



INSENERITEADUSKOND

Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituut

EESTI ELEKTROENERGEETIKA JALAJÄLJE, CO₂, ARVESTUSPIDAMISE ANALÜÜS

ANALYSIS OF ESTONIAN POWER SECTOR CARBON FOOTPRINT ACCOUNTING

MAGISTRITÖÖ

Üliõpilane: Ott Pukk

Üliõpilaskood: 204206 AAVM

Juhendaja: Karl Kull, doktorant-nooremteadur

Kaasjuhendaja: Marko Tealane, doktorant-
nooremteadur

Tallinn 2022

AUTORIDEKLARATSIOON

Olen koostanud lõputöö iseseisvalt.

Lõputöö alusel ei ole varem kutse- või teaduskraadi või inseneridiplomit taotletud.

Kõik töö koostamisel kasutatud teiste autorite tööd, olulised seisukohad, kirjandusallikatest ja mujalt pärinevad andmed on viidatud.

"....." 20.....

Autor:

/ allkiri /

Töö vastab magistritööle esitatud nõuetele

"....." 20.....

Juhendaja:

/ allkiri /

Kaasjuhendaja:

/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

"....."20.....

Kaitsmiskomisjoni esimees

/ nimi ja allkiri /

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks¹

Mina _____ (autori nimi)

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

EESTI ELEKTROENERGEETIKA JALAJÄLJE, CO₂, ARVESTUSPIDAMISE ANALÜÜS,

mille juhendajad on

doktorant-nooremteadur Karl Kull ja doktorant-nooremteadur Marko Tealane,

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.

_____ (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 loomingu 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. ja 1.2, siis lihtlitsents nimetatud tähtaja jooksul ei kehti.

LÕPUTÖÖ LÜHIKOKKUVÕTE

Autor: Ott Pukk

Lõputöö liik: Magistritöö

Töö pealkiri: Eesti elektroenergeetika jalajälje, CO₂, arvestuspidamise analüüs.

Kuupäev: 16.05.2022

64 lk

Ülikool: Tallinna Tehnikaülikool

Teaduskond: Inseneriteaduskond

Instituut: Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituut

Töö juhendaja(d): nooremteadur Karl Kull, nooremteadur Marko Tealane

Töö konsultant (konsultandid): -

Sisu kirjeldus:

Aina enam kasvav taastuvate energiaallikate hulk ja Euroopa Liidu kaudu teostatud rohepöörde kokkulepe on CO₂ heitmete saastekvoodi hinnad viinud viimastel aastatel üles. See tekitab olukorra, kus reaalse tulemuse saamiseks peaks üle vaatama riikide energeetika sektoris eritavate heitmete koguste arvutamise meetodi ja lisama sinna ühe uue komponendi, milleks on taastuvate energiaallikate elupõhine heitmete kogus. Hüpotetiliselt viib selline arvutus arvud riikide poolt esitatud aruannetest teissuguseks.

Autor leiab läbi erinevate teadusartiklite ja raportite, millised on iga elektrijaama heitmete kogused *MWh* kohta. Kui jaam otseselt CO₂ ei eralda või on Euroopa Liidul taastuvaenergeetika nimekirjas, siis võetakse eluea jooksul eraldatud heitmete kogus, mis arvestatakse arvutamisel samamoodi. Riigid, kelle baasil hakatakse tegema analüüsi on Eesti, Läti, Leedu, Poola, Saksamaa, Soome, Rootsi ja Norra. Kõik riigid on erineva taustaga nii tootmisüksuste poolest, kui ka heitmete hulgaga.

Kokkuvõttes tuleb välja, et riikidel, kellel on kasutusel rohkem fossiilset kütust, mis on põlevkivi või kivisüsi, näitavad suuremat heitmete hulka Euroopa Liidu Komisjonile, kui riigid, kes omavad suurtes koguses taastuvaid energiaallikaid või väiksema CO₂ intensiivsusega tootmisüksused.

Märksõnad: süsinikdioksiid, CO₂, rohepööre, Euroopa Liit, taastuenergeetika, fossiilne kütus, saastekvoodid

ABSTRACT

<i>Author:</i> Ott Pukk	<i>Type of the work:</i> Master Thesis
<i>Title:</i> Analysis of Estonian power sector carbon footprint accounting.	
<i>Date:</i> 16.05.2022	64 pages
<i>University:</i> Tallinn University of Technology	
<i>School:</i> School of Engineering	
<i>Department:</i> Department of Electrical Power Engineering and Mechatronics	
<i>Supervisor(s) of the thesis:</i> PhD Karl Kull, PhD Marko Tealane	
<i>Consultant(s):</i> -	
<p><i>Abstract:</i></p> <p>The growing number of renewable energy sources and the Green Deal agreement through the European Union have pushed up the price of CO₂ emission allowances in recent years. This creates a situation where, to achieve a real result, the method for calculating national emissions in the energy sector should be revised to include a new component, life-cycle emissions from renewable energy sources. Hypothetically, such a calculation would lead to different figures from the reports submitted by the countries.</p> <p>The author finds through various scientific articles and reports the emissions of each power plant per <i>MWh</i>. If the plant does not directly emit CO₂ or is on the European Union's renewable energy list, lifetime emissions will be considered in the calculation. The countries based on which the analysis will be performed are Estonia, Latvia, Lithuania, Poland, Germany, Finland, Sweden and Norway. All countries have different backgrounds, both in terms of production units and emissions.</p> <p>In conclusion, countries that use more fossil fuels, such as oil shale or coal, show higher emissions to the European Commission than countries with large amounts of renewable energy or less CO₂-intensive production facilities.</p>	
<i>Keywords:</i> carbon dioxide, CO ₂ , Green Deal, European Union, renewable energy, fossil fuels, emission allowances	

LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Lõputöö teema:	Eesti elektroenergeetika jalajälje, CO2, arvestuspidamise analüüs.
Lõputöö teema inglise keeles:	Analysis of Estonian power sector carbon footprint accounting.
Üliõpilane:	Ott Pukk, 204206AAVM
Eriala:	Elektroenergeetika – energiasüsteemide digitaliseerimine
Lõputöö liik:	Magistritöö
Lõputöö juhendaja:	Karl Kull, nooremteadur
Lõputöö kaasjuhendaja:	Marko Tealane, nooremteadur
Lõputöö ülesande kehtivusaeg:	30.06.2022
Lõputöö esitamise tähtaeg:	18.05.2022

Üliõpilane (allkiri)

Juhendaja (allkiri)

Õppekava juht (allkiri)

Kaasjuhendaja (allkiri)

1. Teema põhjendus

Tänapäeval, kus aina rohkem räägitakse „rohepöördest“ ning võetakse massiliselt kasutusele taastuvaelektrienergia tootmisüksusi, siis aina kallimaks on läinud süsinikdioksiidi ehk CO2 hind, mis mõjutab tugevasti lõpptarbija elektrienergia hinda. Euroopa Liidu poolt avaldatud statistika kohaselt on Euroopa üks „punasemaid“ riike Eesti, kes toodab lisaks taastuvale elektrienergiale elektrit ka põlevkivi jaamadega, mis teeb meist ühe suurema CO2 tootja Euroopas. Samas tuleb tõdeda, et võttes näiteks Leedu, kelle CO2 tootmine on kuskil 20 korda väikesem, ostab suure osa tarbitavast elektrienergiast naaberriikidest sisse

2. Töö eesmärk

Lõputöö eesmärgiks on analüüsida, hinnata olemasolevate numbrite paikapidavust ja välja arendada kõige efektiivsem meetod süsinikdioksiidi ehk CO₂ elektroenergeetika arvepidamiseks, mis peegeldaks võimalikult lähedaselt reaalselt olukorda, mitte kasutada arveldamiseks ainult kohalike tootmisüksusi. Lisaks analüüsitakse, millist sotsiaalmajanduslikku mõju avaldab kõrge CO₂ hind ning hulk Eesti riigis.

3. Lahendamisele kuuluvate küsimuste loetelu:

1. Missugune on arvutuskäik CO₂ heitmekoguste määramiseks elektrijaamade tasemel ja missuguseid tegureid sealjuures arvestatakse?
2. Kuidas määratakse CO₂ heitmeid riikide tasandil arvestades nende reaalseid tootmisüksuseid, importi ning eksporditud energiat?
3. Millest sõltub CO₂ tasu ja heitmekvootide määratus riikides?
4. Missugune sotsiaalmajanduslik mõju on CO₂ tasul ja kuidas see kujuneb?

4. Lähteandmed

Uuritakse Euroopa Liidu statistika järgi erinevate riikide CO₂ koguste saamise viisid. Kuidas neid täpsemalt koos kohaliku tootmisüksuste ja riiki sisse ostetud elektrienergiaga arvutatakse.

5. Uurimismeetodid

Töö koosneb suuresti teoreetilisest osast ning antud teooria analüüsimisest läbi erinevate riikide võrdluse. Selle tulemuseni jõutakse läbi erinevate statisticate uurimise, kirjanduse analüüsi ning kasutatakse teemakohaseid artikleid ja teadustöid.

6. Graafiline osa

Skeemid ja tabelid on peamiselt töö põhiosas, mis toetavad põhjendusi.

7. Töö struktuur

Lõputöö ülesanne

Sisukord

Eessõna

Mõistete, lühendite ja sümbolite loetelu

1. Sissejuhatus, probleemi tõstatus
2. Ülevaade tänasest CO2 arvestusest
 - 2.1 CO2 arvestus elektrijaamade järgi
 - 2.2 Riiklikud CO2 arvestused balti- ning põhjamaades
3. Riikide vaheline analüüs
4. Riikliku sotsiaalmajandusliku mõju arvutamine

Kokkuvõte

Kasutatud kirjandus

Lisad

8. Kasutatud kirjanduse allikad

Töö sooritamiseks kasutatakse järgnevaid allikaid: statistika amet Eestis, Euroopa Liidu statistika, teadusartiklid, teadustööd

9. Lõputöö konsultandid

-

10. Töö etapid ja ajakava

Loetelu töö etappidest, mille taga sulgudes tähtaeg. Mõned näited töö etappidest:
kirjanduse läbitöötamine (01.12.2021),
lähteandmete kogumine (01.01.2022),
teoreetilise osa kirjutamine (10.02.2022),
modelleerimise, katsetuste teostamine (01.03.2022),
uuringu tulemuste kirjeldamine (15.03.2022),
järeltulemuste kirjutamine (01.04.2022),
kokkuvõtte koostamine (20.04.2022),
töö esimene versioon valmis (20.04.2022),
juhendajale läbilugemiseks saatmine (20.04.2022),
paranduste sisseviimine (10.05.2022),
juhendajale teiseks läbilugemiseks saatmine (11.05.2022),
töö lõplik versioon valmis (17.05.2022).

SISUKORD

LÕPUTÖÖ LÜHIKOKKUVÕTE	4
ABSTRACT	5
LÕPUTÖÖ ÜLESANNE	6
EESSÕNA	12
Lühendite ja tähiste loetelu	13
SISSEJUHATUS	14
1. ÜLEVAADE TÄNASEST CO ₂ ARVESTUSEST	16
1.1 CO ₂ arvestus elektriyaamade järgi	18
1.1.1 Põlevkivielektriyaam	18
1.1.2 Kivisöeelektriyaam	20
1.1.3 Gaasielektriyaam	21
1.1.4 Tuumaelektriyaam	22
1.1.5 Hüdroelektriyaam	23
1.1.6 Päikeseelektriyaam	24
1.1.7 Tuuleelektriyaam	25
1.1.8 Biomass-, prügi- ja maasoojuseelektriyaam	27
1.1.9 Elektriyaamade kokkuvõte	28
1.2 Riiklikud CO ₂ arvestused Balti- ning Põhjamaades	29
1.2.1 Eesti	29
1.2.2 Läti	30
1.2.3 Leedu	31
1.2.4 Poola	31
1.2.5 Saksamaa	32
1.2.6 Soome	33
1.2.7 Rootsi	33
1.2.8 Norra	34
2. RIIKIDE VAHELINE ANALÜÜS	35
2.1 Riikide arvutuslike ja poliitiliste CO ₂ heitmete tulemuste analüüs	36
2.1.1 Balti riigid	37
2.1.2 Skandinaavia riigid ehk Põhjamaad	40
2.1.3 Saksamaa ja Poola	44
2.1.4 Riikide analüüsi kokkuvõte	47
3. RIIKLIKU SOTSIAALMAJANDUSLIKU MÕJU ARVUTAMINE	50
3.1 CO ₂ saastekvoodid	50

3.1.1 Saastekvoodi hind ja selle kujunemine	51
3.2 Ülevaade Eesti majanduslik arvepidamisest, lähtudes CO ₂ heitmetes energeetika sektoris	53
3.2.1 CO ₂ saastekvoodid Eestis	53
3.2.2 Eesti sotsiaalmajanduslik võimekus	55
3.2.2 Eesti analüüs teiste riikide suhtes	58
KOKKUVÕTE	60
KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU	62

EESSÕNA

Käesolev lõputöö on soovitatud ning sõnastatud doktorant-nooremteadurite Karl Kull ja Marko Tealase juhendamisel. Töös kasutatud lähteandmed ja materjal on kokku kogutud teadusartiklitest, elektrijaamade tööpõhimõtteid seletavatest õpikutest, Euroopa Liidu aruannetest ja arengukavadest.

Lõputöö autor soovib tänada tema juhendajat Karl Kulli ning kaasjuhendajat Marko Tealast, kes aitasid lõputöö valmimisele kaasa omapoolsete soovitustega, andes igal võimalikul hetkel, kui oli vajadus konsultatsioone ning toetati erinevate materjalidega, mis aitasid töö sujuvale tegemisele kaasa. Lisaks soovib tänada juhendajaid hea teema soovitusega, sest autorile meeldivad kirgi kütvad teemad ja valupunktid, millest enamus inimesi parema meelega ei tõstataks päevavalgele. Läbi lõputöö sai autor omale parema pildi silmade ette, kuidas erisuguseid asju erinevatel tasanditel aetakse ja analüüsis seda lähtudes enda vaatenurgast.

Ott Pukk

Tööstuse tn 89-30, Tallinn

+372 56 257 496

Lühendite ja tähiste loetelu

Tähised:

<i>h</i>	tund
<i>kg</i>	kilogramm
<i>kWh</i>	kilovatt-tund, *10 ³
<i>MWh</i>	megavatt-tund, *10 ⁶
<i>t</i>	tonn
<i>tCO₂/MWh</i>	tonni süsinikdioksiidi megavatt-tunni kohta
<i>TWh</i>	teravatt-tundi, *10 ¹²

Lühendid

<i>AC</i>	Vahelduvvool (<i>Alternative Current</i>)
<i>CCGT</i>	Kombineeritud tsükliga gaasiturbiin (<i>Combined Cycle Gas Turbines</i>)
<i>CO₂</i>	süsinikdioksiid
<i>DC</i>	Alalisvool (<i>Direct Current</i>)
<i>EL</i>	Euroopa Liit
<i>EMO</i>	Erakorralise meditsiini osakond
<i>HEJ</i>	Hüdroelektrijaam
<i>IEA</i>	Rahvusvaheline Energiaagentuur (<i>International Energy Agency</i>)
<i>KHG</i>	Kasvuhoonegaasid
<i>LK</i>	Liitumiskilp
<i>OCGT</i>	Avatud tsükliga gaasiturbiin (<i>Open Cycle Gas Turbine</i>)
<i>PV</i>	Päikesepaneelid, Fotogalvaaniline (<i>Photovoltaic</i>)
<i>SA</i>	Sihtasutus
<i>SEJ</i>	Soojuselektrijaam
<i>SKP</i>	Sisemajanduse koguprodukt

SISSEJUHATUS

Aina rohkem kogub tänapäeva Euroopas ja Eestis pöördeid teema, mille põhiliseks märksõnaks võib nimetada kliimanetraalsus. Antud teema baasil on viimastel aastatel tehtud märkimisväärseid muudatusi energeetika valdkonnas nii Eestis, kui ka teistes Euroopa Liidu riikides, kes on omavahel sõlminud rohekokkuleppe ehk „Green Deal”. Eesmärgiks on Euroopa Liidu arengukava järgi aastaks 2050. saavutada süsinikuneutraalsus. Kõige suurema muudatuse peab vastava lepingu kohaselt tegema energeetika valdkond. Eelmainitud sektori osakaal moodustas Eestis 2013. aastal kogu süsinikdioksiidi (CO₂) kogusest 86,4 %, kuigi aastatega on olnud see langustrendis. [1] See tähendab, et riigid peaksid muutma ümber kogu süsteemi ning kasutusele võtma uued lahendused, millest osad on tänapäeval veel arengufaasis, füüsiliselt või keemiliselt keerulised ning majanduslikult kallid. Praegusel hetkel on Eesti, võrreldes teiste Euroopa riikidega, üks aktiivsemaid riike, kes oma elektrienergia tootmise kohta eraldab keskkonda kõige rohkem süsinikdioksiidi. Süsiniku intensiivsust on loetud Eestis üle 0,9 tCO₂/MWh kohta, mis on tingitud sellest, et pea kolmveerand elektrienergia kogusest toodetakse põlevkivist ja vähem toodetakse taastuvatest energiaallikatest. Viimane trend on loomulikult suures muutuses, sest massiliselt tekib põldudele ja hoonete katustele juurde päikeseenergia tootmisüksusi. Sellest tulenevalt peab riik leidma ka kiiret reageerivat ressursi, kui päikest ei paista ehk juhivat võimsust.

Käesoleva lõputöö teema valis autor konsulteerides oma juhendajatega, kes tutvustasid omapoolset uurimust. Teema süsinikdioksiidi kohta pakkus lõputöö autorile suurt huvi just tänu selle aktuaalsusele, intrigeerivusele ja kohati ebaloogilistele komponentidele. Hüpotees, millest lähtutakse on see, et Eestile tehakse süsinikdioksiidi tootmise osas ülekohut ning arvutused peab üle vaatama, arvestades sisse ka taastuvatest energiaallikatest toodetud süsinikdioksiidi kogus. Loomulikult tuleb viimasel arvestada terve eluea heitmete hulka, mida saab omakorda juba juurde liita otseselt heitmeid paiskuvatele jaamadele.

