

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
Majandusteaduskond
Majandusanalüüsi ja rahanduse instituut

Grete-Maarja Tött

**TEADUS- JA ARENDUSTEGEVUSE RESSURSSIDE
KASUTAMISE EFEKTIIVSUS EUROOPA RIIKIDES**

Bakalaureusetöö

Õppekava rakenduslik majandusteadus, peeriala majandusanalüüs

Juhendaja: Heili Hein, MA

Tallinn 2019

Deklareerin, et olen koostanud töö 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 5420 sõna sissejuhatusest kuni kokkuvõtte lõpuni.

Grete-Maarja Tött

(allkiri, kuupäev)

Üliõpilase kood:164240TAAB

Üliõpilase e-posti aadress: gretemaarja@hotmail.com

Juhendaja: Heili Hein, MA:

Töö vastab kehtivatele nõuetele

.....

(allkiri, kuupäev)

Kaitsmiskomisjoni esimees:

Lubatud kaitsmisele

.....

(nimi, allkiri, kuupäev)

SISUKORD

LÜHIKOKKUVÕTE.....	4
SISSEJUHATUS.....	5
1. TEADUS- JA ARENDUSTEGEVUS KUI MAJANDUSARENGU VÕTMETEGUR	8
1.1. Immateriaalsete varade olulisus.....	8
1.2 Teadus- ja arendustegevuse seos majanduskasvuga.....	10
1.3 Varasem empiiriline kirjandus.....	12
2. ANDMED JA METOODIKA	16
2.1. Andmete ülevaade	16
2.2 Mudel ja stohhastiline piiranalüüs	16
2.3 Muutujate kirjeldav statistika	20
3. ANALÜÜSI TULEMUSED JA JÄRELDUS	21
KOKKUVÕTE	26
ALLIKAD	30
LISAD	33
Lisa 1. arvutuste sisendandmed	33
Lisa 2. Mudelite keskmised efektiivsused	34
Lisad 3-7	35

LÜHIKOKKUVÕTE

Teadus- ja arendustegevus on globaliseerivas ja konkurentsitihedas majandusruumis üks majanduskasvu tõukav tegur. Bakalaureusetöö eesmärk on uurida Euroopa riikide teadus- ja arendustegevuse investeeringute efektiivsust ning leida, kas eksisteerib seos riikide teadus- ja arendustegevuse investeeringute efektiivsuse ja SKP *per capita* näitaja vahel. Töös viiakse läbi stohhastiline piiranalüüs, kus vaatluse all on 33 Euroopa riiki ajavahemikus 2008-2017. Mudeli väljundiks on riigi teadustöö tsiteeringute arv ning sisendiks teadus- ja arendustegevuse tööjõuvaru ja kapitalivaru. Mudelis muutuvad mõlemad sisendid oluliseks, kui viiteaeg on viis aastat. Analüüsitav mudel ning muutujad mudelis on statistiliselt olulised. Tootmissisendid ehk tööjõu- ja kapitalivaru mõjutavad positiivselt tootmiskõverat, kusjuures suuremat mõju avaldab teadus- ja arendustegevuse kapitalivaru. Selgub, et mudelis oleva ebaefektiivsuse selgitab suuresti ära tehniline ebaefektiivsus. Antud töö hüpotees, et jõukamad Euroopa riigid on oma teadus- ja arendustegevuse poolest efektiivsemad kui vaesemad riigid, leiab korrelatsioonanalüüsi põhjal kinnitust, kus riigi teadus- ja arendustegevuse efektiivsuse skoori ja riigi SKP *per capita* näitajate vaheline seos on positiivne ning statistiliselt oluline.

Märksõnad: Teadus- ja arendustegevus, investeeringud, efektiivsus, stohhastiline piiranalüüs

SISSEJUHATUS

Teadus- ja arendustegevus köidab majandusteadlaste tähelepanu, sest see on majandusliku arengu peamine liikumapanev jõud (Wang 2007). Statistikas on näha trendi ning empiiriline kirjandus kinnitab väidet, et arenenud majandused muutuvad üha enam teadmiste põhiseks ning suunavad oma ressursse võrreldes vaesemate majandustega suuremal määral immateriaalsetesse varadesse (van Ark *et al.* 2009). Sellise investeerimismustri eelduseks on, et immateriaalsete varade investeeringud tõukavad riigis majanduskasvu enam kui materiaalsete varade akumulatsioon.

1970. aastatel hakati uurima tehnoloogia rolli riigi tootlikkuse ajendamises, sest oli märgata produktiivsuse aeglustumist paljudes tööstusriikides (Wakelin 2001). Majandusteooria näiteks Solow kasvumudeli näol annab tehnoloogilistele muutustele suure rolli majanduskasvu tagamisel: majandusteaduslikest uuringutest selgub, et tehnoloogiline muutus on tootlikkuse kasvu üks peamisi selgitavaid tegureid. Tootlikkus on oluline riigi majandusliku arengu puhul, sest tootlikkuse suurenemine toob lõpuks kaasa investeeringute suurema tulu ja omakorda kõrgema sissetulekutaseme ja kiirema majanduskasvu (Wang 2007). Tootlikkuse aeglustumine põhjustas muret, et tehnoloogiliste muutuste mõju majanduskasvule on vähenemas. See nähtus omakorda tõstis esile teadus- ja arendustegevuse investeeringute olulisuse, kui elemendina, mis saab mõjutada tehnoloogia arengut ning selle kaudu ka produktiivsust (Wakelin 2001).

Teadus- ja arendustegevusele pühendatud nappide ressursside tõhus kasutamine muutub globaliseerivas maailmas järjest olulisemaks. Eeldatakse, et riigid, kes panustavad suuremal määral teadus- ja arendustegevusse, saavutavad ka kõrgema sissetulekutaseme. (Wang 2007) Maailmapanga 2016. aasta andmete kohaselt on investeeringud teadus- ja arendustegevusse maailmas keskmiselt 2,29% riikide sisemajanduse koguproduktist. Investeeringute protsentuaalne osakaal sisemajanduse koguproduktist (edasi SKP) on kõrgem jõukamates maailma piirkondades: näiteks Ameerika Ühendriikides on näitaja 2,74%, Ida-Aasia piirkonnas 2,49% ning Euroopa Liidus 2%. Vastupidine trend investeeringute mahus leiab aset vaesemates piirkondades: näiteks

Lõuna-Aafrikas, Lõuna-Aasias ning ka Kesk-Euroopa ja Baltikumi jääb investeeringute osakaal vahemikku 0,56-1% SKPst. (World Bank 2016)

Globaliseerumise tõttu on riigid avatud tihedale konkurentsile nii sise- kui ka välisurgudel, seda just innovaatiliste toodete ja uute tehnoloogiate osas. Kõrge konkurentsitas sunnib riike pidevalt oma tehnoloogilist võimekust arendama. Kuid ainuüksi teadus- ja arendustegevuste investeeringute suurus ei mõjuta riigi majanduskasvu, vaid rolli mängib ka nende investeeringute efektiivsus. (Cullmann *et al.* 2009) Sarnast tõdeb ka Eric Wang (2007) oma töös ning väidab, et ebaefektiivne teadus- ja arendustegevuse investeeringute ressursside jaotus riigis ei too kaasa loodetud majanduskasvu ning sellisel juhul ei ajenda majanduskasvu ka investeeringute suurendamine.

