

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
Majandusteaduskond
Majandusanalüüsi ja rahanduse instituut

Arina Dovlatova

**DIGITALISEERIMISE JA INIMKAPITALI MÕJU CO₂
EMISSIONIDELE**

Bakalaureusetöö

Õppekava TABB02/17, peaeriala ärirahandus

Juhendaja: Artjom Saia, MA

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 6441 sõna sissejuhatusest kuni kokkuvõtte lõpuni.

Arina Dovlatova 13.05.2021.....

(allkiri, kuupäev)

Üliõpilase kood: 186073TABB

Üliõpilase e-posti aadress: dovlatova.arina@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. TEOREETILINE RAAMISTIK.....	7
1.1. Majanduslikud teoreetilised alused	7
1.2. Digitaliseerimise mõju keskkonnale ja majanduskasvule	11
1.3. Inimkapitali mõju keskkonnale	13
1.4. Varasemad empiirilised uuringud.....	16
1.5. Uurimusküsimuse ja hüpoteeside arendamine	18
2. KASUTATUD ANDMED JA METOODIKA	20
2.1. Andmete valik ja kirjeldav statistika	20
2.2. Ökonomeetrilised mudelid ja meetodid.....	23
3. TULEMUSED	25
2.1. Analüüsi tulemuste tõlgendamine	25
2.2. Järeldused	28
KOKKUVÕTE	30
SUMMARY	32
KASUTATUD ALLIKATE LOETELU	34
LISAD	38
Lisa 1. Töös kasutatud riikide loetelu.....	38
Lisa 2. Fikseeritud efektidega mudeli parameetrid	39
Lisa 3. Juhuslikke efektidega mudeli parameetrid	41
Lisa 4. Lihtlitsents	43

LÜHIKOKKUVÕTE

Käesoleva bakaureusetöö eesmärgiks on välja selgitada millist mõju avaldab digitaliseerimine ja inimkapital CO₂ emissioonidele. Lähtudes käsitletud teoreetilisest kirjandusest ja varasematest uuringutest, autor on püstitanud kolm hüpoteesi: digitaliseerimise ja CO₂ heitkoguste vahel on negatiivne seos; inimkapitali ja CO₂ heitkoguste vahel on negatiivne seos; tulenevalt Kuznetsi keskkonnakõvera (EKC) teooriast, SKP inimese kohta võib mõjutada CO₂ heitkoguseid nii positiivselt kui negatiivselt.

Hüpoteeside kontrollimiseks autor on läbi viinud regressioonanalüüsi. Autor on kasutanud 36 OECD riigi andmeid ajavahemikus 2000. kuni 2018. aasta. Põhinedes analüüsi tulemustel esimene hüpotees on osaliselt tõestatud. CO₂ ja digitaliseerimise vahel esineb positiivne ja negatiivne seos. Teine hüpotees on leidnud kinnituse, järelikult inimkapitali ja CO₂ heitkoguste vaheline seos on negatiivne. Kolmas hüpotees oli tõestatud ning tulemused on kooskõlas EKC teooriaga.

Esimeses peatükis antakse ülevaadet teoreetilisest kirjandusest ning varasematest uuringutest. Teises peatükis on välja toodud andmete kirjeldav statistika ja ökonomeetrilised meetodid. Kolmandas peatükis tõlgendatakse analüüsi tulemuste ning tehakse järeldusi.

Võtmesõnad: süsinikdioksiid, digitaliseerimine, inimkapital, majanduskasv

SISSEJUHATUS

Tänapäeval pööratakse aina rohkem tähelepanu kliimamuutuste probleemidele, mille mõju avaldub kogu maailmas. CO₂ heitkoguste, majanduskasvu ja elektri tarbimise vaheline seos on üks kõige innukamalt arutatavatest teemadest ja probleemidest maailmas. Riigi energiatarbimine mängib ülimalt olulist rolli selle majandusarengus. Nii arenenud kui ka arenevad riigid vajavad energiat nende sotsiaal-majandusliku arengu ja industrialiseerimise jaoks. See omakorda viib ülemaailmse energiavajaduse tõusule ning seejärel toob kaasa keskkonnaprobleeme eriti kui energia tarbimine ja tootmine teostatakse fossiilsete kütuste abil. (Kliimamuutuste tagajärjed) Euroopa Liit (EL) on püstitanud eesmärgi vähendada kasvuhooonegaaside heitkoguseid 40% võrra 2030. aastaks (võrreldes 1990. aastaga). Kehtestatud määruse kohaselt (*Regulation on the Governance of the Energy Union and Climate Action*) (Regulation EU 2018/1999 of the European Parliament and of the Council) EL võttis kasutusele integreeritud reeglid 2030 aasta kliima ja energia eesmärkide progressi järelvalvamiseks, planeerimiseks ning raporteerimiseks ning oma rahvusvaheliste kohustuste täitmiseks kooskõlas Pariisi kokkuleppega. (Euroopa komisjon)

Elektrienergiatootmise ettevõtted on juba astunud edasisi samme seoses CO₂ vähendamisega (Why Electricity Companies Should Go Green). Hetkel nemad peavad tuginema praegustel saavutustel selleks, et suurendada jõupingutusi säästva arengu vallas, kuna 1.5°C stsenaariumit (Allen et al, 2018) ei saa ellu viia, ilma puhtama elektrienergia osa suurendamiseta. Globaalne nõudlus elektrienergia vastu eeldatavalt kasvab 60% võrra 2040. aastaks. Sama perioodi jooksul päikese- ja tuuleenergia osa eeldatavalt kolmekordistub. (World Energy Council, 2019). Tähtis on see, et jätkusuutlik tulevik nõuab kõigi energeetika valdkonna liikmete osalust. Nõudluse poolest, tarbijad pole enam lihtsalt energia tarbijad, vaid ka teadlikud tootjad (*consumers & producers - prosumers*). Nemad tahavad omada võimu energia kasutamise üle nii tarbimises kui tootmises ning saada sellest kasu energia jätkusuutlikkuse, kättesaadavuse ning usaldusvääruse näol. Tootmise poolest, elektrienergia ettevõtted peavad muutma oma tehnoloogiad planeerimise ja investeeringute, vara ja tööjõu haldamise optimeerimiseks. Digitaliseerimine mängib olulist rolli jätkusuutlikkuse juurutamises kõikides äri valdkondades. See on elektrienergia ettevõtete ning valitsuste vastutus aidata saavutada kliimamuutustega seotud eesmärgid ning juurutada

jätkusuutlikkust kõikides äri valdkondades. Surve antud eesmärkide saavutamiseks tuleb valitsuselt ja poliitika kujundajatelt, kes soovivad vältida rohkem kui 1.5°C stsenaarium 2100. aastaks ning siseturult. (Why Electricity Companies Should Go Green).

Kliimamuutuste tagajärjeks on näiteks meretaseme tõus, keskkonnaseisundi halvenemine ning oht inimeste tervisele. Peale selle, kliima muutused toovad kaasa lisakulusid ühiskonnale ja majandusele. Vaieldamatult, inimtegevus tekitab suures koguses kasvuhoonegaase, mis on peamiseks kliima soojenemise põhjuseks. Süsinikdioksiidi (CO₂) emissioonid on omakorda üks peamistest kasvuhooneefekti põhjustavatest teguritest.

Antud töö uurimisprobleemiks on majanduskasvuga põhjustatud süsinikdioksiidi (CO₂) heitkoguste suurenemine ning digitaliseerimise ja inimkapitali mõju süsinikdioksiidi heitkogustele.

Käesoleva bakalaureusetöö eesmärgiks on välja selgitada millist mõju avaldab digitaliseerimine ja inimkapital CO₂ heitkogustele.

Autori poolt on püstitatud järgmised hüpoteesid:

- Digitaliseerimise ja CO₂ heitkoguste vahel on negatiivne seos (mida kõrgem on digitaliseerimise tase seda väiksemad on CO₂ heitkogused).
- Inimkapitali ja CO₂ heitkoguste vaheline seos on negatiivne (mida suurem on inimkapital, seda väiksemad on CO₂ heitkogused).
- SKP inimese kohta avaldab positiivset ja negatiivset mõju CO₂ emissioonidele, tulenevalt Kuznetsi keskkonnakõvera (EKC) teooriast.

Esimeses peatükis autor annab ülevaadet teoreetilisest ja empiirilisest kirjandusest. Samuti räägitakse digitaliseerimise mõjust keskkonnale ja majanduskasvule ning inimkapitali mõjust keskkonnale. Esimese peatüki viimases alapeatükis arendatakse töö uurimisprobleemi ja hüpoteese.

Teises peatükis on välja toodud kasutatud andmete kirjeldav statistika ning ökonomeetrilised meetodid muutujate omavaheliste seoste väljaselgitamiseks. Kolmandas osas tõlgendatakse regressioonanalüüsi tulemusi ning nende alusel tehakse järeldusi.

1. TEOREETILINE RAAMISTIK

1.1. Majanduslikud teoreetilised alused

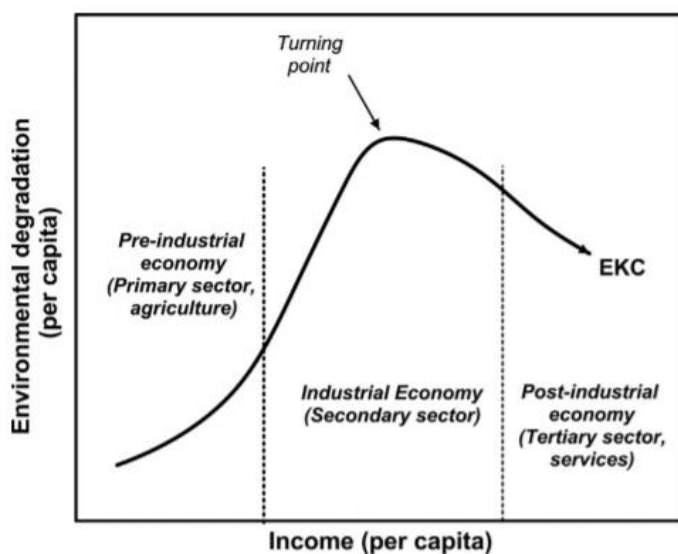
Klassikalises majanduses maad, tööjõudu ning kapitali peetakse peamisteks tootlikkuse teguriteks. Maa on füüsiline kapital (keskkond), mis tagab asendamatu loodusvarasid, mis omakorda võimaldavad igasugust majandustegevust. Samas loodusressursside ammendumine tekitab muresid selle positiivse efekti pärast tootmisvõimekusele. (Kaika, 2013). Kuid nüüdisajal rakendatakse ka ringmajandust (*circular economy*). Ringmajandus erineb traditsioonilisest lineaarsest majandusmudelitest selle poolest, et see põhineb jagamisel, üürimisel, taaskasutamisel, renoveerimisel ning jäätmete ringluse võtmisel peaaegu suletud ringi süsteemi näol, kus tooted ja toorained on on kõrgelt hinnatud (European Union, 2016). Praktilises mõttes, ringmajandus võimaldab jäätmete minimeerimist. Ringmajanduse kasutusele võtmine vähendab survet keskkonnale, suurendab toorainete tootmise turvalisust, soodustab innovatsiooni, kasvu, konkurentsivõimet ning töökohtade tekkimist. Siiski ringmajandusele üleminek esitab väljakutseid finantsvaldkonnale, inimeste oskustele, tarbija harjumustele, ärimudelitele ning mitmetasandilisele valitsemisele. (European Union, 2016)

Peale selle maailma teadusuurijad juhivad tähelepanu majanduskasvust tulenevale negatiivsele mõjule keskkonnale, nagu näiteks kasvuhoonegaaside ülekogunemine, õhu saastamine ning märkimisväärne jäätmete tekkimise kasv. Keskkonnaolude halvenemine on majandustegevuse tagajärg ning paljud autorid uurivad võimalikke seoseid keskkonna saastamise ja majanduskasvu (sissetuleku) vahel (Grossman & Krueger, 1991). Seda nimetatakse PIR (*pollution-income relationship*) kirjanduseks (Lieb, 2003). Lähtudes sellest kirjandusest, saastamise ja sissetuleku vaheline seos võib olla erinevates vormides. Antud kontekstis rõhutatakse ka Kuznetsi keskkonnakõverat (*Environmental Kuznets Curve – EKC*) (Grossman & Krueger, 1991).