Lõputöö on jaotatud kolme erinevasse ossa, kus esimeses peatükis võetakse vaatluse alla erinevad elektrijaamad ja riigid, kes kõik on üpriski erineva taustaga energeetika maailmas. Erinevatel riikidel on omad tõekspidamised, kuid lõppkokkuvõttes on nende eesmärk sama, jõuda süsinikuneutraalsuseni. Tähtsamad asjad, mis tootmisüksuste puhul tuuakse välja, et teostada erinevaid arvutusi, on algandmed heitmete kogused MWh kohta ja vastava elektrijaama kasutegur. Ebastabiilsete taastuvate energiaallikate puhul, milleks on tuul ja päike on eraldi välja toodud ka jaama töötamise aeg, sest ööpäevaringselt need energiaallikad pole kättesaadavad. Riikidel võetakse vaatluse alla

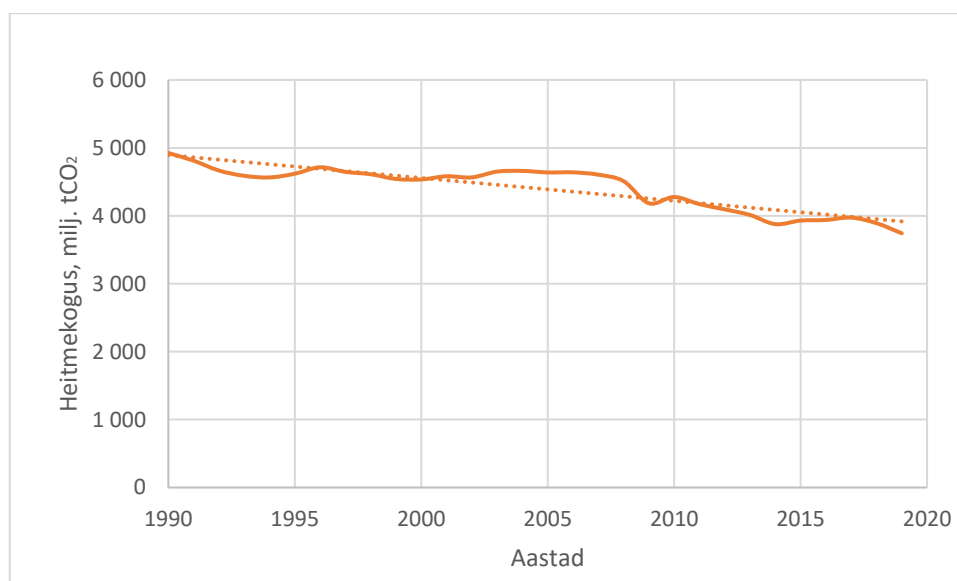
installeeritud võimsused, millega konkreetne Euroopa Liidu liige omale elektrienergiat genereerib. See on oluline, et saaks välja arvutada, kui palju on riik võimeline elektrienergiat olemasolevate vahenditega tootma. Sealjuures viia kokku palju riiki läbi autoripoolsete arvutuste kohaselt heitmeid õhku paiskab.

Teine peatükk on lõputöö üks tähtsamaid ja vundament antud tööle, sest selles peatükis teostatakse arvutused, millega hakatakse analüüsima tulemusi Euroopa Liidu poolt esitatud statistikaga. Peatükk on tihedalt põimitud esimesega, kus autor on välja toonud arvutusteks vajaminevad algandmed. Eesmärk on läbi arvutuste saada analüüsitava riikide kohta süsinikdioksiidi kogus, miljonit tonni CO₂, et seda analüüsida poliitiliste tulemustega, mida on riigid esitanud Euroopa Liidu Komisjonile. Hüpotetiliselt tekib arvutusega märkimisväärne erinevus, sest Komisjonile esitatud andmetes ei ole arvestatud taastuvate energiaallikatega, millele autor pöörab suurt rõhku ja selle kaudu kuvada võimalikud kitsaskohad praegustes arvutustes. Teises peatükis analüüsitaksegi, kas poliitilistel arvudel ja autori poolt arvutatud tulemustel on erinevused sees ning milline muster sellest välja kujuneb. Millised riigid saavad sellest kasu ja millise taustaga riikidel on sellest pigem kahju.

Lõputöö kolmandas peatükis käsitletakse sotsiaalmajanduslikke arvutusi, mille põhiliseks vaatlusaluseks riigiks on valitud Eesti. Eesti on analüüsitava riikide seast ainulaadne, sest alles 2021. aastast on nad pidanud hakkama ostma saastekvoote, kui ülejäänud Euroopa tegi seda juba aastast 2013. Antud peatükis analüüsitakse saastekvoote, mis nende hinda mõjutab, kuidas Euroopa Liit ja maailmaturg mõjutavad süsinikuturu tegevust ja hinnataset. Vaadeldakse ka Eesti sotsiaalmajandus, lähtudes süsinikdioksiidi maksudest ja teises peatükis tehtud arvutustest. Kui Euroopa Liidule makstakse rohkem heitmete eest, kui vaja, siis toob autor välja, kuidas oleks võimalik kasutada ära raha, lähtudes riigi rahva heaolust, mida on Eesti maksnud saastekvootide eest rohkem. Kui on Euroopa Liidule makstakse vähem, kui tegelikkuses peaks, toob autor esile, miks see nii on ja kuidas seda summat on Eesti mastaabis paremini juba ära kasutatud ja milliseid investeeringuid on tehtud, et liikuda heaolu riigi suunas.

1. ÜLEVAADE TÄNASEST CO₂ ARVESTUSEST

2020. aastal kiideti Euroopa Liidu nõukogus heaks rohekokkulepe ehk „Green Deal“, mille suuremaks eesmärgiks on aastaks 2050 muuta Euroopa kliimanetraalseks maailmajaoks. Sellega soovitakse tähelepanu pöörata just keskkonnale ning kliima soojenemisele, mida põhjustab süsinikdioksiidi laialatuslikku paiskamist atmosfääri läbi fossiilkütuste põletamise, mis on viimaste sajandite jooksul olnud üheks põhiliseks energiaallikas. Eesmärk on peatada maakera keskmise temperatuuri tõus ja hoida see 2°C juures. Selles poliitilises projektis osalevad kõik 27 liikmesriiki, kes hakkavad riigiti kasvuhoonegaaside hulkasid vähendama erinevate direktiivide põhjal. Lähtepunktiks on võetud 1990. aastal fikseeritud süsinikdioksiidi kogus, mille langustrendi enne „Green Deal“-i näeb graafikust 1.1., kuid eesmärgi saavutamiseks on vaja riikidel teha drastilisemaid muudatusi erinevates sektorites. Vaheetapina on kirja pandud 2030. aasta, kus eesmärgiks on vähendada CO₂ netohulka 55% ja 2050. aastaks on eesmärk jõuda nullini. [1]



Graafik 1.1 Süsinikdioksiidi kogus Euroopas 2019. aasta seisuga [2]

Rohepööre mõjutab paljusid erinevaid majandussektoreid, mis on omavahel tihedalt põiminud, näiteks tööstus, energeetika, põllumajandus jne., kuid lõputöö autor on vaatluse alla võtnud just nimelt energeetikasektori, milles peavad toimuma ühed kõige mahulisemad muudatused. Nimelt põhjustab just energia tootmisega seotud valdkond Euroopa Liidus üle 75% kasvuhoonegaaside heitmetest. [1] [3] Põlemise protsess nõuab hapnikku ja reageerivat ainet, mille saaduse üks põhikomponent on süsihappegaas, seega on põhimõtteliselt ainuke valik minna mastaapselt üle taastuvatele energiaallikatele, mis ei nõua põletamise protsessi, et energia vabastada.

Selliste tootmisüksuste kaudu suudetakse õigetes tingimustes hoida süsinikdioksiidi kogused madalamad ja eesmärgile jõudsamalt läheneda. Kuna inimesed on aastaid harjunud kasutama odava ja lihtsakoelise fossiilse kütusest toodetud elektrienergiat, siis Euroopa Liit on paika pannud kolm ülemineku põhimõtet, millega tõstetakse elanikkonna kvaliteeti ja samas vähendatakse CO₂ kogust riigi õhuruumis. Selle eesmärgiks on tagada sujuv üleminek nii majanduslikult, kui ka julgeoleku kaalutlusi arvesse võttes. Nendeks põhimõteteks on: [4]

1. tagada kindel ja taskukohane energiavarustus;
2. saavutada täielikult integreeritud, omavaheliste ühendustega varustatud ja digitaliseeritud energiaturg;
3. seada esikohale energiatõhusus, parandada hoonete energiatõhusust ja arendada välja suures osas taastuvatel energiaallikatel põhinev energiasektor;

Lisaks ülemineku põhimõtetele on Euroopa Liidu komisjon paika pannud ka peamised eesmärgid, mis viivad liidu eesmärkide poole lähemale. Eesmärgid on järgmised: [4]

1. luua omavahel ühendatud energiasüsteemid ja paremini lõimitud elektrivõrgud, et toetada taastuvate energiaallikate kasutust;
2. edendada uuenduslikke tehnoloogiaid ja nüüdisaegset taristut;
3. edendada toodete energiatõhusust ja ökodisaini;
4. vähendada gaasisektori süsinikuheidet ja edendada arukat sektorite integreerimist;
5. suurendada tarbijate mõjuvõimu ja aidata Euroopa Liidu riikidel lahendada energiaostuvõimetuse probleem;
6. edendada ELi energiastandardeid ja -tehnoloogiat ülemaailmsel tasandil;
7. kasutada kõiki Euroopa avamere tuuleenergia võimalusi;

Lisaks nendele on komisjon vastu võtnud erinevaid ettepanekuid, mille eesmärgiks on muuta Euroopa Liidu (edaspidi EL) kliima-, energia-, transpordi-, ja maksupoliitikat selliselt, et eelpool mainitud eesmärgid saaksid täidetud. Muutused on sedavõrd mahukad, et nendega ei tohi väga oodata, vaid samm-sammult liikuda eesmärkide suunas. [3]

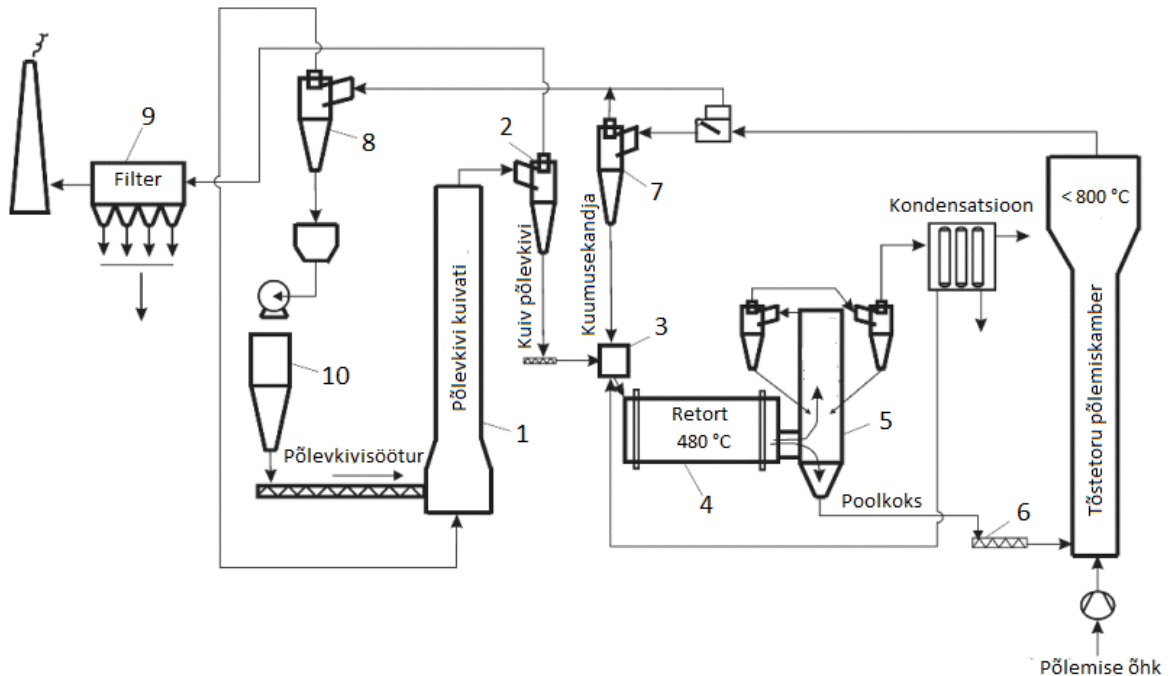
1.1 CO2 arvestus elektri jaamade järgi

Praeguses Euroopa Liidus antakse riigiti oma süsinikdioksiidi kogustest teada erinevate aruannete kaudu ELi Komisjonile, kes omakorda teeb omad statistilisi kokkuvõtteid, millises seisus ollakse Euroopas tervikuna ja kuidas edendatakse eesmärkide täitmisega. Kuna vaatluse alla on lõputöö autor võtnud just energeetika sektori, siis saab rääkida peamiselt elektritootmisüksustest või koostootmisjaamadest. Kuna täna on kasutuses nii fossiilsetel kütustel toimivad elektri- või soojuselektri jaamad, kui ka taastuvatel energiaallikatel toimivad üksused, siis on vaja selget kaardistust, kuidas erinevad jaamad toodavad süsinikdioksiidi ja kuidas see mõjutab keskkonda tervikuna. Töös võetakse vaatluse alla nii otseselt õhku paisatud CO₂ koguseid, kui ka elutsükli jooksul toodetud süsinikdioksiidi koguseid. Fossiilkütuste põletamisest, et toota kasutatav energia, paiskub keskkonda 33 miljardit tonni süsinikdioksiidi, mis on umbes 40% üldisest CO₂ kogusest. [5] Seega fossiilkütuste baasil töötavad elektri- ja soojuselektri jaamad võetakse kaardistamiseks otseselt keskkonda paiskuvate süsinikdioksiidide kogused *MWh* kohta. Poliitiliselt on põletavate taastuenergia kütustega olnud Euroopas kahte leeri minevaid arvamusi, kus üks seisukoht kaitseb arvamust, et kuna tegemist on taastuva energiaallikaga, siis süsinikdioksiidi kogus on võrdustatud nulliga. Teine arvamus on risti vastupidi, mida seletatakse argumentidega, et tegemist on põlemise protsessiga, kus CO₂ siiski eraldub ja seda peab arvesse võtma üldist tulemust tehes. Kaardistamisel arvestab autor viimase seisukohaga, ehk vaadeldakse otse keskkonda paiskuvat kogust ning lisatakse see arvutuste jadasse, kui riik kasutab biomassil töötavat tootmisüksust. Teiste taastuvate elektritootmisüksustel nagu hüdro, päike ja tuul, otsest CO₂ kogust keskkonda ei tooda, kuid nende ehitamisel ja jaama osade tootmisel paisatakse süsinikdioksiidi keskkonda, seega kaardistatakse võetakse antud üksustel heitmete kogus eluea kohta. Sama süsteemi kasutatakse ka tuumaelektri jaamade puhul, kus tootmisprotsessil süsinikdioksiidi keskkonda otseselt ei eraldu, kuid osade valmistamisel, transpordil ja ehitusel eraldub keskkonda CO₂ heidet, mis hiljem eluea võimsuse peale ära jagatakse. [1]

1.1.1 Põlevkivielektri jaam

Euroopa Liidu ainus riik, kes põlevkivielektri jaama kasutab on Eesti. Riigi kirde osas toimub põlevkivi kaevandamine ja sellest elektrienergia, soojuse ja viimasel ajal aina enam populaarsemaks läinud põlevkiviõli tootmine. Põlevkivi on üks suuremaid süsinikdioksiidi tootjaid ELis, mistõttu toodetakse enamuse põlevkivi elektrienergiast koos soojusega, et oleks keskkonna ja tooraine koguse suhtes efektiivsem kasutusviis.

