

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL

Majandusteaduskond

Jaak Soosaar

**SÜSINIKKREDIIDI EUA HINNAMUUTUSTE KUJUNEMINE JA
MÕJU SEOTUD SEKTORI ETTEVÕTETELE**

Magistritöö

Õppekava TARM, peeriala ärirahandus

Juhendaja: Kaido Kepp, MA

Kaasjuhendaja: Ako Sauga, PhD

Tallinn 2024

Deklareerin, et olen koostanud lõputöö iseseisvalt ja olen viidanud kõikidele selle koostamisel kasutatud teiste autorite töödele, olulistele seisukohtadele ja andmetele, ning ei ole esitanud sama tööd varasemalt ainepunktide saamiseks.

Töö pikkuseks on 12648 sõna sissejuhatusest kuni kokkuvõtte lõpuni.

Jaak Soosaar

Kuupäev 07.05.2024

(allkiri, kuupäev)

Üliõpilase kood: 221445TARM

Üliõpilase e-post: jack.soosaar.001@gmail.com

Juhendaja Kaido Kepp MA:

Töö vastab kehtivatele nõuetele

.....

(allkiri, kuupäev)

Kaasjuhendaja Ako Sauga PhD:

Töö vastab kehtivatele nõuetele

.....

(allkiri, kuupäev)

Kaitsmiskomisjoni esimees:

Lubatud kaitsmisele

.....

(nimi, allkiri, kuupäev)

SISUKORD

LÜHIKOKKUVÕTE.....	5
SISSEJUHATUS	7
1. EL-i heitkogustega kauplemise süsteemi (EU ETS) ja EUA hinna kujunemine	10
1.1. EU ETS-i kauplemissüsteemi kujunemine, ajalised faasid ja mahud	10
1.1.1. EU ETS-i kauplemissüsteemi ülevaade.....	10
1.1.2. EU ETS-i kauplemissüsteem ja EUA hinna kujunemine	17
1.2. Varasemad empiirilised uuringud EUA volatiilsuse seostest turgudega ja mõjust ettevõtte majandusnäitajatele	19
1.2.1. Volatiilsuse ülekandumise teoreetiline käsitlus.....	19
1.2.2. Varasemad empiirilised uuringud.....	20
2. Andmed ja meetodika.....	28
2.1. EUA baashinna välised mõjurid ja ülekandumine	28
2.2. Andmed	30
2.2.1. VAR-mudelis kasutatavad andmed	30
2.2.1. Regressioonmudeli andmed.....	33
2.3. Analüüsimetoodikate kirjeldus	35
2.3.1. VAR-mudel	35
2.3.2. Paneelandmete regressioonmudel.....	37
3. Andmeanalüüs ja selle tulemused.....	42
3.1 VAR-mudeli andmeanalüüs	42
3.2. Paneelandmete regressioonmudeli analüüs	45
3.3. Tulemused ja järeldused	49
KOKKUVÕTE	56
SUMMARY.....	58
KASUTATUD ALLIKATE LOETEL.....	61
LISAD	65
Lisa 1. VAR-aegridade kirjeldav statistika.....	65
Lisa 2. VAR-aegridade korrelatsiooni maatriks	66
Lisa 3. Regressioonmudeli aegridade korrelatsiooni maatriks.....	67
Lisa 4. Regressioonmudeli aegridade kirjeldav statistika	68
Lisa 5. VAR-mudel (koondmudel).....	69

Lisa 6. VAR-mudel (prognoosimismudel)	73
Lisa 7. EUA hinna ja VAR-mudeli alusel EUA prognooshinna teisendus	74
Lisa 8. Fikseeritud efektiga mudel	75
Lisa 9. Juhusliku efektiga mudel	76
Lisa 10. Lihtlitsents	78

LÜHIKOKKUVÕTE

Antud magistritöös on autor püstitanud eesmärgi uurida Euroopa Liidu rohepoliitika eesmärkide saavutamiseks loodud turuinstrumendi EUA hinda, leidmaks põhjuslikke seoseid EUA turuhinna ja enampakkumiste baasnäitajate, välise taastuenergia indeksite ja toormeturgude vahel, ning selle mõju seotud ettevõtete aktsiahinnale valitud ajaperioodil. Samuti otsitakse vastuseid küsimusele, kas turul toimub hinnaliikumiste ülekandumine EUA hinna suhtes ning kas EUA hinnamuutus mõjutab ettevõtete börsil kaubeldavat aktsiahinda.

Töö koosneb kolmest peatükist. Esimeses peatükis kirjeldatakse Euroopa Liidu CO₂ heitkogustega kauplemise süsteemi EU ETS-i turu ajaloolist kujunemist ja käsitletakse EU ETS-i turu etappe, mida on mõjutanud Euroopa Liidu poliitilised suunad, samuti kirjeldatakse reaaltoodete ehk EUA (EU Carbon Permits ehk süsinikuheitme luba: edaspidi töös kasutatakse lühendit EUA) ja EUAA (ainult lennundusele mõeldud EUA) turul kauplemist esmase enampakkumisena ning järelturuna toimuvate *spot*-, futuur- ja optiooniturgudel. Esimese peatüki viimane osa annab ülevaate varasematest uurimistööde tulemustest, mille alusel püstitatakse käesoleva uurimistöö kesksed küsimused.

Teises peatükis antakse ülevaade uurimisküsimuste fookusest, töös kasutatud andmete kogumisest ja korrastamisest ning kirjeldatakse algandmete olemust. Samuti saab ülevaate analüüsimisel kasutatud vektorautoregressiivsest (VAR) mudelist ja paneelandmete regressioonmudelist. Peatükis kirjeldatakse andmete analüüsimiseks ettevalmistamise protsessi, tuuakse välja modelleerimise käik koos protsessi kirjeldustega kuni kontrollimisprotsessi ja lõpliku mudelini. Samuti saab ülevaate töös kasutatud paneelandmete regressioonmudelite analüüsi etappidest.

Kolmas peatükk kirjeldab andmetöötluse tulemusena saadud baasandmete põhjal vektorautoregressiivse mudeli ja paneelandmete mudelite koostamist ning analüüsimise käigus saadud tulemusteni jõudmist.

Tulemustena saab välja tuua, et EUA hinda mõjutasid valitud perioodil S&P 500 indeks ning taastuvenegiasektoris oleva päikeseenergia indeks. Mõlema näitaja puhul oli tegemist ühepoolse hinnamuutuste ülekandumisega, kus siis mõlemad instrumendid omasid statistiliselt olulist mõju just EUA hinnale. Samas ei leidnud käesolev uurimistöö statistiliselt olulist hindade ülekandumist, nagu on välja toodud Zhao *et al.* (2021) varasemas uurimistöös seoses Brenti toornaftaga, ja Alberola *et al.* (2009) uurimistöös välja toodud pakkumise ning nõudluse osas. Saadud tulemuste põhjal koostatud prognoosimismudeli põhjal saab aga välja tuua, et prognoosimismudel ei ole piisavalt täpne. Seda kinnitab ka turu sulgemishinna ja prognooshinna vahelise errori põhjal arvutatud RMSE, mis on 7,48, moodustades veakoeffitsiendiks keskmisest sulgemishinnast 10,30%, olles finantsprognoosimiseks suhteliselt suur määr. Paneelandmete analüüsi osas selgus, et ettevõtete analüüsi puhul saab kinnitust Chan *et al.* (2013) uurimistöös välja toodud EUA hinna mõju nii energiasektori kui ka terasesektori ettevõtetele, samuti leidis kinnitust mõju avaldumine transpordiettevõtetele. Samas ei leidnud kinnitust EUA mõju avaldumine lennundusettevõtetele.

Võtmesõnad: EU ETS heitmeturg, EUA, EUA enampakkumised, EUA futuurtehingud, derivatiivid

SISSEJUHATUS

Jätkusuutlikkus ja terviklik elukeskkond – just sobivad kliimatingimused võimaldavad meil jätkuvat elutegevust planeedil Maa. Selle keskkonna säilitamisel on mitmeid kitsaskohti ning ohte. Kliima muutmiseks on peamiselt kaks suunda: sisemisest varieeruvusest tingitud muutused ning välised tegurid, peamiselt siis looduslikud ja inimtekkelised põhjused (Houghton, *et al.*, 2001). 18. sajandil toimunud tööstusrevolutsioon andis väga suure tõuke majanduse arengule, luues võimalused rasketööstuse ja tehnoloogia võidukäiguks. Kõige positiivse kõrval on sellel negatiivne aspekt. Üks silmatorkavamaid kõrvalmõjusid on globaalsed muutused kliimas, kus kuivus, mereveetaseme tõus ning üha sagedamad ilmastikuanomaaliad mõjutavad juba miljonite inimeste igapäevaelu, tekitades nii majanduslikku kahju kui ka piirates toidu ja puhta vee tootmist ja kättesaadavust. (Poon & Granger, 2003) Globaalne keskmine pinnatemperatuur on alates 1861. aastast olnud kasvutrendis, tõusnud on nii õhutemperatuur kui ka merepinna temperatuur (Houghton, *et al.*, 2001). Teadusringkondades valitseb harvaesinev konsensus, et just inimtegevus omab väga suurt põhjuslikku seost kliimamuutustega ning seda just fossiilkütuste kasutamisest tingitud kasvuhoonegaaside eraldumise ja maakasutuse intensiivsuse muutuste tõttu (Lorenzoni & Pidgeon, 2006). Suuremat tähelepanu just inimtekkelise mõju vähendamisele hakati pöörama aastal 1997, kui 39 riiki ja Euroopa ühendus leppisid kokku Kyoto protokolliloomises, eesmärgiga luua poliitiline tahe ja määratledes raamistiku kliimamuutustega tegelemiseks (United Nations Framework Convention on Climate Change, 1997). Seega on globaalne kliimasoojenemine, mis on põhjustatud süsinikdioksiidi ja muude tööstusgaaside järjest suurenevast õhku paisatavast hulgast, kasvav oht kogu meie elukeskkonnale ja kliimale. Selle ohjamiseks on aasta-aastalt tehtud samme rohepoliitika ja jätkusuutliku ühiskonna loomiseks, luues meetmeid ja kulutades märkimisväärsel hulgal raha.

Tulenevalt teema aktuaalsusest ja uudsusest keskendutakse lõputöös just kliimamuutustest ja ESG raamistikust tulenevale Euroopa Liidu (EL) keskkonnapoliitikale ja selle mõjust tööstussektoritele 2003/87/EC direktiivi loodud heitkogustega kauplemise süsteemi (Commission European, 2003) kaudu. Praeguses ülemaailmses kliimamuutustevastases

võitluses (Alberola, *et al.*, 2008) ja Kyoto protokollist tulenevast kohustusest (Alberola, *et al.*, 2009) on just Euroopa Liit enda kätte võtnud keskkonnapoliitika kujundamise juhtrolli, rakendades maailma suurimat CO₂ heitkogustega kauplemise süsteemi, mis hakkas toimima 1. jaanuaril 2005. (Alberola, *et al.*, 2008). Antud töö eesmärgiks on uurida rohepoliitikast tulenevalt tekkinud süsinikuheitme turgu, analüüsida väliste tegurite mõju heitmeturul kaubeldava heitmeloja hinna muutustele ning EUA (European Union Carbon Permits) hinnamuutuste mõju ülekandumist ettevõtete börsihindadele. Euroopa Liidu CO₂ heitkogustega kauplemise süsteemi ehk EU ETS-i (European Emissions Trading System) turgu on loetud prototüübiks teistele, just selle toimimise ja mastaapsuse mõistes. Kuigi läbi ajaloo on üritatud luua erinevaid kauplemissüsteeme, näiteks Chicago kliimabörs 2003–2010 või Uus-Meremaa heitkogustega kauplemise süsteem (NZ ETS) 2008. aastal, siis ajalooliselt teist sellises mahus süsteemi siiski olnud ei ole (Calel, 2013). EU ETS-i turg moodustas 2023. aastal kogu globaalsest süsinikuturust 87%, olles rahalises koguväärtuses 770 miljardit eurot (Reuters, 2024). Tulenevalt Euroopa Liidu heitmeturu mastaapsusest, uudsusest ja teema aktuaalsusest soovibki autor oma uurimistöös valitud sisendandmeid, leidmaks põhjuslikke seoseid EUA turuhinna, EUA enampakkumiste baasnäitajate, taastuenergiaindeksite toormeturgude ja seotud ettevõtete aktsiahindade vahel valitud ajaperioodil. Nõnda saadakse vastused uurimisküsimustele:

- Millisel määral mõjutavad enampakkumiste baasnäitajad, taastuenergiasektori indeksid, EL-i indikaatornäitajad ja toormeturu instrumendid EUA hinda?
- Kas EUA omab statistiliselt olulist mõju EL-i rohepoliitikaga seotud sektorite ettevõtete aktsiahinnale?

Uurimisküsimustele vastamiseks on uurimistöö metoodilises analüüsis kasutatud vektorkujul autoregressiivset (VAR) mudelit ning paneelandmete regressioonanalüüsi. Aegridade pikkused on valitud vastavalt perioodil 31.12.2012 – 31.12.2023. VAR-mudeli läbiviimiseks on andmed kogutud päevase sagedusega sulgemishindade baasil, Euroopa energiabörsi (Energy Exchange EEX) ja Trading Economicsi andmebaasist. Andmed koguti EU ETS-i turul kaubeldava EUA, samuti taastuenergiasektoris indekse, majanduskeskkonda mõjutavate indikaatorite (inflatsiooni ja baasintressimäär) ja toormeturgude instrumentide kohta, eesmärgiga leida ühe- või mõlemasuunalist hindade ülekandumist, mis võimaldaks nõnda luua prognoosimismudeli EUA tulevikuhinna kohta. Paneelandmete regressioonanalüüsi tarbeks on kogutud andmed kvartaalselt, seda siis EUA, ettevõtete börsihinna, ärikasumi ja tootmiskulude, samuti EL-i

baasintressimäära ja EL-i inflatsioonimäära lõikes. Eesmärk on kirjeldada nende põhjal võimalikku EUA hinnamuutuste mõju ettevõtte börsil kaubeldavale aktsiahinnale.

Töö koosneb kolmest peatükist. Töö esimese peatükis kirjeldatakse Euroopa Liidu CO₂ heitkogustega kauplemise süsteemi kujunemist. Seejuures käsitletakse EU ETS turu etappe läbi aastate ja kirjeldatakse reaaltoodete ehk EUA ja EUAA turul kauplemist läbi esmase enampakkumise ja järelturuna toimuvate *spot*-, futuur- ja optsoonitehingute. Lisaks annab esimene peatükk ülevaate varasemate uurimistööde tulemustest, kirjeldades saadud tulemusi, mille alusel püstitati käesoleva uurimuse peamised küsimused.

Töö teises peatükis antakse ülevaade töös kasutatud andmetest, sh EUA, toornafta Brent, Maagaasi, S&P 500 indeksist, inflatsioonimäärast (*EU inflation rate* %), baasintressimäärast (*EU interest rate* %), tuuleenergiaindeksist, päikeseenergiaindeksist ja tuumaenergiaindeksi aegridade olemusest. Samuti saab ülevaate analüüsimisel kasutatud vektorautoregressiivsest (VAR) mudelist ja paneelandmete regressioonmudelist koos modelleerimise protsessi kirjeldustega.

Kolmas peatükk kirjeldab andmetöötluse tulemusena saadud VAR-mudeli ja paneelandmete mudelite koostamist, analüüsimise käigus saadud tulemusteni jõudmist ning töös püstitatud uurimisküsimustele vastavust saadud tulemustele.

Heitmeturul kaubeldava EUA hinna volatiilsust ja selle mõju ettevõtte börsihinnale selgitavate tulemuste analüüsimisest on kasulik mitmest aspektist. Ettevõtete juhtide ja omanike seisukohast võimaldavad käesoleva töö tulemused sügavamalt mõista süsinikuheitme turu mõju oma ettevõtte börsihinnale ning kavandada vastavaid strateegiaid riskide haldamiseks ja turuvõimaluste kasutamiseks ärieesmärkide saavutamisel. Investorid ja finantsanalüütikud võivad tulemusi kasutada ettevõtete potentsiaalse riski ja kasumlikkuse hindamiseks tulenevalt süsinikuheitme turu volatiilsusest, suunates nõnda paremini oma investeerimisotsuseid. Valitsusasutused ja seadusloomega tegelevad organisatsioonid saavad neid tulemusi arvestades poliitiliste suundade valimisel ja otsuste tegemisel, kujundades nii tõhusamaid regulatsioone ja keskkonnapoliitika. Kokkuvõttes võib heitmeturul kaubeldava EUA hinna volatiilsust ja selle mõju ettevõtte börsihinnale selgitavad tulemused olla kasulikud mitmesugustele huvigruppidele, aidates paremini mõista süsinikuheitme turu dünaamikat ja selle mõju majandusele ning keskkonnale.

1. EL-i heitkogustega kauplemise süsteemi (EU ETS) ja EUA hinna kujunemine

Antud peatüki esimene osa annab ülevaate Euroopa Liidu CO₂ heitkogustega kauplemise süsteemi ehk EU ETS-i turu ajaloolisest kujunemisest erinevate poliitiliste otsuste kaudu, kirjeldades baastingimuste määratlust, ning selle muutumisest ajas. Kirjeldatakse EU ETS-i turu etapilist arengut Euroopa Liidu poliitikast mõjutatuna ning kauplemist reaaltoodete ehk EUA ja EUAA turul esmase heitmelubade enampakkumise kaudu, samuti järelturuna toimuvatel *spot*-, futuur- ja optiooniturgudel. Teine osa annab ülevaate varasematest uurimistööde tulemustest, kirjeldades saadud tulemusi, mis annab aluse antud töö uurimisküsimuste püstituseks.

1.1. EU ETS-i kauplemissüsteemi kujunemine, ajalised faasid ja mahud

1.1.1. EU ETS-i kauplemissüsteemi ülevaade

ETS (*Emission Trading Systems*) on ajalooliselt pikalt kasutuses olnud termin, kus heitkogused ehk EUA-d on turupõhised instrumendid, mis võimaldavad kauplemise abil lahendada keskkonnaprobleeme. Antud süsteemi on laialdaselt rakendatud alates 1970. aastast, kus selle peamiseks eesmärgiks oli õhu- ja veesaasteprobleemide lahendamine turuinstrumentide abil (Borghesi & Massimiliano, 2016). Võib öelda, et kõige suuremat tähelepanu on saanud 2005. aasta jaanuarist käivitatud Euroopa Liidu heitkogustega kauplemise süsteem, mis loodi keskse raamistikuna 2003/87/EC direktiivi alusel, tagamaks Kyoto protokollist tulenevate kohustuste täitmist inimtekkeliste kasvuhoonegaaside vähendamiseks (Daskalakis & Markellos, 2008), kuid selle kujunemistee on huvitav.

Seega kõik sai alguse Kyoto protokollist, mis oli oma olemuselt riikide ja ühenduste vaheline kokkulepe, kus määratleti ära tööstussektorid, vähendatavad kasvuhoonegaasid ja riiklikud piirmäärad ajalises graafikus. Kasvuhoonegaasidest kuulusid vähendatavate nimekirja süsinikdioksiid CO₂, metaan CH₄, dilaammastikoksiid N₂O, hüdroluorosüsivesinikud HFC_s, perfluorosüsivesinikud PFC_s ja väävelheksafluoriid SF₆. Sektorite ja saasteallikate lõikes aga määratleti ära vähendamise vajadus viiel suunal:

1. Energiatööstus (elektritööstus, tootmine ja ehitus, transport);
2. tööstuslikud protsessid (maavarade tootmine, keemiatööstus, metallurgia);
3. lahustid ja muud tooted;
4. põllumajandus (lågamaajandus, riisikasvatus, põllumuldade olukord, taimejäänuste põletamine);
5. jäätmekäitlus (prügikäitlus ja sorteerimine, reovee ümbertöötlemine, jäätmete põletamine).

Artikli 3 alusel seati eesmärgiks vähendada üldist heitmetaset määratletud sektorite kogusaasta mahult perioodil 2008–2012 5% võrreldes 1990. aasta tasemega. (United Nations Framework Convention on Climate Change, 1997). See oli esimene kord ajaloos, kus 37 tööstusriiki võtsid endale õiguslikult siduva kohustuse heitkoguste vähendamiseks, luues vajaduse leida poliitilised vahendid eesmärkide saavutamiseks (European Commission, 2005).

2000. aasta märtsis esitles Euroopa Komisjon rohelist raamatut, milles kirjeldati esmakordselt ideelist lahendust Euroopa Liidu sisese heitkogustega kauplemise süsteemi võimaliku ülesehituse kohta (European Commission, 2005). See oli alguseks läbirääkimistele, mis võimaldas kõikidel sidusrühmadel, nii valitsussisestel kui ka -välistel avaldada oma nägemus, milline peaks olema EL-i heitkogustega kauplemise süsteemi olemus ja õige tasakaal. Eesmärk oli tagada osapoolte nõudmised ja võetud kohustused, kuid samas mitte halvendada konkurentsi. Süsteem pidi arvestama turul ausa konkurentsi eeldust ning määratlema riigiabi kasutamise. Nii otsustati kasutusel võtta aastast 2005 *learn by doing*-lähenemisviis, luues projektipõhise liidusisese kauplemissüsteemi heitkogustega kauplemiseks. See võimaldas paremat ettevalmistust Kyoto protokolliga võetud kohustuste täitmiseks, millega tuli alustada 2008. aastal (European Commission, 2000).

Aasta 2003 oli Euroopa Liidu heitkogustega kauplemise süsteemi jaoks märgiline. 2. juulil 2003 võttis Euroopa Parlament vastu muudetud direktiivi eelnõu, mille kinnitas 22. juulil ministrite nõukogu. Selle alusel rakendati direktiiv 2003/87/EÜ, mille kinnitas 13. oktoobril Euroopa Parlamendi nõukogu (Convery, 2009). Sellega loodi õiguslik alus, millega kehtestati kasvuhoonegaaside heitkogustega kauplemise süsteemi kasutuselevõtt, mis sai nimeks European Union Emissions Trading System (EU ETS). Direktiivist tulenevalt algas kauplemine 1. jaanuaril 2005 (Commission European, 2003). Loodud süsteemi peamine eesmärk on tõhusalt vähendada heitkoguseid EL-i tasandil (Sain, *et al.*, 2015) ja aidata kaasa kliimamuutuste vastu võitlemisele kasvuhoonegaaside heitkoguste vähendamise abil, tagades kulutõhususe ja majandusliku

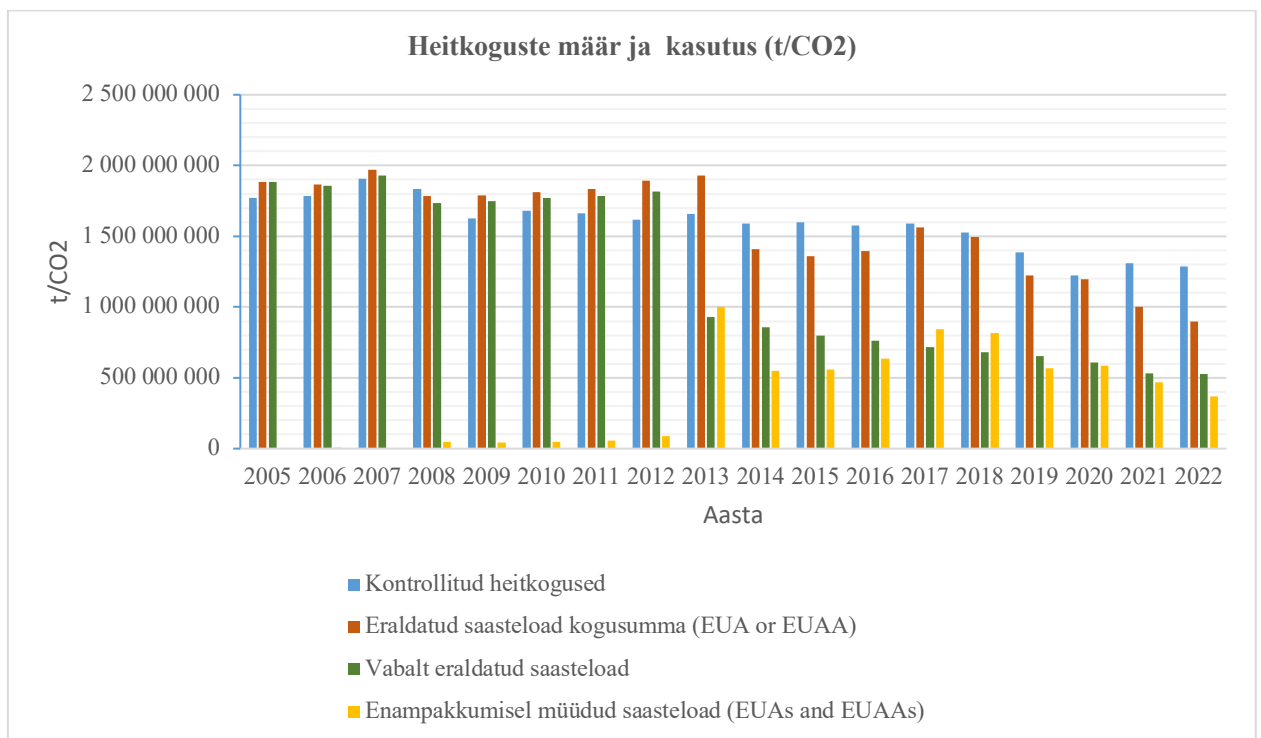
efektiivsuse jätkumise (Commission European, 2003) ning jõudes seejuures aastaks 2050 kliimaneutraalsuseni. (Commission, 2021)

Euroopa Liidu heitkogustega kauplemise süsteemi ehk EU ETS-i loetakse inimtekkeliste kasvuhoonegaaside vähendamise püüdluste nurgakiviks. Selle eesmärgiks on vähendada kasvuhoonegaaside taset aastaks 2020 vähemalt 20% ja 2030 mitte vähem kui 40%, võttes aluseks 1990. aasta Euroopa Liidu heitmekoguste taseme (Commission European, 2003). Tegemist on maailma suurima heitkogustega kauplemise süsteemiga, mis loob raamvõrgustiku, leidmaks, milliseid kasvuhoonegaase ja sektoreid on vaja reguleerida, millised on heitme lubatud piirmäärad ning millises mahus on soovitatav heitkoguste vähendamine. Samuti annab see ülevaate süsteemi haldamiskuludest, pakkudes läbipaistvust saastelubade eraldamise ja jaotamise osas, ning korraldab seiret, aruandlust ja tõendust. Heitkogustega kauplemise süsteemi arendamisel kasutatakse viite peamist kriteeriumit: keskkonnatõhusus, majanduslik tõhusus, turu juhtimine, tulude juhtimine ja sidusrühmade kaasamine (Narassimhan, *et al.*, 2018). Kokku on heitkogustega kauplemise süsteemis EU ETS reguleeritud 45% kogu EL-i kasvuhoonegaaside heitkogustest. Kasvuhoonegaasidest kuulusid esmalt vähendatavate nimekirja tulenevalt Kyoto protokollist võetud kohustusele süsinikdioksiid CO₂, metaan CH₄, diämmastikoksiid N₂O, hüdroluorosüivesinikud HFC_s, perfluorosüivesinikud PFC_s ja väävelheksafluoriid SF₆. Sektoritest olid määratletud (Commission European, 2003):

- Energiasektor: ettevõtted, mille nimisoojusvõimsus ületas 20 MW (välja arvatud ohtlike või olemjäätmete käitlus); mineraalõli rafineerimistehased; koksiahjud;
- mustmetallide tootmine ja töötlemine: sealhulgas mustmetallide tootmine ja töötlemine; metallimaagi röstimine või paagutamine; malmi- ja terasetootmine, sealhulgas pidevalu võimsusega 2,5 tonni tunnis;
- mineraalitööstus: tsemendiklinkri tootmine pöördahjudes võimsusega üle 500 tonni päevas; lubjatootmine võimsusega üle 50 tonni päevas; klaasitootmine, sealhulgas klaaskiu tootmine üle 20 tonni päevas; lisaks keraamiliste toodete põletamise teel tootmine (katusekivid, tellised, tulekindlad tellised, kivitseraamika, portselan);
- teised tegevused: tselluloosi-, paberi- ja papitootmine.