Kuznets (1955) tõestas, et muutuv suhe sissetuleku inimese kohta ja sissetulekute ebavõrdsuse vahel on ümberpööratud U tähe kujul. Kui kasvab sissetulek inimese kohta, siis esialgselt sissetulekute ebavõrdsus samuti suureneb ja mõne aja pärast (peale pöördepunkti läbimist) hakkab

väheneb. Teisisõnu - sissetulekute jaotumine muutub ebaõiglasemaks sissetulekute kasvu varasemates etappides ning kui majanduskasv jätkub, väheneb ka sissetulekute ebavõrdsus (Kuznets, 1955). Keskkonnaalastes uuringutes Kuznetsi kõvera teooriat võeti kasutusele 1990-ndatel aastatel. Esimestena EKC hüpoteesi oma uuringutes juurutasid Grossman ja Krueger (1991). EKC hüpotees näitab keskkonna kvaliteedi ja majanduskasvu seost pikas perspektiivis. EKC kõveri kuju on välja toodud joonisel 1.

Joonis 1. Keskkonna halvenemise indikaatori ja SKP suhe EKC kontekstis



Allikas: Kaika (2013)

Pöördepunkt (*Turning point*) joonisel 1 näitab sissetuleku taset inimese kohta, mille läbimisel edasine majanduskasv mõjutab CO₂ heitkoguseid negatiivselt. Rääkides kõrgemast sissetuleku tasemest, siinkohal parandab majanduskasv keskkonna kvaliteeti. Joonisel 1 välja toodud graafikus sõltuvaks muutujaks vertikaalteljel on keskkonna halvenemise indikaator inimese kohta. Keskkonna halvenemise indikaatoriteks võivad olla saastava gaasi heitmed, konkreetse saasteaine kontsentratsioon kohalikul tasandil või alternatiivne keskkonna halvenemise vorm nagu metsatustamine. Sõltumatuks muutujaks (joonis 1) horisontaalteljel on sissetulek või majanduskasv inimese kohta, mis on arvutatud jagades sisemajanduse kogutoodangut (SKP) majanduspiirkonna rahvastikuga. (Kaika, 2013)

EKC hüpoteesi kohaselt, edasine majanduskasv võib parandada keskkonnaseisundi siis, kui majandus jõuab piisavale majanduskasvu tasemele (Grossman & Krueger, 1991). Varasemates arengu etappides, kui majanduskasv kiireneb koos põllumajanduse ja saastava rasketööstuse (eriti vananenud tehnoloogia kasutamisel) intensiivistumisega ning samas kasvab loodusvarade

kaevandamine, toimub märkimisväärne loodusvarade ammendumine ning jäätmed omakorda akumulierivad ning muutuvad toksilisteks (Dinda, 2004). Selle etapi käigus sissetuleku või majanduskasvu ja keskkonna seisundi halvenemise vaheline seos on positiivne. Edasise majandusarenguga, struktuurilised muutused, tööstused ja teenused, üldise keskkonnaalase teadlikkuse tõstmine, keskkonna määruste jõustamine, parem tehnoloogia ning suuremad keskkonnaga seotud kulud aitavad kaasa keskkonna halvenemise järkjärgulisele vähenemisele. Lõpuks, kui sissetulek läbib EKC kõvera pöördepunkti, algab keskkonna kvaliteedi paranemine koos edasise sissetuleku kasvuga. (Dinda, 2004)

Eristatakse kolm peamist EKC efekti (Aslanidis, 2009):

- Mastaabi efekt (*scale effect*): suurem majanduse mastaap viib keskkonnaseisundi halvenemise kasvule, kuna kasutatakse rohkem energiat.
- Struktuuri efekt (*composition effect*): kui riik kasvab ja areneb, muutub ka selle majanduse struktuur, nimelt uus struktuur ei ole enam üksnes tootmisel põhinev, vaid teadmismahukas ning põhineb teenustel ja IKT tehnoloogiatel; selle tulemusel “puhtade” tegevuste ja sektorite osakaal SKP-s suureneb.
- Tehnoloogia efekt (*technology effect*): uued tehnoloogiad võimaldavad muuta tootmisprotsesse efektiivsemaks ja puhtamaks ning parandada koheletoimetamise viisi, mille tulemusel heitkogused kahanevad.

Samuti uurides linnastumise keskkondlikke aspekte tuuakse välja kolm populaarset teooriat, milleks on ökoloogilise moderniseerimise (*ecological modernization theory* - EMT), kompaktse linna ning linnade ümberkujundamise (*urban transition*) teooriad. (Ahmed et al., 2020)

EMT teooria väidab, et linnastumise protsess muudab ühiskonda ning tekitab arengutasemega seotud keskkonnaprobleeme. Selle teooria järgi madalal ja keskmisel arengutasemel keskkonnaprobleeme tekitab see fakt, et sissetulek on prioriteediks ning see tuleb keskkonna arvelt. Siiski sissetuleku suurendamine juhib inimeste tähelepanu keskkonna kaitsele. Seepärast innovatsiooni suurendamine, roheliste tehnoloogiate kasutamine ning keskkonnasõbralikud määrused aitavad kaasa keskkonna halvenemise kontrollimisel ja vähendamisel. (Ahmed et. al., 2020).

Kompaktse linna teooria on üks peamistest linnade säästva arengu paradigmatel. Tänapäeval Euroopa Liidus (EL) tuntud kompaktse linna mudelit võeti kasutusele 1990-ndatel aastatel EL-i

rohelistes raamatus linna arendamise kohta (*European Union Green Paper of the Urban Environment*) (OECD, 2012). Antud mudel soodustab jätkusuutlikkust läbi reiside arvu vähendamise ja sõiduaja lühendamise (mis omakorda hõlbustab väikese sissetulekuga kodumajapidamiste liikuvust), vähendades sõltuvust autodest ja energia tarbimist inimese kohta, piirates infrastruktuuri ja ehitusmaterjalide kasutamist; leevendades saastamist, aidates kaasa mitmekesisuse säilitamisel töökohtade valimisel ja sotsiaalsetel kontaktidel ning piirates looduslike ja roheliste alade kaotamist (OECD, 2012). Lisaks sellele, kompaktse linna mudel tekitab rohkem võimalusi linna- ja maapiirkondade ühendamiseks. Linnade läheduses asuvad põllumajandustootmised soodustavad kohalikke toiduainete tarbimist ning vähendavad toidu transporteerimise aega ja kulusid, mis omakorda aitab kaasa CO₂ heitkoguste vähendamisele (OECD, 2012). See on tingitud sellest, et kompaktne linn rõhutab arengu intensiivistumist, loob piiranguid linnade kasvule, võimaldab maakasutust ja sotsiaalset mitmekesisust ning keskendub ühistranspordi tähtsusele ja linnaplaneerimise kvaliteedile. (Bibri et al, 2020). United Nations (2015) raporti kohaselt kui linnastumine kasvab ning hakkab olema umbes 70% kogu maapiirkonnast 2050. aastal, jätkusuutlikkus linnapiirkondades on oluliseks teguriks keskkonnatingimuste muutmises. Linnastumine suurendab linnade süsteeme koormust paljudes valdkondades, nagu näiteks energeetika, transport, jäätmete käitlemine. Innovatsioon, tehnoloogia, suurenenud inimkapital ning linnaplaneerimine, kõik need tegurid mängivad olulist rolli selle koormuse vähendamiseks. Kompaktse linna teooria oli rakendatud kahe Rootsi linna näitel: Gothenburg ja Helsingborg. Nende linnade tuleviku planeerimine ja visioonide, strateegiate ning poliitika arendamine on kooskõlas EL dokumentidega (Bibri et al, 2020), kus on öeldud, et kompaktse linna poliitika tulemuseks on energiatarbimise ning heitkoguste vähendamine transpordis erinevatel ruumiskaaladel, põllumaade ja bioloogilise mitmekesisuse säilitamine, infrastruktuuri kulude vähendamine ning tööjõu tootlikkuse kasvamine (Euroopa komisjon). Kompaktse linna poliitika tulemuslikkuse mõõtmiseks kasutatakse järgnevaid indikaatoreid: rahvastiku ja linnapiirkondade kasv, rahvastiku tihedus (keskmine rahvastiku arv linna piirkonnas 24 tunni jooksul), linna maakate, keskmine reisi/sõidu vahemaa (läheduse indikaator), ühistranspordi sõitude arv, ühistranspordi lähedus (rahvastiku arv jalutuskäigu kaugusel ühistranspordi peatusest), sobitatud kohalikud teenused ja kodud (OECD, 2012).

Sarnaselt kompaktse linna teooriale, seostab linnade ümberkujundamise (*urban transition*) teooria keskkonna halvenemist ja sissetuleku taset. Antud teooria kohaselt keskkonnasurve on kasvanud sissetuleku taseme põhjuseks, mis võib olla vähendatud tulevikus valitsuse sekkumise pärast. (Ahmed et al., 2020)

Lisaks sellele, rõhutatakse ka endogeense kasvu teooriat (EKT), kuna see räägib uurimis- ja arengutegevusse investeerimise mõjust tehnoloogiale ja energiatarbimise efektiivsusele. Endogeense kasvu teooriast inimkapitali kontekstis käesoleva bakalaureusetöö autor räägib lähemalt alapeatükis 1.3.

