

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
Majandusteaduskond
Majandusanalüüsi ja rahanduse instituut

Tatjana Glušak

**DIGITALISEERIMISE, INIMKAPITALI JA
TAASTUVENERGIA TARBIMISE MÕJU
KESKKONNASÄÄSTLIKKUSELE EUROOPA LIIDU RIIKIDES**

Bakalaureusetöö

Õppekava rakenduslik majandusteadus, peeriala majandusanalüüs

Juhendaja: Artjom Saia, MA

Tallinn 2022

Deklareerin, et olen koostanud lõputöö iseseisvalt ja olen viidanud kõikidele selle koostamisel kasutatud teiste autorite töödele, olulistele seisukohtadele ja andmetele, ning ei ole esitanud sama tööd varasemalt ainepunktide saamiseks. Töö pikkuseks on 7202 sõna sissejuhatusest kuni kokkuvõtte lõpuni.

Tatjana Glušak

(allkiri, kuupäev)

Üliõpilase kood: 179416TAAB

Üliõpilase e-posti aadress: tatjana.gl@mail.ru

Juhendaja: Artjom Saia, MA:

Töö vastab kehtivatele nõuetele

.....

(allkiri, kuupäev)

Kaitsmiskomisjoni esimees:

Lubatud kaitsmisele

.....

(nimi, allkiri, kuupäev)

SISUKORD

LÜHIKOKKUVÕTE.....	4
SISSEJUHATUS	5
1. TEOREETILINE RAAMISTIK.....	7
1.1. Fundamentaalne teooria.....	7
1.2. Tipp tehnoloogiate, inimkapitali ja taastuvenergia tarbimise mõju keskkonnale	11
1.3. Eelmised empiirilised uuringud.....	17
1.4. Uurimisküsimuste, -hüpoteeside ja -probleemi püstitamine	18
2. KASUTATUD ANDMED JA METOODIKA.....	20
2.1. Andmete valik ja kirjeldav statistika	20
2.2. Aegridade statsionaarsuse testimine.....	22
2.3. Metoodika ja mudeli ülesehitamine.....	22
2.4. Korrelatsioonanalüüs	24
3. TULEMUSED	27
3.1. Ökonomeetrilise analüüsi tulemused.....	27
3.2. Analüüsi järeldused	31
KOKKUVÕTE	33
SUMMARY.....	35
KASUTATUD ALLIKATE LOETELU	37
LISAD	41
Lisa 1. Korrelatsioonanalüüsi p-väärtused	41
Lisa 2. Ühendatud mudel.....	42
Lisa 3. Ühendatud mudel kohandatud standardvigadega	44
Lisa 4. Fikseeritud efektidega mudel.....	45
Lisa 5. Juhuslike efektidega mudel.....	46
Lisa 6. Lihtlitsents	47

LÜHIKOKKUVÕTE

Käesoleva bakalaureusetöö eesmärgiks on uurida digitaliseerimise, inimkapitali ja taastuvenergia tarbimise ning CO₂ emissioonide vahelisi seoseid Euroopa Liidu riikide näitel. Vaatluse all on 2005-2019 andmed.

Uuringus on püstitatud järgmised hüpoteesid:

- CO₂ emissioonide ja digitaliseerimise vahel on negatiivne seos;
- CO₂ emissioonide ja inimkapitali vahel on negatiivne seos;
- CO₂ emissioonide ja taastuvenergia tarbimise vahel on negatiivne seos;
- Riikidel, kus SKP inimese kohta on suurem, CO₂ emissioonide kogus on väiksem.

Bakalaureusetöö koosneb kolmest peatükist. Esimeses peatükis käsitletakse valitud näitajate ja CO₂ emissioonide vahelise seose fundamentaal teooriat ja varasemaid empiirilisi uuringuid. Teises peatükis kirjeldatakse uuringus kasutatud andmeid ja meetodikat. Kolmandas osas kirjeldatakse korrelatsioon- ja regressioonanalüüsi tulemusi, näidatakse mudeleid ja tehakse saadud tulemuste baasil uurimistöö järeldusi. Analüüsid teostati programmis *Gretl* ja kõik andmed olid enne analüüside kontrollitud statsionaarsuse suhtes.

Hüpoteeside testimiseks viidi läbi korrelatsiooni- ja regressioonanalüüsid. Esimene ja teine hüpotees said osalise kinnituse, kolmas ja neljas hüpotees said täieliku kinnituse. SKP ja taastuvenergia tarbimine vähendavad CO₂ heitkoguseid. Digitaliseerimine ja inimkapital avaldavad positiivset mõju SKP-le, mille kasv omakorda vähendab CO₂-heidet.

Võtmesõnad: CO₂emissioonid, digitaliseerimine, inimkapital, SKP, majanduskasv, taastuvenergia

SISSEJUHATUS

Globaalne soojenemine ja keskkonnareostus on muutunud aina aktuaalsemaks seoses mainitud protsesside intensiivistumisega, mis on alguse saanud alates 1970-ndatest ning suuremal määral tingitud tööstuse kiirest arengust. Tööstusliku arengu tagajärjel tõstis õhu ja vee temperatuuri ning antud temperatuuritõusul on ulatuslik mõju meie igapäevasele elule: joogivee varud vähenevad, liustike intensiivse sulamise tõttu ookeani veetase pidevalt tõuseb, vee soolasisalduse tase muutub, tekivad tornaadod, orkaanid ning muud loodusõnnetused.

Globaalse soojenemise üheks peamiseks põhjuseks on õhku paisatud gaasid nagu süsinikdioksiid (süsihappegaas (CO₂)) ning nende kogused. Järjest rohkem on süsihappegaasi tekkinud tööstuse ja muu majandustegevuse tagajärjel. Teadlased üle maailma uurivad välja ning otsivad võimalusi inimtekkeliste kasvuhoonegaaside heitkoguste vähendamiseks. Paralleelselt töödeldakse välja meetmed ning strateegiad üleminekuks teadmuspõhisele „rohelisele“ tehnoloogiale.

2015. aasta ÜRO (Ühinenud Rahvaste Organisatsioon) aset leidnud tippkohtumisel 197 riiki kirjutasid alla Pariisi kliimakokkuleppele. Antud dokumendi peamine eesmärk on hoida globaalse keskmise temperatuuri tõusu alla 2 °C. (Jacobs, 2016) Kliimamuutuste vastu võitlemiseks on rahvusvaheline organisatsioon soovitanud riikidel suunata oma majandust süsinikdioksiidi heite vähendamisele, võtta kasutusele uusi energiatõhusaid tehnoloogiaid ja juurutada tarbijatele keskkonnasõbralikke harjumusi.

Enamik teadlasi usub, et majanduskasv ja tehnoloogiline innovatsioon aitab kaasa CO₂ heitkoguste vähendamisele ja võimaldab parandada keskkonnakvaliteeti. Kuigi see teema vajab käsitlust ning uurimist. Digitaliseerimine ning info- ja kommunikatsioonitehnoloogia (IKT) areng on tõusuteel. Need innovatsioonid võimaldavad uute tehnoloogiliste rakenduste tõhusat arendamist, mis aitab kaasa majanduse ümberkorraldamisele ja optimeerimisele. Üks peamisi teooriaid majanduse ja keskkonna vahelise seose uurimisel on Kuznetzi keskkonnakõver (*Environmental Kuznets Curve* – EKC). Antud teooria hüpotees seisneb selles, et sissetulekute suurendamine majanduse arendamise tagajärjel halvendab keskkonnatingimusi. Peale teatud lävendi saavutamist need

keskkonnatingimused paranevad edasise sissetuleku kasvuga. Teooria on olnud aluseks paljudele teaduslikele töödele ja tekitab tänaseni vaidlusi teadlaste seas: kas ja kuidas majanduskasv mõjutab CO₂ heitkoguseid?

Inimkapitali näitaja on samuti oluline tegur keskkonna ja majanduse vahelise seose uurimisel. Arvatakse, et inimkapitali arendamine hariduse kaudu edendab keskkonnahoidlikke tehnoloogiaid ja tõstab elanikkonna keskkonnateadlikkust ning seeläbi vähendab CO₂ heitkogused.

Taastuenergia kasutamine ka mängib olulist rolli ülemaailmses püüdluses vähendada kahjulikke heitkoguseid, eelkõige CO₂ ning säilitada tervislikku keskkonda. Taastuvate energiaallikate hulka kuuluvad päike, tuul, vesi, geotermiline energia, biokütused, ehk ammendamatud looduslikud ressursid. Päikesepaneelid, tuule- ja veeturbiinid võivad koguda päikesevalgust, tuult ja vett, et toota elektrienergiat keskkonda kahjustamata.

Antud bakalaureusetöö eesmärgiks on uurida digitaliseerimise, inimkapitali ja taastuenergia tarbimise ning CO₂ emissioonide vahelisi seoseid Euroopa Liidu riikide näitel ajavahemikul 2005-2019.

Uuringu jaoks püstitab autor järgmised hüpoteesid:

- CO₂ emissioonide ja digitaliseerimise vahel on negatiivne seos;
- CO₂ emissioonide ja inimkapitali vahel on negatiivne seos;
- CO₂ emissioonide ja taastuenergia tarbimise vahel on negatiivne seos;
- Riikidel, kus SKP inimese kohta on suurem, CO₂ emissioonide kogus on väiksem.

Töö esimeses osas käsitletakse fundamentaalteooriat, antakse ülevaade digitaliseerimise, inimkapitali, taastuenergia tarbimise ja muude tegurite mõjust keskkonnareostusele CO₂ heitkoguste kaudu. Vaadatakse varasemad teemakohased empiirilised uuringud. Töö teises osas kirjeldatakse kasutatud andmeid ja hüpoteeside testimise uurimismeetodit. Kolmandas osas kirjeldatakse korrelatsioon- ja regressioonanalüüsi tulemusi, näidatakse mudeleid ja tehakse saadud tulemuste baasil uurimistöö järeldusi.

1. TEOREETILINE RAAMISTIK

1.1. Fundamentaalne teooria

Kuni 1970. ja 1980. aastateni pöörati loodusvaradele ja looduskeskkonna kvaliteedile vähe tähelepanu. Neid peeti piiramatuks ja ammendamatuks, mistõttu tarbimise piiramist ega peetud vajalikuks. Majandustegevuse mõju loodusvarade ja keskkonna saastamisele ei olnud piisaval määral uuritud. Samuti ei uuritud pöördvõrdelisi seoseid keskkonnaseisundi halvenemise, looduskasutuse ja majandusarengu ning elanikkonna elukvaliteedi vahel. (Klößner & Oppedal, 2011)

Praegusel ajal aina rohkem tähelepanu pööratakse keskkonnaprobleemi majanduslike põhjuste selgitamisele. Mõned majandusteadlased peavad majanduskasvu üheks neist. (Kaika, 2013). Pidev majandusareng, tootmisvõimsuse suurendamine, rahvamajanduse kogutoodangu kasv, eesmärgipärane toodangu suurendamine – see kõik iseloomustab majanduskasvu. (Gemmell, 1996). Solow ja Swan töid oma mudelis välja peamised majanduskasvu määravad tegurid, milleks on kapital, tööjõud ja kogutegurite tootlikkuse kasv (TFP) (Solow & Swan, 1956).

Majanduskasvu vastased on suuremal määral mures keskkonnaseisundi halvenemise pärast. Väidetakse, et industrialiseerimise ja majanduskasvu tõttu tekivad sellised kaasaegse elu negatiivsed nähtused nagu saaste, tööstusmüra ja -heitmed, õhu kvaliteedi halvenemine suuremates linnades, liiklusummikud ja muud (Grossman & Krueger, 1991) Kõik need majanduskasvu kulud tekivad seetõttu, et tootmisprotsessis muundatakse loodusvarasid, kuid ei kasutata neid täielikult ära. Praktiliselt kõik tootmisega seotud tooted jõuavad lõppude lõpuks jäätmetena keskkonda tagasi. (Aslam et al, 2021) Sellest tulenevalt saame rääkida järgmisest vastastikusest seosest: mida suurem on majanduskasv ja mida kõrgem on elatustase, seda rohkem tekib jäätmeid, mis reostab keskkonda. Igas piisavalt arenenud ühiskonnas võib edasine majanduskasv tähendada vaid üha pakilisemate vajaduste rahuldamist, samal ajal kui

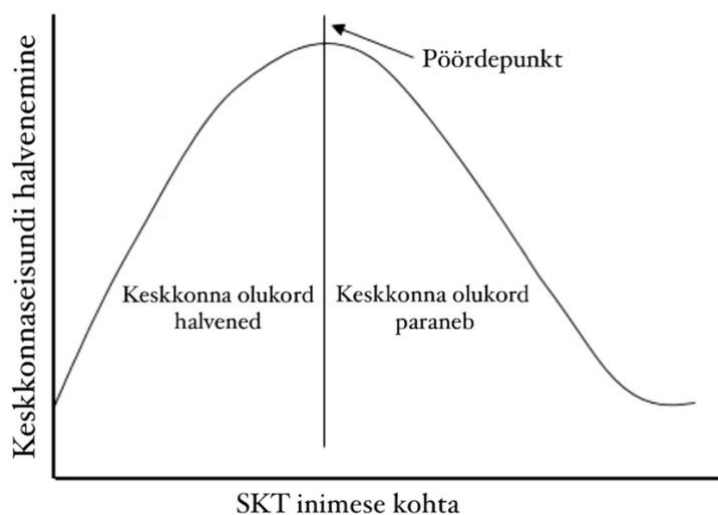
keskkonnakriisi oht suureneb. (Grossman & Krueger, 1991) Seepärast mõned majandusteadlased leiavad, et majanduskasvu tuleb teadlikult piirata.