Tulenevalt heitkogustega kauplemise süsteemi väljatöötamisest kui projektipõhisest tootest, on selle areng toimunud etappidena:

Esimene etapp (2005–2007): Esimeses etapis jagatavate saastelubade kogumäär tulenes riiklikest tegevuskavadest, mis pidid olema esitatud hiljemalt 31. märtsiks 2004 või erandina 01. maiks 2004 riikide puhul, kes liitusid EL-iga 2004. aastal (European Commission, 2004), mille alusel jagati ka 2005–2007 perioodi saasteload. Siseriiklikult oli lubatud nendest oksjoni korras müüa 5% ning 95% lubadest jaotati sidusrühmadele tasuta (Boemare, *et al.*, 2003). Sektorite osas hõlmas esimene etapp elektritootmise ja energiamahukate tootmisharude CO₂ heidet (European Commission, 2005). Joonise 1 põhjal oli perioodil 2005–2007 EU ETS-i turul kontrollitud heitkoguste (CO₂) maht kokku 5,464 miljardit tonni. Liikmesriikidele eraldatud saastelubade maht aga kokku 5,718 miljardit tonni, sellest 5,669 miljardit tonni saastelubasid jagati liikmesriikide poolt määratletud sektori ettevõtetele tasuta ning 8,5 miljonit tonni müüdi enampakkumise teel (European Environment Agency, 2023). Ülemäärase heitkoguse korral oli saaste tekitajale ette nähtud trahv 40 eurot ühiku kohta ehk heitme (CO₂) tonni kohta (Commission European, 2003). Siiski osutus väljastatud lubade hulk liiga kõrgeks (joonis 1), mille tulemusena kukkus 2007. aastal EU ETS-i turul kaubeldav EUA hind nulli. (Nava, *et al.*, 2018)



Joonis 1. Heitkoguste määr ja kasutus läbi aastate Euroopa Liidus (European Environment Agency, 2023).

Teine etapp (2008–2012): Teine etapp oli ajaliselt kattuv Kyoto protokollist tuleneva kohustusperioodiga, kus EU ETS-i turu osalised pidid täitma võetud kohustuse põhjal konkreetseid heitkoguste vähendamise plaane (European Commission, 2005). Sarnaselt esimese etapiga pidid

liikmesriigid esitama riiklikud tegevuskavad, mille alusel määrati saastelubade kogumaht, kuid kogumaht pidi kõikide liikmesriikide summana vähenema 6,5%, võrreldes 2005. aasta tasemega. Antud perioodiks oli sisse viidud muudatus tasuta lubade jagamises siseriiklikul tasandil, milleks määrati artikli 10 alusel 90% kogu lubade mahust (European Commission, 2009). Kasvuhoonegaasidest, mis olid direktiivi 2003/87/EÜ alusel määratletud, võeti lisaks juba esimeses etapis olnud CO₂-le arvestuse hulka ka N₂O saasteühend. Euroopa Liidu heitmekogustega kauplemise süsteemiga (EU ETS) liitusid Island, Liechtenstein ja Norra, ning aastal 2012 lisati lennunduse heitkogused EL-i heitkoguste süsteemi. Joonis 1 põhjal oli perioodil 2008–2012 EU ETS-i turul kontrollitud heitkoguste maht kokku 8,427 miljardit tonni. Liikmesriikidele eraldatud saastelubade maht aga kokku 9,112 miljardit tonni, sellest 8,857 miljardit tonni saastelubasid jagati liikmesriikide poolt määratletud sektori ettevõtetele tasuta ning 284,445 miljonit tonni müüdi enampakkumise teel (European Environment Agency, 2023). Ülemäärase heitkoguse korral oli saaste tekitajale ette nähtud trahv 100 eurot ühiku kohta ehk heitme tonni kohta, kuid samas anti ettevõtetele luba osta rahvusvahelisi krediite kokku ligemale 1,4 miljardit tonni CO₂ ekvivalendi ulatuses (European Commission, 2005).

Kolmas etapp (2013–2020): Kolmandas etapis toimusid EU ETS-i heitmetega kauplemise turul olulised muudatused. Lõpetati liikmesriikide plaanide alusel heitmekoguse määramine, mille asemel võeti kasutusele ühtne, kogu EL-i hõlmav heitkoguste ülempiir (European Commission, 2005). 2013. aastal määrati selleks 2,084 miljardit tonni CO₂-te ning lisaks võeti vastu otsus alustada selle vähendamist lineaarselt 1,74 % aastas, mis tähendas saastelubade kogumahu vähenemist ligi 38 miljoni võrra aastas. Kuigi koguseliselt pandi paika mahtude vähendusplaan, siis sektorite, toormete ja saasteühendite osas toimus märkimisväärne laienemine. Süsteemi liideti tootmisüksustest naftakeemia-, ammoniaagi-, värviliste muldmetallide, mustmetallide ja kipsitootmine ning heitmetena lämmastik-, adipiin- ja glükosüülhape. Kolmandas etapis sai lisaks suurt tähelepanu lennundus, mis liideti EL-i heitkogustega kauplemise süsteemiga küll juba 2012. aastal. Lennunduse 2013. aasta saasteta koguste kogumahuks määrati 2004.–2006. aasta baasil olnud kogusaaste mahust 95% ning neid jaotati 82% tasuta ja 15% lubadest pidi soetama enampakkumise teel. Alles jäänud 3% ulatuses moodustati reserv uutele sisenejatele. Perioodil 2013–2020 olnud koguturu saastelubade kogumahu 57% müüdi juba enampakkumisel ning ülejäänud jaotati võrdlusnäitajate alusel tasuta. Kolmandas etapis rakendus energiasektorile kohustus oma saastemahtude katteks osta 100% lubadest enampakkumiselt, ühe valikulise erandiga. Nimelt kümnel madala sissetulekuga riigil oli võimalik saada tasuta saastelubasid, mille eest arendati ja moderniseeriti antud valdkonda. Tööstussektoris toimus endiselt tasuta

saastelubade jagamine võrdlusperioodi 2007–2008 alusel, kuid siinkohal määratleti erisus. Sektoritele, mida peeti süsinikdioksiidi lekke ohuks, kehtis tasuta lubade jagamine 100% ulatuses. Sektoritel, mis ei läinud nende kriteeriumite alla, vähendati tasuta saastelubade määra, olles 2013. aastal 80% ja 2020. aastal vaid 30% (International Carbon Action Partnership , 2022). Joonise 1 põhjal oli perioodil 2013–2020 EU ETS-i turul kontrollitud heitkoguste kogumaht kokku 12,148 miljardit tonni. Liikmesriikidele eraldatud saastelubade kogumaht aga kokku 11,562 miljardit tonni, sellest 6,001 miljardit tonni saastelubasid jagati liikmesriikide poolt määratletud sektori ettevõtetele tasuta ning 5,556 miljardit tonni müüdi enampakkumise teel (European Environment Agency, 2023). Ülemäärase heitkoguse korral oli saaste tekitajale ette nähtud trahv 100 eurot ühiku kohta ehk heitme tonni kohta. (Commission European, 2003)

Neljas etapp (2021–2030): Neljas etapp on käimasolev periood. See algas 2021. aastaga, ning lisaks kolmanda etapi juba kehtivatele normidele võeti muudatusena vastu EL-i ülene heitkoguste ülempiir 1,572 miljardit tonni, mida vähendatakse lineaarselt 2,2% aastas ehk ligemale 43 miljoni saasteloa võrra. Kuna lineaarse vähendusteguri vastuvõtmisel ei määratletud aegumisklauslit, siis jätkub antud määral vähendus ka peale 2030. aasta lõppu. Muudatusena ei võeta enam alates 2021. aastast arvesse Ühendkuningriigi heitkoguseid tulenevalt nende EL-i liikmestaatuse muutusest, arvestusse jäid aga saareriigil paiknevad Põhja-Iirimaa elektritootjad. Lennunduse heitmekoguseid vähendati samuti tulenevalt UK lahkumisest Euroopa Liidust ja seda 28,3 miljoni saasteloa võrra ning sektori saastelubade kogumäära vähendusteguriks määrati samuti 2,2% aastas (European Environment Agency, 2023). Uue tööstussektorina rakendatakse heitmekoguste katmiskohustust meretranspordis. Laevandusele määrati järkjärguline tasuta saastelubade vähendamine, olles 2024. aastal 60%, 2025. aastal 30% ja 2026. aastaks peavad kõik direktiivist tulenevad sidusettevõtted 100% heitkogustest katma vabaturul kaubeldavate lubadega. Erandina on direktiivist tulenevalt määratletud ära, et sinna alla ei kuulu kruisilaevade ja reisiparvlaevade reise, mis toimuvad liikmesriigi jurisdiktsiooni alla kuuluvatel saartel olevatesse sadamatesse, millel ei ole mandriga püsiühendust maantee või raudtee kaudu ning mille elanikkond on väiksem kui 200 000 alalist elanikku. Nii lennundus kui laevandus peavad oma heitmekogused esitama ja katma hiljemalt järgneva aasta 30. septembriks, seda siis kas tasuta saadud või vabaturult ostetud saastelubadega (Euroopa Komisjon, 2023). Heitkoguste katmisel saastelubadega on osaliselt lubatud kasutada ka jooksva aastal eraldatud saastelubasid, kuid laenamine ei ole lubatud (International Carbon Action Partnership , 2022). Alates 2021. aastast on EU ETS-i turul enampakkumisena kaubeldavate saastelubade maht 57% väljastatavate heitmekoguste kogumahust. 2% heitmekoguste üldmahust müüakse perioodil 2021–2030 enampakkumise teel, luues seeläbi fondi, mis aitab rahastuste

kaudu liikmesriikide tööstustel moderniseerida energiasüsteeme ja parandada nende energiatõhusust. 2,5% lubade üldkogusest müüakse perioodil 2021–2030, luues moderniseerimisfondi, millega toetatakse liikmesriike, kelle SKP elaniku kohta oli turuhindades ajavahemikul 2016–2018 alla 75% liidu keskmise määra (Euroopa Komisjon, 2023). Riikidena toetatakse Bulgaariat, Horvaatit, Tšehhit, Eestit, Ungarit, Lätit, Leedut, Poolat, Rumeeniat ja Slovakkia, investeerides energiasüsteemide ajakohastamisse, muutes need seega energiatõhusamaks. Neljandas etapis koosneb liikmesriikide enampakkumisel müüdavate heitkoguste lubade maht kahest osast, esmalt siis 90% lubade mahust jaotatakse EU ETS-i raames 2005. või 2005.–2007. aasta keskmiste heitmekoguste baasil, võttes aluseks, kumb väärtus on suurem, ning teise osana 10% mahust jaotatakse solidaarsusklausli alusel majanduskasvu ja omavahelise ühenduse tagamise eesmärgil (Euroopa Komisjon, 2023). Liikmesriikidel on võimalus ise otsustada enampakkumisel müüdud heitmekogustest saadava tulu kasutamise üle, tulenevalt EL-i ette andud suundadest (Euroopa Komisjon, 2023):

- Seda saab kasutada süsinikuga seotud kaudsete kulude katteks.
- Kasvuhoonegaaside heitme vähendamiseks: näiteks teadus- ja arendustegevuseks antud näidisprojektide finantseerimiseks.
- Taastuvenergiastüsteemide ja elektrivõrkude väljaarendamiseks, samuti tehnoloogiate väljaarendamiseks, mis tagavad ohutu ja kestliku toimimise, näiteks tarbijate omatarbitava elektri tootmine.
- Turbaalade, metsade ja muude maismaa ja merepõhiste ökosüsteemide kaitsmiseks tehtavad tegevused ning ka nende taastamise toetamine.
- Süsiniku sidumine metsanduse ja põllumaa (taimekasvatuse) kaudu.
- CO₂ ja eelkõige tahketel kütustel toimivate elektritootmiseseadmete ja mitmete teiste tootmisektorites õhku paisatava CO₂ kogumine ja säilitamine.
- Investeeringud transpordiliikidesse, mis aitavad märgatavalt vähendada sektori süsinikuheidet.
- Energiatõhusa ja puhtama jalajäljega tehnoloogiliste lahenduste väljatöötamiseks.
- Investeeringud kaugküttesüsteemide arengusse, tagamaks energiatõhusust, minnes üle aga taastuvenergiaallikatele.
- Rahalised toetused keskmise ja madala sissetulekuga leibkondadele, katmaks nende kulutusi taastuvatest energiaallikatest toodetud energiaga seotud maksudest ja tasudest tuleneva kõrgema rahalise koormuse vähendamiseks.
- Tõendatud positiivse keskkonnamõjuga riiklike kliimadividendikavade rahastamiseks.

Ülemäärase heitkoguse korral on neljandas etapis saaste tekitajale ette nähtud trahv 100 eurot ühiku kohta ehk heitme tonni kohta (Commission European, 2003).

1.1.2. EU ETS-i kauplemissüsteem ja EUA hinna kujunemine

Euroopa Liidu loodud heitmetega kauplemise süsteem rakendus 2005. aastal, mis on oluline tugisammas vähendamaks kasvuhoonegaaside heitmekoguseid. Süsteemiga seotud sektorid ja üksused on kohustatud jälgima, raporteerima, kontrollima ning seejärel katma oma kalendriaasta jooksul õhku paisatud heitme tasemeid, tagades nii direktiivist tulenevat nõuetele vastavust ning vältides mittevastavusest tulenevaid trahve. Heitmetasemete katmiseks saadavad saasteload on võimalik omandada kahel viisil: tasuta jagatavad saasteload ning kauplemisturgu hõlmavat enampakkumistel soetatud saasteload. Saasteloa puhul on EU ETS-i turul tegemist EUA-ga (European Union Allowens) ehk 1 EUA on 1 tonn kasvuhoonegaasi netoheidet, lubades sellega katta ettevõtte kõiki direktiividest tulenevaid saasteühendeid 1 tonni ulatuses. Aastate jooksul on süsinikuturg olnud pidevas arengus, kogudes turu laienemisest tulenevalt likviidsust ja koondades väga suurt hulka turuosalisi: on kauplejad seotud osapoolte ettevõtete ja institutsioonidena ning mittesidusettevõtted, kelleks on peamiselt finantssektori ettevõtted. Juurdepääsu süsinikuturule on võimalik saada mitmel moel. Ettevõtted saavad lubasid osta kas oksjonite kaudu, kaubeldes teiste turuosalistega (OTC) või kaubelda läbi vahendusettevõtete, nagu pangad või kauplemisettevõtted, otse süsinikubörsil. Tänu oma suurele mahule ja likviidsusele saab heitmelubadega kaubelda mitmel börsil:

- Euroopa energiabörs (Energy Exchange EEX) Saksamaal
- Kontinentide vaheline börs (Intercontinental Exchange ICE) Londonis

EEX on kõige olulisem esmane turg, kattes peamist rolli EUA-de esmaturul kauplemise ja enampakkumiste läbiviimisel. Turu efektiivsemaks toimimiseks viivad nad regulaarselt läbi uute saastelubade EUA-de enampakkumisi, pakkudes samuti järelturu võimalust, kus ettevõtted, kes juba omavad (kas tasuta või enampakkumise teel) saastelubasid, kuid ei vaja neid, saavad need järelturul uuesti müüki panna ja nõnda vabastada lisakapitali. Platvormil saab kaubelda ka heitmelubadega seotud lühiajaliste futuur- ja tuletisinstrumentidega, mis võimaldavad suurettevõtetel ja institutsioonidel nii hajutada oma portfelli riske, kuna nad võtavad sellega kasutusele väga erinevaid kauplemisstrateegiaid (Lausen, *et al.*, 2022).

Esmapakkumisi riiklikult jaotatud heitmelubade EUA-de üle korraldatakse kõikidel tööpäevadel ajavahemikus 09.00–11.00 Euroopa keskse aja järgi. Erandiks on üks kolmapäev kuus, millal korraldatakse enampakkumine EUAA-dele (European Union Aviation Allowance) ehk lennundusele mõeldud heitmelubadele. Vormiliselt võidakse enampakkumist korraldada kolmes formaadis (European Energy Exchange AG, 2024):

- Üks avatud pakkumise voor, kus pakkumised esitatakse ühe pakkumisakna jooksul, nähes teiste pakkumisi.
- Suletud pakkumise voor, kus pakkumised esitatakse suletult, ilma teiste pakkujate pakkumise nägemiseta.
- Ühtse hinna voor, kus kõik korrektsed nõuetekohased pakkumised maksavad lõpuks heitmelubade eest sama enampakkumise hinda.

Pakkumisi on võimalik pakkumisperioodi jooksul esitada, muuta ja tagasi võtta. Ühe esmase enampakkumisel tehtava pakkumise suurus on 500 saasteluba ning maksumust arvestatakse eurodes (European Energy Exchange AG, 2024). Kauplemises osalemiseks peab osaleja vastama EL-i eeskirjadele, mis on määratletud määruse (EL) 2023/2830 alusel. Nende reeglite kohaselt saavad osaleda (Euroopa Komisjon, 2023):

- a) Käitajad, lennukitega opereerivad ettevõtted, laevandusettevõtted või muud reguleeritud transpordioperaatorid, kes omavad käitajakontot liidu registris, mis on kooskõlas (EL) 2019/1122 määrusega. Tegemist võib olla nii emaettevõtte, tütarettevõtte või sidusettevõttega, mis kuulub käitaja, lennukeid opereeriva ettevõtte, laevandusettevõtte või reguleeritud üksusega samasse kontserni.
- b) Direktiivi 2014/65/EL alusel tegevusloa saanud investeerimisettevõtted, kes teevad pakkumisi enda või oma klientide nimel.
- c) Direktiivi 2013/36/EL(22) alusel tegevusloa saanud krediitiasutused, kes teevad pakkumisi enda või oma klientide nimel.
- d) Punktis a loetletud gruppide ärirühmitused, kes teevad pakkumisi enda arvel või oma klientide nimel.
- e) Liikmesriikide avalik-õiguslikud asutused või riigi omanduses olevad üksused, mis kontrollivad punktis a loetletud isikuid.

Järelturul on osapooltel võimalik teha tehinguid nii hetketehingutena kui ka tuletisinstrumentide ehk derivatiividega (European Energy Exchange AG, 2024).

EUA ja EUAA spot-tehingud: Tehingu aluseks on direktiiviga 2003/87/EC määratletud saasteluba, mis lubavad heidet ühe tonni süsinikdioksiidi ekvivalendi ulatuses. Kaubeldava ühe lepingu

mahuks on 1000 EUA-d või EUAA-d. Kauplemine toimub 09.00–16.00 Kesk-Euroopa aja alusel ning müügitehing peab olema tagatud piisavas mahus tagatisvaraga (EUA või EUAA-dega), mis on kantud müüja ECC-sisesele kontole (European Energy Exchange AG, 2024).

EUA ja EUAA futuurtehingud: Tehingu aluseks on sarnaselt *spot*-tehingule direktiiviga 2003/87/EC määratletud saasteluba EUA või EUAA, mis lubavad heidet ühe tonni süsinikdioksiidi ekvivalendi ulatuses. Kaubeldava ühe lepingu mahuks on 1000 EUA-d või EUAA-d. Ajalises määratluses saab kaubelda futuuridega, mis on kas ühekuise aegumistähtajaga, kvartaalse aegumistähtajaga või siis erandina 2. juuli, 2. augusti või 8. detsembri aegumistähtajaga. Kaubeldava ühe lepingu mahuks on 1000 EUA-d või EUAA-d (European Energy Exchange AG, 2024).

EUA optioonlepingud: Tehingu alusvaraks on EXX EUA detsembri futuurid, mis aeguvad samal tehinguaastal. Kaubelda saab kõigi sama alusvara, sama täitmishinna ja sama lunastustähtajaga ostu ja müügioptionidega, mis süsteemis paiknevad. Igal tähtaja kohta saab kaubelda kolme erineva täitmishinnaga: „*in the money*“, „*at the money*“ või „*out of the money*“. Kauplemisel saab optioone valida järgmiste tähtaegadega:

- EUA kuuoptioon, seda siis, kui vastaval tähtajal ei aegu ühtegi EUA detsembri või kvartali optiooni;
- EUA kvartali optioon, kui vastaval tähtajal ei aegu ühtegi detsembri optiooni;
- EUA detsembri optioon.

Optioonipremiat ei maksta ostutehingu teostamisel, vaid see tasutakse päeval, mil optioon aegub või seda kasutatakse viimase preemiamaksena. Hoidmisperioodil toimub igapäevane arveldus optioonipremia muutuste alusel vastavalt arveldustingimustele. Optioonitehingu igapäevane arveldus võib põhjustada negatiivset rahavoogu ka optiooni müüjale (European Energy Exchange AG, 2024).

1.2. Varasemad empiirilised uuringud EUA volatiilsuse seostest turgudega ja mõjust ettevõtte majandusnäitajatele

1.2.1. Volatiilsuse ülekandumise teoreetiline käsitlus

Igapäevases keelekasutuses viitab volatiilsus ajas esinevatele kõikumistele mõnes nähtuses. Majanduses kasutatakse seda veidi formaalsemas mõttes, et kirjeldada aegridades toimuvat juhusliku (ennustamatu) komponendi muutlikkust, määratledes teda sageli standardhällbena

(Andersen, *et al.*, 2006). Volatiilsust peetakse traditsiooniliselt finantsturgudel riski ja ebastabiilsuse püsivaks näitajaks. Siiski on korduvalt välja toodud, kui olulised turu langused või tõusud võivad olla ja seda ka madala volatiilsusega perioodidel. Selle nähtuse näideteks on 2008. aasta finantskriis, millele järgnes Hiina kokkuvarisemine 2015. aastal (Valentin, *et al.*, 2018). Finantsturu volatiilsust mõjutavad tegurid ja seeläbi võimalik hinnamuutuste ennustamine on oluline tegevus, mis on viimase aastakümne jooksul köitnud nii akadeemikuid kui ka praktikuid. See ulatuslik uurimine peegeldab volatiilsuse tähtsust investeerimisel, väärtpaberite hindamisel, riskijuhtimisel ja rahapoliitika kujundamisel. Volatiilsuse prognoosimisvõimalused mõjutavad olulises plaanis investeerimisvalikute tegemist ning on võtmetähtsusega ettevõtete hindamisel ja juhtimisotsuste tegemisel riskijuhtimise kontekstis. Volatiilsuse määr ja prognoosimisvõime on samuti kõige olulisem parameeter just turul noteeritud optioonide hinda mõjutava tegurina, mille kauplemismaht on viimase kümnendi jooksul märkimisväärselt kasvanud (Granger & Poon, 2001). Peamised volatiilsuse ülekandumiste mõju uurimiseks kasutatavad meetodid põhinevad VAR-analüüsi mudelil, Engle (1982) välja pakutud autoregressiivse tingimusliku heteroskedastiivsusega (ARCH) mudelil või Bollerslevi (1986) välja pakutud üldistatud ARCH-i (GARCH) mudelil. Kahe turu või varaklassi volatiilsuse seoste uurimisel eelistatakse siiski mitmemõõtmelist GARCH-mudelit ühemõõtmeliste mudelitele (Dhamijan, *et al.*, 2018). Võib öelda, et volatiilsus on muutunud üheks olulisemaks teguriks finantsturgudel, kus selle mõju ulatus ja tähtsus on märgatav. Samuti on tähtis jälgida, kuidas uued volatiilsusega seotud finantsinstrumendid ja kauplemisvahendid mõjutavad turgude dünaamikat ning kuidas need võivad mõjutada investeerimisstrateegiaid ja riskijuhtimist tulevikus. Sellega seoses on oluline jätkata volatiilsust mõjutatavate tegurite analüüsimist mitmesugustes turutingimustes ja kontekstides, et paremini mõista selle mõju üksikhinnale, kuid samuti mõju investoritele ja majandusele tervikuna (Andersen, *et al.*, 2006).

1.2.2. Varasemad empiirilised uuringud

Oma olemuselt on EUA ehk EU ETS-i turul kaubeldav heitmeluba poliitilisel tasandil loodud kaup, mille mõõtühikuks on 1 tonn süsinikdioksiidi ekvivalenti. Tulenevalt poliitiliselt seotud olemusest on üks tema kõige suuremaid hinnakujundajaid otsused, mis tulenevad heitmelubade kogumahust, nende tasuta jagamise osakaalust ja üldisest Euroopa Liidu sisesest saaste kogumäärast (Zou, *et al.*, 2021). Aasta 2007 oli selles osas märgiline, kus turule oli jagatud liiga suurel hulgal tasuta heitmelubaid ehk nõudluse ja pakkumise osakaal ei vastanud turuolukorrale ning seeläbi kukkus heitmeloa hind turul nulli. Lisaks poliitilistele otsustele on üldisemas plaanis

EL-i heitkogustega kauplemise süsteemis kaubeldavate EUA-de hinda mõjutavad tegurid ka majanduskasv, tööstussektori energiatõhusus ja heitmete intensiivsus ning lühiajalises plaanis ilmastikutingimused ja taastuenergia võimsuste muutused (Hintermann, *et al.*, 2016). Alberola *et al* (2009) tehtud töös tuuakse välja samuti seosed, kus CO₂ heitmeloja hinnaliikumine on olnud seotud tööstusliku tootmistegevuse nõudlusega, energiahindade ja kliimanähtustega (Alberola, *et al.*, 2009). Chevallier (2009) uuris oma artiklis süsinikufutuuride ja makromajanduslike riskitegurite vahelist empiirilist seost. Esmalt kontrollis ta Samuelsoni hüpoteesi kehtivust süsinikufutuuride kohta, selgitades sellega futuurlepingu volatiilsust, kui see läheneb oma arvelduskuupäevale. Analüüsimisel viidi läbi mitmed GARCH-mudeli spetsifikatsioonid ja jõuti järeldusele, et süsinikuturu hinnapõhimõtted sõltuvad põhiliselt Euroopa Komisjoni fikseeritud saastekrediitide pakkumisest ja elektrioperaatorite energianõudlusest (Chevallier, 2009).