[6] Põlevkivist energia tootmise tehnoloogia on välja toodud joonisel 1.1, kus on välja toodud Eestis kasutusel olev põlevkivi elektriijaama Enefit 140 skeem, koos kõikide komponentidega. Põlevkivi elektriijaama kasuteguriks loetakse keskmiselt 40%. [7]

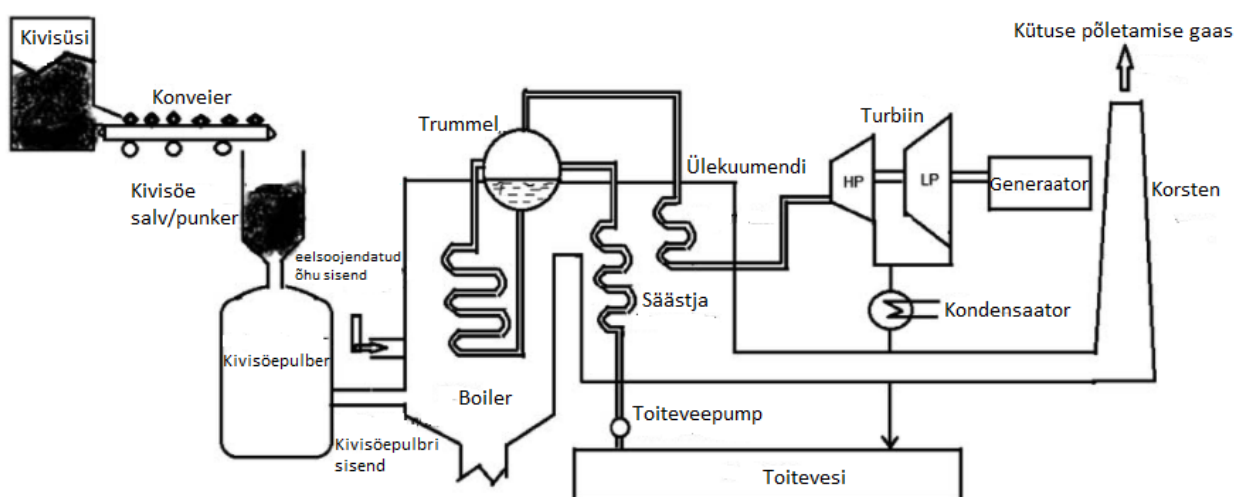


Joonis 1.1 Põlevkiviijaama skeem, Enefit-140. Tähistused: 1 – liftitorukuivati; 2 – kuiv põlevkivitsüklon; 3 – kuiva põlevkivi ja soojuskandja segisti; 4 – pöörd reaktor; 5 – eralduskamber; 6 – poolkoksi etteandetiigukonveier; 7 –soojuskandjatsüklon; 8 – lendtuhasüklon; 9 – suitsugaaside puhasti; 10 – elektrostaatiline sadestaja. [8]

Olles üks fossiilkütuste saastavaim tooraine, tehakse põlevkivi kohta arengukavasid ja statistilisi kokkuvõtteid, mida esitatakse lisaks riigi keskkonnaministeriumile ka Euroopa Liidus, et oleks võimalik läbi aastate koostada erinevat statistikat tööstuse arengu kohta. Erinevates arengukavades ja teadustöodes on välja toodud, et KHG hulk on põlevkivi koostisest, kui suur on tooraine mineraalsus. Kui teostada täielikku põlevkivi põletamist, ilma kõrvalise bioloogilise massita, siis on välja toodud, et kivimi põletamisel eritatakse keskkonda **1,04 tCO₂/MWh** ja väiksema mineraalsuse korral **1,154 tCO₂/MWh**. Samas, kui põlevkivile lisada biomassi, siis lähtuvalt viimase osakaalust on süsinikdioksiidi kogused järgmise: 50% biomassi vastab 0,4 tCO₂/MWh ja 70% osakaalu korral 0,2 tCO₂/MWh. [7] [9]

1.1.2 Kivisööelektriijaam

Kivisöejaamad on maailma mastaabis kõige enam levinud ja kasutusel olevad tootmisüksused, mida kasutatakse nii soojuse, kui elektri tootmiseks. Nimelt on kivisüsi olnud energeetika ajaloos üks esimesi kütuseid, millega toodeti esimesi võimsusi juba 19. sajandil, kuigi tol ajal oli tegemist alalisvooluga (DC). [10] Joonisel 1.2 on välja toodud klassikalise kivisöejaama skeem. Sarnaselt Põlevkivi jaamal on kivisöejaam struktuuri poolest sarnane, mõlemad tootmisüksused kasutavad analoogiliselt kivimist fossiilset kütust, mis esmalt purustatakse ära peeneks tolmuks. See annab tootmisüksustele suurema võimekuse väiksemast kogusest kütusest toota rohkem energiat. Peenem kivimitolm, mida põletatakse, on suurema efektiivsusega, sest väiksema tahke osakese põletamine kasutab ära kütuse maksimaalset võimekust ja seetõttu tekitab ka minimaalne jääkide kogust. Kivisööelektriijaama efektiivväärtuseks tänu tehnoloogia pidevale uuenemisele loetakse 38%. [11]



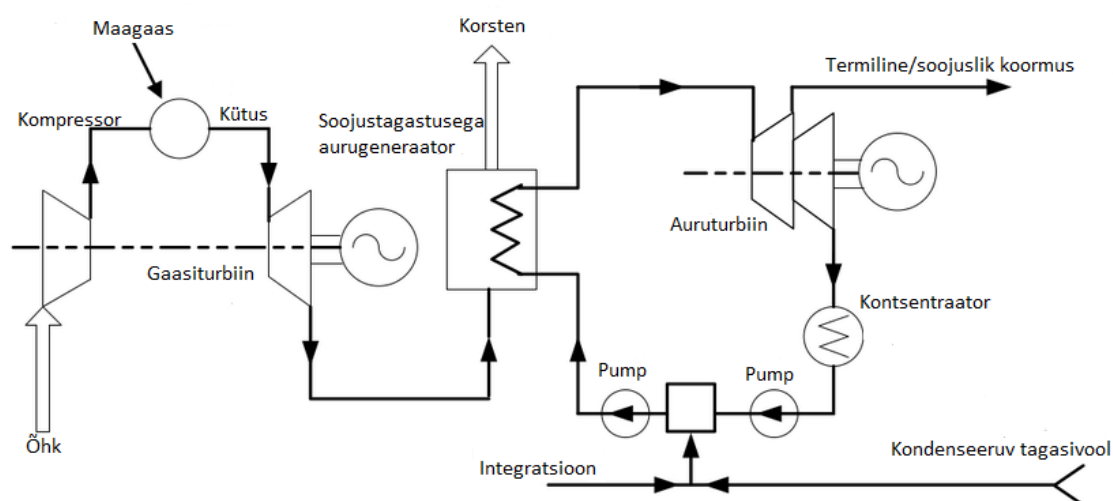
Joonis 1.2 Kivisöe SEJ skeem [11]

Kivisöest põletamise kaudu paisatakse keskkonda maailmas umbes 10 miljardit tonni süsinikdioksiidi, mis teeb 44% kogu energia kaudu õhku paiskuvast CO₂ kogusest. [12] Samas, kuna tegemist on ühe populaarsema tootmisüksusega, siis on loogiline, et antud jaama kaudu satub keskkonda ka kõige rohkem saastamist. Kaardistamiseks ja ELi arvutustes kasutavad erinevad riigid erinevaid lähtenumbreid vastavalt kivisöejaama arengule, kui tegemist on modernsema jaamaga ning korstnatele on paigaldatud tipp tehnoloogia filtrid, siis suhtarv on väiksem. Kaardistamiseks lähtutakse mitmest erinevast allikast [9] [5] [13], kus kõrgeim tulemus väidab, et kivisüsi eraldab keskkonda **1,04 tCO₂/MWh** ja madalaimaks tulemuseks saab lugeda, et kasvuhoonegaase (KHG) eraldatakse **0,82 tCO₂/MWh**. Eelpoole nimetatud allikate

kaudu leiab lõputöö autor peatüki lõpus keskmise tulemuse, millega hakatakse tegema arvutusi, millest järgnevalt leitakse CO₂ emissioonid vastavalt riigi tarbimisele.

1.1.3 Gaasielektrijaam

Gaasielektrijaamad on taastuvenergeetika massilisele kasvule kerkinud üheks tähtsamaks tootmisüksusteks erinevates riikides, sest lisaks elektri tavapärasele tootmisele on neil oluline roll ka stabiilse elektrisüsteemi toimimise tagamiseks. See tuleneb sellest, et taastuvatel energiaallikatel on ebastabiilne tootmine ning erinevatel tundidel, vastavalt ilmastiku muutustele, langeb päikese- või tuuleenergia tootmine järsult nulli või vastupidi maksimumini. Sellise mustri tõttu ongi oluline, et taastuva energeetika taga taustal peab olema kindlasti kiiresti juhitav fossiilne tootmisüksus. Gaasiturbiinid on just üks potentsiaalsetest jaamadest, kes on eelpool nimetatud kriteeriumitele vastav. See teeb tulevikus nende jaamade pidamise strateegiliselt väga oluliseks pidepunktiks, sest riik, kes paigutab oma pinnale juhitamatut tootmisüksust peab samapalju omama ka juhitavat tootmisüksust. [12] Elektri jaamad, mis töötavad gaasi toitel on kahte erinevat sorti, avatud tsükliga gaasiturbiin ehk OCGT ja kombineeritud tsükliga gaasiturbiin ehk CCTG, millest viimase tööpõhimõte on välja toodud joonisel 1.3 ja sellel jaamal on efektiivsus viidud maksimumini, sest kasutatakse nii kütusena nii maa gaasi, kui ka gaasi põletamisel tekkinud kuuma auru. Gaasielektri jaamades loetakse kasuteguriks 38%, mis on fossiilse kütuse puhul üsna kõrge. [14]

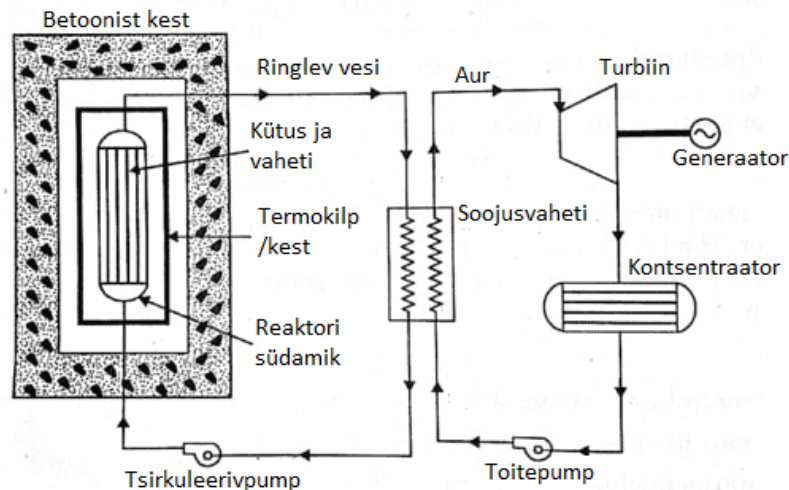


Joonis 1.3 Lihtsustatud CCGT skeem. [14]

Gaasielektrijaamade süsinikdioksiidi väljaheide keskkonda on vastavalt tema tehnoloogiale erinev, OCGT jaamal loetakse heitmete hulka **0,5 tCO₂/MWh** kohta, kui CCGT jaamadel, mis on välja toodud ka joonisel 1.3 on selleks **0,33 tCO₂/MWh** kohta. [5] Kuna arvutustes võetakse gaasielektrijaama, kui ühte tervikut, siis tabelis 1.1 on välja toodud erinevatest allikatest saadud tulemused ning leitud nende arvutuslik keskmine. [15]

1.1.4 Tuumaelektrijaam

Tuumaelektrijaam on üks riskantsemaid elektrijaamasid, tänu oma kütuse ohtlikkuse tõttu. Tuumaelektrijaamas kasutatav kütus on radioaktiivne, mis on inimestele eluohtlik. Juhul, kui jaamas tekib õnnetus ja reaktoriga midagi juhtub, siis ümbruskonna elanikkond on suure radioaktiivsuse mõjusfääris nagu juhtus 1986. aastal Tšernobõlis, kus tänapäevalgi on tavapärasest kõrgem radioaktiivsus, kuid tänu uudsele kaitsetehnoloogiale, mis on asetatud lõhkenud reaktori ümber on seal viibimine inimesele ohutu, kuid reaktor töötab aktiivselt veel aastaid. [16] Samas on vastukaaluks väga väikese kütuse hulgaga suur energia kogus, mis seal on võimalik toota ja katta ära riigi baaskoormus. Tootmisüksust on võimalik küll reguleerida, kuid seda ei ole võimalik teha sama kiirelt ja efektiivselt nagu gaasiturbiinielektrijaamaga. Kasuteguriks loetakse keskmiselt 38%, kuigi uuemate põlvkonna reaktoritega on see tõusuteel. Tänu tema riskantsusele on tuumajaamadel kõrged ohutusnõuded, millest üks tähtsamaid on jahutuse pidev toimimine, ka peale seda, kui reaktor on seiskunud, sest tuumade lõhustamine toimub seal pidevalt edasi. Joonisel 1.4 on välja toodud tuumajaama lihtsustatud skeem, kus on lisaks vee jahutussüsteemile näha kahte eriliiki kestasid, mis kaitseb väliskeskkonda reaktoris toimuvate ahelreaktsioonide ehk energia vabastamise eest. Nagu ka paljudel teistel jaamadel paneb turbiini liikuma just soe aur, mis edasi muundab läbi generaatori elektrienergiaks. [17]



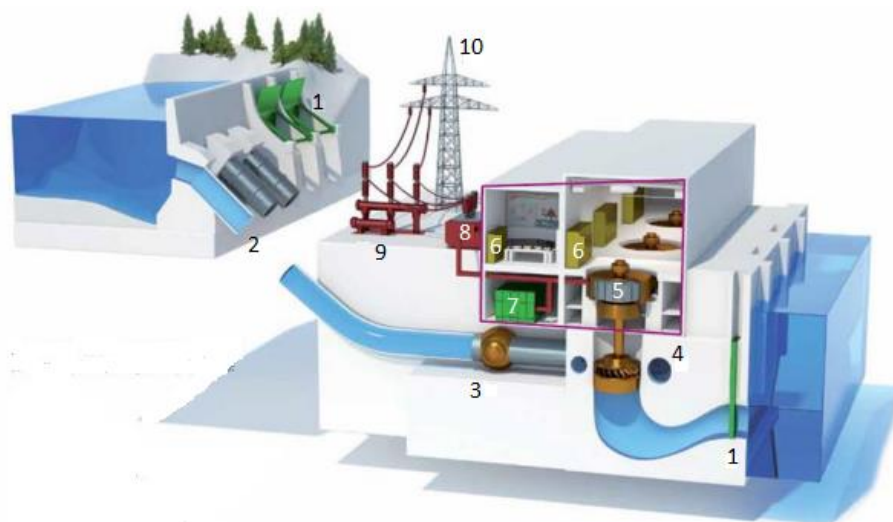
Joonis 1.4 Tuumaelektrijaama skeem [18]

Tuumaelektrijaam süsinikdioksiidi suhtes üks erilisemaid jaamasid, sest tegemist ei ole taastuvaenergia baasil toimiva jaamaga, kuid tema energia vabastamise protsessi käigus, ehk tuumade lõhustamisel, ei teki CO₂ heitmete hulka. Seetõttu peab tuumajaamade puhul kaardistamiseks vaatlema eluea jooksul tekitatud süsinikdioksiidi hulka. Elutsükli jooksul tekitab tuumaenergia elektrienergia koguse kohta ligikaudu samapalju CO₂ kui tuulelektrijaam ja kolmandiku päikeselektrijaamast. Tuumajaamal loetakse heitmete vahemikuks, mis ta võib elujooksul toota vastavalt jaama spetsifikale ja suurusele **0,005- 0,02 tCO₂/MWh** kohta, mis lisaks eelnevale oleneb ka nimivõimsusest, kui palju suudab jaam elektrienergiat toota. [5] [15]

1.1.5 Hüdrolelektrijaam

Hüdroenergeetika on olnud üks paremaid ja puhtamaid elektritootmis viise juba 19. sajandist peale, mil teda on jõudsamalt arendatud, ajalooliselt on vesirattaid energia saamiseks kasutatud juba üle kahetuhanda aasta tagasi. Hüdrolelektrijaama (HEJ) skeem ja tööpõhimõte, mis on välja toodud joonisel 1.5, on üks lihtsamaid, kus gravitatsioonienergia eeliseid kasutades suunatakse kõrgemal asuv vee hulk, mis asub inimese poolt rajatud tammi taga, madalamal olevasse vette, läbides teekonnal turbiini, mille kaudu muundatakse mehaanilineenergia elektrienergiaks. Kasutegur on vastavalt jaama vanusele erinev, kuid üldiselt on tegemist väga efektiivse elektritootmisega, mille keskmiseks kasuteguriks loetakse 95%. HEJ on taastuvatest energiaallikatest üks paindlikum, mistõttu kasutavad riigid, kellel on geograafiliselt võimalik HEJ rajada, energiasüsteemi stabiilsuse tagamiseks, nagu viimasel ajal tehakse ka gaasielektrijaamadega. Võimsuse puudusel või rohkusel saab vajadusel väravatest,

lүүsides, läbi lasta vastavalt ava suurusele rohkem või vähem vett, mis suunatakse turbiinidesse, et genereeritud elektrienergia kogust mõjutada. [19]



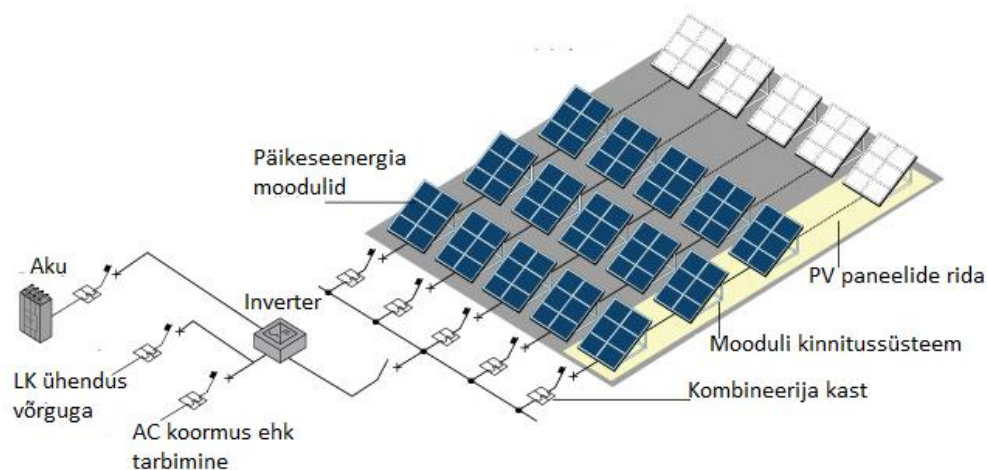
Joonis 1.5 Hüdrolektrijaama tööpõhimõtte skeem. 1-väravad; 2-lüüs; 3-Sisselaskeklapp; 4-turbiin, pumbajaamas võivad olla pump ja turbiin eraldi; 5-generaator; 6-automaatika, kaitseseadmed, juhtimine; 7-keskpinge jaotla; 8-jõutrafo; 9-kõrgepingeline jaotla; 10-liinid [19]

Hüdroenergeetika nagu ka kõik teised taastuvaenergeetika tootmisüksused ei tooda keskkonda otsest süsinikdioksiidi, kuna põletusprotsess energia vabastamisel puudub, kuid ehituse, osade tootmise ja transpordi kaudu heitmete kogust siiski toodetakse. HEJ on ühed suuremahulised ehitised, koos rajatavate tammide ja lүүsidega. Eluea jooksul on välja toodud, et hüdroelektrijaam on ühe suurema varieeruvusega jaam ja võib toota vastavalt **0,006** kuni **0,147 tCO₂/MWh** kohta, mis oleneb jaama asukohast, tema keerukuse suhtes, ja võimsusest, kui palju suudetakse elu jooksul elektrienergiat toota. [5] [13]

1.1.6 Päikeseelektrijaam

Päikeseelektrijaamasid nimetatakse rohekokkuleppe üheks olulisemaks komponendiks. Fotogalvaanilised (PV) elemendid kasutavad pooljuhtmaterjale, mis on paneelides sees, et tekitada päikesevalguse käes elektrienergiat. Paneelides endas tekkivaks vooluks on DC, kuid tänu inverterile muundatakse viimane ACks, mida saab inimene juba kasutada oma tavapärasel elus. Reeglina päikesepaneelide kasutegur algab 97% ja iga aastaga langeb 1%, mistõttu saab praegusel ajastul keskmiseks kasuteguriks lugeda 90%. Päikese paistmise ajaühikuks võib Euroopa põhja osas lugeda umbes 1 800 h aastas, mil toimub sellest elektrienergia tootmine. [20] PV elektrijaama skeemi põhimõtte on

välja toodud ka joonisel 1.6., kus on näha, et lisaks kogu jaamale ja muundamisele on ühe haruna välja toodud ka salvestustehnoloogia, mida uuemate parkide puhul on hakatud rohkem rakendama. See tuleneb sellest, et päikeseenergia pakkumine ei vasta alati nõudlusele ja üleliigne energia on vaja kuskile paigutada, et seda vajadusel kasutada. PV jaamasid paigutatakse nii katustele, kui ka põldudele, mis teeb tema omamise eraisikutele väga lihtsaks ja seetõttu on jaotusvõrgu tasandil aina rohkem näha mikrotootjaid.



