.00168533	0.000324675	-5.191	<0.0001	***
Mean dependent var	54.82417	S.D. dependent var	35.98660		
Sum squared resid	1362341	S.E. of regression	34.07955		
R-squared	0.106226	Adjusted R-squared	0.103178		
F(4, 1173)	8.448549	P-value(F)	1.02e-06		
Log-likelihood	-5825.810	Akaike criterion	11661.62		
Schwarz criterion	11686.98	Hannan-Quinn	11671.18		
rho	0.859596	Durbin-Watson	0.286907		

Lisa 14. Esialgne viitaegu ja standardvigu kasutades saadud mudel Läti elektrihindade kohta

Model 49: OLS, using observations 2017-01-04:2022-04-12 (T = 1177)

Dependent variable: LV_Elspot_hind

HAC standard errors, bandwidth 7 (Bartlett kernel)

	<i>Coefficient</i>	<i>Std. Error</i>	<i>t-ratio</i>	<i>p-value</i>	
const	-54.8290	40.1091	-1.367	0.1719	
d_CO2_hind_1	2.37829	2.63971	0.9010	0.3678	
d_NAFTA_hind_1	1.80207	1.15374	1.562	0.1186	
d_GAAS_hind_1	0.303324	0.861023	0.3523	0.7247	
d_SASI_hind_1	-0.0375230	0.413296	-0.09079	0.9277	
LV_Tarbimine	0.00683459	0.00218512	3.128	0.0018	***
LV_Tootmine	-0.00168431	0.000326881	-5.153	<0.0001	***
Mean dependent var	54.84275	S.D. dependent var	35.99624		
Sum squared resid	1364470	S.E. of regression	34.14988		
R-squared	0.104548	Adjusted R-squared	0.099956		
F(6, 1170)	5.325078	P-value(F)	0.000020		
Log-likelihood	-5822.283	Akaike criterion	11658.57		
Schwarz criterion	11694.06	Hannan-Quinn	11671.95		
rho	0.849106	Durbin-Watson	0.306998		

Lisa 15. Lõplik viitaegu ja standardvigu kasutades saadud mudel Läti elektrihindade kohta

Model 52: OLS, using observations 2017-01-04:2022-04-12 (T = 1177)

Dependent variable: LV_Elspot_hind

HAC standard errors, bandwidth 7 (Bartlett kernel)

	<i>Coefficient</i>	<i>Std. Error</i>	<i>t-ratio</i>	<i>p-value</i>	
const	-55.4305	40.8153	-1.358	0.1747	
d_NAFTA_hind_1	1.97861	1.03643	1.909	0.0565	*
LV_Tarbimine	0.00688319	0.00222919	3.088	0.0021	***
LV_Tootmine	-0.00169737	0.000331913	-5.114	<0.0001	***
Mean dependent var	54.84275	S.D. dependent var	35.99624		
Sum squared resid	1372528	S.E. of regression	34.20674		
R-squared	0.099260	Adjusted R-squared	0.096956		
F(3, 1173)	9.157070	P-value(F)	5.43e-06		
Log-likelihood	-5825.749	Akaike criterion	11659.50		
Schwarz criterion	11679.78	Hannan-Quinn	11667.15		
rho	0.856673	Durbin-Watson	0.291796		

Lisa 16. Esialgne mudel Leedu elektrihindade kohta

Model 17: OLS, using observations 2017-01-03:2022-04-12 (T = 1178)

Dependent variable: LT_Elspot_hind

	<i>Coefficient</i>	<i>Std. Error</i>	<i>t-ratio</i>	<i>p-value</i>	
const	-88.8409	9.26521	-9.589	<0.0001	***
d_CO2_hind	2.58823	0.892794	2.899	0.0038	***
d_NAFTA_hind	0.837659	0.739482	1.133	0.2575	
d_GAAS_hind	0.932804	0.367948	2.535	0.0114	**
d_SASI_hind	0.00750435	0.174502	0.04300	0.9657	
LT_Tarbimine	0.00421364	0.000290574	14.50	<0.0001	***
LT_Tootmine	0.000256145	0.000245887	1.042	0.2978	
Mean dependent var	55.30941	S.D. dependent var	36.87648		
Sum squared resid	1299891	S.E. of regression	33.31770		
R-squared	0.187859	Adjusted R-squared	0.183697		
F(6, 1171)	45.14457	P-value(F)	7.58e-50		
Log-likelihood	-5798.172	Akaike criterion	11610.34		
Schwarz criterion	11645.84	Hannan-Quinn	11623.73		
rho	0.883243	Durbin-Watson	0.238986		