1.2. Digitaliseerimise mõju keskkonnale ja majanduskasvule

Digitaliseerimine on kättesaadav läbi info- ja kommunikatsioonitehnoloogiate (IKT), mida defineeritakse nagu “igasugused sidevahendid või rakendused, kaasa arvatud raadio, televisioon, mobiilsed telefonid, arvutid, riistvarad ja tarkvarad, navigatsioonisatelliitide süsteemid ning muud sellega seotud rakendused” (Solomon & Klyton 2020). Tõepoolest, digitaliseerimine pole kunagi varem olnud niivõrd oluline, kui 2020. aastal COVID-19 pandeemia ajal. Riikides üle kogu maailma oli kehtestatud eriolukord viiruse leviku tõkestamiseks, mis omakorda stimuleeris digitaalsete tehnoloogiate kasutamist koolides ning kodukontorites. (Solomon & Klyton, 2020)

IKT mängib olulist rolli Euroopa riikide majanduskasvus. IKT panust majanduskasvu on umbes 5% SKP-st (€592.6 miljardit 2007. aastal) ning samuti IKT moodustab 20% tootlikkuse kasvust. IKT tootmine moodustab umbes 1% SKP-st ning IKT teenused vähem kui 4% (European Commission, 2010). IKT kasutamine on oluline osa konkurentsivõimest sõltumata riigist. Lisaks sellele, IKT ning sellega seotud innovaatilised tegevused võimaldavad kombineerida äriprotsesse, organisatsioonilisi struktuure, inimressurse, isiklike oskusi, teadmisi, tarkvara ja riistvara ning teisi organisatsiooni komponente (European Commission, 2010). IKT spetsialistide väike arv (Euroopa riikides) põhjustab madalamat uuendustegevuse taset võrreldes teiste piirkondadega (USA, Jaapan). Üks võimalus antud probleemi lahendamiseks on suurendada investeeringuid IKT haridusse. (European Commission, 2010). Tuginedes sellele, võib järeldada, et majanduskasvu, digitaliseerimise ja inimkapitali vahel on olemas seos. Nimelt kui inimkapital IKT valdkonnas ei ole piisavalt kõrgel tasemel (ei ole vastavat haridust, teadmisi, oskusi), siis see võib takistada IKT arendamist ja kasutamist, mis omakorda võib aeglustada majanduskasvu. Ülikooli haridus (kõrgharidus) on oluline haridussüsteemi osa igas maailma riigis ning antud haridustase peab olema päris efektiivne ja nõutud IKT valdkonnas (Maryska et. Al.,2012)

Digitaliseerimise mõju keskkonnale võib olla nii positiivne kui ka negatiivne. Info- ja kommunikatsioonitehnoloogiate arendamine ja kasutamine omab negatiivset keskkonnamõju ning suurendab CO₂ heitkoguseid tänu elektrienergia tootmisele (kasutades taastumatuid energiaallikaid). Lähtuvalt eelnevalt läbiviidud uuringutest, IKT avaldab otsest mõju elektritarbimisele ning toob kaasa elektritarbimise suurendamist andmekeskuste ja serveri farmide (*server farms*) suhtes. (Higon et al., 2017). Samas tuleb mainida, et IKT samuti aitab kaasa energiatarbimise efektiivsusele (Hoorik et al., 2010). American Council for an Energy-Efficient Economy - ACEEE (2008) väidab, et “Ameerika Ühendriikide valitsus suurendas energiasäästu koeffitsiendiga 10 iga IKT-st põhjustatud elektri kilovatt-tunni kohta; sellest võime järeldada, et IKT tekitab puhta energia kulusäästu meie majanduses”.

Peale selle, arukas IKT kasutamine võib avaldada märkimisväärset mõju energiatarbimise vähendamisele. Seda nimetatakse “*greening by ICT*” (IKT positiivne mõju keskkonnale) ning heaks näiteks sellest on üleminek füüsilistest kaupadest teenuste osutamisele - dematerialiseerimise efekt (elektrooniliseks muutmine) (Romm et al., 1999). Nagu näiteks aina rohkem loobutakse printimisest, kuna rohkem informatsiooni ja dokumente on saadaval elektroonilisel kujul. Lisaks sellele, IKT efektid, mille mõju lühiajalisel perspektiivil tundub olevat hea, ei pruugi olla selline pikas perspektiivis. See võib olla tingitud tagasilöögi efektist (*rebound effect*). Nagu näiteks, kui IKT võimaldab odavamalt tootmist, nõudlus odavamate toodete vastu hakkab kasvama, mille tulemusel kasvab ka saastamine. Tagasilöögi efekt muudab IKT mõju mõõtmist keerulisemaks. (Hoorik et al., 2010).

Kõige olulisem IKT mõju transpordisektorile on see, et IKT võib muuta transpordi osatähtsust majanduses (kaubavedu või reisijatevedu SKP-s) ja transpordiliikide jaotust. Mõju energiatarbimisele on peamiselt kaudne, nimelt tuleneb transpordi intensiivsusest ning transpordiliikide jaotusest. Tööstuse, kodumajapidamise ja teenuste sektoris, IKT enamjaolt mõjutab seda, kuidas energiat ning materjale kasutatakse või rakendatakse. (Hilty et al, 2006). Nagu näiteks digitaalsete tehnoloogiate kasutamise suurenemine kodukontorites, haridusasutustes, inimeste hobide puhul, müümise ja ostmise turul, majapidamistöõde teostamises, eluruumide haldamises ja tervise valdkonnas. Rääkides energiasektorist, IKT mõjutab elektrienergiavarustust toetades detsentraliseeritud energia tootmise struktuure, mis omakorda võib muuta ja suurendada taastuvatest energiaallikatest toodetud energia osa, mõjutades kasvuhoonegaaside heitkoguseid (peamiselt CO₂) negatiivselt. (Hilty et al, 2006)

Samuti uurides digitaliseerimise mõju keskkonnale ja majanduskasvule rõhutatakse tootlikkuse teooriat (*production theory*). Enamus uuringutest riikide tasandil, kus käsitleti just IKT-d ning tootlikkuse teooriat, leidsid, et investeerimine IKT-sse avaldab positiivset mõju produktiivsusele arenenud riikides, kuid mitte arengumaades. Küll aga arengumaad on jätkunud investeerimist oma IKT infrastruktuuri, mistõttu on üpris oluline uurida kas investeerimine IKT-sse on hakanud seal ka vilja kandma (Higon et. al., 2017).

Lisaks produktiivsuse suurendamisele, info- ja kommunikatsioonitehnoloogiad võivad vähendada heitkoguseid läbi “*smart*” linnade, transportimise süsteemide, elektrivõrkude ning tööstusprotsesside loomise. Samuti IKT võib parandada süsiniku tootlikkust optimeerides tootmisprotsesse (Higon et al, 2017). Süsiniku tootlikkus annab ettevõtetele punkte 0 (ebaefektiivne) ja 1 (efektiivne) vahel, mis näitab suurust, mille võrra võib CO₂ heitkoguseid vähendada säilitades samasuguseid sisendeid ja väljundeid (input and output) (Trinks et al, 2020). (Euroopa komisjoni kohaselt “*smart*” linn on koht, kus traditsioonilised võrgustikud on tehtud efektiivsemateks kasutades IKT kohalikke elanikke ja ettevõtete kasuks. Samuti “*smart*” linnas IKT-d rakendatakse selleks, et parandada energiaallikate kasutamist ning vähendada heitkoguseid. See hõlmab arukamaid linna transpordisüsteemi, uuendatud veesüsteemi (veevarustus ja reoveemajandus) ning tõhusamad küte- ja valgustussüsteemid hoonetes. Peale selle, linnavalitsus sellises linnas on vastutulelikum ja interaktiivsem ning avalikud ruumid on turvalisemad (Euroopa Komisjon).

1.3. Inimkapitali mõju keskkonnale

Endogeense kasvu teooria kohaselt investeerimine uurimis- ja arendustegevusse, innovatsiooni ja inimkapitali stimuleerib tehnoloogilist progressi ning selle tulemusena muudab tootmist ning energia ja loodusvarade kasutamist efektiivsemaks (Churchill et al., 2019). Romer (1990) väidab, et endogeense kasvu teooria järgi inimkapitali akumulatsioon mängib ülimalt olulist rolli jätkusuutliku majanduse arengus. Antud teooria aitab ennustada uute tehnoloogiate ja hariduse mõju majanduskasvule (Kopf 2007). Tehnoloogiline progress konkreetsel tasandil parandab tööstuse ja energia tarbimise efektiivsust ning soodustab üleminekut rohelinele energiale, mille tulemusel vähenevad CO₂ heitkogused. Peale selle, tehnoloogiline progress mitte ainult vähendab puhta- ja taastuvenergia turuleviimise hinda, vaid samuti aitab kaasa traditsioonilise energia

turustamisele. Siiski kas uued tehnoloogiad aitavad vähendada CO₂ heitkoguseid või mitte sõltub sellest, kas see soodustab puhta energia kasutamist või ikkagi tõhusamat traditsioonilise energia kasutamist. (Yao et al., 2020)

Efektiivset CO₂ vähendamist on peagi võimatu saavutada ilma arenenud riikide elanikke aktiivse osaluseta. Tarbijad saavad muuta turgu läbi nende ostuotsuste. Selleks, inimesed peaksid aru saama, et just nende tarbimine põhjustab CO₂ heitkoguseid, mille tulemuseks on kliimamuutused. Keskkonnateadliku käitumise ja kliimamuutuste vahel on olemas seos, mis ei pruugi olla kodanikke jaoks nii ilmne. (Boardman, 2004).

Inimkapital mõjutab energiatarbimist mikro- ja makrotasandil. Mikrotasandil, suurema inimkapitaliga kodumajapidamised valivad energia tõhusamad seadmed, tarbides vähem energiat (Broadstock et al, 2016). Makrotasandil, inimkapital mõjutab energiatarbimist läbi sissetuleku ja tehnoloogia efekti ning füüsilise kapitali investeerimise (Salim et al, 2017). Sellest järeldub, et seos ei ole lineaarne.

Mõned mikrotasandi mehhanismid viitavad sellele, et inimkapitali ja CO₂ emissioonide suhe võib olla negatiivne. Näiteks tööstussektoris, paremini haritud töötajad aitavad kaasa innovatsioonile ning reostust vähendavate tehnoloogiate kasutusele võtmisele. Reeglina suurema inimkapitaliga ettevõtted on tulevikule orienteeritud, mistõttu rohkem rõhutatakse jätkusuutlikkust. Selle tulemusel, suurema inimkapitaliga tööstusettevõtted kipuvad vastu võtma rangemaid saaste piirangud ning on vähetõenäoline, et nad hakkavad riigi poolt kehtestatud keskkonna määruseid rikkuma. Peale selle, leibkonna tasandil haritud inimesed kipuvad rohkem keskkonda väärtustama sõltumata sissetulekust ning kohandama oma elustiili niimoodi, et see oleks keskkonnasõbralikum, nagu näiteks taaskasutamine ja ringlussevõtt. (Yao et al., 2020).