Väga laiapõhjalise uurimistöö EU ETS-i turu mõjule sektorite lõikes koostasid Chan *et al* (2013) Merilandi ülikoolist, uurides otsest kauplemissüsteemi mõju Euroopas toimetavatele ettevõtetele, mis tegutsesid elektrienergia-, tsemendi- ning terasesektoris, hõlmates kauplemisperioodist nii esimest kui osaliselt teist etappi. Valimis oli kokku 5873 ettevõtet ning andmed koguti perioodil 2005–2009 AMADEUSE andmebaasist, mida haldab Euroopa Liit. Kokku moodustasid antud sektorid perioodi süsinikuheitme kogumahust 86,76% ning see moodustas omakorda 86,98% süsinikulubade kogunõudlusest antud perioodil. Valimisse valitud ettevõtete baasil koostati kaks võrdlusrühma, testrühm ja seotud rühm, kus ühele grupile rakendusid piirnõrmiid ja kohustused ning teisele mitte. Esmalt kasutati DD-mudelit (erinevused erinevustes), võrreldes osalejate tulemusi enne ja pärast turu sekkumist. Mudelis keskenduti just muutustele, mitte niivõrd tasemetele, kontrollides ajas muutumatute omaduste korreleerumist tulemusteguritega. Kahte gruppi võrreldes said autorid eristada kahe grupi vahelisi ajalisi trende, mida seejärel täpsustati DD-mudelit kasutades kahepoolse fikseeritud lineaarse regressioonmudeli kaudu (valem 1).

$$Y_{it} = a_{it} + x_{it} \beta + f_i + d_{ct} + u_{it} \quad (1)$$

Kus:

i – indekseerib firmat

t – indekseerib aastat

Y_{it} – on logaritmiline tulemusmuutuja, sisaldades materjali maksumuse, töötajate arvu ja käibe muutust.

d_{it} – on fiktiivne muutuja (*dummy*), mille väärtus on 1, kui ettevõtte on seotud turu sekkumisega ajal t

x_{it} – on ajas muutuv kovariatsioon

f_i – on ettevõtte kogumuutuja

d_{ct} – on aja ja asukoha kogumõju muutuja

Tulemustena tuuakse välja, et elektrienergiasektori ettevõtetes suurendas turu mõju ettevõtete käivet nii esimeses kui teises EU ETS-i etapis, samas ajalist ja asukohapõhist erisust selles ei täheldatud. Samuti suurenesid ettevõtetel nii tootmiskulud kui käibemaht. See võib viidata asjaolule, et kulude kasv on kantud otseselt üle energiamüügi hindadesse ehk tarbijatele. Käibe kasv oli suurem nendes ettevõtetes, kelle turuosa oli suurem. Töötajate arvule statistiliselt olulist mõju antud perioodil ei leitud. Tsemendisektori ettevõtete analüüsist selgus, et EL-i heitkogustega kauplemise süsteemi ettevõtetel on materjalikulu 9–10% madalam, võrreldes reguleerimata ettevõtetega. Erinevust võib seletada asjaoluga, et heitkoguste süsteemiga seotud ettevõtted on mahult suuremad ja seega efektiivsemad. Samuti oli heitkoguste turuga seotud ettevõtete käibemaht suurem. Terasesektori analüüsist selgus, et OLS-meetodil materjalikulu osas statistiliselt olulist erinevust ei ole, samas fikseeritud efektiga mudel näitab, et esimeses etapis suurendas ETS materjalikulu 4,3%. Samuti näitasid nii OLS kui ka fikseeritud efektiga mudel statistiliselt olulist mõju ettevõtte käibe. Seda aga võib seletada tulusid suurendava riigipoliitikaga, sest peale riigispetsiifiliste tegurite eemaldamist mõju kadus (Chan, *et al.*, 2013).

Mõistlik EUA ehk süsinikuheitme hind võib mängida väga olulist rolli väiksema saastega majanduse ja selle ümberkorraldamise edendamisel. Selle prognoosimine on oluline aspekt ettevõtete ja riikide jaoks, kuid selle saavutamise muudavad keeruliseks mittelineaarsed ja kõrged müramadused. Selle probleemi lahenduseks võtsid Zhao *et al.* (2013) oma uurimistöös kasutusele hübriidse lagunemise ja integratsiooni ennustumudeli, kasutades Hodrick Prescotti filtrit, täiustatud halli mudelit ja masinõpet. Oma analüüsi algandmed koguti metaanalüüsiga, misjärel jaotati need pikaajalisteks trendideks ja lühiajalisteks kõikumisteks, mida ennustasid vastavalt VGM- ja ELM-mudelid. VGM-mudeliga ennustati seejuures pikaajalist trendi ja ELM-mudeliga lühiajalist kõikumist. Andmetena kasutati perioodi 2013. jaanuar kuni 2020. detsember kuiseid aegridasid. Aegridadena kasutati: Brent Crude Futur Price (Brent), European ARA Port Power Coal Price (ARA), IPE Natural Gas Closing Price (IPE), S&P Clean Energy Index (SP Clean), Stoxx 50 Index (Stoxx 500), CAC 40 Index (CAC40), DAX Index (DAX), FTSE-100 Index (FTSE100), Excess part of the yield on corporate bonds rated BAA by Moody“sover the yield on

AAA-rate bonds (Spread), S&P 500 Index (S&P500), U.S. 3-month Treasury bill yields (T-Bill), Commodity Research Bureau Futures Index (CRB), Certified Emission Reduction (CER) ja EUAs lag price (Lag). Analüüsimisel jaotati andmed treeninggrupiks ja prognoosimise grupiks. Tulemustena tõid autorid välja, et finants- ja energiaturgudel omasid seoseid FTSE100, SP500 Stoxx50 ja T-Bill, millest just T-Bill omas kõige suuremat osakaalu. CAC40 ja DAX ei omanud prognoosimisel mõju süsiniku hinnale. S&P 500 oli süsinikuhinna suhtes kolineaarne tunnus. Toormeturgudest omasid süsinikuhinna suhtes mõju Brent ja S&P Clean Energy Index. Samas CRB ja CER-i mõju süsinikuhinnale ei avaldunud. Oluline muutus toimus aga COVID-19 puhangul aastal 2020, millega kaasnes kergem majanduskriis. Autorid leidsid oma analüüsis, et kui varasemalt olid väga suurt mõju süsinikuheitme hinnale osutanud T-Bill, Brent ja S&P Clean Energy Index, siis peale 2020. aasta juulit eelpool mainitud enam olulist mõju ei avaldanud, vaid hinnamuutust mõjutasid lühiajaliselt hoopis S&P500 ja Stoxx50 indeks kestvusega 5 kuud. Autorite sõnul näitab see, et turg on kriisist aru saanud ja liikunud kohanemisperioodi (*Zhao, et al., 2021*).

Energiasektor on olnud seotud EU ETS-i turuga kõige pikemas perioodis, mis annab hea võimaluse analüüsida turu käitumuslikku olemust ja seega heitmelubadega seonduvaid mõjusid erinevates EU ETS-i arengu etappides. Lise *et al.* analüüsisid oma töös EL-i heitkogustega kauplemise süsteemi EU ETS heitmelubade mõju elektrihindadele, eelkõige elektrienergia hulгимүүgiturgudel kogu EL-i turul. Selle mõju uurimiseks käsitlesid nad oma artiklis peamisi tulemusi alt-üles modelleerimise teel, mis kuvab heitkogustega kauplemise mõju 20 Euroopa riigi elektri hulгимүүgituru toimimisele. Mudelina oli kasutusel COMPETS-mudel (*Comprehensive Market Power in Electricity Transmission and Energy Simulator*). Mudeliga simuleeriti tootjate käitumise ja hulgituru struktuurseid erinevustest tekkivaid mõjusid, sealhulgas täiuslikku ja oligopoolset konkurentsi. Mudeli alusel arvutati generaatorite optimaalne tase, eeldusega, et kõik maksimeerivad samaaegselt oma kasumit. Kasum määrati elektrimüügi tuluna kogumahult, millest võeti maha tootmise lühiajalised muutuvkulud. Analüüsimisel ei arvestatud käivituskulusid ja püsikulusid, eeldusel, et nende mõju on väiksem. Oligopoolseid stsenaariume simuleeriti Cournot-Nashi raamistiku abil. Analüüsi tulemustest tehtud peamised järeldused näitasid, et elektri hulгимүүgi hinnad tõusevad märkimisväärselt CO₂ heitkogustega kauplemise tõttu; kui heitmeloa hind on 20 eur / t, on hinnatõus suurem just söemahukates tootmistes Poolas ja madalam hüdroenergiasektoris. EL-i 20 riigi keskmine hinnatõus tulenevalt kauplemisest jääb vahemikku 10–13 eurot / MWh. Samas heitkogustega kauplemine ja sellest tingitud süsinikdioksiidi kulu on vähendanud märkimisväärselt CO₂ heitkoguseid. Ja seda mitte ainult tootjate tasandil, tulenevalt

tehnoloogilistest muudatustest, vaid ka tarbijate otsustest energiatarbimise vähendamisel. Ettevõtete seisukohast aga heitmelubade hinnatõus ja tasuta lubade kadumine märkimisväärset rolli kasumis ei mängi, kuna oluline osa kuludest kandub üle elektrihindadele, mille tulemuseks on tarbijate elektrihinna tõus ja elektritootjate jaoks täiendav kasum isegi täieliku enampakkumise korral (Lise, *et al.*, 2010). Chen *et al.* keskendusid oma uurimistöös fikseeritud võimsustega turutulemustele elektrienergia sektoris, selgitamaks välja, mis tegurid võiksid mõjutada elektrihindu heitmete kogustega kauplemise raames lühiajalises võtmes. Teoreetiliselt sõltub heitkogustega kauplemisest tulenev lühiajaline elektrihindade muutuste maht mitmetest teguritest, peamiselt heitkoguste piirmäärast, nõudluse elastsusest ning turu struktuurist. Ühelt poolt, kui piirkulu määr CO₂ emisioonil on null, jääb elektrihind muutumata, teisalt kui piirkulu ühikumäär on kõrge, võib selle tulemusel elektrihind tõusta oluliselt rohkem kui MWh kohta kulub heitmelubade tasudena. Analüüsimiseks kasutati COMPETES-mudelit (*Comprehensive Market Power in Electricity Transmission and Energy Simulator*). Järeldustena tõid autorid oma töös välja kolm kõige olulisemat sisendit elektrihindade tõusule: need on saastekrediitide hinnatase, piirenergiaallikate CO₂ heitkoguste määr ning määr, mille ulatuses CO₂ piirkulusid elektri hinnale edasi kantakse (Chen, *et al.*, 2008).

Kuid kuidas on lood veel üleminekuperioodis oleva lennundussektoriga? Kirjanduses on mitmekülgseid uurimistöid, leidmaks seoseid EU ETS-i turu mõjust majandustulemustele, konkurentsivõimele ning innovatsioonile. (Ellerman, *et al.*, 2016). Võttes aga eraldiseisvalt lennundussektori, on leitud, et direktiivist 101/2008 EÜ tulenev kasvuhoonegaaside vähendamise kohustus võib kaasa tuua kasumimarginaali vähenemise (Malina, *et al.*, 2012) turuosa kaotuse konkurentidele ja kasvumäära potentsiaali olulise vähenemise (Faber & Brinke, 2011) (Anger & Köhler, 2010). Tulenevalt varasematest uuringutest otsustasid Nava *et al.* oma uurimistöös laiendada varasemaid uuringuid, arvestades heitkoguste vähendamise strateegiakavaga, tasuta saastelubade jagamisega ja trahvimääradega. Oma töös modelleerisid nad lennundusturgu samaaegse Cournoti mudeliga, kus aluseks võetakse eraldatud heitmeload tonni / kilomeetri kohta, mida ettevõtted saavad vastavalt võrdluskoefitsiendi korrutise alusel. Andmed jaotati kahte võrdlusrühma tulenevalt etappidest ning seejärel võrreldi süsinikdioksiidi hinda piirkuluga. Oma töös eeldasid nad, et lennundusturgu iseloomustab pöördvõrdeline lineaarfunktsioon ning et lennufirmade strateegiatele kohandub paremini homogeenne ruutühiku funktsioon. Oma analüüsis kasutasid nad 20 Euroopa suurima lennufirma andmeid perioodist 2005–2015. Analüüsi tulemustena tuuakse välja, et CO₂ heitmelubade hinna roll on ettevõtte seisukohast väga oluline. Heitmelubade hinna tõus suurendab ettevõtete jõupingutusi heitmetasemete vähendamisse uute

lahenduste kaudu ehk pikemas plaanis võib see soodustada lennufirmade efektiivsust ja tõhusust. Samuti omab lennufirmade kasum otseselt lineaarset seost tasuta jagatavata heitkoguste hulgaga (Nava, *et al.*, 2018).

Tuginedes varasematele uurimistöödele ja artiklitele, saab välja tuua, et heitmeturul EU ETS kaubeldava EUA volatiilsust ja hindade muutusi võivad põhjustada küll ka poliitilised otsused, kuid samas esineb ka palju ühe- või mõlemasuunalist hindade ülekandumist. Mõjutavad nii makromajanduslikud tegurid, majanduskasv, tööstussektori energiatõhusus ja heitmete intensiivsus kui ka lühiajalises plaanis ilmastikutingimused ja taastuenergia võimsuste muutused. Kinnitust leiab ka nõudluse ja pakkumise printsiibi kehtivus, kus selle tasakaalu nihutamisel poliitiliste otsuste kaudu muutub turg mittetoimivaks (Hintermann, *et al.*, 2016). Otsuste hinna mõjutajatena on välja toodud finants- ja energiaturgude näitajad: FTSE100, SP500, Stoxx50 ja T-Bill ning toormeturgudelt Brent ja S&P Clean Energy Index, mis omavad statistiliselt olulist mõju EUA hinnaliikumises (Zhao, *et al.*, 2021). Chan *et al.* tõid välja sektoripõhised mõjud just läbi ettevõttesiseste finantsnäitajate, viidates heitmeturu positiivsele mõjule energiasektori ettevõtete kasumile, see suurendab nii käibemahtu kui ka tootmiskulusid, samas tsemenditootmissektori ettevõtetes vähendas heitmeturul osalemine hoopis materjalikulu kuni 10%. Terasesektoris suurendas heitmeturul osalemine ettevõtete käibemahtu (Chan, *et al.*, 2013). Ka Lise *et al.* jõudsid oma artiklis järeldusele, et elektri hulгимүүги hinnad tõusevad märkimisväärselt CO₂ heitkogustega kauplemise tõttu ning toimub süsinikuheitme hindade ülekandumine lõpptarbijale (Lise, *et al.*, 2010). Sarnasele tulemusele jõudsid ka Chen *et al.*, kes tõid oma töös välja kolm kõige olulisemat sisendit elektrihindade tõusule, milleks olid saastekrediitide hinnatase, piirenergiaallikate CO₂ heitkoguste määr ning määr, mille ulatuses CO₂ piirkulusid elektri hinnale edasi kantakse (Chen, *et al.*, 2008). Ka lennundussektoris leiti seosed heitmeturu mõju ning ettevõtete majandustulemuste, konkurentsivõime ning innovatsiooni vahel (Ellerman, *et al.*, 2016), samuti täheldati mõju kasumi marginaalile (Malina, *et al.*, 2012), turuosa kaotustele konkurentidele, kes tegusevad väljaspool heitmeturgu, ja kasvumäära potentsiaali olulist vähenemist (Faber & Brinke, 2011) (Anger & Köhler, 2010).

Tabel 1. Varasemate uurimustööde ülevaade.

Autor (id)	Andmed	Uurimisküsimus	Ajavahemik	Mõju antud uurimistööle
Alberola <i>et al.</i>	Süsiniku hind, energiahinnad ja temperatuurimuutujad, järelevalvekatkestuste sündmused, sektorite tootmise indeksid	Millist mõju avaldavad EUA hinnale CO2 heitmetasemed, tööstustoodangu mõjutegurid ja järelevalvepositsioonid?	2005–2007	Uurimisküsimusest tulenevalt on soov oma uurimistöös analüüsida, kas enampakkumistel kaubeldavatel nõudluse ja pakkumise mahtudel on mõju EUA hinnale.
Chevallier	Süsinikufutuudid, makromajanduslikud muutujad, energia- ja institutsionaalsed muutujad	Kas makromajanduslike näitajate hinnamuutused mõjutavad süsinikufutuudide hinnadünaamikat?	2008–2012	Makromajanduslikest muutujatest sai andmete hulka kaasatud EL-i inflatsiooni- ja baasintressimäärad, selgitamaks välja nende võimalikku mõju antud valimi perioodil.
Chan <i>et al.</i>	Euroopas tegutsevad ettevõtted elektrienergia-, tsemendi- ning terasesektorist	Millist mõju omab EU ETS kauplemisüsteem ettevõtte üksiküksuse materjalikuludele, tööhõivele ja käibe?	2005–2009	Nende uuringust tulenevalt soovin oma uurimistöö analüüsi teise etapina võtta vaatluse alla Euroopa ettevõtted ja nende finantsnäitajad, leidmaks kinnitust EUA hinnamuutuste mõjust, samas aga laiendades ettevõtete sektoreid lennunduse ja meretranspordiga.
Zhao <i>et al.</i>	(Brent), (ARA), (IPE), (SP Clean), (Stoxx 500), (CAC40), (DAX), (FTSE100), (Spread), (S&P500), (T-Bill), (CRB), (CER), EUA-s <i>lag price</i> (Lag).	Kas hinnakõikumised energia- ja finantsturgudel mängivad juhtivat rolli süsinikuhinna kujunemisel?	2013–2023	Uurimistöö tulemusena võeti antud töö andmete hulka S&P 500 indeks ning toormeturgudel Brenti nafta ja maagaas, mis omasid varasemas uurimistöös mõju EUA hinnamuutustele.
Lise <i>et al.</i>	20 Euroopa riigi elektri eraldiseisvat hulgimüügiturgu	Milline on EL-i heitmeturul kaubeldava EUA hinnamuutuste mõju elektrihindadele?	2005–2007	Kuna Lise <i>et al.</i> ja Chen <i>et al.</i> tegid oma uurimistöö väga varajases EU ETS-i turu faasis, siis antud töös on tulenevalt hilisemast perioodist soov saada kinnitust nende tehtud järeldustele ka hilisemas perioodis.
Chen <i>et al.</i>	Loode-Euroopa elektrienergia-sektori ettevõtted	Kuidas mõjutab CO ₂ -ga kauplemine lühiajaliselt?	2005	
Nava <i>et al.</i>	20 Euroopa suurimat lennufirmat	Millisel määral mõjutab EU ETS-i turg lennundussektorit?	2005–2015	Tulenevalt varasema uurimistöö tulemusest on töösse kaasatud lennundusettevõtted, leidmaks otseseid seoseid EUA hinnamuutuste mõju ning ettevõtete finantsnäitajate ja seega ka turuhinna vahel.

Allikas: Autori kogutud andmete baasil

Tuginedes varasematele uuringutele, on antud töös püstitatud kaks peamist uurimisküsimust, leidmaks kinnitust varasemates uuringutes leitud tulemustele. Kas perioodi 01.03.2013 – 01.03.2023 andmete põhjal leiab kinnitust ühe- või mõlemasuunaliste hinnamuutuste ülekandumine EU ETS-i turul kaubeldavatele EUA-dele, enampakkumise mahtudele, pakkujate hulgale ning seos väliste tegurite vahel, mille põhjal oleks võimalik prognoosida EUA hinnaliikumisi? Samuti, kas ja millises mahus mõjutavad EUA-de hinnamuutused heitmeturuga seotud ettevõtete finantstulemusi, nagu ärikasum ja tegevuskulud, ning seega ka ettevõtte börsil noteeritud turuväärtust.

2. Andmed ja metoodika

Selles peatükis antakse ülevaade magistritöös kasutatavate andmete olemusest ja analüüsimiseks kasutatavatest mudelitest. Esimeses alajaotuses kirjeldatakse analüüsimiseks valitud tegurite aegridu. Teises alajaotuses antakse ülevaade andmete kogumisest ning nende korrastamisest analüüsimiseks sobivale kujule, lisaks valimit kirjeldavast statistikast antud perioodil. Kolmandas alajaotuses kirjeldatakse analüüsimisel kasutatavaid metoodikaid ja analüüsimudeleid.

2.1. EUA baashinna välised mõjurid ja ülekandumine

Magistritöö eesmärgiks on uurida, kas ja millisel määral mõjutavad välised tegurid süsinikuturul kaubeldava EUA baashinna volatiilsust, ning kas ja millisel määral leiab kinnitust volatiilsuse ülekandumine seotud sektori ettevõtete finantsnäitajatele, võimaldades seeläbi ettevõtetele paremini ajastada oma heitmelubade vajadusega seotud otsuseid. Analüüsimine on jaotatud kahte etappi: esimeses hinnatakse VAR-mudeli abil volatiilsust mõjutavaid tegureid ning teises regressioonmudeli abil hinnamuutuste mõju sektoris tegutsevatele ettevõtetele. VAR-mudeliga testitakse enampakkumiste baasnäitajate, välise taastuenergiaindeksi, toormete ning majandusindikaatorite mõju EUA hinna volatiilsusele. Eesmärgiks on leida kinnitust, kas varasemates uurimistöodes leitud seosed kehtivad ka antud ajaperioodil ning kas turutegurite vahel leidub ka laiemat omavahelist korrelatsiooni. Analüüsimisel kasutatud aegridade valikul lähtuti kahest peamisest aspektist. Esimeses järgus valiti tegurid, mis tulenevad enampakkumise sisenditest: nõudluse maht, pakkumise maht, miinimum- ja maksimumhinnatasemed ning enampakkumise lõplik keskmine müügihind. Teises järgus valiti aga varasematest uurimistööst tulenevalt seotud turuinstrumendid: kaubeldavad taastuenergiaindeksi aegread, EU taseme inflatsiooni- ja baasintressimäärade aegread, S&P 500 indeksi aegread ning toormeturgudest elektritootmise ja heitmetasemete määraga tugevalt seotud toornafta Brenti ja maagaasi aegread. Just teise etapina hinnatakse paneelandmete regressioonmudeli abil EUA hinnamuutuste ülekandumiste mõju ulatust seotud sektori ettevõtete finantsnäitajatele. Analüüsimisel hinnatakse hinnamuutuste mõju ulatust ettevõtete tegevuskuludele, ärikasumile ja börsihinnale, eesmärgiga saada kinnitust varasemates uurimistöodes (Chan, *et al.*, 2013 ja Ellerman, *et al.*, 2016) leitud

seostele ka antud töös valitud perioodil. VAR-mudelil kasutatavad aegread on kogutud päevaste, ning regressioonudelil kasutatavad andmed kvartaalsete aegridadena.

- **EUA (EU Carbon Permits)** – süsinikdioksiidi heitkoguste lubade hinnad pärinevad Euroopa Liidu heitkogustega kauplemise süsteemist EU ETS, mis on maailma suurim kasvuhoonegaaside heitkoguste piiramise ja kauplemise turg. Süsinikuheitmete saastekvoodid eraldatakse esmalt EL-i direktiive arvestades maksimaalselt eralduvate kasvuhoonegaaside koguse kohta. Seejärel müüakse süsinikdioksiidi heitmelubasid enampakkumisele ja nendega kaubeldakse vabaturul. EUA hinda arvestatakse eurodes ning arvestusühikuks on 1 tonn süsinikdioksiidi.
- **Toornafta Brent** (*crude oil* Brent USD/Bbl) – Brenti toornafta kujundab suures osas maailma nafta peamist ostu võrdlushinda. Seda naftat ammutatakse Põhjamerest, Euroopast, Aafrikast ning Lähis-Idast, olles parema kvaliteediga kui WTI toornafta.
- **Maagaas** (*natural gas* USD/MMBtu) – üks maagaasi futuurleping sisaldab endas 10 000 miljonit Briti soojusühikut ning kaubeldakse USA dollarites.
- **S&P 500 Index** (USD) – S&P 500 on Ameerika Ühendriikide börsil noteeritud ettevõtete aktsiate koondindeks, mis hõlmab 500 suurimat avalikult kaubeldavat ettevõtet erinevatest sektoritest, sealhulgas tehnoloogia-, tervishoiu-, tarbekaupade ja finantssektor.
- **EU Inflation Rate** (%) – Euroopa Liidus arvutatakse inflatsioonimäär ühtlustatud tarbijahinnaindeksi (THHI) koondnäitajate kaalutud keskmise põhjal. THHI põhikomponendid on: toit ja mittealkohoolsed joogid (17% kogukaalust); eluase, vesi, elekter, gaas ja muud kütused (15%); transport (15%); mitmesugused kaubad ja teenused (10%); restoranid ja hotellid (10%); ning vaba aeg ja kultuur (9%). Muude kategooriate hulka kuuluvad sisustus, kodutehnika ja rutiinne majapidamishooldus (7%); tervis (5%); rõivad ja jalatsid (5%). Ülejäänud 8% moodustavad alkohoolsed joogid, tubakas ja narkootilised ained, side ja haridus.
- **EU Interest Rate** (%) – euroalal määrab võrdlusintressimäära Euroopa Keskpanga nõukogu. EKP rahapoliitika esmane eesmärk on säilitada hinnastabiilsus, mis on hoida inflatsioon keskmise aja jooksul alla 2 protsendi, kuid selle lähedal. Pikaajalise madala inflatsiooni ja madalate intressimäärade ajal võib EKP võtta kasutusele ka mittestandardseid rahapoliitilisi meetmeid, nagu varaostuprogrammid. Ametlik intressimäär on põhirefinantseerimisoperatsioonide määr.

