

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL  
Majandusteaduskond  
Majandusanalüüsi ja rahanduse instituut

Ekaterina Moskalenko

**DIGITALISEERIMISE JA INIMKAPITALI MÕJU TAASTUVA  
ELEKTRIENERGIA TOOTMISELE**

Bakalaureusetöö

Õppekava rakenduslik majandusteadus, peeriala majandusanalüüs

Juhendaja: Artjom Saia, PhD

Tallinn 2021

Deklareerin, et olen koostanud lõputöö iseseisvalt ja olen viidanud kõikidele töö koostamisel kasutatud teiste autorite töödele, olulistele seisukohtadele ja andmetele, ning ei ole esitanud sama tööd varasemalt ainepunktide saamiseks. Töö pikkuseks on 6734 sõna sissejuhatusest kuni kokkuvõtte lõpuni.

Ekaterina Moskalenko .....

(allkiri, kuupäev)

Üliõpilase kood: 164851TAAB

Üliõpilase e-posti aadress: moskate@gmail.com

Juhendaja: Artjom Saia, PhD:

Töö vastab kehtivatele nõuetele

.....

(allkiri, kuupäev)

Kaitsmiskomisjoni esimees:

Lubatud kaitsmisele

.....

(nimi, allkiri, kuupäev)

# SISUKORD

LÜHIKOKKUVÕTE .....	4
SISSEJUHATUS .....	5
1. TEOREETILISED ASPEKTID .....	7
1.1. Teoreetiline käsitlus .....	7
1.2. Inimkapitali ja digitaliseerimise mõju keskkonnale .....	10
1.3. Varasemate empiiriliste uuringute ülevaade .....	14
1.4. Uurimisküsimuse ja hüpoteeside püstitamine .....	19
2. KASUTATUD ANDMED JA METOODIKA .....	20
2.1. Kasutatud andmete valik ja kirjeldav statistika .....	20
2.2. Mudeli spetsifikatsioon ja meetodid .....	23
3. TULEMUSTE TÕLGENDUSED JA JÄRELDUSED .....	24
3.1. Analüüsi tulemuste tõlgendamine .....	24
3.2. Järeldused .....	27
KOKKUVÕTE .....	29
SUMMARY .....	31
KASUTATUD ALLIKATE LOETELU .....	33
LISAD .....	37
Lisa 1. Töös kasutatud riikide loetelu .....	37
Lisa 2. Kasutatud andmed .....	38

## LÜHIKOKKUVÕTE

Tänu inimese keskkonnamõjude tõttu aina sagedamini ilmnevad negatiivsed mõjud keskkonnaseisundile, üks tõsisemaid tagajärgi on osoonikihi kahanemine osoonikihti kahandavate ainete mõjul ning happevihmad. Energiatootmisest tulenevad kasvuhoonegaaside heitkogused on kogu aja jooksul oluliselt kaasa aidanud kasvuhoonegaaside kontsentratsiooni suurenemisele atmosfääris. Kliimamuutuste mõju on tunda kogu maailmas. Globaalne soojenemine põhjustab polaarjää sulamist ja seetõttu merevee tase tõuseb. Mõnedes piirkondades muutuvad ekstreemsed ilmastikunähtused ja tugevad vihmajad üha tavalisemaks, samas kui teistes piirkondades on tugevamad kuumalained, põud ja metsatulekahju.

Taastuenergia pärineb looduslikest allikatest või protsessidest, mis inimkontseptsioonide kohaselt on ammendamatud. Negatiivse keskkonnamõju vähendamiseks kasutatakse riigiasutuste ja majandusüksuste tasandil erinevaid tehnoloogilisi lahendusi ja majandusjuhtimise meetodeid. Sellega seoses on viimastel aastatel aina rohkem tähelepanu pööratud üleminekule rohelisele majandusele, mille eesmärk on parandada elanike heaolu ja elukvaliteedi, kuid samal ajal võimaldab see oluliselt suurendada keskkonnasäästlikkust.

Töös on kasutatud paneelandmeid 36 OECD riigi kohta ajavahemikul 2000-2015. Andmeanalüüs on läbi viidud Gretl tarkvaras ja Excel programmis. Analüüsimiseks on kasutatud kaks mudelit: juhusliku ja fikseeritud efektiga. Lõplike järelduste tegemiseks on kasutatud fikseeritud efektiga mudelit. Põhinedes analüüsi tulemustele esimene hüpotees leidis osalist kinnitust. Mudelis on kolm digitaliseerimise näitajat ning nad avaldavad erinevat mõju taastuva elektrienergia tootmisele. Teine hüpotees on ümber lükatud, mis on tingitud sellega, et hariduse indeksi suurenemine vähendab taastuvallektrienergia tootmist. Kolmas hüpotees leidis kinnitust, kuna kõik mudelisse kaasatud digitaliseerimise näitajad mõjutavad CO<sub>2</sub> emissioone positiivselt.

Võtmesõnad: taastuenergia, digitaliseerimine, info- ja kommunikatsioonitehnoloogiad, inimkapital

# SISSEJUHATUS

Antud bakalaureusetöö teemaks on digitaliseerimise ja inimkapitali mõju taastuva elektrienergia tootmisele. Inimkond on alati seisnud silmitsi väljakutsega pakkuda piisavalt energiavarustust inimeste kasvavate vajaduste rahuldamiseks, olenemata sellest, kas tegemist on arenenud või areneva riigiga. Tänu inimese keskkonnamõjude tõttu aina sagedamini ilmnevad negatiivsed mõjud keskkonnaseisundile, üks tõsisemaid tagajärgi on osoonikihi kahanemine osoonikihti kahandavate ainete mõjul ning happevihmad. Energiatootmisest tulenevad kasvuhoonegaaside heitkogused on kogu aja jooksul oluliselt kaasa aidanud kasvuhoonegaaside kontsentratsiooni suurenemisele atmosfääris. Tänapäeval püüavad inimesed üha rohkem tähelepanu pöörata kliimamuutuste probleemidele. Kliimamuutuste mõju on tunda kogu maailmas. Globaalne soojenemine põhjustab polaarjää sulamist ja seetõttu merevee tase tõuseb. Mõnedes piirkondades muutuvad ekstreemsed ilmastikunähtused ja tugevad vihmajärgid üha tavalisemaks, samas kui teistes piirkondades on tugevamad kuumalained, põud ja metsatulekahjud. Samuti kliimamuutus põhjustab keskkonnanähtuste halvenemist ja ohtu inimeste tervisele, see toob omakorda kaasa ühiskonnale lisakulusid ja avaldab suurt mõju majandusele. (European Commission)

Fossiilkütused ei ole taastuvad energiaallikad, kuna need ei ole piiramatud. Lisaks selle kasutamisel eraldub atmosfääri süsinikdioksiid, mis toob kaasa kliimamuutusele ja globaalsele soojenemisele. Süsinikdioksiidi (CO<sub>2</sub>) emissioonid on otseselt seotud kliimasoojenemisega, seega arenenud riikides säästmist reguleeritakse CO<sub>2</sub> emissioonikvootidega ning üritatakse heitkoguseid vähendada. Kaasaegses maailmas elektrienergia on põhitööstuse arengu aluseks ja see omakorda määrab ühiskondliku tootmise edenemise.

Teema on oluline kuna taastuvad elektrienergia allikad on kõige keskkonnasõbralikumad, nende kasutamine aitab vähendada süsinikdioksiidi (CO<sub>2</sub>) emissioone ning kaitsta keskkonda. Digitaalsete tehnoloogiate arendamine, mis aitavad energiatarbimist vähendada, võib aidata kaasa keskkonnaparanemisele. Töö eesmärgiks on selgitada millist mõju avaldab digitaliseerimine ja inimkapital taastuva elektrienergia tootmisele.

Eesmärgi saavutamiseks otsitakse töös vastuseid järgmistele uurimisküsimustele:

1. Kas elektritootmist põhjustab nõudluse või pakkumise pool?
2. Kuidas mõjutab taastuva elektrienergia tootmist digitaliseerimise ja inimkapitali arendamine?
3. Kuidas digitaliseerimine mõjutab CO<sub>2</sub> emissioone?

#### 4. Kuidas inimkapital mõjutab CO<sub>2</sub> emissioone?

Lähtuvalt uurimistöö eesmärkidest ning uurimisküsimustest saab püstitada järgmiseidhüpoteese, mida töö käigus tuleb vastu võtta või ümber lükata:

H1: Digitaliseerimise ja taastuva elektrienergia tootmise vahel on positiivne seos (mida kõrgem on digitaliseerimise tase, seda rohkem toodetakse taastuvat elektrienergiat).

H2: Inimkapitali ja taastuva elektrienergia tootmise vahel on positiivne seos (mida suurem on inimkapital, seda rohkem toodetakse taastuvat elektrienergiat).

H3: Digitaalsed tehnoloogiad avaldavad negatiivset mõju CO<sub>2</sub> emissioonidele.

Käesolev bakalaureusetöö koosneb kolmest peatükist. Töö esimeses osas antakse ülevaade teoreetilistest ja empiirilistest aspektidest, mis on seotud taastuva elektrienergiaga, digitaliseerimisega, inimkapitaliga ning tehakse ülevaade varasematest teadusuuringutest ja nende tulemustest. Teises peatükis autor kirjeldab mudelis kasutatavaid andmeid, analüüsi metoodikat ja mudeli kuju. Kolmandas töö osas esitatakse tulemused, üles ehitatud mudelite baasil ja nende alusel tehakse järeldusi.

# 1. TEOREETILISED ASPEKTID

## 1.1. Teoreetiline käsitlus

Kaasaegses maailmas pööratakse palju rohkem tähelepanu kliimamuutustega võitlemisele, elektritranspordi arendamisele, jäätmete sortimisele ja taaskasutamisele, ning taastuvate energiaallikate kasutamisele. Taastuvenergia (*Renewable energy*) pärineb looduslikest allikatest või protsessidest, mis inimkontseptsioonide kohaselt on ammendamatud. Nendeks alternatiivseteks allikateks on päikese-, hüdro-, tuule-, geotermilineenergia, looded ja biokütus. (European Environment Agency 2018).

Päikeseenergia on peamine energiaallikas ning muude taastuvate energiaallikate kõrval on vabalt kättesaadav. Päikeseenergia kogus, mis jõuab Maa pinnale ühe tunni jooksul, ületab planeedi aastase energiavajaduse. See kõlab ideaalse taastuva energiaallikana, kuid päikeseenergia kogus, mida saab tegelikult kasutada, varieerub sõltuvalt kella- ja aastaajast ning ka geograafilisest asukohast. Otsese päikeseenergia muundamise tehnoloogiad kasutavad tootmiseks päikeseenergiat. Neid tehnoloogiaid kasutatakse elektri, soojuse, valgustuse ja võimaliku kütuse tootmiseks. (srren) Päikesepaneelid on võimelised toota energiat isegi pilvise ilmaga ja lumega. (Kannan et al. 2016)

Tuul on mehaanilise energia liik ning rikkalik puhta energia allikas. Tuuleenergiast elektrienergia saamiseks kasutatakse turbiine, mille omakorda generaatorid muundavad elektrienergiaks. Peamine rakendusala on elektrienergia tootmine suurte tuuleturbiinide abil, mis asuvad maismaal või avamere piirkondadel. (МГЭИК 2011)

Hüdroenergia kasutab elektri tootmiseks ülemise horisondi ja alumise horisondi vahel liikuva vee energiat. Taastuva energiaallikana on hüdroenergia üks kaubanduslikult arenenumaid. Ehitades paise, saab suure veehoidla abil luua kontrollitud veevoolu, mis käivitab elektrit tootva turbiini. See energiaallikas võib sageli olla usaldusväärsem kui päikese- või tuuleenergia. (МГЭИК 2011)

Loodete (ookeanienergia) on veel üks hüdroenergia vorm, mille eraldatakse merevee potentsiaalsest ja kineetilisest energiast vee tõusu ja mõõna ajal. Kasutatakse mitmesuguseid tehnoloogiaid, nt paisud, veealused turbiinid, soojusvahetid jne. (МГЭИК 2011)