Kogu ajaloo vältel haridust on käsitletud nagu majanduskasvu ja innovatsiooni edendajat, mis paneb ühiskonda arendama parandades tootmisprotsesse ja elatustaset ning stimuleerides majanduskasvu. (Marshall, 1920). Teoreetiliselt, haridustaseme tehnoloogia parandamine peab muutma tootmisprotsesse ja tehnoloogiat efektiivsemaks. Sellest võib järeldada, et haridus mõjutab energiatarbimist järgnevalt: esiteks, suhteliselt vaesed riigid võivad suurendada energiatarbimist, sest nad tahavad rohkem arenenud ja linnastunud liikmesriikidele järele jõuda, samal ajal parandades majanduskasvu; teiselt poolt, arenenud riikides haridus võib vähendada energiatarbimist, kuna need riigid soovivad minimeerida oma ökoloogilist jalajälge ning välja

töötada keskkonnasõbralikumaid tootmisprotsesse. Peale selle, haridus võib mõjutada energiatarbimist sedaviisi, et energia tarbijad hakkavad vahetama energiaallikaid ja kütuseid roheliste vastu ning samas haridus parandab ühiskonna kohanemisvõimet ning seejärel tarbijad oskavad paremini töödelda ja aru saada informatsiooni energia hindade ja kasutamise kohta. Kui näiteks maal elavate inimeste haridustase kasvab, neil on võimalus kolida linnapiirkonda parema töö või hariduse saamiseks. See omakorda võimaldab neil asendada primitiivsed energiallikad (näiteks puit) efektiivsemate allikatega. Lisaks, kõrgem keskkonnateadlikkuse tase ühiskonnas toob kaasa rohkem informeeritud tarbijaid ning avaliku keskkonna planeerijaid, kes teevad paremaid energia ostmise, tootmise, kasutamise ja utiliseerimise otsuseid, mis jällegi võib vähendada energiatarbimise taset. (Inglesi-Lotz & Morales, 2017).

Sissetulekuefekti järgi majanduskasv vahendab suhet inimkapitali ja CO₂ heitkoguste vahel. Inimkapital aitab kaasa tööjõu produktiivsusele ning majanduskasvule. Majanduskasvu ja CO₂ heitkoguste vaheline seos on omakorda ebakindel ning sõltub sellest, kus kohas asub konkreetne riik EKC kõveral. Kuigi eraldi arutelu teemaks on kaks järgmist küsimust: kas OECD riikidel on ümberpööratud U-kujuline EKC kõver üldse olemas ning kui jah, siis kas nad on juba saavutanud oma pöördepunkti. Churchill et al., (2018) oma uuringus, kus uuriti 20 OECD riiki 1870-2014.a, on leidnud, et tervikuna OECD on läbinud EKC kõvera pöördepunkti ning hetkel asub allapoole suunatud EKC kõvera osas. Churchill et al (2018) poolt tuvastatud pöördepunktid on riikide lõikes heterogeensed, kuid enamjaolt toimusid 1950-ndatel ja 1960-ndatel aastatel. Antud järelduse kohaselt sissetulekuefekt ei ole lineaarne (sarnaselt EKC hüpoteesiga) ning viitab sellele, et enne II maailmasõda sissetulekuefekt oli positiivne, kuid 1950-ndatel ja 1960-ndatel aastatel see hakkas avaldama negatiivset mõju CO₂ heitkogustele. (Yao et al., 2020)

Kolmandaks teguriks, mille kaudu inikapital võib mõjutada CO₂ heitkoguseid on investeeringud füüsilisse kapitali. Inimkapitali akumulatsioon on tihedalt seotud füüsilisse kapitali investeeringutega tehnoloogia valdkonnas (Yao et al. 2020). Tehnoloogiamahukate kaupade lisamine võib vähendada energiatarbimise intensiivsust ning muuta energiatarbimisharjumusi, kooskõlas puhtama ja jätkusuutliku keskkonnaga (Kim & Heo, 2013). Seetõttu inimkapital täiendaks füüsilise kapitali moodustamist vähendamaks CO₂ heitkoguseid. Kuigi, kui füüsilist kapitali kasutatakse innovatsioonide rakendamiseks, nagu näiteks horisontaalpuurimise või hüdraulilise purustamise tehnoloogiad, siis see võib omakorda suurendada CO₂ heitkoguseid halvendades keskkonna kvaliteeti (Yao et al., 2020).

1.4. Varasemad empiirilised uuringud

Akram et al. (2019) uuringu eesmärgiks oli välja selgitada kas inimkapitali paranemine edendab energia säästmist vähendades energiatarbimist Indias. Uuringus kasutati andmeid perioodil 1980.-2014.a. Sõltuvaks muutujaks oli energiatarbimine - elektri-, nafta-, maagaasi-, süsivesiniku- ja kivisöe tarbimine. Kontrollmuutujad on inimkapital (inimkapitali indeks), energia hind, SKP ning kapitali varud. Autorid eeldasid, et inimkapitali suurenemine (keskkonnateadlikkus, haridustase, sissetulek) aitab inimestel valida keskkonnasõbralikumad tehnoloogiad, mis võib omakorda vähendada energiatarbimist ning seejärel ka heitkoguseid. Tuginedes uuringu tulemustele, mis on saadud ökonomeetriliste mudelite abil, autorid järeldasid, et inimkapitali ja energiatarbimise vaheline seos on negatiivne, mis tähendab seda, et inimkapitali paranemine vähendab energia tarbimist (v.a nafta tarbimine).

Salahuddin et al. (2016) artiklis uuritakse IKT, majanduskasvu ja elektrienergia tarbimise vahelist seost OECD riikide paneelandmete näitel perioodil 1985. kuni 2012. aasta. Autorite poolt läbiviidud analüüsi tulemuste kohaselt IKT ja majanduskasv stimuleerivad elektrienergia tarbimist nii lühiajalises kui pikaajalises perspektiivis. Autorid leidsid, et elektrienergia tarbimine põhjustab majanduskasvu. Mobiilside ja interneti kasutamine samuti soodustab majanduskasvu. Autorid järeldasid, et OECD riigid alles peavad saavutama IKT laiendamisest tulenevat energia tootlikkust. Tõhus energia tootlikkuse ja keskkonnaga seotud määruste koordineerimine võib aidata riikidel vältida IKT-ga põhjustatud elektrienergia kasutamisest tulenevat keskkonnaseisundi halvenemist.

Haini (2021) uuringu eesmärgiks oli välja selgitada millist mõju avaldavad IKT ja inimkapital CO₂ emissioonidele ASEAN riikides ajavahemikus 1996. kuni 2019. aasta. Analüüsi läbi viimiseks kasutati paneelandmeid. Analüüsi tulemuste abil, autor leidis, et IKT vähendab CO₂ heitkoguseid ning inimkapital suurendab neid. Siiski, tulemused varieeruvad, kuna IKT pidevalt vähendab heitkoguseid ning inimkapital omakorda suurendab heitkoguseid tööstuse valdkonnas.

Yao et al. (2020) Uuringus on käsitletud inimkapitali ja CO₂ heitkoguste seos pikaajalises perspektiivis. Autorid kasutasid 20 OECD riikide andmed perioodil 1870-2014. a. Antud uuringu eesmärgiks oli välja selgitada kuidas inimkapitali akumulatsioon on seotud keskkonna kvaliteedi parandamisega läbi CO₂ emissioonide vähendamise. Autorid tuginesid STRIPAT mudelile (*Stochastic Impacts by Regression on Population, Affluence and Technology*), mis omakorda tuleneb IPAT mudelist. IPAT mudelis I tähendab keskkonnamõju ning P, A ja T vastavalt

elanikkond, jõukus ja tehnoloogia. Jõukuse all mõeldakse reaalselt SKP-d, tehnoloogia on kulud uuringu- ja arengutegevusele SKP-s ning elanikkond on kogu elanike arv aasta keskel. Selleks, et mõõta inimkapitali autorid kasutasid kogu kooliaastate arvu ning erinevate haridustasemetega heterogeensete efektide kindlaks määramiseks lisasid veel eraldi alushariduse, keskkhariduse ja kõrghariduse aastate arvu. Analüüsid uuringu tulemusi, autorid leidsid, et kogu kooliaastate arv ning alushariduse ja keskkhariduse aastate arv ei osutunud oluliseks, kuid kõrghariduse aastate arvu kasvamine ühe aasta võrra oli seotud CO₂ emissiooni vähendamisega 50.1-65.8% võrra. Samuti autorid tõestasid, et pikaajalises perspektiivis inimkapitali ja CO₂ heitkoguste seos on negatiivne.

Lisaks sellele, Yao et al. (2019) on uurinud kuidas on omavahel seotud inimkapital ja energiatarbimine 18 OECD riigi näitel perioodil 1965-2014. aasta. Antud uuringus inimkapitali mõõtmiseks kasutati inimkapitali indeksit (*human capital index*). Energiatarbimine on sõltuv muutuja. Kontrollmuutujateks on ka SKP inimese kohta, inimkapitali indeks, investeringute ja kapitali suhe, välja antud patentide arv (uurimis- ja arengutegevuse mõõdik), erasektori laenumahu ja SKP suhe ning ametiühingu liikmelisuse ja tööhõive (majanduse löikes) suhe. Autorid tõestasid, et inimkapital vähendab kogu energiatarbimist ning kui eraldada puhta ja saastava energia tarbimist. Tuleb välja, et inimkapital vähendab saastava energia tarbimist ning suurendab puhta energia tarbimist. Samuti, autorid leidsid, et inimkapitali ja energia tarbimise vaheline seos tuleneb sissetulekust, tehnoloogiast ning füüsilise- ja inimkapitali kombineerimisest. Inimkapital mõjutab energiatarbimist kaudselt: kooskõlas inimkapital stimuleerib majanduskasvu ja siis suurendab nõudlust nii “musta” kui “roheline” energia vastu. Positiivne efekt on tugevam roheline energia puhul. Uurimis- ja arengutegevus vähendab “musta” energia tarbimist, kuid stimuleerib taastuvenergia kasutamist.

Cui et al. (2019) artiklis uuritakse linna elanikke arvu mõju kodumajapidamiste elektri tarbimisele erinevatel linnastumise etappidel. Vaatluse all on ida-, kesk- ja lääne piirkonnad Hiinas perioodil 2000-2016.a. Sõltuvaks muutujaks on linnade kodumajapidamiste elektri tarbimisest põhjustatud CO₂ heitkogused, selgitavaks muutujaks on linna elanikke arv ning kontrollmuutujateks on tehnoloogiline progress, rahvastiku tihedus, keskmine sissetulek ning haridustase. Kõrgema hariduse ning keskkonnaalase teadlikkusega inimesed kipuvad rohkem aktsepteerima energia säästmise tehnoloogiaid ja tooteid. Samuti need, kellel on tugevam keskkonnaalane teadlikkus kipuvad aktiivsemalt vähendama oma elektrienergia tarbimist vastavalt energia säästmise meetmetele. Selleks, et mõõta elektritarbimise tehnoloogilist progressi, antud artiklis kasutatakse linnade kodumajapidamiste elektri tarbimise ja regionaalse SKP suhet. Antud uuringu tulemused

näitavad, et linna elanikkonna arv on alati mäginud olulist rolli kodumajapidamiste elektritarbimises. Üleüldiselt, antud mõju alati väheneb ning seejärel suureneb (U-kujuline), sõltumata linna elanikkonna kasvust või piirkonna arengutasemest. Peale selle tehnoloogiline progress ning rahvastiku tihedus ei näidanud suurt mõju elektritarbimisele.