Majanduskasvu pooldajad väidavad aga seda, et selle seos keskkonnaga on liiga liialdatud. Kui ühiskond ei kasva üldse, hoides rahvamajanduse kogutoodangut konstantsena, peab ta valima erinevate tootmisstruktuuride vahel ning see valik mõjutab keskkonda ja elukvaliteeti. (Costantini & Monni, 2008)

Olulise panuse selle teema arendamisse, andis ameerika teadlane Simon Kuznets. Kuznets oletas, et sissetulekute ebavõrdsus suureneb ja seejärel väheneb koos majandusarenguga. (Kuznets, 1955). Paljud teadlased kasutavad tema tööd ökoloogia ja majanduskasvu vahelise seose uurimise põhiosana. Tema 1955. aastal avaldatud teaduslikust tööst sai alus paljudele teooriatele ja uuringutele. Käesoleva uuringu kontekstis käsitletakse Kuznetsi keskkonnakõveraiga seotut.

Kuznetsi keskkonnakõver (*Environmental Kuznets Curve* – EKC) on hüpoteetiline seos erinevate keskkonnaseisundi halvenemise näitajate ja sissetulekute inimese kohta vahel. Majanduskasvu algfaasis suurenevad saasteainete heitkogused ja keskkonnakvaliteet väheneb, kuid pärast teatud pöördepunkti jõudmiseni (mis on erinevate näitajate puhul erinev) muutub see suundumus nii, et kõrgema sissetuleku korral toob majanduskasv kaasa keskkonna olukorra paranemise. See tähendab, et keskkonnamõju või heitkogused inimese kohta on ümberpööratud U-kujuline funktsioon sissetulekust inimese kohta. (Grossman & Krueger, 1991) Joonisel 1 on esitatud näide arvutatud EKC-st.

Joonis 1. Kuznetsi keskkonnakõver (EKC)



Allikas: autori poolt koostatud Kaika (2013) artiklis esitatud joonise alusel

EKC on olnud majandusteadlaste domineeriv lähenemisviis saasteainete kontsentratsiooni ja koguheitmete modelleerimisel alates sellest, kui Grossman ja Krueger (1991) selle kasutusele võtsid. Majanduskasv algab riigi madalast arengu- ja sissetulekutasemest, mille tõusule aitavad kaasa tööstusharusid, mis ekspluateerivad looduskeskkonda kõige enam – näiteks loodusvarade ulatuslik kasutamine mäetööstuses, põllumajanduses ja metsanduses ja muud rakendused. Need tegurid põhjustavad loodusvarade edasist ammendumist ja reostust. Kuid keskkonnamõju väheneb keskkonnasõbralike tehnoloogiate levikuga, üleminekuga postindustriaalsesse arenguetappi koos infotehnoloogia ja teenindussektori prioriteediga. Sellele aitab kaasa ka elanikkonna kui terviku heaolu taseme tõus ja nende kasvavad nõudmised elukvaliteedi keskkonnakomponendile. (Kaika, 2013) Üleminekumajandusega riigid ja arengumaad on veel kaugel pöördepunktist (Joonis 1) ning nendes riikides võib kaasneda keskkonnaseisundi halvenemine ja reostuse märkimisväärne suurenemine potentsiaalse majanduskasvu korral. Seetõttu on enamiku riikide jaoks keskkonnaseisundi hoidmine võimalikult madalal tasemel (pöördepunktis), osutub suureks väljakutseks, kuid sellest punktist algab keskkonnaseisundi paranemine. (Grossman & Krueger, 1991). Tuleb märkida, et paljude arenenud riikide positsiooni Kuznets'i keskkonnakõvera allapoole jäämisel ja nende keskkonnaseisundi paranemisele aitab kaasa ka märkimisväärne toodete ja toorainete import arengumaadest ja üleminekumajandusega riikidest, mille tootmine nõuab märkimisväärseid keskkonnakulusid (nafta, gaas, metallid, keemiline tooraine, puit ja muud). (Aslam et al, 2021)

Grossmani ja Kruegeri järeldused taanduvad optimistlikule eeldusele, et kõige arenenumate riikide positiivne näide võimaldab neil jõuda varem pöördunud U-kõvera pöördepunktini. Siiski, nagu M. Winslow (2005) on näidanud, on paljud uurijad võtnud Grossmani ja Kruegeri regressioone sõnasõnalt kui tõendeid majanduskasvu positiivse mõju kohta paljudele avaliku sektori probleemidele (Winslow, 2005)

Hilisemates uuringutes, mille järeldused erinesid oluliselt, leiti, et EKC oma klassikalisel kujul (ümberpööratud U-kujuline kõver) ei ilmne tingimata erinevates riikides ja piirkondades ning sagedamini ei saavutata pöördepunkti areneva ja kiiresti kasvava majandusega riikides. Puuduvad otsesed tõendid EKC ülemaailmse nähtusena. Uuritakse EKC kohalikke (riiklikke) ilminguid, kus enamasti esineb see vasakul pool. (Aslanidis, 2009)

Teine EKC teooria selgituse kohaselt, nõudlus puhta keskkonna järele on muutuv. Selle lähenemisviisi peamine mõte seisneb selles, et sissetulekute kasvu korral suurenevad ka elanikkonna nõudmised kvaliteetse keskkonna säilitamiseks. Seetõttu lisaks investeeringutele keskkonnanafondidesse, tarbijad avaldavad ka poliitilist survet, et valitsusorganid karmistaks keskkonnavalaseid õigusakte. (Shibayama & Fraser, 2014) Investeeringud «roheline» majanduskasvu poliitikasse on suunatud nii negatiivsete keskkonnamõjude ja inimressursi vähendamisele kui ka uute majanduslike võimaluste loomisele. Suuremad investeeringud «rohelistesse» uuenduslikesse tehnoloogiatesse muudavad majanduskasvu looduse ja inimeste jaoks "ohutuks", suurendavad tööviljakust ja stimuleerivad sobiva tööhõivepoliitika korral uute keskkonnasõbralike töökohtade loomist (nt tööjõu ümberpaigutamine fossiilkütuste sektorist taastuvenergia sektorisse). (Salahuddin ja Alam, 2016)

Paljud riigid kasutavad praegu lineaarset majandust. Lineaarne majandus sai alguse üle-eelmisel sajandil tööstusrevolutsiooni ajal. On olemas valdavalt ühesuunaline tootmis- ja tarbimismudel, kus loodusvarasid vajatakse massiliseks tootmiseks ja tooted kõrvaldatakse enamasti pärast ühekordset kasutamist. See toob kaasa ületootmise ja ületarbimise - jätkusuutlikkus on siinkohal ohus. (Yao et al, 2020)

Viimastel aastatel on reostuse ja on süsinikdioksiidi (edasid - CO₂ (*carbon dioxide*)) vähendamise kontekstis hakati kasutama ringmajandust (*circular economy*). Ringmajandus on suunatud tulevikku ja hõlmab kõiki tööstussektoreid piirkondlikul, globaalsel ja kohalikul tasandil. See võimaldab vähendada tarbimist, asendada tootmisprotsessis kasutatavaid uusi ressursse juba kasutusel olnud ressurssidega ja samal ajal jätkata toodete ja ressursside elutsüklit. Ringmajandusmudel on tootmis- ja tarbimismudel, mis hõlmab olemasolevate materjalide ja toodete jagamist, rentimist, parandamist, taaskasutamist ja ringlussevõttu nii kaua kui võimalik, mis aitab oluliselt vähendada CO₂ emissioone. (Yao et al, 2020)

Ringmajandusmudel põhineb kolmel põhiprintsiibil (Korhonen, 2018):

- toodete kavandamine/projekteerimine nii, et neid saaks taaskasutada või täiustada, vältides seeläbi jäätmete ja saaste suurenemist;
- kasutatavate toodete ja materjalide vastupidavuse suurendamine;
- looduslike süsteemide taastamine ja ringikujulise (suletud) ärimudeli või suletud tarneahela loomine.

CO₂ emissioonide vähendamise kontekstis on oluline nimetada ka Romeri mudelit (1990), mille tootmisfunktsioon sisaldab sellist muutujat nagu inimkapital, mida autor kirjeldab detailsemalt punktis 1.2. Romeri mudelitest võib järeldada, et kõrge inimkapitali, teadus- ja arendustegevuse (*research and development* - R&D), tehnoloogiate ja innovatsioonidega riigil on pikemas perspektiivis paremad võimalused majanduskasvuks kui riigil, kus need eelised puuduvad – selles seisneb endogeense kasvu teooria. (Kopf, 2007)

1.2. Tiptehnoloogiate, inimkapitali ja taastuenergia tarbimise mõju keskkonnale

Aastaks 2022 on kaasaegse tehnoloogia areng jõudnud punkti, kus see igapäevaselt mõjutab kogu inimkonda. Seda protsessi täheldatakse kiire digitaliseerimises, mis tähendab digiteenuste kasutuselevõttu nii avalikus kui ka erasektoris. (Mahaldar & Bhadra, 2015) Digitaliseerimisel keskendutakse info- ja kommunikatsioonitehnoloogiate (IKT), investeringute ja inimkapitali kõrvalmõjudele ja IKT laialdasele kasutamisele elanikkonna poolt. (Roberts, 2009)

IKT on meetodite, mehhanismide ja vahendite kogum, mida kasutatakse teabe automatiseeritud kogumiseks, töötlemiseks, säilitamiseks ja edastamiseks. (Solomon & Klyton, 2020) Viimasel ajal on tekkinud palju uusi tehnoloogiaid, koos uute võimetega ning omandustega. See toob kaasa tehnoloogilise infrastruktuuri seninägematu kiirusega muutumise, millel on tagajärjed turule ja tööiseloole, sotsiaalsele ja poliitilisele stabiilsusele, kaitsevõime kontseptsioonidele, kaasaegse hariduse sisule ja tehnoloogilisele kujundamisele. (Haini, 2021)

Kaasaegsed IKT võimaldavad prognoosida ja modelleerida keeruliste globaalsete protsesside ja süsteemide - ökomajanduslike, sotsiaalsete, poliitiliste ja muude arengut, mis muudab need süsteemid ratsionaalsemaks ja jätkusuutlikumaks. (Higon et al, 2017)

Teadlased kasutavad IKT sageli mõjutava tegurina uurides, mis võib põhjustada keskkonnamuutusi majanduskasvu kaudu. Sealhulgas on Solomon ja Klyton (2020), kes on uurinud IKT mõju Aafrika majanduskasvule; Roberts (2009), kelle töö eesmärk oli leida IKT ja keskkonna vaheline seos; Salahuddin ja Alam (2016) samuti uurisid IKT kasutamise, majanduskasvu ja elektritarbimise vahelisi seoseid. Läbivaadatud kirjanduse põhjal IKT mõju

piirkonna ökomajandusruumi moderniseerimisele ja emissioonide vähendamisele võib olla nii negatiivne kui ka positiivne.

Positiivseks võib pidada "roheliste" tehnoloogiate kasutuselevõtt otse IKT tööstuses, mille eesmärk on keskkonnakahju vähendamine ja keskkonnale positiivse mõju saavutamine, millega kaasneb: energia erikulu vähendamine, seadmete pikem kasutus, üksikute seadmete korduvkasutamine ja ohutu kõrvaldamine ning üksikute võrgukomponendid, üleminek alternatiivsetele energiaallikatele. (Roberts, 2009) Samamoodi paljude tegevuste virtualiseerimine toob kaasa elektroonilise dokumendihalduse parandamise, e-raamatute turu arendamise, e-kaubanduse ja internetipanganduse laienemise ja muid rakendusi. (Hilty et al, 2006).

IKT negatiivseks mõjuks on suurem energiatarbimine, e-jäätmete kogunemine ning kahjulikud õhuheitmed (ekspertide hinnangul on IKT-sektori süsinikdioksiidi heitkoguste osakaal umbes 4% ülemaailmsest heitkogusest) (European Commission, 2010).

Omas aruandes "SMARTer 2020" märkis GeSI (*Global Enabling Sustainability Initiative* - rahvusvaheline konsortsium säästva arengu ja majanduskasvu edendamiseks kasutatava IKT olulisuse kasvuhoonegaaside heitkoguste vähendamisel. Artiklis teatatakse, et IKTst tulenevaid CO₂ emissioone saab oluliselt vähendada uute tehnoloogiate laialdase arendamise kaudu, mis võimaldaks materjalimahukuse vähendamist (e-reis, elektrooniline arveldamine, mis ei nõua paberit ja muud), transpordi tõhususe parandamist tööstuses, põllumajanduses, kommunikatsioonis ja nn "arukates hoonetes". Suurim emissioonide vähenemine on oodata elektrienergia tootmises ja transpordisektoris (praegu moodustab transport 25% CO₂-heitest). (GeSI, 2019)

Allpool on loetletud mitmed ülemaailmsed IKT eesmärgid, mis peaksid avaldama mõju keskkonna üldisele parandamisele ja CO₂ heitkoguste vähendamisele ning riikide kogemused nende eesmärkide saavutamisel.