Geotermilise energia saamiseks kasutatakse maa soolestikust saadavat looduslikku soojusenergiat. Soojus eraldatakse geotermilistest reservuaaridest puuride või muude vahendite kaudu, seda saab kasutada otse kodude kütmiseks. (МГЭИК 2011)

Bioenergiat saadakse erinevat tüüpi biomassi lähteainetest. Nende hulka kuuluvad põllumajandusjätmed ja loomsed jätmed, metsaistandused, energiakultuurid, tahkete olmejätmete orgaanilised komponendid ja muud tüüpi orgaanilised jätmed. Tänu erinevatele protsessidele saab seda biomassi lähteaineid kasutada elektri ja soojuse tootmiseks ning seda saab kasutada ka gaasiliste, vedelate või tahkete kütuste tootmiseks. (МГЭИК 2011)

1991. aastal uuriti õhukvaliteedi mõõdikuid riikide lõikes ja leiti tõendeid selle kohta, et kuigi saastetasemed tõusevad ka madala sissetulekutaseme juures, murdepunkt saabub kõrgema sissetulekutaseme juures ning sissetulekute edasine kasv toob kaasa väiksema saastetaseme (Grossman ja Krueger 1991). Erinevad autorid viidavad enda teadusuuringutes majanduskasvu (sissetulekute) negatiivsele mõjule keskkonnale. Negatiivseteks teguriteks on näiteks kasvuhoonegaaside liigne kogunemine, õhusaaste ja jäätmetekke märkimisväärne suurenemine. Keskkonnaseisundi halvenemine on majandustegevuse tagajärg (Kaika 2013). Seost keskkonnaseisundi halvenemise ja majanduskasvu vahel nimetatakse PIR (*pollution-income relationship*) kirjanduseks (Lieb 2003). Reostuse ja sissetulekute vaheline seos võib olla esitatud erinevates vormides, millest kõige levinum on ökoloogiline Kuznetsi kõver (*Environmental Kuznets Curve*) (Kaika 2013). Grossmani ja Krugeri töös (1991) Kuznetsi nime ei mainita, sest nad kasutasid erinevat uurimisobjekti ja meetodikat ning jõudsid iseseisvalt Kuznetsi tulemustega sarnastele järeldustele.

Ökoloogiline Kuznetsi kõver (edaspidi EKC) on hüpoteetiline kõver. Kuznetsi kõvera hüpotees kajastub ümberpööratud U-kujulist seost reostuse taseme ja sissetulekute (*per capita*) taseme vahel, see tähendab, et surve keskkonnale suureneb sissetulekute kasvades teatud tasemeni, misjärel see väheneb (Dinda 2004). Oma töödes Kuznets näitas, et industrialiseerimise algstaadiumis keskkonnareostus kasvab kiiresti, sest inimesi huvitavad töökohad ja sissetulekud rohkem kui puhas õhk ja vesi. Kogukondadel ei olnud piisavalt vahendeid, et maksta heitkoguste vähendamise eest ja seetõttu oli keskkonnavaline reguleerimine madalal tasemel. Kõik muutus sissetulekute kasvades, kui riik hakkas rikkamaks saama. Juhtivad tööstussektorid muutusid puhtamaks, inimesed hakkasid rohkem mõtlema keskkonnast ning reguleerivad institutsioonid muutusid tõhusamateks. Tänu sellele, ületades teatud maksimumi, kitsenes lõhe rikaste ja vaeste vahel (Dasgupta 2002). Mudeli puuduseks on see, et see ei kajasta üksiku riigi keskmist



majandusarengut, vaid peegeldab andmekogumi ajaloolisi erinevusi majandusarengus ja riikide vahelist ebavõrdsust. (Tisdell 2001)

Grosmani ja Krugeri (1991) töö järeldused taanduvad optimistlikule eeldusele arenenumate riikide positiivsest eeskujust ülejäänud riikide jaoks. Väideti, et arenenumate riikide positiivne näide võimaldaks vähem arenenud riikidel jõuda ümberpööratud U-kõvera murdepunktini varasemas etapis. (Grossman & Krueger 1991). Hilisemates uuringutes selgus, et EKC (klassikalises ümberpööratud U-kujulise kõvera kujul) ei pruugi avalduda erinevates riikides ja piirkondades ning arengumaades ja kiiresti kasvava majandusega riikides sagedamini ei jõuta pöördepunktini. Oli järeldatud, et EKC hüpoteesi ei eksisteeri, kuna seos sisemajanduse koguprodukti (edaspidi SKP) ja saaste vahel on positiivne nii lühi- kui ka pikas perspektiivis. (Al-Mulali 2015)

Taastuvate energiaallikate areng on alates 2010. aastast kiirenenud, saavutades rekordtaseme ja paljudes piirkondades ületades traditsioonilise võimsuse iga-aastast kasutust. Kõigist taastuvenergia tehnoloogiatest on tuuleenergia pärast hüdroenergiat taastuvenergia tööstust juba aastakümneid domineerinud. Aastate jooksul on tuuleenergia, pärast hüdroenergiat domineerinud kõigi taastuvenergia tehnoloogiate seas (Future of wind 2019). Alates 2000. aastast on tuuleenergiatööstus kasvanud enam kui 21% aastase liitkasvumääraga (*compound annual growth rate* - CAGR). Tuuleenergia arendamise algusaastatel Euroopa oli peamiseks piirkonnaks maailmas tuuleturbiinide kasutuselevõtuks. Alates 2010. aastast on tuuleenergia kiiret arengut täheldatud ka teistes piirkondades, eriti Hiinas, kus CAGR on ca 27%. 2018. aastaks oli Hiina Euroopast mööda läinud ja sai maailma suurimaks tuuleenergia turuks. Kokku investeeriti 2018. aastal uutesse tuuleparkidesse ligi 29,4 miljardit USA dollarit. (WindEurope)

Viimastel aastakümnetel on elektritootmise kasvu dünaamika muutunud vähem sõltuvaks valitsuse stimuleerimisprogrammidest ja seda määravad suuresti turupõhised investeerimisotsused. 2019. aasta lõpuks oli ülemaailmne päikesepaneelide võimsus jõudnud 627 gigavattini (GW) ning CAGRi liitaastane kasvumäär on alates 2000. aastast olnud peaaegu 43%. Päikeseenergia on installeeritud võimsuse poolest suuruselt teine taastuvenergia sektor pärast tuuleenergiat, mis ulatus 650 GW-ni. (Renewables 2021).

2019. aastal on taastuvenergia kasutamine energeetikas oluliselt kasvanud, kuid kütte ja transpordi valdkondades pole kasv olnud sama edukas. Loomulikult on taastuvenergia osakaal kütte-, jahutus- ja transpordisektoris mõnes riigis kasvanud, kuigi need sektorid jäid jätkuvalt maha ebapiisava poliitilise toetuse, institutsionaalse mõju ja uute tehnoloogiate aeglase arengu tõttu. Samal ajal, kui mõned riigid järk-järgult loobusid söe kasutamisest, teised riigid jätkasid

investeeringut uutesse söeküttel töötavatesse elektri jaamadesse nii kodu- kui välismaal. Alates Pariisi kokkuleppe allkirjastamisest 2015. aastal on fossiilkütuste projektide rahastamine igal aastal suurenenud, ulatudes aastatel 2016–2019 2,7 triljoni USA dollarini. (Renewables 2020)

Vaatamata COVID-19 pandeemia tagajärgedele on investeeringud taastuvenergiasse kasvanud, kuigi vähesel määral. Üha enam riike on soojuse tootmisel üle läinud taastuvatele energiaallikatele. Transpordi biokütuste tootmine vähenes, samas kui elektrisõidukite müük vähel määral kasvas. Vaatamata sellele, et COVID-19 kriis oli aasta peamine poliitiline sündmus, jäi pühendumine kliimamuutuste leevendamisele selgeks. 2020. aasta oli oluline verstapost kliimamuutuste poliitika jaoks, kuna paljude riikide kasvuhoonegaaside heitkoguste vähendamise eesmärgid olid aasta lõpuks aegunud (Renewables 2021). Riigid seavad uusi eesmärke, mõned jurisdiktsioonid on vastu võtnud poliitikat, mis kaudselt toetavad taastuvate energiaallikate kasutuselevõttu, üha suurem hulk riike on võtnud vastu strateegiad, mis otseselt seovad süsinikdioksiidi vähendamise ja taastuvate energiaallikate suurema kasutamise. 2020. aastal kasutusele võetud poliitikamehhanismid hõlmasid fossiilkütuste keelustamist ja järkjärgulist kasutusest loobumist, kasvuhoonegaaside heitkoguste vähendamise eesmärke ning süsinikdioksiidi hinnakujundust ja heitkogustega kauplemise süsteeme. (Renewables 2021)

Vastavalt Rahvusvahelise Valuutafondi (International Monetary Fund – IMF) prognoosile ja tegevuskavale aastani 2050 (Roadmap to 2050), maailma kasvavate energiavajaduste rahuldamine oluliselt erineb viimase 25 aasta omast. Juhtpositsioonideni jõuavad maagaas, kiiresti arenevad taastuvad energiaallikad ja energiatõhusus. Tegevuskava (Roadmap to 2050) stsenaariumi järgi peaks tööstus 2050. aastaks suurendama taastuvenergia osakaalu otsekasutuses ja kütuses 48%-ni.

## **1.2. Inimkapitali ja digitaliseerimise mõju keskkonnale**

Viimastel aastakümnetel majandusarengu tase ja kasvutempo kõigis maailma riikides sõltub aina rohkem teaduse ja hariduse arengutasemest. Paljude aastate jooksul usuti, et majanduskasvu peamine tegur on inimkapital. Inimkapitali all mõeldakse inimeste teadmisi, tervist, kogemusi ja oskusi ning see määrab suuresti riikide sissetulekute erinevuse. Inimkapitali teoorial on pikk teoreetiline ja metoodiline ajalugu, kuid see on siiski neoklassikalise teooria üks kaasaegsemaid ja asjakohasemaid valdkondi.

Inimkapitali investeerimise ja selle kasutamise tõhususe uuringud on viimastel aastakümnetel muutunud üha aktuaalsemaks. Selle põhjuseks on teadmiste, teaduse ja tehnoloogia arengu kasvav roll kaasaegses majanduses. Paljudes erinevate riikide majandusteadlaste teoreetilistes ja empiirilistes uuringutes on ilmnunud haridustaseme ja selle kvaliteedi sõltuvus majanduskasvu kiirusest, samuti elanikkonna sissetulekute diferentseerumine piirkondade ja riikide lõikes (Kern 1976). Inimkapitali teooria sündi seostatakse tavaliselt 1960. aastatega, kui Chicago ülikooli majandusosakonna juhataja T.W.Schultz hakkas kaaluma mõtet, et inimeste õppimisvõimel on teiste tootmisega seotud ressurssidega võrreldav väärtus. Schultz pidas investeringud inimkapitali majandusarengu aluseks. (Kern 1976)

Üks kaasaegsetest majandusteadlastest, Chicago ülikooli professor G.S. Becker sai 1992. aastal Nobeli preemia majandusteooria rakendamise eest sotsiaalteadustes (Winners of the Nobel Prize for Economics). Erinevalt Schultzist, Becker hõlmab inimkapitali kõike, mis on loodud haridusse investeerimise teel ja tulevase kasu saamise kaudu. Ta viitab investeringutele inimkapitali mitte ainult investeringuna, mis suurendab otseselt tulevast tulu või parandab tervist, vaid ka kultuuri ja elukvaliteedi aspektina. (Becker 1992)

M. Blaug märgib, et “inimkapitali mõiste” seisneb idees, et inimesed kulutavad ressursse iseendale erineval viisil, mitte ainult hetkevajaduste rahuldamiseks, vaid ka tulevase rahalise ja mitterahalise sissetuleku huvides. Saadud haridus teeb inimesest mitte ainult tulemuslikuma töötaja, vaid ka tulemuslikuma õpilase. (Dupre 1994)

Kaasaegses maailmas toimub digitaalne transformatsioon kõikides riikides, mõnedes tõhusamalt, teistes vähem tõhusalt. Digitaliseerimine kujutab endast kaasaegsete digitehnoloogiate juurutamist ja nende kasutamist materiaalse ja mittemateriaalse tootmise valdkonnas, selleks et tõsta ettevõtete ja organisatsioonide tootlikkust ja konkurentsivõimet. Digitaliseerimine toimub info- ja kommunikatsioonitehnoloogiate abil (edaspidi IKT) (Solomon ja Klyton 2020). IKT on protsesside ja meetodite kogum teabe otsimiseks, kogumiseks, salvestamiseks, töötlemiseks, esitamiseks ja levitamiseks.