Solomon ja Klyton (2020) artiklis on käsitletud digitaalse tehnoloogia mõju majanduskasvule 39 Aafrika riikides perioodil 2012-2016.a. Antud artiklis kasutatakse GMM (*generalized method of moments*) meetodit selleks, et aru saada kuidas digitaalse tehnoloogia kasutamine toetab majanduskasvu. Digitaliseerimist mõõdeti *Networked Readiness* indeksiga (NRI). NRI näitab digitaalsete tehnoloogiate kättesaadavust ning valmisolekut digitaalseid tehnoloogiaid kasutada. Kuigi NRI on kasutusel olnud juba 16 aastat, autorid väidavad, et siamaani ei ole olnud ühtegi uuringut, mis analüüsiks digitaalsete tehnoloogiate kasutamist individuaalsel, ärilisel ja valitsuse tasandil selleks, et hinnata eristatud kasutamise vormide mõju majanduskasvule. Autorid tõestasid, et IKT kasutamise (individuaalsel tasandil) ja majanduskasvu seos on positiivne. Samas IKT kasvu efekti võib maksimeerida kvalifitseeritud tööjõu abil ning läbi IKT poliitika keskkonna. Peale selle, investeerimine inimkapitali on oluline komponent IKT kasvu efektide parandamiseks. Siiski, sellel on olemas ka puudused, näiteks see võib olla liiga laiahaardeline tervikuna. Küll aga NRI indeksi kasutamine eristatud vormides (indikaatorid) aitab eraldada muude digitaliseerimise komponentide efekte.

1.5. Uurimusküsimuse ja hüpoteeside arendamine

Antud töö uurimisprobleemiks on majanduskasvuga põhjustatud süsinikdioksiidi heitkoguste suurenemine ning digitaliseerimise ja inimkapitali mõju süsinikdioksiidi heitkogustele.

Nagu on eelmistes peatükides mainitud, IKT mõjutab elektrienergiavarustust toetades detsentraliseeritud energia tootmise struktuure, mis omakorda võib muuta taastuvatest energiaallikatest toodetud energia osa, vähendades kasvuhoonegaaside heitkoguseid (peamiselt CO₂). Samuti IKT keskkonnasõbralikumaks muutmine (näiteks printimisest loobumine elektrooniliste dokumentide kasuks) võib avaldada märkimisväärset mõju energiatarbimisele. Peale selle, tootlikkuse teooria kohaselt investeerimine IKT-sse avaldab positiivset mõju produktiivsusele arenenud riikides. Tuginedes sellele käesoleva bakalaureusetöö esimeseks

hüpoteesiks on: digitaliseerimise ja CO₂ heitkoguste vahel on negatiivne seos (mida kõrgem on digitaliseerimise tase seda väiksemad on CO₂ heitkogused).

Lähtudes antud bakalaureusetöös käsitletud teoriast, inimkapitali suurenemine võib soodustada energiatarbimise vähendamist ning taastuva energia kasutamist. Lisaks, haridus võib mõjutada inimeste tarbimisharjumusi energia kasutamise suhtes, näiteks kui haridustase on kõrgem, siis on tõenäoline, et inimene asendab taastumatud energiaallikad rohelistega. Lähtudes sellest, käesoleva bakalaureusetöö teiseks hüpoteesiks on: Inimkapitali ja CO₂ heitkoguste vaheline seos on negatiivne (mida suurem on inimkapital, seda väiksemad on CO₂ heitkogused).

Põhinedes Kuznetzi keskkonnakõvera hüpoteesil, mille kohaselt varasemates arengu etappides majanduskasvu ja heitkoguste vaheline seos on positiivne ning edasise majandusarenguga pöördepunkti läbimisel negatiivne, käesoleva bakalaureusetöö kolmandaks hüpoteesiks on: SKP inimese kohta avaldab positiivset ja negatiivset mõju CO₂ emissioonidele.

2. KASUTATUD ANDMED JA METOODIKA

2.1. Andmete valik ja kirjeldav statistika

Käesoleva bakalaureusetöö hüpoteeside kontrollimiseks autor on valinud andmeid 36 OECD riigi kohta (riikide loetelu on välja toodud lisas 1). Selline riikide valik on põhjustatud sellega, et OECD organisatsiooni kuuluvad riigid nii EL-ist kui ka Lõuna- ja Põhja-Ameerikast, Vaikse ookeani piirkonnast ning Lähis-Idast ja lisaks sellele sinna kuuluvad nii arenenud riigid kui arengumaad. Pikaajalise seose uurimiseks autor on valinud ajaperioodi 18 aastat ehk aastast 2000 kuni 2018.

Autori poolt CO₂ näitajaks sai valitud CO₂ emissioonid inimese kohta tonnides (OECD). Majanduskasvu näitajaks on SKP inimese kohta tuhandetes dollarites (OECD), inimkapital - *education index* (Human Development Reports, 2020), digitaliseerimine - IKT impordi ja ekspordi protsent kogu impordist ja ekspordist ja interneti kasutajate protsent elanikkonnast (Worldbank, 2021). Samuti mudelisse on võetud elektrienergia tarbimine inimese kohta (EIA andmebaas), linna elanikke protsent elanikkonnast (Worldbank, 2021) ja keskkonnaga seotud maksude protsent SKP-st (OECD.stat). Käesolevas töös on kasutatud paneelandmetel põhinevat regressioonimudelit.

Analüüsi läbiviimiseks autor on kasutanud Gretl tarkvara ja Exceli programmi. Käesolevas alapeatükis esitatakse kirjeldava statistika ja korrelatsioonianalüüsi tulemusi.

Tulenevalt kirjeldava statistika näitajatest, kõige rohkem varieeruvad näitajad on SKP inimese kohta, interneti kasutajad, elektrienergia tarbimine ja IKT import ja eksport kokku. Selline varieerumine võib olla tingitud sellest, et valimis on nii arenenud riigid kui ka arengumaad. Samuti seda võib põhjustada riikide suuruste erinevus.

Tabelis 1 on välja toodud kasutatud andmete kirjeldav statistika.

Tabel 1. Kasutatud andmete kirjeldav statistika

	Aritmeetiline keskmine	Mediaan	Standardhälve	Minimaalne väärtus	Maksimaalne väärtus
CO ₂ emissioonid inimese kohta (tonnid)	8.26	7.6	4.18	1.24	25.1
SKP inimese kohta (tuhandetes USD)	38.68	38.60	16.32	8.93	109.1
<i>Education index</i> (%)	82.48	84.4	8.07	49.3	94.3
IKT import ja eksport kokku (%)	16.08	11.81	10.69	4.04	72.7
Interneti kasutajad (%)	64.22	70	23.74	2.21	99.01
Elektrienergia tarbimine inimese kohta (tuhandetes kWh)	8.31	6.31	7.58	0.82	54.44
Linna elanikud (%)	76.44	78.28	11.24	50.75	98
Keskkonnaga seotud maksud (%)	2.39	2.41	0.79	0.6	5.1

Allikas: Autori poolt koostatud tabel

Lisaks, autor on läbi viinud korrelatsioonanalüüsi Exceli programmi abil. Korrelatsiooni p-väärtus on $1.630 \cdot 10^{-74}$, seega korrelatsioon on statistiliselt oluline, kuna p-väärtus on väiksem kui 0.05.

Vastavalt Tabelis 2 esitatud andmetele võib väita, et CO₂ emissioonide ja SKP vahel on positiivne seos, mis viitab sellele, et kõrgema majanduskasvuga riikides on CO₂ heitkogused suuremad. CO₂ heitkoguste ja education index vaheline seos on positiivne ehk mida suurem on inimkapital, seda suuremad on CO₂ emissioonid. Interneti kasutajad ning IKT import ja eksport avaldavad positiivset mõju CO₂ emissioonidele. Elektrienergia tarbimise ja CO₂ vaheline seos on samuti positiivne, mis tähendab, et riikides, kus tarbitakse rohkem elektrienergiat, on CO₂ heitkogused suuremad. Keskkonnaga seotud maksude ja CO₂ vahel on aga negatiivne seos ehk mida väiksemad on keskkonnamaksud, seda suuremad on CO₂ heitkogused. Tabelis on samuti näha, et *education index*-i ja SKP vahel on positiivne seos, see omakorda viitab sellele, et inimkapitali suurenemine soodustab majanduskasvu ehk mida suurem on inimkapital, seda suurem on SKP. Suhteliselt tugev positiivne seos on tuvastatud ka interneti kasutajate protsenti ja *education index*-i vahel. Samuti positiivne seos on tuvastatud interneti kasutajate ja SKP vahel. IKT ja SKP vahel on väga nõrk negatiivne seos.

Tabel 2. Korrelatsioonimaatriks

	CO ₂	GDP	EDU	ICT	INT	ELC	URB	TAX
CO ₂	1							
GDP	0.562	1						
EDU	0.319	0.393	1					
ICT	0.234	-0.059	0.081	1				
INT	0.196	0.512	0.707	-0.095	1			
ELC	0.243	0.411	0.341	-0.126	0.405	1		
URB	0.267	0.326	0.257	-0.084	0.343	0.398	1	
TAX	-0.114	-0.028	0.398	0.061	-0.029	-0.109	-0.193	1

Allikas: Autori poolt koostatud tabel

Kus

CO₂ on CO₂ heitkogused inimese kohta

GDP on SKP inimese kohta

EDU on *education index*

ICT on IKT impordi ja ekspordi kaupade protsent kogu impordist ja ekspordist

INT on interneti kasutajate protsent elanikkonnast
ELC on elektrienergia tarbimine inimese kohta
URB on linna elanikke protsent elanikkonnast
TAX on keskkonnaga seotud maksude protsent SKP-st

2.2. Ökonomeetrilised mudelid ja meetodid

Selleks, et kontrollida antud töös püstitatud hüpoteese autor kasutab üht regressioonanalüüsi mudelit. Mudel koosneb paneelandmetest, mis tähendab seda, et andmed varieeruvad aegride ning objektide lõikes. Analüüsi tegemisel autor on toetunud Tallinna Tehnikaülikooli õppejõu Ako Sauga leheküljele (Vabalt kasutatav ökonomeetriapakett Gretl).