Antud uurimistöö eesmärgiks on hinnata Euroopa Liidu riikide teadus- ja arendustegevuse investeeringute efektiivsust. Antud uurimistöö uurimisküsimusteks on:

1. Kuidas järjestuvad Euroopa riigid teadus-ja arendustegevuste investeeringute efektiivsuses?
2. Kas teadus-ja arendustegevuse efektiivsuse ja riigi jõukuse vahel leidub seos?

Uurimistöö autor on püstitanud hüpoteesi, et jõukamate Euroopa riikide teadus- ja arendustegevuse investeeringud on efektiivsemad kui vaesemate Euroopa riikide teadus- ja arendustegevuse investeeringud.

Töös kasutatakse kvantitatiivseid uurimismeetodeid. Uurimistöös viiakse läbi stohhastiline piiranalüüs (*stochastic frontier analysis*, SFA) ning hinnatava mudeli aluseks on Cobb-Douglase tootmisfunktsioon. Analüüs põhineb paneelandmetel. Stohhastilise piiranalüüsi väljundiks on riigi teadustöö tsiteeringute arv, mille näitaja pärineb kinnisest andmebaasist SciVal. Kui stohhastilise piiranalüüsi abil saadakse kätte riikide teadus-ja arendustegevuse investeeringute efektiivsuse järjestus, sooritab autor korrelatsioon analüüsi efektiivsuse näitaja ja sisemajanduse koguprodukti *per capita* näitaja vahel, et vastata teisele uurimisküsimusele, kas teadus- ja arendustegevuse investeeringute efektiivsus ning riigi jõukus on omavahel seotud. Andmete analüüsiks kasutab autor Excelit ja statistikaprogrammi Stata ning joonised on koostatud R programmi abil.

Uurimistö on jaotatud kolme ossa. Esimene osa annab ülevaate immateriaalsete varade olulisusest ja teadus- ja arendustegevuse seosest majanduskasvuga. Esimene osa sisaldab ka varasema empiirilise kirjanduse ülevaadet. Uurimistö teine osa hõlmab töös kasutatud metoodika ja andmete tutvustust. Teine osa uurimistööst keskendub suuresti stohhastilise piiranalüüsi olemusele. Kolmas osa on uurimistö on ökonomeetrilise mudeli analüüs, kus uurimisküsimused ning hüpotees saavad vastatud stohhastilise piiranalüüsi ja korrelatsioonanalüüsi põhjal.

1. TEADUS- JA ARENDUSTEGEVUS KUI MAJANDUSARENGU VÕTMETEGUR

1.1. Immateriaalsete varade olulisus

Immateriaalsed varad on füüsilise substantsita varad. Immateriaalse põhivara investeringute eesmärk sarnaselt materiaalsete põhivaradele on luua ettevõttele lisaväärtust ning ajendada kasvu. (Riigiteataja 2011) Teadus- ja arendustegevus on üks immateriaalse põhivara alaliike. Kui teadus- ja arendustegevusele hakati rohkem tähelepanu pöörama 1970. aastatel produktiivsuse languse tõttu, siis teadmispõhisele majandusruumile juba 1950. teises pooles. 1950. aastate teisel poolel oli nii poliitikakujundajatele kui ka majandusanalüütikutele üha selgemaks muutunud, et Lääne majanduste jätkuvat kasvu ei saa enam seletada traditsiooniliste majanduslike teguritega, nagu maa, tööjõud ja kapital, vaid arengut mõjutavad ka teadmised majandusruumis. (Wakelin 2001)

Tänu teadmispõhise majanduseruumi arengule on näiteks tänaseks intellektuaalne omand muutunud üheks kapitali vormiks. Philip Cooke ja Loet Leydesdorff on defineerinud teadmispõhist majandust, kui majandusruumi, kus kaupade, teenuste ja ettevõtete väärtust ei tekita mitte ainult materiaalne vara, vaid peamiselt vara, mis põhineb igasugustel teadmistel – ehk immateriaalsel varal. Cooke ja Leydesdorff viitavad oma artiklis Machlup (1962) uurimistöole, kus autor püüab välja selgitada need sektorid, kus teadmiste kontsentratsioon on Ameerika Ühendriikide näitel on kõige suurem. Machlup leidis, et teadmispõhine tootmine leiab aset kõige enam kuues järgnevas valdkonnas: haridus, teadus- ja arendustegevus, kunstiline looming, kommunikatsioonimeedia, infoteenused ja infotehnoloogia. (Machlup 1962 viidatud Cooke, Leydesdorff 2006)

Dmitry Volkov ja Tatiana Garanina (2007) tutvustavad oma töös Daniel Andriessen (Andriessen 2003) poolt defineeritud teadmistepõhise majanduse peamisi tunnuseid ning on teinud omapoolse valiku Andriesseni seitsmest tunnusest:

- 1) Teadmised asendavad tööjõudu ja kapitali kui peamisi ressursse tootmises ja immateriaalsed varad moodustavad olulise osa ettevõtet lisandväärtusest.
- 2) Teadmiste osakaal toodetes ja teenustes kasvab kiiresti.
- 3) Ressursside omandiõiguse kontseptsioon on muutunud: töötaja omab teadmisi.

Kuigi üha enam nii riikide kui ettevõtete tasandil koguvad immateriaalsete varade investeeringud populaarsust, siis murekohaks on immateriaalsete varade investeeringute kajastamine raamatupidamises. Kaplan ja Norton (2004) uurisid 300 erinevat organisatsiooni üle maailma ning autorid järeldasid, et üle 75 protsendi keskmise ettevõtte turuväärtusest tuleneb immateriaalsetest varadest, kuid traditsioonilised raamatupidamismeetodid ei suuda immateriaalseid varasid mõõta nende „pehme“ olemuse tõttu (näiteks ettevõtte sisene informatsiooni- ja inimkapital). Samas nendivad Carrado *et al.* (2005), et puuduvad majandusteoreetilised alused, mille põhjal peaks immateriaalsete varade investeeringuid raamatupidamises käsitlema erinevalt materiaalistest põhivaradest. Autorid toovad välja, et kahe kapitaliliigi asümmeetriline kohtlemine võib tõkestada mõningaid kõige dünaamilisemaid majanduskasvu soodustavaid tegureid. Roth ja Thum (2013) on seisukohal, et immateriaalsete varade investeeringute ebatäpne arvepidamine peegeldub tihti riikidevahelises seletamatus tööjõu tootlikkuse erinevuses, kus riigid, kes investeerivad rohkem immateriaalsetesse varadesse, on tootlikumad võrreldes riikidega, kelle immateriaalsete varade investeeringud on tagasihoidlikumad.