Mõned allikad väldivad digitaalrajanduse konkreetset määratlust, näiteks määratledes seda kui „keerulist struktuuri“, kuid enamik neist annab konkreetse määratluse (Bukht & Heeks 2017). Mõiste digitaalrajandus viitab erinevate nutikate ja uuenduslike tehnoloogiatele, nagu andmeanalüütika, internet ja pilvandmetöötlus, mis võimaldavad ühenduvust, sidet ja automatiseerimist. Digitaalselt juhitud tootmissüsteemis uued tehnoloogiad võimaldavad ettevõtetel rakendada andmepõhiseid strateegiaid, et koguda andmeid kogu elutsükli jooksul,

alates materjali omadustest ja protsessi parameetritest ning täiustada integreeritud tootmissüsteemi (Li et al. 2020). Digitehnoloogiad on muutnud ettevõtete tegutsemisviisi kogu maailmas ning muutnud inimeste omavahelist suhtlust (nt sotsiaalmeedias). Muutunud on ka viis, kuidas valitsused kodanikega suhtlevad, nüüd see toimub enamasti elektrooniliste platvormide kaudu. Eduka digitaalse kasutuselevõtu tagajärjed on märkimisväärsed. (Solomon ja Klyton 2020) Digitehnoloogiate tulekuga avanevad uued võimalused, kuid samas ilmnevad erinevad raskused tootmisettevõtete jätkusuutlikuks arenguks. Uute tehnoloogiate kasutuselevõtt võimaldab ressursse tõhusalt jaotada ja täielikult vallandada keskkonnasäästlikkuse potentsiaali (Li et al. 2020). Digitehnoloogiate kättesaadavus võib osutada ebapiisavaks, kuna inimestel puuduvad võimalused uute tehnoloogiate kasutamiseks ja oma potentsiaali realiseerimiseks erinevates majandus- ja ühiskonna valdkondades (Evangelista 2014). Samas ka uued tehnoloogiad võivad veelgi suurendada konkurentsi ettevõtluskeskkonnas ning asetada tootmisettevõtetele finants- ja keskkonnakoormusi. Sellisel juhul digitehnoloogiad võivad kaasa tuua ettenägematuid negatiivseid tagajärgi säästvate arengule. (Li et al. 2020)

Digitaalmajandus on viimasel ajal esile kerkiv nähtus, mis on kogu maailmas iga-aastase kasvuprognoside seisukohast üha olulisem. 1990. aastatel seostati majanduslikke muutusi peamiselt Interneti tekkega ja see jääb jätkuvalt digitaalmajanduse kasvu aluseks. Kuid alates 2000. aastatest on hulk uusi info- ja kommunikatsioonitehnoloogiaid levinud ja toetanud majanduslikke muutusi (Bukht 2017). Teenused, mis tänu Internetile said kättesaadavaks, muutuvad igapäeva- ja organisatsioonielus üha asendamatumaks. Paljudes majanduslikult arenenud riikides on internetikasutajate osakaal pidevalt kasvanud. (Morley et al. 2018)

Digitehnoloogiate kasutuselevõtt võimaldab parandada energiasüsteemide toimivust ja jätkusuutlikkust. Juba 1970. aastatel hakati energiasektoris kasutama digitehnoloogiaid võrkude toimimise hõlbustamiseks. Hiljutised edusammud digitaaltehnikas kujundavad ümber energia lõppkasutuse mustreid, nad muudavad pakkumisepoolset ärimudelit ja loovad suuremat turuintegratsiooni erinevate energiapiiride vahel (Wei et al. 2021). IKT revolutsiooni keskmes on pooljuhtide kiire areng. Kaasaegse IKT sünni tähistas transistori ehk pooljuhtseadise leiutamine, mis toimib nagu elektrilüliti ja kodeerib informatsiooni binaarses vormis. Transistor kuvas väärtusi "null" ja "üks", mis vastasid lülitite asenditele "väljas" ja "sees". Esimene transistor ehitati 1947. aastal ja 1956. aastal pälvisid Nobeli füüsikaauhinna ühiselt Shockley, Bardeen ja Brattain pooljuhtide uurimise ja transistoriefekti avastamise eest. (Jorgenson 2016)

1971. aastal lõi Intel maailma esimese keskprotsessori (*central processing unit* - CPU), mis muutis revolutsiooniliselt arvutite disaini ja rakendamist. CPU võtab juhiseid püsivalt salvestatud programmist ja toimib arvuti ajuna. Kui pooljuhtide ja personaalarvutite uuendused panid aluse IKT arengule, siis Interneti ja mobiilsete tehnoloogiate esilekerkimine 1990. aastatel koos kiirenenud üleilmastumisega aitasid kaasa IKT kiirele levikule erinevates sektorites ja riikides. (Jorgenson 2016).

Digitehnoloogia tähtsust on harva mõistetud paremini, kui 2020. aasta ülemaailmse majandusseisaku ajal COVID-19 pandeemia tagajärjena. Üle maailma on valitsused kehtestanud paljud meetmed, nagu karantiin, sotsiaalne distantseerumine ja isoleerimine, et aeglustada viiruse levikut, julgustades kasutada digitaaltehnoogiaid koolitundide virtuaalseks läbiviimiseks ja kaugtööks (Solomon 2020). COVID-19 pandeemia on avaldanud sügavat mõju paljudele tööstusharudele, sealhulgas põllumajandusele, tootmisele, rahandusele, haridusele, tervishoiule, turismile jne. Loomulikult mõjutas see kõik ka energiatööstust. Tuginedes Rahvusvahelise Energiaagentuuri (*International Energy Agency* - IEA) statistikale, oli 2020. aasta energianõudluse šokk viimase 70 aasta suurim. (Jiang et al. 2021)

Info- ja kommunikatsioonitehnoloogiate suurem kasutamine võib mõjutada ka tööhõivet. Üldine mõju üksikisikute ja kogu tööjõu tööhõivele, mis tuleneb IKT kasutamisest, on üldiselt ettearvatamatu. Digitaliseerimisprotsess on otseselt või kaudselt seotud tööviljakuse taseme tõusuga. Kui IKT suuremast kasutamisest tulenevat tööjõu kokkuhoiu ei tasakaalusta piisavalt tugev majanduskasv, võib tulemuseks olla üldine tööhõive langus. (Evangelista 2014)

IKT-tööstus annab olulise panuse Euroopa majanduse kasvu, moodustades 5% SKP-st ja pakkudes 20% kogu tootlikkuse kasvust. IKT tootmissektor moodustab 1% SKP-st. Aja jooksul on kapitali panus muutunud stabiilsemaks ja on koos tehnoloogia arenguga pikaajalise majanduskasvu peamiseks tõukejõuks. IKT kapitali osakaal kapitaliinvesteeringute panuses majanduskasvu ulatus aastatel 1995–2002 50%-ni. See tähendab, et IKT kapitali panused on aidanud kaasa majanduskasvule sama palju kui kõik muud kapitaliinvesteeringute vormid. (European Commission 2010) Andmed IKT majandusliku mõju kohta näitavad, et IKT investeeringute tootlikkuse suurendamiseks ei piisa ainult IKT-st. Ettevõttes IKT tootlikkuse potentsiaali vallandamiseks, peavad ettevõtted investeerima muudesse täiendavatesse organisatsioonilistesse muudatustesse, sealhulgas juhtimistavadesse, nagu tõhusamad töölevõtmis-, vallandamis-, palga- ja edutamistavad, mis võimaldavad teha rohkem otsuseid hierarhia madalamatel tasanditel. Lisaks on inimkapital oluline täiendav investeering tootlikkuse suurendamiseks IKT abil (European

Commission 2010). Selle informatsiooni põhjal võib järeldada, et digitaliseerimine, inimkapital ja majanduskasv on omavahel seotud.

IKT-l võib olla keskkonnale nii negatiivne kui ka positiivne mõju. IKT kasutamine mõjutab otseselt elektritarbimist, samuti toob see kaasa energiatarbimise kasvu seoses erinevate seadmete tootmise ja infrastruktuuri loomisega. IKT tootmine, kasutamine ja kõrvaldamine avaldab negatiivset mõju keskkonnale ja suurendab elektritootmisest tulenevat CO<sub>2</sub> heitkogust (Higon 2017).

Info- ja kommunikatsioonitehnoloogia sektor tekitab hinnanguliselt 2% ülemaailmsetest kasvuhooonegaaside heitkogustest. Samal ajal võivad IKT muud kasutusviisid vähendada heitkoguseid, näiteks luues targemaid linnu, transpordisüsteeme, elektrivõrke ja tööstusprotsesse. IKT tootmise, kasutamise ja ringlussevõtu keskkonnasäästlikumaks muutmist nimetatakse rohelisteks IKT-ks. Loodetavasti võib IKT kasutamine saada oluliseks osaks kliimamuutuste ja sellega seotud keskkonnaprobleemide lahendamisel ja toimetulemisel. (Higon 2017)

### **1.3. Varasemate empiiriliste uuringute ülevaade**

Rahman et al. (2021) uuringus hinnati inimkapitali, ekspordi, majanduskasvu ja energiatarbimise mõju CO<sub>2</sub> heitkogustele suureneva industrialiseerimise kontekstis, keskendudes uurimata riikide valimile. Autorite järeldustel ristlõike sõltuvuse (*cross-sectional dependence* - CSD) olemasolu viitab sellele, et varasemate uuringute tulemusi, mis näitavad pikaajalist seost, tuleb hoolikalt tõlgendada, kuna need uuringud ei võtnud CSD olemasolu arvesse. Pikaajaliste hinnangute tulemuste põhjal leidsid autorid, et SKP elaniku kohta ja inimkapital avaldavad negatiivset mõju CO<sub>2</sub> emissioonile. Sellest tulenevalt on pikemas perspektiivis on SKP mõju keskkonnale soodne, kuigi EKC hüpotees ei leidnud kinnitust, kuna SKP<sup>2</sup> mõju on positiivne. Samuti leiti, et CO<sub>2</sub> emissioon väheneb sissetulekute *per capita* suurenemisega kuni teatud hetkeni, misjärel CO<sub>2</sub> heitkogused suurenevad koos sissetulekute *per capita* suurenemisega. (Rahman et al. 2021)

Yao et al. (2019) artiklis käsitleti inimkapitali mõju energiatarbimisele ja uuriti kas inimkapital võib luua keskkonnale positiivseid välismõjusid, edendades musta energiatarbimise asendamist puhta energiatarbimisega. Uuringus kasutati 18. OECD riikide andmeid perioodil 1965–2014 a. Esimene järeldus seisneb selles, et inimkapital vähendab energia kogutarbimist, kuid eraldades puhta ja musta energiatarbimist, inimkapital vähendab musta energia tarbimist ja suurendab puhta energia tarbimist. Määratud energia oli määratletud traditsiooniliste fossiilkütustena, mis ei ole

taastuvad ja kahjustavad keskkonda. Puhtat energiat defineeriti kui taastuvaid energiaallikaid, mille kasutamisel ei eraldu süsinikdioksiidi heitkoguseid. Teiseks järelduseks on see, et inimkapitali ja energiatarbimise vahelist suhet vahendavad sissetulekud, tehnoloogiad ning ressursside täiendavus füüsilise- ja inimkapitali vahel. Lõplik järeldus seisneb selles, et kuigi inimkapital pikas perspektiivis parandab energiatarbimise struktuuri, ei avalda see lühiajaliselt energiatarbimise struktuurile mingit mõju. (Yao et al. 2019)