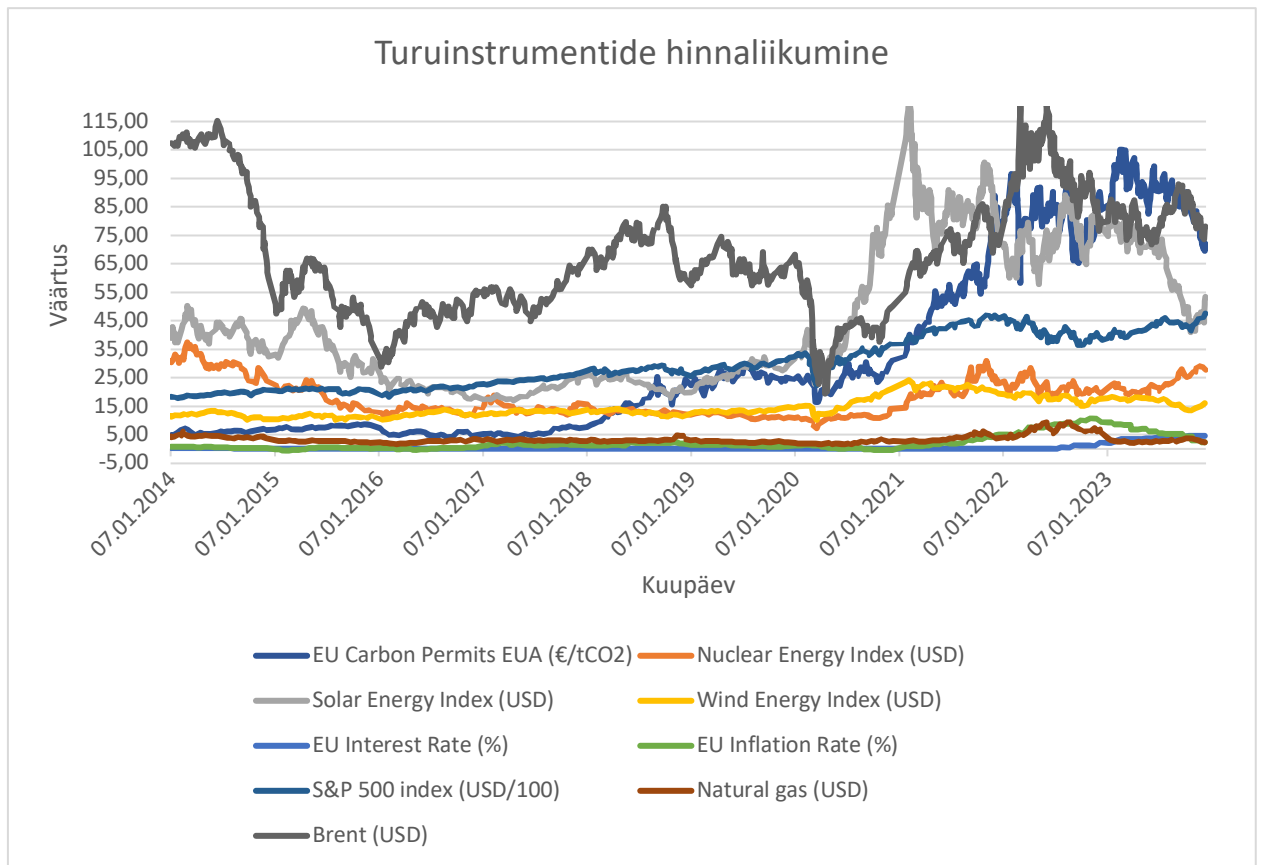
- **Wind Energy Index (USD)** – tuuleenergia indeks jälgib tuuleenergiasektori börsil noteeritud ettevõtete tulemusi, aga ka neid ettevõtteid, kes ei tooda energiat, kuid teenivad suurema osa oma tuludest tuuleenergiatööstusele kaupade ja teenuste pakkumisest.
- **Solar Energy Index (USD)** – päikeseenergia indeks jälgib päikeseenergiasektori börsil kaubeldavate ettevõtete tulemusi, aga ka neid ettevõtteid, kes ei tooda energiat, kuid teenivad suurema osa oma tuludest päikeseenergiatööstusele kaupade ja teenuste pakkumisest.
- **Nuclear Energy Index (USD)** – tuumaenergiaindeks jälgib nii börsil noteeritud tuumaenergiasektori ettevõtete kui ka nende ettevõtete tulemusi, kes ei tooda energiat, kuid teenivad suurema osa oma tuludest tuumaenergiatööstusele kaupade ja teenuste pakkumisest.

2.2. Andmed

Magistritöö analüüsi läbiviimiseks on aegread kogutud kahel erineval kujul. Esmalt, uurimaks volatiilsust mõjutavaid tegureid, on aegread kogutud päevaste sulgemishindade baasil, teiseks on kaasatud päevased enampakkumiste toimumisest saadud sisendandmete aegread. Aegread koguti Euroopa energiabörsi (Energy Exchange EEX) ja Trading Economics'i andmebaasist perioodil 31. detsember 2012 kuni 29. detsember 2023. Peale andmete kogumist ja allalaadimist andmed korrastati, mille käigus likvideeriti ebakõlad, saades seeläbi ühtlase struktuuriga korrektsed aegread. Hinnamuutuste ülekandumiste mõju ulatuse seotud sektori ettevõtete finantsnäitajatele analüüsimisel kasutatavad aegread koguti Trading Economics'i andmebaasist perioodil 31. detsember 2012 kuni 29. detsember 2023. Aegread koguti kvartaalsete andmetena. Peale andmete kogumist ja allalaadimist andmed korrastati, mille käigus likvideeriti ebakõlad, saades seeläbi ühtlase struktuuriga korrektsed aegread. Andmete korrastamiseks kasutati mõlemal andmestikul Microsoft Exceli tarkvara.

2.2.1. VAR-mudelis kasutatavad andmed

Joonisel 2 on toodud VAR-mudeli analüüsimisel kasutatavate turuinstrumentide aegride liikumised valitud perioodil, kus nähtuvad hindade samasuunalised ja üheaegsed liikumised.



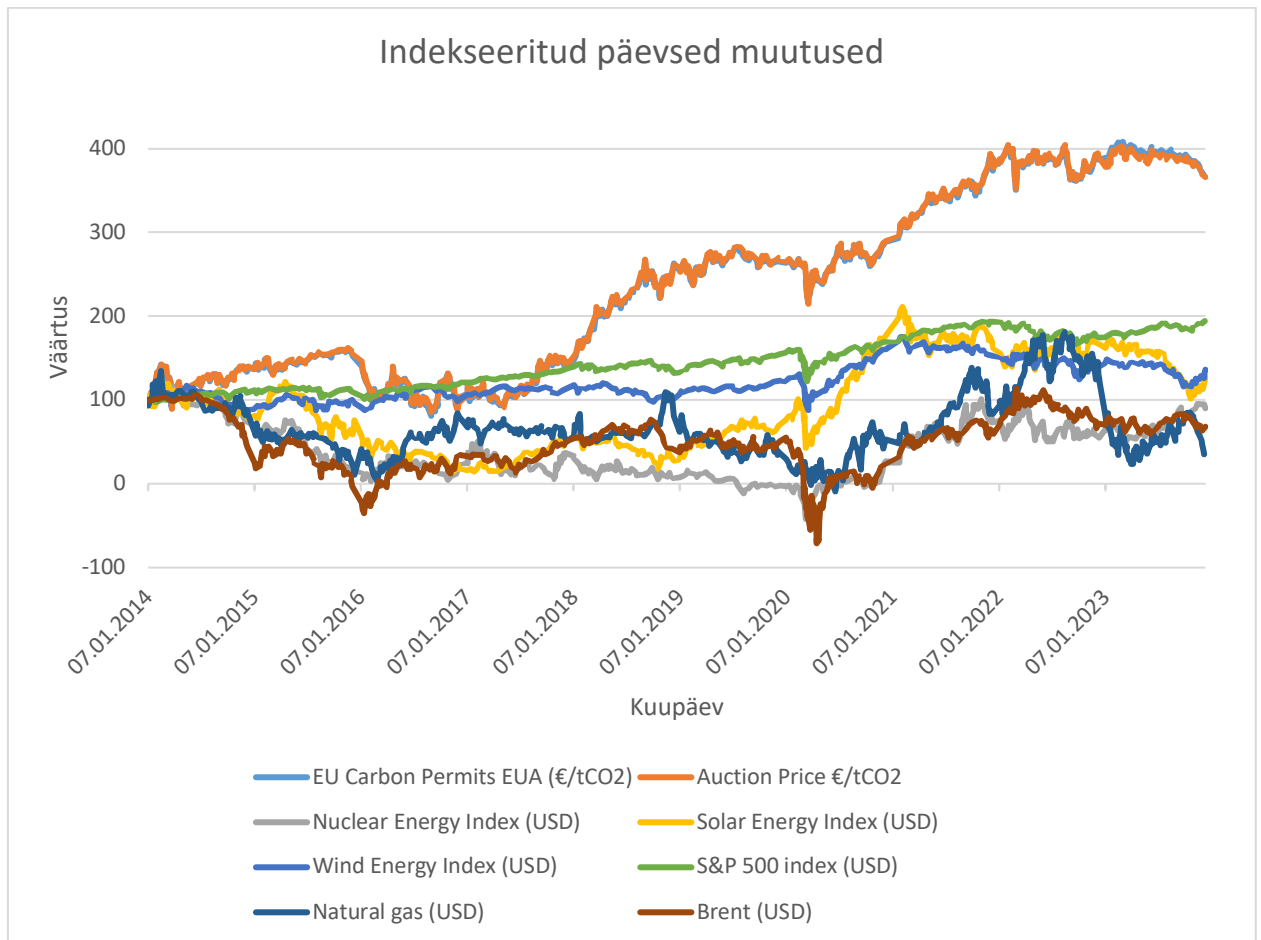
Joonis 2. Turuinstrumentide aegriidade hinnagraafikud perioodil 07.01.2014 kuni 18.12.2023.

Allikas: Autori kogutud andmete baasil

Lisaks arvutati turul kaubeldavate aegriidade baasil nende päevased hinnamuutused (tootlused), mille põhjal koostati indekseeritud aegriidade graafik (joonis 3). Joonisel 3 saab kinnitust juba joonisel 2 nähtu, et mitmel ajalisel perioodil on täheldatavad samasuunalisi hinnaliikumised.

Korrelatsioonianalüüsis (lisa 2) on näha positiivset korrelatsiooni EUA hinna ja kõikide teiste toormehindade vahel. Väga tugevas positiivses korrelatsioonis on ootuspäraselt enampakkumisel kujunev hind (*Auction Price €/tCO₂*) korrelatsioonikordajaga 0,998, samas on EUA hinnaliikumises väga tugev korrelatsioon S&P 500-l korrelatsioonikordajaga 0,906, Euroopa Liidu inflatsioonimääral (*EU Inflation Rate*) korrelatsioonikordajaga 0,855, enampakkumise max-min hinnavahel indeksiga 0,786 ja päikeseenergiaga (*Solar Energy Index*) korrelatsioonikordajaga 0,746. Keskmiselt positiivne korrelatsioon on EAU hinnal tuuleenergiaga (*Wind Energy Index*) korrelatsioonikordajaga 0,694, Euroopa Liidu baasintressimääral (*EU Interest Rate*) korrelatsioonikordajaga 0,654 ning enampakkumisel oleva pakkumise ja nõudluse vahel vastavalt korrelatsioonikordajaga 0,514. Nõrk positiivne korrelatsioon on Brenti toornaftal (Brent) korrelatsioonikordajaga 0,482, maagaasil (*natural gas*) korrelatsioonikordajaga 0,432 ja

tuumaenergiat (*Nuclear Energy Index*) korrelatsioonikordajaga 0,355. Analüüsi tulemustest saab järeldada, et teiste turuinstrumentide hinnamuutused toovad kaasa ka EUA hinnamuutuse.



Joonis 3. Indekseeritud päevased muutused turuinstrumentides perioodil 07.01.2014 kuni 18.12.2023.

Allikas: Autori kogutud andmete baasil

Andmete põhjal koostati lisaks kirjeldava statistika analüüs (lisa 1), millest nähtub, et EUA puhul on valitud perioodil miinimumhinnatase 3,93 eurot / tCO₂ ja maksimaalne hinnatase oli 105,14 eurot / tCO₂, kus standardhälve moodustas aritmeetilisest keskmisest 95,57%, näidates väga suur hajuvust. Ootuspäraselt näitas väga sarnast tulemust ka enampakkumisel kujunev hind, kuid seda saab selgitada asjaoluga, et nad on omavahel väga tugevas korrelatsioonis. Enampakkumiste mahtude osas saab tuua välja, et maksimaalselt märgiti enampakkumine üle 25 284 500 t/CO₂ ulatuses, ning minimaalselt 25 500 t/CO₂, kus standardhälve moodustas aritmeetilisest keskmisest 77,73%. Väga suurt hajuvust näitasid ka Euroopa Liidu baasintressimäär (*EU Interest Rate*), kus standardhälve moodustas aritmeetilisest keskmisest 245,07%, enampakkumiste min ja max hinnavahe, kus standardhälve moodustas aritmeetilisest keskmisest 124,53%, ja Euroopa Liidu inflatsioonimäär (*EU Inflation Rate*), kus standardhälve moodustas aritmeetilisest keskmisest

121,09%. Turuindeksite ja toormehindade puhul saab välja tuua tuumaenergia (*Nuclear Energy Index*), mille puhul oli valitud perioodil miinimumhinnatase 7,18 USD-d ja maksimaalne hinnatase oli 37,48 USD-d, kus standardhälve moodustas aritmeetilisest keskmisest 34,75%; päikeseenergia (*Solar Energy Index*) puhul oli valitud perioodil miinimumhinnatase 17,04 USD-d ja maksimaalne hinnatase 121,4 USD-d, kus standardhälve moodustas aritmeetilisest keskmisest 54,33%; tuuleenergia (*Wind Energy Index*) puhul oli valitud perioodil miinimumhinnatase 10,04 USD-d ja maksimaalne hinnatase oli 24,69 USD-d, kus standardhälve moodustas aritmeetilisest keskmisest 23,04%; maagaasi (*natural gas*) puhul oli valitud perioodil miinimumhinnatase 1,44 USD-d ja maksimaalne hinnatase 9,71 USD-d, kus standardhälve moodustas aritmeetilisest keskmisest 43,33%, toornafta Brent puhul oli valitud perioodil miinimumhinnatase 19,33 USD-d ja maksimaalne hinnatase 123,48 USD-d, kus standardhälve moodustas aritmeetilisest keskmisest 20,65%.

Tabel 2. VAR-mudeli kirjeldava statistika koondtabel.

	Aritmeetiline keskmine	Mediaan	Miinimum	Maksimum	Variatsioonikordaja
EUA	32,76	21,34	3,93	105,14	31,31
EUA Auction Price €/tCO2	31,97	21,30	3,94	97,51	30,07
Miinimum ja maksimum pakkumise hinnavahe	12,34	6,00	0,15	129,99	15,36
Pakkumine-nõudlus	-4386502,64	-3183500,00	-25284500,00	-25500,00	3409730,95
Tuumaenergia indeks	17,90	15,80	7,18	37,48	6,22
Päikeseenergia indeks	45,12	37,04	17,04	121,94	24,51
Tuuleenergia indeks	14,72	13,29	10,04	24,69	3,39
El-i baasintresimäär	0,49	0,00	0,00	4,50	1,20
El-i inflatsioonimäär	2,30	1,30	-0,60	10,60	2,78
S&P 500 indeks	3044,85	2834,41	1741,89	4740,56	909,56
Maagaas	3,37	2,89	1,44	9,71	1,46
Toornafta Brent	68,72	66,39	19,33	123,48	20,65

Allikas: Autori kogutud andmete baasil

2.2.1. Regressioonmudeli andmed

Leidmaks regressioonmudelis kasutatavate sisendandmete omavaheliste mõjutegurite ulatust, viidi nende põhjal läbi korrelatsioonianalüüs (lisa 3), millest selgus, et energiaettevõtte TotalEnergies ärikasum on keskmisest positiivses korrelatsioonis EUA hinnaga, omades korrelatsioonikordajat 0,590, samas ettevõtte tootmiskulude korrelatsioonikordajaga 0,374 ja

börsihinna korrelatsioonikordajaga 0,445 suhtes esineb nõrgalt positiivne korrelatsioon. BP puhul aga esineb EUA ja tootmiskulude vahel keskmine negatiivne korrelatsioon korrelatsioonikordajaga -0,445. Lennundusettevõtete puhul esineb ettevõtte näitajate ja EUA hinna vahel nõrk negatiivne korrelatsioon Finnairi börsihinnaga, korrelatsioonikordaja vastavalt 0,383, ja Lufthansa börsihinna vahel korrelatsioonikordajaga -0,441. Teiste näitajate vahel esines olematu korrelatsioon. Metallitööstusettevõtete puhul saab välja tuua keskmiselt positiivse korrelatsiooni ArcelorMittali börsihinnaga, korrelatsioonikordaja vastavalt 0,658, ja tugeva negatiivse korrelatsiooni Thyssenkruppi börsihinnaga, korrelatsioonikordaja vastavalt -0,772. Teiste näitajate suhtes esines olematu korrelatsioon. Transpordifirmade puhul omasid kõik näitajad EUA-ga positiivset korrelatsiooni. DSV puhul omasid tugevat positiivset korrelatsiooni börsihind korrelatsioonikordajaga 0,892, ärikasum korrelatsioonikordajaga 0,946 ja tootmiskulud korrelatsioonikordajaga 0,875. Maersk puhul saab aga välja tuua keskmise positiivse korrelatsiooni börsihinnaga korrelatsioonikordajaga 0,675 ja ärikasumiga korrelatsioonikordajaga 0,594, samas tootmiskulud omasid nõrka positiivset korrelatsiooni korrelatsioonikordajaga 0,390.

Tabel 3. Regressioonmudeli kvartaalsete andmete kirjeldav statistika.

	Aritmeetiline keskmine	Mediaan	Miinumum	Maksimum	Variatsiooni kordaja
EUA	29,40	14,99	4,21	96,13	31,00
BP aktsiahind	435,42	453,45	225,20	595,30	85,21
BP ärikasum (mln. Eur)	1317,62	1993,00	-20253,00	16794,00	6544,70
BP tootmiskulud (mln. Eur)	60220,87	55795,00	25278,00	96148,00	19763,16
TotalEnergies aktsiahind	45,48	45,45	29,20	62,31	7,02
TotalEnergies ärikasum (mln. Eur)	4271,25	4570,00	-8333,00	13163,00	4243,83
TotalEnergies tootmiskulud (F. Eur)	41646,32	41114,00	25909,00	57464,00	8543,63
Finnair aktsiahind	0,14	0,11	0,04	0,40	0,08
Finnair ärikasum (mln. Eur)	-1,64	0,20	-183,10	122,20	78,26
Finnair tootmiskulud (mln. Eur)	566,38	596,70	116,60	770,50	148,01
Lufthansa aktsiahind	10,04	9,38	5,25	21,92	3,60
Lufthansa ärikasum (mln. Eur)	182,60	343,00	-2345,00	1714,00	876,67
Lufthansa tootmiskulud (mln. Eur)	7307,38	7698,00	3594,00	8995,00	1413,58
ArcelorMittal aktsiahind	16,74	16,34	3,88	29,30	7,97
ArcelorMittal ärikasum (mln. Eur)	914,64	832,00	-5331,00	5345,00	2054,26
ArcelorMittal tootmiskulud (mln. Eur)	16678,40	16955,00	11229,00	24020,00	2520,71
Thyssenkrupp aktsiahind	14,82	15,68	4,31	25,08	6,75
Thyssenkrupp ärikasum (mln. Eur)	-29,42	157,00	-3663,00	779,00	689,68
Thyssenkrupp tootmiskulud (mln. Eur)	9355,87	9296,00	6499,00	11060,00	1081,04

DSV aktsiahind	638,73	488,60	139,70	1540,50	455,19
DSV ärikasum (mln. Eur)	2033,07	1175,00	246,00	7196,00	1831,17
DSV tootmiskulud (mln. Eur)	23692,69	18042,00	10474,00	56513,00	13600,35
Maersk aktsiahind	10903,82	10086,67	6092,00	23450,00	3825,44
Maersk ärikasum (mln. Eur)	1759,51	751,00	-2696,00	9477,00	2493,31
Maersk tootmiskulud (mln. Eur)	11395,69	9499,00	3538,67	89810,30	12093,08

Allikas: Autori kogutud andmete baasil

2.3. Analüüsimetoodikate kirjeldus

2.3.1. VAR-mudel

Magistritöö esimese osa analüüsi läbiviimiseks on valitud vektorkujul autoregressiivne mudel ehk VAR-mudel, mis on oma olemuselt sümmeetriline harilike vähimruutude (OLS) meetodil hinnatud võrrandisüsteem. Mudel on leidnud laialdaselt kasutust aegridade omavaheliste seoste uurimistes. Mudel on üles ehitatud eesmärgiga leida aegridade muutujate omavahelisi dünaamilisi seoseid, mis läbi on võimalik luua tulevikku vaatavat prognoosimisvõimet. Mudeli aluseks loetakse Christopher A. Simsi märkimisväärset panust, kes lõi raamistiku endogeensete muutujate modelleerimiseks mitme muutujaga keskkonnas (Kotzé, 2022) (Sims, 1986). VAR-mudeli puhul on tegemist prognoosimismudeliga, tuginedes analüüsimisel eeldusele, et muutujate praeguseid väärtuseid on mõningal määral võimalik selgitada muutujate varasemate väärtustega. Oma olemuselt püüabki VAR-analüüs mudelite abil leida vastuseid ja selgitada struktuurseid majanduslikke hüpoteese, kasutades selleks impulssreaktsiooni funktsiooni, prognoosimisvigade dispersioonide jaotust, ajaloolist dekompositsiooni ning prognoosimisstsenaariumi analüüsi (Lütkepohl, 2013). P- viitajaga vektorautoregressiivse mudeli saab esitada järgmisel kujul (valem 2) (Zivot & Wang, 2006):

$$Y_t = c + \Pi_1 Y_{t-1} + \Pi_2 Y_{t-2} + \dots + \Pi_p Y_{t-p} + \varepsilon_t \quad t=1, \dots, T \quad (2)$$

Kus:

c – on konstantide k -vektor

Π_i – on $(n \times n)$ kordajate maatriks

Y_{t-i} – näitab muutuja väärtusi ajaperioodil $t-i$ ehk i -ndat järku viitaegu

ε_t – on k -vektori vealiikmete kordaja.

Peale VAR-mudeli hindamist on võimalik saadud andmeid kasutada mitme võrrandi prognoosimismudelina, ning kui hinnata seda ümber SUR-I (Seemingly Unrelated Regression) abil, võimaldab see saadud mudelit kasutada tulevikuhindade prognoosimiseks. Prognoosimisel saab kasutada vektorkujul m - mõõtmelist VAR-mudelit k -viitajaga (Lütkepohl, 2013).

VAR-mudeli kasutamiseks tuleb esimese etapina veenduda, et aegread oleks statsionaarsed. Erilist tähelepanu tuleb pöörata trendide olemasolule aegridades, mida esineb seal sagedasti. Aeg-ajalt võib ka juhtuda, et trende kiputakse samastama tendentsidega, mille puhul on siiski tegemist meelevaldse samastamisega, kus hinnad kantakse üle seoseid omamata. Seega tuleb mudelis usaldusväärsete tulemuste saamiseks esmalt aegridu testida ja seejärel trendide ilmnemisel need eemaldada, tagades nii mudeli analüüsimiseks vajaliku statsionaarsuse (Ryan, *et al.*, 2023). Aegridades esinevate trendide ja statsionaarsuse testimiseks saab kasutada lisavõimalustega Dickey-Fulleri testi. Aegridadest, milles esinevad trendid, tuleb võtta esimest järku logaritmitud diferentsid, misjärel testitakse aegridasid uuesti, veendumaks trendide eemaldamise ja statsionaarsuse saavutamises, vajadusel tuleb seda jätkata, kuni statsionaarsus aegridades on saavutatud.

Olles saavutanud aegridade statsionaarsuse, tuleb teises etapis andmete põhjal mudeli koostamiseks määratleda ära aegridade optimaalne viitaegade arv. Viitaegade määramiseks viiakse läbi andmete analüüs, kasutades optimaalse viitaegade arvu määramise protseduuri. Selle saavutamiseks on võimalik kasutusele võtta kas tõepära LR-test või teised informatsioonikriteeriumid: Akaike kriteerium AIC (*Akaike criterion*), Schwarz kriteerium BIC (Schwarz, *Bayesian information criterion*) või Hannan-Quinni kriteerium HQC (*Hannan-Quinn criterion*). Tõepära suhte LR-testi korral vaadatakse, kas viitaegade arvu vähendamine ühe võrra halvendab oluliselt mudeli logaritmilist tõepära. Kui nullhüpotees on ümber lükatud (olulisuse tõenäosus $p < 0,05$), siis viitaegade arvu enam vähendada ei tohi, kuna mudeli prognoosimisvõime halveneb. Alternatiivina võib kasutada kõige väiksema väärtusega Akaike kriteeriumi väärtust AIC või kõige väiksema Schwarz kriteeriumi väärtuse järgset viitaegade suurust.

Akaike infokriteeriumi AIC puhul on tegemist mitmekülgse statistilise kriteeriume tuvastava protseduuriga, millel ei ole tavapäraselt kaasnevaid protseduuridest tingitud ebaselgusi (Akaike, 1974).

Schwarzi BIC-i (*Bayesian information criterion*) puhul on tegemist üldise lähenemisviisiga statistilise kriteeriumiga, kus eelistatakse keerukamate mudelite asemel ökonoomsemaid mudeleid (Neath & Cavanaugh, 2012).

Kolmanda etapina, olles määratlenud ära sobiva viiteagade arvu, saab koostada VAR-mudeli. Et saavutada adekvaatne prognoosimisvõimekus, tuleb saadud aruannet esmalt kontrollida Portmanteau' testiga, mille põhjal testitakse, kas jäägid moodustavad valge müra. Kui jääkliikmete valge müra testimisel on tulemuseks nullhüpotees, on tegemist adekvaatse mudeliga. Kui tulemuseks on aga sisukas hüpotees, tähendab see seda, et tegemist on ebakorrekse ehk ebaadekvaatse mudeliga, mille põhjal prognoosimised ei ole enam võimalikud. Jääkliikmetes valge müra puudumisel tuleb andmetes kontrollida eksogeensete tunnuste esinemist ning need vajadusel valimist eemaldada (Box, *et al.*, 2015). Olles saavutanud mudelis Portmanteau' testi põhjal jääkliikmetes valge müra esinemise, on seejärel võimalik liikuda mudeli testimisega edasi, kontrollides järgnevalt:

1. VAR-i pöördjuuretest ühikringi suhtes (tulemusena peavad kõik punktid asetsema ühikringis).
2. RAO F-statistiku abil viiakse löbi autokorrelatsiooni testimine (autokorrelatsiooni ei tohi esineda).
3. ARCH-testi põhjal heteroskedastiivsuse esinemist (kui heteroskedastiivsust ei esine, on dispersioon konstantne).
4. Jääkliikmete normaaljaotuse testimine Doornik-Hanseni testi abil. Jääkliikmete normaaljaotuse test on statistiline test, mida kasutatakse hindamaks, kas regressioonimudeli jääkliikmete jaotus (residuaalid) järgib normaaljaotust. See test on oluline, sest paljud statistilised meetodid eeldavad, et jäägid on normaalselt jaotunud, et tagada usaldusväärsed järeldused mudeli kohta.