Eesmärk on toetada ettevõtete üleminekut keskkonnahoidlikele arengustrateegiatele. Selleks üle maailmaluuakse väärtpaberibörsidel spetsiaalsed sektorid keskkonna- ja energiaga seotud finantsinstrumentidega kauplemiseks - elektrooniliste kauplemisplatvormide kujul (nt CO₂ heitkogustega kauplemiseks). Näiteks: Hiina Pekingi keskkonnabörs (*China Beijing Environment Exchange, CBEEX*), Shanghai keskkonna- ja energiabörs (*Shanghai Environment and Energy*

Exchange, SEEE), ja Tianjini kliimabörs (*Tianjin Climate Exchange, TCE*). Siinkohal tasub mainida ka Euroopa kasvuhoonegaaside heitkogustega kauplemise süsteemi (EU ETS - *European Union Emissions Trading System*), mis käivitati 2005. aastal ja mis kehtib tänaseni. EU ETS on maailma esimene rahvusvaheline heitkogustega kauplemise süsteem ja ELi kõige olulisem kliimamuutuste poliitika meede. Süsteemiga kehtestatakse kasvuhoonegaaside heitkoguste ülempiir valitud tööstusharude tööstuskäitiste jaoks. Süsteemi skeem seisneb selles, et iga liikmesriik maksab iga emiteeritud CO₂-tonni eest vastavalt saastekvoodi (*emissions allowance*) hinnale, mis võib nii suureneka kui ka väheneda. (European Commission) Selle strateegilise mehhanismi rakendamise eesmärk on julgustada ettevõtteid oma heitkoguseid vähendama. Kvootide maksumus kuni 2019. aastani ei ületanud 10 eurot. Keskmise CO₂-tonni hind aastatel 2019-2020 ulatus 25 euronit CO₂-tonni kohta. (European Commission) ICISi (*Independent Commodity Intelligence Services*) analüütikute sõnul saastekvootide kiire hinnatõus on tingitud kolmest tegurist: EL heitkogustega kauplemise süsteemi reform 2018. aastal, mille eesmärk oli lahendada saastekvootide ülepakkumise probleemi, kõrged gaasihinnad ja Euroopa Komisjoni (EK) tõsised plaanid vähendada saastekvootide kogust 2030. aastaks. ICIS prognoosib, et ELi heitkogustega kauplemise süsteemis sisalduvate CO₂-kvootide hind tõuseb käesoleva kümnenäädil jooksul pidevalt ja jõuab 2030. aastaks 90 euronit CO₂-tonni kohta. (ICIS)

Järgmine oluline eesmärk on luua uued äristrateegiad, mis suudavad rakendada kasumlikkuse, sotsiaalse ja keskkonnaalase vastutuse näitajate tulemuste kolmikmõõde (*triple bottom line*). IKT kasutatakse rendi, tööriistade, autode ja muude esemete ühiseks kasutamiseks, et vähendada ressursi- ja energiatarbimist. Ameerika kogemused: iga avalik auto asendab 15 eraautot, mille tulemusel väheneb riigi aastane naftatarbimine 120 miljonit liitrit. (Alola et al, 2020)

Prognooside kohaselt võib IKT vähendada CO₂ heitkoguseid 2030. aastaks 20% võrra, kuid vähem kui 45%, mis on vajalik 2015.aastal Pariisi kliima kokkuleppele sätestatud eesmärkide saavutamiseks. Kokkuleppe eesmärk on "tõhustada" ÜRO kliimamuutuste raamkonventsiooni rakendamist, eelkõige hoida ülemaailmne keskmine temperatuuritõus "tunduvalt alla" 2 °C ja "teha jõupingutusi", et piirata temperatuuri tõusu 1,5 °C-ni. Lepinguosalised on deklareerinud, et CO₂-heite tipp peaks olema saavutatud "nii kiiresti kui võimalik". (Jacobs, 2016)

IKT on vaid üks osa olulisest ja käimasolevast digitaliseerimisprotsessist. Tänapäeval investeerivad nii valitsused kui ka eraettevõtted innovatsiooni ja püüavad enamiku oma

protsessidest ja tegevusest digitaliseerida. Üldine küsimus kõigile majandusteadlastele on mõista digitaliseerimise mõju majanduskasvule. (Chen & Lee, 2020)

Digitaalsete tehnoloogiate võimalusi uuritakse ringmajanduse kontekstis, nimelt seda, kuidas tehisintellekt, 3D-printimine ja muud uued tehnoloogiad võivad hõlbustada üleminekut praeguselt varem mainitud lineaarselt majandusmodelilt vastutustundlikumale mudelile. Näiteks tehisintellekt võib kiirendada uute toodete väljatöötamist, mis ei sisalda ohtlikke kemikaale ja materjale, ning optimeerida infrastruktuuri, mis võimaldaks toodete ringlust. Teisisõnu, digitaaltehnoloogia võib aidata stimuleerida majandust ja parandada ressursitõhusust, vähendades samal ajal jäätmeid. (Chen & Lee, 2020)

Internetiga ühendatud andurid võivad aidata jälgida ja ennetada metsade hävitamist, mis moodustab 15% maailma CO₂ heitkogustest. Interneti saab kasutada ka salaküttimise vastu võitlemiseks, jälgides ohustatud loomi, jälgides loomade käitumist ning võttes kasutusele arukad turva- ja järelevalvesüsteemid. (Chen & Lee, 2020)

Samal ajal, kui eespool nimetatud autorite uuringud näitavad, et kaasaegne tehnoloogia mõjutab keskkonda positiivselt, mõned teadlased väidavad, et kaasaegne tehnoloogia ja digitaliseerimine avaldavad negatiivset mõju keskkonna kvaliteedile. (Cheng et al., 2019)

Uued tehnoloogiad võivad parandada ressursitõhusust, kuid nendel on marginaalne roll ning kiire majanduskasv võib siiski nõuda rohkem investeringuid loodusvaradesse (Newell, 2009). Suurema teadus- ja arendustegevuse panus CO₂-heite vähendamisse tuleneb pigem teadus- ja arendustegevuse (T&A) investeringutest. (Yu & Wang, 2018) OECD riigid uurivad tehnoloogilise innovatsiooni ja CO₂-heite vahelist seost, kasutades paneelandmete kvantiilregressiooni mudelit. Teadlased leiavad, et koefitsiendi väärtused ei ole olulised riikide puhul, mille CO₂-heide on mediaantaseme lähedal. Siinkohal tasub siiski märkida, et Churchill et al. (2019) uuring, milles uuriti teadus- ja arendustegevuse intensiivsuse ja CO₂-heite vahelist seost G7 riikide (*The Group of Seven* - Ameerika Ühendriigid, Itaalia, Jaapan, Kanada, Prantsusmaa, Saksamaa, Suurbritannia) puhul aastatel 1870-2014, kasutades mitteparameetrist paneelandmete struktuuri, näitab, et seos teadus- ja arendustegevuse ja CO₂-heite vahel eksisteerib ja on enamasti negatiivne, kusjuures peamine erand oli ajavahemik 1955-1990.

Haridus, perekond ja elutingimused mõjutavad inimkapitali kvaliteeti. Inimkapital on tänapäeva mõistes see, mida tavaliselt nimetatakse inimpotentsiaaliks või inimressursiks. Seda võib määratleda ka kui inimesele omaseid inimressursse, sealhulgas individuaalseid võimeid, teadmisi, oskusi, aega ja energiat. (Yao et al, 2020) Inimkapitali teooria põhineb peamiselt isiklikul majanduslikul kasul, mida üksikisikud selle kasutamisest saavad. Teisest küljest, nagu näitavad hariduse mõju kindlakstegemise seotud uuringud, inimkapitalil üldiselt ja haridusel on suur mõju ühiskonna majandusliku heaolu kasvule. (Ahmed et al., 2020)

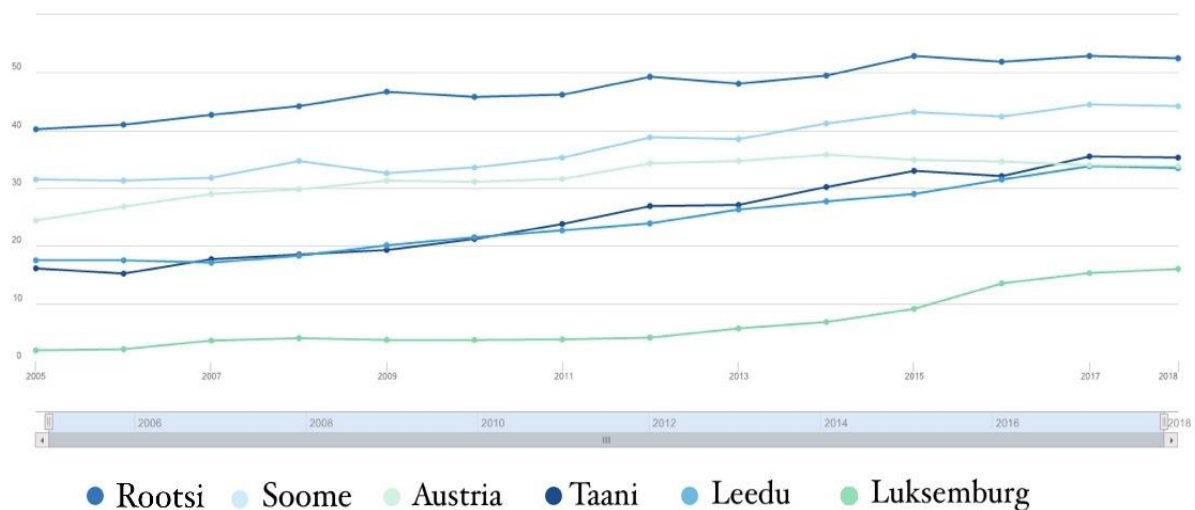
Inimkapitali ja energiatarbimise vahelist seost käsitlevates uuringutes leiti nende tegurite vahel makrotasandil negatiivne seos (Yao et al., 2020). See on oluline punkt, sest fossiilkütuste tarbimine on peamine CO₂ heitkoguste põhjus. (Akram et al., 2019) Mikrotasandil võetakse arvesse ettevõtte inimkapitali mõju ettevõtte keskkonnanõuete täitmisele. Sellised uuringud näitavad, et kõrgema inimkapitali tasemega ettevõtted võtavad suurema tõenäosusega kasutusele puhtama tootmise ja järgivad paremini keskkonnavalaseid eeskirju, hoides seeläbi CO₂ emissiooni kontrolli all. (Blackman & Kildegaard, 2010)

Inimkapitali ja keskkonnareostuse vahelisi seoseid käsitlevates hiljutistes uuringutes võib leida järgmisi järeldusi: keskkonnaseisundi halvenemisega tuleb kasutusele võtta keskkonnasõbralikud strateegiad, mis põhinevad arenenud inimkapitalil. (Yao et al., 2020) Sellised strateegiad koos keskkonnasõbraliku tehnoloogiaga, motiveerivad riike muutma oma majandusstruktuuri ning liikuda puhtamate energiaallikate suunas. Haridustaseme tõstmise strateegia, mis on seotud kõrgema inimkapitali tasemega näitab, et antud strateegia rakendamisel suureneb kodumaine tootlikkus ja jõukus ning parandab ka keskkonna kvaliteeti. (Haini, 2021)

Inimtekkeliste CO₂ heitkoguste peamine põhjus on fossiilsete kütuste - nagu kivisüsi, nafta ja maagaas – põletamine elektrienergia tootmiseks. Ja selles küsimuses on üks võimalus elektrienergia loomiseks ilma tohutute süsinikdioksiidi heitkoguste tekkimiseta on kasutada taastuvaid energiaallikaid. Taastuv energia (*Renewable energy* - roheline energia) - on energia, mis pärineb allikatest, mis on inimkonna mõistes ammendamatud. Taastuvenergia kasutamise põhiprintsiip on selle eraldamine keskkonnas pidevalt toimuvatest protsessidest ja selle kättesaadavaks tegemine tehniliste rakenduste jaoks. (Jebli et al, 2020) Taastuvenergia saadakse looduslikest ressurssidest, nagu päikesevalgus, tuul, vihm, loodete ja geotermiline soojus, mis taastuvad looduslikult. 2019. aastal pärines 26,8% maailma energiatarbimisest taastuvatest energiaallikatest (millest 16% hüdroenergiast). (Bilan, 2019) 2020. aastal Euroopa roheline

kokkulepe (*The European Green Deal*) jõustus. Projekti eesmärk on saavutada 2050. aastaks Euroopa Liidu (EL) liikmesriikides fossiilsete energiaallikate ja toorainete kasutamisest taastuvate energiaallikate ja toorainete kasutamisele üleminekuga kasvuhoonegaaside netoheitmete ja netosaaste null. (European Commission) Allpool on esitatud graafik EL riikide kohta, kus taastuvenergia kasutamise protsent suurenes aastatel 2005-2018 rohkem kui teistes ELi riikides. Need on Rootsi, Soome, Austria, Taani, Leedu ja Luksemburg.

Joonis 3. Taastuvenergia tarbimine (protsentides) ajavahemikul 2005-2018



Allikas: Maailmapanga (WorldBank) andmebaas

Taastuvate energiaallikate kasutamisel on mitmeid vaieldamatuid eeliseid. Lisaks võimalusele säilitada planeedi bioloogilist mitmekesisust on ka muid eeliseid (Menyah & Wolde-Rufael, 2010):

- uute töökohtade loomine ettevõtetes;
- vähenenud õhusaaste kohalikul tasandil;
- vähendatud veetarbimine;
- positiivne mõju üksikutele majandustele (kuna sedalaadi energiatootmistehnoloogiad põhinevad enamasti üksnes kohalike ressursside kasutamisel, aitab see hoida seda jätkusuutlikuna ka siis, kui elektrienergia varustuskindlusele tekivad välised šokid).