Valitud muutujate vaheliste seoste uurimiseks autor kasutab kahte ökonomeetrilist mudelit, milleks on fikseeritud ja juhuslikke efektidega mudel. Sõltuvaks muutujaks on CO2 emissioonid inimese kohta. Sõltumatud muutujad on IKT impordi ja ekspordi protsent (kokku) kogu impordist ja ekspordist, interneti kasutajate protsent elanikkonnast, *education index*. Samuti autor on võtnud sõltumatuks muutujaks SKP inimese kohta ja SKP inimese kohta ruudus, et kontrollida kolmandat hüpoteesi vastavalt EKC teooriale. Kontrollmuutujad on linna elanikke protsent elanikkonnast, elektrienergia tarbimine inimese kohta ning keskkonnaga seotud maksude protsent SKP-st. Kõik muutujad (v.a SKP²) on logaritmitud.

Kuna tegemist on paneeladmetega, mudeli kuju on järgmine:

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

Kus

Y_{it} on sõltuv muutuja

X_1, X_{2i}, X_n on sõltumatud muutujad

u on juhuslik liige

i on indeks, mis tähistab objekte

t on indeks, mis tähistab ajaperioode

β_0 on vabaliige

$\beta_1, \beta_2, \beta_n$ on regressioonimudeli koefitsendid

Autor kasutab fikseeritud ja juhuslike efektidega mudelit. Fikseeritud efektidega mudeli regressorite olulisuse testimiseks kasutatakse F-testi (*Joint test on named regressors*). Samuti F-testi (*Test for differing group intercepts*) kasutatakse fikseeritud ja efektiga ja ühendatud mudeli võrdlemiseks. Peale selle, testitakse kas jääkliikmed alluvad normaaljaotusele. Juhuslike efektidega mudelis selleks, et kontrollida kas juhuslikud efektid puuduvad või esinevad kasutatakse Breusch-Pagani testi. Hausmani testi tulemuse järgi otsustatakse kas juhuslike efektidega mudelit võib kasutada või mitte. Autor kasutab Waldi testi heteroskedastiivsuse testimiseks (fikseeritud efektidega mudel) ning regressorite olulisuse testimiseks (juhuslike efektidega mudel). Samuti mõlema mudeli puhul tehakse autokorrelatsiooni testi.

3. TULEMUSED

3.1. Analüüsi tulemuste tõlgendamine

Töö autor on läbi viinud regressioonanalüüsi, mille tulemused on esitatud käesolevas peatükis. Analüüs oli teostatud vabalt kasutatavas ökonomeetriapaketi Gretl. Kogu vaatluse arv mudelis on 684 ning olulisuse nivoo on 0.05.

Kõigepealt testitakse fikseeritud efektidega mudelit (*fixed effects*). Mudeli parameetrid on välja toodud Tabelis 3. Sõltuvaks muutujaks on logaritmitud CO₂ emissioonid inimese kohta.

Tabel 3. Fikseeritud efektidega mudeli parameetrid

	koefitsient	standardhälve	<i>t-ratio</i>	p-väärtus
<i>const</i>	4.36618	1.00384	4.349	1.59*10 ⁻⁵ ***
l_GDP	0.192285	0.0672163	2.861	0.0044 ***
l_URB	-0.0343808	0.222412	-0.1546	0.8772
l_ICT	0.0910337	0.0158229	5.753	1.36*10 ⁻⁸ ***
l_INT	-0.0379376	0.0156058	-2.431	0.0153
l_TAX	0.00640991	0.0312521	0.2051	0.8376
l_EDU	-0.919170	0.151560	-6.065	2.26*10 ⁻⁹ ***
l_ELC	0.613268	0.0472952	12.97	2.63*10 ⁻³⁴ ***
sq_GDP	-5.98324*10 ⁻⁵	1.53833*10 ⁻⁵	-3.889	0.0001 ***

Allikas: Autori poolt koostatud tabel

Kus

l_GDP on logaritmitud SKP inimese kohta

l_URB on logaritmitud linna elanikke protsent elanikkonnast

l_ICT on logaritmitud IKT impordi ja ekspordi kaupade protsent kogu impordist ja ekspordist

l_INT on logaritmitud interneti kasutajate protsent elanikkonnast

l_TAX on keskkonnaga seotud maksude protsent SKP-st

l_EDU on logaritmitud *education index*

l_ELC on logaritmitud elektrienergia tarbimine inimese kohta

sq_GDP on SKP^2 inimese kohta

Fikseeritud efektidega mudeli determinatsioonikordaja R^2 on 0.934 ehk mudeli kirjeldusvõime 93%. F-testi (*Joint test on named regressors*) p-väärtus on $1.307 \cdot 10^{-80}$, mis on väiksem kui 0.05, seega vähemalt üks regressoritest mudelis on statistiliselt oluline. Linna elanikke protsent elanikkonnast ja keskkonnaga seotud maksude protsent SKP-st ei ole statistiliselt olulised. F-testi (*Test for differing group intercepts*) p-väärtus on 0, seega nullhüpotees on ümber lükatud, mis tähendab, et fikseeritud efektidega mudel on parem kui ühendatud mudel. Waldi testi p-väärtus on 0, järelikult heteroskedastiivsus esineb. Jääkliikmed ei allu normaaljaotusele (*Normality of residual*), kuna p-väärtus on $2.196 \cdot 10^{-10} < 0.05$. Selle põhjuseks võiks olla SKP^2 muutuja lisamine mudelisse, kuid autor ei eemaldanud seda, kuna see on vajalik CO_2 ja SKP mittelineaarse seose kontrollimiseks. Wooldridge testi abil on välja selgitatud, et autokorrelatsioon esineb, kuna p-väärtus on $4.285 \cdot 10^{-6}$, seega tuleb vastu võtta sisukas hüpotees.

Järgmisena autor testib juhuslike efektidega mudelit. Sõltuvaks muutujaks on samuti logaritmitud CO_2 emissioonid inimese kohta. Mudeli üldine determinatsioonikordaja on 0.38 ehk 38%. Juhuslike efektidega mudeli Waldi testi (*Joint test on named regressors*) p-väärtus on $3.771 \cdot 10^{-116} < 0.05$, seega vähemalt üks regressor on statistiliselt oluline. Breusch-Pagani testi p-väärtus on 0, järelikult nullhüpotees on ümber lükatud, mis tähendab, et juhuslike efektidega mudel on parem kui ühendatud mudel. Testi (*Normality of residual*) p-väärtus on $5.06 \cdot 10^{-6}$, järelikult jäägid ei allu normaaljaotusele. Wooldridge testi p-väärtus on $4.285 \cdot 10^{-6}$, seega autokorrelatsioon esineb. Hausmani testi nullhüpoteesiks on GLS hinnangud on mõjusad. Selle testi p-väärtus on $0.014 < 0.05$, seega nullhüpotees on ümber lükatud ehk juhuslike efektidega mudeli eeldus pole täidetud ning seda ei saa kasutada.

Juhuslike efektidega mudeli parameetrid on välja toodud Tabelis 4.

Tabel 4. Juhuslike efektidega mudeli parameetrid

	koefitsient	standardhälve	<i>t-ratio</i>	p-väärtus
<i>const</i>	4.36618	1.00384	4.349	1.59*10 ⁻⁵ ***
l_GDP	0.192285	0.0672163	2.861	0.0044 ***
l_URB	-0.0343808	0.222412	-0.1546	0.8772
l_ICT	0.0910337	0.0158229	5.753	1.36*10 ⁻⁸ ***
l_INT	-0.0379376	0.0156058	-2.431	0.0153
l_TAX	0.00640991	0.0312521	0.2051	0.8376
l_EDU	-0.919170	0.151560	-6.065	2.26*10 ⁻⁹ ***
l_ELC	0.613268	0.0472952	12.97	2.63*10 ⁻³⁴ ***
sq_GDP	-5.98324*10 ⁻⁵	1.53833*10 ⁻⁵	-3.889	0.0001 ***

Allikas: Autori poolt koostatud tabel

Kus

l_GDP on logaritmitud SKP inimese kohta

l_URB on logaritmitud linna elanikke protsent elanikkonnast

l_ICT on logaritmitud IKT impordi ja ekspordi kaupade protsent kogu impordist ja ekspordist

l_INT on logaritmitud interneti kasutajate protsent elanikkonnast

l_TAX on keskkonnaga seotud maksude protsent SKP-st

l_EDU on logaritmitud *education index*

l_ELC on logaritmitud elektrienergia tarbimine inimese kohta

sq_GDP on SKP² inimese kohta

Seoses sellega, et juhuslike efektidega mudeli eeldus ei ole täidetud, tuleb kasutada fikseeritud efektidega mudelit. Antud mudeli matemaatiline võrrand on järgmine:

$$l_{CO2} = 4.366 + 0.192l_{GDP} - 5.98324 \cdot 10^{-5} sq_{GDP} + 0.091l_{ICT} - 0.038l_{INT} - 0.919l_{EDU} + 0.613l_{ELC} + 0.006l_{TAX} - 0.034l_{URB} + u$$

Kus

l_GDP on logaritmitud SKP inimese kohta

l_URB on logaritmitud linna elanikke protsent elanikkonnast

l_ICT on logaritmitud IKT impordi ja ekspordi kaupade protsent kogu impordist ja ekspordist

l_INT on logaritmitud interneti kasutajate protsent elanikkonnast

l_TAX on keskkonnaga seotud maksude protsent SKP-st

l_EDU on logaritmitud *education index*

l_ELC on logaritmitud elektrienergia tarbimine inimese kohta

sq_GDP on SKP^2 inimese kohta

3.2. Järeldused

Regressioonanalüüsi abil autor on uurinud valitud muutujate mõju CO₂ heitkogustele 36 OECD riigi näitel ajavahemikus aastast 2000 kuni 2018. Vaatluste arv kokku oli 684.

Autor on kasutanud juhuslike ja fikseeritud efektidega mudelit. Analüüsi käigus Hausmani testi abil oli välja selgitatud, et juhuslike efektidega mudeli hinnangud ei ole mõjusad. Seega tuleb kasutada fikseeritud efektidega mudelit. Fikseeritud efektidega mudeli jääkliikmed ei allunud normaaljaotusele, selle põhjuseks võib olla see, et mõni muutuja ei ole õiges funktsionaalses vormis. Antud mudelis seda võib põhjustada SKP^2 inimese kohta, kuid autor on otsustanud seda mitte eemaldada, kuna selle abil kontrollitakse CO₂ ja SKP seose mittelineaarsust.

Fikseeritud efektidega mudeli ja selle matemaatilise võrrandi põhjal, mis on välja toodud eelmises peatükis, võib öelda, et digitaliseerimine mõjutab CO₂ heitkoguseid positiivselt. Digitaliseerimise näitajateks antud mudelis olid IKT impordi ja ekspordi protsent kogu impordist ja ekspordist ning interneti kasutajate protsent elanikkonnast. Selle mudeli kohaselt kui logaritmitud IKT import ja eksport suureneb ühe protsendipunkti võrra, suurenevad logaritmitud CO₂ heitkogused inimese kohta 0.091 protsendipunkti võrra. Mudeli järgi logaritmitud interneti kasutajate vähenemine ühe protsendipunkti võrra toob kaasa logaritmitud CO₂ heitkoguste inimese kohta suurenemise 0.038 protsendipunkti võrra. Samas korrelatsioonanalüüsi järgi IKT ja CO₂ vaheline seos on tugevam kui interneti kasutajate ja CO₂ vaheline seos. Seetõttu esimene hüpotees, et digitaliseerimise ja CO₂ heitkoguste vahel on negatiivne seos, on ainult osaliselt kinnitust leidnud.