Lisa 17. Uuendatud mudel Leedu elektrihindade kohta

Model 20: OLS, using observations 2017-01-03:2022-04-12 (T = 1178)
 Dependent variable: LT_Elspot_hind

	<i>Coefficient</i>	<i>Std. Error</i>	<i>t-ratio</i>	<i>p-value</i>	
const	-89.3910	9.25456	-9.659	<0.0001	***
d_CO2_hind	2.70432	0.884193	3.059	0.0023	***
d_GAAS_hind	1.02217	0.284019	3.599	0.0003	***
LT_Tarbimine	0.00431708	0.000275100	15.69	<0.0001	***
Mean dependent var	55.30941	S.D. dependent var		36.87648	
Sum squared resid	1302769	S.E. of regression		33.31192	
R-squared	0.186061	Adjusted R-squared		0.183981	
F(3, 1174)	89.45589	P-value(F)		3.90e-52	
Log-likelihood	-5799.474	Akaike criterion		11606.95	
Schwarz criterion	11627.24	Hannan-Quinn		11614.60	
rho	0.887764	Durbin-Watson		0.230129	

White's test for heteroskedasticity -

Null hypothesis: heteroskedasticity not present

Test statistic: LM = 397.383

with p-value = $P(\text{Chi-square}(9) > 397.383) = 4.95602e-80$

Test for normality of residual -

Null hypothesis: error is normally distributed

Test statistic: Chi-square(2) = 1918.87

with p-value = 0

Lisa 18. White'i testi tulemus Leedu elektrihindade kohta

White's test for heteroskedasticity

OLS, using observations 2017-01-03:2022-04-12 (T = 1178)

Dependent variable: uhat^2

	coefficient	std. error	t-ratio	p-value	
const	84299.4	9364.93	9.002	8.81e-19	***
d_CO2_hind	-6827.76	1153.56	-5.919	4.26e-09	***
d_GAAS_hind	-6814.33	759.438	-8.973	1.13e-18	***
LT_Tarbimine	-5.28067	0.557580	-9.471	1.48e-20	***
sq_d_CO2_hind	304.156	29.0748	10.46	1.52e-24	***
X2_X3	121.241	13.6969	8.852	3.13e-18	***
X2_X4	0.202069	0.0310032	6.518	1.06e-10	***
sq_d_GAAS_hind	14.2230	2.21366	6.425	1.91e-10	***
X3_X4	0.181355	0.0197928	9.163	2.21e-19	***
sq_LT_Tarbimine	8.22150e-05	8.25327e-06	9.962	1.72e-22	***

Unadjusted R-squared = 0.337337

Test statistic: $TR^2 = 397.382566$,

with p-value = $P(\text{Chi-square}(9) > 397.382566) = 0.000000$

Lisa 19. Uuendatud kohandatud standardvigadega mudel Leedu elektrihindade kohta

Model 53: OLS, using observations 2017-01-03:2022-04-12 (T = 1178)

Dependent variable: LT_Elspot_hind

HAC standard errors, bandwidth 7 (Bartlett kernel)

	<i>Coefficient</i>	<i>Std. Error</i>	<i>t-ratio</i>	<i>p-value</i>	
const	-89.3910	37.0546	-2.412	0.0160	**
d_CO2_hind	2.70432	2.20665	1.226	0.2206	
d_GAAS_hind	1.02217	0.668998	1.528	0.1268	
LT_Tarbimine	0.00431708	0.00116103	3.718	0.0002	***
Mean dependent var	55.30941	S.D. dependent var	36.87648		
Sum squared resid	1302769	S.E. of regression	33.31192		
R-squared	0.186061	Adjusted R-squared	0.183981		
F(3, 1174)	4.666712	P-value(F)	0.003012		
Log-likelihood	-5799.474	Akaike criterion	11606.95		
Schwarz criterion	11627.24	Hannan-Quinn	11614.60		
rho	0.887764	Durbin-Watson	0.230129		