1.3. Eelmised empiirilised uuringud

Bano et al. (2018) töö eesmärk oli välja selgitada, millised on pikaajalised ja lühiajalised seosed inimkapitali ja süsinikdioksiidi heitkoguste vahel Pakistanis aastatel 1971-2014. Uuring näitas, et inimkapitali paranemine vähendab CO₂ heitkoguseid pikas perspektiivis, kuid lühiajalises perspektiivis seos puudub. Samuti energiatarbimine ja majanduskasv suurendavad pikas perspektiivis CO₂ heitkoguseid. Järeldustes teatavad Bano et al. (2018), et haritud tööjõud aitab täiustatud tootmismeetodite ja uute tehnoloogiate kasutuselevõtu kaudu energiat tõhusalt kasutada, mis aitab vähendada CO₂ heitkoguseid.

Sarnane uuring teostasid Li ja Ouyang 2019. aastal. Nende uuring omakorda viidi läbi Hiinast pärit andmete põhjal aastatel 1978-2018. CO₂-intensiivsust on mõõdetud kui CO₂-heite kogust SKP ühiku. Inimkapitali näitaja oli mõlema soo osalemine keskhariduses (% kogu õpilaste arvust). Siin ka jõudsid autorid järeldusele, et suurem inimkapital vähendab pikas perspektiivis CO₂ heitkoguseid, kuid leiti, et lühiajaliselt CO₂ heitkogused suurenevad.

Lee ja Chen (2020) on uurinud, kas uuenduslikud tehnoloogiad võivad vähendada CO₂ heitkoguseid. Ruumiliste ökonomeetriliste mudelite abil uuriti 96 riigi andmeid ajavahemiku 1996-2018 kohta. Autorid jagasid riigid maailma arenguindikaatorite (*World Development Indicators, WDI*) järgi kolme sissetulekurühma: kõrge sissetulekuga riikide gruppi kuulub 45 riiki, keskmise sissetulekuga riikide gruppi 31 riiki ja madala sissetulekuga riikide gruppi 17 madalama keskmise sissetulekuga riiki ja 3 madala sissetulekuga riiki. Tulemused näitavad, et kõrge sissetuleku ja tehnoloogia arenguga riikide tehnoloogilised uuendused vähendavad märkimisväärselt nende enda CO₂-heidet ja aitavad vähendada ka neid ümbritsevate riikide CO₂-heidet; samas kui keskmise sissetulekuga, madala tehnoloogiaga ja madala tarbimisega riikide otsene ja kaudne mõju ei ole negatiivne.

2021. aastal Haini viis läbi uuringu IKT ja inimkapitali mõjust süsinikdioksiidi heitkogustele. Aluseks võeti EKC hüpotees, uurides ASEAN riike aastatel 1996-2019. Tulemused näitavad, et IKT vähendab süsinikdioksiidi heitkoguseid tootmises, elamumajanduses, transpordis ja muudes sektorites. Samal ajal inimkapitali avaldab nii positiivset kui ka negatiivset mõju.

Saidi ja Mbarek (2016) uuringu eesmärk oli leida põhjuslik seos majanduskasvu ja energiatarbimise vahel üheksas arenenud riigis, nimelt, Prantsusmaal, Jaapanis, Hollandis,

Hispaanias, Rootsis, Šveitsis, Kanadas Ühendkuningriigis ja USAs ajavahemikul 1990-2012 . Selleks viidi läbi Im et al. ning Levini ja Lini ühikjuure testid, kointegratsiooni- ja põhjuslikkuse paneelid andmekogumite kohta. Tulemused näitavad, et SKP mõjutab taastuenergiat positiivselt ja vastupidi. Lisaks uuring näitas, et taastuenergia vähendab CO₂-heidet. Sellest lähtudes, taastuenergia kasutamisel on positiivne mõju keskkonna kvaliteedile.

Aslam et al. (2021) artiklis on käsitletud globaliseerumise ja industrialiseerimise mõju CO₂-heitele Malaisias. Uuringu autorid leidsid, et suurenenud digitaliseerimine toob kaasa CO₂ taseme märkimisväärse kasvu. Globaliseerumine on suurendanud riikidevahelist kaubandust ja põhjustanud keskkonnaseisundi halvenemist, kuna see põhjustab laialdast energiakasutust tootmises ja tarbimises arengumaades. Käesolevas uuringus ka uuriti EKC hüpoteesi olemasolu Malaisias aastate 1971-2016 andmekogumi põhjal. Rakendades ARDL-piirtestimise meetodit, näitavad hinnangud, et CO₂ heitkogused on pidevalt kasvanud koos suure majanduskasvuga ja kinnitavad Kuznetsi keskkonnakõverat (EKC). (Aslam et al., 2021)

1.4. Uurimisküsimuste, -hüpoteeside ja -probleemi püstitamine

Selles töös käsitletakse, millist mõju avaldab digitaliseerimine ja selline näitaja nagu inimkapital CO₂ emissioonidele.

Läbivaadatud kirjanduse põhjal võib järeldada, et autorite uurimistulemused on erinevad. Info- ja kommunikatsioonitehnoloogial ja digitaliseerimisel on nii positiivne kui ka negatiivne mõju keskkonnale ja seega ka CO₂ heitkogustele. IKT võib aidata vähendada ülemaailmset CO₂-heidet: esiteks, vähendades oma energiatarbimist, ja teiseks, kasutades IT-lahendusi, et vähendada rajatiste, hoonete ja tööstuse üldist energiatarbimist. (Hoorik et. al., 2010) Sellest lähtuvalt püstitab autor järgmise hüpoteesi: CO₂ emissioonide ja digitaliseerimise vahel on negatiivne seos.

Inimkapitali mõju CO₂ emissioonidele on samuti asjakohane uurimisteema. Uuringud näitavad, et kõrgema inimkapitali tasemega ettevõtted võtavad suurema tõenäosusega kasutusele puhtama tootmise ja järgivad paremini keskkonnavalaseid eeskirju. Haridustaseme tõstmine, mis on otseselt seotud inimkapitali tasemega, mõjutab positiivselt keskkonna kvaliteeti. Seetõttu on püstitud järgmine hüpotees: CO₂ emissioonide ja inimkapitali vahel on negatiivne seos.

Taastuenergiat käsitleva kirjanduse ülevaates jõudis autor järeldusele, et taastuenergiat energiaallikate suhtes on suured ootused CO₂-heite vähendamiseks. Selleks, et kontrollida, kas taastuenergia tarbimine mõjutab süsinikdioksiidi heitkoguseid, püstitab autor järgmise hüpoteesi: CO₂ emissioonide ja taastuenergia tarbimise vahel on negatiivne seos.

Kuna käesoleva töö teoreetilises osas on korduvalt mainitud majanduskasvu, mis on üks peamisi riigi ökoloogiat mõjutavaid aspekte ja mis on aluseks EKC teooriale, esitab autor järgmise hüpoteesi: riikidel, kus SKP inimese kohta on suurem, CO₂ emissioonide kogus on väiksem, et testida EKC teooria tõeärasust.

Autor soovib ka kontrollida, kas EL ETS süsteemis osalejate tegevusest tulenev CO₂ kvoodi hind tonni kohta avaldab mõju CO₂ emissioonile või näitajate vahel seos puudub.

Asjakohane uurimisküsimus on, millist mõju avaldavad digitaliseerimine, inimkapital ja taastuenergia tarbimine nii kliimamuutustele kui ka CO₂ heitkogustele? Kas nende näitajate vahel on negatiivne korrelatsioon ja kas see on piisavalt oluline edasiste uuringute tegemiseks?

2. KASUTATUD ANDMED JA METOODIKA

2.1. Andmete valik ja kirjeldav statistika

Antud peatükis autor annab ülevaate käesolevas bakalaureusetöös kasutatud andmestikust, muutujatest ja kirjeldab metoodikat, mis on valitud autori poolt püstitatud hüpoteeside testimiseks.

Autor valis analüüsiks 27 ELi liikmesriiki: Austria, Belgia, Bulgaaria, Eesti, Hispaania, Holland, Horvaatia, Iirimaa, Itaalia, Kreeka, Küpros, Leedu, Luksemburg, Läti, Malta, Poola, Portugal, Prantsusmaa, Rootsi, Rumeenia, Saksamaa, Slovakkia, Sloveenia, Soome, Taani, Tšehhi, Ungari. Vaadeldakse andmeid aastatest 2005 kuni 2019. See ajavahemik oli valitud seetõttu, et kõigi uuringuks vajalike näitajate kohta on andmed kättesaadavad. Samuti jättis autor 2020. ja 2021. aasta teadlikult välja, kuna sel perioodil algas COVID 19 pandeemia ja paljude riikide andmed võib olla sel põhjusel muutunud, mis võis ohustada tehtud analüüside järjepidevust. Töös kasutatakse aastaseid andmeid, mis pärinevad OECD, Word Bank ja UNDP andmebaasidest.

Mudeli koostamisel valib autor CO₂ näitajaks valitud riiki CO₂ emissioonid *per capita* tonnides. Andmed pärinevad Word Bank andmebaasist. Majanduskasvu näitajaks kasutatakse reaalne SKP *per capita* tuhandetes dollarites (*Real GDP per capita, PPP, constant 2017 international dollars*). Andmed samuti pärinevad Word Bank andmebaasist. Autor valib inimkapitali näitajaks hariduse indeksi (*Education index*) protsentides, mis on kättesaadavad UNDP andmebaasis. Eialgu valis autor inimkapitali näitajaks inimarengu indeksi (*Human Development Index, HDI*), kuid analüüsi käigus selgus, et HDI rikub mudeli järjepidevust, kuna see sisaldab SKP-d, mis on mudelis juba eraldi näitajana sees. Autori valik langes siis haridusindeksile. Digitaliseerimise muutujateks autor valib internetikasutajate arv (protsent kogu elanikkonnast), IKT toodete import (protsent kogu toodangute importist) ja eksport (protsent kogu toodangute eksportist). Digitaliseerimise muutujate andmed on kättesaadavad World Bank andmebaasis. Taastuenergia tarbimise muutaja on esitatud protsendina kogu energia lõpptarbimisest (World Bank). Samuti lisab EU ETS aastased keskmised kvoodihinnad, mis riigid maksavad iga emiteeritud CO₂-tonni eest. Hinnad on esitatud

dollarites tonni eest. Autor otsustas kasutada mudelis seda muutujat, et jälgida, kas ettevõtete poolt toodetud iga CO₂ tonni hinna kehtestamine mõjutab CO₂ heitkoguste hulka. Selle näitaja lisamisel soovib autor testida, kas EL emissioonide alandamise mehhanism avaldab reaalselt positiivset mõju CO₂ emissioonide vähendamisele. Autor lisab ka SKP², et testida 3. hüpoteesi, mis põhineb EKC teorial. Kontrollmuutujateks autor lisab valitsuse efektiivsus protsentides (World Bank) ja valitud riikide elanikkond miljonites (OECD). Tabelis 1 on esitatud andmete kirjeldav statistika.

Tabel 1. Muutujate kirjeldav statistika

Näitaja	Näitaja lühend	Keskmine	Minimaalne väärtus	Maksimaalne väärtus	Standardhälve
CO ₂ emissioonid <i>per capita</i> (tonnides)	CO ₂	7,41	2,96	25,67	3,45
EU ETS kvoodi hinnad (USD)	EUA	12,41	2,25	25,85	7,24
Taastuenergia tarbimine (protsentides)	GE	16,66	0,00	52,89	11,71
IKT toodete eksport (protsentides)	ICT_EXP	7,89	0,79	63,63	8,48
IKT toodete import (protsentides)	ICT_IMP	8,85	3,11	42,36	5,22
Internetikasutajate arv (protsentides)	INT	60,53	3,61	98,13	24,17
Reaalne SKP <i>per capita</i> (tuhandetes dollarites)	SKP	40,35	14,78	120,65	18,66
Elanikkond (miljonites)	POP	16,37	0,40	83,09	21,53
Valitsuse efektiivsus (protsentides)	VE	81,39	44,50	100	12,57
Hariduse indeks (protsentides)	ED	83,16	68,30	94,30	5,86

Allikas: autori arvutused tarkvara *Excel* abil.

2.2. Aegridade statsionaarsuse testimine

Käesolevas töös kasutatakse paneelandmed 2005-2019 aastate ajavahemikus. Tegemist on paneelandmetega (s.h. aegridadega), seega analüüsi viimiseks on oluline kontrollida muutujate statsionaarsust. Statsionaarsuse testimiseks kasutab autor lisavõimalustega Dickey-Fuller (ADF) testi tarkvaras *Gretl*, testi kriteeriumiks valitakse trendi ja konstandi olemasolu. ADF testi sisukaks hüpoteesiks on, et ühikjuur puudub ja andmed on statsionaarsed. ADF testi nullhüpoteesiks on, et esineb ühikjuur ja andmed on mittestatsionaarsed. Ühikjuure esinemise korral kasutab autor esimest järku diferentsid. Tabelis 2 on esitatud ADF testi tulemused. Esimese testimine tulemusel saadi, et VE ja INT muutujad on statsionaarsed (p-väärtus < 0,05); CO₂, EUA, GE, ICT_EXP, ICT_IMP, ED, SKP ja SKP² on mittestatsionaarsed, seega autor võtab esimest järku diferentsid nende muutujate puhul ja testib statsionaarsust uuesti. Teise ADF testi kriteeriumiks on konstandi olemasolu. Esimest järku diferentside kasutamine on aidanud kõikide mittestatsionaarsete muutujatele statsionaarsuse saavutada.