Immateriaalsete varade investeeringute põhjal saab määrata riikide majandusruumi arengutaset. Arenguseire Keskuse poolt tehtud uuringus grupeerisid autorid riike nende immateriaalsete ja materiaalsete varade investeeringute järgi. Jaotuse parameetriteks oli võetud kolm näitajat: riigi tootlikkus töötaja kohta (tuhat eurot), materiaalse põhivara investeeringud (tuhat eurot töötaja kohta) ning immateriaalse vara investeeringud (tuhat eurot töötaja kohta). Nende parameetrite põhjal eristub tugevalt kahte tüüpi majandusi: riigid, kes investeerivad rohkelt immateriaalsetesse põhivaradesse ning omavad kõrget tootlikkust (näiteks Norra, Saksamaa, Holland, Belgia) ja riigid kes eelistavad investeerida eelkõige materiaalsesse varadesse ning omavad madalat tootlikkust (näiteks Baltimaad, Tšehhi, Ungari, Kreeka). (Männasoo *et al.* 2018a)

Nagu ka Corrado *et al.* (2005) immateriaalsete varade jaotuses välja on toonud, siis teadus- ja arendustegevus on üks immateriaalsete varade alaliike. Riigi ja ettevõtte jätkusuutlikuks arenguks on tarvis teadmiste akumulatsiooni ning eriti kõrgematel väärtusahela lülid panustab suuresti selle eesmärgi täitmisesse inimkapitali ja teadus- ja arendustegevuse kaasamine ning teadus- ja arendustegevuse investeeringud. (Männasoo *et al.* 2018a). teadus- ja arendustegevus on üks vahend, mille abil leida lahendusi ühiskonna keerulistele küsimustele, panustada riigi elanike heaollu ning edendada riigi majanduskasvu ja arengut (Haridus- ja Teadusministeerium 2014).

1.2 Teadus- ja arendustegevuse seos majanduskasvuga

SKP kasv on tinglikult ajendatud kahest tegurist: töötundide arvu kasvust või tööjõu tootlikkuse kasvust ehk ühe töötunni jooksul saadakse samast sisendi kogusest rohkem väljundit. Kui arenevate majanduste puhul tõukub majanduskasv eelkõige materiaalsete põhivarade investeeringutest, siis arenenud majanduste puhul tuleneb majanduskasv eelkõige inimkapitali oskustest ja teadmistest ning teadus- ja arendustegevusel põhinevast innovatsioonist. (Männasoo *et al.* 2018a) Majanduskoostöö ja Arengu Organisatsioon (edasi OECD – *Organization for Economic Co-operation and Development*) definitsiooni kohaselt on teadus- ja arendustegevuse kulud riigi innovatsiooni jõupingutuste peamine näitaja. Teadus- ja arendustegevus on süstemaatiline loominguine töö, mis panustab kas ettevõtte, sektori või riigi teadmiste baasi. OECD (2012) jaotab teadus- ja arendustegevuse kolme kategooriasse:

- 1) Primaarsed uuringud (*basic research*) on eksperimentaalsed või teoreetilised tööd, mis on tehtud eelkõige selleks, et omandada uusi teadmisi nähtuste kohta, ilma et uuring omaks konkreetset rakendusest või kasutust.
- 2) Rakendusuringuid viiakse samuti läbi teadmiste omandamiseks, kuid on eelkõige konkreetse ja praktilise eesmärgiga.
- 3) Eksperimentaalne arendus on süstemaatiline töö, mis põhineb olemasolevatel teadmistel ja/või praktilistel kogemustel ning on suunatud uute materjalide, toodete või seadmete tootmiseks, uute seadmete paigaldamiseks või olemasolevate toodete ja süsteemide parandamiseks.

Teadus- ja arendustegevuse üks peamisi probleeme on, et tegemist on kuluka valdkonnaga, mis nõuab kriitilist massi, enne kui suudab tekitada tehnoloogilist arengut ja anda majanduslikke

tulemusi (Bilbao-Osorio, Rodríguez-Pose 2004) ning rolli hakkab ka mängima investeeringute efektiivsus (Wang 2007). Kuigi empiiriline kirjandus on enamasti seisukohal, et teadus- ja arendustegevuse investeeringud ajendavad majanduskasvu ning eriti tuleb see esile arenenud majanduste puhul, siis erialane kirjandus ei selgitata täielikult riigi ja erasektori teadus- ja arendustegevuse kulutuste keerulist koostoimet ning selle mõju tootlikkusele erinevates riikides. Vastuolulised järeldused tulenevad erinevatest perioodidest, sektoritest ja analüüsitud riikidest ning erinevate ökonomeetriliste modelleerimismeetodite rakendamisest. Selgub, et riikides, kus teadus- ja arendustegevuse investeeringud omavad positiivset mõju tootlikkuse kasvule, siis selle mõju ulatus sõltub suuresti poliitilistest vahenditest, nagu teadus- ja arendustegevuse maksustamine, subsiidiumipoliitika, teadus- ja arendustegevusele suunatud toetused ja hanked. (Coccia 2011)

Sarnast toovad esile ka Bilbao-Osorio ja Rodríguez-Pose (2004), et erinevad Euroopa piirkonnad tegutsevad erinevates sotsiaalsetes, poliitilistes ja majanduslikes tingimustes, mis mõjutavad nende riikide võimet muuta teadus- ja arendustegevuse investeeringud innovatsiooniks ja majanduskasvuks. Artiklis kasutavad autorid Rodríguez-Pose (1999) varasemast tööst pärit riikide jaotust, mille kohaselt vastavalt riikide suutlikkusele luua teadus- ja arendustegevuse investeeringutest innovatsiooni ja majanduskasvu riigid kahte kategooriasse: innovatsiooni lembelised ja innovatsiooni kartlikud (*innovation averse*) ühiskonnad. Innovatsiooni lembelised ühiskonnad kes suudavad muuta suurema osa oma teadus- ja arendustegevusest innovatsiooniks ja majanduskasvuks. Seevastu innovatsiooni kartlikud ühiskonnad on need, mis ei suuda muuta oma teadus- ja arendustegevust innovatsiooniks ja majanduskasvuks samal määral. Üldjuhul on traditsioonilisemad sektorid innovatsiooni kartlikud (näiteks põllumajandus), sest need sektorid loovad vähem patente võrreldes tootmis- ja teenindussektoriga. (Rodríguez-Pose 1999 viidatud Bilbao-Osorio, Rodríguez-Pose 2004)

Kuigi Eesti aastane teadustöö publikatsioonide arv kasvab kiiremas tempos kui Euroopa Liidu keskmine näitaja (vastavalt 11% aastas ja 5% aastas) ning paranenud on ka avaldatud tulemuste mõjukus, siis Eesti majandusarengu puhul on samuti oluline, et teadus- ja arendustegevus oleks senisest suuremal määral kaasatud just traditsioonilistes sektorites (Haridus- ja Teadusministeerium 2014). Arenguseire Keskuse uuringus tõid autorid välja, et Eesti näitel 53% ettevõtete investeeringutest läks masinatele ja seadmetele, 16% maale ja ehitiste alla ning 30% immateriaalsetele põhivaradele. Euroopa Liidus oli keskmiselt immateriaalsete põhivarade investeeringute osakaal 37%. Eesti eristub teistest Euroopa Liidu riikidest madala teadus- ja

arendustegevuse ning kõrge masinate ja seadmete investeeringute osakaalu poolest. (Männasoo *et al.* 2018a)