Hilisemas Yao et al. (2020) artiklis uuriti, kas inimkapitali akumulatsioon on seotud keskkonnakvaliteedi parandamisega CO<sub>2</sub> emissioonide vähendamise kaudu. Uuring viidi läbi OECD riikide andmetel aastatel 1870–2014. Antud uuringu eelistatud pikaajalised punkthinnangud, võtsid arvesse ristlõike sõltuvust ja struktuurseid katkestusi. Analüüsi tulemustena oli näha, et kõrghariduse omandamise aastate arvu suurendamine ühe aasta võrra on seotud CO<sub>2</sub> emissiooni vähenemisega 50,1%-65,8% võrra, olenevalt spetsifikatsioonist. Kuid koefitsient kogu kooliaastate arvu ning alg- ja keskhariduse aastate arvu kohta on ebaoluline. (Yao et al. 2020)

Khan et al. (2020) uuringus üritati välja selgitada, millised tegurid motiveerivad G-7 riike kasutama erinevaid energiaallikaid, kuna need on maailma kõige arenenumad riigid, kus on kõrgeim inimkapitali indeks, teadus- ja arenduspotentsiaal ning ökoinnovatsioon. Uuringus hinnati ökoinnovatsiooni (*eco-innovation*) ja inimkapitali heterogeenset mõju kogu energiatarbimisele, taastuv- ja taastumatu energia tarbimisele G-7 riikides aastatel 1995–2017. G-7 riigid on Kanada, Prantsusmaa, Saksamaa, Itaalia, Jaapan, Ühendkuningriik, Ameerika Ühendriigid. Selles uuringus kasutati kontrollitavate muutujatena teadus- ja arendustegevust, energia tarbijahinnaindeksit (THI) ja finantsarengut. Lisaks tehti tundlikkuse analüüs täiendavate muutujate abil. Empiiriliste tulemuste järeldusena selgus, et ökoinnovatsioon, inimkapital, teadus- ja arendustegevuse kulud ning THI mõjutavad negatiivselt koguenergia tarbimist ja taastumatu energia tarbimist. Kuid aga SKP, finantsarengu, tootmise lisandväärtuse, kaubanduse, välismaiste otseinvesteeringute, kapitali kogumahutuse põhivarasse ja energiamahukuse mõju kogu energiatarbimisele ja taastumatute energiaallikate tarbimisele on positiivne. Taastuvate energiaallikate puhul avaldavad positiivset mõju inimkapital, THI, ökoinnovatsioon, kaubandus, inimkapitali koosmõju ökoinnovatsiooniga ja SKP. Üldine järeldus seisneb selles, et inimkapital ja ökoinnovatsioon hõlbustavad üleminekut taastumatu energia tarbimiselt taastuvenergia tarbimisele G-7 riikides. (Khan et al. 2020)

Wen et al. (2022) viisid läbi uuringu, et selgitada välja kuidas taastuvenergia ja energiatõhusus mõjutavad tehnoloogilist arengut. Kasutati paneelandmeid 79. riigi kohta aastatel 1995-2017.

Antud uuring näitab, et taastuenergia ja energiatõhususel on positiivne mõju innovatsioonile, mida hinnatakse kaubamärkide ja patenditaotluste põhjal pärast makromajanduslike, finants- ja institutsionaalsete muutujatega kohandamist. Uurimistulemused näitavad, et taastuenergia kasutamise regulatsioonid soodustavad täiendavaid tehnoloogilisi uuendusi, kuid mõju suurus sõltub poliitikast ning teatud regulatsioonidel on erinevates tehnoloogiakategooriates erinev mõju. Rangemate taastuenergia seadustega riigid toetavad ka kaubamärkide registreerimist ja sellega seotud tehnoloogiate patenteerimist, kuna taastuenergia üheprotsendiline tõus toob kaasa kaubamärgi ning patenditaotluste kasvu. Märgitakse, et taastuenergia mõju suurendab investeringute, kaubanduse ja inimkapitali mõju tehnoloogilisele innovatsioonile. Samuti on sellel statistiliselt oluline ja kasulik mõju kaubamärkidele ja patenteerimisele. Lisaks taastuenergia otsesele mõjule innovatsioonile on tehnoloogilise innovatsiooniga positiivses korrelatsioonis ka teised tegurid, näiteks valitsuse tõhusus, rahvaarv ja majanduskasv. (Wen et al. 2022)

Sharma et al. (2021) uuringu eesmärgiks oli selgitada välja põllumajanduse, metsanduse ja kalanduse lisandväärtuse, pestitsiidide kasutamise, taastuenergia tarbimise, inimkapitali ja majanduskasvu mõju kasvuhoonegaaside heitkogustele BIMSTECi riikides, nimelt Bangladeshis, Indias, Myanmaris, Nepalis, Sri Lankal ja Tais. Kasutatud andmed olid 35-aastase perioodi kohta aasta andmetega 1985–2019 a. Empiirilised tulemused näitavad, et madalal tasemel on põllumajanduse lisandväärtusel ja selle ruudul U-kujuline seos kasvuhoonegaaside heitkogustega. See tähendab, et põllumajandustootmise piiramine väikesemahulise põllumajandusega võib parandada keskkonnavõime, kuid aga tootmise suurenedes võib see tuua kaasa suuremaid kasvuhoonegaaside heitkoguseid. Samuti on leitud, et taastuenergia on väheoluline mõju kasvuhoonegaaside heitkogustele, see näitab, et riigid on põllumajandustegevuses ebatõhusalt kasutanud puhta energia vahendeid. Kolmandaks järelduseks oli, et pestitsiidide kasutamise ja taastuenergia tarbimise koostoime võib kompenseerida keemiliste pestitsiidide mõju. Kuid pestitsiidide kasutamise ja inimkapitali heitkoguste koostoime ei ole märkimisväärne, mis näitab, et inimkapitali muutuja ei suuda kompenseerida pestitsiidide kasutamise mõju kasvuhoonegaaside heitkogustele. (Sharma et al. 2021)

Haini (2021) analüüsis IKT ja inimkapitali mõju CO<sub>2</sub> heitkogustele ASEANi riikides aastatel 1996–2019, kasutades paneelhinnanguid. Autor märkis, et ASEANi riikide majandused on heaks eeskujuks uurimiseks, kuna nendes piirkondades on rakendatud erinevaid ühiseid strateegiaid kliimamuutuste probleemide lahendamiseks ja regionaalpoliitika IKT sektori arendamiseks. Samuti uuringus analüüsiti IKT ja inimkapitali mõju CO<sub>2</sub> heitkogustele erinevates tööstusharudes.



Uuringu tulemustest on näha, et IKT on statistiliselt oluline ja avaldab negatiivset mõju CO<sub>2</sub> heitkogustele, kuid inimkapital avaldab positiivset mõju süsinikuheitele, mida oli näha ka eelnevatest uuringutest. Samuti tulemused näitavad, et IKT-d vähendavad CO<sub>2</sub> heitkoguseid tootmis-, elamu-, transpordi- ja teistes tööstusharudes. Peamine järeldus seisneb selles, et IKT-d võivad parandada keskkonda, kuna nad optimeerivad keskkonnajuhtimist ja aitavad kaasa dematerialiseerimisele paljudes tööstussektorites. (Haini 2021)

Cardona et al. (2013) uuringus vaadeldi ulatuslikku empiirilist kirjandust IKT ja tootlikkuse kohta ning toodi välja peamised tulemused ja metodoloogilised erinevused. Empiirilised uuringud näitasid, et IKT-l on oluline roll mitte ainult igapäevaelus, vaid ka tootlikkuse statistikas. Lisaks andmed tõestavad, et IKT mõju tootlikkusele on mitte ainult märkimisväärne ja positiivne, vaid ka aja jooksul suurenev. (Cardona et al. 2013)

Dedrick et al. (2013) uuringu eesmärgiks oli välja selgitada, kas arengumaad suutsid hilisemal perioodil saavutada IT-investeeringutega märkimisväärset tootlikkuse kasvu, suurendades oma IT-kapitalivarusid ja omandades kogemusi IT- kasutamises. Uuriti, kas investeeringud suurendavad toodangut arenenud ja arengumaade valimis, kasutades 45. riigi andmeid perioodi 1994–2007 kohta, ning võrreldes tulemusi perioodiga 1985–1993. Autorid leidsid, et suure sissetulekuga arengumaad on viimastel aastatel saavutanud märkimisväärse positiivse tootlikkuse kasvu tänu IKT-sse investeerimisele. Samuti leiti, et IKT mõju tootlikkusele leevendavad sellised tegurid nagu inimressurss ja avatus välisinvesteeringutele. (Dedrick et al. 2013)

Lange et al. (2020) artiklis uuriti digitaliseerimise mõju energiatarbimisele. Analüütilise mudeli abil uuriti nelja tegurit: IKT tootmise, kasutamise ja kõrvaldamise otsesest mõju; energiatarbimise suurendamist läbi digitaliseerimise; majanduskasvu tööjõu ja energia tootlikkuse suurendamise kaudu; IKT-teenuste kasvust tingitud valdkondliku muutust. Antud uuringu autorid ei leidnud kinnitust sellele, et digitaliseerimine vähendab energiatarbimist. Energiasäästu asemel on digitaliseerimine kaasa toonud täiendava energiatarbimise. Digitaliseerimise energiat suurendavad mõjud ehk otsesed mõjud ja majanduskasv on olnud suuremad kui energiat vähendavad mõjud ehk energiatarbimise tõus ja tööstuse muutused. Autorid väidavad, et suur osa lootusest, et digitaliseerimine võib keskkonda säästa, põhineb võimalikel tulevastel arengutel, millest paljud aitavad energiatarbimist vähendada. (Lange et al. 2020)

Bastida et al. (2019) uuriti IKT-põhiste sekkumiste potentsiaali kodumajapidamistes elektritarbimise vähendamiseks, energiatarbimise parandamiseks ja seeläbi kasvuhoonegaaside heitkoguste vähendamiseks. Antud uuringus oli kasutatud parameetrite vahemik, kvantitatiivse

analüüsi läbiviimiseks IKT potentsiaali kohta 1,5 °C eesmärgi saavutamiseks ELi energiasectori kontekstis. On leitud, et IKT võib anda 0,23 – 3,3% ELi CO<sub>2</sub> heitkoguste vähendamise eesmärgist energiasectori kaudu, mis hoiaks soojenemise alla 1,5 °C. Analüüs tõi välja IKT-põhiste sekkumiste võimaliku mõju kodumajapidamistele elektrisektori CO<sub>2</sub> heitkoguste vähendamiseks. Vaatamatu sellele, et IKT üldine mõju on väike, võrreldes 1,5 °C eesmärgi saavutamiseks vajaliku CO<sub>2</sub> heitkoguste üldise vähendamise kogusummaga, on energiasectori CO<sub>2</sub>-ekvivalendi heitkoguste üldine potentsiaalne vähenemine märkimisväärne. Sellest järeldub, et IKT võib energiasüsteemi süsinikdioksiidiheite vähendamiseks tehtavatele jõupingutustele lisaväärtust anda. (Bastida et al. 2019)