Peale kõikide kriteeriumite testimist ja positiivsete tulemuste saavutamist on saadud tulemuste baasil võimalik koostada prognoosimudel ja graafikud soovitud hinnamuutuste prognoosimiseks.

2.3.2. Paneelandmete regressioonimudel

Käesolev magistritöö analüüsi teine osa keskendubki erinevate paneelandmete regressioonimudelite kasutamisele, et uurida süsinikheitme loa hinna mõju Euroopa Liidu

süsinikheitme vähendamisega seotud ettevõtetele ning võrrelda saadud tulemusi töös püstitatud uurimisküsimuste ja seatud eesmärkidega. Selleks analüüsitakse erinevaid mudelivalikuid, sealhulgas eraldi mudelit iga ettevõtte kohta, ühendatud mudelit, fikseeritud efektiga mudelit, juhusliku efektiga mudelit ning kahesuunalist mudelit ajaefektiga. Samuti hinnatakse nende sobivust süsinikheitme loa hinna mõju uurimisel (Baltagi, 2008).

Eraldi mudel iga ettevõtte kohta:

Eraldi mudeli valem (valem 3):

$$y_{it}^i = \beta_0^i + \beta_1^i x_{it} + u_{it}^i \quad (3)$$

Kus:

y_{it}^i – on sõltuv muutuja aja t ja ettevõtte i jaoks

x_{it} – on sõltumatu aja t ja ettevõtte i jaoks

β_0^i – on mudeli konstant ettevõtte i jaoks

β_1^i – on sõltumatu muutuja kordaja ettevõtte i jaoks, mis näitab muutuse suurust sõltuvalt muutuja x muutusest

u_{it}^i – on vealiige ettevõtte i jaoks.

- Iga ettevõtte jaoks luuakse eraldi regressioonmudel, mis võimaldab uurida ettevõttele omaseid seoseid tulenevalt sõltuvatest ja sõltumatutest muutujatest. Arvestatakse ettevõtte individuaalseid omadusi, nagu suurus, sektor või asukoht, mis võivad mõjutada nende majandustulemusi.
- Antud meetodi piiranguna võib tekitada probleeme väike valim, samuti on mudelite rohkusest tulenevalt nende haldamine ja analüüs keerukam ning mahukam.

Ühendatud mudel:

Ühendatud mudeli valem (valem 4):

$$y_{it} = \beta_0 + \beta_1 x_{it} + u_{it} \quad (4)$$

Kus:

y_{it} – on sõltuv muutuja

x_{it} – on sõltumatu muutuja

β_0 – on mudeli konstant

β_1 – on sõltumatu muutuja kordaja, mis näitab muutuse suurust sõltuvalt muutuja x muutusest

u_{it} – on vealiige.

- Kõikide ettevõtete andmed kombineeritakse ühte mudelisse, kus ettevõtted individuaalselt ei ole eristatud. Seeläbi on võimalik mudeli abil uurida üldist mõju ja suunda, ilma et peaks iga ettevõtte suhtes eraldi analüüsi tegema. Ühendatud mudel ei arvesta üksikute ettevõtete individuaalseid omadusi.
- Ühendatud mudel on kasulik meetod, kui keskendutakse üldiste suundumuste ja mõjude uurimisele, kuid seda tuleks kasutada ettevaatlikult, eriti kui on olemas olulisi individuaalseid erinevusi üksuste vahel, mis võivad mõjutada tulemusi.

Fikseeritud efektiga mudel / juhusliku efektiga mudel:

Fikseeritud efektiga mudeli valem lineaarse regressioonimudeli jaoks on järgmine (valem 5):

$$y_{it} = \alpha_i + \beta x_{it} + u_{it} \quad (5)$$

Kus:

y_{it} – on sõltuv muutuja (näiteks ettevõtte kasum, müügitulu) aja t ja üksuse i jaoks

x_{it} – on sõltumatu muutuja (näiteks süsinikuhind) aja t ja üksuse i jaoks

α_i – on üksuse i fikseeritud efekt (juhusliku efektiga mudeli puhul on üksuse i juhuslik efekt)

β – on sõltumatu muutuja kordaja

u_{it} – on vealiige.

- Fikseeritud efektiga mudel arvestab iga uuritava ettevõtte jaoks eraldi efekti, mis võib olla põhjustatud selle eripärast või omadustest, eeldades samas, et uuritavate ettevõtete vahelised erinevused on püsivad ja ei muutu aja jooksul.
- See mudel ei arvesta juhuslikkust individuaalsete efektide puhul. See tähendab, et iga ettevõtte jaoks on efekt fikseeritud ja ei muutu juhuslikult.
- Fikseeritud efektiga mudelit kasutatakse sageli majandus-, sotsiaal- ja poliitikateadustes, kus on oluline arvestada uuritavate ettevõtete vahelist püsivat erinevust, hinnates nende mõju tulemustele.

- Juhusliku efektiga mudel arvestab individuaalsete ettevõtete jaoks juhuslikke efekte, mis võivad tuleneda juhuslikest teguritest või muutujatest, mida ei ole mudelis arvestatud. Erinevalt fikseeritud efektiga mudelist ei eelda juhusliku efektiga mudel, et uuritavate ettevõtete vahelised erinevused oleksid püsivad või põhjuslike seostega.
- See mudel võimaldab hinnata, kui suur osa ettevõtetevahelistest erinevustest on juhuslikud ning kui suur osa on seotud uuritavate muutujatega.
- Kui kasutatakse fikseeritud või juhusliku efektiga mudeleid, tuleb sobivama mudeli määramiseks kasutada Hausmani testi. See test kontrollib, kas fikseeritud efektiga mudel on parem kui juhusliku efektiga mudel või vastupidi.

Kahesuunaline mudel ajaefektiga(FE või RE):

Fikseeritud efektiga kahesuunaline mudel (FE) (valem 7):

$$y_{it} = \alpha_i + \gamma_t + \beta x_{it} + u_{it} \quad (7)$$

Kus:

y_{it} – on sõltuv muutuja aja t ja üksuse i jaoks

x_{it} – on sõltumatu muutuja aja t ja üksuse i jaoks

α_i – on üksuse i fikseeritud efekt (FE) või juhuslik efekt (RE), mis võtab arvesse selle konkreetse üksuse püsivaid või juhuslikke erinevusi teistest üksustest

γ_t – on aja t fikseeritud efekt (FE) või juhuslik efekt (RE), mis võtab arvesse aja jooksul toimuvaid mõjusid

β – on sõltumatu muutuja kordaja, mis näitab muutuse suurust sõltuvalt muutuja x muutusest

u_{it} – on vealiige

Erinevus võrreldes fikseeritud ja juhusliku efektiga mudelite suhtes on kahesuunalisel mudelil asjaolu, et kahesuunaline mudel võtab arvesse ka ajaefekti. Kahesuunaline mudel on kasulik, kui on oluline hinnata nii üksuste erinevusi kui ka aja mõju.

Peale mudelite analüüsi tuleb leida statistilistel alustel kõige suurema kirjeldusvõimega mudel. Selleks saab kasutada statistilisi kriteeriume, nagu Akaike informatsioonikriteeriumit (AIC) või Bayesiani informatsioonikriteeriumit (BIC). Need kriteeriumid hindavad mudelite statistilist

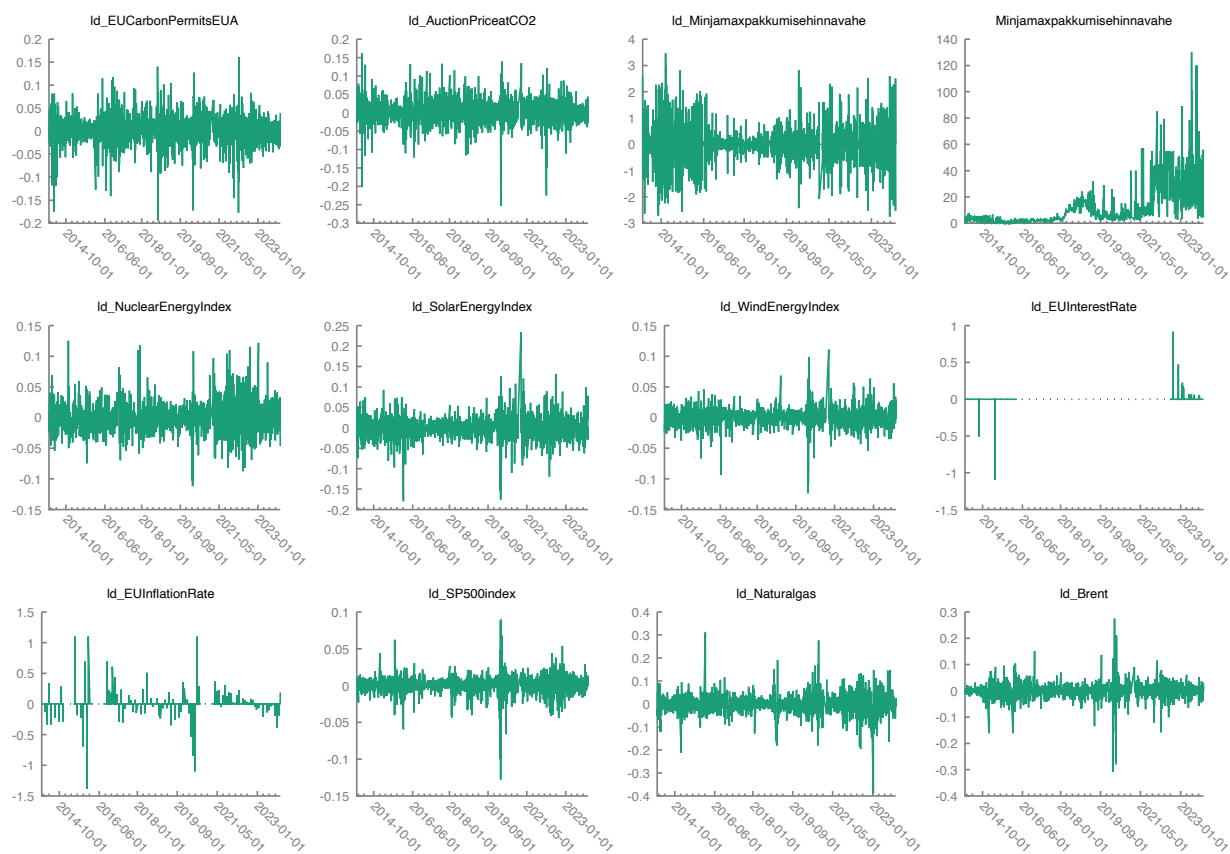
olulisust, arvestades nende keerukust ja sobivust andmetega. Mudelit, millel on madalam AIC- või BIC-väärtus, peetakse sobivuselt kõige paremaks mudeliks (Baltagi, 2008).

3. Andmeanalüüs ja selle tulemused

Selles peatüki esimeses antakse ülevaade VAR-mudelis kasutatavate aegridade analüüsimisest. Viiakse läbi aegridade testimine trendide leidmiseks ja eemaldamiseks. Määratakse optimaalsed viitajad ning seejärel koostatakse VAR-mudel. Teises osas viiakse läbi paneelandemete regressioonimudeli analüüs. Kontrollitakse aegridade normaaljaotusele allumist ning seejärel viiakse läbi erinevad paneelandemetele suunatud regressioonimudelid, sealhulgas eraldi mudeli iga ettevõtte kohta, ühendatud mudeli, fikseeritud efektiga mudeli, juhusliku efektiga mudeli ning kahe-suunalise mudeli. Peale analüüsimist tuuakse välja kõige sobivam mudel, kasutades selleks statistilisi kriteeriume: Akaike informatsioonikriteeriumit (AIC) ja Bayesiani informatsioonikriteeriumit (BIC). Kolmandas osas kirjeldatakse saadud tulemusi ning tuuakse välja tähelepanud ja soovitused analüüsimise edasiarenduseks.

3.1 VAR-mudeli andmeanalüüs

Analüüsi alustati päevaste hindade aegridade analüüsimisest. Esimese etapina kontrolliti analüüsis kasutatavate aegridades trendide olemasolu. Analüüsi tulemustena saab välja tuua, et trend ehk ühikjuur esineb ning need eemaldatai: süsinikuhinna EUA-s, EUA enampakkumise hinnas (*Auction Price at CO₂*), miinimum ja maksimum pakkumishinna vahes, tuumaenergiaindeksis, päikeseenergiaindeksis, tuuleenergiaindeksis, EL-i intressimäärades, EL-i inflatsioonimääras, S&P 500 indeksis, maagaasis, ja toornaftal Brent aegreas. Dicky-Fulleri testi põhjal on aga pakkumise-nõudluse aegrida statsionaarne ehk trendi ei esine.



Joonis 3. Aegread peale trendide eemaldamist 07.01.2014 kuni 18.12.2023.

Allikas: Koostatud autori kogutud andmete baasil Gretli tarkvara abil.

Trendide eemaldamiseks võeti trendi omavatest aegridadest esimest järku logaritmilised diferentsid. Joonisel 3 kuvatud aegridade graafikute alusel ei ole enam võimalik trende eristada. Selgitamaks välja, kas kõikidest trendi omanud aegridadest on trendid eemaldatud, testiti aegridu uuesti Dicky-Fulleri testiga. Tulemused näitavad, et aegridadest on trendid eemaldatud ja kõik aegread on statsionaarsed.

Peale aegridades olevate trendide eemaldamist ning statsionaarsuse saavutamist tuli määrata VAR-mudeli läbiviimiseks sobilik viitaegade arv. Viitaegade määramiseks koostati optimaalsete viitaegade arvu määramise mudel, kuid kohe selgus, et viitaegade arvu ei ole võimalik määrata tulenevalt aegridades olevate puuduvate väärtuste tõttu. Selgus, et `ld_EUInterestRate` ja `ld_EUInflationRate` aegridades on puuduvad väärtused (joonis 4), mis ei lase neid mudelis kasutada, ning need aegread eemaldati viitaegade määramise mudelist. Seejärel viidi uuesti läbi optimaalsete viitaegade arvu määramine, mille alusel määrati viitaegade arvuks $p(LR)$ -i põhjal 10. Saadud tulemuse alusel koostati VAR-mudel (lisa 5). Mudelist selgub, et Portmanteau' testi põhjal ei moodusta jääkliikmed valget müra, ning testides autokorrelatsiooni, selgub ka, et jääkliikmetes

esineb autokorrelatsioon. Saadud tulemustest võib järeldada, et mudel ei ole sobilik edasiseks analüüsimiseks ja prognoosimiseks ning mudeli parandamiseks tuleb kontrollida eksogeensete tunnuste võimalikku esinemist. VAR-mudelit analüüsid selguski, et maagaas (*natural gas*) ei oma ühegi teise tunnusega ühe- või mõlemasuunalist mõju ehk tegemist on eksogeense tunnusega, mis tuleb mudelist eemaldada. Seejärel viidi uuesti läbi optimaalsete viitaegade määramine, mille põhjal on viitaegade arv endiselt 10. Saadud tulemuse alusel koostati uus VAR-mudel, kuid endiselt selgus Portmanteau' testi põhjal, et mudeli jääkliikmed ei moodusta valget müra ning seega ei ole tegemist prognoosimiseks sobiliku mudeliga.

Tulenevalt asjaolust, et analüüsitud mudelite puhul ei ole tegemist prognoosimisvõimeliste mudelitega, otsustas autor viia läbi analüüsi paaridena. Testiti süsinikuheitme hinna (*EU Carbon Permits* EUA) ja teiste tunnuste vahelisi seoseid, leidmaks tunnused, mis omavad statistiliselt olulist ühe- või mõlemasuunalist mõju süsinikuheitme hinnale (tabel 4).

Tabel 4. Paaride analüüsitud aegridade tulemused

Võrdluspaar	Viitaeg p(LR)	Portmanteau test	Autokorrelatsioon p-väärtus	ARCH-test p-väärtus	Jääkliikmete normaaljaotus
ld_EUCarbonPermitsEUA / ld_AuctionPriceatCO2	10	0,0005			
ld_EUCarbonPermitsEUA / ld_Min/maxpakkumisehinnavahe	8	0,0915	0,0002	0,0000	0,0000
ld_EUCarbonPermitsEUA / NoudlusPakumine	8	0,0015			
ld_EUCarbonPermitsEUA / ld_NuclearEnergy indeks	6	0,5538	0,9587	0,0000	0,0000
ld_EUCarbonPermitsEUA / ld_SolarEnergy indeks	6	0,3111	0,7615	0,0000	0,0000
ld_EUCarbonPermitsEUA / ld_WindEnergy indeks	6	0,0880	0,6565	0,0000	0,0000
ld_EUCarbonPermitsEUA / ld_S&P500 indeks	6	0,0597	0,6676	0,0000	0,0000
ld_EUCarbonPermitsEUA / ld_Brent toornafta	10	0,0001			

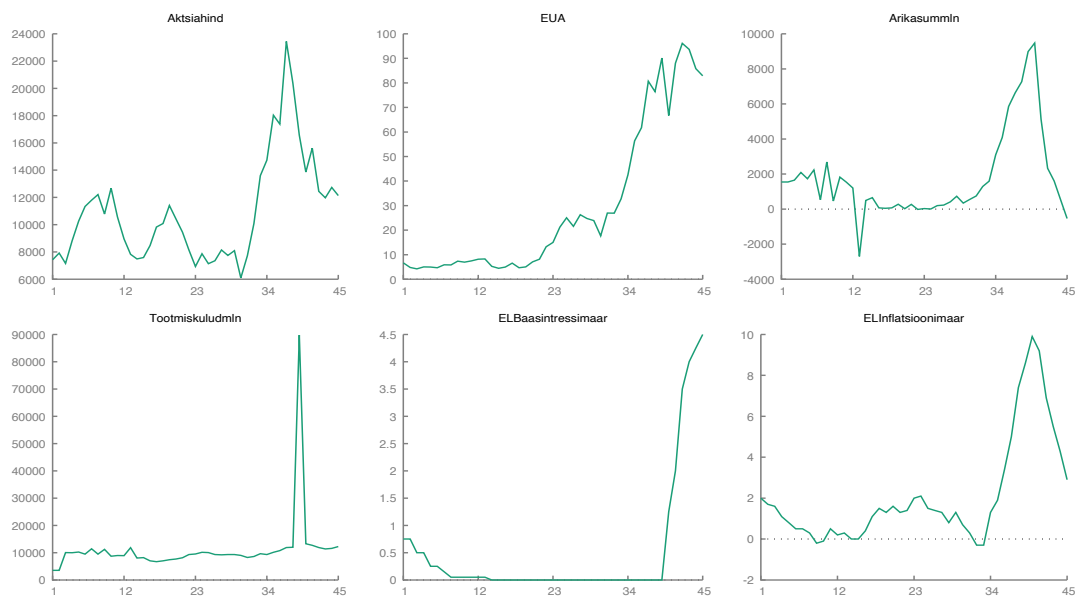
Allikas: Autori kogutud andmete baasil.

Paaride kaupa läbi viidud analüüsist selgub, et EUA hinnamuutuste suhtes omasid mõju vaid $ld_SolarEnergy$ indeksi ja $ld_S\&P500$ indeksi. $ld_SolarEnergy$ indeksi mudeli puhul saab tulemustena välja tuua, et jääkliikmed moodustavad valge müra. VAR-i pöördjuuretest näitas, et saadud tulemused asetsevad ühikringis, autokorrelatsioonitest näitas, et jääkliikmetes ei esine autokorrelatsiooni. ARCH-testi tulemusena selgus, et mudelis esineb heteroskedastiivsus ja Doornik-Hanseni testi tulemuse alusel jääkliikmed ei allu normaaljaotusele. Mudeli F-testist selgus, et $ld_EUCarbonPermitsEUA$ ja $ld_SolarEnergy$ indeksi vahel esineb ühepoolne mõju, kus $ld_SolarEnergy$ indeks omab statistiliselt olulist mõju $ld_EUCarbonPermitsEUA$ hinnale. $ld_S\&P500$ indeksi mudeli puhul saab tulemustena välja tuua, et jääkliikmed moodustavad valge müra. VAR-i pöördjuuretest näitas, et saadud tulemused asetsevad ühikringis, autokorrelatsiooni test näitas, et jääkliikmetes ei esine autokorrelatsiooni. ARCH-testi tulemusena selgus, et mudelis esineb heteroskedastiivsus ja Doornik-Hanseni testi tulemuse alusel jääkliikmed ei allu normaaljaotusele. Mudeli F-testist selgus, et $ld_EUCarbonPermitsEUA$ ja $ld_S\&P500$ indeksi hinna vahele esineb ühepoolne mõju, kus $ld_S\&P500$ indeks omab statistiliselt olulist mõju $ld_EUCarbonPermitsEUA$ hinnale.

Tulenevalt saadud paaride kaupa analüüsitud tulemustest otsustas autor koostada VAR-mudeli, analüüsides $ld_EUCarbonPermitsEUA$, $ld_SolarEnergy$ indeksi ja $ld_S\&P500$ indeksi aegridasid. Optimaalsete viitaegade arvu määramiseks mudeli alusel oli p(LR) testi järgi sobilik viitaegade arv 6. Viies läbi VAR-mudeli analüüsi (lisa 6), selgus Portmanteau' testist ($p=0,2314$), et mudeli jääkliikmed moodustavad valge müra. VAR-i pöördjuuretest näitas, et saadud tulemused asetsevad ühikringis, jääkliikmete autokorrelatsiooni test tulemusega $p=0,1716$ näitas, et autokorrelatsiooni ei esine. ARCH-testi tulemusena selgus, et mudelis esineb heteroskedastiivsus ja Doornik-Hanseni testi tulemuse alusel jääkliikmed ei allu normaaljaotusele. Mudeli F-testist selgus, et $ld_EUCarbonPermitsEUA$, $ld_SolarEnergy$ indeksi ja $ld_S\&P500$ indeksi hinna vahele esineb ühepoolne mõju, kus $ld_SolarEnergy$ indeks ja $ld_S\&P500$ indeks omavad statistiliselt olulist mõju $ld_EUCarbonPermitsEUA$ hinnale.

3.2. Paneelandmete regressioonmudeli analüüs

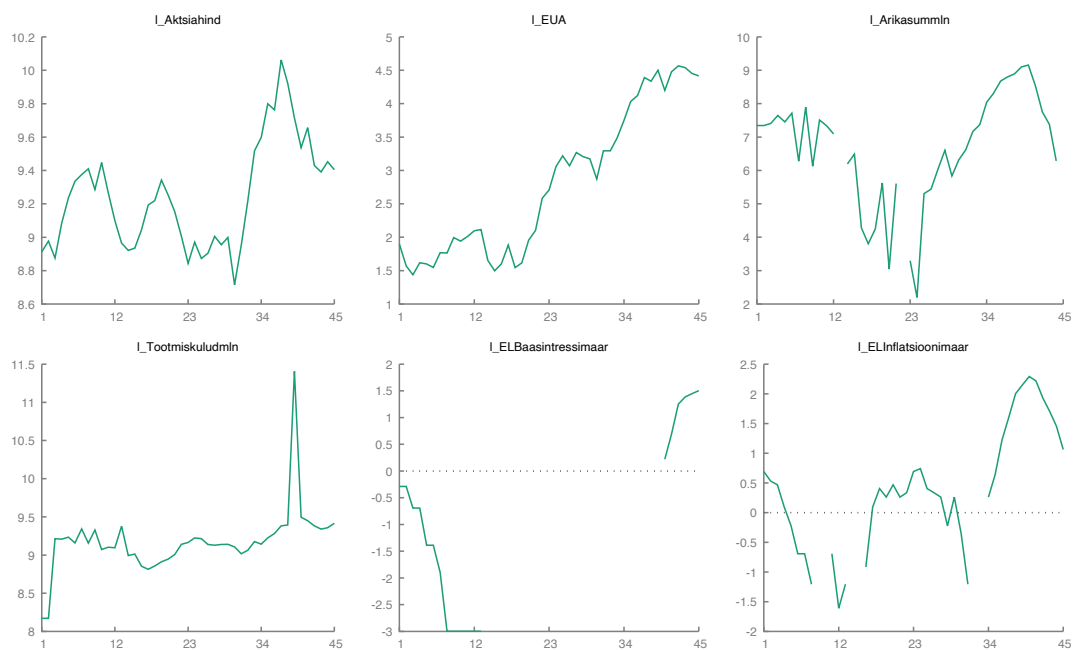
Analüüsi alustati kvartaalsete andmete korrastamisest ja analüüsimisest. Esimese etapina tuli vaadata analüüsis kasutatavates aegridades normaaljaotuse esinemist. Joonisel 4 kuvatud graafikute alusel võib eeldada, et valitud aegridades esineb kõrvalekaldeid normaaljaotuses.



Joonis 4. Aegridade normaaljaotuse testimine.

Allikas: Koostatud autori kogutud andmete baasil Gretli tarkvara abil.

Kui aegridades ei esine normaaljaotust ja esineb suur asümmeetria, on soovitatav analüüsi läbiviimiseks antud aegridade logaritmine. Aegridasid analüüsiti sagedustabeli testiga, mille tulemustena saab välja tuua, et tugev asümmeetria esines ning vastavalt võeti ka logaritmi: EUA ärikasumi, tootmiskulude, EL-i baasintressimäära ja EL-i inflatsioonimäära aegridadest.



Joonis 5. Logaritmitud aegread.

Allikas: Koostatud autori kogutud andmete baasil Gretli tarkvara abil.

Andmeanalüüs: esimese mudelina kasutati eraldi mudelit iga ettevõtte kohta. Ettevõtete löikes lubatakse erinevusi nii vabaliikmetes kui ka seletavate tunnuste kordajates.. Analüüsimise käigus testiti, millisel määral mõjutavad ettevõtete aktsiahinda EUA, ärikasumi, tootmiskulude, EL-i inflatsioonimäära ja EL-i baasintressimäära aegread. Tabelis 5 on toodud paneelandmete analüüsi tulemused ettevõtete löikes. Lisaks arvvaartustele on toodud tabelis välja ka statistilise olulisuse määr, kus: *** tähistab olulisust nivool 0,01, ** olulisust nivool 0,05 ning * olulisust nivool 0,1. Valimi maht, determinatsioonikordaja ja korrigeeritud determinatsioonikordaja on esitatud tabeli viimastel ridadel. Sulgudes märgitud väärtused tähistavad standardvigasid.