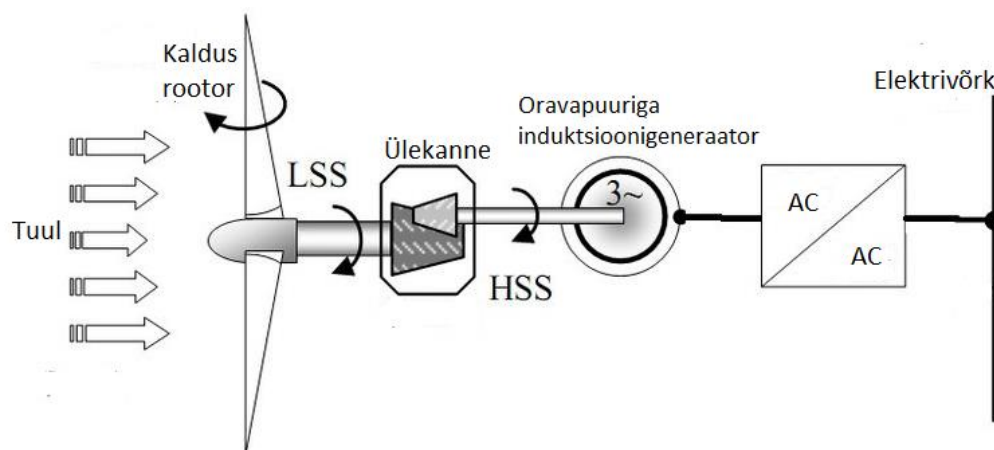
Joonis 1.6 Päikeseelektrijaama skeem. [21]

Päikeseelektrijaam ise süsinikdioksiidi keskkonda ei erita, kuid siingi peab kaardistamisel vaatlema eelnevat protsessi, mis on tehtud. PV tootmisel moodustab kasvuhoonegaaside koguheitest 70%. Kuigi tootmisliine ja võtteid on uuendatud, mistõttu on KHG kogus elektrienergia ühiku kohta toodud alla, kuid põldudel on siiski olemas ka paneelid, mis on toodetud suurema heitekogusega, kui tänapäeva tipptehnoloogia. Vanemageneratsiooni tehnoloogia CO₂ koguseks loetakse **0,122 tCO₂/MWh** ja uuenenud tehnoloogia põhjal märgitakse selleks **0,022 tCO₂/MWh**. [13] Lisaks mõjutab, kas paneel on paigutatud katusele või põllule ning millisest materjalist konkreetselt on paneelid valmistatud ja kui suured on paneelide võimsused, sest viimased on samuti viimastel aastatel hüppeliselt tõusnud. [22]

1.1.7 Tuuleelektrijaam

Tuuleelektrijaamad on üks taastuvaenergiaallikast, mis on võimeline tootma väga suuri võimsusi. Tänu viimaste kümnendite taastuvaenergia massilisele arengule on tuulikud läinud aina kõrgemaks ja turbiinid aina võimsamaks, mille juures peab arvestama ka tekkiva suurema müratasemega ja ümbruskonnas elavate inimestega. Tuuleparke

rajatakse tuuliste aladele, milleks on avameri, ranniku lähised, piki mäeharjasid ja laiaulatuslikel avatud aladel. Seega kohatakse energeetikas nii maismaa-, kui ka meretuuleparke, millest viimasel on alginvesteering palju suurem, kuid tootmine, tänu suurtele turbiinidele, kõrgem. Suuremad saavad turbiinid olla tänu sellele, et merel ei ole naabreid, kellega peaks arvestama, mistõttu on seal lähistel ka müratase tänu tema võimsamale turbiinile suurem. Lisaks suurele tootmisele on avameretuulepargid ka stabiilsemad, mistõttu tema kasutegur ulatub peab 50% olenevalt tuuliku labade struktuurist. Maismaal paiknevatel tuulikutel on kasutegur umbes 40% juures, sest puudub stabiilne tuul, mida takistavad puud, mäed ja inimeste rajatised, mis suunavad tuule kõrgustesse ja tänu sellele peavad kõrgustesse liikuma ka tuulikud. [23] Meretuuleparkide töös oleku aeg aasta kohta on umbes 3 330 tundi ja maismaatuuleparkidel on selleks arvaks kuskil 2 100 tundi. Jooniselt 1.7 on välja toodud tavapärase tuuliku ahel, kuidas tuulest genereeritakse elektrienergia, mis lõpuks suunatakse elektrivõrku. [20] [24]



Joonis 1.7 Tuuleenergia muundamise skeem [25]

Tuulikud ei erita otseselt keskkonda süsinikdioksiidi, kuid nagu taastuvate energiaallikate puhul tavapärase kaardistatakse nende CO₂ hulk eluea baasil. Kuna maismaal ja merel olevad tuulikud on oma konstruktsioonide, ehitusvõtete ning tootmise poolest erinevad, siis vaadeldakse neid erinevalt süsinikdioksiidi tootmise suhtes, kuigi arviliselt nad üksteisest väga ei erine. Maismaa tuuleparkidel on selleks arvude vahemikuks **0,011- 0,023 tCO₂/MWh** kohta ja meretuuleparkidel loetakse heitmete koguse vahemikuks **0,008- 0,017 tCO₂/MWh** kohta. [26] [13] Tegelikult on tegemist üsna väikeste koguste, kuid kaardistamiseks ja arvutustes hakkavad nad suurte võimsuste korral mõjutama riike, kes tuuleenergeetikat kasutavad.

1.1.8 Biomass-, prügi- ja maasoojuselektriijaam

Biomass on igasugusest taimsest ainest saadud kütus, mis hõlmab nii puitu, põllukultuuride jääke ja lisaks kategoriseeritakse sinna ka loomseid jäätmeid. Iidses minevikus on ka fossiilkütuseid nimetatud bioloogiliseks kütteks just nende tekkimise põhjusel, sest ka nt. põlevkivi on taimsetest päritolust. Biomassist toodetakse elektrit üldiselt koos soojusega, sest nii on võimalik kütust efektiivsemalt ära kasutada. Peamiseks kasutatakse puitkütust, mis käideldakse üldjuhul saepuru, puidutükkide või -hakke näol, sest väärtuslikumast puidust, palgist, tehakse rahaliselt kallimaid asju, mida ei ole mõtet ära põletada, et saada elektri- ja soojusenergiat. Bioloogilisest massist toodetava energia kasuteguriks loetakse 80%, mis on põletusprotsessi juures väga kõrge tulemus. [20] Poliitiliselt on puidu baasil toimivate jaamade kohta erinevaid arvamusi, kus üks pool ütleb, et tegemist on taastuvaenergia tootmisüksusega ja CO₂ koguhedet ei peaks arvestama, samas teine pool võtab arvesse, et tegemist on otseselt keemilise reaktsiooniga, põlemisega, mille üks saadusteks on süsinikdioksiid. Kaardistamiseks arvestatakse, et biomass nagu ka teised taastuvad energiaallikatel on vastavalt kütuse liigile määratud heitmete eritamise vahemik, milleks on **0,23- 0,74 tCO₂/MWh** kohta. [5]

Prügipõletuselektriijaam, mille kasuteguriks võib lugeda 25%, on üks olulisemaid tootmisüksuseid, kuna tänapäeval tekib tohutul hulgal olmeprügi, millest on võimalik teha elektrit, seeläbi leides inimkonna ühele suuremale probleemile veidi leevendust. Ringlus on tänapäeva rohelise mõttega maailmas üks olulisemaid märksõnu, mida rakendatakse juba pakenditel, muutes viimased keskkonda mitte nii kahjustavaks ja samas, lähtudes energeetika seisukohast, saab neid samu pakendeid paremini muuta elektriks, sealjuures olles suures osas taastuvenergia. Prügi süsinikdioksiidi kogus on üks suuremaid vahesid, milleks loetakse **0,51** kuni **1,833 tCO₂/MWh** kohta, mille keskmist kasutab autor ka kaardistamiseks. [27] Poliitiliselt on lood hoopis teised, sest tervest kogusest, mis korstnast välja tuleb on 80% taastuvast energiaallikast, mis võrdub null tCO₂/MWh kohta ja seetõttu ametlikes aruannetes loetakse keskkonda paiskavast kogusest ära vaid 20%, kogu heitmetest, mis paistakse keskkonda. [26]

Maasoojuselektriijaam, ehk geotermilinelektriijaam toodab elektrienergiat maast tulevate soojade aurude baasil, mis paneb auruturbiini pöörlema ja genereerib elektrienergiat, mille kasutegur on kõigest 12%. Parimad kasutuskohad on tektooniliste plaatide piiridel. Sellistes kohtades suudavad suhteliselt madalad kaevud toota piisavalt kõrget rõhku ja temperatuuridega auru, et edasi genereerida sellest elektrienergiat. [20] Samas peab arvestama, et see elektriijaam paiskab õhku ka süsinikdioksiidi, kuigi otsest põlemise protsessi ei toimu. Kaardistamiseks arvestatakse, vastav tootmisüksus

paiskab keskkonda CO₂ heitmeid, milleks loetakse vahemikku **0,038- 0,045 tCO₂/MWh** kohta. [26] [5]

1.1.9 Elektriijaamade kokkuvõte

Tabelis 1.1 on välja toodud eelpool kirjutatud elektriijaamade kaardistatud süsinikdioksiidi heitmete kogused, mis on saadud erinevatest allikatest. Edaspidistes arvutustes kasutatakse viimases veerus olevaid keskmisi väärtusi. Põlemise baasil toimuvad reaktsioonid ja kuuma õhu saavutamisel on märgitud tabelisse otsese protsessi käigus eralduv CO₂ heitmete kogus, sealjuures arvestamata poliitilisi numbreid, kus taastuvate energiaallikate koguseid ei arvestata. Taastuvate tootmisüksustel, kus põlemine puudub, on kaardistamiseks võetud eluea baasil keskkonda paisatud süsinikdioksiidi kogus. Sama põhimõtet on kasutatud ka tuumaelektriijaamaga, mille reaktsioonid toimuvad ilma põlemise protsessita. Kuna enamused taastuvad energiaallikad on jõudsalt viimastel aastatel arenenud ja nende kohta on teostatud rohkelt uurimusi, siis osadel üksustel on rohkem ka algandmeid, kui teistel, mida võib samuti tabelist 1.1 välja lugeda, võttes näiteks päikeseelektriijaama. Tabeli koostamisel on eeskuju võetud allikast [28], kus kliimaga tegeleva uurimisrühmal on välja toodud tabelid koos vahemikega, mida võivad tootmisüksused keskkonda heita.

Tabel 1.1 Süsinikdioksiidi kogus elektriijaamade lõikes

Elektriijaam	Teadusartiklid ja aruannete heitmete kogused. tCO ₂ /MWh						Kaalutud keskmine, tCO ₂ /MWh
	[9], [15], [27], [6], [12], [22]		[5]	[13]	[26]		
Põlevkivi-elektriijaam	1,15	1,04					1,097
Kivisöe-elektriijaam	0,93		0,82	1,02	0,849		0,906
Gaasi-elektriijaam	0,5	0,33	0,49	0,43	0,513	0,38	0,441
Tuuma-elektriijaam	0,02		0,012	0,005			0,012
Hüdro-elektriijaam			0,024	0,15	0,006		0,059
Päikese-elektriijaam	0,08	0,05	0,03	0,03	0,04	0,05	0,048
				0,04	0,022	0,04	
Maismaa tuulepark			0,011	0,012	0,023	0,02	0,015

Tabel 1.1 järg

Avamere tuulepark		0,012	0,008	0,016	0,02	0,013
Bio-elektrijaam		0,23	0,74			0,485
Prügi-elektrijaam	1,833				0,51	1,172
Maasoojus		0,038			0,05	0,042

1.2 Riiklikud CO₂ arvestused Balti- ning Põhjamaades

Tulenevalt Euroopa Liidu rohekokkuleppest, „Green Deal“, on paljud riigid pidanud tõsiselt otsa vaatama riigisisestele tootmisüksustele ja võimalusele naaberriikidest elektrienergia ekspordiks. Eelmistel kümnenditel jõudsalt arendatud ja ehitatud fossiilsete kütuste baasil toimivad tootmisüksused on vaja, tänu oma suuremahulise süsinikdioksiidi heitmete koguste tõttu asendada taastuvaenergeetikal toimivate üksuste vastu, arvestades selle juures inimeste heaolu ja energiavajadust. Kuna silmas tuleb pidada ka julgeolekut ning taastuvat energeetikat peetakse siiani üldiselt ebastabiilseks, siis on oluline, et riikidel oleks võimekus kasutada kiirelt reageerivate ja vähe CO₂ tootvate juhitavate tootmisüksuste näol, hoides süsteemi kriitilisemas olukorras töös. Igal riigil on Euroopa Liidu Komisjoni poolt pandud lähtepunktiks 1990. aastal keskkonda paisatud CO₂ heitmete kogus, millest lähtudes tehakse edasised sammud, et jõuda vahe etapina 2030. aastaks 45% peale ja lõpuks 2050. aastaks saavutatakse süsinikuneutraalsus. [1] Tootmiste kaardistamiseks on autor vaatluse alla võtnud põhjamaad, kes oma geograafilise eelistuse tõttu kasutavad massiliselt hüdroenergiast toodetud elektrit, Baltimaad ning lisaks äärmustesse minevat Saksamaad, kes on Euroopa taastuvenergeetika genereerimise liider, ning Poolat, kes on esirinnas kivisöest genereeritud elektrienergiaga. [29]

1.2.1 Eesti

Eesti on Euroopas juhtival kohal põlevkivist elektrienergia tootmisega, mis teeb temast energiasõltumatu riigi, kuid uusi suundasid arvesse võttes, see ei pruugi jääda ja hakatakse elektrienergiat naabritelt sisse importima. Põlevkivi toodab suures mahus süsinikdioksiidi, mis elektri saamise eesmärgil paisatakse keskkonda. 2019. aastal on aruandluses välja toodud, et Eesti süsinikdioksiidi kogus energeetika sektoris on **9,12 milj. t**, mida on aastatega suudetud pidevalt vähendada. [30] Viimasele aitab kaasa ELi

roheleppega kehtestatud CO₂ maksud, mis on paljude fosiilkütuste tootmise hinnad viinud konkurentsist välja. Lisaks maksude suurenemisele on plahvatuslikult tõusnud ka päikeseelektrijaamade rajamine, mis katab ära suurema osa suvisest energiavajadusest. Tabelis 1.2 on välja toodud Eesti tootmisüksused, koos installeeritud võimsusega 2019. aastal, kus on näha, et tänaseks on siiski esikohal põlevkivist elektrienergia tootmine. [29] [31]

Tabel 1.2 Eesti 2019. aastal installeeritud võimsus tootmisüksuste järgi. [32]

Tootmisüksus	Installeeritud võimsus, MW
Maismaa tuulepargid	462
Päikeseenergia	42
Fossiilne põlevkivi	1 970
Prügienergia	19
Maagaas	176
Biomass	157
Kokku	2 826

1.2.2 Läti

Läti on populaarne oma maagaasiga toodetava elektrienergia ja suurte maagaasi reservaaride poolest, kus kriitilisel olukorras oleks võimalik varusid kasutada. Pea kolmandiks elektrienergiat tuleb Lätis maagaasi põletamise baasil, mida on näha ka tabelist 1.3. Samas tabelist on võimalik ka välja lugeda, et riigil on rohkem kui 50% installeeritud võimsusest hüdroenergia all. See on võimalik tänu Daugava jõe suurele veemahule, kuhu on rajatud mitmeid HEJ. 2020. aastal on aruandluses välja toodud, et Läti süsinikdioksiidi kogus on **2,21 milj. t**, mis teeb kogu riigi tarbimise vajaduse osast umbes kolmandiku. [30] Seetõttu on tegemist suure importija riigiga, mida võib välja lugeda ka heitmete kogusest, kui Läti on oma eesmärgiks võtnud arendada taastuvat energeetikat, mille kõrval saab elektrienergia vajadust rahuldada juhitava maagaasielektrijaama ja hüdroelektrijaama näol, mis muutub mitte juhtivate jaamade juurde tulekuga aina olulisemaks.