Azam et al. (2021) uuringu eesmärgiks oli testida maagaasi, tuumaenergia, taastuvenergia ning IKT kauplemise mittelineaarset mõju majanduskasvule ja CO<sub>2</sub> heitkogustele. Uuriti kümme juhtivat riiki CO<sub>2</sub> heitkoguste osas ning uurimisperioodiks oli 2000-2016 aa. Uuringus kasutati paneelandmeid ning nende hindamiseks oli läbiviidud regressioonianalüüs. Analüüsi tulemused näitasid, et tuumaenergia, taastuvenergia ning IKTga kauplemine soodustavad majanduskasvu, samas kui keskkonnaalased tulemused näitasid, et taastuvenergia ja IKTga kauplemine aitavad vähendada CO<sub>2</sub> heitkoguseid. Autorid on toonud välja kaks peamist järeldust. Esiteks avaldab IKT ja puhta energiaga kauplemise kasv otsesest mõju majanduskasvu soodustamisele. Teiseks mõjutab IKTga kauplemine kaudselt kaasa CO<sub>2</sub> heitkoguste vähendamist puhaste tehnoloogiate laiendamise kaudu. Samas autorid viitasid tähelepanu sellele, et nõudlus maagaasi tarbimise järele vähendas majanduskasvu ja suurendas CO<sub>2</sub> eraldumist juhtivates heitkogustega riikides. (Azam et al. 2021)

Zheng et al. (2021) uuringus uuriti mobiilse IKT mõju taastuvenergia tootmisele seitsmes riigis, sealhulgas Ameerika Ühendriikides, Kanadas, Ühendkuningriigis, Saksamaal, Itaalias, Hollandis ja Poolas aastatel 2000–2018. Staatilise ja dünaamilise empiirilise analüüsi tulemuste põhjal leiti, et makrotasandil on taastuvate energiaallikate ja IKT vahel oluline positiivne seos. IKT kasv 1% võrra tähendab taastuvenergia kasvu 0,2% võrra pikemas perspektiivis ja 1,1% võrra lühiajalises perspektiivis. Sellest järeldub, et IKT võib soodustada taastuvate energiaallikate arengut. (Zheng et al. 2021)

## 1.4. Uurimisküsimuse ja hüpoteeside püstitamine

Uurides erinevat teoreetilist ja empiirilist kirjandust võib järeldada, et majanduskasv avaldab märkimisväärset mõju keskkonnale. Negatiivse keskkonnamõju vähendamiseks kasutatakse riigiasutuste ja majandusüksuste tasandil erinevaid tehnoloogilisi lahendusi ja majandusjuhtimise meetodeid. Sellega seoses on viimastel aastatel aina rohkem tähelepanu pööratud üleminekule rohelisele majandusele, mille eesmärk on parandada elanike heaolu ja elukvaliteedi, kuid samal ajal võimaldab see oluliselt suurendada keskkonnasäästlikkust.

Antud töö uurimisprobleemiks on majanduskasvuga põhjustatud süsinikdioksiidi heitkoguste suurenemine ning digitaliseerimise ja inimkapitali mõju taastuva elektrienergia tootmisele.

Eesmärgi saavutamiseks otsitakse töös vastuseid järgmistele uurimisküsimustele:

1. Kas elektritootmist põhjustab nõudluse või pakkumise pool?
2. Kuidas mõjutab taastuva elektrienergia tootmist digitaliseerimine ja inimkapitali arendamine?
3. Kuidas digitaliseerimine mõjutab CO<sub>2</sub> emissioone?
4. Kuidas inimkapital mõjutab CO<sub>2</sub> emissioone?

Lähtuvalt uurimistöö eesmärkidest ning uurimisküsimustest saab välja tuua mitmeid hüpoteese, mida töö käigus tuleb vastu võtta või ümber lükata:

H1: Digitaliseerimise ja taastuva elektrienergia tootmise vahel on positiivne seos (mida kõrgem on digitaliseerimise tase, seda rohkem toodetakse taastuvat elektrienergiat).

H2: Inimkapitali ja taastuva elektrienergia tootmise vahel on positiivne seos (mida suurem on inimkapital, seda rohkem toodetakse taastuvat elektrienergiat).

H3: Digitaalsed tehnoloogiad avaldavad positiivset mõju CO<sub>2</sub> emissioonidele.

Tuginedes käesolevas bakalaureusetöös käsitletud teooriale võib inimkapitali suurendamine aidata vähendada energiatarbimist ja tuua kaasa rohkem taastuvenergia kasutamist. Digitaalsete tehnoloogiate arendamine aitab kaasa keskkonnaseisundi paranemisele, kuna tulevased arengud võivad aidavad energiatarbimist vähendada.

## 2. KASUTATUD ANDMED JA METOODIKA

Antud peatükk koosneb autori poolt valitud andmete käsitlemisest, korrelatsioonimatriksist ning ökonomeetrilise mudeli püstitamisest.

### 2.1. Kasutatud andmete valik ja kirjeldav statistika

Antud bakalaureusetöö eesmärgi saavutamiseks ning hüpoteeside kontrollimiseks autor on valinud andmeid 36 OECD riigi kohta (loetelu on toodud lisas 1). Uuritavaks perioodiks sai valitud ajavahemik 2000-2015. Andmete valik on põhjendatud sellega, et OECD riigid hõlmavad erinevaid piirkondi üle maailma, Põhja- ja Lõuna Ameerikast Euroopa ja Aasia-Vaikse ookeani regioonideni, mis omakorda võimaldab analüüsida pikaajalises seoses laiemat hulka andmeid.

Töös kasutati andmeid erinevatest andmebaasidest - World Bank, OECD, Energy Information Administration (EIA) ja Human Development reports. Taastuva elektrienergia tootmise näitajaks sai valitud taastuva elektrienergia tootmine, protsendina kogu tootmisest (Wordbank). CO<sub>2</sub> – CO<sub>2</sub> emissioonid inimese kohta tonnides (OECD). Majanduskasvu näitajaks on reaalne SKP *per capita* USA dollarites (Worldbank). Valitsuse kulutused keskkonnale on väljendatud protsendina SKP-st (OECD.Stat), inimkapitali näitajaks on hariduse indeks (*education index*) (Human Development reports). Digitaliseerimine on väljendatud IKT impordi ja ekspordi protsendina kogu impordist ja ekspordist, interneti kasutajate protsendina ning mobiiltelefoni kasutajatena 100. inimese kohta (Wordbank). Mudelisse on ka võetud elektrienergia tarbimine inimese kohta (EIA) ja linnaelanike protsent elanikkonnast (Worldbank).

Analüüsi läbiviimiseks oli kasutatud Exceli programm ja Gretl tarkvara. Antud töö empiirilise analüüsi läbiviimiseks olid kasutatud paneelandmed.

Tabel 1. Kasutatud andmete kirjeldav statistika

	Aritmee-tiline keskmine	Mediaan	Standard-hälve	Variatsiooni-kordaja	Mini-maalne väärtus	Maksi-maalne väärtus
Taastuva elektrienergia tootmine (% kogu tootmisest)	29.82	18.29	28.20	0.95	0.04	99.99

CO <sub>2</sub> emissioonid inimese kohta (tonnid)	8.41	7.69	4.28	0.51	1.25	24.66
Reaalne SKP inimese kohta (USD)	32 379	30 837	14 687	0.45	6 709	107 898
Valitsussektori keskkonnakulud (% SKP-st)	43.25	43.61	8.08	0.19	18.62	65.11
Hariduse indeks (%)	0.82	0.84	0.08	0.10	0.49	0.93
Elektrienergia tarbimine inimese kohta (tuhandetes kWh)	8 712	6 667	7 463	0.86	846	54 799
IKT import ja eksport kokku (%)	16.52	12.08	11.03	0.67	4.04	72.70
Interneti kasutajad (%)	60.49	65.56	23.75	0.39	2.21	98.20
Mobiiltelefoni kasutajad (100 inimese kohta)	99.41	104.43	29.99	0.30	5.69	172.12
Linna elanikud (%)	76.16	77.79	11.20	0.15	50.75	97.88

Allikas: OECD Statistics, World Bank andmebaas, EIA andmebaas, Human Development Reports, autori poolt koostatud tabel

Tabelis 2 on toodud korrelatsioonimaatriks, mis näitab muutujate vahelist seost ja võimaldab hinnata kuidas ühe näitaja tõusu või languse mõju mõjutab teist. Taastuva elektrienergia tootmise ja CO<sub>2</sub> emissioonide vahel on negatiivne seos, see tähendab, et mida suurem on taastuva elektrienergia tootmine, seda väiksemad on CO<sub>2</sub> heitkogused. Majanduskasv (SKP) ning samuti ka valitsuse keskkonnakulutused mõjutavad taastuva elektrienergia tootmist positiivselt, mis tähendab, et arenenumates riikides suurema majanduskasvuga ning riikides, kus valitsuse kulutused keskkonnale on suuremad, toodetakse rohkem taastuvelektrienergiat. Hariduse indeksi ja roheline elektrienergia tootmise vahel on negatiivne seos ehk mida suurem on inimkapital, seda vähem toodetakse taastuv elektrienergiat. On näha, et elektrienergia tarbimine suurendab taastuvaelektrienergia tootmist, kuna nende vaheline seos on positiivne. IKT import ja eksport ning mobiiltelefoni kasutajad mõjutavad taastuva elektrienergia tootmist negatiivselt, kuid aga internetikasutajad avaldavad positiivset mõju. Samuti ka linna elanke osakaal mõjutab taastuva elektrienergia tootmist positiivselt. Tuginedes andmetele, on näha, et valitsuse keskkonna kulutused avaldavad negatiivset mõju CO<sub>2</sub> emissioonidele, mis viitab sellele, et riikides, kus

valitsuse kulutused keskkonnale on suuremad CO<sub>2</sub> heitkoguseid on väiksemad. Tulemusena on ka näha, et inimkapitali suurendamine aitab kaasa majanduskasvule, kuna SKP ja hariduse indeksi vahel on positiivne seos. Kõige tugevam positiivne seos on interneti kasutajate ja hariduse indeksi vahel ning seejärel interneti kasutajate arvu ja SKP vahel, mis tähendab, et interneti kasutajate arv suurendab inimkapitali ja soodustab majanduskasvu.

Tabel 2. Korrelatsioonimatriks

	REN	CO <sub>2</sub>	GDP	GOV	EDI	ELC	ICT	INT	MOB	URB
REN	1									
CO <sub>2</sub>	-0.328	1								
GDP	0.117	0.522	1							
GOV	0.130	-0.020	0.250	1						
EDI	-0.023	0.350	0.459	0.266	1					
ELC	0.488	0.293	0.474	0.279	0.351	1				
ICT	-0.453	0.222	-0.110	-0.180	0.104	-0.118	1			
INT	0.210	0.243	0.672	0.252	0.700	0.450	-0.075	1		
MOB	-0.014	0.008	0.453	0.255	0.410	0.072	-0.157	0.615	1	
URB	0.077	0.279	0.354	0.003	0.262	0.415	-0.076	0.348	0.027	1

Allikas: OECD Statistics, World Bank andmebaas, EIA andmebaas, Human Development Reports, autori poolt koostatud tabel

Kus:

REN – taastuva elektrienergia tootmine (% kogu tootmisest)

CO<sub>2</sub> – CO<sub>2</sub> emissioonid inimese kohta

GDP – reaalne SKP inimese kohta

GOV – valitsussektori keskkonnakulud (% SKP-st)

EDI – hariduse indeks (%)

ELC – elektrienergia tarbimine inimese kohta

ICT – IKT import ja eksport kokku (%)

INT – interneti kasutajad (% elanikkonnast)

MOB – mobiiltelefoni kasutajad 100 inimese kohta

URB – linna elanikud (% elanikkonnast)

## 2.2. Mudeli spetsifikatsioon ja meetodid

Töös püstitatud hüpoteeside kontrollimiseks kasutakse regressioonianalüüsi mudelit, mis koosneb paneelandmetest, kus andmed varieeruvad objektide ja aegridade lõikes. Mudeli koostamiseks ja analüüsimiseks autor kasutas avalikult kättesaadavat ökonomeetrilist andmeanalüüsi programmi Gretl.

Eelmises peatükis korrelatsioonimaatriksi abil uuriti kvantitatiivsete muutujate omavahelise seose suunda ja tihedust. Nüüd aga kasutatakse regressioonanalüüsi ühe kvantitatiivse sõltuva muutuja statistilise seose uurimiseks mitme kvantitatiivse sõltumatu muutuja vahel. Autori poolt valitud näitajate vaheliste seoste kontrollimiseks ehitati mudelit nii juhusliku kui ka fikseeritud efektiga. Kasutatud mudelite aegread on sama pikkusega 16 aastat ning objektide arv, mida moodustavad rigid on 36, vaatluste koguarv on 576.