1.3 Varasem empiiriline kirjandus

Paljud ettevõtted ning riigiasutused seisavad küsimuse ees, kas investeeringud teadus- ja arendustegevusse toovad ka tegelikult endaga kaasa kõrgema innovatsiooni ja kasvu taseme. Selleks, et sellele küsimusele vastata, viivad Bilbao-Osorio ja Rodríguez-Pose (2004) oma uurimistöös läbi kaheastmelise analüüsi. Esimene osa on suunatud teadus- ja arendustegevusse tehtavate investeeringute ning innovatsiooni vahelise seose loomisele ning teises mudelis analüüsitakse innovatsiooni mõju majanduskasvule. Mõlemad analüüsid viiakse läbi lineaarsete regressioonimudelite abil. Vaatlusel on Euroopa 103 piirkonda ajalisel vahemikus 1990-1998. Mudeli sõltuvaks muutujaks on patentide avalduste arv miljoni elaniku kohta ning sõltumatuteks muutujateks on võetud SKP *per capita*, teadus- ja arendustegevuse investeeringud protsendina SKPst, täiskasvanud elanike hulk, kes on omandanud ainult alghariduse, majanduslik struktuur ja tööhõive määr antud regioonis. (Bilbao-Osorio, Rodríguez-Pose 2004)

Analüüsi tulemused näitavad positiivset seost teadus- ja arendustegevuse ning innovatsiooni tekke vahel. Siiski ei ole kõik teadusvaldkonnad innovatsiooni tekke seisukohalt võrdselt tootlikud. Erasektori poolt läbiviidud teadusuuringutel on kõrgem tootlus kui mis tahes muu sektori poolt läbi viidud uurimistööl. Autorid tõdevad, et tulemused on ootuspärased, sest erasektori rahastatavad teadusuuringud rakendatakse rohkem nende kaubandusliku olemuse tõttu ning analüüsis mõõdeti innovatsiooni patenditaotluste arvuga, millel on tugev kaubanduslik orientatsioon. Avaliku sektori ja ülikoolide uuringud kalduvad seevastu olema vähem rakendatud ja primaarsemad (*basic*), muutes selle mõju uute patentide taotluste arvule nõrgemaks. Euroopa arenenud majanduste puhul näib erasektori rahastatud teadusuuringud olema innovatsiooni peamine mootor. Euroopa vähem arenenud piirkondade puhul omavad positiivset tootlus erasektori teadusuuringute kõrval ka ülikoolide poolt tehtud uuringud. (Bilbao-Osorio, Rodríguez-Pose 2004)

Arenenud majandused – näiteks Lääne-Euroopa riigid ja Ameerika Ühendriigid – investeerivad võrreldes Kesk- ja Ida-Euroopa riikidega suurema protsendi oma SKPst immateriaalsetesse varadesse, sel ajal kui Kesk- ja Ida-Euroopa riigid eelistavad materiaalsete varade investeeringuid

teadus- ja arendustegevuse investeeringutele (Männasoo *et al.* 2018a). Seetõttu ei ole ka riikide teadus- ja arendustegevuse investeeringute mõju majanduskasvule ühtne. Väiksed teadus- ja arendustegevusele tehtud kulutused omavad ka vähest mõju majandusarengule (Bilbao-Osorio, Rodríguez-Pose 2004). Sama järeltab ka Männasoo *et al.* (2018b) oma artiklis, kus analüüsiti 31 Euroopa riigi inimkapitali, teadus- ja arendustegevuse kulutuste ja konvergensti mõju koguteguri tootlikkuse kasvule ajavahemikul 2000–2013. Töö autorid järeltavad, et kui teadus- ja arendustegevuse investeeringud omavad positiivset mõju arenenud majanduste puhul, siis Kesk- ja Ida-Euroopas omavad investeeringud positiivset mõju kasvule ainult kõige tootlikemates piirkondades.

Teadus- ja arendustegevuse investeeringute intensiivsus ei ole ainukene tegur, mis ajendab majanduskasvu. Eric Wang (2007) võtab vaatluse alla 30 riiki, millest 23 on OECD liikmesriigid ning lisaks kaasab stohhastilisse analüüsi seitse riiki, mis intensiivselt investeerivad teadus- ja arendustegevuse valdkonda (Argentiina, Hiina, Rumeenia, Venemaa, Singapur, Sloveenia ja Taiwan). Oma analüüsi tulemuste põhjal järeltab autor, et kui teadus- ja arendustegevuse ressursse ei kasutata tõhusalt, võivad lisainvesteeringud majanduskasvu stimuleerimisel vähe kaasa aidata. Teadus- ja arendustegevuse otsuste sisendite suurendamine ei ole teadus- ja arendustegevuse edu saavutamiseks piisav, vaid oluliseks muutub investeeringute efektiivsus.

Cullmann *et al.* (2009) rõhutab oma töös teadus- ja arendustegevuse ressursside efektiivse kasutamise olulisust. Autorid toovad oma töös esile, et globaliseerumisega muutub üha olulisemaks riigi teadus- ja arendustegevusse investeeritavate nappide ressursside tõhus kasutamine. Autorid uurivad oma töös OECD riikide vahelisi teadus- ja arendustegevuse efektiivsuse erinevusi. Analüüsi tulemuste põhjal järeltavad autorid, et Rootsi, Saksamaa ja Ameerika Ühendriigid on kõige efektiivsemad riigid ning ühtlasi asuvad maailma tehnoloogia toomispääriil (*world technology frontier*) või selle lähedal. Autorid järeltavad, et arenenud majandussüsteem toob kaasa suurema teadustöö efektiivsuse võrreldes riikidega, mis arendavad endiselt oma tööstus- ja tehnoloogiamudelit (*industry and technology pattern*). Teadus- ja arendustegevuse madal efektiivsus on riikides nagu Mehhiko ja Hiina, mida iseloomustab väga madal teadmistoodang (*knowledge production*), mis viitab sellele, et nad on veel olemasolevate tehnoloogiate jäljendamise ja paljundamise faasis, kui riigi arenguks oleks tarvis suuremaid jõupingutusi innovatsiooni valdkonnas. Töö analüüsi põhjal võtavad autorid vastu hüpoteesi, et kõrge tooteturgede reguleerimine hoiab eemale potentsiaalsed turule sisenejad, seeläbi vähendab

olemasolevate ettevõtete konkurentsipurvet ning selletõttu väheneb teadusuuringute efektiivsus majanduses. (Cullmann *et al.* 2009)