Tabel 2. Lisavõimalustega Dickey-Fuller testi tulemused

Näitaja	1. testi p-väärtus	Statistiline olulisus	2.testi p-väärtus	Statistiline olulisus
CO ₂	0,1352	Mitteoluline	0,0000	Oluline
EUA	0,9941	Mitteoluline	0,0000	Oluline
GE	0,6732	Mitteoluline	0,0000	Oluline
ICT_EXP	0,7345	Mitteoluline	0,0000	Oluline
ICT_IMP	0,2934	Mitteoluline	0,0000	Oluline
INT	0,0251	Oluline	-	-
SKP	0,9999	Mitteoluline	0,0000	Oluline
SKP ²	1,0000	Mitteoluline	0,0000	Oluline
POP	0,9998	Mitteoluline	0,0421	Oluline
VE	0,0003	Oluline	-	-
ED	0,2790	Mitteoluline	0,0000	Oluline

Allikas: autori arvutused tarkvara *Gretl* abil.

2.3. Metoodika ja mudeli ülesehitamine

Korrelatsioon, korrelatsioonisõltuvus on kahe juhusliku muutuja vastastikune sõltuvus. Korrelatsiooni olemus seisneb selles, et ühe muutuja väärtuse muutus toob kaasa teise muutuja korrapärase muutuse (vähenemise või suurenemise). (Lancaster, 1993) Korrelatsioon võib olla

erineva tugevusega: kui korrelatsioonikoefitsiendi väärtus on 0, siis on muutujad omavahel mittekorreleeruvad; kui muutujate vahelise korrelatsioonikoefitsiendi väärtus on 0,1-0,3, siis on tegemist nõrga korrelatsiooniga; kui muutujate vahelise korrelatsioonikoefitsiendi väärtus on 0,4-0,6, siis on tegemist keskmise korrelatsiooniga; kui muutujate vahelise korrelatsioonikoefitsiendi väärtus on 0,7-0,9, siis on tegemist keskmise korrelatsiooniga ning kui korrelatsioonikoefitsiendi väärtus on 1, siis on näitajad täielikult korrelatsioonis.

Et tuvastada CO₂ ja teiste muutujate vahelise seose, esialgu viib autor läbi korrelatsioonanalüüsi. Seejärel viib läbi autor regressioonanalüüsi, õige mudeli kuju saamiseks rakendatakse ühendatud mudeli, fikseeritud efektidega ja juhuslike efektidega mudelite kujud. Lõpliku mudeli kuju valitakse Breusch-Pagani testi, Hausmani testi ja F-testi abil. Analüüsi tulemuste tõlgendamisel kasutatakse usaldusnivood 95%. Regressioonimudeli kuju on määratud järgmiselt:

$$CO2_{it} = \alpha + \beta_1 \cdot EUA_{it} + \beta_2 \cdot GE_{it} + \beta_3 \cdot ICT_{EXP_{it}} + \beta_4 \cdot ICT_{IMP_{it}} + \beta_5 \cdot INT_{it} + \beta_6 \cdot SKP_{it} + \beta_7 \cdot SKP_{it}^2 + \beta_8 \cdot POP_{it} + \beta_9 \cdot VE_{it} + \beta_{10} \cdot ED_{it} + \beta_{11} \cdot (ED_{it} \cdot INT_{it}) + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

kus

CO₂ – CO₂ emissioonid inimese kohta (tonnides)

EUA – EU ETS kvoodi hinnad (EUR)

GE – Taastuvenergia tarbimine (protsentides)

ICT_EXP – IKT toodete eksport (protsentides)

ICT_IMP – IKT toodete import (protsentides)

INT – Internetikasutajate arv (protsentides)

SKP – SKP *per capita* (USD)

SKP² – SKP *per capita* ruudus (USD)

POP – Elanikkond (miljonites)

VE – Valitsuse efektiivsus (protsentides)

ED – Hariduse indeks (protsentides)

ED x INT – Hariduse indeksi ja internetikasutajate arvu koostoime muutuja

α - riikide tasemel fikseeritud efektid (vabaliige)

ε_{it} - juhuslik komponent

i - riigid

t - aastad

$\beta_{1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11}$ – koefitsiendid

Ökonomeetrilise mudeli koostamiseks valib autor muutujad, lähtudes varasemast empiirilisest uuringutest ja läbivaadatud kirjandusest tehtud järelduste põhjal. Sõltuvaks muutujaks on CO₂ emissioonid ning sõltumatuteks muutujateks on IKT toodete eksport, IKT toodete import, Internetikasutajate arv, SKP *per capita*, SKP² *per capita*, elanikkond, EU ETS kvoodi hinnad, valitsuse efektiivsus, hariduse indeks ja taastuvenergia tarbimine. Samuti sõltumatuks muutujaks autor lisab hariduse indeksi ja internetikasutajate arvu vaheline interaktsiooni muutujat, et parandada regressioonitulemust ja kontrollida, kuidas need näitajad üheskoos mõjutavad CO₂.

2.4. Korrelatsioonanalüüs

„Korrelatsioonanalüüs on nähtustevaheliste seoste statistilise analüüsi meetod. Korrelatsioonanalüüs võimaldab selgitada seose olemasolu, tugevust, suunda ja statistilist olulist.“ (Paas 1995, 180). Tabelis 3 on esitatud korrelatsioonanalüüsi tulemusel saadud korrelatsioonikordajad muutujate paari jaoks. Lisas 1 on esitatud korrelatsioonanalüüsi p-väärtused, mille abil määratakse näitajate vahelise seose statistilise olulisuse.

Tabel 3. Korrelatsioonanalüüsi tulemused

	CO ₂	EUA	GE	ICT_EXP	ICT_IMP	INT	SKP	SKP ²	POP	VE	ED
CO ₂	1,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
EUA	0,06	1,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-
GE	-0,38 ***	-0,08	1,00	-	-	-	-	-	-	-	-
ICT_EXP	-0,03	0,10 **	0,00	1,00	-	-	-	-	-	-	-
ICT_IMP	0,06	0,03	0,02	0,65 ***	1,00	-	-	-	-	-	-
INT	-0,04	0,20 ***	0,01	0,03	0,05	1,00	-	-	-	-	-
SKP	0,27 ***	0,07	-0,17 ***	-0,01	0,01	0,09 *	1,00	-	-	-	-
SKP ²	0,14 ***	0,02	-0,04	-0,01	0,00	0,12 **	0,89 ***	1,00	-	-	-
POP	-0,05	0,00	0,01	-0,01	0,03	0,09 *	-0,10 **	-0,05	1,00	-	-
VE	-0,07	0,01	0,07	-0,14 ***	-0,10 **	0,65 ***	0,00	0,07	0,24 ***	1,00	-
ED	-0,02	0,11 **	0,00	0,08	0,06	0,68 ***	0,12 **	0,12 **	0,00	0,52 ***	1,00

Allikas: autori arvutused tarkvara *Gretl*

*- p-väärtus < 0,1

** - p-väärtus < 0,05

*** - p-väärtus < 0,01

CO₂ emissioonide ja taastuvenergia tarbimise vahel on tuvastatud negatiivne keskmise tugevusega seos, korrelatsioonikordaja on -0,38 (p-väärtus < 0,05). Sellest lähtudes, mida rohkem taastuvenergiat kasutatakse, seda väiksem emiteeritakse CO₂-heide. CO₂ ja SKP vahel on tuvastatud positiivne nõrga tugevusega seos, korrelatsioonikordaja on 0,27 (p-väärtus=0,00<0,05). See tähendab, et suure majanduskasvuga riigid toodavad rohkem CO₂ heitkoguseid. Samas CO₂ ja SKP² vahel esineb positiivne nõrga tugevusega seos, korrelatsioonikordaja on 0,14 (p-väärtus=0,00<0,05). Statistiliselt olulise seose CO₂ ja muude muutujate vahel korrelatsioonanalüüsi käigus pole tuvastatud.

Tugevad positiivsed seosed esinevad SKP ja SKP² vahel (korrelatsioonikordaja on 0,88), valitsuse efektiivsuse ja internetikasutajate arvu vahel (0,65), hariduse indeksi ja internetikasutajate arvu vahel (0,68). Keskmise tugevusega positiivsed seosed esinevad IKT toodete impordi ja ekspordi vahel (0,65), valitsuse efektiivsuse ja hariduse indeksi vahel (0,52).

Nõrga tugevusega positiivsed seosed esinevad EU ETS kvoodi hindade ja IKT toodete ekspordi (0,1) ning internetikasutajate arvu vahel (0,2), Internetikasutajate arvu ja SKP² vahel (0,12), elanikkonna ja valitsuse efektiivsuse vahel (0,24), hariduse indeksi ja SKP vahel (0,12), hariduse indeksi ja EU ETS vahel (0,11). Nõrga tugevusega negatiivsed seosed esinevad EU ETS kvoodi hindade ja taastuvenergia tarbimise vahel (-0,08), taastuvenergia tarbimise ja SKP vahel (-0,17), SKP ja elanikkonna vahel (-0,10), valitsuse efektiivsuse ja IKT ekspordi vahel (-0,14), valitsuse efektiivsuse ja IKT impordi vahel (-0,10).

Käesoleva töö teemaks on digitaliseerimise, inimkapitali ja taastuvenergia tarbimise mõju CO₂ emissioonile, seega eriti olulised on seosed, mis said tuvastatud korrelatsioonanalüüsi käigus CO₂ ja teiste muutujate vahel.

CO₂ ja taastuvenergia tarbimine vahel esineb negatiivne keskmise tugevusega seos, vastav korrelatsioonikordaja on -0,38. Sellest tulenevalt järeldati, et kui taastuvenergia maht kasvab, siis CO₂ emissiooni maht langeb. CO₂ ja SKP vahel esineb positiivne keskmise tugevusega seos, vastav korrelatsioonikordaja on 0,27. Seega kui SKP *per capita* tõuseb, siis CO₂ emissioon kasvab. Samas

CO₂ ja SKP² *per capita* vahel on tuvastatud positiivne nõrga tugevusega seos, korrelatsioonikordaja on 0,14. Ehk siis kui SKP inimese kohta kasvab edasi, siis sellega kaasneb juba nõrgem CO₂ emissioonide kasv (kasv aeglustub). Kõikide sõltumatute muutujate mõju CO₂ emissioonidele uuritakse edasi ökonomeetrilise analüüsi abil.

3. TULEMUSED

3.1. Ökonomeetrilise analüüsi tulemused

Autor viib läbi regressioonianalüüsi, kasutades ühendatud mudeli, fikseeritud efektidega ja juhuslike efektidega mudelite kujud. Järgmised muutujad on võetud diferentsiga: CO₂ emissioonid, EU ETS kvoodi hinnad, taastuvenergia tarbimine, IKT toodete eksport, IKT toodete import, hariduse indeks, SKP, SKP² ja elanikkond. Internetikasutajate arv ja valitsuse efektiivsus on taseme muutujad (*level variables*). Mudeli sõltuvaks muutujaks on CO₂ emisioonide esimest järku diferents, kõik teised on sõltumatud muutujad. Parema mudeli saavutamiseks lisatakse mudelisse ED_INT koostoime muutuja, mis on saavutatud autor internetikasutajate arvu (INT) ja hariduse indeksi (ED) korrutisega. Analüüsi käigus ei eemaldata mitteolulised muutujad, sest nende eemaldamisel pole võimalik tuvastada teatud efektid mudelisse jäetud muutujate jaoks.

Esialgu kasutatakse ühendatud mudeli kuju regressiooni analüüsi läbiviimiseks.

Tabel 4. Ühendatud mudeli parameetrid

	koefitsient	standardhälve	t-ratio	p-väärtus	
const	0.24862	0.200153	1.242	0.2150	
d_EUA	0.00169	0.00303465	0.5575	0.5775	
d_GE	-0.12391	0.0187154	-6.621	<0.0001	***
d_ICT_EXP	-0.05029	0.0208163	-2.416	0.0162	**
d_ICT_IMP	0.07685	0.0293907	2.615	0.0093	***
d_POP	-0.01390	0.167992	-0.08275	0.9341	
d_SKP	0.16740	0.0376904	4.442	<0.0001	***
d_SKP ²	-0.00079	0.000279158	-2.831	0.0049	***
ED_INT	0.00017	7.66565e-05	2.334	0.0202	**
INT	-0.01905	0.00755846	-2.522	0.0121	**
d_ED	-0.02729	0.0312431	-0.8736	0.3829	
VE	-0.00084	0.00299120	-0.2810	0.7789	

Allikas: autori arvutused tarkvara *Gretl* abil

Esialgu kasutatakse ühendatud mudeli kuju. Mudel (1) (vt Lisa 2) on tervikuna statistiliselt oluline (p-väärtus = 0,00 < 0,05), mudeli kirjeldusvõime on 24,3%. Mudeli statistiliselt olulised muutujad on GE, ICT_EXP, ICT_IMP, SKP, SKP², ED_INT, INT. Mudeli testitakse Wooldridge, Doornik-Hanseni ja Waldi testidega. Wooldridge testi tulemusel aegridades ei esine autokorrelatsiooni (p-väärtus = 0,041 < 0,05). Doornik-Hanseni testi tulemusel jääkliikmed ei allu normaaljaotusele (p-väärtus = 0,00 < 0,05). Waldi testi tulemusel esineb heteroskedastiivsus (p-väärtus = 0,00 < 0,05). VIF (*Variance Inflation Factors*) testi tulemusel andmetes ei esine multikollineaarsuse probleemi. Mudeli (1) proovitakse parandada, kasutades kohandatud standardvigu (vt Lisa 3).