Tabel 5. Ettevõtte baasil teostatud paneelandmete analüüs

	Ettevõtte 1 (BP)	Ettevõtte 2 (Total Energies)	Ettevõtte 3 (Finnair)	Ettevõtte 4 (Lufthansa)	Ettevõtte 5 (Arcelor Mittal)	Ettevõtte 6 (Tyssen krupp)	Ettevõtte 7 (DSV)	Ettevõtte 8 (Maersk)
Vabaliige	-1.296 (2,898)	-2,145 (1,728)	-10,723* (4,974)	12,840* (6,638)	-7,240* (5,400)	-2,863 (6,327)	2,742 (2,222)	6,730*** (1,126)
1_EUA	0,138* (0,072)	0,196*** (0,023)	-0,488 (0,105)	-0,041 (0,077)	0,261*** (0,059)	-0,326*** (0,062)	0,729*** (0,135)	0,148** (0,064)
1_Arikasum	0,025 (0,023)	0,185*** (0,051)	0,714*** (0,136)	-0,014 (0,030)	0,204*** (0,033)	0,097** (0,030)	-0,004 (0,119)	0,050 (0,084)
1_Tootmiskulud	0,621** (0,246)	0,368* (0,177)	0,859 (0,727)	-1,149 (0,764)	0,808 (0,551)	0,639 (0,688)	0,130 (0,252)	0,193 (0,125)
1_EL Baasintressi	0,057 (0,038)	0,014 (0,019)	-0,305** (0,095)	0,079 (0,054)	0,114** (0,038)	0,011 (0,081)	0,058 (0,059)	-0,036 (0,091)
1_EL Inflatsiooni	-0,063 (0,051)	-0,210*** (0,032)	0,177 (0,108)	-0,110 (0,068)	-0,108 (0,057)	-0,100 (0,108)	-0,167* (0,091)	-0,038 (0,134)
R ²	0,6489	0,9394	0,9386	0,7638	0,9880	0,9669	0,9913	0,7377
R ² _a	0,4295	0,9091	0,8619	0,6163	0,9780	0,9394	0,9873	0,5920
n	45	45	45	45	45	45	45	45

Allikas: Koostatud autori kogutud andmete baasil Gretli tarkvara kasutades.

Tabelist 5 selgub, et kolm kõige suurema kirjeldusvõimega mudelit olid DSV R²=0,9913, Archelor Mittal R²=0,9880 ja Tyssenkrupp R²=0,9669 ettevõtete puhul. Kõikide ettevõtete puhul saab välja tuua, et 1_EUA omas statistiliselt olulist mõju olulisuse aktsiahinnale nivool 0,01. Samuti saab

välja tuua, et statistiliselt olulist mõju aktsiahinnale avaldas Arcelor Mittali suhtes ka 1_Arikasum nivool 0,01 ning 1_EL Baasintressimäär nivool 0,05. Tyssenkrupp ettevõtte suhtes omas lisaks 1_EUA-le statistiliselt olulist mõju aktsiahinnale ka 1_Arikasum nivool 0,05.

Edasine paneelandmete analüüs toimus koondmudeli baasil, kus selleks, et leida kõige suurema kirjeldusvõimega mudel, viidi andmete põhjal läbi erinevad analüüsimise mudelid: ühendatud mudel, fikseeritud efektiga mudel, juhusliku efektiga mudel ning kahesuunaline mudel koos ajaefektiga. Analüüsimist alustati, kasutades esmalt ühendatud mudelit.

Tabel 6. Paneelandmete koondmudeli analüüsimudelite ülevaade.

	Ühendatud mudel	FE mudel	RE mudel
Vabaliige	-6,099*** (2,166)	-3,521*** (1,247)	-4,592*** (1,348)
1_EUA	-0,225 (0,310)	0,119** (0,046)	0,117** (0,046)
1_Arikasum	0,804*** (0,186)	0,185*** (0,036)	0,187*** (0,037)
1_Tootmiskulud	0,569** (0,263)	0,718*** (0,115)	0,737*** (0,115)
1_EL Baasintressi	-0,041 (0,361)	0,058 (0,052)	0,058 (0,053)
1_EL Inflatsiooni	-0,011 (0,488)	-0,201*** (0,071)	-0,201*** (0,072)
R2	0,4212	0,9889	
R2a	0,3935	0,9875	
n	110	110	110

Allikas: Koostatud autori kogutud andmete baasil Gretli tarkvara kasutades.

Mudelis testiti, millisel määral mõjutavad aktsiahinda EUA, ärikasumi, tootmiskulude, EL-i inflatsioonimäära ja EL-i baasintressimäära aegread. Tabeli 6 alusel saab välja tuua, et mudeli põhjal omavad statistiliselt olulist mõju nivool 0,01 1_Arikasum ja nivool 0,05 1_Tootmiskulud. White'i testi põhjal saab ka välja tuua, et mudelis esineb heteroskedastiivsus $p = 0,003537$. Järgnevalt viidi paneelandmete põhjal läbi fikseeritud efektiga mudeli analüüs. Esmalt näitas test erinevate rühmade lõikude kohta, et fikseeritud efektiga mudel $p = 3,25771 \cdot 10^{-80}$ (lisa 8) on parem

kui Ühendatud mudel. Testides heteroskedastiivsust, näitas Waldi test, et heteroskedastiivsus esineb $p = 6,69645 \cdot 10^{-246}$. Kuna esines heteroskedastiivsus, viidi mudeli analüüs uuesti läbi, kasutades kohandatud standardvigu. Mudelist selgus, et kohandatud standardvead on mudelis suuremad ja jääkliikmed alluvad normaaljaotusele. Lisaks viidi läbi ka juhusliku efektiga mudel (lisa 9), testimaks, kas see on parem kui fikseeritud efektiga mudel (tabel 6). Mudeli analüüsis selgus Breuch-Pagani testist $p = 7.22049 \cdot 10^{-141}$, et juhusliku efektiga mudel on parem kui fikseeritud efektiga mudel. Hausmani test aga näitas, et GLS hinnangud on mõjusad ning mudelit võib kasutada. Lisaks testiti ka fikseeritud mudelis ajaefekti mõju paneelandmetele, kuid tulenevalt analüüsis välja toodud Waldi testile selgus, et tuleb vastu võtta nullhüpotees ehk ajaefekt mudelis mõju ei avalda.

Saadud tulemustest põhjal võib tuua välja, et paneelandmete koondmudeli baasil tuleb kasutada juhusliku efektiga (RE) mudelit. Analüüsi mudelist selgus, l_EUA omab statistiliselt olulist mõju $l_Aktiahinnale$ nivool 0,05. Juhusliku efektiga mudeli hinnangud on mõjusad ja mudelit saab kasutada.

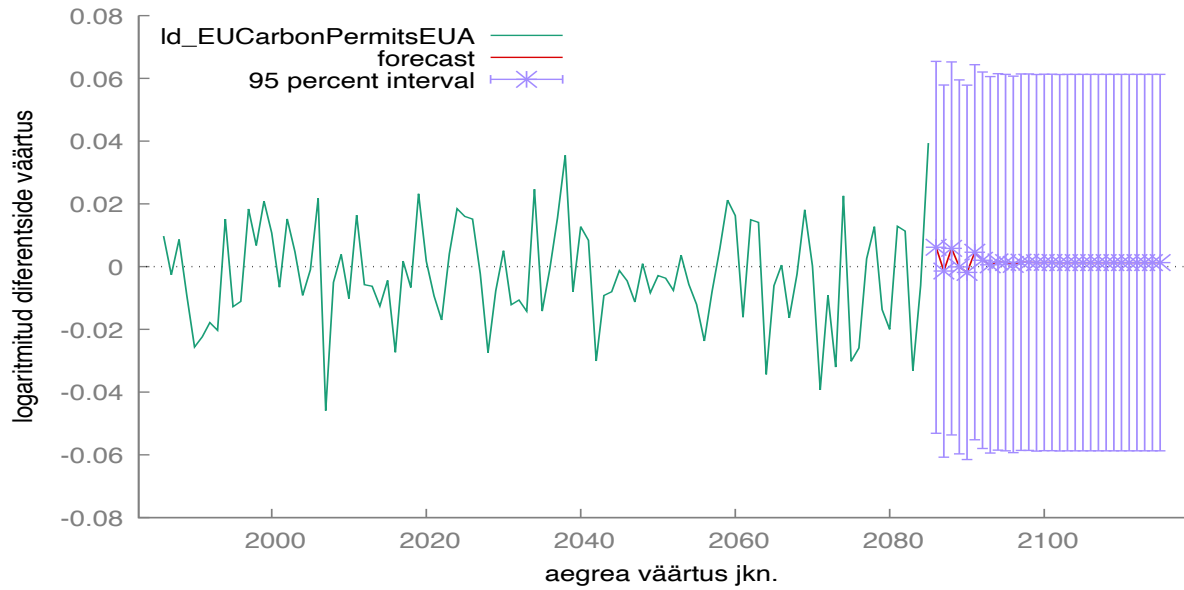
3.3. Tulemused ja järeldused

Lõputöö põhianalüüsi esimeses osas oli eesmärgiks leida seoseid süsinikuturul kaubeldava süsinikuheitme loa EUA (*EU Carbon Permits* EUA), lähtuvalt varasemate uurimustööde tulemustest, ning autori valitud sisendite vahel. Analüüsi algusjärgus kontrolliti valitud aegridade statsionaarsust Dicky-Fulleri testiga ning vajadusel need eemaldati. Trendi sisaldusid ja need eemaldati süsiniku börsihinna EUA (*EUCarbonPermitsEUA*), EUA enampakkumise hinna (*AuctionPriceatCO2*), Miinimum ja maksimum pakkumise hinnavahe, tuumaenergiaindeksi (*NuclearEnergyIndex*), päikeseenergiaindeksi (*SolarEnergyIndex*), tuuleenergiaindeksi (*WindEnergyIndex*), EL-i intressimäära (*EUIntrestRate*), EL-i inflatsioonimäära (*EUInflationRate*), S&P 500 indeksi, Maagaasi (*Naturalgas*), ja toornafta Brenti aegridadest. Nõudlus-Pakkumine aegrida oli aga Dicky-Fulleri testi põhjal statsionaarne. Parandatud aegridade põhjal kontrolliti uuesti aegridade statsionaarsust, mida ka Dicky-Fulleri test kinnitas.

Peale statsionaarsuse saavutamist määrati $p(LR)$ testi põhjal optimaalsete viitaegade arv. Kohe selgus, et $ld_EUInterestRate$ ja $ld_EUInflationRate$ aegridades on puuduvad väärtused, mis ei

võimalda neid mudelis kasutada, ning need aegread eemaldati viitaegade määramise mudelist. Seejärel määratleti uuesti VAR-mudeliks vajalike viitaegade arv ning koostati VAR-mudel. Mudeli analüüsimisel näitas Portmanteau' test, et jääkliikmed ei moodustanud valge müra ning jääkliikmetes esines autokorrelatsioon. Mudeli parandamiseks tuli kontrollida eksogeensete tunnuste esinemist, kus selgus, et `ld_Naturalgas` on eksogeenne tunnus, ning see eemaldati mudelist. Peale eksogeense tunnuse eemaldamist viidi läbi uuesti optimaalsete viitaegade määramine ja seejärel VAR-mudeli modelleerimine, kuid endiselt näitas Portmanteau' test, et mudeli jääkliikmed ei moodusta valget müra ning jääkliikmetes esineb autokorrelatsioon. Tulenevalt antud asjaolust ei olnud võimalik mudelit kasutada edasiseks analüüsimiseks ja prognoosimiseks.

Asjaolust, et koondmudelil puudus prognoosimisvõime, otsustas autor tunnuste võimalikke hinnamuutuste ülekandumisi ja seeläbi mõju süsinikuheitme loa hinnale (`ld_EUCarbonPermitsEUA`) analüüsida paaride kaupa. Analüüsimisel selgus, et statistiliselt olulist mõju süsinikuheitme loa EUA hinnale omavad `ld_SolarEnergy` indeksi ja `ld_S&P500` indeksi aegread. Tulenevalt sellest otsustas autor koostada saadud info põhjal ühe VAR-prognoosimismudeli, analüüsides `ld_EUCarbonPermitsEUA`, `ld_SolarEnergy` indeksi ja `ld_S&P500` indeksi aegridasid ühtse mudelina. Mudelit analüüsides selgus, et Portmanteau' testi alusel mudeli jääkliikmed moodustavad valge müra. VAR-i pöördjuuretest näitas, et saadud tulemused asetsevad ühikringis. Autokorrelatsiooni test tulemusega $p = 0,1716$ näitas, et jääkliikmetes ei esine autokorrelatsiooni, ARCH-testi tulemusena selgus, et mudelis esineb heteroskedastiivsus ja Doornik-Hansenni testi tulemusena, et jäägid ei allu normaaljaotusele. Mudeli F-testist selgus sarnaselt paarides analüüsitud tulemustele, et `ld_EUCarbonPermitsEUA`, `ld_SolarEnergy` indeksi ja `ld_S&P500` indeksi hinna vahele esineb ühepoolne mõju, kus `ld_SolarEnergy` indeks ja `ld_S&P500` indeks omavad statistiliselt olulist mõju `ld_EUCarbonPermitsEUA` hinnale. Joonise 6 graafiku alusel saab tulemusi tõlgendades tuua välja asjaolu, et kuigi kinnitust leidis `ld_SolarEnergy` indeksi ja `ld_S&P500` indeksi ühepoolne statistiliselt oluline mõju `ld_EUCarbonPermitsEUA` väärtuste muutusele, siis prognoosimise mõistes ei ole tulemus kuigi efektiivne, kuna prognoosi usalduspiirid on väga suured.



Joonis 6. EUA hinna prognoosimine $ld_SolarEnergy$ indeksi ja $ld_S\&P500$ indeksi baasil.

Allikas: Koostatud autori kogutud andmete baasil Gretli tarkvara abil.

Valemina saab prognoosimist esitada (valemid 9, 10 ja 11):

$$y_1 = ld_EUCarbonPermitsEUA$$

$$y_2 = ld_SolarEnergyIndex$$

$$y_3 = ld_SP500index$$

$$y_{1t}^F = \alpha_1 + \sum_{i=1}^6 \beta_{1i} y_{1t-i} + \sum_{i=1}^6 \gamma_{1i} y_{2t-i} + \sum_{i=1}^6 \delta_{1i} y_{3t-i} \quad (9)$$

$$y_{2t}^F = \alpha_2 + \sum_{i=1}^6 \beta_{2i} y_{1t-i} + \sum_{i=1}^6 \gamma_{2i} y_{2t-i} + \sum_{i=1}^6 \delta_{2i} y_{3t-i} \quad (10)$$

$$y_{3t}^F = \alpha_3 + \sum_{i=1}^6 \beta_{3i} y_{1t-i} + \sum_{i=1}^6 \gamma_{3i} y_{2t-i} + \sum_{i=1}^6 \delta_{3i} y_{3t-i} \quad (11)$$

kus:

α_1 , α_2 ja α_3 on konstandid

β_{1i} , β_{2i} ja β_{3i} on kordajad

γ_{1i} , γ_{2i} ja γ_{3i} väärtused võetakse tabelist

Tabel 7. VAR-mudeli alusel kuvatud kordajate väärtused viitajaga 6

	Kordajad esimeses, y_1 mudelis	Kordajad teises, y_2 mudelis	Kordajad kolmandas, y_3 mudelis
const	0,00118405	0,000170675	0,000541582
$y_{1\ t-1}$	-0,0137184	0,0137725	0,00194957
$y_{1\ t-2}$	-0,0423971	0,0064503	0,00755682
$y_{1\ t-3}$	0,00714234	-0,0141841	0,000526333
$y_{1\ t-4}$	-0,0313610	-0,00858675	0,00749864
$y_{1\ t-5}$	-0,0587853	-0,0193803	-0,0145948
$y_{1\ t-6}$	0,0511028	-0,0125246	-0,00530608
$y_{2\ t-1}$	-0,00346502	0,0648743	0,0401297
$y_{2\ t-2}$	0,0675921	0,0378588	0,0242176
$y_{2\ t-3}$	0,0618148	-0,000881673	0,00814244
$y_{2\ t-4}$	-0,0570328	-0,0323903	0,00273211
$y_{2\ t-5}$	-0,0332181	-0,0388379	-0,0155136
$y_{2\ t-6}$	0,0335392	0,0274907	0,00293526
$y_{3\ t-1}$	0,105581	-0,0618383	-0,150100
$y_{3\ t-2}$	-0,0819963	-0,0446589	-0,0293975
$y_{3\ t-3}$	0,0433728	0,0310848	0,0504809
$y_{3\ t-4}$	0,160258	-0,00540197	-0,0799037
$y_{3\ t-5}$	0,108457	0,0572053	0,0361164
$y_{3\ t-6}$	0,0997821	0,0091381	-0,0269870

Allikas: Autori kogutud andmete baasil.

Tulenevalt asjaolust, et prognoosimismudelid kasutati andmetena logaritmiliselt diferentsitud aeGRIDASID, tuli saadud tulemused teisendada tagasi päevasteks sulgemishindadeks. Selle saavutamiseks kasutati valemit (valemid 12, 13, 14, 15):

$$z_t = \ln y_t - \ln y_{t-1} = \ln \left(\frac{y_t}{y_{t-1}} \right) \quad (12)$$

$$\ln \left(\frac{y_t}{y_{t-1}} \right) = z_t \quad (13)$$

$$\frac{y_t}{y_{t-1}} = e^{z_t} \quad (14)$$

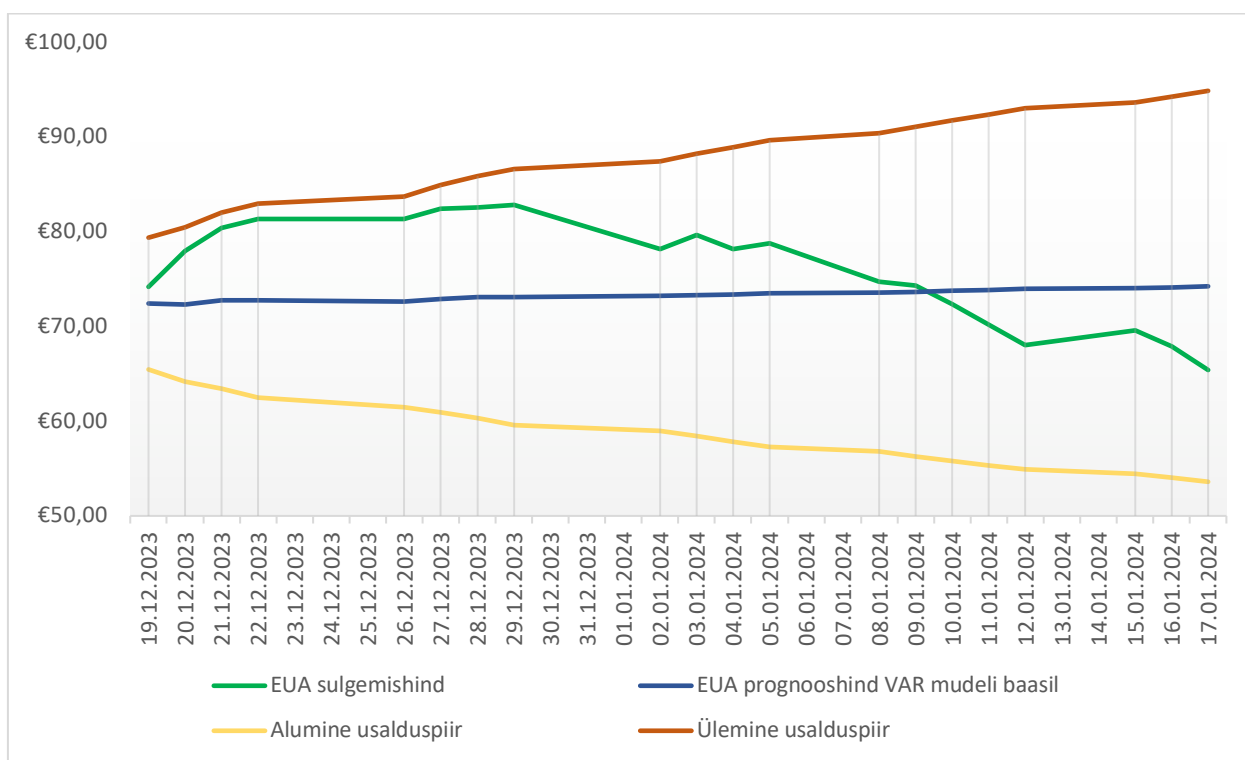
$$y_t = y_{t-1} e^{z_t} \quad (15)$$

kus:

z_t – on hind

y_t – on logaritmi diferents z

Joonisel 6 on näha VAR-mudeli alusel analüüsitud $Id_EUCarbonPermitsEUA$ teisendatud sulgemishindade prognoositud graafik, milles kuvatakse EUA prognooshinna ja EUA reaalse sulgemishinna hinnaliikumine. Jooniselt nähtub, et kuigi analüüsis saadud hinnamuutused jäävad usalduspiiridesse, ei ole mudeli puhul tegemist piisavalt täpse prognoosimisega. Seda kinnitab ka lisa 7, kus turu sulgemishinna ja prognooshinna vahelise errori põhjal arvatud RMSE on 7,48, moodustades veakoeffitsiendiks keskmisest sulgemishinnast 10,30%, mis finantsprognoosimisel on suur määr.



Joonis 7. EUA hinna ja VAR-mudeli alusel prognooshinna võrdlus teisendatult sulgemishinnaks.

Allikas: Koostatud autori kogutud andmete baasil Exceli tarkvara abil.

Uurimistö teise osana viidi läbi andmeanalüüs paneelandmete baasil, leidmaks kinnitust, kas süsinikuturul kaubeldav süsinikuheitme loa EUA (EUCarbonPermitsEUA) hind omab statistiliselt olulist mõju ettevõtete aktsiahinnale, mida on kinnitanud ka varasemad uurimistööd. Esimese etapina kontrolliti analüüsis kasutatavates aegridades normaaljaotuse esinemist. Kui aegridades ei esinenud normaaljaotust ehk esines tugev asümmeetria, mida analüüsiti sagedustabeli testiga, siis võeti nendest aegridadest logaritmid. Aegridasid analüüsiti sagedustabeli testiga. Analüüsi

tulemustena võeti logaritmi EUA, aktsiahinna, ärikasumi, tootmiskulude, EL-i baasintressimäära ja EL-i inflatsioonimäära aegridadest.

Analüüsid esialdi mudelit iga ettevõtte kohta, selgus, et I_{EUA} omas statistiliselt olulist mõju nivool 0,01 DSV, Arcelor Mittali, Thyssenkruppi ja Total Energy suhtes, nivool 0,05 Maerski suhtes ja nivool 0,1 BP suhtes. Samas selgus, et statistiliselt olulist mõju ei avaldanud I_{EUA} lennufirmadele. Seda võib selgitada asjaoluga, et lennufirmad on liidetud süsinikehitme vähendamiskohustusega alles valimiperioodi lõpus ning nendele jagatavate tasuta süsinikehitme lubade määr on veel kõrge. Sellega võiks seletada ka asjaolu, et EUA hinnamuutus ei oma sellisel määral mõju ettevõtte finantsnäitajate suhtes.

Samuti viidi läbi analüüs koondmudeli põhjal. Ühendatud mudelis selgus, et nivool 0,01 omasid statistiliselt olulist mõju vabaliige ja $I_{Arikasum}$, nivool 0,05 aga $I_{Tootmiskulud}$. Seejärel viidi koostati fikseeritud efektiga mudel. Test erinevate rühmade löikude kohta näitas, et fikseeritud efektiga mudel $p = 3,25771 \cdot 10^{-80}$ on parem kui ühendatud mudel. Kuna mudelis esines heteroskedastiivsus, viidi mudeli analüüs läbi uuesti, kasutades kohandatud standardvigu. Analüüsist selgus, et kohandatud standardvead on mudelis suuremad ja jääkliikmed alluvad normaaljaotusele $p = 0,31567$. Fikseeritud efektiga mudeli puhul testiti ka ajaefekti olulisust, kuid tulenevalt analüüsist välja toodud Waldi testile selgus, et tuleb vastu võtta nullhüpotees ehk ajaefekt mudelis mõju ei avalda. Samuti viidi läbi juhusliku efektiga mudel testimaks, kas see on parem kui fikseeritud efektiga mudel. Mudeli analüüsist selgus Breuch-Pagani testist $p = 7,22049 \cdot 10^{-141}$, et juhusliku efektiga mudel on parem kui fikseeritud efektiga mudel. Hausmani test näitas, et GLS hinnangud on mõjusad ning mudelit võib kasutada. Saadud analüüsi parameetrite alusel saab juhusliku efektiga mudelit väljendada järgmiselt:

$$\ln(\text{Aktsiahind}) = -4,592 + 0,117 \ln(\text{EUA}) + 0,187 \ln(\text{Arikasum}) + 0,737 \ln(\text{Tootmiskulud}) + 0,058 \ln(\text{ELBaasintressimäär}) - 0,201 \ln(\text{EL Inflatsoon}) + u$$

Lõpetuseks saab järeldada, et EUA hinda mõjutab sarnaselt varasemas Zhao *et al.* (2021) uurimistöös välja toodud tulemustega S&P 500 indeks, samuti leidis kinnitust taastuvenergiasektoris oleva päikeseenergiaindeksi statistiliselt oluline mõju EUA hinnale. Mõlema näitaja puhul oli tegemist ühepoolse hinnamuutuste ülekandumisega, kus siis mõlemad instrumendid omasid statistiliselt olulist mõju just EUA hinnale. Samas Zhao *et al.* (2021)

uurimuses välja toodud seostest Brenti toornaftaga ja Alberola *et al.* (2009) uurimistööst välja toodud seostest pakkumise ning nõudlusega antud uurimistöö statistiliselt olulist hindade ülekandumist ei leidnud. Saadud tulemuste põhjal koostatud prognoosimismudeli põhjal saab aga välja tuua, et kuigi hinnamuutused jäävad usalduspiiridesse, ei ole mudeli puhul tegemist piisavalt täpse prognoosimismudeliga. Seda kinnitab ka turu sulgemishinna ja prognooshinna vahelise errori põhjal arvatud RMSE, mis on 7,48, moodustades veakoeffitsiendiks keskmisest sulgemishinnast 10,30%, olles finantsprognoosimiseks suhteliselt suur määr. Paneelandmete analüüsi osas selgus, et ettevõtete analüüsi puhul saab kinnitust Chan *et al.* (2013) uurimistöös välja toodud EUA hinna mõju nii energiasektori kui ka terasesektori ettevõtetele, samuti leidis kinnitust mõju avaldumine transpordiettevõtetele. Samas aga ei leidnud kinnitust EUA mõju avaldumine lennundusettevõtetele, mida võiks selgitada asjaolu, et lennundussektorile jagati antud valimi perioodil veel märkimisväärne hulk süsinikuheitme lubasid tasuta ning mõju võiks avalduda alles hilisemal perioodil, kui nad peavad hakkama kogu heitmetaseme ulatuses lubasid otse EU ETS-i turult ostma.