Falvey *et al.* (2006) jõuavad oma töös sarnasele järeldusele nagu Cullmann *et al.* (2009), et mingitel juhtudel tooteturgede reguleerimine mõjub negatiivselt majanduskasvule. Falvey *et al.* uurivad intellektuaalomandi kaitse mõju majanduskasvule ning võtavad oma artiklis vaatluse alla 80 riigi paneelid ja viivad läbi regressioonanalüüsi (*threshold regression model*). Regressioonanalüüsiga uuritavad ajavahemikud on grupeeritud viie aastaste perioodide kaupa (1975-79, 1980-84, 1985-89 ja 1990-94). Autorid nendivad, et kuigi majandusteooria toetab väidet, et teadus- ja arendustegevus omab positiivset mõju innovatsioonile ja majanduskasvule, siis tuleb positiivne mõju esile vaid teatud tingimustel. Intellektuaalomandi kaitse rolli olulisus väljendub suuresti selles, et intellektuaalne omand kannab endas tihti sarnaseid jooni nagu avalik hüvis: ta on konkurentsitu ja välistamatu ning teooria kohaselt peaks intellektuaalomandi kaitse andma stiimulit ettevõtetele investeerida teadus- ja arendustegevusse ning selle investeringu läbi teenida suuremat tulu. Autorid järeldavad analüüsi põhjal, et liiga rangelt reguleeritud tooteturg piirab ideede levikut ning ajendab monopolide teket. Veelgi enam, intellektuaalomandi õiguste kaitse mõju majanduskasvule sõltub eelkõige riikide arengutasemest. Autorid jaotavad riigid kahte gruppi: riigid, mis loovad innovatsiooni ning riigid, mis imiteerivad innovatsioonid. Selgub, et vaid vähesed majanduslikult arenenud riigid suudavad luua innovatsiooni ning selliste riikide puhul rangema intellektuaalomandi kaitse raamistik omab tugevat positiivset mõju majanduskasvule. Eelkõige keskmise sissetulekuga riikide puhul võib imitatsioon olla oluline tehnoloogia arengu ja kasvu allikas. Nendes riikides võib rangem intellektuaalomandi õiguste kaitse välismaistele ettevõtetele rikkuda kodumaist tööstust, mis varem tugines piraattehnoloogiale. (Falvey *et al.* 2006)

Anselin *et al.* (2000) leivad, et teadmiste levik (*knowledge spillover*) akadeemilises sektoris ei ole sektorite ja piirkondade lõikes ühtne, näiteks teadmiste leviku efekt on suurem elektroonika valdkonnas ning väiksem ravimitööstuse valdkonnas. Breschi ja Lissoni (2001) märgivad, et teadmiste levikut mõjutavad oluliselt geograafia ja sõltuvus teguritest nagu teadlaste liikuvus (*mobility*), ettevõtete võrgustiku olemasolu või ülikooliuuringute mõju ettevõtete innovatsioonile konkreetses piirkonnas. González ja Gascón (2004) uurisid Hispaania farmaatsiatööstuse tootlikkuse muutuse allikaid aastatel 1994–2000. Tegemist oli hetkega, kus toimus rahvusvaheliste regulatsioonide muutus (EU vabaturu regulatsioon, 1999). Edukaks osutusid laborid, kellel oli võimekust panustada suuremal määral ressursse teadus- ja arendustegevusse ning see läbi tuua

turule kõrgema marginaaliga tooteid. Sektoris ei toimunud suurel määral teadmiste levikut ning uued regulatsioonid aetasid mitteinnovatiivsed laborid - mis enamasti olid väiksed ettevõtted - ebasoodsasse konkurentsi olukorda, mis ohutas laborite jätkusuutlikkust.

2. ANDMED JA METOODIKA

2.1. Andmete ülevaade

Töös on kasutusel kvantitatiivseid uurimismeetodeid. Uurimistöös viib autor läbi stohhastilise piiranalüüsi (*stochastic frontier analysis*) ning hinnatava mudeli aluseks on Cobb-Douglaste tootmisfunktsioon. Analüüs põhineb paneelandmetel ning töö põhineb Wang (2007) artiklis ilmunud mudelit, mida on kohandatud antud uurimistöö jaoks: valimiks on 33 Euroopa riiki ning analüüsi väljundiks on riigi teadustöö tsiteeringute arv, mudeli sisenditeks on teadus- ja arendustegevuse tööjõu- ja kapitalivaru. Riigi teadustöö tsiteeringute arv on pärit kinnisest andmebaasist SciVal. Et teadus- ja arendustegevuse kapitalivaru ei ole ühtselt mõõdetud Euroopa riikides ning seetõttu ei ole näitajad võrreldavad, siis teadus- ja arendustegevuse kapitalivaru näitaja arvutus põhineb Johanna Vogel (2013) uurimistööl. Teadus- ja arendustegevuse kapitali- ja tööjõuvaru algandmed on sekundaarsed andmed ning pärit Eurostatist, välja arvatud arvutusteks tarvilik kapitali osakaal, mis on pärit *The Conference Board Total Economy* andmebaasist. Teadus- ja arendustegevuse kapitalivaru arvutamiseks kasutatakse amortisatsioonimäära 15%, mis on varasema kirjanduse alusel tavapärase amortisatsioonimäär (Hall 2009). SKP *per capita* näitaja on võetud World Bank andmebaasist. Stohhastiline piiranalüüs annab vasteks ka efektiivsuse skoorid, mille abil saan võrrelda Euroopa riikide järjestust teadus- ja arendustegevuse investeeringute efektiivsuse osas. Selle jaoks viib autor läbi korrelatsioonanalüüsi keskmise efektiivsuse skooride ja riigi SKP *per capita* näitaja vahel.

2.2 Mudel ja stohhastiline piiranalüüs

Majanduse kasvuvõimekuse alustaladeks peetakse tehnoloogilist arengut ja tootlikkuse kasvu. Antud uurimistöö analüüsi mudel on edasiarendus Solow kasvumudelist. Solow kasvumudelit kasutatakse, et seletada lahti riikide vahelised kasvu erinevused. Mudeli aluseks on neoklassikaline tootmisfunktsioon, kus on kaks sisendit, milleks on kapital ja tööjõud.

Mudel põhineb Cobb-Douglase tootmisfunktsioonil:

$$Y = AK^\alpha L^\beta$$

kus

Y - sisemajanduse koguprodukt,

K - kapitali sisend,

L - tööjõu sisend,

A - ühiskonna tehnoloogilist lähtepositsiooni peegeldav konstant

α ja β on vastavalt kapitali ja tööjõu toodangu elastsuskordajad

Elastsuskordajad on olemasoleva tehnoloogia abil määratud konstandid. Väljundi elastsus mõõdab toodangu reageerivust muutustele kas tööjõus või tootmises kasutatavas kapitalis.