Uue mudeli (2) hinnangutel on statistiliselt olulised muutujad GE, SKP, SKP², ED_INT (nivool 0,1), INT (nivool 0,1). Wooldridge testi tulemusel aegridades ei esine autokorrelatsiooni (p-väärtus = 0,041 < 0,05). Doornik-Hanseni testi tulemusel jääkliikmed ei allu normaaljaotusele (p-väärtus = 0,00 < 0,05). Waldi testi tulemusel esineb heteroskedastiivsus (p-väärtus = 0,00 < 0,05), kuid kohandatud standardvigade kasutamine võtab selle arvesse.

Tabel 5. Ühendatud mudeli kohandatud standardvigadega parameetrid

	koefitsient	standardhälve	t-ratio	p-väärtus	
const	0.24862	0.228749	1.087	0.2871	
d_EUA	0.00169	0.00284583	0.5945	0.5573	
d_GE	-0.12391	0.0233793	-5.300	<0.0001	***
d ICT_EXP	-0.05029	0.0298195	-1.687	0.1036	
d ICT_IMP	0.07685	0.0464291	1.655	0.1099	
d_POP	-0.01390	0.0742969	-0.1871	0.8530	
d_SKP	0.16740	0.0429218	3.900	0.0006	***
d_SKP ²	-0.00079	0.000280782	-2.814	0.0092	***
ED_INT	0.00017	0.000103083	1.735	0.0945	*
INT	-0.01905	0.0103005	-1.850	0.0757	*
d_ED	-0.02729	0.0189199	-1.443	0.1611	
VE	-0.00084	0.00249014	-0.3376	0.7384	

Allikas: autori arvutused tarkvara *Gretl* abil

Järgmisena rakendab autor juhuslike ja fikseeritud efektidega mudeleid.

Tabel 6. Fikseeritud efektidega mudeli parameetrid

	koefitsient	standardhälve	t-ratio	p-väärtus	
const	0.17319	0.761393	0.2275	0.8202	
d_EUA	0.00138	0.00316025	0.4380	0.6617	
d_GE	-0.12367	0.0193979	-6.376	<0.0001	***
d ICT_EXP	-0.04844	0.0220858	-2.193	0.0290	**
d ICT_IMP	0.06769	0.0308200	2.196	0.0287	**
d_POP	-0.10231	0.198037	-0.5167	0.6057	
d_SKP	0.15723	0.0402898	3.903	0.0001	***
d_SKP ²	-0.00063	0.000298692	-2.128	0.0341	**
ED_INT	0.00016	0.000221701	0.7602	0.4476	
INT	-0.01714	0.0203795	-0.8414	0.4007	
d_ED	-0.02808	0.0328719	-0.8543	0.3936	
VE	-0.00083	0.00907138	-0.09156	0.9271	

Allikas: autori arvutused tarkvara *Gretl* abil

Mudel (3) (vt Lisa 4) on tervikuna statistiliselt oluline (p-väärtus = 0,00 < 0,05), mudeli kirjeldusvõime on 27,6%. F-test regressorite olulisuse testimiseks (*Joint test on named regressors*) näitab, et vähemalt üks regressor on statistiliselt oluline (p-väärtus = 0,00 < 0,05). Fikseeritud efektidega mudeli ja ühendatud mudeli võrdlemiseks kasutatakse F- testi (p-väärtus = 0,95 > 0,05), testi tulemusel tuleb vastu võtta nullhüpotees: objektispetsiifilised vabaliikmed ei ole statistiliselt olulised, parem on ühendatud mudel.

Viimasena viikse läbi analüüs, kasutades juhuslike efektidega mudeli kuju.

Tabel 7. Juhuslike efektidega mudeli parameetrid

	koefitsient	standardhälve	z	p-väärtus	
const	0.24862	0.200153	1.242	0.2142	
d_EUA	0.00169	0.00303465	0.5575	0.5772	
d_GE	-0.12391	0.0187154	-6.621	<0.0001	***
d ICT_EXP	-0.05029	0.0208163	-2.416	0.0157	**
d ICT_IMP	0.07685	0.0293907	2.615	0.0089	***
d_POP	-0.01390	0.167992	-0.08275	0.9341	
d_SKP	0.16740	0.0376904	4.442	<0.0001	***
d_SKP ²	-0.00079	0.000279158	-2.831	0.0046	***
ED_INT	0.00017	7.66565e-05	2.334	0.0196	**
INT	-0.01905	0.00755846	-2.522	0.0117	**
d_ED	-0.02729	0.0312431	-0.8736	0.3824	
VE	-0.00084	0.00299120	-0.2810	0.7787	

Allikas: autori arvutused tarkvara *Gretl* abil

Mudeli (4) (vt Lisa 5) kirjeldusvõime on 24,3%. Regressorite olulisuse testitakse *Waldi* testiga (*Joint test on named regressors*), selle tulemusel saadi, et vähemalt üks regressor on statistiliselt oluline (p -väärtus = 0,00 < 0,05). Juhuslike efektidega mudel eeldab, et objektispetsiifilised veakomponendid ei ole regressoritega korrelatsioonis. Kui see on järgitud, siis on GLS meetodil saadud hinnangud mõjusad ja seda nimetatakse Hausmani testi nullhüpoteesiks (Sauga, 2017). Hausmani test näitab, et GLS hinnangud ei ole sel juhul mõjusad (p -väärtus = 0,47 > 0,05), seega antud mudelit ei saa kasutada. Breusch-Pagani testi tulemusel (p -väärtus = 0,09 > 0,05) ühendatud mudeli on parem kasutada kui juhuslike efektidega mudeli.

Läbi viidud testide tulemustest tulenevalt valib autor lõplikuks mudeliks ühendatud mudeli kohandatud standardvigadega (2). Lõplik mudel on esitatud järgmise valemiga:

$$CO2_{it} = 0,25 - 1,7 * 10^{-3} \cdot EUA_{it} - 0,124 \cdot GE_{it} - 0,05 \cdot ICT_{EXP_{it}} + 0,077 \cdot ICT_{IMP_{it}} - \\ -0,014 \cdot POP_{it} + 0,167 \cdot SKP_{it} - 7,9 * 10^{-4} \cdot sqSKP_{it} - 0,027 \cdot ED_{it} - 0,019 \cdot INT_{it} - \\ +1,8 * 10^{-4} \cdot ED_{it} \cdot INT_{it} + 8,4 * 10^{-4} \cdot VE_{it} + \varepsilon_{it} \quad (2)$$

kus

CO₂ – CO₂ emissioonide esimest järku diferentsid (tonnides *per capita*)

EUA – EU ETS kvoodi hinnad esimest järku diferentsid (EUR)

GE – Taastuvenergia tarbimise esimest järku diferentsid (protsentides)

ICT_EXP – IKT toodete ekspordi esimest järku diferentsid (protsentides)

ICT_IMP – IKT toodete impordi esimest järku diferentsid (protsentides)

INT – Internetikasutajate arv (protsentides)

SKP – SKP *per capita* esimest järku diferentsid (tuhandetes dollarites)

SKP² – SKP *per capita* ruudus esimest järku diferentsid (tuhandetes dollarites)

POP – Elanikkonna esimest järku diferentsid (miljonites)

ED – Hariduse indeksi esimest järku diferentsid (protsentides)

VE – Valitsuse efektiivsus (protsentides)

Lõpliku mudeli (2) parameetrite hinnangud näitavad: kui internetikasutajate arv (INT) suureneb, siis CO₂ emissioonid vähenevad. Kui taastuvenergia tarbimine suureneb, siis CO₂ emissioonid vähenevad. Kui SKP *per capita* suureneb, siis CO₂ emissioonid suurenevad. Kui SKP² *per capita* suureneb, siis CO₂ emissioonid vähenevad. Kui ED*INT suureneb, siis CO₂ emissioonid suurenevad.

3.2. Analüüsi järeldused

Käesoleva lõputöö eesmärgiks on uurida välja, milline seos on digitaliseerimise, inimkapitali ja taastuvenergia tarbimise ning CO₂ emissioonide vahel Euroopa Liidu riikide näitel ajavahemikul 2005-2019.

CO₂ emisiooni ja digitaliseerimise, inimkapitali ja taastuvenergia tarbimise vahelise seose tuvastamiseks oli läbi viidud korrelatsioonanalüüs ja regressioonanalüüs. CO₂ ja SKP vahel esineb positiivne keskmise tugevusega seos, vastav korrelatsioonikordaja on 0,27. Seega kui SKP *per capita* tõuseb, siis CO₂ emissioon kasvab. Samas CO₂ ja SKP² vahel on tuvastatud positiivne nõrga tugevusega seos, korrelatsioonikordaja on 0,14. Regressioonanalüüsi tulemusel oli valitud lõplikuks mudeliks (vt Lisa 3) ühendatud mudel kohandatud standardvigadega. Mudeli kirjeldusvõime on 24,3%. Mudelis ei esine autokorrelatsiooni ja multikollineaarsuse probleemi, aga jääkliikmed ei allu normaaljaotusele ja esineb heteroskedastiivsus, kuid kohandatud standardvigade kasutamine võtab selle arvesse. Mudeli statistiliselt olulised muutujad on taastuvenergia tarbimine, SKP, SKP², internetikasutajate arvu ja hariduse indeksi koostoime muutuja, internetikasutajate arv.

Töös oli püstitatud neli hüpoteesi. Analüüsi tulemusel esimene hüpotees, et CO₂ emissioonide ja digitaliseerimise vahel on negatiivne seos sai osalise kinnituse. Korrelatsioonianalüüs ei näidanud statistiliselt olulist seost CO₂ heitkoguste ja digitaliseerimise näitajate vahel (IKT toodete import, IKT toodete export, internetikasutajate arv). Siiski on analüüs näidanud keskmise tugevusega positiivset korrelatsiooni internetikasutajate arvu ja SKP *per capita* vahel. Kuna leiab kinnitust kolmas hüpotees (täpsemalt on allpool), et majanduskasvu kõrge tase vähendab pikas perspektiivis CO₂ heitkoguseid, järeldab autor, et SKP suurenemine internet aktiivsuse ja kasutamise arenemisel võib pikas perspektiivis mõjutada CO₂ heitkoguste vähendamist. Lõpliku mudeli parameetrite hinnangud näitavad, kui internetikasutajate arv (INT) suureneb, siis CO₂ emissioonid vähenevad. Hüpoteesi osaline kinnitamine selgitab teadlaste erinevaid arvamusi selle kohta, kas digitaliseerimine mõjutab CO₂-heitmeid või mitte.

Teine hüpotees, et CO₂ emissioonide ja inimkapitali vahel on negatiivne seos on ka osaliselt kinnitatud. Analüüs ei näidanud olulist seost hariduse indeksi ja CO₂ emissioonide vahel, kuid näitas tugevat positiivset korrelatsiooni SKP ja hariduse indeksi vahel. See tähendab, et mida

kõrgem on hariduse indeks, seda kõrgem on SKP. Nagu esimese hüpoteesi puhul, näib inimkapitali mõju CO₂ heitkoguste vähendamisele olevat majanduskasvu suurenemise kaudu.

Kolmas hüpotees, et CO₂ emissioonide ja taastuvenergia tarbimise vahel on negatiivne seos on kinnitatud. Korrelatsioonanalüüsi tulemusel CO₂ ja GE vahel esineb negatiivne keskmise tugevusega seos, vastav korrelatsioonikordaja on -0,38. Sellest tulenevalt järeldati, et kui taastuvenergia maht kasvab, siis CO₂ emisiooni maht langeb. Regressioonanalüüs ka kinnitas, et kui taastuvenergia tarbimine suureneb ühe protsendi võrra, siis CO₂ emissioonid vähenevad. Selle põhjal võib järeldada, et järkjärguline üleminek tavapäraselt energiaallikatelt taastuvatele energiaallikatele toob pikas perspektiivis kaasa kahjulike ainete sisalduse vähenemise atmosfääris ja keskkonna säilimise.

Neljas hüpotees, et riikidel, kus SKP inimese kohta on suurem, CO₂ emissioonide kogus on väiksem (EKC teooria testimine kasutades SKP *per capita* ja SKP² *per capita*) sai kinnituse. Korrelatsioonanalüüsi tulemusel on tuvastatud CO₂ emisiooni ja SKP vahel positiivne nõrga tugevusega seos (korrelatsioonikordaja 0,27); CO₂ emisiooni ja SKP² vahel positiivne nõrga tugevusega seos (korrelatsioonikordaja 0,14. Analüüsi hinnangud näitavad, et esialgne SKP kasv tekitab CO₂ kasvu ja edasine SKP kasv alandab CO₂-heide. See tähendab, et positiivne seos väheneb ja muutub pikemas perspektiivis negatiivseks, siin leiab kinnitust Grossman ja Kruegeri poolt (1991) esitatud EKC teooria, mis on graafiliselt kujutatud joonisel 1 punktis 1.1.

Oletus, et EU ETS süsteemis osalejate tegevusest tulenev CO₂ kvoodi hindadel tonni kohta on mõju CO₂ heitkogustele ei leidnud kinnitust ja autor järeldab, et seda küsimust tasub edasi põhjalikumalt uurida.