Tabel 1.3 Läti 2020. aastal installeeritud võimsus tootmisüksuste järgi. [32]

Tootmisüksus	Installeeritud võimsus, MW
Maismaa tuulepargid	74
Hüdroenergia	1 578
Päikeseenergia	9
Maagaas	1 026
Biomass	145
Kokku	2 832

1.2.3 Leedu

Leedu on Baltimaades täna ainuke riik, kes on energeetika valdkonnas teinud ära marginaalse ülemineku. Peale viimase tuumajaama reaktori sulgemist 2009. aastal, sai Leedust eksportijast riigist suures mahus importiv riik. Tänapäeval impordib Leedu kolmveerand enda energiaruudest sisse teisest riikidest, mistõttu riigi enda tootmisvõimsused on üsna tagasihoidlikud ja nagu tabelist 1.4 on välja toodud on umbes 50% sellest taastuvate energiaallikate kaudu. See teeb Leedust teistest riikidest energeetiliselt sõltuva riigi, mis julgeoleku küsimustes ei ole väga tugev väljavaade, Väikest tootmisvõimsust tõestab ka 2019. aastal on aruandlus, kus on välja toodud, et Leedu süsinikdioksiidi kogus energeetikas on vaid **2,31 milj. t**, mis on viimasel aastatel püsinud üsna stabiilsena. [30] Riigi ambitsioonikas plaan on 2050. aastaks saavutada taastuvaenergia osakaal 80% lõpptarbimise osast, seeläbi vähendada imporditava elektrienergia hulka ja suurendada energiajulgeolekut. [33]

Tabel 1.4 Leedu 2020. aastal installeeritud võimsus tootmisüksuste järgi. [32]

Tootmisüksus	Installeeritud võimsus, MW
Maismaa tuulepargid	534
Hüdroenergia	1028
Päikeseenergia	103
Prügienergia	22
Maagaas	1770
Biomass	242
Kokku	3 699

1.2.4 Poola

2016. aastal on aruandluses välja toodud, et Poola heitmete kogus energeetika sektoris on **155,69 milj. t**. [30] Poola usub, et fossiilsed kütused on tuleviku perspektiivis nende energiasüsteemis põhielemendiks, sest riik ei võta seda riski, et viia kogu tootmine juhitamatutele tootmisüksustele, mis seaks küsimuse alla riigi energiajulgeoleku. Samas on üheks eesmärgiks KHG heitmete hulga vähendamine, mida proovitakse teha läbi ebaefektiivsete kivisöejaama plokkide uuendamise ja väljavahetamisega. Selle kõrvalt on riigi eesmärgiks toetada ka taastuvaenergia rajamist, kuid täiesti kivisöe vabaks saamiseks, ei kuulu selle riigi eesmärkidesse, põhjuseks on eelpool mainitud energiajulgeolek. Tabelist 1.5 on näha, et Poola elektrienergia lõviosa tuleb just kivisöest, fossiilsete kütuste põletamisest, millest kogu riigi süsinikdioksiidi osast moodustab viimane üle 70%. [34]

Tabel 1.5 Poola 2016. installeeritud võimsus tootmisüksuste järgi. [32]

Tootmisüksus	Installeeritud võimsus, MW
Fossiilne kivisüsi	27 307
Maismaa tuulepargid	5 494
Hüdroenergia	2 321
Päikeseenergia	77
Maagaas	1 460
Biomass	435
Kokku	37 094

1.2.5 Saksamaa

Saksamaa on Euroopas üheks eesliikujaks 100% elektritootmine viia üle taastuvatele energiaallikatele. Esimeste suuremate sammudena on näha, et toimub tuuma- ja kivisõejaamade järkjärguline sulgemine. Kivisõeelektrijaamade sulgemise aastaks on praegusel hetkel pandud 2038 ja tuumaelektrijaamad kindlat kuupäeva pole määratud, vaid lastakse reaktoritel nende eluiga ära töötada ja seejärel utiliseeritakse vastav kompleks. [35] Taastuvate tootmisüksustega käib käsikäes iseloomustusega ebastabiilsus, siis fossiilsete elektrijaamade sulgemine tõstab süsteemi ülevõtmiseks vajalikku juhitava tootmisüksuse osakaalu, milleks praegusel hetkel on parimaks valikuks osutunud maagaasil töötav elektrijaam. See tähendab, et Saksamaa hakkab üha enam sõltuma maagaasist ja selle tarnija riigist. Tabelist 1.6 on näha milliste tootmisüksustega ja kui palju on Saksamaal 2020. aastal installeeritud võimsust. Sama aasta aruandluses on välja toodud, et Saksamaa süsinikdioksiidi kogus energeetika sektoris on **247,56 milj. t**, mis on aastatega tänu taastuva energeetika tootmisüksuste rajamisega tugevalt olnud langustrendis ja hetkeliste prognooside näol see suund ka jätkub. [30]

Tabel 1.6 Saksamaa 2020. aastal installeeritud võimsus tootmisüksuste järgi. [32]

Tootmisüksus	Installeeritud võimsus, MW
Tuumaenergia	8 114
Fossiilne kivisüsi	47 898
Maismaa tuulepargid	53 338
Geotermiline energia	47
Hüdroenergia	14 726
Avamere tuulepargid	7 504
Päikeseenergia	48 823
Prügienergia	1 682
Maagaas	31 793
Biomass	8 034
Kokku	221 959

1.2.6 Soome

Soome on üks maailma liiderrike oma targalt kasutatava bioenergiaga, kus riik kasutab bioloogilisi jäätmeid, turvast ja metsatööstusest toodetavat hakkepuitu. Paljud jaamad on efektiivsuse mõttes tehtud kombineeritud tsükliga SEJ, kuna üksi elektrienergiat toota pole mõistlik. Nii Soome, kui IEA usub ja proovib tõestada, et bioenergeetikal on suur roll üleminekul, kui fossiilsed elektrijaamad pannakse samm-sammult kinni ja taastuvad energiaallikad teevad massilist tõusutrendi, koos juhivate võimsustega. [36] Tabelist 1.7 on välja toodud Soome elektrienergia installeeritud võimsused 2018. aastal ja seal võib märgata, et bioenergial on kogutootmises väga suur osakaal umbes 20%. Sama aasta aruandluses on välja toodud, et Soome süsinikdioksiidi kogus on **17,72 milj. t**. [30] Suurriigi kohta on see kogus väga minimaalne, kui arvestada ka sellega, et riik on võimeline enda energiavajaduse ise tootma ja eksportida ka naaberriikidesse, eelkõige lõunanaabritele, Eestisse.

Tabel 1.7 Soome 2018. aastal installeeritud võimsus tootmisüksuste järgi. [32]

Tootmisüksus	Installeeritud võimsus, MW
Tuumenergia	2 782
Fossiilne kivisüsi	3 664
Maismaa tuulepargid	1 908
Hüdroenergia	3 149
Päikeseenergia	7
Prügienergia	157
Maagaas	1 813
Biomass	3 567
Kokku	17 047

1.2.7 Rootsi

Rootsi on riik, kes on eeskujuks võetud vähese CO₂ heitmetega majandav riik. See on saavutatud fossiilsete kütuste mittekasutamine ja taastuvaenergeetika laiaulatuslik kasutamine, mida on näha ka tabelist 1.8. Lisaks taastuvatele energiaallikatele kasutab Rootsi elektrienergia baaskoormuse katmiseks tuumaelektrijaama, mida loetakse süsinikdioksiidi suhtes samaväärseks tuulegeneraatoriga. Rootsi energiapoliitika on aastakümneid juurelnud säästva energiasüsteemi loomist, keskendunud energiatõhususele ja kasutada täies mahus kodumaist taastuvaid energiaallikaid. See poliitika on osutunud väga edukaks ja on paljudele riikidele eeskujuks. Praegusel hetkel kavatab Rootsi samamoodi jätkata suurendades veelgi taastuvaenergia osakaalu üldise tootmise kogusest. [37] 2019. aasta aruandluses on välja toodud, et Rootsi süsinikdioksiidi kogus on **8,75 milj. t**, mis on toodetud energeetika sektori poolt. [30]

Rootsis on suurem probleem transpordist toodetud CO₂ heitmete kogusega, mis on energeetika omast üle kahe korra suurem.

Tabel 1.8 Rootsi 2019. aastal installeeritud võimsus tootmisüksuste järgi. [32]

Tootmisüksus	Installeeritud võimsus, MW
Tuumaenergia	8 586
Maismaa tuulepargid	7 506
Hüdroenergia	16 301
Biomass	8 439
Kokku	40 832

1.2.8 Norra

Norra on riik, keda saab nimetada elektrienergia hulgimüüjaks, sest tänu oma geograafilisele asukoha eelistele on riigil olnud võimalik rajada suuri võimsuseid hüdroelektrijaamade näol ja tänu sellele toota elektrienergiat niipalju, et seda eksportida ka naaberriikidesse. Norral on võimekus pakkuda põhjamaade piirkonnale märkimisväärset odavat, väga paindlikku ja süsinikuvaba elektrienergiatootmist, mida on näha ka tabelis 1.9. Norra ise ei oma palju erinevaid tootmisüksusi, kui võrrelda seda nt. Saksamaaga. IEA julgustab Norrat kasutama oma hüdroenergia võimsust, mis on suurim Euroopas pärast Venemaad, et tasakaalustada nõudluse ja pakkumise erinevust ühe enam muutuvate taastuva allikatega laieneval turul. Üheks kitsaskohaks loetakse ülekandevõrkude rajamist hüdroelektrijaamadeni, mis asuvad fjordides. 2017. aasta aruandluses välja toodud, et Norra süsinikdioksiidi kogus on **2,04 milj. t**, mis on riigi kogu KHG kogusest kõigest 5,6%. [30] Norra on pööranud suurt tähelepanu keskkonnasäästlikuse ja kliimale, kus muutuste leevendamiseks on laialdane ühiskondlik toetus ja suundumus. [38]

Tabel 1.9 Norra 2020. aastal installeeritud võimsus tootmisüksuste järgi. [32]

Tootmisüksus	Installeeritud võimsus, MW
Maismaa tuulepargid	873
Hüdroenergia	28 262
Maagaas	611
Kokku	29 746

2. RIIKIDE VAHELINE ANALÜÜS

Seoses rohepöördega annavad riigid iga aastaselt Euroopa Liidu komisjonile ülevaate oma tegemistest ja saavutustest CO₂ heitmete suhtes. Aruandluses tuuakse välja erinevate sektorite tegemised ja võrdlused minevate aastate tulemustega, et teha illustreerivad joonised ja selle põhjal ka statistika. Üheks suuremaks sektoriks on energeetika, mis antud töös ongi võetud vaatluse alla. Euroopa Liidu poolt edastatud andmeid nimetab lõputöö autor poliitilisteks tulemusteks, mis on arvatud riikide poolt ja esitatud ELi Komisjonile, kes nendest teeb oma statistilise ülevaate, et välja selgitada Euroopa üleüldist edasilikumist eesmärkide suunas. Analüüsitava riikide vastavad tulemused on välja toodud tabelis 2.1, kus on riikide poolt edastatud heitmete kogused energeetika sektoris.

Tabel 2.1 Riikide poolt Euroopa Liidu komisjonile edastatud süsinikdioksiidi kogused energeetika sektoris. [30]

Riik	Riigi poolt edastatud heitmete kogused, milj.t CO₂
Eesti	9,12
Läti	2,21
Leedu	2,31
Poola	155,69
Saksamaa	247,56
Soome	17,72
Rootsi	8,75
Norra	2,04

Arvutuslikud tulemused, mida analüüsitakse tabeli 2.1 tulemuste baasil, on autor saanud andmeid järgmistest allikatest: IEA, teadusartiklid ja Eurostat statistika andmebaasidest. Kõik kogutud tulemused on esimeses peatükis välja toodud nii tootmisüksuste, kui ka analüüsimiseks valitud riikide kohta. Hüpoteesiliselt on poliitilised tulemused, mis on välja toodud tabelis 2.1, arvutuslikest tulemustest erinevad just seetõttu, et riigid ei ole kohustatud oma aruannetes arvestama taastuvate energiaallikatega. Viimaste puhul on süsinikdioksiidi heitmeid tekitatud just nimelt erinevate komponentide tootmise, transpordi ja üksuse ehitamise kaudu, mis realiseeritakse eluea jooksul vastavalt tootmisvõimsustele. Koefitsient on sellistes olukordades null, millega tulemust läbi korrutades saadakse samaväärne tulemus. Ainsaks erandiks on Skandinaavia riigid, kes vaidlevad ELi Komisjoniga biokütuse puhul süsinikdioksiidi koefitsiendi üle, sest tegelikult toimub seal siiski põlemise protsess, mis eraldab CO₂ heidet keskkonda.

2.1 Riikide arvutuslike ja poliitiliste CO₂ heitmete tulemuste analüüs

Teostada riikide vahelist analüüsi, tuleb esmalt sooritada kõikide riikide kohta erinevaid arvutusi, lõpptulemusena saab võrrelda ja analüüsida riikide heitmete koguseid energeetika sektorist lähtudes. Esimeses peatükis on märgitud ja välja toodud paljud lähteandmed, milleks on kindlate tootmisüksuste heitmete kogused, tCO_2/MWh kohta, elektrijaamade kasutegurid, protsentuaalselt, ja riikide installeeritud võimsused tootmisüksuste kaupa, MW . Erandina on välja toodud tuule- ja päikeseenergia tootmisüksuste töötamise aeg, sest lähtudes Euroopa geograafilisest asukohast, maakera pöörlemisest ning rõhkkondade muutumistest ei suuda need jaamad stabiilselt ööpäeva ringselt töötada. Teiste tootmisüksuste suhtes on autor võtnud seisukoha, et nende võimekus on ööpäevaringselt töötada ja toota elektrienergiat, siis töötamise ajaks on võetud 8 760 tundi. Valemit 2.1 kasutatakse, et välja selgitada, lähtudes eelnevatest kriteeriumitest, kui palju igas riigis mingi tootmisüksus toodab elektrienergiat, mis on aluseks leida jaamade toodetud heitmete kogus. Selleks peab installeeritud võimsuse korrutama aastase elektrienergia tootmistundidega ja lisaks korrutama ka kasuteguriga, sest ükski elektrijaam ei ole võimeline tootma 100% antavast kütusest või taastavast energiaallikast elektrienergiat, alati on olemas teatav kadu, kas soojuse näol või mehaanilistes komponentides. [39]

$$P_{aeg} = P * t * n \quad (2.1)$$

P_{aeg} - Ajas toodetud võimsus, MWh

P - Installeeritud võimsus, MW

t - Aeg, h

n - Kasutegur, %

Kui viimase valemi baasil on riikide tootmisvõimsused aasta kohta leitud, siis sellest järgnevalt peab kasutusele võtma valemi 2.2, et leida konkreetse elektrijaama kohta süsinikdioksiidi kogus, lähtudes tema tootmiskogusest konkreetses riigis. Üheks põhikomponendiks tuleb selles valemis kasutusele tabelis 1.1 välja arvatud erinevate allikate baasil CO₂ heitmete kogus energiaühiku kohta, mis igal jaamal on suhteliselt erinev, võttes baasiks, kas otse õhku paisatud hulga või elueal jooksul tekitatud CO₂ heitmete kogus. Valemis 2.2 kasutatakse eelnevalt valemi 2.1 tulemusi ja korrutatakse need heitmete kogustega MWh kohta läbi. Seejärel summeeritakse riigi territooriumil tekitatud kogused, et saaks edaspidiselt sooritada analüüsi poliitiliste tulemustega.

Vastasel juhul on viidud tulemused ühtsesse skaalasse, et neid oleks adekvaatne võrrelda.

$$C_{heide} = P_{aeg} * C_{ühik} \quad (2.2)$$

P_{aeg} - Võimsus ajas, *MWh*

C_{heide} - CO₂ heitmete kogus tootmisüksuse kohta, *t*

$C_{ühik}$ - CO₂ heitmete kogus ühiku kohta, *t/MWh*

Kasutades valemit 2.1 kui ka 2.2 on järgnevates alapunktides välja toodud erinevate riikide tootmisüksuste toodang aasta kohta ja kui palju toodavad erinevad elektrijaamad keskkonda heitmeid. Lõppkokkuvõttes on kogused summeeritud, et saaks teostada analüüsi arvutuslike ja poliitiliste tulemuste vahel. Eelnevaid valemeid on kasutatud programmis Excel, mille kaudu saadud tulemused on välja toodud tabelitena, et olukorda ja analüüsi oleks võimalik paremini visualiseerida.

2.1.1 Balti riigid

Balti riigid, kuhu koosseisus kuuluvad Eesti, Läti ja Leedu on süsinikdioksiidi tootmise poolest väga erinevate taustadega riigid. Nii Lätist, kui ka Leedust on viimaste aastate jooksul saanud suured elektrienergiat importivad riigid, kuhu on tänasel päeval võtnud suuna ka Eesti, kes suurendab massiliselt juhitamatute tootmisüksuste hulka päikesepaneelide näol. Iga riigi kohta on välja toodud tabel koos tema elektrienergia tootmisvõimsustega ja läbi selle õhku paiskuvate süsinikdioksiidi kogustega, olenevalt kas protsess toimub otseselt või kaudselt. Analüüsitava aja pikkuseks on võetud aasta, mille kohta käivad kõik arvutused ja saadud kogused.

Eesti

Nagu esimeses peatükis mainiti on Eesti üle Euroopa tuntud oma põlevkivi poolest, millest massiliselt toodetakse elektrienergiat. Lähiminevikus on see võimekus olnud Eestile, kui vesi veskile, sest tänu sellele on riik oma energiavajadus ise ära katnud ja tegelenud ka elektrienergia ekspordiga naaberriikidesse. Euroopa Liidu rohekokkulepe sunnib eestlasi oma süsteemi täiesti ümber tegema ja kasutusele võtma vähem kahjulikke heitmeid paiskuvad tootmisüksused.