Inimkapitali näitajaks oli *education index*, mille koefitsient fikseeritud efektidega mudelis on -0.919 . See tähendab, et kui logaritmitud *education index* kasvab ühe protsendipunkti võrra, CO₂ heitkogused inimese kohta vähenevad 0.919 protsendipunkti võrra. Teine hüpotees, et inimkapitali ja CO₂ heitkoguste vaheline seos on negatiivne, on seega tõestatud.

Käesoleva bakalaureusetöö kolmas hüpotees oli järgmine: SKP inimese kohta avaldab positiivset ja negatiivset mõju CO₂ emissioonidele, tulenevalt Kuznetsi keskkonnakõvera (EKC) teooriast. Vastavalt fikseeritud efektidega mudelile, kui logaritmitud SKP inimese kohta kasvab ühe protsendipunkti võrra, siis logaritmitud CO₂ heitkogused inimese kohta suurenevad 0.192 protsendipunkti võrra. SKP² inimese kohta ühe protsendipunkti võrra kasvamine toob kaasa CO₂ heitkoguste inimese kohta vähenemise $5.98324 \cdot 10^{-5}$ protsendipunkti võrra. Järelikult, kolmas hüpotees on leidnud kinnitust.

Regressioonanalüüsis autor on samuti kasutanud kontrollmuutjaid, milleks on elektrienergia tarbimine inimese kohta, linna elanikke protsent elanikkonnast ning keskkonnaga seotud maksude protsent SKP-st. Elektrienergia kasutamise koefitsient mudeli oli 0.613. See tähendab seda, et kui logaritmitud elektrienergia tarbimine inimese kohta suureneb ühe protsendipunkti võrra, CO₂ heitkogused kasvavad 0.613 protsendipunkti võrra. Sellest järeldub, et elektrienergia kasutamise ja CO₂ heitkoguste vahel on positiivne seos. Saadud tulemus on kooskõlas käesolevas töös käsitletud teoriaga. Linna elanikke protsent elanikkonnast ja keskkonnaga seotud maksude protsent SKP-st ei osutunud statistiliselt olulisteks muutujateks.

KOKKUVÕTE

Käesoleva bakalaureusetöö eesmärgiks oli välja selgitada millist mõju avaldab digitaliseerimine ja inimkapital CO₂ heitkogustele.

Vastavalt Kuznetsi keskkonnakõvera (EKC) hüpoteesile, varasemates majandusarengu etappides keskkonnaseisund halveneb tänu aktiivsele rasketööstuse ja põllumajanduse kasutamisele. Selle etapi käigus sissetuleku ja keskkonnaseisundi vaheline seos on positiivne. Edasise majandusarenguga, pöördepunkti läbimisel on aga keskkonnaseisundi ja sissetuleku seos on negatiivne ehk keskkonna kvaliteet paraneb koos edasise sissetuleku kasvuga. Järelikult majanduskasvu (sissetuleku) ja keskkonnaseisundi halvenemise seos on mittelineaarne.

Rääkides digitaliseerimisest, IKT mõju võib olla nii positiivne kui negatiivne. Ühelt poolt IKT mõjutab keskkonda negatiivselt, kuna selle arendamiseks ja kasutamiseks kulutatakse palju energiat. Küll aga tänu IKT-le toimub dematerialiseerimise efekt (näiteks printimisest loobumine). Lisaks IKT võib vähendada heitkoguseid läbi “*smart*” linnade, transportimise süsteemide, elektrivõrkude ning tööstusprotsesside loomise.

Mikrotasandil, suurema inimkapitaliga kodumajapidamised valivad energia tõhusamad seadmed, tarbides vähem energiat. Makrotasandil, inimkapital mõjutab energiatarbimist läbi sissetuleku ja tehnoloogia efekti ning füüsilise kapitali investeerimise. Keskkonnateadlikkus ja kõrgem haridustase ühiskonnas toob kaasa rohkem informeeritud tarbijaid ning avaliku keskkonna planeerijaid, kes teevad paremaid energia ostmise, tootmise, kasutamise ja utiliseerimise otsuseid, mis jällegi võib vähendada energiatarbimise taset.

Lähtudes teoreetilisest kirjandusest ja varasemalt läbiviidud empiirilistest uuringutest autor on püstitanud kolm hüpoteesi, mis on sõnastatud järgmiselt:

- Digitaliseerimise ja CO₂ heitkoguste vahel on negatiivne seos (mida kõrgem on digitaliseerimise tase seda väiksemad on CO₂ heitkogused).
- Inimkapitali ja CO₂ heitkoguste vaheline seos on negatiivne (mida suurem on inimkapital, seda väiksemad on CO₂ heitkogused).

- SKP inimese kohta avaldab positiivset ja negatiivset mõju CO₂ emissioonidele, tulenevalt Kuznetsi keskkonnakõvera (EKC) teooriast.

Tuginedes autori poolt läbiviidud regressioonanalüüsi tulemustele, võib öelda, et esimene hüpotees on osaliselt tõestatud. Mudelis oli kaks digitaliseerimise näitajat. Üks neist näitas positiivset seost CO₂ heitkogustega ning teine näitaja avaldas negatiivset mõju. Selline tulemus on kooskõlas käsitletud teooriaga. Teine hüpotees on leidnud kinnitust analüüsi käigus, kus inimkapitali tunnus on näidanud negatiivset seost CO₂ emissioonidega. See tähendab, et mida suurem on inimkapital (haridustase), seda väiksemad on CO₂ emissioonid. Kolmas hüpotees on samuti tõestatud. Regressioonanalüüs näitas, et CO₂ ja SKP vaheline seos võib olla nii positiivne kui negatiivne, mis on kooskõlas eelmainitud EKC hüpoteesiga.

Käesoleva bakalaureusetöö eesmärk on saavutatud. Samuti energiatootmise ettevõtted peaksid arvestama (rohelise/elektri)energia nõudluse kasvu ning keskkonnamääruse kehtestamisega valitsuste poolt. Seega, selleks, et olla aktuaalne energiatootmise turul, on vaja läbi viia uuringuid analüüsides digitaliseerimise, inimkapitali ja CO₂ emissioonide seost. Tulevikus uuringusse võib lisada teisi tunnuseid või analüüsida teisi riike.

SUMMARY

THE IMPACT OF DIGITALIZATION AND HUMAN CAPITAL ON CO₂ EMISSIONS

Arina Dovlatova

The aim of this bachelor's thesis was to explore how digitalization and human capital affect CO₂ emissions.

In accordance with Environmental Kuznets curve (EKC), in earlier stages of economic development environmental degradation occurs due to active agriculture and heavy industry usage. In this stage relationship between income and environmental degradation is positive. With further economic growth, after passing the turning point the relationship between environmental degradation and income becomes negative. Thus relationship between environmental degradation and income is nonlinear.

Digitalization can have both positive and negative impact on environment. On the one hand, ICT can affect environment negatively since a lot of energy is needed for its development and usage. However, due to dematerialisation effect of ICT there is less need for printing because more information is available electronically. Also ICT can reduce emissions by building „smart“ cities and developing transport systems, electricity grid and industrial processes.

On micro-level, households with higher human capital tend to choose more efficient energy appliances and consume less energy. On macro-level, human capital affects energy consumption through income and technology effect and physical capital investment. Improved environmental awareness and education level leads to more informed consumers and public planners that can also help in reducing emissions.

Based on theoretical framework and previous empirical studies, three hypotheses were put forward:

- There is a negative relationship between digitalization and CO₂ emissions
- There is a negative relationship between human capital and CO₂ emissions
- GDP (*gross domestic product*) per capita can affect CO₂ emissions both positively and negatively according to EKC theory

Relying on the results of the regression analysis, it can be stated that the first hypothesis is partially valid. There were two digitalization indicators in the model. One of them has shown a positive relationship with CO₂ emissions, however, the second one has shown a negative relationship. This result is compatible with theoretical literature. The second hypothesis was confirmed during analysis, when human capital indicator has shown a negative relationship with CO₂ emissions. It means that the higher is human capital (education level) the less CO₂ emissions there will be. The third hypothesis was also verified. Based on regression analysis, the relationship between CO₂ and GDP can be both negative and positive, which is consistent with EKC theory.

The goal set by the author was fulfilled. Energy companies apprehend increasing demand for energy (electricity/green energy) and influence of emission policies, therefore in order to remain relevant it is required to conduct research on relationship between digitalization, human capital and CO₂ emissions. In the future research, different variables and countries can be included in the model.

KASUTATUD ALLIKATE LOETELU

- ACEEE. (2008) Information and Communication Technologies: The Power of Productivity, *How ICT sectors are Transforming the Economy While Driving Gains in Energy Productivity* (Report number E081) American Council for an Energy-Efficient Economy
- Ahmed Z., Zafar M., Ali S., Danish. (2020) Linking urbanization, human capital, and the ecological footprint in G7 countries: An empirical analysis. *Sustainable Cities and Society*, 55, <https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102064>
- Akram V., Jangam B. P., Rath B. N. (2019) Does human capital matter in energy consumption in India? *International Journal of Energy*, 13, 359-376
- Allen M. R., Dube O.P., Solecki W., Aragon-Durand F., Cramer W., Humphreys S., Kainuma M., Kala J., Mahowald N., Mulugetta Y., Perez R., Wairiu M, Zickfeld K. (2018) Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty. In Press.
- Aslanidis N. (2009) Environmental Kuznets Curves for carbon Emissions: A critical survey. *FEEM Working Paper No. 75.2009*
- Bibri S. E., Krogstie J., Kärrholm M. (2020) Compact city planning and development: Emerging practices and strategies for achieving the goals of sustainability. *Developments in the Built Environment*, 4
- Boardman B. (2004) New directions for household energy efficiency: Evidence from the UK. *Energy Policy*, 32, 1921-1933
- Cui P., Xia S., Hao L. (2019) Do different sizes of urban population matter differently to CO₂ emissions in different regions? Evidence from electricity consumption behaviour of urban residents in China. *Journal of Cleaner Production*, 240
- Churchill S. A., Inekwe J., Ivanovski K., Smyth R. (2018) The Environmental Kuznets Curve in the OECD: 1870-2014. *Energy Economics*, 75, 389-399
- Churchill S. A., Inekwe J., Smyth R., Zhang X. (2019) R&D intensity and carbon emissions in the G7: 1870-2014. *Energy Economics*, 80, 30-37