Kuna tegemist on paneelandmetega, on püstitatud järgmine mudel:

$$Y_{it} = \beta_0 + \beta_1 X_{1it} + \beta_2 X_{2it} + \dots + \beta_n X_{nit} + u_{it}$$

kus

$Y_{it}$  – sõltuv muutuja

$\beta_0$  – mudeli vabaliige

$\beta_1 \dots \beta_n$  – regressiooni koefitsiendid

$X_1 \dots X_n$  – sõltumatud muutjad

$u$  – juhuslik komponent ehk jääkliige

$i$  – indeks, mis tähistab objekte

$t$  – indeks, mis tähistab ajaperioode

Sõltuvaks tunnuseks, mida kasutatakse andmete analüüsimisel, on taastuva elektrienergia tootmine, mis on väljendatud protsendina kogu elektritootmisest. Seletavateks muutujateks, mis võivad mõjutada taastuva elektrienergia tootmist autor on valinud järgmisi tunnuseid: CO2 emissioonid inimese kohta tonnides, reaalne SKP per capita USA dollarites, valitsussektori keskkonnakulud protsendina SKP-st, hariduse indeks, elektrienergia tarbimine inimese kohta tuhandetes kWh, IKT import ja eksport kokku protsentides, interneti kasutajate protsent, mobiiltelefoni kasutajad ja linna elanike protsent. Kõik kasutatud mudelis muutujad on logaritmitud.

### 3. TULEMUSTE TÖLGENDUSED JA JÄRELDUSED

Käesolevas peatükis keskendatakse regressioonanalüüsi tulemustele, mis tulenevad eelnevalt kirjeldatud teoreetilistele ja empiirilistele andmetele. Analüüsi põhjal esitatakse ja tõlgendatakse saadud tulemusi ning nende abil võetakse vastu või lükatakse ümber töös püstitatud hüpoteese, seejärel tehakse järeldused.

#### 3.1. Analüüsi tulemuste tõlgendamine

Esimesena hinnati fikseeritud efektiga (*fixed effects*) mudelit, mille tulemused on toodud välja tabelis 1, parameetrite olulisused nivool 0,1, 0,05 ja 0,01 on vastavalt märgitud \*, \*\* ja \*\*\*.

Tabel 3. Fikseeritud efektidega mudel

	Koefitsient	Standardhälve	t-statistik	Olulisuse tõenäosus
const	-4.14562	6.01979	-0.6887	0.4913
l_GDP	2.07095	0.184907	11.20	2.77*10 <sup>-26</sup> ***
l_ELC	-0.399148	0.261060	-1.529	0.1269
l_CO <sub>2</sub>	-1.18331	0.221417	-5.344	1.35*10 <sup>-7</sup> ***
l_GOV	0.262570	0.260363	1.008	0.3137
l EDI	-3.98687	0.836875	-4.764	2.45*10 <sup>-6</sup> ***
l ICT	-0.0707107	0.0782877	-0.9032	0.3668
l INT	0.572855	0.0943357	6.073	2.40*10 <sup>-9</sup> ***
l MOB	-0.687941	0.117619	-5.849	8.66*10 <sup>-9</sup> ***
l_URB	-2.15347	1.17634	-1.831	0.0677 *

Allikas: OECD Statistics, World Bank andmebaas, EIA andmebaas, Human Development Reports, autori poolt koostatud tabel

Kus

l\_GDP – logaritmitud SKP inimese kohta

l\_ELC – logaritmitud elektrienergia tarbimine inimese kohta

l\_CO<sub>2</sub> – logaritmitud CO<sub>2</sub> emissioonid



l\_GOV – logaritmitud valitsuse kulutused protsendina SKP-st

l\_EDI – logaritmitud hariduse indeks

l\_ICT – logaritmitud IKT impordi ja ekspordi kaupade protsent kogu impordist ja ekspordist

l\_INT – logaritmitud interneti kasutajate protsent elanikkonnast

l\_MOB – logaritmitud mobiiltelefonide kasutajad 100 inimese kohta

l\_URB – logaritmitud linna elanikke protsent elanikkonnast

Fikseeritud efektiga mudeli grupisisene determinatsioonikordaja  $R^2 = 0.483$ , mis tähendab, et mudeli kirjeldusvõime on 48%. F-testi (Joint test on named regressors) p-väärtus =  $2.14 \cdot 10^{-70}$ , mis on väiksem kui 0.05, see tähendab, et vähemalt üks regressor mudelis on statistiliselt oluline. Konstandi koefitsient ehk mudeli vabaliige näitab millega võrdub Y, kui kõik näitajad on võrdsed 0. Antud mudelis konstandiks on logaritmitud taastuva elektrienergia tootmine ning selle koefitsient on  $-4.14562$ , mis tähendab, et see mõjutab taastuva elektrienergia tootmist negatiivselt. Konstandi p-väärtus on  $0.4913 > 0.05$ , seega antud mudelis see ei ole statistiliselt oluline. Elektrienergia tarbimine inimese kohta, valitsuse kulutused protsendina SKP-st, IKT impordi ja ekspordi kaupade protsent kogu impordist ja ekspordist ning linna elanikke protsent elanikkonnast ei ole statistilised olulised, kuna nende muutujate olulisuse tõenäosus on suurem kui 0.05. F-testi (*Test for differing group intercepts*) p-väärtus =  $3.91 \cdot 10^{-169} < 0.05$ , seega fikseeritud efektiga mudel on parem kui ühendatud efektiga mudel. Järgmisena on läbi viidud jääkliikmete normaaljaotuse test (*normality of residual*) ja selle olulisuse tõenäosus on  $4.60 \cdot 10^{-24} < 0.05$ , mis tähendab, et jääkliikmed ei allu normaaljaotusele. Seejärel kontrolliti heteroskedastiivsust Wald testi (*Wald test for heteroskedasticity*) abil, p-väärtus on 0, seega heteroskedastiivsus esineb. Durbin-Watson testi statistik on  $0.273 < 2$ , mis tähendab, et esineb positiivne autokorrelatsioon ( $p < 0$ ).

Teise analüüsi läbiviimiseks autor kasutas juhuslike efektiga mudelit, kus sõltuvaks tunnuseks on samuti logaritmitud taastuva elektrienergia tootmine. Mudeli parameetrid on toodud välja Tabelis 4, parameetrite olulisused nivool 0,1, 0,05 ja 0,01 on vastavalt märgitud \*, \*\* ja \*\*\*.

Tabel 4. Juhusliku efektiga mudel

	Koefitsient	Standardviga	z-statistik	Olulisuse tõenäosus
const	-6.84222	3.89513	-1.757	0.0790 *
l_GDP	1.94388	0.175600	11.07	$1.75 \cdot 10^{-28}$ ***

I_ELC	0.103650	0.208829	0.4963	0.6197
I_CO <sub>2</sub>	-1.40977	0.190929	-7.384	1.54*10 <sup>-13</sup> ***
I_GOV	0.151274	0.247665	0.6108	0.5413
I_EDI	-4.26439	0.759119	-5.618	1.94*10 <sup>-8</sup> ***
I_ICT	-0.119405	0.0740611	-1.612	0.1069
I_INT	0.584823	0.0932264	6.273	3.54*10 <sup>-10</sup> ***
I_MOB	-0.699792	0.113425	-6.170	6.85*10 <sup>-10</sup> ***
I_URB	-2.03619	0.769589	-2.646	0.0081 ***

Allikas: OECD Statistics, World Bank andmebaas, EIA andmebaas, Human Development Reports, autori poolt koostatud tabel

Kus

I\_GDP – logaritmitud SKP inimese kohta

I\_ELC – logaritmitud elektrienergia tarbimine inimese kohta

I\_CO<sub>2</sub> – logaritmitud CO<sub>2</sub> emissioonid

I\_GOV – logaritmitud valitsuse kulutused protsendina SKP-st

I\_EDI – logaritmitud hariduse indeks

I\_ICT – logaritmitud IKT impordi ja ekspordi kaupade protsent kogu impordist ja ekspordist

I\_INT – logaritmitud interneti kasutajate protsent elanikkonnast

I\_MOB – logaritmitud mobiiltelefonide kasutajad 100 inimese kohta

I\_URB – logaritmitud linna elanikke protsent elanikkonnast

Mudeli üldine determinatsioonikordaja on 0.449. Tuginedes tulemustele, mis on saadud analüüsi käigus, saab väita, et mudel on statistiliselt oluline, kuna regressorite olulisuse Waldi testi (*Joint test on named regressors*) p-väärtus on 1.196\*<sup>-104</sup>, mis on väiksem kui 0.05, mis tähendab, et vähemalt üks regressor mudelis on statistiliselt oluline. Konstandi koefitsient on -6.84222, ning selle p-väärtus on 0.0790 > 0.1, seega antud mudelis see ei ole statistiliselt oluline. Elektrienergia tarbimine inimese kohta, valitsuse kulutused protsendina SKP-st, IKT impordi ja ekspordi kaupade protsent kogu impordist ja ekspordist ning linna elanikke protsent elanikkonnast ei ole statistilised olulised, kuna nende muutujate olulisuse tõenäosus on suurem kui 0.05 või 0.01. Breusch-Pagani testi tulemusena on näha, et p-väärtus on 0, mis tähendab, et juhuslike efektiga mudel on parem kui ühendatud mudel. Jäakliikmete normaaljaotuse (*normality of residual*) testi p-väärtus on

$2.959 \times 10^{-9} < 0.05$ , mis viitab sellele, et jäägid ei allu normaaljaotusele. Durbin-Watson testi statistik on  $0.273 < 2$ , seega esineb positiivne autokorrelatsioon. Hausmani testi p-väärtus on 0.0012389, mis on olulisuse nivoo 0.05 väiksem, mis omakorda tähendab, et hinnangud ei ole mõjusad, järelikult juhuslike efektiga mudeli eeldus ei ole täidetud ning seda ei saa kasutada.

See tähendab, et matemaatilise võrrandi koostamiseks on kasutatud fikseeritud efektiga mudeli tulemused ning võrrand on järgmine:

$$l\_REN = -4.146 + 2.071l\_GDP - 0.399l\_ELC - 1.183l\_CO_2 + 0.263l\_GOV - 3.987l\_EDI - 0.071l\_ICT + 0.573l\_INT - 0.688l\_MOB - 2.153l\_URB$$

### 3.2. Järeldused

Eelmises alapeatükis autor oli läbi viinud regressioonanalüüsi, mille abil uuris teatud näitajate mõju taastava elektrienergia tootmisele. Uurimise läbiviimiseks olid valitud andmeid 36 OECD riigi kohta, ajavahemikus 2000-2015.

Analüüsi käigus olid kasutatud kaks mudelit – fikseeritud ja juhuslike efektiga mudelid. Uurides juhuslike efektiga mudelit, tuginedes Hausmani testi tulemustele selgus, et juhuslike efektiga mudeli hinnangud ei ole mõjusad, mis tähendas, et mudelit kasutada ei saa. Seega lõplikute järelduste tegemiseks kasutatakse fikseeritud efektiga mudelit. Tulemused näitasid, et majanduskasvuga suureneb ka taastava elektrienergia tootmine, kuna reaalne SKP avaldab positiivset mõju selle tootmisele. Samuti valitsuse keskkonnakulutused suurendavad taastava elektrienergia tootmist.