2.1.2 Skandinaavia riigid ehk Põhjamaad

Põhjamaad, kuhu koosseisu kuuluvad Soome, Rootsi ja Norra on oma energeetilise taustaga üsna sarnased riigid. Kõikidel on üheks peamiseks energiaallikas vesi, millega toodetakse hüdroelektrijaamades elektrienergiat. Loomulikult on Skandinaavia riikidel ka suured geograafilised eelised paljude teiste Euroopa riikide ees, mis nende põhimõtteid ja suundumusi toetab. Selle tõttu on Põhjamaid nimetatud suureks eeskujuks teistele Euroopa riikidele. Riigid on ühiselt võtnud eesmärgiks suurte heitmetega jaamad lähitulevikus ära kaotada ja tõsta taastuvate energiaallikate osakaalu hulka lõpptarbimises, kuigi päikeseelektrijaamasid nende riikide geograafiline asukoht ei toeta, eriti põhjaosas.

Soome

Soome on Põhjamaade hulgas riik, kes kõige rohkem annab süsinikdioksiidi heitmeid keskkonda, mis tuleneb fossiilse kütusega elektrienergia tootmisest, mida jäetakse järkjärgult vähemaks. Tabelist 2.5 on näha, et riigi kogu heitmete tootmine läbi autori arvatud andmetega on 27,92 milj. t CO₂, kuid riigi poolt esitatud statistika kohaselt on energeetika sektoris see 17,71 milj. t CO₂. Võttes fossiilsete kütuste arvatud tulemused jääb siiski riigi poolt edastatud tulemusest puudu, kuid siin tulebki Soome erinevus ülejäänud Euroopast sisse. Nimelt on Soome just üks riikidest, kes on veendunud, et bioloogiliste jäätmete põlemise kaudu tekib samuti heitmeid, mida peab CO₂ arvestusse lisama. Kuid kui vaadata arvatud tulemuste tabelisse 2.4, siis viimasel real on välja toodud fossiilsete kütuste baasil tekitatud heitmete kogus, kuid Soomes on autor lähtunud nende bioloogilise massi poliitikast, lisanud arvutustesse ka bioloogilise kütuse kaudu toimivad elektrijaamad. Kuigi tulemuse vahe on endiselt marginaalne, siis erinevus tuleneb sellest, et autor on erinevate allikate näol arvanud keskmise koefitsiendi, mille baasil arvutati heitmete kogused. Samas taastuvate energiaallikate tootmisüksuste koefitsiendid võivad ulatuda seinast seina vastavalt kütuse olemusest ja jaamade vanusest. Bioloogilise tootmisüksuse puhul ulatub see, tabeli 1.1 baasil 0,23-0,74 t CO₂/MWh kohta. Lisaks sellele on potentsiaalne võimalus, et erinevus võib tekkida ka jaamade tööajaga, mis arvutustel on võetud 24h päevas ja kuna üldiselt on tegemist kombineeritud tsükliga SEJ, siis üksus ei pruugi aastaringselt täisvõimsusel töötada. Seega võib arvude põhjal järeldada, et poliitilised tulemused on saadud kivisöe, maagaasi ja osalise bioloogilise massi heitmete summana on tulnud Euroopa Liidu komisjonile esitatud vastavad tulemused.

Tabel 2.5 Soome heitmete ja elektrienergia tootmise arvutuslikud tulemused, lähtudes 2018. aastast

Tootmisüksus	Elektrienergia tootmine, MWh	heitmete kogus, milj. t CO₂
Tuum	9 260 722	0,1111
Kivisüsi	12 196 723	11,0502
Maismaa tuulikud	1 602 720	0,0240
Hüdro	26 205 978	1,5462
Päike	11 340	0,0005
Prügi	343 830	0,4030
Maagaas	6 035 114	2,6615
Biomass	24 997 536	12,1238
Summa	80 653 963	27,92
Heitmete kogus, arvestamata taastuvat energeetikat:		25,84

Rootsi

Rootsi on Skandinaavia riikide seas ainuke riik, kes on omal kõik fossiilse kütusega toimivad jaamad sulgenud ja võtnud suuna tugevalt taastuvatele energiaallikatele ja selle suurendamisele. Baaskoormuse katmiseks on Rootsil kindel nägemus, et viimast peab tegema tuumaelektrijaamaga, sest see stabiilne ja keskkonnasõbralik tootmine, kui võtta lähtepunktiks CO₂ heitmed. Lisaks leitakse, et tuumaelektrijaamadest ei tohiks julgeoleku küsimusi arvesse võttes sulgeda, vaid nendega tuleb tootmis jätkata ja edaspidiselt jaamasid ka arendada. Tabelist 2.6 on välja toodud Rootsi CO₂ heitmete kogused, mis on arvutuste põhjal 37,12 milj. t CO₂, kuid riigi poolt esitatud statistika kohaselt on energeetika sektoris see 8,75 milj. t CO₂. Tulemuste vahe on suur, mis tuleneb suurest taastuvaenergeetika kogusest, millega toodetakse riigis elektrienergiat. Vaadates tabelile otsa on näha, et kõik tootmisüksused, mida Rootsi täna omab ja kasutab on poliitilises võtmes süsinikuneutraalsed, mis tähendab, et riik on täitnud Euroopa Liidu 2050. aasta eesmärgi tänaseks juba ära ja saaks tegeleda teiste sektoritega, mis CO₂ heitmeid toodavad ja on kriitilisemad. Samas on riigi poolt antud arvudes siiski süsinikdioksiidi kogus olemas, mis tuleb bioloogilisest massist toodetud elektrienergiast, sest riik läheneb loogikast, nagu teeb seda ka Soome, kuna biomassist toodetud elektri saamiseks tuleb kütus eelnevalt ära põletada ja viimase protsessi üks eralduskomponentideks on just süsinikdioksiid, siis sellega peab samamoodi arvestama, kui erinevate fossiilsete kütuste põletamisega. Tabelis 2.6 on välja toodud viimases reas, et ainult bioloogilise massi kaugu keskkonda paiskuvate heitmete arvuks on 28,68 milj. t CO₂. Kuigi poliitiliselt esitatud arv on umbes 3,5 korda väiksem, kui autori poolt arvutatud tulemus. Suuremad vahed võivad sisse tulla, lähtudes autori poolt kasutatud valemitest 2.1 ja 2.2, et jaamad ei pruugi töötada ööpäeva ringselt, millest lähtutakse arvutustel, kasutegurid võivad olla madalamad, mis sõltuvad kütuse kvaliteedist, jaama vanusest ning põhimõttest, kas jaam toodab koos elektriga ka soojusenergiat, mille tõttu samuti heitmete kogus väheneb.

Tabel 2.6 Rootsi heitmete ja elektrienergia tootmise arvutuslikud tulemused, lähtudes 2019. aastast

Tootmisüksus	Elektrienergia tootmine, MWh	heitmete kogus, milj. t CO₂
Tuum	28 581 077	0,3430
Maismaa tuulikud	6 305 040	0,0946
Hüdro	135 656 922	8,0038
Biomass	59 140 512	28,6831
Summa	229 683 550	37,12
Heitmete kogus, arvestamata taastuvat energeetikat:		28,68

Norra

Norra, kelle kaubamärgiks energeetika maastikul on hüdroenergia, mis Skandinaavia riikide seast ainuke, kellel on geograafiliselt suurepärased eeldused tammide ja elektriyaamade rajamiseks, mida on nad ka teinud. Tabelist 2.7 on näha, et Norra heitmete kogus on autori poolt välja arvutanud, arvestades selle juures ka taastuvat energeetikat, mille kogusummaks on 14,78 milj. t CO₂. Riik on, aga komisjonile esitanud arvu, milleks on 2,04 milj. t CO₂. Kuna Norral on üldiselt väga vähe erinevaid tootmisüksusi ja peamiselt tuginetakse hüdroenergeetikale, siis ainuke süsinikdioksiidi otseselt õhku paiskav tootmisüksus on maagaasil toimiv elektriyaam, mida arvestatakse ka ametlikes aruannetes. Tabeli 2.7 viimases reas on ka välja toodud eraldi fossiilsete kütustega töötavate tootmisüksuste heitmete kogusumma, mis Norra puhul on võrdeline gaasielektriyaama tootmisega ja selleks on 0,90 milj. t CO₂. Vahed võivad tulla konkreetsete yaamade kasutamisel, kas on tegemist CCTG või OCTG tootmisüksustega, kui tihti antud yaama üldse täisvõimsusel töös hoitakse ja millise kasuteguriga yaamad töötavad. Lähtudes riigist, et tegemist on Norraga ei pruugi neil tihti tekkida olukorda, kus nad vajavad ööpäeva ringset gaasielektriyaama töös hoidmist. Kõik eelnev nimetatud on autori poolt välja arvutatud valemite osadeks ja võetud keskmiste tulemustena. Esimeses peatükis mainituna ja tabelis 1.1 välja toodud on vastavalt gaasielektriyaama tüübile erinev koefitsient CO₂ arvutamiseks ja samas võib erinevus tekkida ka yaamade vanustest. Riigi suur heitmete kogus läbi arvutuste on tingitud hüdroelektriyaama suurest tootmismahdest. Yaamades toodetud elektrienergia kogus on korrutatud koefitsiendiga, mis näitab eluea süsinikdioksiidi tootmist MWh kohta. Kuigi lähtearvutusteks on võetud erinevate allikate keskmine tulemus on hüdroelektriyaamade eluea jooksul toodetud CO₂ heitmete kogus seinast seinale. Peamiselt paiskub heitmeid õhku hüdroelektriyaamade ehitamise, osade tootmise ning transpordi kaudu, mida hiljem arvutatakse MWh kohta ümber. Suureks süsinikdioksiidi eraldajaks, mis on paljudes aruannetes ka välja toodud on tsement, mida hüdroelektriyaamade ehitamisel kasutatakse ja ajab tema eluea CO₂ heitmete koguse kõrgeks. [19] Üldiselt tuuakse Norrat üheks suurimaks eeskujuks teistele Euroopa Liidu riikidele, kes on ühiselt suuna võtnud süsinikneutraalsuse poole.

Tabel 2.7 Norra heitmete ja elektrienergia tootmise arvutuslikud tulemused, lähtudes 2020. aastast

Tootmisüksus	Elektrienergia tootmine, MWh	heitmete kogus, milj. t CO₂
Maismaa tuulikud	733 320	0,0110
Hüdro	235 196 364	13,8766
Maagaas	2 033 897	0,8969
Summa	238 552 340	14,78
Heitmete kogus, arvestamata taastuvat energeetikat:		0,90

2.1.3 Saksamaa ja Poola

Saksamaa ja Poola on pealt näha oma energeetika sektori poolest ühed erinevaid, kuid samas sisult väga sarnased riigid. Saksamaad on tunnustatud kui rohekokkuleppe täiuslikku eestvedajat ja suurte muutuste tegijat, kui Poolat mustatakse kivisöe jätkuva kasutamise eest ja plaanist viimast energiaallikat mitte täielikult ära kaotada. Samas, peab taastuva energeetikaga käsikäes käima ka juhitavad tootmisvõimsused, mis on just nimelt fossiilse kütusega elektrijaamad, mida on võimalik kiirelt juhtida, seda Saksamaa ka suures plaanis oma taastuvate energiaallikate taga kasutab, lisaks suurtele söe baasil toimivate tootmisüksuste näol.

Saksamaa

Saksamaa, kes on Euroopa taastuva energeetika üks revolutsiooni riike on massiliselt oma pinnale paigutanud erinevaid taastuvaenergia baasil toimivaid tootmisüksusi, mida aga peab kompenseerima täies mahus fossiilsete kütustega. Tabelist 2.8 võib välja lugeda, et Saksamaa on riik, kellel on erinevaid tootmisüksusi üsna palju. Vaadates sisulisemalt sellele otsa saab välja tuua, et tohutule taastuvaenergeetika kogusele on vastukaaluks ka palju fossiilsetel kütustel põhinevat elektrienergia tootmisüksusi. Suurimateks tootmisüksusteks võib nimetada hüdro-, maagaasi- ja kivisöelektriijaamasid. Viimase kaudu on naaberriiki Poolat pidevalt mustatud, kuid tegelikult ollakse ise palju suuremad kivisöest elektritootjad, kui naabrid. Arvutuslikud tulemused ja riigi poolt edastatud arvud olid autori jaoks kõige suurem üllatus, sest mõlema suurusjärg jäi enamvähem samaks. Arvutatud tulemuse väärtus on 234,93 milj. t CO₂, ja riiklikult Euroopa Liidu Komisonile edastatud tulemus on 247,56 milj. t CO₂. Samas peab kaalutlusele võtma ka selle fakti, et riigid, kes annavad oma tulemused Komisjonile ei ole arvutustes arvestanud taastuvate tootmisüksustega. See fakt muudab arvutuslikku tulemust umbes 42 milj. t CO₂ võrra väiksemaks, ehk 191,13 milj. t CO₂. Tabelist 2.9 on näha, et suur taastuvaenergia propageerija kasutab hoopis

ise suures koguses kivisütt ja maagaasi, mis annab suure enamuse riigi heitmete kogusest. Sellelt pildilt on hästi näha, et taastuvatel energiaallikatel peab olema vastukaaluks kiiresti reguleeritavat juhitavat võimsust, milleks on üldiselt maagaasil toimiv elektriyaam. Kui teostada arvutused, siis ebastabiilsete tootmisüksuste näol, milleks loetakse päikest ja tuult on summaarne tootmine suurusjärgus 130 TWh, sellele on vastukaaluks suurusjärgus samapalju maagaasi põhjal toimivat tootmist, 105 TWh. Sellest saab järeldada, et viimast jaama kasutatakse puhtalt taastuvatest energiaallikatest saamata jäänud elektrienergia kompenseerimiseks. See tagab küll riigile julgeoleku ja hoiab elektrisüsteemi toimimas, kuid muudab riigi ka sõltuvaks ühest kütuse liigist. Saksamaa impordib 88% oma gaasivarudest sisse just Venemaalt ja Ukrainast, mis teeb tema julgeoleku küsimised üsna aktuaalseks. 2014. aastal tekkinud Venemaa ja Ukraina vaheline gaasitüli tekitas raskusi ka Euroopa liiderriigil Saksamaal oma energiavajaduse rahuldamiseks. [40] Saab järeldada, et Saksamaal on suured julgeoleku probleemid, kui maagaasi eksportivad riigid peaksid mingitel põhjustel tarne ära jätma ja enam vastavat fossiilset kütust eksportida ei ole võimalik.

Tabel 2.8 Saksamaa heitmete ja elektrienergia tootmise arvutuslikud tulemused, lähtudes 2020. aastast

Tootmisüksus	Elektrienergia tootmine, MWh	heitmete kogus, milj. t CO₂
Tuum	27 009 883	0,3241
Kivisüsi	159 442 862	144,4552
Maismaa tuulikud	44 803 920	0,6721
Maasoojus	49 406	0,0021
Hüdro	122 549 772	7,2304
Avamere tuulikud	11 994 394	0,1559
Päike	79 093 260	3,7965
Prügi	3 683 580	4,3172
Maagaas	105 832 538	46,6721
Biomass	56 302 272	27,3066
Summa	610 761 888	234,93
Heitmete kogus, arvestamata taastuvat energeetikat:		191,13

Poola

Poola, nagu eelpool mainitud on tuntud oma kivisöe laiaulatusliku kasutamise eest ja sellest elektrienergiat genereerides. Tabelist 2.9 on näha, et juhtival kohal elektri tootmisel kasutab Poola just kivisütt, millest toodetakse kolmveerand kogu oma elektrienergiast. Poola on võtnud seisukoha, et kivisööst riik ei loobu, vaid teevad jaamad efektiivsemaks, et keskkonda paiskuvat CO₂ hulka vähendada, vastasel juhul tuleks vaatluse alla energiajulgeoleku küsimused, lisaks terve elektristruktuuri

2.1.4 Riikide analüüsi kokkuvõte

Riikidel on vastavalt oma geograafilistele võimalustele, jõukusele ja maavaradele väga erinevad tootmisüksused, millega genereeritakse elektrienergiat, kus viimastel aastatel tänu rohekakkuleppele on võetud ka uuemad suunad. Eelpool mainituna on riigid esitanud Euroopa Liidu Komisjonile süsinikdioksiidi kohta aruandeid palju nende vastav riik täpsemalt CO₂ heidet keskkonda toodab. Arvutatud tulemused, mis on teostatud autori poolt, on tulnud üldjoontes erinevad, kui võrrelda neid poliitiliste tulemustega, sest viimastes ei ole arvestatud taastuvaenergeetika heitmete tootmist, mis üldjoontes on keskkonda paisatud koos kogu valmistamise ja kohale toomise protsessiga. Seetõttu tuleb neid vaadelda, kui tootmisüksuse elueal keskkonda paisatud heitmetena, mistõttu võib nende tegelik heitmete kogus *MWh* olla arvutuste omast väiksem, kui ka suurem. Graafikus 2.10 on välja toodud kõik summaarsed väärtused nii poliitilised, kui ka need, mille autor on oma andmete põhjal arvutanud. Parema ülevaate saamiseks on viimasesse graafikul asetseva tabeli viimasse veergu toodud vahe, mis kahte erinevat arvu eristab ja kuidas need vastavalt riigi põhitoodangule erinevad, kasutatud on valemit 2.3. Kui arv on tulnud negatiivse väärtusega, siis esitatakse Euroopa Liidu Komisjonile heidete kogus, mis on väiksem, kui autori poolt arvutatud ja riik on seetõttu puhtamas nimekirjas. Kui tulemus on positiivne, siis on järelkult tehtud riigile heitmete koguse suhtes liiga ning makstakse rohkem süsinikdioksiidi heitmete pealt, kui tegelikult peaks.