Cobb-Douglase tootmisfunktsiooni ei võta arvesse tootmise potentsiaalsest ebaefektiivsust, mis võib suuresti mõjutab tootmise väljundkogust. Ebaefektiivsus võib olla tingitud näiteks struktuurilistest probleemidest või turu ebatäiuslikkusest, mis põhjustavad, et tootmisüksused tootavad allpool oma maksimaalset toodangut. Efektiivsust võib olla kahte tüüpi: tehniline ning allokatiivne (*allocative*). Tehniline efektiivsus esineb, kui tootmises maksimeeritakse väljundkogust olemasolevate sisenditega või kui minimeeritakse sisendite kogust, et saavutada soovitud väljundkogus. Allokatiivne efektiivsus esineb, kui marginaalne asendusmäär sisendite vahel on võrdne sisendi ja hinna suhtega. Kui see tingimus pole täidetud, siis tähendab, et tootmisüksus ei kasuta oma sisendeid optimaalsetes proportsioonides. (Mastromarco 2008)

Tehnilist efektiivsust saab modelleerida kasutades kas deterministlikku või stohhastilist analüüsi. Antud uurimistöös kasutan stohhastilist piiranalüüsi. Stohhastiline piiranalüüs eeldab, et tootmisüksuse (firma, riigi, regiooni) toodang võib olla potentsiaalsest väljundist väiksem ebaefektiivsuse tõttu. (Mastromarco 2008). Stohhastiline protsess on juhuslik protsess. Stohhastiline piiranalüüs põhineb ökonomeetrisel regressioonimudelil ning tegemist on parameetrisel meetodiga. Stohhastiline piiranalüüs käsitleb kõrvalekaldeid tootmisfunktsioonist ning sisaldab vealiiget, mis jaguneb kaheks osaks: stohhastiline piiranalüüs võimaldab eristada juhuslikku sümmeetrilist komponenti, mis võtab arvesse mõõtevigu ja stohhastilisi mõjusid ning asümmeetrilist tehnilise ebatõhususe komponenti. (Bezart 2009)

Järgnevad valemite tuletused ning muutujate selgitused on pärit Stata programmi stohhastilise piir analüüsi paneelmudeli kirjeldavast käsufailist (Stata). Kui tavapärase tootmisfunktsiooni saab kirja panna järgnevalt, kus ajal t i -ndas firma toodab väljundkoguse:

$$q_{it} = f(z_{it}, \beta)$$

Siis Aigner *et al.* (1977) ja Meeusen, Van den Broeck (1977) stohhastilise piirimudeli üldise tootmisfunktsiooni on järgnev, kus esineb ka ebaefektiivsuse komponent:

$$q_{it} = f(z_{it}, \beta)\xi_{it}$$

kus

ξ_{it} on tootmisüksuse i efektiivsus ajal t . ξ_{it} komponent jääb vahemikku $(0, 1]$, sest väljundkogus on rangelt positiivne ($q_{it} > 0$). Selle tõttu on ka tehniline efektiivsus rangelt positiivne ($\xi_{it} > 0$). Kui $\xi_{it}=1$ tähendab, et tootmisüksus toodab optimaalse väljundkoguse tootmisfunktsioonis $q_{it} = f(z_{it}, \beta)$ antud tehnoloogia taseme juures. Kui $\xi_{it} < 1$, siis ettevõtte ei tooda maksimaalselt sisenditest z_{it} antud tehnoloogia juures. (Stata)

Eeldatakse, et väljundit mõjutavad juhusliku šokid ehk võrrandis kajastub komponent järgnevalt:

$$q_{it} = f(z_{it}, \beta)\xi_{it} \exp(v_{it})$$

Logaritmides võrrandi mõlemad pooli, saab võrrandi:

$$\ln q_{it} = \ln\{f(z_{it}, \beta)\} + \ln(\xi_{it}) + v_{it}$$

Eeldades, et on k kogus sisendeid ja et tootmisfunktsioon on logaritmides lineaarne, defineerides

$$u_{it} = -\ln \xi_{it}, \text{ saab võrrandi esitada kujul:}$$

$$\ln q_{it} = \beta_0 + \sum_{j=1}^k \beta_j \ln(z_{it}) + v_{it} + u_{it}$$

Et u_{it} lahutatakse komponendist $\ln(q_{it})$, tähendab, et komponendil u_{it} on piirang $u_{it} \geq 0$, mis omakorda tähendab, et $0 < \xi_{it} \leq 1$, nagu ülalpool kirjeldatud. Sõltuvalt, kas tegemist on tootmisfunktsiooni või kulufunktsiooniga, siis ebatõhususe komponent kas vähendab toodangut või suurendab kulusid. (Stata)

Enamasti kirjanduses on mudel kirja pandud sellisel:

$$y_{it} = \beta_0 + \sum_{j=1}^k \beta_j x_{jit} + v_{it} + s u_{it}$$

kus

y_{it} - i-nda riigi tsiteeringute arv aastal t ,

x_{ji} - i-nda ühiku täheldatud sisendkogused aastal t , (teadus- ja arendustegevuse kapitali- ja tööjõuvaru)

β - parameetrite vektor

u_{it} - mittenegatiivne tehnilise ebatõhususe muutuja aastal t

v_{it} - i-nda riigi juhuslik muutuja aastal t , mis peegeldab statistilise müra mõju

s - tootmisfunktsiooni puhul konstant, mis võrdub 1(kulufunktsiooni puhul $s = -1$) (Stata)

Stohhastilise analüüsi puhul on erinevad autorid aja jooksul täiendanud mudelit. Mudelite erinevused tulenevad suuresti eeldusest, millised jaotused on valitud muutujatele u ja v . Komponentid u ja v on teineteistest sõltumatud muutujad. Et antud töös on vaatluse all paneelandmed, siis töös on mudeliks Battese ja Coelli (1992) stohhastilise piiranalüüsi paneelmudel. Battese ja Coelli (1992) paneelandmete mudel on oma olemuselt küllaltki laiahaardeline, näiteks võimaldab mudel arvesse võtta, et efektiivsus võib ajas muutuda. Stata programm võimaldab kasutada tasakaalustamata paneelandmeid ehk iga riigi kohta võib olla muutujate puhul erinev kogus andmeid (Mastromarco 2008). Valitud mudeli ebaefektiivsuse efekt on modelleeritud järgnevalt, kus u_i komponenti on lõigatud (*truncated*) normaaljaotusega keskvärtusega μ ning konstantse dispersiooniga $u_i = N^+(\mu, \sigma_u^2)$ ning v_i komponent on normaaljaotusega keskvärtusega null ning konstantse dispersiooniga $v_i = N^+(0, \sigma_u^2)$. (Esnar 2005)

Valitud mudel annab maksimaalse tõenäosuse hinnangud mudelis olevatele parameetritele ning ebaefektiivsus on modelleeritud kui:

$$u_{it} = \exp\{-\eta(t - T_i)\} u_i$$

kus

η määrab, kas ebaefektiivsus suureneb või väheneb ajas. Kui $\eta > 0$, siis ebaefektiivsus väheneb ajas ning $\eta < 0$, siis ebaefektiivsus suureneb ajas. Et $t = T_i$ viimasel perioodil, siis viimane periood tootmisüksuse i jaoks sisaldab selle tootmisüksuse ebaefektiivsuse baastaset. Kui $\eta > 0$, siis

ebaefektiivsuse tase väheneb tootmisüksuse baastaseme suunas. Kui $\eta < 0$, siis ebaefektiivsus suureneb baastasemele. (Stata)

2.3 Muutujate kirjeldav statistika

Analüüsi on kaasatud 33 Euroopa riigi paneelandmed vahemikus 2008-2017 ning riigi teadustöö tsiteeringute arvu näitaja vahemikus 2013-2017. Lisaks 28 Euroopa Liidu riigile on analüüsi kaasatud Island, Norra, Šveits, Türgi ja Venemaa.