Lisa 20. Esialgne viitaegu ja standardvigu kasutades saadud mudel Leedu elektrihindade kohta

Model 55: OLS, using observations 2017-01-04:2022-04-12 (T = 1177)

Dependent variable: LT_Elspot_hind

HAC standard errors, bandwidth 7 (Bartlett kernel)

	<i>Coefficient</i>	<i>Std. Error</i>	<i>t-ratio</i>	<i>p-value</i>	
const	-89.0311	37.1460	-2.397	0.0167	**
d_CO2_hind_1	1.83243	2.38944	0.7669	0.4433	
d_NAFTA_hind_1	1.80121	1.08075	1.667	0.0959	*
d_GAAS_hind_1	0.264713	0.827313	0.3200	0.7491	
d_SASI_hind_1	-0.0589699	0.399454	-0.1476	0.8827	
LT_Tarbimine	0.00422829	0.00119984	3.524	0.0004	***
LT_Tootmine	0.000236285	0.000405770	0.5823	0.5605	

Mean dependent var	55.32841	S.D. dependent var	36.88638
Sum squared resid	1307030	S.E. of regression	33.42334
R-squared	0.183143	Adjusted R-squared	0.178954
F(6, 1170)	2.856639	P-value(F)	0.009121
Log-likelihood	-5796.973	Akaike criterion	11607.95
Schwarz criterion	11643.44	Hannan-Quinn	11621.33
rho	0.874576	Durbin-Watson	0.255822

Lisa 21. Lõplik viitaegu ja standardvigu kasutades saadud mudel Leedu elektrihindade kohta

Model 60: OLS, using observations 2017-01-04:2022-04-12 (T = 1177)

Dependent variable: LT_Elspot_hind

HAC standard errors, bandwidth 7 (Bartlett kernel)

	<i>Coefficient</i>	<i>Std. Error</i>	<i>t-ratio</i>	<i>p-value</i>	
const	-89.9404	37.6059	-2.392	0.0169	**
d_NAFTA_hind_1	1.92498	0.943513	2.040	0.0416	**
LT_Tarbimine	0.00433876	0.00117907	3.680	0.0002	***
Mean dependent var	55.32841	S.D. dependent var	36.88638		
Sum squared resid	1312982	S.E. of regression	33.44223		
R-squared	0.179423	Adjusted R-squared	0.178026		
F(2, 1174)	7.283083	P-value(F)	0.000719		
Log-likelihood	-5799.646	Akaike criterion	11605.29		
Schwarz criterion	11620.50	Hannan-Quinn	11611.03		
rho	0.881058	Durbin-Watson	0.242708		

Lisa 24. Lõputöös kasutatavad Nord Pool ja Revinitiv Eikon andmebaasist saadud andmed

Andmed kättesaadaval:

<https://docs.google.com/spreadsheets/d/1PiSsTSTiGVg->

[UxdkG59jHnAgdx9gD8NeWia7LgKVozw/edit#gid=657366045](https://docs.google.com/spreadsheets/d/1PiSsTSTiGVg-UxdkG59jHnAgdx9gD8NeWia7LgKVozw/edit#gid=657366045)

Lisa 23. Lihtlitsents

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks¹

Mina Karl-Thomas Sepp

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose „CO₂ ja fossiilkütuste hindade mõju elektri hinnale“,

mille juhendaja on Ako Sauga,

1.1 reprodutseerimiseks lõputöö säilitamise ja elektroonse avaldamise eesmärgil, sh Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogusse lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

1.2 üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tallinna Tehnikaülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogu kaudu kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.

2. Olen teadlik, et käesoleva lihtlitsentsi punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.

3. Kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest ning muudest õigusaktidest tulenevaid õigusi.

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