KOKKUVÕTE

Keskkonnapoliitika ja selle abil tööstuse saastetasemete vähendamine on juba mõnda aega olnud globaalselt populaarne teema. Nii riikide üleselt kui ka riikide siseselt tehakse suuri jõupingutusi ja kulutatakse väga suurel hulgal raha, et muuta tööstuse jalajälge keskkonnale väiksemaks. Euroopa Liit on püstitanud endale grandioosse eesmärgi saavutada aastaks 2050 aastaks kogu liidu üleselt süsinikneutraalne tootmine. Kõik sai alguse Kyoto protokollist, mis oli oma olemuselt riikide ja ühenduste vaheline kokkulepe, kus määratleti ära tööstussektorid, vähendatavad kasvuhoonegaasid ja riiklikud piirmäärad ajalises graafikus. Kyoto protokoll jätkuna esitleti juba 2000. aasta märtsis Euroopa Komisjon rohelist raamatut, milles kirjeldati esmakordselt ideelist lahendust Euroopa Liidu sisese heitkogustega kauplemise süsteemi võimaliku ülesehituse kohta. See oli alguseks läbirääkimistele, mis võimaldas kõikidel sidusrühmadel, nii valitsusse kuuluvatel kui ka valitsusvälistel avaldada oma nägemust, milline peaks olema EL-i heitkogustega kauplemise süsteemi olemus ja õige tasakaal. See pidi tagama osapoolte nõudmised, võetud kohustused, kuid samas mitte halvendama konkurentsi. Süsteem pidi arvestama turul ausa konkurentsi eeldust ning määratlema riigiabi kasutamise. Nii otsustati kasutusel võtta aastast 2005 *Learn by doing*-lähenemisviis, luues projektipõhise liidusisese kauplemissüsteemi heitkogustega kauplemiseks ehk EU ETS, millel kaubeldakse EUA-dega. Turg on toiminud ja arenenud etappide kaupa, olles tänaseks jõudnud juba neljandasse etappi, mis ajaliselt kestab aastast 2021 ja peaks lõppema aastaga 2030.

Antud uurimistöö keskenduski süsinikuheitme turul kaubeldava EUA ehk süsinikuheitme loa hinna muutuste põhjuslike seoste uurimisele ja seeläbi hinna prognoosimisele väliste turuinstrumentide ja EUA enampakkumiste sisendnäitajate abil. Samuti anti ülevaade, kas ja millisel määral on võimalik saada kinnitust EUA hinnamuutuste mõjust EL-i direktiivist tulenevalt seotud sektori ettevõtete aktsiahinnale. Varasemad uurimistööd on välja toonud, et EUA hinnaliikumisi mõjutavad nii makromajanduslikud tegurid, majanduskasv, tööstussektori energiatõhusus kui ka heitmete intensiivsus, ilmastikutingimused ja taastuvenergiavõimsuste muutused. Kinnitust on leidnud ka nõudluse ja pakkumise printsiibi kehtivus, kus selle tasakaalu nihutamisel poliitiliste otsuste tõttu muutub turg mittetoimivaks (Hintermann, *et al.*, 2016). Otseste hinnamõjutajatena on välja toodud finants- ja energiaturgudelt näitajad FTSE100, S&P500, Stox50 ja T-Bill ning toormeturgudelt Brenti toornafta ja S&P Clean Energy (Zhao, *et al.*, 2021). Chan *et al.* (2013) töid välja sektoripõhised mõjud just läbi ettevõttesiseste finantsnäitajate, viidates heitmeturu positiivsele mõjule energiasektori ettevõtete kasumile, samuti suurendas see nii

käibemahtu kui ka tootmiskulusid, samas tsemenditootmissektori ettevõtetes vähendas heitmeturul osalemine hoopis materjalikulu kuni 10%. Terasesektoris suurendas heitmeturul osalemine ettevõtete käibemahtu (Chan, *et al.*, 2013). Ka Lise *et al.* (2010) jõudsid oma artiklis järeldusele, et elektri hulгимүүгihinnad tõusevad märkimisväärselt tänu CO₂ heitkogustega kauplemisele ning toimub süsinikuheitme hindade ülekandumine lõpptarbijale (Lise, *et al.*, 2010). Tuginedes varasematele uurimistöodele ja nende järeldustele, võttis autor eesmärgiks uurida laiemalt turuinstrumentide ja süsinikuheitme lubade enampakkumiste baasnäitajate muutuste ülekandumist just EUA hinnale ja jätkuna UA hinnamuutuste mõju seotud ettevõtete aktsiahinnale. Uurimistöös kasutatud aegread koguti päevaste näitajatena EUA, Brenti toornafta, S&P 500 indeksi, maagaasi, tuuleenergiaindeksi, päikeseenergiaindeksi, tuumaenergiaindeksi, EL-i baasintressimäära ja EL-i inflatsioonimäära kohta, samuti kaasati Energy Exchange EEX korraldatavate EUA enampakkumise baasnäitajad. Kvartaalsete andmetena koguti aga EL-i direktiivist tulenevalt andmed seotud ettevõtete aktsiahinna, ärikasumi, tootmiskulude, EUA, EL-i baasintressimäära ja EL-i inflatsioonimäära kohta. Andmete kogumise periood jäi vahemikku 31.12.2012 – 31.12.2023.

Tulemustena saab välja tuua, et EUA hinda mõjutasid sarnaselt Zhao *et al.* (2021) läbi viidud uurimistöödega S&P 500 indeks, samuti leidis kinnitust taastuvenergiasektoris oleva päikeseenergiaindeksi statistiliselt oluline mõju EUA hinnale. Mõlema näitaja puhul oli tegemist ühepoolse hinnamuutuste ülekandumisega, kus siis mõlemad instrumendid omasid statistiliselt olulist mõju just EUA hinnale. Samas Zhao *et al.* (2021) uurimistöodes välja toodud seostes Brenti toornaftaga ja Alberola *et al.* (2009) uurimuses välja toodud pakkumise ning nõudluse osas antud uurimistöö statistiliselt olulist hindade ülekandumist ei leidnud. Saadud tulemuste põhjal koostatud prognoosimismudeli põhjal saab välja tuua, et kuigi hinnamuutused jäävad usalduspiiridesse, ei ole mudeli puhul tegemist piisavalt täpse prognoosimismudeliga. Seda kinnitab ka turu sulgemishinna ja prognooshinna vahelise errori põhjal arvutatud RMSE, mis on 7,48, moodustades veakoeffitsiendiks keskmisest sulgemishinnast 10,30%, olles finantsprognoosimiseks suhteliselt suur määr. Paneelandmete analüüsi osas selgus, et ettevõtete analüüsi puhul saab kinnitust Chan *et al.* (2013) uurimistöös välja toodud EUA hinna mõju nii energiasektori kui ka terasesektori ettevõtetele, samuti leidis kinnitust mõju avaldumine transpordiettevõtetele. Samas aga ei leidnud kinnitust EUA mõju avaldumine lennundusettevõtetele, mida võiks selgitada asjaolu, et lennundussektorile jagati antud valimi perioodil veel märkimisväärne hulk süsiniku heitmelubasid tasuta ning mõju võiks avalduda alles hilisemal perioodil, kui nad peavad hakkama kogu heitmetaseme ulatuses lubasid otse EU ETS-i turult ostma.

SUMMARY

FORMATION OF CHANGES IN THE EUA PRICE OF CARBON CREDITS AND IMPACT ON COMPANIES IN THE RELATED SECTOR

Environmental policies and thereby reducing industrial pollution levels have been a hot topic globally for some time. Both across countries, but also within countries, great efforts are being made and a very large amount of financial resources are being spent to reduce the industrial footprint on the environment. The European Union has set itself a grandiose goal to achieve carbon-neutral production throughout the Union by 2050. It all started with the Kyoto Protocol, which was essentially an agreement between countries and associations, which defined industrial sectors, greenhouse gases to be reduced and national limits in a time schedule. As a follow-up to the Kyoto Protocol, the European Commission already presented a Green Paper in March 2000, which described for the first time an ideal solution for the possible structure of the emissions trading system within the European Union. This was the start of negotiations that allowed all stakeholders, both governmental and non-governmental, to express their vision of what the nature and right balance of the EU Emissions Trading System should be. In order to ensure the demands of the parties, commitments have been made, but at the same time not worsening the competition. The system had to take into account the assumption of fair competition in the market and define the use of state aid. Therefore, it was decided to use the "Learn by doing" approach from 2005, creating a project-based intra-Union trading system for emissions trading, or EU ETS, on which EUAs are traded. The operation and development of the market has been in stages, having already reached the fourth stage today, which will last from 2021 and should end in 2030.

This research focused precisely on the investigation of the causal relationships of changes in the price of EUA, i.e. carbon emission permit traded on the carbon emission market, and thereby price forecasting through external market instruments and input indicators of EUA auctions. Also, by getting an overview of whether and to what extent it is possible to get confirmation of the impact of EUA price changes on the share price of companies in the related sector due to the EU directive. Previous research has pointed out that EUA price movements are influenced by macroeconomic factors, economic growth, energy efficiency of the industrial sector, as well as emission intensity, weather conditions and changes in renewable energy capacities. The validity of the principle of supply and demand has also been confirmed, where when this balance is shifted through political decisions, the market becomes non-functional (Hintermann et al., 2016). Indicators from the

financial and energy markets: FTSE100, S&P500, Stoxx50 and T-Bill, and Brent crude oil and S&P Clean energy from the commodity markets have been identified as direct price influencers (Zhao, et al., 2021). Chan et al. (2013) pointed out the sector-specific effects through the company's internal financial indicators, pointing to the positive impact of the emissions market on the profits of energy sector companies, increasing both turnover and production costs, while in the cement production sector, participation in the emissions market instead reduced material costs by up to 10%. In the steel sector, participation in the emission market increased the turnover of companies (Chan, et al., 2013). Also Lise et al. (2010) concluded in their paper that wholesale electricity prices increase significantly due to CO2 emissions trading, and there is a carbon price pass-through to the final consumer (Lise, et al., 2010). Based on previous research works and their conclusions, the author set out to study more broadly the transfer of changes in the basic indicators of market instruments and auctions of carbon emission permits to the price of EUA and, as a continuation, the effect of price changes of UA on the share price of related companies. The time series used in the research were collected as daily indicators for: EUA, Brent crude oil, S&P 500 index, Natural gas, wind energy index, solar energy index, nuclear energy index, EU base interest rate and EU inflation rate, as well as base indicators of the EUA auction organized by Energy Exchange EEX. However, as a result of the EU directive, the related company's share price, operating profit, production costs, EUA, EU base interest rate and EU inflation rate were collected as quarterly data. The data collection period was between 31.12.2012 and 31.12.2023.

As the results, it can be pointed out that the price of EUA was influenced similarly to the previous study by Zhao et al. (2021) research conducted on the S&P 500 index, also confirmed the statistically significant impact of the solar energy index in the renewable energy sector on the EUA price. In the case of both indicators, it was a one-sided transfer of price changes, where both instruments had a statistically significant effect on the EUA price. However, Zhao et al. (2021) from the relationship between Brent crude oil and Alberola et al. In terms of the supply and demand presented in the research, the research did not find a statistically significant transfer of prices. However, on the basis of the forecasting model prepared based on the obtained results, it can be pointed out that although the price changes are within the confidence limits, the model is not a sufficiently accurate forecasting model. This is also confirmed by the RMSE calculated on the basis of the error between the market closing price and the forecast price, which is 7,48, making the error coefficient 10.30% of the average closing price, which is a relatively large rate for financial forecasting. Regarding the analysis of panel data, it turned out that in the case of the analysis of companies, Chan et al. (2013) the impact of the EUA price on companies in both the

energy sector and the steel sector, as outlined in the research paper, was also confirmed by the manifestation of the impact on transport companies. At the same time, the impact of the EUA on aviation companies was not confirmed, which could be explained by the fact that a significant number of carbon emission permits were distributed to the aviation sector for free during the given sample period, and the effect could be manifested only in a later period, when they have to start buying permits for the entire emission level directly from the EU ETS market .

Jaak Soosaar

KASUTATUD ALLIKATE LOETEL

- Alberola, E., Chevallier, J., Chèze, B., (2008) The EU emissions trading scheme: The effects of industrial production and CO₂ emissions on carbon prices. *Economie internationale*. 93-125.
- Alberola, E., Chevallier, J., Chèze, B., (2009) Emissions compliances and carbon prices under the EU ETS: a country specific analysis of industrial sectors. *Journal of Policy Modeling*. 446-462.
- Andersen, T.G., Bollerslev, T., Christoffersen, P.F. and Diebold, F.X., 2006. Volatility and correlation forecasting. *Handbook of economic forecasting*, 1, pp.777-878.
- Anger, A. and Köhler, J., 2010. Including aviation emissions in the EU ETS: Much ado about nothing? A review. *Transport Policy*, 17(1), pp.38-46.
- Baltagi, B.H. and Baltagi, B.H., 2008. *Econometric analysis of panel data* (Vol. 4, pp. 135-145). Chichester: Wiley.
- Boemare, C., Quirion, P. and Sorrell, S., 2003. The evolution of emissions trading in the EU: tensions between national trading schemes and the proposed EU directive. *Climate Policy*, 3(sup2), pp.S105-S124.
- Borghesi, S. and Montini, M., 2016. The best (and worst) of GHG emission trading systems: comparing the EU ETS with its followers. *Frontiers in Energy Research*, 4, p.27.
- Box, G.E., Jenkins, G.M., Reinsel, G.C. and Ljung, G.M., 2015. *Time series analysis: forecasting and control*. John Wiley & Sons. *Fifth Edition*. (518)
- Calel, R., 2013. Carbon markets: a historical overview. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 4(2), pp.107-119.
- Chan, H.S.R., Li, S. and Zhang, F., 2013. Firm competitiveness and the European Union emissions trading scheme. *Energy Policy*, 63, pp.1056-1064.
- Chevallier, J., 2009. Carbon futures and macroeconomic risk factors: A view from the EU ETS. (Chan, et al., 2013) *Energy Economics*, 31(4), pp.614-625.
- Commission of the European Communities; 2000, Green Paper on greenhouse gas emissions trading within the European Union, Brussel, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52000DC0087>
- Convery, F.J., 2009. Origins and development of the EU ETS. *Environmental and Resource Economics*, 43, pp.391-412.

Daskalakis, G. and Markellos, R.N., 2008. Are the European carbon markets efficient. *Review of futures markets*, 17(2), pp.103-128

Dhamija, A.K., Yadav, S.S. and Jain, P.K., 2018. Volatility spillover of energy markets into EUA markets under EU ETS: a multi-phase study. *Environmental Economics and Policy Studies*, 20, pp.561-591.

Ellerman, A.D., Marcantonini, C. and Zaklan, A., 2016. The European Union emissions trading system: ten years and counting. *Review of Environmental Economics and Policy*.

Energy Exchange EEX

<https://www.eex.com/en/markets/environmental-markets/eu-ets-spot-futures-options>

Euroopa Komisjon, 2023. KOMISJONI DELEGEERITUD MÄÄRUS (EL) 2023/2830, 17. oktoober 2023, millega täiendatakse Euroopa Parlamendi ja nõukogu direktiivi 2003/87/EÜ, kehtestades kasvuhoonegaaside lubatud heitkoguse ühikute enampakkumise ajastamist, haldamist ja muid aspekte käsitlevad normid. https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ET/TXT/PDF/?uri=OJ:L_202302830

Euroopa Komisjon. 2023. EUROOPA PARLAMENDI JA NÕUKOGU DIREKTIIV 2003/87/EÜ, 13. oktoober 2003, millega luuakse ► M9 liidus ◀ kasvuhoonegaaside ► C3 lubatud heitkoguse ühikutega ◀ kauplemise süsteem ja muudetakse nõukogu direktiivi 96/61/EÜ. Brüssel. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ET/TXT/PDF/?uri=CELEX:02003L0087-20230605>

European Commission . Development of EU ETS (2005-2020), https://climate.ec.europa.eu/eu-action/eu-emissions-trading-system-eu-ets/development-eu-ets-2005-2020_en#documentation

Euroopa Komisjon. 2023. EUROOPA PARLAMENDI JA NÕUKOGU DIREKTIIV 2003/87/EÜ, 13. oktoober 2003, millega luuakse ► M9 liidus ◀ kasvuhoonegaaside ► C3 lubatud heitkoguse ühikutega ◀ kauplemise süsteem ja muudetakse nõukogu direktiivi 96/61/EÜ. Brüssel. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ET/TXT/PDF/?uri=CELEX:02003L0087-20230605>

European Commission. Emissions cap and allowances. https://climate.ec.europa.eu/eu-action/eu-emissions-trading-system-eu-ets/emissions-cap-and-allowances_en

European Commission. Directive 2003/87/EC of the European Parliament and of the Council of 13 October 2003 establishing a system for greenhouse gas emission allowance trading within the Union and amending Council Directive 96/61/EC. <http://data.europa.eu/eli/dir/2003/87/2023-06-05>

European Commission. 2009. Directive 2008/101/EC of the European Parliament and of the Council. Brüssel. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:02003L0087-20090202>

European Energy Exchange AG. 2024. EU ETS Auctions, Future and Options. <https://www.eex.com/en/markets/environmental-markets/eu-ets-spot-futures-options>

- European Energy Exchange AG. 2024. EU ETS auctions.
<https://www.eex.com/en/markets/environmental-markets/eu-ets-auctions>
- European Environment Agency, 2003. EU Emissions Trading System (ETS) data viewer.
<https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/dashboards/emissions-trading-viewer-1>
- Faber, J. and Brinke, L., 2011. The inclusion of aviation in the EU Emissions Trading System. *International Centre for Trade and Sustainable Development. Geneva, September.*
- Granger, C.W. and Poon, S.H., 2001. Forecasting financial market volatility: A review. *Available at SSRN 268866.*
- Hintermann, B., Peterson, S. and Rickels, W., 2016. Price and Market Behavior in Phase II of the EU ETS: A Review of the Literature. *Review of Environmental Economics and Policy.*
- Houghton, J.T., Ding, Y.D.J.G. and Griggs, D.J. eds., 2001. *Climate change 2001: the scientific basis* (Vol. 881, No. 9). Cambridge: Cambridge university press.
- Kotzé, K., 2022. Vector autoregression models. URL: <https://kevinkotze.github.io/ts-7-var>.
- Lausen, J., Glock, D., Geres, R., Lischker, S., Ferdinand, M. and Mihai, A., 2022. *Trading activities and strategies in the European carbon market. Final report* (No. UBA-FB--000466/ENG). Umweltbundesamt (UBA).
- Lise, W., Sijm, J. and Hobbs, B.F., 2010. The impact of the EU ETS on prices, profits and emissions in the power sector: simulation results with the COMPETES EU20 model. *Environmental and Resource Economics*, 47, pp.23-44.
- Lorenzoni, I. and Pidgeon, N.F., 2006. Public views on climate change: European and USA perspectives. *Climatic change*, 77(1), pp.73-95.
- Lütkepohl, H., 2013. Vector autoregressive models. In *Handbook of research methods and applications in empirical macroeconomics* (pp. 139-164). Edward Elgar Publishing.
- Malina, R., McConnachie, D., Winchester, N., Wollersheim, C., Paltsev, S. and Waitz, I.A., 2012. The impact of the European Union emissions trading scheme on US aviation. *Journal of Air Transport Management*, 19, pp.36-41.
- Narassimhan, E., Gallagher, K.S., Koester, S. and Alejo, J.R., 2018. Carbon pricing in practice: A review of existing emissions trading systems. *Climate Policy*, 18(8), pp.967-991.
- Nava, C.R., Meleo, L., Cassetta, E. and Morelli, G., 2018. The impact of the EU-ETS on the aviation sector: Competitive effects of abatement efforts by airlines. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 113, pp.20-34.
- Neath, A.A. and Cavanaugh, J.E., 2012. The Bayesian information criterion: background, derivation, and applications. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Computational Statistics*, 4(2), pp.199-203.

Poon, S.H. and Granger, C.W.J., 2003. Forecasting volatility in financial markets: A review. *Journal of economic literature*, 41(2), pp.478-539.

Reuters, 2024. Global carbon markets value hit record \$949 billion in 2023.

<https://economictimes.indiatimes.com/markets/commodities/news/global-carbon-markets-value-hit-record-949-billion-in-2023/articleshow/107642155.cms>

Ryan, O., Haslbeck, J. and Waldorp, L., 2023. Non-stationarity in time-series analysis: Modeling stochastic and deterministic trends.

Sanin, E., Violante, F., Mansanet-Bataller, M., (2015) Understanding volatility dynamics in the EU-ETS market. *Energy Policy*. 321-331.

Sims, C.A., 1986. Are forecasting models usable for policy analysis?. *Quarterly Review*, 10(Win), pp.2-16.

Trading Economics.

<https://tradingeconomics.com/commodities>

United Nations Framework Convention on Climate Change., 1997. Kyoto protocol.

<https://unfccc.int/documents/2409>

Valenti, D., Fazio, G. and Spagnolo, B., 2018. Stabilizing effect of volatility in financial markets. *Physical Review E*, 97(6), p.062307.

Zhao, L.T., Miao, J., Qu, S. and Chen, X.H., 2021. A multi-factor integrated model for carbon price forecasting: Market interaction promoting carbon emission reduction. *Science of the Total Environment*, 796, p.149110.

Zivot, E. and Wang, J., 2006. Vector autoregressive models for multivariate time series. *Modeling financial time series with S-PLUS®*, pp.385-429.

Zou, H., Qin, J. and Dai, B., 2021. Optimal pricing decisions for a low-carbon supply chain considering fairness concern under carbon quota policy. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(2), p.556.

LISAD

Lisa 1. VAR-aegridade kirjeldav statistika

	<i>EUA</i>	<i>EUA Auction Price €/tCO2</i>	<i>Miinum ja maksimum pakkumise hinnavahe</i>	<i>Pakkumise ja nõudluse vahe</i>	<i>Tuumaenergia indeks</i>	<i>Päikeseenergia indeks</i>
Keskmine	32,7645	31,968321	12,335309	-4386503	17,8984	45,118
Standartviga	0,68573	0,6586085	0,3364009	74673,6	0,13621	0,5368
Keskvärtus	21,34	21,3	6	-3183500	15,8	37,04
Režiim	5,81	5,05	7	-2572000	11	24,97
Standarthälve	31,3116	30,07325	15,36067	3409731	6,21968	24,512
Valimi dispersioon	980,419	904,40038	235,95019	1,16E+13	38,6844	600,82
Teravus	-0,759	-0,861827	5,7264449	4,98236	-0,346	-0,7357
Andmehulga asümmeetria	0,88929	0,8456752	2,0788114	-1,92813	0,72563	0,7222
Vahemik	101,21	93,57	129,84	25259000	30,3	104,9
Miinum	3,93	3,94	0,15	-2,5E+07	7,18	17,04
Maksimum	105,14	97,51	129,99	-25500	37,48	121,94
Summa	68313,9	66653,95	25719,12	-9,1E+09	37318,2	94072
Valimi maht	2085	2085	2085	2085	2085	2085
Suurim väärtus(1)	105,14	97,51	129,99	-25500	37,48	121,94
Väikseim väärtus(1)	3,93	3,94	0,15	-2,5E+07	7,18	17,04
Usaldusnivoo (95,0%)	1,34479	1,2915991	0,6597168	146442,6	0,26713	1,0527

	<i>Tuuleenergia indeks</i>	<i>EL-i baasintressimäär</i>	<i>EL-i inflatsioonimäär</i>	<i>S&P 500 indeks</i>	<i>Maagaas</i>	<i>Toornafta Brent</i>
Keskmine	14,72	0,4914628	2,2955396	3044,849	3,366	68,721
Standartviga	0,07426	0,0263773	0,0608737	19,9194	0,03194	0,4523
Keskvärtus	13,285	0	1,3	2834,41	2,889	66,39
Režiim	13,25	0	1,3	2926,46	2,949	62,74
Standarthälve	3,39076	1,204433	2,7796032	909,5555	1,45847	20,654
Valimi dispersioon	11,4973	1,4506588	7,7261941	827291,2	2,12714	426,6
Teravus	-0,3285	4,6253545	1,1205013	-1,31049	3,82247	-0,5201
Andmehulga asümmeetria	0,88079	2,4936812	1,5006938	0,349713	1,929	0,333
Vahemik	14,65	4,5	11,2	2998,67	8,272	104,15
Miinum	10,04	0	-0,6	1741,89	1,438	19,33
Maksimum	24,69	4,5	10,6	4740,56	9,71	123,48
Summa	30691,1	1024,7	4786,2	6348509	7018,11	143284
Valimi maht	2085	2085	2085	2085	2085	2085

Suurim väärtus(1)	24,69	4,5	10,6	4740,56	9,71	123,48
Väikseim väärtus(1)	10,04	0	-0,6	1741,89	1,438	19,33
Usaldusnivoo (95,0%)	0,14563	0,0517285	0,1193796	39,06399	0,06264	0,8871

Allikas: Autori koostatud kogutud andmete baasil

Lisa 2. VAR-aegridade korrelatsiooni maatriks

	<i>EUA</i>	<i>EUA Auction Price €/tCO2</i>	<i>Miinumunja maksimum pakkumise hinnavahe</i>	<i>Pakkumise ja nõudluse vahe</i>	<i>Tuumaenergia indeks</i>	<i>Päikeseenergia indeks</i>	<i>Tuuleenergia indeks</i>	<i>EL-i baasintressimäär</i>	<i>EL-i inflatsioonimäär</i>	<i>S&P 500 indeks</i>	<i>Maagaas</i>	<i>Toornafta Brent</i>
<i>EUA</i>	1,00000											
<i>EUA Auction Price €/tCO2</i>	0,99854	1,00000										
<i>Miinumunja maksimum pakkumise hinnavahe</i>	0,78584	0,78549	1,00000									
<i>Pakkumise ja nõudluse vahe</i>	0,51417	0,52068	0,32279	1,00000								
<i>Tuumaenergia indeks</i>	0,35537	0,35307	0,31144	-0,22096	1,00000							
<i>Päikeseenergia indeks</i>	0,74580	0,75477	0,46134	0,39932	0,48686	1,00000						
<i>Tuuleenergia indeks</i>	0,69400	0,70692	0,40772	0,50619	0,22241	0,88572	1,00000					
<i>EL-i baasintressimäär</i>	0,65427	0,62550	0,58255	0,21402	0,35459	0,29520	0,16832	1,00000				
<i>EL-i inflatsioonimäär</i>	0,85519	0,85567	0,71568	0,30850	0,30800	0,56930	0,46669	0,51906	1,00000			
<i>S&P 500 indeks</i>	0,90651	0,91314	0,67243	0,60126	0,22101	0,77976	0,85789	0,48457	0,67195	1,00000		
<i>Maagaas</i>	0,43222	0,45471	0,43507	-0,01428	0,51530	0,46312	0,31910	-0,00817	0,62999	0,32271	1,00000	
<i>Toornafta Brent</i>	0,48197	0,48609	0,48278	-0,15886	0,75932	0,42273	0,25614	0,28121	0,55321	0,33325	0,68590	1,00000