Digitaliseerimise näitajad avaldasid erinevat mõju, näiteks interneti kasutajate arv suurendab taastava elektrienergia tootmist. Vastupidi aga mõjutavad mobiiltelefonide kasutajad 100 inimese kohta ning IKT impordi ja ekspordi kaupade protsent kogu impordist ja ekspordist, antud näitajad vähendavad taastava elektrienergia tootmist. Tuginedes sellele esimene hüpotees, et digitaliseerimise ja taastava elektrienergia tootmise vahel on positiivne seos, leidis ainult osalist kinnitust. Seda on näha ka korrelatsioonimaatriksis, kus IKT impordi ja ekspordi kaupade protsent kogu impordist ja ekspordist on tugevamas seoses taastava elektrienergia tootmisega kui mobiiltelefonide ja interneti kasutajate arv.

Korrelatsioonanalüüsi ning fikseeritud efektiga saadud mudeli tulemuste järgi inimkapitali suurenemine vähendab taastava elektrienergia tootmist, kuna inimkapitali näitaja, mis oli

väljendatud läbi hariduse indeksi, avaldab negatiivset mõju. Seetõttu saab väita, et teine hüpotees, milleks on inimkapitali ja taastuva elektrienergia tootmise vahel on positiivne seos, kinnitust ei leidnud. Elektrienergia tarbimine inimese kohta, CO<sub>2</sub> emissioonid, ning linna elanikke protsent elanikkonnast samuti avaldavad negatiivset mõju ehk vähendavad taastuva elektrienergia tootmist.

Kolmas hüpotees oli sõnastatud järgmiselt: Digitaalsed tehnoloogiad avaldavad positiivset mõju CO<sub>2</sub> emissioonidele. Tuginedes korrelatsioonanalüüsi tulemustele kõik kolm digitaliseerimise näitajat, milleks olid IKT impordi ja ekspordi kaupade protsent kogu impordist ja ekspordist, interneti kasutajate protsent ning mobiiltelefoni kasutajad mõjutavad CO<sub>2</sub> emissioone positiivselt, mis tähendab, et digitaliseerimise kasv suurendab CO<sub>2</sub> emissioone ehk kolmas hüpotees on vastu võetud.

## KOKKUVÕTE

Antud bakalaureusetöö eesmärgiks oli uurida ning selgitada välja milline mõju on digitaliseerimisel ja inimkapitalil taastuva elektrienergia tootmisele. Töös käsitleti teemasid, mis on viimastel aastatel paljudes piirkondades olnud väga aktuaalsetena. Uuring oli läbiviidud tuginedes 36 OECD riigi andmetele, ajavahemikul 2000-2015.

Inimkapitali teooria sai alguse 60-el aastatel, siis hakati kaaluma mõtet, et inimeste õppimisvõimel on teiste tootmisega seotud ressurssidega võrreldav väärtus. Oli erinevaid arvamusi, selle kohta, mis endast kujundab inimkapital. Ühest seisukohast inimkapital hõlmas kõike, mis luuakse haridusse ja tulevikuhüvedesse investeringute kaudu. Samuti arvati, et inimkapital on see, kuidas inimesed kulutavad ressursse iseendale, mitte ainult praeguste vajaduste rahuldamiseks, vaid ka tulevaste rahaliste ja mitterahaliste tulude saamiseks. Varasemad empiirilised uuringud on näidanud, et kuigi inimkapital parandab energiatarbimist pikas perspektiivis, ei mõjuta see energiatarbimist lühiajaliselt. Samuti tulemused näitavad, et inimkapital ja ökoinnovatsioon hõlbustavad üleminekut taastumatu energia tarbimiselt taastuenergia tarbimisele.

Digitaaliseerimine viitab erinevate nutikate ja uuenduslike tehnoloogiatele, nagu andmeanalüütika, internet ja pilvandmetöötlus, mis võimaldavad ühenduvust, sidet ja automatiseerimist. Digitehnoloogiate kasutuselevõtt võimaldab parandada energiasüsteemide toimivust ja jätkusuutlikkust. Euroopas IKT-tööstus pakub umbkaudu 20% kogu tootlikkuse kasvust, mis annab olulist panust majanduskasvule. Uurides varasemat empiirilist kirjandust, sai teada, et IKT avaldab negatiivset mõju CO<sub>2</sub> heitkogustele, samuti oli järeldatud, et digitaliseerimine suurendab energiatarbimist. Energiasäästu asemel digitaliseerimine toob kaasa täiendava energiatarbimise.

Töös olid koostatud kaks mudelit: juhusliku ja fikseeritud efektiga. Tuginedes eelneval uuritud kirjandusele inimkapitali näitajaks sai valitud hariduse indeks, ning digitaliseerimise näitajateks on IKT impordi ja ekspordi protsent kogu impordist ja ekspordist, interneti kasutajate protsent ning mobiiltelefoni kasutajad 100. inimese kohta. Lõplike järelduste tegemiseks kasutati fikseeritud efektiga mudelit.

Tuginedes teoreetilisele kirjandusele ja varasematele empiirilistele uuringutele autor oli püstitanud kolm hüpoteesi:

H1: Digitaliseerimise ja taastuva elektrienergia tootmise vahel on positiivne seos (mida kõrgem on digitaliseerimise tase, seda rohkem toodetakse taastuvat elektrienergiat).

H2: Inimkapitali ja taastuva elektrienergia tootmise vahel on positiivne seos (mida suurem on inimkapital, seda rohkem toodetakse taastuvat elektrienergiat).

H3: Digitaalsed tehnoloogiad avaldavad positiivset mõju CO<sub>2</sub> emissioonidele.

Töö käigus olid leitud vastused kõikidele uurimisküsimustele ning kõik kolm hüpoteesi olid kas vastu võetud või ümber lükatud. Esimene hüpotees leidis osalist kinnitust, kuna mudelis oli kolm digitaliseerimise näitajat ning nad avaldasit erinevat mõju taastuva elektrienergia tootmisele. Teine hüpotees oli ümber lükatud, mis oli tingitud sellega, et hariduse indeksi suurenemine vähendab taastuvaelektrienergia tootmist. Kolmas hüpotees leidis kinnitust, kuna kõik mudelisse kaasatud digitaliseerimise näitajad mõjutasid CO<sub>2</sub> emissioone positiivselt.

Käesoleva bakalaureusetöö eesmärk on saavutatud. Vaatamata asjaolule, et algselt autor planeeris uurida pikemat ajaperioodi, kuid töö käigus tekkis problem mõningate vajalike andmete kättesaadavusega, mille alusel oli võimalik viia läbi analüüs. Täpsema tulemuse saamiseks oleks vaja lisada mudelisse rohkem muutujaid ning kaasata uuringusse rohkem riike.

# **SUMMARY**

## **THE IMPACT OF DIGITALIZATION AND HUMAN CAPITAL ON RENEWABLE ELECTRICITY PRODUCTION**

Ekaterina Moskalenko

The aim of this bachelor's thesis was to study and find out the impact of digitization and human capital on renewable electricity production. The work touched upon topics that have become very relevant for many regions in recent years. Research based on data from 36 OECD countries, 2000-2015.

The theory of human capital originated in the 1960s, when the idea that the ability of people to learn has a value comparable to other resources associated with production was considered. There were different opinions about what constitutes human capital. From one point of view, human capital includes everything that is created through investment in education and future benefits. It was also believed that human capital is how people spend resources on themselves, not only to meet current needs, but also to generate future financial and non-monetary income. Previous empirical studies have shown that although human capital improves energy consumption in the long term, it does not affect energy consumption in the short term. The results also show that human capital and eco-innovation are driving the transition from non-renewable to renewable energy.

Digitization refers to a variety of smart and innovative technologies, such as data analytics, the Internet and cloud computing, that enable connectivity, communication and automation. The introduction of digital technologies will make it possible to improve the performance and sustainability of energy systems. In Europe, the ICT industry accounts for about 20% of total productivity growth, making a significant contribution to growth. A study of previous empirical literature revealed that ICT has a negative impact on CO<sub>2</sub> emissions and it was concluded that digitalisation increases energy consumption. Digitalization will not lead to energy savings, but additional energy consumption.

Two models were developed in this research: random and fixed effect. Based on the previously studied literature, the education index was chosen as the indicator of human capital and the indicators of digitization are the percentage of ICT imports and exports from the total volume of

imports and exports, the percentage of Internet users and mobile phone users per 100 people. A fixed effect model was used to refine the final conclusions.

Based on the theoretical literature and previous empirical research, the author had put forward three hypotheses:

H1: There is a positive relationship between digitization and renewable electricity generation (the higher the level of digitization, the more electricity is produced from renewable sources).

H2: There is a positive relationship between human capital and renewable electricity generation (the larger the human capital, the more electricity is produced from renewable sources).

H3: Digital technologies have a positive effect on CO<sub>2</sub> emissions.

In the course of the work, the answers to all the research questions were found and all three hypotheses were either accepted or rejected. The first hypothesis was partially confirmed, since the model had three digitization indicators and they had different effects on renewable electricity generation. The second hypothesis was disproved, due to the fact that an increase in the education index reduces the production of renewable electricity. The third hypothesis was confirmed, as all digitization indicators included in the model had a positive effect on CO<sub>2</sub> emissions.

The goal of this bachelor's thesis has been achieved. Despite the fact that initially the author planned to study for a longer period of time, but during the work there was a problem with the availability of some necessary data for the analysis. For a more accurate result, it would be necessary to add more variables to the model and to include more countries in the study.



## KASUTATUD ALLIKATE LOETELU

- Al-Mulali U., Saboori B., Ozturk I. (2015). Investigating the environmental Kuznets curve hypothesis in Vietnam.
- Azam A., Rafiq M., Shafique M., Yuan J. (2021). An empirical analysis of the non-linear effects of natural gas, nuclear energy, renewable energy and ICT-Trade in leading CO2 emitter countries: Policy towards CO2 mitigation and economic sustainability. *Journal of Environmental Management*, 286.
- Bastida L., Cohen J.J., Kollmann A., Moya A., Reichl J. (2019). Exploring the role of ICT on household behavioural energy efficiency to mitigate global warming. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 455-462.
- Becker G.S. (1992). Human Capital and the Economy. *Proceedings of the American Philosophical Society*, 136 (1), 85-92.
- Becker G.S. (1992). Investment in Human Capital: A Theoretical Analysis. *The Journal of Political Economy*, 70 (5), 9-49.
- Bukht R., Heeks R. (2017). Defining, Conceptualising and Measuring the Digital Economy. *Development Informatics Working Paper*, 68.
- Cardona M., Kretschmer T., Strobel T. (2013). ICT and productivity: conclusions from the empirical literature. *Information Economics and Policy*, 25 (3), 109-125.
- Dasgupta S., Laplante B., Wang H., Wheeler D. (2002). Confronting the Environmental Kuznets Curve. *Journal of Economic Perspectives*, 16 (1), 147-168.
- Dedrick J., Kraemer K., Shih. (2013). Information technology and productivity in developed and developing countries. *Journal of Management Information Systems*, 30 (1), 97-122.
- Dinda S. (2004). Environmental Kuznets Curve Hypothesis: A Survey. *Ecological Economics*, 49 (4), 431-455.
- Dupre J. (1994). *Economics and Philosophy*, 10 (01), 138-145.
- European Commission. Climate change consequences. Kättesaadav: [https://ec.europa.eu/clima/climate-change/climate-change-consequences\\_en](https://ec.europa.eu/clima/climate-change/climate-change-consequences_en), 27. september 2021.
- European Commission. (2010). Europe's Digital Competitiveness Report, 1.
- European Commission (s.a) 2030 climate & energy framework. Kättesaadav: [https://ec.europa.eu/clima/eu-action/climate-strategies-targets/2030-climate-energy-framework\\_en#tab-0-0](https://ec.europa.eu/clima/eu-action/climate-strategies-targets/2030-climate-energy-framework_en#tab-0-0), 14. november 2021.
- European Environment Agency. (2018). Renewable electricity. Kättesaadav: <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/renewable-electricity-consumption-1>, 20. september 2021.