KOKKUVÕTE

Globaalne soojenemine mõjutab atmosfääri, ookeane, jääkihti ja maapinda ning põhjustab kliimamuutusi, mis võivad tuua ökoloogilisi katastroofe ja muid kohutavaid tagajärgi inimkonna igapäevaellu. On oluline mõista globaalse soojenemise põhjust ja leida tõhusaid viise probleemi vastu võitlemiseks.

Üheks peamiseks globaalse soojenemise põhjuseks on süsinikdioksiidi (CO₂) heitkogused. Antud bakalaureusetöö eesmärgiks oli uurida, kuidas digitaliseerimine, inimkapital ja taastuvenergia tarbimine mõjutavad CO₂ emissioonide kogust, kuna paljud teadlased väidavad, et majanduskasv, tehnoloogiline innovatsioon ja üleminek „rohelisele“ majandusele aitab kaasa CO₂ heitkoguste vähendamisele ja võimaldab parandada keskkonnakvaliteeti.

Uuringu jaoks olid püstitatud järgmised hüpoteesid:

- CO₂ emissioonide ja digitaliseerimise vahel on negatiivne seos;
- CO₂ emissioonide ja inimkapitali vahel on negatiivne seos;
- CO₂ emissioonide ja taastuvenergia tarbimise vahel on negatiivne seos;
- Riikidel, kus SKP inimese kohta on suurem, CO₂ emissioonide kogus on väiksem.

Hüpoteeside testimiseks autor valis välja 27 EL riiki. Arvesse oli võetud aastaandmed ajavahemikul 2005-2019, mis pärinevad OECD, Word Bank ja UNDP andmebaasidest. Töö käigus autor viis läbi korrelatsiooni- ja regressioonianalüüsid, mille põhjal olid tehtud järeldused. Analüüsid teostati programmis *Gretl* ja kõik andmed olid enne analüüside kontrollitud statsionaarsuse suhtes.

Vastavalt analüüsi tulemustele esimene hüpotees sai osalise kinnituse. Korrelatsioonianalüüs ei näidanud statistiliselt olulist seost CO₂ heitkoguste ja digitaliseerimise näitajate vahel, kuna ökonomeetrilise mudeli parameetrite hinnangud näitavad, et internetikasutajate arv (mis oli üheks digitaliseerimise näitajaks) avaldab negatiivset mõju CO₂ emissioonide vähenemisele ehk kui

interneti aktiivsus ja kasutus suureneb, CO₂ emissioonide kogus väheneb. Teine hüpotees, et CO₂ emissioonide ja inimkapitali vahel on negatiivne seos, oli ka osaliselt kinnitatud. Analüüs ei näidanud olulist seost hariduse indeksi ja CO₂ emissioonide vahel, kuid näitas SKP sõltuvust hariduse indeksist. See tähendab, et SKP suureneb hariduse indeksi kasvamisega. Ning neljanda hüpoteesi kinnitamine tähistab, et inimkapitalil on mõju CO₂-heite vähendamisele majanduskasvu kaudu. Analüüsi hinnangud näitavad, et esialgne SKP kasv tekitab CO₂ kasvu ja edasine SKP kasv alandab CO₂-heidet. Sellega EKC teooria testimise eesmärk oli saavutatud ja neljas hüpotees leidis oma kinnitust. Kolmas hüpotees samamoodi oli kinnitatud analüüside käigus. Korrelatsioonanalüüs näitas negatiivset seost CO₂ emissioonide ja taastuvenergia tarbimise vahel ning regressioonanalüüs kinnitas, et taastuvenergia tarbimise suurenemisel CO₂ emissioonid vähendavad.

Töö käigus autor tegi enda jaoks selgeks, miks teadlaste arvamused jagunevad küsimuses, et millist mõju avaldavad näitajad nagu digitaliseerimine, inimkapital ja taastuvenergia tarbimine CO₂ emissioonide vähendamisele. Tulemused on erinevad, kuid selle uuringu põhjal võib järeldada, et üleminek tavapäraselt energiaallikatel taastuvatele energiaallikatele on tõhus viis keskkonna reostuse vastu võitlemiseks. Samuti peavad riigid süsinikdioksiidi neutraalsuse eesmärgi saavutamiseks suurendama oma SKP-d, kuna majanduskasv mängib olulist rolli CO₂ heitkoguste vähendamisel.

Teemat tasuks edasi uurida ning ja autor soovib pöörata rohkem tähelepanu EU ETS süsteemis osalejate tegevusest tuleneva CO₂ kvoodi hindadele tonni kohta, kuna antud uuring ei näidanud statistiliselt olulist seost selle näitaja ja CO₂ emissioonide vahel. Kuid autor siiski oletab, et seda teemat põhjalikumalt uurides ja lisades mudelisse suuri riike, kes toodavad CO₂ suurtes kogustes (nt Ameerika ja Hiina), võiks tuvastada seost.

SUMMARY

EFFECTS OF DIGITALIZATION, HUMAN CAPITAL AND RENEWABLE ENERGY CONSUMPTION ON ENVIRONMENTAL SUSTAINABILITY IN EUROPEAN UNION COUNTRIES

Tatjana Glušak

Global warming is affecting the atmosphere, oceans, ice sheets and the Earth's surface, and is causing climate change that could bring ecological disasters and other major consequences for the human everyday life. It is important to understand the cause of global warming and to find effective ways to tackle the problem.

One of the main causes of global warming is carbon dioxide (CO₂) emissions. The aim of this thesis was to investigate how digitalization, human capital and renewable energy consumption affect CO₂ emissions, as many researchers argue that economic growth, technological innovation and the transition to a 'green' economy will help to reduce CO₂ emissions and improve the quality of the environment.

The following hypotheses were formulated for the study:

- There is a negative correlation between CO₂ emissions and digitalization;
- There is a negative correlation between CO₂ emissions and human capital;
- There is a negative correlation between CO₂ emissions and renewable energy consumption;
- Countries with higher GDP per capita have lower CO₂ emissions.

To test the hypotheses, the author selected 27 EU countries. Annual data for the period 2005-2019 from the OECD, World Bank and UNDP databases was taken into account. The author has done correlation and regression analyses, from which several conclusions were drawn. The analyses were performed in *Gretl* and all data was checked for stationarity before the analyses.

According to the results of the analysis, the first hypothesis was partially confirmed. The correlation analysis did not show a statistically significant relationship between CO₂ emissions and digitalization indicators. However, the parameter estimates of the econometric model indicate that the number of internet users (which was one of the indicators of digitalization) has a negative effect on the reduction of CO₂ emissions, i.e. as internet activity and use increases, the amount of CO₂ emissions decreases. The second hypothesis, that there is a negative relationship between CO₂ emissions and human capital, was also partially confirmed. The analysis did not show a significant relationship between the education index and CO₂ emissions, but did show a dependence of GDP on the education index. This implies that GDP increases as the education index increases. And the confirmation of the fourth hypothesis implies that human capital has an impact on reducing CO₂ emissions through economic growth. The estimates of the analysis show that an initial increase in GDP generates an increase in CO₂ and further increases in GDP lower CO₂ emissions. The objective of testing the EKC theory was thus achieved and the fourth hypothesis was confirmed. The third hypothesis was also confirmed by the analyses. Correlation analysis showed a negative relationship between CO₂ emissions and renewable energy consumption and regression analysis confirmed that CO₂ emissions decrease as renewable energy consumption increases.

In the course of the work, the author clarified for himself why scientists' opinions are divided on the impact of indicators such as digitalization, human capital and renewable energy consumption on reducing CO₂ emissions. The results are mixed, but this study concludes that switching from conventional to renewable energy sources is an effective way to tackle environmental pollution. Countries will also need to increase their GDP to reach the carbon neutrality target, as economic growth plays an important role in reducing CO₂ emissions.

The issue is worth further research and the author recommends paying more attention to the CO₂ allowance prices per tonne resulting from the activities of EU ETS participants, as this study did not show a statistically significant relationship between this indicator and CO₂ emissions. However, the author does suggest that by exploring this issue further and including large countries that produce large amounts of CO₂ (e.g. America and China) in the model, a correlation could be identified.

KASUTATUD ALLIKATE LOETELU

- 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.
- Akram V., Jangam B. P., Rath B. N. (2019). Does human capital matter in energyconsumption in India? *International Journal of Energy*, 13, 359-376.
- Alola, A.A., Arikewuyo, A.O., Ozad, B., Alola, U.V., Arikewuyo, H.O. (2020). A drain or drench on biocapacity? Environmental account of fertility, marriage, and ICT in the USA and Canada. *Environmental Science and Pollution Research*, 27, 4032–4043.
- Aslam, B., Hu, J., Hafeez, M., Ma, D., AlGarni, T.S., Saeed, M., Abdullah, M.A., Hussain, S. (2021). Applying environmental Kuznets curve framework to assess the nexus of industry, globalization, and CO₂ emission. *Environmental Technology & Innovation*. Kättesaadav: <https://doi.org/10.1016/j.eti.2021.101377> , 24. märts 2022.
- Aslandis, N. (2009). Environmental Kuznets Curves for Carbon Emissions: A Critical Survey. *SSRN FEEM Working Paper No. 75*.
- Bano, S., Zhao, Y., Ahmad, A., Wang, S., Liu, Y. (2018). Identifying the impacts of human capital on carbon emissions in Pakistan. *Journal of Cleaner Production*, 183, 1082-1092.
- Bilan, Y., Streimikiene, D., Vasylieva, T., Lyulyov, O., Pimonenko, T., Pavlyk, A. (2019). Linking between Renewable Energy, CO₂ Emissions, and Economic Growth: Challenges for Candidates and Potential Candidates for the EU Membership. *Sustainable Energy Economics and Policy*, 11(6), 1528.
- Blackman, A., Kildegaard, A. (2010). Clean technological change in developing-country industrial clusters: Mexican leather tanning. *Environmental Economics and Policy Studies*, 12, 115–132.
- ICIS: *Carbon market analytics*. Kättesaadav: <https://www.icis.com/explore/services/analytics/carbon-market-analytics/>, 1.aprill 2022.
- Chen, Y., Lee, C.C. (2020). Does technological innovation reduce CO₂ emissions? Cross-country evidence. *Journal of Cleaner Production*, 263.

- Cheng, C., Ren, X., Wang, Z. (2019). The impact of renewable energy and innovation on carbon emission: An empirical analysis for OECD countries. *Energy Procedia*, 158, 3506-3512.
- Churchill, S. A., Inekwe, J., Smyth, R., Zhang, X. (2019). R&D intensity and carbon emissions in th G7: 1870-2014. *Energy Economics*, 80, 30-37.
- Constantini, V., Monni, S. (2008). Environment, human development and economic growth. *Ecological Economics*, 64 (4), 867-880.
- Gemmel, N. (1996). Evaluating the impacts of human capital stocks and accumulation on economic growth: some new evidence. *Wiley Online Library*.
Kättesaadav: <https://doi.org/10.1111/j.1468-0084.1996.mp58001002.x>, 15. märts 2022.
- European Commision. (2020) *Information Communication Technologies (ICT)*. Kättesaadav: https://ec.europa.eu/competition-policy/sectors/ict_en , 29.aprill 2022.
- European Commision. *EU Emissions Trading System (EU ETS)*. Kättesaadav: https://ec.europa.eu/clima/eu-action/eu-emissions-trading-system-eu-ets_en, 20.aprill 2022
- GESI: *GESI DIGITAL WITH PURPOSE (FULL REPORT)* Kättesaadav: <https://gesi.org/research/gesi-digital-with-purpose-full-report>, 3.aprill 2022.
- 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.
- 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.
- Jacobs, M. (2016). High pressure for low emissions: How civil society created the Paris climate agreement. *Wiley Online Library*. Kättesaadav: <https://doi.org/10.1111/j.2050-5876.2016.00881.x>, 4.märts 2022.
- Jebli, M.B., Farhani, S., Guesmi, K. (2020). Renewable energy, CO₂ emissions and value added: Empirical evidence from countries with different income levels. *Structural Change and Economic Dynamics*, 53, 402-410.

- Kaika, D., Zervas, E. (2013). The Environmental Kuznets Curve (EKC) theory—Part A: Concept, causes and the CO₂ emissions case. *Energy Policy*, 62, 1392-1402.
- Klöckner, K.A., Oppedal, I.O. (2011). General vs. domain specific recycling behaviour—Applying a multilevel comprehensive action determination model to recycling in Norwegian student homes. *Resources, Conservation and Recycling*, 55(4), 463-471.
- Kopf, D. A. (2007). Endogenous growth theory applied: strategies for university R&D. *Journal of Business Research*, 60, 975-978.
- Korhonen, J., Honkasalo, A., Seppälä, J. (2018). Circular Economy: The Concept and its Limitations. *Ecological Economics*, 142, 37-46.
- Kuznets, P., Simon, P., (1955). Economic growth and income in-equality. *American Economic Review*, 45, 1–28.
- Lancaster, N. (1993). Development of Kelso Dunes, Mojave Desert, California. *National Geographic Research and Exploration*, 9, 444– 459.
- Li, P., Ouyang, Y. (2019). The dynamic impacts of financial development and human capital on CO₂ emission intensity in China: an ARLD approach. *Journal of Business Economics and Management*, 20(5), 939-957.
- Mahaldar, O., Bhadra, K. (2015). ICT: A Magic Wand for Social Change in Rural India. *Handbook of Research on Cultural and Economic Impacts of the Information Society*. Kättesaadav: <https://www.igi-global.com/chapter/ict-a-magic-wand-for-social-change-in-rural-india/135863>, 18.märts 2022.
- Mammadli, E., Klivak, V. (2020). *Measuring the Effect of the Digitalization*. SSRN. Kättesaadav: <https://ssrn.com/abstract=3524823>, 18.märts 2022.
- Menuah, K., Wolde-Rufael, Y. (2020). CO₂ emissions, nuclear energy, renewable energy and economic growth in the US. *Energy Policy*, 38(6), 2911-2915.
- Nowell, R.G. (2009). Literature Review of Recent Trends and Future Prospects for Innovation in Climate Change Mitigation. *OECD Environment Working Papers No. 9*.
- OECD (2012) Compact City Policies: A Comparative Assessment. *Secretary-General of the OECD*. Organisation for Economic Co-operation and Development.
- Paas, T. (1995). *Sissejuhatus ökonomeetriasse*. Tartu: Tartu Ülikooli Kirjastus.
- Roberts, S. (2009). Measuring the Relationship between ICT and the Environment. *OECD Digital Economy Papers*, No. 162.
- Romer, P. M. (1990). Endogenous Technological Change. *Journal of Political Economy*, 98, 71-102.