Tabel 1. Mudelis olevate muutujate kirjeldav statistika

Mudelis olevad muutujad	Vaatluste arv	Keskvärtus	Standardhälve	Miinum	Maksimum
Tsiteeringud	165	347983,000	530847,082	2631,000	3116518,000
Tööjõuvaru	328	114507,000	184312,381	911,000	869772,000
Kapitalivaru	326	21618,000	35194,458	93,000	189802,250

Allikas: Autori arvutused lisa 5 välja toodud andmete põhjal, SciVal andmebaas, Eurostat [rd_p_persocc]

Muutujate kirjeldava statistika põhjal näeme kõikide näitajate standardhälbed on väga kõrged ning kõige kõrgem standardhälve on tsiteeringute arvul. Paljuski on see mõjuda erinevate riikide elanikkonna suurusest, eriti mis puudutab teadus- ja arendustegevuse tööjõuvaru ning tsiteeringute näitajat. Kõige kõrgem tsiteeringute arv on näiteks Suurbritannial ning talle järgnevad Saksamaa, Prantsusmaa, Itaalia, Hispaania ja Holland. Kõige väiksemad tsiteeringute mahud Euroopas on Maltal, Lätil, Islandil, Küprosel ja Eestil.

Et teadus- ja arendustegevuse sisendite mõju avaldub väljundkoguses mõningase aja möödudes (Wang 2007), siis selle tõttu on mudelisse kaasatud viiteajad. Kui Wang (2007) mudelis on väljundiks patentide ja publikatsioonide arv ning mudelis kasutab ta kaheaastast viiteaega, siis tsiteeringute puhul võib kaheaastane viiteaeg lühikeseks jääda. Antud uurimistöo autor koostab analüüsi jaoks neli erinevat mudelit, kus on kasutusel neli erinevat viiteaega. Esimeses mudelid on võetud viiteajaks kaks aastat ning iga järgneva mudeli puhul lisandub viiteajale üks aasta, mis tähendab, et neljandas ehk viimases mudelis on viiteajaks viis aastat. Et tsiteeringute arv on ajas kahanev, siis on kaasatud mudelisse ka igat aastat tähistavad fiktiivsed muutujad.

3. ANALÜÜSI TULEMUSED JA JÄRELDUS

Uurimistöo autor viib stohhastilise piiranalüüsi läbi nelja erineva mudeliga. Erinevuseks mudelite puhul on mudelisse kaasatud viiteajad. Mudelid on tulemustelt on küllalt sarnased: kõik neli mudelit on statistiliselt olulised ning kõigis neljas mudelis sõltumata valitud viiteajast osutub sisenditest nivool 0,05 oluliseks teadus- ja arendustegevuse kapitalivaru. Olulisuse nivool 0,05 jääb teadus- ja arendustegevuse tööjõuvaru esimeste mudelite puhul statistiliselt ebaoluliseks. Kõigis neljas mudelis oli nii tehnilise ebaefektiivsuse komponent (μ) kui ajakomponent (η) statistiliselt olulised. Teadus- ja arendustegevuse tööjõuvarus on muutust näha, kui viiteajaks saab neli aastat. Tööjõuvaru koefitsiendi märk muutub negatiivsest positiivseks ning sisend muutub olulisusenivool 0,1 statistiliselt oluliseks. Viie aastase viitajaga mudelis on mõlemad sisendid nivool 0,05 statistiliselt olulised. Et valitud sisendid muutuvad statistiliselt oluliseks neljanda mudeli puhul ning teadustöö tsiteeringutel on pikk viitaeg enne, kui mõju hakkab avalduma tootmiskõverale, siis selle tõttu on analüüsi aluseks võetud neljas mudel viiteajaga viis aasta. Tabel 2 annab ülevaate neljanda mudeli tulemustest.

Tabel 2. Stohhastilise piiranalüüsi tulemused

Muutuja	Koefitsient
Konstant (standardhälve)	7,812*** (0,485)
Tööjõuvaru (standardhälve)	0,227** (0,097)
Kapitalivaru (standardhälve)	0,387*** (0,105)
2014 (standardhälve)	-0,201*** (0,203)
2015 (standardhälve)	-0,491*** (0,264)
2016 (standardhälve)	-0,925*** (0,331)
2017 (standardhälve)	-1,750*** (0,396)
Mu (standardhälve)	0,930*** (0,172)
Eta (standardhälve)	0,68*** (0,008)
lnsigma2 (standardhälve)	-1,166*** (0,377)
ilgtgamma (standardhälve)	4,131*** (0,427)
Sigma2 (standardhälve)	0,312*** (0,118)
Gamma (standardhälve)	0,984*** (0,007)
Sigma_u2 (standardhälve)	0,307*** (0,118)
Sigma_v2 (standardhälve)	0,005*** (0,001)
Vaatluste arv	165
Riikide arv	33
Wald chi2	3776,32***
Log tõenäosus	108,83

Allikas: Autori koostatud arvutused Stata programmis, lisa 5 välja toodud andmete põhjal, SciVal andmebaas, Eurostat [rd_p_persocc]

Märkused:

1. *, ** ja *** hinnangud on statistiliselt olulised tõenäosusega 90%, 95% ja 99%
2. Lisaks koefitsientidele on tabelis hinnangud parameetritele sigma_v2, sigma_u2, gamma, sigma2, ilgtgamma, lnsigma2 ja mu. sigma_v2 on hinnang σ_v^2 ja sigma_u2 hinnang σ_u^2 . Sigma2 on hinnang $\sigma_s^2 = \sigma_v^2 + \sigma_u^2$ ehk $0,005 + 0,307 = 0,312$. Gamma on hinnang $\gamma = \sigma_u^2 / \sigma_s^2$ ehk $0,307 / 0,312 = 0,984$. Lisaks võib gamma väärtust leida kui pöördlogit funktsioonina ilgtgamma hinnangust ehk $\exp(4,131) / (1 + \exp(4,131)) = 0,984$. lnsigma2 on tuletatud kui $\ln(\sigma_s^2)$ ehk $\ln(0,312) = -1,16$. mu on hinnang μ . (Stata)

Analüüsitava mudeli sisendite koefitsientide suunad on vastavuses majandusteooriaga. Kui suurendada kapitali või tööjõu sisendit, siis selline muutus omab positiivset mõju ka väljundile.