- Dinda S. (2004) Environmental Kuznets Curve Hypothesis: A Survey. *Ecological Economics*, 49, 431-455
- European Commission. (2010) *Europe's Digital Competitiveness Report*. ISBN 978-92-79-15829
- European Commission (s.a) 2030 climate & energy framework.
https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2030_en#tab-0-0
- Euroopa Komisjon (s.a) Smart cities. https://ec.europa.eu/info/eu-regional-and-urban-development/topics/cities-and-urban-development/city-initiatives/smart-cities_en
- European Union. (2016) Closing the loop – new circular economy package. *European Parliamentary Research Service* PE 573.899
- Grossman G. M., Krueger A. B. (1991) Environmental impacts of a North American free trade agreement. *National Bureau of Economic Research*, Working paper No. 3914
- Haini H. (2021) Examining the impact of ICT, human capital and carbon emissions: Evidence from the ASEAN economies. *International economics*, 166, 116-125
<https://doi.org/10.1016/j.inteco.2021.03.003>
- Higon D. A., Gholami R., Shirazi F. (2017) ICT and environmental sustainability: A global perspective. *Telematics and Informatics*, 34, 85-95
- Hilty, L.M., Kohler, A., Scheele, F., Zah, R., Ruddy, T., (2006) Rebound effects of progress in information technology. *Poiesis & Praxis: International Journal of Technology Assessment and Ethics of Science* 4, 19-38
- Hoorik P., Bomhof F., Meulenhoff P. (2010) Assessing The Positive and Negative Impacts of ICT on People, Planet and Profit. *Proceedings of the Multi-Conference on Innovative Developments in ICT*, 45-50
- Human Development Reports (2020) Education Index. United Nations Development Programme
- Inglesi-Lotz R., Morales L. D. (2017) The effect of education on a country's energy consumption: Evidence from developed and developing countries. *ERSA working paper*, 678
- Kaika, D., Zervas, E. (2013) The Environmental Kuznets Curve (EKC) theory – Part A: Concept, causes and CO2 emissions case. *Energy Policy*, 62, 1392-1402
<https://doi.org/10.1016/j.enpol.2013.07.131>
- Kim J., Heo E. (2013) Asymmetric substitutability between energy and capital: Evidence from the manufacturing sectors in 10 OECD countries. *Energy Economics*, 40, 81-89
- Kliimamuutuste tagajärjed (s.a) Euroopa komisjon
https://ec.europa.eu/clima/change/consequences_et
- Kopf D. A. (2007). Endogenous growth theory applied: strategies for university R&D. *Journal of Business Research*, 60, 975-978 <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2007.01.022>

- Kuznets, P., Simon, P., (1955) Economic growth and income in-equality. *American Economic Review*, 45, 1–28.
- Lieb C. M. (2003) The Environmental Kuznets Curve – A Survey of the Empirical Evidence and of Possible Cause. *Discussion Paper Series*, 391, University of Heidelberg
- Marshall. (1920) *Principles of Economics*, 8, Macmillan, London
- Maryska M., Doucek P., Kunstova R. (2012) The Importance of ICT Sector and ICT University Education for the Economic Development. *Procedia – Social and Behavioral Sciences*, 55, 1060-1068 <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2012.09.598>
- OECD (2012) Compact City Policies: A Comparative Assessment. *Secretary-General of the OECD*. Organisation for Economic Co-operation and Development
- OECD (2021) OECD Statistics. Organisation for Economic Co-operation and Development
- OECD (2021) OECD Green Growth Indicators. Organisation for Economic Co-operation and Development
- Regulation (EU) 2018/1999 of the European Parliament and of the Council of 11 December 2018 on the Governance of the Energy Union and Climate Action, amending Regulations (EC) No 663/2009 and (EC) No 715/2009 of the European Parliament and of the Council, Directives 94/22/EC, 98/70/EC, 2009/31/EC, 2009/73/EC, 2010/31/EU, 2012/27/EU and 2013/30/EU of the European Parliament and of the Council, Council Directives 2009/119/EC and (EU) 2015/652 and repealing Regulation (EU) No 525/2013 of the European Parliament and of the Council
- Romer P. M. (1990) Endogenous Technological Change. *Journal of Political Economy*, 98, 71-102
- Romm J., Rosenfield A., Hermann S. (1999) The Internet Economy and Global Warming. The Global Environment and Technology Foundation
- Salim R., Yao Y., Chen G. S. (2017) Does human capital matter for energy consumption in China? *Energy Economics*, 67, 49-59
- Salahuddin M., Alam K. (2016) Information and Communication Technology, electricity consumption and economic growth in OECD countries: A panel data analysis. *International Journal of electrical Power & Energy Systems*, 76, 185-193 <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2015.11.005>
- Solomon E. M., Klyton A. (2020) The impact of digital technology usage on economic growth in Africa. *Utilities Policy*, 67 <https://doi.org/10.1016/j.jup.2020.101104>

- Trinks A., Mulder M., Scholtens B. (2020) An Efficiency Perspective on Carbon Emissions and Financial Performance. *Ecological Economics*, 175
- United Nations (2015) World Urbanization Prospects: The 2014 Revision. Department of Economic and Social Affairs, population Division, ST/ESA/SER.A/366
- Vabalt kasutatav ökonomeetriapakett Gretl (s.a) Ako Sauga koduleht.
<https://www.sauga.pri.ee/gretl/index.html>
- World Bank (2021) World Development Indicators. The World Bank Group
- Why Electricity Companies Should Go Green (s.a) *Scheider Electric*.
<https://blog.se.com/electricity-companies/2019/11/26/why-electricity-companies-should-go-green/>
- World Energy Council (2019) Global energy scenarios comparison review. World Energy Insights Brief. United Kingdom
- Yao Y., Ivanovski K., Inekwe J., Smyth R. (2020) Human capital and CO2 emissions in the long run. *Energy Economics*, 91 <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2020.104907>
- Yao Y., Ivanovski K., Inekwe J., Smyth R (2019) Human capital and energy consumption: evidence from OECD countries. *Energy Economics*, 84 <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2019.104534>
- Zhang S., Zhao T. (2019) Identifying major influencing factors of CO2 emissions in China: Regional disparities analysis based on STRIPAT model from 1996 to 2015. *Atmospheric Environment*, 207, 136-147 <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2018.12.040>

LISAD

Lisa 1. Töös kasutatud riikide loetelu

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

Lisa 2. Fikseeritud efektidega mudel

Model 10: Fixed-effects, using 684 observations

Included 36 cross-sectional units

Time-series length = 19

Dependent variable: l_Co2

	<i>Coefficient</i>	<i>Std. Error</i>	<i>t-ratio</i>	<i>p-value</i>	
const	4.36618	1.00384	4.349	<0.0001	***
l_GDP	0.192285	0.0672163	2.861	0.0044	***
l_URB	-0.0343808	0.222412	-0.1546	0.8772	
l_ICT	0.0910337	0.0158229	5.753	<0.0001	***
l_INT	-0.0379376	0.0156058	-2.431	0.0153	**
l_TAX	0.00640991	0.0312521	0.2051	0.8376	
l_EDU	-0.919170	0.151560	-6.065	<0.0001	***
l_ELC	0.613268	0.0472952	12.97	<0.0001	***
sq_GDP	-5.98324e-05	1.53833e-05	-3.889	0.0001	***

Mean dependent var	1.983825	S.D. dependent var	0.527225
Sum squared resid	5.169007	S.E. of regression	0.089870
LSDV R-squared	0.972773	Within R-squared	0.459954
LSDV F(43, 640)	531.7769	P-value(F)	0.000000
Log-likelihood	700.2109	Akaike criterion	-1312.422
Schwarz criterion	-1113.192	Hannan-Quinn	-1235.325
rho	0.831306	Durbin-Watson	0.297523

Joint test on named regressors -

Test statistic: $F(8, 640) = 68.1355$

with p-value = $P(F(8, 640) > 68.1355) = 1.30688e-080$

Test for differing group intercepts -

Null hypothesis: The groups have a common intercept

Test statistic: $F(35, 640) = 258.364$

with p-value = $P(F(35, 640) > 258.364) = 0$

Distribution free Wald test for heteroskedasticity -

Null hypothesis: the units have a common error variance

Asymptotic test statistic: $\text{Chi-square}(36) = 6829.69$

with p-value = 0

Test for normality of residual -

Null hypothesis: error is normally distributed

Test statistic: $\text{Chi-square}(2) = 44.4789$

with p-value = $2.19552e-010$

Wooldridge test for autocorrelation in panel data –

Lisa 2. järg

Null hypothesis: No first-order autocorrelation ($\rho = -0.5$)

Test statistic: $F(1, 35) = 29.5459$

with p-value = $P(F(1, 35) > 29.5459) = 4.28538e-006$

Lisa 3. Juhuslike efektidega mudel

Model 11: Random-effects (GLS), using 684 observations

Included 36 cross-sectional units

Time-series length = 19

Dependent variable: l_Co2

	<i>Coefficient</i>	<i>Std. Error</i>	<i>z</i>	<i>p-value</i>	
const	4.18188	0.934622	4.474	<0.0001	***
l_GDP	0.200828	0.0663796	3.025	0.0025	***
l_URB	-0.0512123	0.196943	-0.2600	0.7948	
l_ICT	0.0965944	0.0155967	6.193	<0.0001	***
l_INT	-0.0422320	0.0154382	-2.736	0.0062	***
l_TAX	0.0133225	0.0308367	0.4320	0.6657	
l_EDU	-0.863862	0.148465	-5.819	<0.0001	***
l_ELC	0.596544	0.0444396	13.42	<0.0001	***
sq_GDP	-5.32994e-05	1.49031e-05	-3.576	0.0003	***

Mean dependent var	1.983825	S.D. dependent var	0.527225
Sum squared resid	118.7529	S.E. of regression	0.419130
Log-likelihood	-371.7418	Akaike criterion	761.4835
Schwarz criterion	802.2352	Hannan-Quinn	777.2532
rho	0.831306	Durbin-Watson	0.297523

'Between' variance = 0.132575

'Within' variance = 0.00807657

theta used for quasi-demeaning = 0.943466

Joint test on named regressors -

Asymptotic test statistic: Chi-square(8) = 561.811

with p-value = 3.77095e-116

Breusch-Pagan test -

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

Asymptotic test statistic: Chi-square(1) = 4745.77

with p-value = 0

Hausman test -

Null hypothesis: GLS estimates are consistent

Asymptotic test statistic: Chi-square(8) = 19.1811

with p-value = 0.0139205

Test for normality of residual -

Null hypothesis: error is normally distributed

Test statistic: Chi-square(2) = 24.3884

with p-value = 5.05973e-006

Wooldridge test for autocorrelation in panel data -

Lisa 3. järg

Null hypothesis: No first-order autocorrelation ($\rho = -0.5$)

Test statistic: $F(1, 35) = 29.5459$

with p-value = $P(F(1, 35) > 29.5459) = 4.28538e-006$

Lisa 4. Lihtlitsents

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks¹

Mina Arina Dovlatova

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

Digitaliseerimise ja inimkapitali mõju CO2 emissioonidele,

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.

_____13.05.2021_____ (kuupäev)

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