$$C_{vahe} = C_{poliitiline} - C_{arvutuslik} \quad (2.3)$$

3. RIIKLIKU SOTSIAALMAJANDUSLIKU MÕJU ARVUTAMINE

Igas erinevas valdkonnas, kus sooritatakse uuringuid ja tehakse analüüse on mõistlik ühe suure teemana käsitleda ka sotsiaalmajanduslikke mõjusid. Teema, kui selline on iseenesest väga laiaulatuslik, kuid kõik erinevad tegevused, mida suuremas mastaabis ette võetakse või muudetakse, mõjutab see otseselt või kaudselt keskkonda ja inimesi. CO₂ heitmete juures otseseks mõjuks võib lugeda õhu puhtust, mis mõjutab inimeste tervist. Kui süsinikdioksiidi osakaalu õhus vähendada on tulemuseks tööjõulised inimesed aasta vältel rohkem terved ja suudavad riigi majandust tõsta, millega kaasneb SKP suurenemine. Kõrge süsinikdioksiidi sisaldus õhus võib vastupidiselt mõjutada inimese tervist negatiivselt, kas siis hingamisteede haiguste näol või mustema stsenaariumi korral varajase surmaga. [41] Kui tööeas olev inimene jääb haigeks, siis läbi sotsiaalmeti kaetakse tema töötasud ning läbi haigekasse toetatakse tema tervise parandamist, mis riigi ja ühiskonna vaatest on suur väljaminek. Eestis on üks puhtamaid õhke maailmas, kuid siiski tekitavad ka erinevad tootmisüksused ja transport riigi keskkonda saasteosakesi. [42] Kaudseks mõjuks võib lugeda rahalist poolt, mis Euroopa Liidu suunas toimuvate CO₂ heitmete maksude näol on riigi eelarve üks miinuspooli. Kui arvutustes on tehtud vigu ja saastekvootide eest makstakse rohkem, tekib riigil suurem maksukohustus, kui ta tegelikult peaks olema. Vastava vale osana oleks võimalik sobivate summade najal arendada ja investeerida rahva heaolusse, mis ristub ka otsese mõjuga. Selleks võib võtta näidetena ka lihtsamad objektid, mis riigi ja seal elavate inimeste heaolu tõstab, nendeks võib lugeda kvaliteetsed teed, ilmastikukindlad elektriliinid, tugevam haridussüsteem, kvaliteetsem tervise- ja sotsiaalkindlustussüsteem, mis suudab paremini toetada inimesi, kes seda abi vajavad. [29]

3.1 CO₂ saastekvoodid

Läbi rohekokkuleppe on Euroopa Liidu Komisjoni käiku lasknud mitmeid erinevaid meetodeid, mis toetab pikemaajalist eesmärki, et jõuda terve Euroopaga süsinikuneutraalsuseni. Üheks suurimaks mõjutajaks loetakse heitmete saastekvootide aktiivsemat kasutusele võtmist, kuigi süsiniku turg on eksisteerinud juba aastast 2004. Sellega on Euroopa Liidul võimalik süsinikdioksiidi heitmete hulka hoida kontrolli all ja lähtuvalt eesmärgist jõuda süsiniku tasemega nulli, tuleb iga aastaselt vähendada ka saastekvoote. 2013.-2020. aastani vähendati kvootide arvu aastas 1,73%, kuid 2021.

aastal muudeti protsentuaalset väärtust, mis tähendab, et antud aastast alates on vähendamisteguriks määratud 2,2%, sest vaadati üle pikemaajaline eesmärk ning protsenti oli vaja muuta suuremaks, muidu tuleb eesmärk visalt kätte. [43] Euroopa Liit on 2021. aasta seisuga saastekvootide osakaaluks fikseeritud 1,573 miljardit ühikut, millest oksjoni korras müüakse maha 57% kvootide osakaalust. Võrreldes eelneva aastaga on vähenenud saaste kvoot 43 miljonit ühikut. [44] See tähendab, lähtudes turu loogikast, muutuvad kvoodid aina defitsiitsemaks, kuna nende hulk turul iga aastaselt väheneb ja tänu sellele liigub nende hind tõusvas joones üles, sest nõudlus nende järgi läheb suuremaks. Hinna tõusu soositakse ka üldjuhul seetõttu, et muuta taastuvad energiaallikad konkurentsi võimelisemaks ja raskendada fossiilsete kütuste pääsu elektrienergia turule, kuid samas ei saa ka ilma nendeta, sest energiasüsteem, kui tervik ei tohi julgeoleku kaalutlusi arvesse võttesse kokku kukkuda. Seega ei saa turuga minna ka utoopiliseks, sest fossiilset kütusest toodetud elektrienergia on juhitav, millega tagatakse süsteemi püsti jäämist sageduse näol, mis füüsikaliselt tähendab, et tootmine ja tarbimine peavad olema tasakaalus.

Saastekvoot, kui selline on virtuaalne number, mis näitab ära, kui palju seda omav riik või ettevõtte võib õhku paisata süsinikdioksiidi heitmeid. Üks saastekvoot annab õiguse emitteerida keskkonda ühe tonni süsinikdioksiidi. [43] Suures plaanis saab saastekvooti võrrelda väärtpaberitega, mille väärtus ajas on muutuv ning sellega saab teostada ostu-müügi tehinguid. Viimasest saadud tulu tuleb uuesti paigutada energiatõhususse või taastuvaenergiaallikate tootmisüksuste rajamisse, et ei oleks võimalik lihtsat kasumit sealt võimalik teenida, kuid eks suuremad firmad suudavad asju omakasuks juriidiliselt ära tõlgendada. Loomulikult on saastekvootide turu hinnad tugevalt mõjutatud fossiilsete kütusete maailmaturu hindadest ja Euroopa Liidu poolt suunatud mõjutamine saastekvootide summaarse arvu suhtes. Riigid, kes saastekvoodist ei suuda kinni pidada, ehk paistakse rohkem heitmeid õhku, kui talle omastavad saastekvoodid ette näevad, saavad sellise tegevuse eest trahvi, mida Euroopa Liit investeerib taaskord energiatõhususse või taastuvatesse energiaallikatesse, toetuste näol. Seega kõik rahalised tegevused, mis kvootide kaudu liigub, paigutatakse uuesti tagasi samasse sektorisse, et saavutada aastaks 2050. ELi eesmärk. [44]

3.1.1 Saastekvoodi hind ja selle kujunemine

CO₂ saastekvootidel, nagu eelnevalt mainitud on juba 2005. aastat tegutsenud süsinikuturg, kus on võimalik kvootidega kaubelda. Pärast rohekokkulepe sõlmimist on süsinikdioksiidi tootmise hind tõusnud mitmekordseks ning sellest on saanud omaette

äritegevus. Suur osa kvoote viiakse oksjoni korras turule, kus soovijad neid soetada saavad. Graafikult 3.1 on näha, kuidas viie aasta vältel on saastekvoodi hind olnud pidevas tõusus, enne seda on aastaid olnud asi suhteliselt stabiilne. Vaadates taaskord otsa graafikule 3.1 on näha, et saastekvoodi hind on teinud ka mõned järsud langused, mida maailma turul ikka aeg-ajalt ette tuleb, seoses suuremate majanduslike sündmustega. [45] Viimane juhtum, mida on graafikult erakordselt hästi näha on 2022. aasta veebruari lõpus pihta hakanud Ukraina ja Venemaa vaheline sõda, mis tõi turule paari päevaga umbes 40% languse. Nimelt on Ukraina üks suuremaid varustajaid ja vahelülisid Euroopaga maagaasi suhtes. Kuna paljud Euroopa riigid on läinud seoses rohekokkuleppega üle gaasist elektritootmisele, just jaamade vähese heitmete sisalduse ja kiire juhtimisvõimekuse tõttu, tekkis korraga suur tarneraskus ja riigid pidid kasutusele võtma teised meetmed, et elektrienergiat toota. Teiste lahendustena pandi täisvõimsusel tööle elektrijaamad, mis toodavad rohkem süsinikdioksiidi ning seetõttu, toimus turul selline järsk langus, et suurema heitmesisaldusega jaamad oleksid turul konkurentsivõimelised. Päeva lõpus on siiski ühiskonnale ja riikidele oluline, et süsteem püsiks ja tuleks välistada olukorda, kus terves Euroopas tekiks elektrisüsteemi kustumine.



Graafik 3.1 CO₂ keskmine hind [45]

Üks suuremaid saastekvootide mõjutajaid lisaks Euroopa Liidu poolt vähendatav saastekvootide arvule aastas on maailmaturu gaasihind, sest gaasist toodetud elektrienergia osakaal muutub Euroopas aastatega aina populaarsemaks ja kui kütuse hind on kõrge, siis tuleb mõjutada saastekvootide hinda. [46] See on oluline, et gaasielektrijaamas toodetud elektri turuhind oleks parem, kui fossiilsetel kütustel, sest vastasel juhul pääseksid põlevkivist ja kivisöest toodetud elektrienergia lihtsamalt

turule ja õhu saastamine jätkuks olenemata saastekvoodi hinnast, sellist situatsiooni Euroopa Liit oma rohekokkulepet silmas pidades kindlasti soovib vältida. 2022. aasta 20. aprilli seisuga on saastekvoodi hinnaks määratud 76,72 €, kuid turu ajalooline maksimum hind on tulnud 2022. aasta 8. veebruaril ja selleks oli 96,50 €. [45] Üks suuremaid hinnakujundajaid lisaks eelpool mainitule on üks Euroopa mõjukamaid riike ja suur taastuva energeetika revolutsiooni läbiviiv riik, Saksamaa, kellest sõltub ka saastekvoodi hind, sest tegemist on suure gaasienergeetika maaletoojaga, et kompenseerida oma taastuvaid tootmisüksusi.

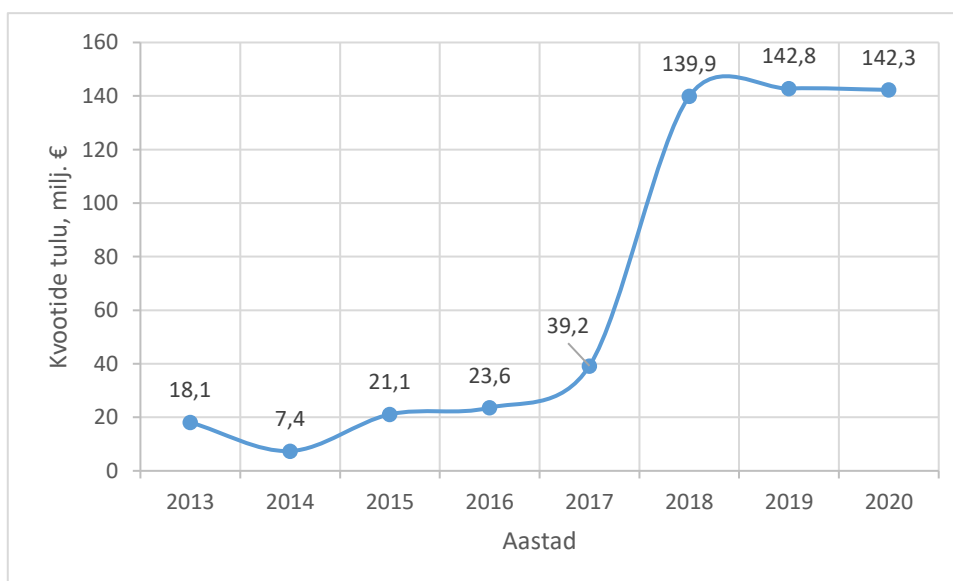
3.2 Ülevaade Eesti majanduslik arvepidamisest, lähtudes CO₂ heitmetes energeetika sektoris

Eesti on riik, mille pindala on 45,2 tuhat ruutkilomeetrit ja asetseb geograafiliselt Kirde-Euroopas. 2020. aasta seisuga elab riigis 1,33 mil. inimest ning keskmise bruto palgana on välja toodud 1 448 € kuus. Töötuse määrana on märgitud Statistikaameti poolt 6,8 %, mis on aastatega kõikunud paar protsenti ühele või teisele poole. 2020. aasta SKP on elaniku kohta 20 193 € ehk riigis tervikuna on suurusjärgus 26,8 miljardit eurot, mis on pigem aastate vältel tõusnud. [47] SKP on seotud inimeste tegutsemisega erinevates sektorites, mis aitab kaasa SKP tõusule. Viimane näitab laias laastus riigi jõukust ja milliseid vahendeid on omale tekitatud, et suurendada rahva heaolu tervise-, hariduse- ja sotsiaalsektoris. Kuna Eestis toodetakse suurem osa elektrienergiat põlevkivist, kuigi tõusvas trendis tuleb pildile ka taastuvenergeetika ja lähtudes tabelist 1.1, millest saab kindlalt väite, et põlevkivi on üks kõige suurema süsinikuintensivsusega fossiilne kütus. See tähendab, et tuleb jälgimisele võtta CO₂ heitmete maksud ehk saastekvoodid, mis iga aastasel tõusevad ja mille pealt oleks võimalik rahva heaolu rohkemgi tõsta, kui seda riik täna teeb. [31] Autor on lähtudes teemast võtnud vaatluse alla Eesti sotsiaal-majanduslikud potentsiaalid, võttes üheks oluliseks tugipunktis käesoleva lõputöö teises peatükis tehtavad arvutused ja eelpool mainitud saastekvootide hinna.

3.2.1 CO₂ saastekvoodid Eestis

Euroopa Liit, kes võttis kasutusele saastekvoodid, et süsinikdioksiidi heitmete hulka hakata Euroopa mandri õhuruumis vähendama ja tekitada sellega rahaline liikuvus, mis lõppkokkuvõttes, lähtudes euroopa direktiivis peab jõudma energiatõhususeni. Käesolev otsus võeti Euroopa Liidu poolt vastu 2013. aastaks, et sellest ajast peale peavad riigid oksjonilt ostma omale vajaliku arvu kvoote, mida nad kasutavad ära erinevates

sektorites, mis toodavad heitmeid. Eestil oli võimeline teha taotlus, mis võimaldas riigil saada tasuta saastekvoote, et teostada erinevaid investeeringuid, mis on kooskõlad Euroopa Liiduga. Taotluse rahuldati ning selle aluseks võeti, et Eesti elektrivõrk oli ainult kaudselt ühenduses liidu hallatava võrguga ja seegi võimsus jäi alla 400 MW. Selle baasilt tehti otsus, et Eestile antakse tasuta kvoote, et riik oleks võimeline tegema investeerinuid tootmisüksuste moderniseerimiseks, ajakohastama infrastruktuuri ehk kasutusele võtma rohkem taastuvat energiaallikat, sest sel hetkel oli kasutuses põhimõtteliselt ainult põlevkivi, kuigi 2018 moodustus see suure osa toodangust, milleks on 76%, kuid viimane on tugevas langustrendis. [48] Riik on saastekvoote investeerimise eesmärgil ka oksjoni korras neid ka müünud, et saaks taaskord raha paigutada vastava sektori arengusse ja selle tõttu on riigist saanud üks suuremaid saastekvootide müüjaid, kes turul hetkel tegutseb. Kuigi ELi lähtepunktiks oli 1990. aasta, siis Eestile anti saastekvoote rohkem, kui nad neid tegelikkuses kulutasid, mistõttu oligi võimalik neid turul müüa. Kvootidest saadud tulu on välja toodud graafikul 3.2. [6]



Graafik 3.2 Eesti saadud tulu CO₂ kvootide oksjonil [49]

Graafikus 3.2 välja toodud tulud Eesti riigile tulnud tulu on suhteliselt konkreetselt paika pandud, mida võib sellega üldse teha, nagu eelpool ka mainitud, peab selle paigutama energiatõhususse ja taristu moderniseerimisele. Kogu saadud tulu pole riik paigutanud energeetika sektorisse, vaid rahalist tuge on antud ka transpordi sektorisse, kus uuendati ühistranspordi sõidukeid ja osteti „rohelisemad“ masinad, mis täna inimesi teenindavad. [50] Energeetika poole pealt üks suuremaid investeerinuid on olnud

Auvere elektrijaam, mille kogu investeeringust, mis küündis 600 milj. euroni, kaeti saastekvootide näol 50% kogusummast. Jaam on uuema generatsiooni põlevkivi elektrijaam, mis katab ära 25% Eesti elektritarbimisest ning annab võimaluse sulgeda vanemad tootmisüksused, läbi mille kaob turul ära 600 MW installeeritud võimsust. Kütusena kasutatakse peamiselt küll põlevkivi, kuid seda on võimalik 50% ulatuses segada ka biomassiga, mis teeb poliitilisel maastikul süsinikdioksiidi hulka poole väiksemaks. [51]

3.2.2 Eesti sotsiaalmajanduslik võimekus

Eestil 2013-2020 olid suured arenemise aastad, kuna Euroopa Liidu komisjonilt saadi tasuta saastekvoote, mida energiatõhususe eesmärgil müüdi ja siis taaskord investeeriti. 2021. aastal enam sellist luksust riik endale lubada ei saa, vaid on vaja hakata saastekvoote ostma oksjoni korras süsinikuturul. See tähendab, et riigi suur kasum, mis on aastatega saadud kaob ära ja muutub sissetuleku asemel väljaminekuks. Et saada teada, millist summat peab riik välja käima saastekvootide eest, võttis autor aluseks 20.04.2022 süsinikuturu saastekvoodi tükihinna, milleks on 76,72 €/tk. Läbi selle ja teadmise palju riik heitmeid tarvitab, tuleb kasutada valemit 3.1, seeläbi on võimalik leida maksumuse summa, millega peab riik edaspidiselt arvestama hakkama. Kuna paljusid asju mõõdetakse riigi puhul SKPs, siis teostatakse arvutused valemi 3.2 põhjal, kui suur osa on saastekvootide ostmine riigi SKP-st.

$$M = C_{riigi\ heide} * 76,72 \text{ €} \quad (3.1)$$

M - Maksumus heitmete eest, milj. €
 $C_{riigi\ heide}$ - riigi CO₂ heitmete kogus, milj. t

$$O = \frac{M}{SKP} * 100\% \quad (3.3)$$

O - Heitmete maksumuse osakaal, %
 M - Maksumus heitmete eest, milj. €
 SKP - Sisemajanduse koguprodukt, milj. €

Järgnevalt on autor välja valinud kaks süsteemi, mille baasil tuuakse näiteid, mida oleks võimalik läbi arvutuste muutmise vahe summana ära teha ühiskonnas, et inimestel oleks parem elukeskkond ja tulevik oleks kindlustatud ning liiguks riigina heaoluühiskonna suunas. Süsteemid, millest autor lähtus on haridussüsteem ja tervisehoiussüsteem, sest need on meie ühiskonna alustala ja pikem vaade tulevikule. Näited, mis koheselt tulevad vaatluse alla on ühe aasta jooksul tehtavad investeeringud riigi eelarvest saastekvootide ülejäägist, sest iga aastast tuleb saastekvootide osakaalu uuendada ja osaled oksjonil. Kui võtta vaatluse alla kahe aastane periood, siis antud summa juba kahekordistuks.