Allikas: Autori koostatud kogutud andmete baasil

Lisa 4. Regressioonumodeli aegridade kirjeldav statistika

	<i>EUA</i>	<i>BP aktshind</i>	<i>BP ärikasum</i>	<i>BP tootiskulud</i>	<i>TotalEnergie s aktshind</i>	<i>TotalEnergie s ärikasum</i>	<i>TotalEnergie s tootiskulud</i>
Keskmine	29,39666667	435,4153489	1317,622222	60220,86667	45,48233333	4271,248391	41646,3168
Standart viga	4,621211634	12,70282488	975,6258858	2946,118629	1,046020231	632,6334412	1273,609178
Keskpärase	14,99	453,45	1993	55795	45,445	4570	41114
Standarthälve	31,00003006	85,21313978	6544,697404	19763,16457	7,016917026	4243,834138	8543,630099
Valimi dispersioon	961,0018636	7261,279191	42833064,1	390582673,8	49,23712455	18010128,19	72993615,28
Teravus	0,322900146	0,166485697	3,795995485	0,811728186	0,333249933	1,810438927	1,085043319
Andmehulga asümmeetria	1,107046819	0,485451708	1,048264158	0,207709849	0,296837059	0,637729994	-0,00331017
Vahemik	91,92	370,1	37047	70870	33,11	21496	31555
Minimaalne	4,21	225,2	-20253	25278	29,2	-8333	25909
Maksimaalne	96,13	595,3	16794	96148	62,31	13163	57464
Summa	1322,85	19593,6907	59293	2709939	2046,705	192206,1776	1874084,256
Valimi maht	45	45	45	45	45	45	45

	<i>Finnair aktshind</i>	<i>Finnair ärikasum</i>	<i>Finnair tootiskulud</i>	<i>Lufthansa aktshind</i>	<i>Lufthansa ärikasum</i>	<i>Lufthansa tootiskulud</i>	<i>ArcelorMitta l aktshind</i>
Keskmine	0,138571756	1,642222222	566,3755556	10,04024547	182,6	7307,377778	16,73962222
Standart viga	0,012270689	11,66589889	22,06341942	0,53625544	130,6863057	210,7236912	1,188034724
Keskpärase	0,113266	0,2	596,7	9,379	343	7698	16,344
Standarthälve	0,082314284	78,25722879	148,0059169	3,597310854	876,67039	1413,577494	7,969579207
Valimi dispersioon	0,006775641	6124,193859	21905,75143	12,94064538	768550,9727	1998201,331	63,51419274
Teravus	2,1080383	0,059311366	1,598949389	1,742308299	0,755063645	1,198129475	1,417906529
Andmehulga asümmeetria	1,580004786	0,710438053	1,389902174	1,2201822	0,861220124	1,335785708	0,025492614
Vahemik	0,356409	305,3	653,9	16,671567	4059	5401	25,416
Minimaalne	0,0399	-183,1	116,6	5,252685	-2345	3594	3,884
Maksimaalne	0,396309	122,2	770,5	21,924252	1714	8995	29,3
Summa	6,235729	-73,9	25486,9	451,811046	8217	328832	753,283
Valimi maht	45	45	45	45	45	45	45

	<i>ArcelorMitta l ärikasum</i>	<i>ArcelorMitta l tootiskulud</i>	<i>Thyssenkrupp p aktshind</i>	<i>Thyssenkrupp p ärikasum</i>	<i>Thyssenkrupp p tootiskulud</i>	<i>DSV aktshind</i>	<i>DSV ärikasum</i>
Keskmine	914,6444444	16678,4	14,81675556	29,42222222	9355,866667	638,7317556	2033,066667
Standart viga	306,2307989	375,7648797	1,005929192	102,8113919	161,1516997	67,85608757	272,9752891
Keskpärase	832	16955	15,68	157	9296	488,6	1175
Standarthälve	2054,258649	2520,707444	6,747978162	689,6797837	1081,038465	455,1924735	1831,173908
Valimi dispersioon	4219978,598	6353966,018	45,53520928	475658,204	1168644,164	207200,1879	3353197,882

Teravus	2,577197822	0,560283422	1,427287272	18,10710142	0,244616851	0,943622397	0,510061564
Andmehulga asümmeetria	0,669611124	0,076368769	0,100931325	3,830045645	0,379373216	0,666983524	1,278642845
Vahemik	10676	12791	20,763	4442	4561	1400,8	6950
Minimaalne	-5331	11229	4,312	-3663	6499	139,7	246
Maksimaalne	5345	24020	25,075	779	11060	1540,5	7196
Summa	41159	750528	666,754	-1324	421014	28742,929	91488
Valimi maht	45	45	45	45	45	45	45

	<i>DSV tootmiskulud</i>	<i>Maersk aktsiahind</i>	<i>Maersk ärikasum</i>	<i>Maersk tootmiskulud</i>
Keskmine	23692,68889	10903,82358	1759,507157	11395,68826
Standart viga	2027,420389	570,2632732	371,6805633	1802,730076
Keskpärase	18042	10086,6682	751	9499
Standarthälve	13600,34943	3825,442332	2493,309017	12093,08099
Valimi dispersioon	184969504,5	14634009,04	6216589,852	146242607,8
Teravus	0,534421083	1,831048812	2,674114142	42,84284828
Andmehulga asümmeetria	1,206771594	1,348270447	1,648839899	6,468632385
Vahemik	46039	17358	12173	86271,62796
Minimaalne	10474	6092	-2696	3538,67184
Maksimaalne	56513	23450	9477	89810,2998
Summa	1066171	490672,0613	79177,82206	512805,9716
Valimi maht	45	45	45	45

Allikas: Autori koostatud kogutud andmete baasil

Lisa 5. VAR-mudel (koondmudel)

VAR system, lag order 10

OLS estimates, observations 2014-01-24-2023-12-18 (T = 2074)

Log-likelihood = 33370.459

Determinant of covariance matrix = 5.0089206e-27

AIC = -31.2058

BIC = -28.4606

HQC = -30.1997

Portmanteau test: LB(48) = 4255.7, df = 3800 [0.0000]

Equation 1: ld_EUCarbonPermitsEUA

.....

F-tests of zero restrictions:

All lags of ld_EUCarbonPermitsEUAF(10, 1973) = 1.3783 [0.1841]

All lags of ld_AuctionPriceatCO2F(10, 1973) = 1.4328 [0.1595]

All lags of ld_MinjamaxpakkumisehinnavaheF(10, 1973) = 0.65044 [0.7710]

All lags of MinjamaxpakkumisehinnavaheF(10, 1973) = 0.56654 [0.8423]

All lags of ld_NuclearEnergyIndexF(10, 1973) = 0.66242 [0.7602]

All lags of ld_SolarEnergyIndexF(10, 1973) = 1.321 [0.2131]
 All lags of ld_WindEnergyIndexF(10, 1973) = 0.63269 [0.7869]
 All lags of ld_SP500index F(10, 1973) = 1.8987 [0.0411]
 All lags of ld_Naturalgas F(10, 1973) = 1.4136 [0.1678]
 All lags of ld_Brent F(10, 1973) = 1.3814 [0.1826]
 All vars, lag 10 F(10, 1973) = 0.9569 [0.4794]

Equation 2: ld_AuctionPriceatCO2

.....

F-tests of zero restrictions:

All lags of ld_EUCarbonPermitsEUAF(10, 1973) = 224.24 [0.0000]
 All lags of ld_AuctionPriceatCO2F(10, 1973) = 94.099 [0.0000]
 All lags of ld_MinjamaxpakkumisehinnavaheF(10, 1973) = 0.57533 [0.8353]
 All lags of MinjamaxpakkumisehinnavaheF(10, 1973) = 1.0728 [0.3797]
 All lags of ld_NuclearEnergyIndexF(10, 1973) = 0.98238 [0.4565]
 All lags of ld_SolarEnergyIndexF(10, 1973) = 1.1497 [0.3209]
 All lags of ld_WindEnergyIndexF(10, 1973) = 0.87863 [0.5527]
 All lags of ld_SP500index F(10, 1973) = 2.7037 [0.0027]
 All lags of ld_Naturalgas F(10, 1973) = 1.3207 [0.2133]
 All lags of ld_Brent F(10, 1973) = 0.95568 [0.4805]
 All vars, lag 10 F(10, 1973) = 1.4297 [0.1608]

Equation 3: ld_Minjamaxpakkumisehinnavahe

.....

F-tests of zero restrictions:

All lags of ld_EUCarbonPermitsEUAF(10, 1973) = 1.0047 [0.4368]
 All lags of ld_AuctionPriceatCO2F(10, 1973) = 0.66625 [0.7567]
 All lags of ld_MinjamaxpakkumisehinnavaheF(10, 1973) = 72.726 [0.0000]
 All lags of MinjamaxpakkumisehinnavaheF(10, 1973) = 1.8591 [0.0465]
 All lags of ld_NuclearEnergyIndexF(10, 1973) = 1.3729 [0.1867]
 All lags of ld_SolarEnergyIndexF(10, 1973) = 0.75698 [0.6707]
 All lags of ld_WindEnergyIndexF(10, 1973) = 0.70237 [0.7230]
 All lags of ld_SP500index F(10, 1973) = 0.3248 [0.9749]
 All lags of ld_Naturalgas F(10, 1973) = 0.21437 [0.9951]
 All lags of ld_Brent F(10, 1973) = 0.81855 [0.6108]
 All vars, lag 10 F(10, 1973) = 1.7071 [0.0737]

Equation 4: Minjamaxpakkumisehinnavahe

.....

F-tests of zero restrictions:

All lags of ld_EUCarbonPermitsEUAF(10, 1973) = 1.47 [0.1444]
 All lags of ld_AuctionPriceatCO2F(10, 1973) = 1.4212 [0.1645]
 All lags of ld_MinjamaxpakkumisehinnavaheF(10, 1973) = 2.2853 [0.0116]
 All lags of MinjamaxpakkumisehinnavaheF(10, 1973) = 593.88 [0.0000]
 All lags of ld_NuclearEnergyIndexF(10, 1973) = 2.2018 [0.0154]
 All lags of ld_SolarEnergyIndexF(10, 1973) = 0.96031 [0.4763]
 All lags of ld_WindEnergyIndexF(10, 1973) = 0.93297 [0.5014]

All lags of ld_SP500index $F(10, 1973) = 0.76039 [0.6674]$
 All lags of ld_Naturalgas $F(10, 1973) = 1.7738 [0.0603]$
 All lags of ld_Brent $F(10, 1973) = 0.89401 [0.5380]$
 All vars, lag 10 $F(10, 1973) = 3.005 [0.0009]$

Equation 5: ld_NuclearEnergyIndex

.....

F-tests of zero restrictions:

All lags of ld_EUCarbonPermitsEUAF(10, 1973) = 0.60267 [0.8128]
 All lags of ld_AuctionPriceatCO2F(10, 1973) = 1.226 [0.2689]
 All lags of ld_MinjamaxpakkumisehinnavaheF(10, 1973) = 2.3606 [0.0090]
 All lags of MinjamaxpakkumisehinnavaheF(10, 1973) = 0.88543 [0.5462]
 All lags of ld_NuclearEnergyIndexF(10, 1973) = 3.1998 [0.0004]
 All lags of ld_SolarEnergyIndexF(10, 1973) = 1.4699 [0.1444]
 All lags of ld_WindEnergyIndexF(10, 1973) = 2.0043 [0.0294]
 All lags of ld_SP500index $F(10, 1973) = 2.4867 [0.0058]$
 All lags of ld_Naturalgas $F(10, 1973) = 1.3505 [0.1977]$
 All lags of ld_Brent $F(10, 1973) = 0.77525 [0.6530]$
 All vars, lag 10 $F(10, 1973) = 1.9638 [0.0335]$

Equation 6: ld_SolarEnergyIndex

.....

F-tests of zero restrictions:

All lags of ld_EUCarbonPermitsEUAF(10, 1973) = 1.0388 [0.4077]
 All lags of ld_AuctionPriceatCO2F(10, 1973) = 1.9488 [0.0351]
 All lags of ld_MinjamaxpakkumisehinnavaheF(10, 1973) = 1.2841 [0.2336]
 All lags of MinjamaxpakkumisehinnavaheF(10, 1973) = 0.60275 [0.8127]
 All lags of ld_NuclearEnergyIndexF(10, 1973) = 1.4357 [0.1583]
 All lags of ld_SolarEnergyIndexF(10, 1973) = 0.97006 [0.4675]
 All lags of ld_WindEnergyIndexF(10, 1973) = 5.2365 [0.0000]
 All lags of ld_SP500index $F(10, 1973) = 0.73889 [0.6882]$
 All lags of ld_Naturalgas $F(10, 1973) = 1.1027 [0.3560]$
 All lags of ld_Brent $F(10, 1973) = 3.6465 [0.0001]$
 All vars, lag 10 $F(10, 1973) = 4.2617 [0.0000]$

Equation 7: ld_WindEnergyIndex

.....

F-tests of zero restrictions:

All lags of ld_EUCarbonPermitsEUAF(10, 1973) = 1.0705 [0.3815]
 All lags of ld_AuctionPriceatCO2F(10, 1973) = 0.74118 [0.6860]
 All lags of ld_MinjamaxpakkumisehinnavaheF(10, 1973) = 1.5874 [0.1042]
 All lags of MinjamaxpakkumisehinnavaheF(10, 1973) = 0.95847 [0.4780]
 All lags of ld_NuclearEnergyIndexF(10, 1973) = 1.203 [0.2839]
 All lags of ld_SolarEnergyIndexF(10, 1973) = 0.68928 [0.7353]
 All lags of ld_WindEnergyIndexF(10, 1973) = 1.8025 [0.0553]
 All lags of ld_SP500index $F(10, 1973) = 2.4133 [0.0075]$
 All lags of ld_Naturalgas $F(10, 1973) = 1.7048 [0.0742]$

All lags of ld_Brent $F(10, 1973) = 3.1807 [0.0005]$
All vars, lag 10 $F(10, 1973) = 1.2091 [0.2798]$

Equation 8: ld_SP500index

.....

F-tests of zero restrictions:

All lags of ld_EUCarbonPermitsEUAF(10, 1973) = 0.9723 [0.4655]
All lags of ld_AuctionPriceatCO2F(10, 1973) = 0.85537 [0.5750]
All lags of ld_MinjamaxpakkumisehinnavaheF(10, 1973) = 1.8269 [0.0513]
All lags of MinjamaxpakkumisehinnavaheF(10, 1973) = 0.94458 [0.4907]
All lags of ld_NuclearEnergyIndexF(10, 1973) = 1.2369 [0.2620]
All lags of ld_SolarEnergyIndexF(10, 1973) = 1.229 [0.2670]
All lags of ld_WindEnergyIndexF(10, 1973) = 5.1834 [0.0000]
All lags of ld_SP500index $F(10, 1973) = 5.0365 [0.0000]$
All lags of ld_Naturalgas $F(10, 1973) = 1.3413 [0.2024]$
All lags of ld_Brent $F(10, 1973) = 4.6818 [0.0000]$
All vars, lag 10 $F(10, 1973) = 3.792 [0.0000]$

Equation 9: ld_Naturalgas

.....

F-tests of zero restrictions:

All lags of ld_EUCarbonPermitsEUAF(10, 1973) = 0.88311 [0.5484]
All lags of ld_AuctionPriceatCO2F(10, 1973) = 0.5348 [0.8665]
All lags of ld_MinjamaxpakkumisehinnavaheF(10, 1973) = 1.0337 [0.4120]
All lags of MinjamaxpakkumisehinnavaheF(10, 1973) = 0.91638 [0.5169]
All lags of ld_NuclearEnergyIndexF(10, 1973) = 1.186 [0.2953]
All lags of ld_SolarEnergyIndexF(10, 1973) = 0.9376 [0.4971]
All lags of ld_WindEnergyIndexF(10, 1973) = 0.92383 [0.5099]
All lags of ld_SP500index $F(10, 1973) = 1.1161 [0.3458]$
All lags of ld_Naturalgas $F(10, 1973) = 2.281 [0.0118]$
All lags of ld_Brent $F(10, 1973) = 0.72449 [0.7020]$
All vars, lag 10 $F(10, 1973) = 0.53236 [0.8683]$

Equation 10: ld_Brent

.....

F-tests of zero restrictions:

All lags of ld_EUCarbonPermitsEUAF(10, 1973) = 0.45639 [0.9181]
All lags of ld_AuctionPriceatCO2F(10, 1973) = 1.5172 [0.1269]
All lags of ld_MinjamaxpakkumisehinnavaheF(10, 1973) = 1.872 [0.0447]
All lags of MinjamaxpakkumisehinnavaheF(10, 1973) = 0.28618 [0.9844]
All lags of ld_NuclearEnergyIndexF(10, 1973) = 0.8926 [0.5393]
All lags of ld_SolarEnergyIndexF(10, 1973) = 0.97786 [0.4605]
All lags of ld_WindEnergyIndexF(10, 1973) = 1.6084 [0.0982]
All lags of ld_SP500index $F(10, 1973) = 1.6792 [0.0800]$
All lags of ld_Naturalgas $F(10, 1973) = 0.74913 [0.6783]$
All lags of ld_Brent $F(10, 1973) = 2.731 [0.0024]$
All vars, lag 10 $F(10, 1973) = 1.5065 [0.1307]$

For the system as a whole
Null hypothesis: the longest lag is 9
Alternative hypothesis: the longest lag is 10
Likelihood ratio test: Chi-square(100) = 178.107 [0.0000]

Allikas: Autori koostatud kogutud andmete baasil

Lisa 6. VAR-mudel (prognoosimismudel)

VAR system, lag order 6
OLS estimates, observations 2014-01-17-2023-12-18 (T = 2078)
Log-likelihood = 15691.231
Determinant of covariance matrix = 5.5431393e-11
AIC = -15.0474
BIC = -14.8927
HQC = -14.9907
Portmanteau test: LB(48) = 397.861, df = 378 [0.2314]

Equation 1: ld_EUCarbonPermitsEUA

.....

F-tests of zero restrictions:

All lags of ld_EUCarbonPermitsEUAF(6, 2059) = 3.2117 [0.0038]

All lags of ld_SolarEnergyIndexF(6, 2059) = 2.377 [0.0272]

All lags of ld_SP500index F(6, 2059) = 2.2192 [0.0387]

All vars, lag 6 F(3, 2059) = 4.9139 [0.0021]

Equation 2: ld_SolarEnergyIndex

.....

F-tests of zero restrictions:

All lags of ld_EUCarbonPermitsEUAF(6, 2059) = 0.48439 [0.8204]

All lags of ld_SolarEnergyIndexF(6, 2059) = 2.1742 [0.0428]

All lags of ld_SP500index F(6, 2059) = 0.50037 [0.8085]

All vars, lag 6 F(3, 2059) = 0.68259 [0.5627]

Equation 3: ld_SP500index

.....

F-tests of zero restrictions:

All lags of ld_EUCarbonPermitsEUAF(6, 2059) = 0.83065 [0.5460]

All lags of ld_SolarEnergyIndexF(6, 2059) = 3.078 [0.0053]

All lags of ld_SP500index F(6, 2059) = 9.2231 [0.0000]

All vars, lag 6 F(3, 2059) = 0.60163 [0.6139]

For the system as a whole

Null hypothesis: the longest lag is 5

Alternative hypothesis: the longest lag is 6

Likelihood ratio test: Chi-square(9) = 22.7718 [0.0067]

Allikas: Autori koostatud kogutud andmete baasil

Lisa 7. EUA hinna ja VAR-mudeli alusel EUA prognooshinna teisendus

Prognoosi usalduspiiride leidmine

vabadusastmete arv df	2059
alpha/2	0,025
t kordaja	1,9611
	16798

Arvutus esimese väärtuse jaoks

	y tegelik	y prognoositud	Erinevus Δy
15.12.2023	69,22		
18.12.2023	72	70,23	1,77

Kuupäev	EUA sulgemishind	EUA prognoos hind VAR-mudeli baasil	Error	logaritmi diferents z	y standardhälve prognoos	z standardhälve	Alumine usalduspiir	Ülemine usalduspiir
19.12.2023	74,24	72,44	1,80	0,006157	3,5522	0,03022	65,48	79,4109287
20.12.2023	78,03	72,34	5,69	-0,001429	4,1677	0,03025	64,17	80,514521
21.12.2023	80,41	72,76	7,65	0,005803	4,7368	0,03031	63,47	82,0515627
22.12.2023	81,39	72,76	8,63	-0,000089	5,2268	0,030384	62,51	83,006164
26.12.2023	81,39	72,62	8,77	-0,001838	5,6660	0,03043	61,51	83,7338652
27.12.2023	82,46	72,96	9,50	0,004585	6,1112	0,03049	60,97	84,9407349
28.12.2023	82,57	73,10	9,47	0,002010	6,5192	0,03059	60,32	85,8875327
29.12.2023	82,87	73,15	9,72	0,000591	6,8962	0,0306	59,62	86,6702147
02.01.2024	78,23	73,26	4,97	0,001516	7,2613	0,0306	59,02	87,4970417
03.01.2024	79,69	73,35	6,34	1,28E-03	7,6090	0,0306	58,43	88,2725305
04.01.2024	78,19	73,40	4,79	0,000721	7,9388	0,0306	57,83	88,9722136
05.01.2024	78,81	73,51	5,30	0,001396	8,2620	0,0306	57,30	89,7084717

08.01.2024	74,78	73,61	1,17	0,001400	8,5747	0,0306	56,79	90,4246566
09.01.2024	74,34	73,70	0,64	0,001216	8,8763	0,0306	56,29	91,1058349
10.01.2024	72,36	73,79	-1,43	0,001310	9,1703	0,0306	55,81	91,7789877
11.01.2024	70,23	73,89	-3,66	0,001321	9,4567	0,0306	55,35	92,4381967
12.01.2024	68,05	73,98	-5,93	0,001231	9,7352	0,0306	54,89	93,075424
15.01.2024	69,58	74,08	-4,50	0,001274	10,0077	0,0306	54,45	93,7041236
16.01.2024	67,94	74,17	-6,23	0,001289	10,2744	0,0306	54,02	94,3227499
17.01.2024	65,42	74,27	-8,85	0,001273	10,5355	0,0306	53,61	94,9292781
18.01.2024	65,25	74,36	-9,11	0,001279	10,7916	0,0306	53,20	95,5265682
19.01.2024	65,94	74,46	-8,52	0,001285	11,0431	0,0306	52,80	96,1153308
22.01.2024	64,26	74,55	-10,29	0,001277	11,2901	0,0306	52,41	96,6948481
23.01.2024	65,33	74,65	-9,32	0,001277	11,5330	0,0306	52,03	97,266446
24.01.2024	68,18	74,74	-6,56	0,001280	11,7721	0,0306	51,66	97,8309245
25.01.2024	65,44	74,84	-9,40	0,001278	12,0075	0,0306	51,29	98,3882555
26.01.2024	65,82	74,94	-9,12	0,001278	12,2396	0,0306	50,93	98,9390502
29.01.2024	63,98	75,03	-11,05	0,001279	12,4684	0,0306	50,58	99,4837885
30.01.2024	65,73	75,13	-9,40	0,001279	12,6943	0,0306	50,23	100,02272
31.01.2024	66,37	75,22	-8,85	0,001279	12,9173	0,0306	49,89	100,556163

RMSE	7,48
Keskm ine hind	72,576
	10,30%

Allikas: Autori koostatud kogutud andmete baasil

Lisa 8. Fikseeritud efektiga mudel

FE mudel: Fixed-effects, using 110 observations

Included 8 cross-sectional units

Time-series length: minimum 10, maximum 17

Dependent variable: l_Aktsiahind

	<i>Coefficient</i>	<i>Std. Error</i>	<i>t-ratio</i>	<i>p-value</i>	
const	-4.15370	1.06699	-3.893	0.0002	***
l_EUA	0.119119	0.0456332	2.610	0.0105	**
l_Arikasum	0.184559	0.0356064	5.183	<0.0001	***
l_Tootmiskulud	0.717713	0.115496	6.214	<0.0001	***
l_ELBaasintressim aar	0.0579083	0.0522667	1.108	0.2706	
l_ELInflatsioonim aar	-0.200533	0.0708268	-2.831	0.0056	***

Mean dependent var	4.137716	S.D. dependent var	3.131347
Sum squared resid	11.91099	S.E. of regression	0.350419
LSDV R-squared	0.988856	Within R-squared	0.521862
LSDV F(12, 97)	717.2399	P-value(F)	5.46e-89
Log-likelihood	-33.81718	Akaike criterion	93.63436
Schwarz criterion	128.7406	Hannan-Quinn	107.8736
rho	0.765815	Durbin-Watson	0.683771

Joint test on named regressors -
 Test statistic: $F(5, 97) = 21.1741$
 with p-value = $P(F(5, 97) > 21.1741) = 2.93896e-14$

Test for differing group intercepts -
 Null hypothesis: The groups have a common intercept
 Test statistic: $F(7, 97) = 705.737$
 with p-value = $P(F(7, 97) > 705.737) = 3.25771e-80$

Allikas: Autori koostatud kogutud andmete baasil

Lisa 9. Juhusliku efektiga mudel

Model 65: Random-effects (GLS), using 110 observations
 Included 8 cross-sectional units
 Time-series length: minimum 10, maximum 17
 Dependent variable: $l_Aksiahind$

	<i>Coefficient</i>	<i>Std. Error</i>	<i>z</i>	<i>p-value</i>	
const	-4.59185	1.34825	-3.406	0.0007	***
l_EUA	0.116987	0.0461216	2.536	0.0112	**
$l_Arikasum$	0.186980	0.0359763	5.197	<0.0001	***
$l_Tootmiskulud$	0.737480	0.115099	6.407	<0.0001	***
$l_ELBaasintressim$	0.0583918	0.0528496	1.105	0.2692	
aar					
$l_ELInflatsioonim$	-0.201366	0.0716139	-2.812	0.0049	***
aar					

Mean dependent var	4.137716	S.D. dependent var	3.131347
Sum squared resid	735.6743	S.E. of regression	2.646965
Log-likelihood	-260.6001	Akaike criterion	533.2003
Schwarz criterion	549.4031	Hannan-Quinn	539.7722
rho	0.765815	Durbin-Watson	0.683771

'Between' variance = 5.64294
 'Within' variance = 0.122794

mean theta = 0.959857

Joint test on named regressors -

Asymptotic test statistic: Chi-square(5) = 108.913

with p-value = 6.95285e-22

Breusch-Pagan test -

Null hypothesis: Variance of the unit-specific error = 0

Asymptotic test statistic: Chi-square(1) = 638.461

with p-value = 7.22049e-141

Hausman test -

Null hypothesis: GLS estimates are consistent

Asymptotic test statistic: Chi-square(5) = 8.16438

with p-value = 0.147406

Allikas: Autori koostatud kogutud andmete baasil

Lisa 10. Lihtlitsents

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks¹

Mina Jaak Soosaar

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose

SÜSINIKKREDIIDI EUA HINNAMUUTUSTE KUJUNEMINE JA MÕJU SEOTUD SEKTORI ETTEVÕTETELE

mille juhendaja on Kaido Kepp

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.

07.05.2024 (kuupäev)

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