- Saidi, K., Mbarek, M.B. (2016). Nuclear energy, renewable energy, CO₂ emissions, and economic growth for nine developed countries: Evidence from panel Granger causality tests. *Progress in Nuclear Energy*, 88, 364-374.
- 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.
- Saugo, A. (2017). Statistika õpik majanduseriala üliõpilastele.
- Shibayama, K., Fraser, I. (2014). Nonhomothetic growth models for the environmental Kuznets curve. *Wiley Online Library*, 55,3, 919-942. Kättesaadav: <https://doi.org/10.1111/iere.12076> , 5.aprill 2022.
- Solomon, E. M., Klyton, A. (2020). The impact of digital technology usage on economic growth in Africa. *Utilities Policy*, 67.
- Winslow, M. (2005). The environmental Kuznets curve revisited once again. *Forum for Social Economics*, 35, 1–18.
- World Bank. *Renewable energy consumption (% of total final energy consumption)*. Kättesaadav: <https://data.worldbank.org/indicator/EG.FEC.RNEW.ZS>, 19. märts 2022.
- Yao, Y., Ivanovski, K., Inekwe, J., Smyth, R. (2020). Human capital and CO₂ emissions in the long run. *Energy Economics*, 84.
- Yu, B., Wang, S., Gu, X. (2018). Estimation and uncertainty analysis of energy consumption and CO₂ emission of asphalt pavement maintenance. *Journal of Cleaner Production*, 189, 326-333.
- Zhang, J. (2021). Environmental Kuznets Curve Hypothesis on CO₂ Emissions: Evidence for China. *Journal of Risk and Financial Management*. 14, 3.
- Zhang, Y., Chen, W., Gao, W. (2017). A survey on the development status and challenges of smart grids in main driver countries. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 79, 137-147.

LISAD

Lisa 1. Korrelatsioonanalüüsi p-väärtused

	CO ₂	EUA	GE	ICT_ EXP	ICT_ IMP	INT	SKP	SKP ²	POP	VE
EUA	0,25	-	-	-	-	-	-	-	-	-
GE	0,00	0,12	-	-	-	-	-	-	-	-
ICT_EXP	0,50	0,05	0,98	-	-	-	-	-	-	-
ICT_IMP	0,23	0,54	0,65	0,00	-	-	-	-	-	-
INT	0,48	0,00	0,91	0,52	0,33	-	-	-	-	-
SKP	0,00	0,18	0,00	0,85	0,86	0,09	-	-	-	-
SKP ²	0,01	0,66	0,45	0,79	0,99	0,02	0,00	-	-	-
POP	0,32	0,98	0,80	0,90	0,50	0,07	0,05	0,38	-	-
VE	0,16	0,89	0,19	0,01	0,05	0,00	0,97	0,16	0,00	-
ED	0,67	0,03	0,99	0,13	0,22	0,00	0,02	0,02	0,98	0,00

Allikas: autori arvutused tarkvara *Gretl* abil.

Lisa 2. Ühendatud mudel

Model 21: Pooled OLS, using 378 observations

Included 27 cross-sectional units

Time-series length = 14

Dependent variable: d_CO₂

	<i>Coefficient</i>	<i>Std. Error</i>	<i>t-ratio</i>	<i>p-value</i>	
const	0.248626	0.200153	1.242	0.2150	
d_EUA	0.00169190	0.00303465	0.5575	0.5775	
d_GE	-0.123917	0.0187154	-6.621	<0.0001	***
d_ICT_EXP	-0.0502948	0.0208163	-2.416	0.0162	**
d_ICT_IMP	0.0768557	0.0293907	2.615	0.0093	***
d_POP	-0.0139008	0.167992	-0.08275	0.9341	
d_SKP	0.167407	0.0376904	4.442	<0.0001	***
d_SKP ²	-0.000790190	0.000279158	-2.831	0.0049	***
ED_INT	0.000178891	7.66565e-05	2.334	0.0202	**
INT	-0.0190592	0.00755846	-2.522	0.0121	**
d_ED	-0.0272926	0.0312431	-0.8736	0.3829	
VE	-0.000840572	0.00299120	-0.2810	0.7789	

Mean dependent var	-0.135331	S.D. dependent var	0.536696
Sum squared resid	82.16943	S.E. of regression	0.473821
R-squared	0.243321	Adjusted R-squared	0.220579
F(11, 366)	10.69931	P-value(F)	4.01e-17
Log-likelihood	-247.9238	Akaike criterion	519.8476
Schwarz criterion	567.0663	Hannan-Quinn	538.5880
rho	-0.213152	Durbin-Watson	2.198526

Distribution free Wald test for heteroskedasticity -

Null hypothesis: the units have a common error variance

Asymptotic test statistic: Chi-square(27) = 4121.24

with p-value = 0

Test for normality of residual -

Null hypothesis: error is normally distributed

Test statistic: Chi-square(2) = 178.935

with p-value = 1.39536e-39

Wooldridge test for autocorrelation in panel data -

Null hypothesis: No first-order autocorrelation (rho = 0)

Test statistic: t(26) = -2.04489

with p-value = P(|t| > 2.04489) = 0.0411119

Variance Inflation Factors

Minimum possible value = 1.0

Values > 10.0 may indicate a collinearity problem

d_EUA 1.102

d_GE 1.101

d_ICT_EXP 1.776
d_ICT_IMP 1.743
d_POP 1.106
d_SKP 5.432
d_SKP² 5.200
ED_INT 8.993
INT 8.899
d_ED 1.049
VE 2.354

Allikas: Autori koostatud programmis *Gretl*

Lisa 3. Ühendatud mudel kohandatud standardvigadega

Model 22: Pooled OLS, using 378 observations

Included 27 cross-sectional units

Time-series length = 14

Dependent variable: d_CO₂

Robust (HAC) standard errors

	<i>Coefficient</i>	<i>Std. Error</i>	<i>t-ratio</i>	<i>p-value</i>	
const	0.248626	0.228749	1.087	0.2871	
d_EUA	0.00169190	0.00284583	0.5945	0.5573	
d_GE	-0.123917	0.0233793	-5.300	<0.0001	***
d_ICT_EXP	-0.0502948	0.0298195	-1.687	0.1036	
d_ICT_IMP	0.0768557	0.0464291	1.655	0.1099	
d_POP	-0.0139008	0.0742969	-0.1871	0.8530	
d_SKP	0.167407	0.0429218	3.900	0.0006	***
d_SKP ²	-0.000790190	0.000280782	-2.814	0.0092	***
ED_INT	0.000178891	0.000103083	1.735	0.0945	*
INT	-0.0190592	0.0103005	-1.850	0.0757	*
d_ED	-0.0272926	0.0189199	-1.443	0.1611	
VE	-0.000840572	0.00249014	-0.3376	0.7384	

Mean dependent var	-0.135331	S.D. dependent var	0.536696
Sum squared resid	82.16943	S.E. of regression	0.473821
R-squared	0.243321	Adjusted R-squared	0.220579
F(11, 26)	10.43679	P-value(F)	5.73e-07
Log-likelihood	-247.9238	Akaike criterion	519.8476
Schwarz criterion	567.0663	Hannan-Quinn	538.5880
rho	-0.213152	Durbin-Watson	2.198526

Distribution free Wald test for heteroskedasticity -

Null hypothesis: the units have a common error variance

Asymptotic test statistic: Chi-square(27) = 4121.24

with p-value = 0

Test for normality of residual -

Null hypothesis: error is normally distributed

Test statistic: Chi-square(2) = 178.935

with p-value = 1.39536e-39

Wooldridge test for autocorrelation in panel data -

Null hypothesis: No first-order autocorrelation ($\rho = 0$)

Test statistic: $t(26) = -2.04489$

with p-value = $P(|t| > 2.04489) = 0.0411119$

Allikas: Autori koostatud programmis *Gretl*

Lisa 4. Fikseeritud efektidega mudel

Model 23: Fixed-effects, using 378 observations

Included 27 cross-sectional units

Time-series length = 14

Dependent variable: d_CO₂

	<i>Coefficient</i>	<i>Std. Error</i>	<i>t-ratio</i>	<i>p-value</i>	
const	0.173193	0.761393	0.2275	0.8202	
d_EUA	0.00138409	0.00316025	0.4380	0.6617	
d_GE	-0.123674	0.0193979	-6.376	<0.0001	***
d_ICT_EXP	-0.0484415	0.0220858	-2.193	0.0290	**
d_ICT_IMP	0.0676931	0.0308200	2.196	0.0287	**
d_POP	-0.102318	0.198037	-0.5167	0.6057	
d_SKP	0.157231	0.0402898	3.903	0.0001	***
d_SKP ²	-0.000635481	0.000298692	-2.128	0.0341	**
ED_INT	0.000168546	0.000221701	0.7602	0.4476	
INT	-0.0171474	0.0203795	-0.8414	0.4007	
d_ED	-0.0280812	0.0328719	-0.8543	0.3936	
VE	-0.000830551	0.00907138	-0.09156	0.9271	
Mean dependent var	-0.135331	S.D. dependent var	0.536696		
Sum squared resid	78.65856	S.E. of regression	0.480987		
LSDV R-squared	0.275651	Within R-squared	0.226864		
LSDV F(37, 340)	3.496954	P-value(F)	6.12e-10		
Log-likelihood	-239.6708	Akaike criterion	555.3416		
Schwarz criterion	704.8675	Hannan-Quinn	614.6861		
rho	-0.271734	Durbin-Watson	2.293463		

Joint test on named regressors -

Test statistic: $F(11, 340) = 9.06975$

with p-value = $P(F(11, 340) > 9.06975) = 3.11775e-14$

Test for differing group intercepts -

Null hypothesis: The groups have a common intercept

Test statistic: $F(26, 340) = 0.583678$

with p-value = $P(F(26, 340) > 0.583678) = 0.950282$

Allikas: Autori koostatud programmis *Gretl*

Lisa 5. Juhuslike efektidega mudel

Model 25: Random-effects (GLS), using 378 observations

Included 27 cross-sectional units

Time-series length = 14

Dependent variable: d_CO₂

	<i>Coefficient</i>	<i>Std. Error</i>	<i>z</i>	<i>p-value</i>	
const	0.248626	0.200153	1.242	0.2142	
d_EUA	0.00169190	0.00303465	0.5575	0.5772	
d_GE	-0.123917	0.0187154	-6.621	<0.0001	***
d_ICT_EXP	-0.0502948	0.0208163	-2.416	0.0157	**
d_ICT_IMP	0.0768557	0.0293907	2.615	0.0089	***
d_POP	-0.0139008	0.167992	-0.08275	0.9341	
d_SKP	0.167407	0.0376904	4.442	<0.0001	***
d_SKP ²	-0.000790190	0.000279158	-2.831	0.0046	***
ED_INT	0.000178891	7.66565e-05	2.334	0.0196	**
INT	-0.0190592	0.00755846	-2.522	0.0117	**
d_ED	-0.0272926	0.0312431	-0.8736	0.3824	
VE	-0.000840572	0.00299120	-0.2810	0.7787	

Mean dependent var	-0.135331	S.D. dependent var	0.536696
Sum squared resid	82.16943	S.E. of regression	0.473175
Log-likelihood	-247.9238	Akaike criterion	519.8476
Schwarz criterion	567.0663	Hannan-Quinn	538.5880
rho	-0.271734	Durbin-Watson	2.293463

'Between' variance = 0

'Within' variance = 0.231349

theta used for quasi-demeaning = 0

corr(y,yhat)² = 0.243321

Joint test on named regressors -

Asymptotic test statistic: Chi-square(11) = 117.692

with p-value = 5.27486e-20

Breusch-Pagan test -

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

Asymptotic test statistic: Chi-square(1) = 2.8387

with p-value = 0.0920185

Hausman test -

Null hypothesis: GLS estimates are consistent

Asymptotic test statistic: Chi-square(10) = 9.6438

with p-value = 0.47228

Allikas: Autori koostatud programmis *Gretl*

Lisa 6. Lihtlitsents

Lihlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks¹⁰

Mina Tatjana Glušak

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose „Digitaliseerimise, inimkapitali ja taastuenergia tarbimise mõju keskkonnasäästlikkusele Euroopa Liidu riikides“, 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.

12.05.2022

¹⁰ 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. ja 1.2, siis lihtlitsents nimetatud tähtjaja jooksul ei kehti.