Haridussüsteem

Lähtudes sotsiaalmajanduslikust heaolust, saaks vastava vahe, mis on arvutuste tulemusel saadud investeerida teistesse sektoritesse, mis aitaks ühiskonda rohkem edasi ja tooks inimestele ja riigile rohkem kasu. Lähtudes erinevatest investeeringutest, mis on tehtud hardussüsteemis, siis 2021. aastal avatud Saaremaa Gümnaasiumi projekt läks maksma 6,2 milj. €, mis on arvutatud heitmete vahe summast umbes 10 %, kui lisada sinna otsa planeeritavad Laagri riigigümnaasiumi õppe- ja spordihoone ning Tabasalu haridushoonete kompleks, siis nende kogu maksumus, koos Saaremaale rajatud gümnaasiumiga, on välja toodud, et läheb 21,6 milj. €, mis on saastekvootide vahetulemuse pealt alla 50%. [52] See tähendab, et lisaks nende hoonete ehitamisele, oleks võimalik uuendada paljude koolide õppevahendeid, et õpetamise võimalused oleksid piisavalt paindlikud ning erinevad tegevuse ei jääks tegemata põhjusega, et kool ei suuda selleks raha eraldada. Antud näited on puhtalt toodud ainult haridussüsteemi pealt, mis peaks igal riigil olema alustala, sest riigil on vaja tegeleda järelkasvuga, mis oleks ühiskonnale ja rahvale tervikuna vajalik.

Tervisehoiussüsteem

Eesti tervisehoiussüsteem, mille peamine rahastus tuleb avaliku sektori vahenditest, sihtotstarbeliselt läbi ravikindlustusmaksust, mis katab ära pea kaks kolmandikku kogu tervise süsteemi kuludest. Riigi protsentuaalne osa tervisehoiussüsteemi on SKP-st 2016. aastal oli 6,7%, mis on saastekvootide ostmis SKP osakaalu juures kolmandiku võrra suurem. [53] Tegemist on siiski tervisehoiuga, mis tähendab tervemaid ja töövõimelisemaid inimesi, millest võib järeldada, et kui inimkond on terve, siis riigi majandus tõuseb ja aasta eelarve on suurem. 2021. aastal eraldab Sotsiaalministeerium

haiglate rekonstrueerimiseks 25 milj. €, millega toetatakse Põhja-Eesti Regionaalhaigla B-korpust ja verekeskust, SA Tartu Ülikooli Kliinikumi A-korpust, Järvamaa- ja Hiiumaa Haigla EMO ning Kuressaare Haigla psühhiaatriaosakonda. [54] Kõikide nende toetus küündib 50% selleni, mis võiks süsinikdioksiidi heitmete kogusest jääda üle ja investeerida riigi rahva tervisesse. Teine, võimalus, kuidas inimeste heaolu parandada ja sealjuures tegeleda ka haigeks jäämise ennetamisega on terviseradade rajamine. Alates 2005. aastast on investeeritud terviseradadesse üle Eesti, koos suurtoetajatega ligi 51 milj. €, mille kaudu on saavutatud 118 hooldatud terviserada ja 78 siseterviserada. See summa, mis on paigutatud 15 aastaga on võrdeline sellega, mis tuleb tabelist 3.1 välja viimases reas, kus autor on arvutanud summa, mis võiks potentsiaalselt üle jääda CO₂ heitmete maksumusest ühe aasta kohta. Emori uuring on välja toonud, et regulaarselt külastab 8% inimestest mitu korda nädalas terviseradasid, 9% kord nädalas, 25% vastanutest mõnel korral kuus ja 30% vähemalt kord poole aasta jooksul. [55] Loomulikult ei suuda vaid terviseradade arendamine ja rajamine inimesi sinna tuua, kuid järgnevas sammuks saabki lugeda seda, et viia selle populaarsust rahvani.

KOKKUVÕTE

Süsinikdioksiidi heitmed, mis on käesolevas töös põhjalikult vaadeldud on oma informatsiooni vähesuse tõttu üks umbmäärasemaid teemasid, mille kaudu tehakse sellegi poolest suuri otsuseid. Küll proovitakse saavutada süsinikuneutraalsus ja massiliselt propageeritakse taastuvat energeetikat, et inimesed ja erinevad ettevõtted neid oma valdustele paigutaksid, seejuures aidates riikidel kaasa liikuda Euroopa Liidu rohekokkuleppe täitmise suunas. Samas tuleb arvestada, et koos rohekokkuleppega, ei saa kogu Euroopa sõltuma jääda vaid paarist erineva kütusega tootmisüksusest, sest see tähendaks kütuse tarnijast sõltuvust, nagu täna on Euroopa suurriik ja liider Saksamaa maagaasist ja paneks tugevalt küsimuse alla energiapuulgeoleku ning sageduse hoidmise.

Käesolevas töös on autor tõstatanud probleemile, et Eestile, kui ühele süsinikuintensivsemale riigile tehakse CO₂ heitmete suhtes liiga, saadi kinnitust. Lõputöö peamiseks tugisambaks on teine peatükk, kus arvutati, riikide CO₂ heitmete tulemusi ning võrreldi neid poliitiliselt edastatuga. Autori poolt teostatud arvutustes, erinevalt Euroopa Liidu Komisjonile edastatud aruannetes, toodi tehete jadasse kõik tootmisüksused, mida riigid omavad, kaasaarvatud ka süsinikuneutraalsed taastuvaenergiatootmisüksused ja tuumaelektrijaamad. Riikide taust on tootmisüksuste näol väga erinevad, mistõttu oodati lahknevaid tulemusi, mis ka vastavalt eeldustele saavutati. Riigid, mis omavad suurtes kogustes taastuvat energeetikat, või ei oma suuri fossiilsekütusega toimivaid elektrijaamasid oli arvutuste vahed negatiivse tulemusega. See tähendab, et nende esitatud aruannetes on vähem heitmeid, kui lõputöö autor välja arvutas. Majanduslikus plaanis tähendab see seda, et nemad ei ole kohustatud ostma saastekvoote niipalju, kui neil tegelikult vaja läheb ja seetõttu jääb nende riigieelarvesse rohkem raha üle ja on võimalus investeerida rahva heaolusse. Negatiivse tulemusega riikideks osutusid kõik analüüsitud riigid, peale Eesti ja Poola, kellel oli statistikas näidatud suurem kogus CO₂ heitmeid, kui arvutuste kaudu need saadi. Sellest on võimalik järeldada, et need riigid maksavad CO₂ heitmete pealt rohkem makse, kui tegelikult peaks ja sellega võetakse neilt ära rahalised ressursid, millega oleks võimalik riigi ja rahva heaolu parendada. Üheks erandiks oli Saksamaa, kes kasutab suurtes kogustes taastuvat energeetikat ja selle taga suurtes kogustes fossiilset kütust. Tema antud arv Euroopa Liidule ja autori poolt tehtud arvutusega saadud number olid enam-vähem tasakaalus, kuna tegemist on väga suure heitmete tootmise riigiga, siis võis suurusjärgud lugeda enamjoonelt samaks.

Probleemile, millele tuleks poliitilisel tasemel lahendus leida oleks ühtne heitmete arvutamise süsteem, koos taastuvate energiaallikatega. Kuid kogu süsteemi ümbertöötlemisega läheks enneolematult palju aastaid ja kui Euroopa Liit hakkaks taastuvaid energiaallikaid arvutustes sisse arvestama, siis tähendaks see suurt süsinikdioksiidi tõusu, sest need tootmisüksused on suures tõusutrendis, et saavutada erinevates riikides süsinikneutraalsus. Liidu jaoks on lihtsam minna praeguse süsteemiga edasi ja saavutada 2050. aastaks süsinikneutraalsus, millega kaasnevad teatud riskid. Käesoleva lõputöö baasil on võimalik jätkata mitmete erinevate uurimustega, millest esimese võikski pakkuda välja Euroopa Liidu CO₂ süsteemi ümbermuutmist, siinkohal peetakse silmas just spetsiifiliselt erinevaid üksusi saastkvootide turu näol ja kuidas hakkaksid rahad, toetused teistmoodi liikuma ja millised muudatused tuleks üldse ära teha, et selline asi oleks võimalik. Teise suurema teemana oleks võimalik edasi uurida riikide vahelist energiakaubandust koos süsinikdioksiidi heitmetega. Selle all mõeldakse seda, kui Eesti müüb Lätile elektrienergiat, mis on toodetud põlevkivist ja tekitab arvestatavas koguses heitmeid, siis osa CO₂ kogusest, peaks olema Läti enda kanda. Sama põhimõttega toimub ka Poola elektrienergia ekspordi korral naaberriikidesse. Vastasel juhul või tekkida selline olukord, kus keegi enam energiajulgeolekut ei arvesta ja kõik riigid tegelevad impordiga nagu Läti ja Leedu põhjal on tänasel päeval näha. Need Baltikumi riigid toodavad oma põhilise energiakoguse, lisaks taastuvatele energiaallikatele, gaasist, mille maailmaturu hind on viimastel aastatel olnud ebastabiilne ja seetõttu on gaasist toodetud elektrienergia hind samuti kõrgem.

KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU

- [1] „The European Green Deal,” European Commission, Brussels, 2019.
- [2] „Greenhouse gas emission statistics - emission inventories,” Eurostat, 2021.
- [3] „Clean Energy,” European Commission, Brussels, 2020.
- [4] „Puhtale energiale üleminek,” Euroopa Liidu Komisjon, [Võrgumaterjal]. Available: https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal/energy-and-green-deal_et. [Kasutatud 01 03 2022].
- [5] „Carbon Dioxide Emissions From Electricity,” World Nuclear Association, 2021.
- [6] „Põlevkivi kasutamise riikliku arengukava 2016-2030 täitmise 2018. ja 2019. aasta aruanne,” Keskkonnaministeerium, Tallinn, 2021.
- [7] ESTIVO, „Eesti põlevkivi energeetilise kasutamise parima võimaliku tehnika uuring,” Keskkonnaministeerium, Tallinn, 2016.
- [8] D. Neshumayev, A. Konist, T. Pihu, O. Järvik ja A. Siirde, „Solid heat carrier Oil Shale retorign technology integrated CFB technology,” Tallinn University of Technology, Tallinn, 2019.
- [9] A. Siirde, „Analysis of Greenhouse gas emissions from Estonia Oil Shale based energy production processes. Life Cycle energy analysis perspective,” Estonian Academy Publishers, Tallinn, 2013.
- [10] A. H. A. L. ja L. P. , „History of Power: The Evolution of the Electric Generation Industry,” Power, 2017.
- [11] S. Chandrasekharan, R. C. Panda ja B. N. Swaminathan, „Modeling, identification, and control of coal-fired thermal power plants,” De Gruyter, Berlin, 2013.
- [12] C. Hussy, E. Klaassen ja F. Wingard, „International Comparison of Fossil Power Efficiency and CO2 Intensity,” ECOFYS, 2014.
- [13] „Life Cycle Assessment of Electricity Generation Options,” UNECE, 2021.
- [14] A. Krishnan, B. Patil ja K. V. Ling, „Predictive Control based Framework for Optimal Scheduling of Combined Cycle Gas Turbines,” ResearchGate, 2016.
- [15] T. Gerres, J. P. C. Avila, F. M. Martinez, M. R. Abbad ja T. G. S. Roman, „The Role of Nuclear Power Plants in Electricity Systems with High RES Share,” IEEE, Milan, 2019.
- [16] „THE CHERNOBYL ACCIDENT: Report,” International Nuclear Safety Advisory Group, Vienna, 1992.
- [17] Z. Liqiang, Z. Hao, Q. Yanfeng, J. Tao, C. Ning, Z. Chuangbin, Z. Mengzi, G. Long, Y. Xu, H. Le, W. Chen, W. Jun ja C. Huiming, „Modeling and simulation of loss of power in nuclear power plant,” IEEE, Guangzhou, 2018.
- [18] „How does a nuclear power plant works?,” AplusTopper, 2020.
- [19] E. Corà, J. J. Fry , M. Bachhiesl ja A. Schleiss, „Hydropower Technologies: The State-of-the-Art,” Hydropower Europe, 2019.
- [20] D. Tommons, J. M. Harris ja B. Roach, „The Economics of Renewable Energy,” Tufts University, Medford, 2014.
- [21] „The Power of Renewable Energy: Solar Power,” Salix, Amsterda, 2018.
- [22] N. Gazbour, G. Razongles, C. Schaeffer ja C. Charbuillet, „Photovoltaic power goes green,” IEEE, Berlin, 2017.
- [23] A. Lakshim, H. Das ja D. Roy, „Wind Turbine Efficiency: Complete Insight and FAQ,” Lambdageeks SME.
- [24] I. Komusanac, G. Brindley ja D. Fraile, „Wind energy in Europe in 2019,” Wind Europe, 2020.

- [25] S. Kahla, Y. Soufi, M. Sedraoui ja M. Bechouat, „On -Off Control based Particle Swarm Optimization for Maximum Power Point Tracking of Variable Speed Wind Energy Conversion Systems,” ResearchGate, Guelma, 2015.
- [26] J. Downen, S. Downen, I. Hammond,, T. Hill, N. Pitcairn ja D. J. Webb, „Evaluation of the climate change impacts of waste incineration in the United Kingdom,” UK Win, 2018.
- [27] „Municipal Solid Waste and its Role in Sustainability,” IEA Bioenergy, Vienna, 2013.
- [28] O. Edenhofer, R. Pichs-Madruga, Y. Sokuna, J. C. Minx, E. Farahani, S. Kadmner, K. Seyboth, A. Adler, I. Baum, S. Brunner, P. Eickemeier, S. Schlömmmer, B. Kriemann, J. Savolainen, C. v. Stechow ja T. Zwickel, „Report V: Climate Change 2014,” IPCC, Cambridge, 2014.
- [29] „Kliimapolitika põhjalused aastani 2050 Energeetika ja tööstuse valdkonna mõjude hindamine,” Keskkonnaministeerium, Tallinn, 2016.
- [30] „Key energy statistics, 2020,” IEA, 2021.
- [31] F. Birol , „Estonia 2019 Review,” International Energy Agency, 2020.
- [32] „Installed Capacity per Production Type,” Entsoe, 2021.
- [33] F. Birol, „Lithuania 2021 Energy Policy Review,” International Energy Agency, 2022.
- [34] „Energy Policies of IEA Countries: Poland,” International Energy Agency, 2017.
- [35] F. Birol, „Germany 2020 Energy Policy Review,” International Energy Agency, 2021.
- [36] F. Birol , „Finland 2018 Review,” International Energy Agency, 2019.
- [37] F. Birol, „Sweden 2019 Review,” International Energy Agency, 2020.
- [38] „Norway 2017 Review,” Internation Energy Agency, 2018.
- [39] E. Jaureguiualzo, „PUE: The Green Grid metric for evaluating the energy efficiency in DC (Data Center). Measurement method using the power demand,” IEEE, Amsterdam, 2011.
- [40] K. Westpal, „Institutional change in European natural gas markets and implications for energy security: Lessons from the German case,” SienceDirect, Berlin, 2014.
- [41] R. F. Garbaccio, M. S. Ho ja D. W. Jorgenson, „The health benefits of controlling carbon emission in China,” OECD, Cambridge.
- [42] „Õhk,” Statistikaamet, Tallinn, 2022.
- [43] „EU Emissions Trading System (EU ETS),” European Comission, Brussel, 2020.
- [44] „Emissions cap and allowances,” European Comission, Brussel, 2021.
- [45] „EU Carbon Permits,” Trading Economics, 2022.
- [46] „Elektrienergia hinnatõusu analüüs 2021,” Konkurentsiamet, Tallinn, 2021.
- [47] „Eesti Statistika,” Statistikaamet, Tallinn, 2022.
- [48] „concerning the application pursuant to Article 10c (5) of Directive 2003/87/EC of the European Parliament and of the Council to give transitional free allocation for the modernisation of electricity generation notified by Estonia,” European Comission, Brusel, 2012.
- [49] A. Whyte, „Estonia to get over €200 million from CO2 quota trading for 2021,” ERR news, Tallinn, 2021.
- [50] Eesti Energia, „Euroopa Komisjon kiitis heaks Eesti taotluse tasuta kvootide eraldamiseks,” Eesti Energia, Tallinn, 2012.
- [51] Ärileht, „Eesti Energia sai ehitajalt lõpuks Auvere elektriijaama kätte, jaama maksumuseks kujunes 610 miljonit eurot,” Ärileht, Tallinn, 2018.

- [52] Nordecon, „Sügisel avatav Saaremaa Gümnaasiumi koolihoone saavutas täiskõrguse,“ Nordecon, 2021.
- [53] T. Habicht, M. Reinap, K. Kasekamp, R. Sikkut, L. Aaben ja E. V. Ginneken, „Eesti Tervisesüsteemi ülevaade,“ Health system for prosperity and Solidarity, Tallinn, 2018.
- [54] „Haiglate taristuinvesteeringuteks suunatakse ligi 25 miljonit euro,“ Sotsiaalministeerium, Tallinn, 2021.
- [55] Merko Ehitus, „Eesti Terviseradade eesmärk on tõsta eestlaste tervena elatud aastate arvu,“ Merko, 2020.