- Evangelista R., Guerrieri P., Meliciani V. (2014). The economic impact of digital technologies in Europe.
- Grossman G. M., Krueger A. B. (1991). Environmental impacts of a North American free trade agreement. *National Bureau of Economic Research*, 3914.
- Grossman G. M., Krueger A. B. (1995). Economic Growth and the Environment. *The quarterly Journal of Economics*, 110 (2), 353-377.
- Haini H. (2021). Examining the impact of ICT, human capital and carbon emissions: Evidence from the ASEAN economies. *International Economics*, 166, 116-125.
- Higon D.A., Gholami R., Shirazi F. (2017). ICT and environmental sustainability: A global perspective. *Telematics and Informatics*, 34, (4), 85-95.
- Human Development Report (2020). Education Index. Kättesaadav: <http://hdr.undp.org/en/indicators/103706>, 26. november 2021.
- International Monetary Fund. (2019). World Economic Outlook: Global Manufacturing Downturn Rising Trade Barriers. Kättesaadav: <https://www.imf.org/-/media/Files/Publications/WEO/2019/October/English/text.ashx>, 15. oktoober 2021.
- International Monetary Fund. (2021). Recovery During a Pandemic: Health concerns, supply disruptions, and price pressures. World Economic Outlook. Kättesaadav: <https://www.imf.org/en/Publications/WEO/Issues/2021/10/12/world-economic-outlook-october-2021>, 18. november 2021.
- IRENA. (2019a). Future of wind: Deployment, investment, technology, grid integration and socio-economic aspects. *A Global Energy Transformation paper*. Kättesaadav: <https://www.irena.org/publications/2019/Oct/Future-of-wind>, 03. oktoober 2021.
- IRENA. (2019b). Global energy transformation: A roadmap to 2050. Kättesaadav: <https://www.irena.org/publications/2019/Apr/Global-energy-transformation-A-roadmap-to-2050-2019Edition>, 30. september 2021.
- IRENA. (2020). Global renewables Outlook: Energy transformation 2050. Kättesaadav: <https://www.irena.org/publications/2020/Apr/Global-Renewables-Outlook-2020>, 03. oktoober 2021.
- Jiang P., Fan Y.V., Klemes J.J. (2021). Impacts of COVID-19 on energy demand and consumption: Challenges, lessons and emerging opportunities. *Applied Energy*, 285.
- Jorgenson D.W., Vu K.M. (2016). The ICT revolution, world economic growth, and policy issues. *Telecommunications Policy*, 40 (5), 383-397.
- Kaika, D., Zervas, E. (2013). The Environmental Kuznets Curve (EKC) theory – Part A: Concept, causes and CO2 emissions case. *Energy Policy*, 62, 1392-1402.
- Kannan N., Vakeesan D. (2016). Solar energy for future world: - A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 62, 1092-1105.
- Kern A. (1976). The Value Of An Education. *Journal of Education Finance*, 1, (4), 429-467.

- Khan Z., Malik M.Y., Latif K., Jiao Z. (2020). Heterogeneous effect of eco-innovation and human capital on renewable & non-renewable energy consumption: Disaggregate analysis for G-7 countries. *Energy*, 209.
- Lange S., Pohl J., Santarius T. (2020). Digitalization and energy consumption. Does ICT reduce energy demand? *Ecological Economics*, 176.
- Li Y., Dai J., Cui L. (2020). The impact of digital technologies on economic and environmental performance in the context of industry 4.0: A moderated mediation model. *International Journal of Production Economics*, 229.
- Lieb C. M. (2003). The Environmental Kuznets Curve – A Survey of the Empirical Evidence and of Possible Cause. *Discussion Paper*, 391, University of Heidelberg.
- Morley J., Widdicks K., Hazas M. (2018). Digitalisation, energy and data demand: The impact of Internet traffic on overall and peak electricity consumption. *Energy Research & Social Science*.
- OECD. (2021). Air and GHG emissions. Carbon dioxide (CO<sub>2</sub>), Tonnes/capita. [Online]. Kättesaadav: <https://data.oecd.org/air/air-and-ghg-emissions.htm#indicatorchart>. 26. november 2021.
- OECD. (2021). General government spending (percent of GDP). [Online]. Kättesaadav: <https://data.oecd.org/gga/general-government-spending.htm>, 26. november 2021.
- OECD.Stat. (2019). Gross domestic product (GDP): GDP per capita, USD, current prices and PPPs. [Online]. Kättesaadav: <https://stats.oecd.org/index.aspx?queryid=61433#> 27. november 2021.
- Rahman M.M., Nepal R., Alam K. (2021). Impacts of human capital, exports, economic growth and energy consumption on CO<sub>2</sub> emissions of a cross-sectionally dependent panel: Evidence from the newly industrialized countries (NICs). *Environmental Science and Policy*, 121, 24-36.
- Renewables 2020: Global Status Report
- Renewables 2021: Global Status Report
- Schultz T.W. (1971). Education and Productivity.
- Sharma G.D., Shah M.I., Shahzad U., Jain M., Chopra R. (2021). Exploring the nexus between agriculture and greenhouse gas emissions in BIMSTEC region: The role of renewable energy and human capital as moderators. *Journal of Environmental Management*, 297.
- Solomon E., Klyton A. (2020). The impact of digital technology usage on economic growth in Africa. *Utilities Policy*.
- The Nobel Prize. (2021). The Nobel Prize in Physics 1956. Kättesaadav: <https://www.nobelprize.org/prizes/physics/1956/summary/>, 27. september 2021.
- Tisdell C. (2001). Globalisation and sustainability: environmental Kuznetscurve and the WTO.

- Wei C., Li C.-z., Löschel A., Managi S., Lundgren T. (2021). Digital technology and energy sustainability: Impacts and policy needs. *Resources, Conservation and Recycling*, 170.
- Wen J., Okolo C.V., Ugwuoke I.C., Kolani K. (2022). Research on influencing factors of renewable energy, energy efficiency, on technological innovation. Does trade, investment and human capital development matter? *Energy Policy*, 160.
- WindEurope – history. Kättesaadav: <https://windeurope.org/about-wind/history/>, 01. november 2021.
- Winners of the Nobel Prize for Economics. Kättesaadav: <https://www.britannica.com/topic/Winners-of-the-Nobel-Prize-for-Economics-1856936>, 12. oktoober 2021
- Winslow M. (2005). The environmental Kuznets curve revisited once again. *Forum for Social Economics*, 35 (1), 1–18.
- World Bank (2021). World Development Indicators. The World Bank Group. [Online]. Kättesaadav: <https://databank.worldbank.org/source/world-development-indicators>, 26. november 2021.
- Yao Y., Ivanovski K., Inekwe J., Smyth R. (2019). Human capital and energy consumption: Evidence from OECD countries. *Energy Economics*, 84.
- Yao Y., Ivanovski K., Inekwe J., Smyth R. (2020). Human capital and CO<sub>2</sub>emissions in the long Run. *Energy Economics*, 91.
- Zheng J., Wang X. (2021). an mobile information communication technologies (ICTs) promote the development of renewables?-evidence from seven countries. *Energy Policy*, 149.
- МГЭИК (2011) Возобновляемые источники энергии и смягчение воздействий на изменение климата.

# LISAD

## Lisa 1. Töös kasutatud riikide loetelu

Ameerika Ühendriigid	Luksemburg
Austraalia	Norra
Austria	Poola
Belgia	Portugal
Colombia	Prantsusmaa
Eesti	Rootsi
Hispaania	Saksamaa
Holland	Slovakkia
Iirimaa	Sloveenia
Island	Soome
Israel	Šveits
Itaalia	Taani
Jaapan	Tšehhi
Kanada	Tšilli
Korea Vabariik	Türgi
Kreeka	Ühendkuningriigid
Läti	Ungari
Leedu	Uus-Meremaa

## Lisa 2. Fikseeritud efektiga mudel

Fixed: Fixed-effects, using 576 observations

Included 36 cross-sectional units

Time-series length = 16

Dependent variable: l\_REN

	<i>Coefficient</i>	<i>Std. Error</i>	<i>t-ratio</i>	<i>p-value</i>	
const	-4.14562	6.01979	-0.6887	0.4913	
l_GDP	2.07095	0.184907	11.20	<0.0001	***
l_ELC	-0.399148	0.261060	-1.529	0.1269	
l_CO2	-1.18331	0.221417	-5.344	<0.0001	***
l_GOV	0.262570	0.260363	1.008	0.3137	
l EDI	-3.98687	0.836875	-4.764	<0.0001	***
l ICT	-0.0707107	0.0782877	-0.9032	0.3668	
l_INT	0.572855	0.0943357	6.073	<0.0001	***
l_MOB	-0.687941	0.117619	-5.849	<0.0001	***
l_URB	-2.15347	1.17634	-1.831	0.0677	*
Mean dependent var	2.732041	S.D. dependent var		1.444048	
Sum squared resid	89.20993	S.E. of regression		0.409882	
LSDV R-squared	0.925598	Within R-squared		0.482698	
LSDV F(44, 531)	150.1350	P-value(F)		1.9e-269	
Log-likelihood	-280.1554	Akaike criterion		650.3108	
Schwarz criterion	846.3356	Hannan-Quinn		726.7582	
rho	0.821261	Durbin-Watson		0.272622	

Joint test on named regressors -

Test statistic:  $F(9, 531) = 55.0533$

with p-value =  $P(F(9, 531) > 55.0533) = 2.13552e-070$

Test for differing group intercepts -

Null hypothesis: The groups have a common intercept

Test statistic:  $F(35, 531) = 65.8876$

with p-value =  $P(F(35, 531) > 65.8876) = 3.91428e-169$

Test for normality of residual -

Null hypothesis: error is normally distributed

Test statistic:  $\text{Chi-square}(2) = 107.471$

with p-value =  $4.60138e-024$

Distribution free Wald test for heteroskedasticity -

Null hypothesis: the units have a common error variance

Asymptotic test statistic:  $\text{Chi-square}(36) = 15505$

with p-value = 0

### Lisa 3. Juhuslike efektiga mudel

Random: Random-effects (GLS), using 576 observations

Included 36 cross-sectional units

Time-series length = 16

Dependent variable: l\_REN

	<i>Coefficient</i>	<i>Std. Error</i>	<i>z</i>	<i>p-value</i>	
const	-6.84222	3.89513	-1.757	0.0790	*
l_GDP	1.94388	0.175600	11.07	<0.0001	***
l_ELC	0.103650	0.208829	0.4963	0.6197	
l_CO2	-1.40977	0.190929	-7.384	<0.0001	***
l_GOV	0.151274	0.247665	0.6108	0.5413	
l EDI	-4.26439	0.759119	-5.618	<0.0001	***
l ICT	-0.119405	0.0740611	-1.612	0.1069	
l_INT	0.584823	0.0932264	6.273	<0.0001	***
l_MOB	-0.699792	0.113425	-6.170	<0.0001	***
l_URB	-2.03619	0.769589	-2.646	0.0081	***

Mean dependent var	2.732041	S.D. dependent var	1.444048
Sum squared resid	668.6315	S.E. of regression	1.085930
Log-likelihood	-860.2567	Akaike criterion	1740.513
Schwarz criterion	1784.075	Hannan-Quinn	1757.502
rho	0.821261	Durbin-Watson	0.272622

'Between' variance = 0.742283

'Within' variance = 0.168004

theta used for quasi-demeaning = 0.881896

Joint test on named regressors -

Asymptotic test statistic: Chi-square(9) = 512.523

with p-value = 1.19605e-104

Breusch-Pagan test -

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

Asymptotic test statistic: Chi-square(1) = 2135.2

with p-value = 0

Hausman test -

Null hypothesis: GLS estimates are consistent

Asymptotic test statistic: Chi-square(9) = 27.3181

with p-value = 0.0012389

Test for normality of residual -

Null hypothesis: error is normally distributed

Test statistic: Chi-square(2) = 39.2767

with p-value = 2.95918e-009

## **Lisa 4. Lihtlitsens**

### **Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks<sup>1</sup>**

Mina Ekaterina Moskalenko (autori nimi)

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose Digitaliseerimise ja inimkapitali mõju taastuva elektrienergia tootmisele

mille juhendaja on Artjom Saia,

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.

16.12.2021 (kuupäev)