Kahest analüüsi kaasatud sisendist mõjutab toomiskõverat suuremal määral teadus- ja arendustegevuse kapitalivaru. Aastate negatiivne märk kinnitab tõika, et tsiteeringute arv väheneb ajas. Mu ehk hinnang parameetrile μ on statistiliselt oluline ning suurem nullist, mille põhjal võib järeldada, et mudelis valitud jaotuskõver (lõigatud normaaljaotus) on sobilik antud mudeli jaoks (Alem 2018). Parameetrile eta ehk η on 0,68 ehk $\eta > 0$, mis näitab, et ebaefektiivsus väheneb aja möödudes. Parameetrite hinnangud on vägagi sarnased Wang (2007) analüüsi tulemustele. Antud uurimistöö analüüsis suurima tõepära (*maximum likelihood*) hinnangud parameetritele sigma², gamma ja eta on statistiliselt olulised ning nullist suuremad. Analüüs annab sigma² ja gamma hinnanguks väärtused, mis on suuremad kui null ning seega tuleb ümber lükata null hüpotees, et need hinnangud on võrdsed nulliga ning mudelis puudub ebaefektiivsus. Ühtlasi tähendab see tulemus, et tuleb juhuslikke muutujaid v_{it} ja u_{it} arvesse võtta teadus- ja arendustegevuse tulemuslikkuse hindamisel. Gamma hinnanguline suurus jääb vahemikku nullist üheni, mis tähendab, et analüüsi hinnanguline gamma suurus on küllaltki kõrge (0,984) ning saab väita, et tehniline ebaefektiivsus omab suuremat mõju kui statistiline müra ning sama kinnitab ka sigma_u² ja sigma_v² hinnangulise koefitsiendid, kus tehnilise ebaefektiivsuse koefitsient on märksa kõrgem kui statistiline müra koefitsient vastavalt 0,307 ja 0,005. Wang (2007).

Stata programmis stohhastilist analüüsi läbi viies, annab programm vasteks ka nelja erineva mudeli efektiivsuse skoorid. Efektiivsuse skoorid on skaalal nullist üheni ning mida efektiivsem on tootmisüksus, seda lähemal on tootmisüksuse efektiivsuses näitaja ühele. Tabel 3 annab ülevaate efektiivsuse skooride kirjeldavast statistikast.

Tabel 3. Mudelite efektiivsuse skooride kirjeldav statistika

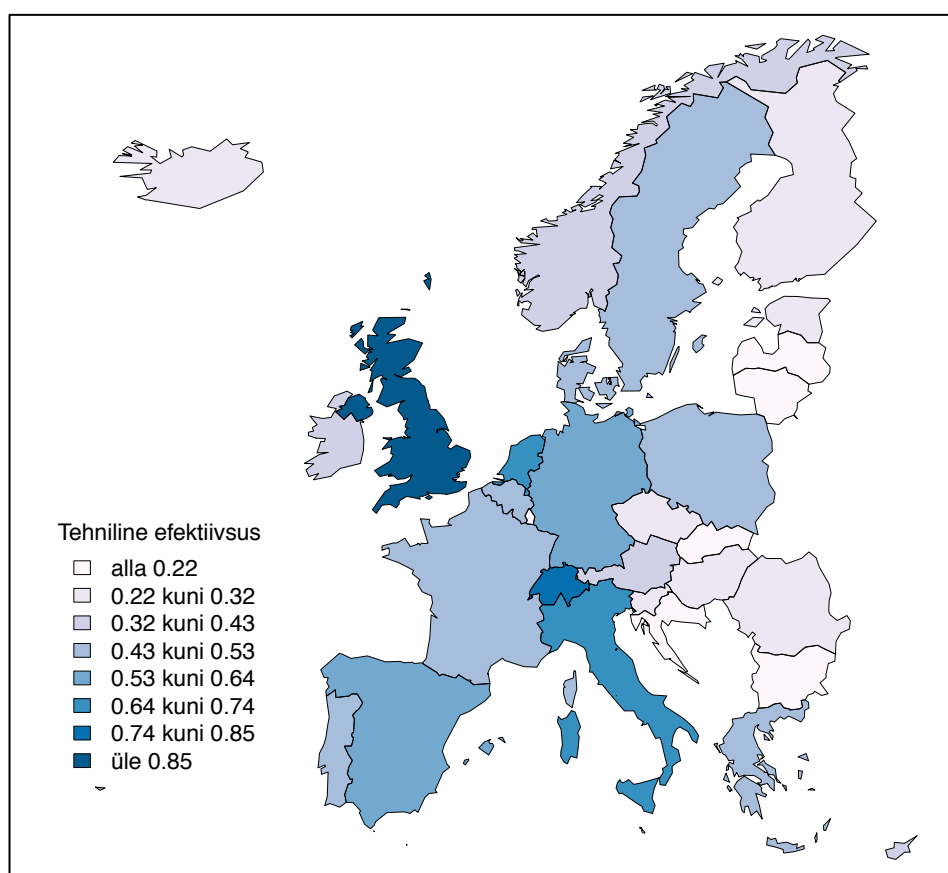
Tehniline efektiivsus	Vaatluste arv	Keskväärtus	Standardhälve	Miimum	Maksimum
Mudel 1	165	0,372	0,198	0,072	0,955
Mudel 2	165	0,384	0,199	0,074	0,956
Mudel 3	165	0,380	0,202	0,082	0,958
Mudel 4	165	0,377	0,207	0,082	0,959

Allikas: autori arvutused lisas 6. välja toodud andmete põhjal

Kirjeldava statistika põhjal võib väita, et mudelite efektiivsused on väga sarnased ning hindamistulemused robustsed.

Vastamaks uurimistöö esimesele uurimisküsimusele, kuidas järjestuvad Euroopa riigid teadus- ja arendustegevuste investeeringute efektiivsuses, järjestab autor Stata programmis arvutatud riikide

keskmised efektiivsused. Nii joonisel kuvatud tehnilise efektiivsuse hinnangud kui ka hilisem korrelatsioon analüüs põhineb neljanda mudeli hindamistulemustel. Neljandas mudelis on iga riigi jaoks arvatud aastate 2013-2017 keskmine efektiivsused. Joonis 1 on koostatud R programmi abil. Mida tumedama värviga on riik kaardil värvunud, seda tehniliselt efektiivsem on riik. Selgub, et kõige kõrgem teadus- ja arendustegevuse investeeringute efektiivsus on Suurbritannial (0,953) ning esi viisikusse mahub Šveits (0,773), Holland (0,709) Hispaania (0,631), ja Itaalia (0,660). Kõige madalam teadus- ja arendustegevuse investeeringute efektiivsus on Lätil (0,114), Venemaal (0,119), Malta (0,139), Luxembourg (0,121) ja Leedul (0,140). Eesti on 33st riigist 18. kohal efektiivsusega (0,313).



Joonis 1. Tehniline efektiivsus Euroopa riikides
Allikas: Autori koostatud joonis lisa 2 välja toodud andmete põhjal

Selleks, et leida vastus teisele uurimisküsimusele, kas teadus-ja arendustegevuse efektiivsuse ja riigi jõukuse vahel leidub seos, viib autor läbi korrelatsioonanalüüsi, mille tulemuste põhjal võib järeldada, et eksisteerib positiivne seos riigi sisemajanduse koguprodukti elaniku kohta näitaja vahel ning teadustöö keskmise efektiivsuse näitaja vahel. Autor koostab kolm korrelatsioonanalüüsi. Valimi suuruseks on 165 ehk 33 riigi keskmised efektiivsused viie aasta jooksul ning nendele riikidele ja valitud ajale vastav SKP *per capita* näitaja. Nii suure valimi

puhul on olulisuse nivool 0,05 kriitiline korrelatsioonikordajaks 0,153. Esimesse analüüsi kaasab autor kõik uurimistöö valimis olevad Euroopa riigid. Selle puhul oli seos positiivne (0,205) ning olulisuse nivool 0,05 on tulemus statistiliselt oluline. Järgmises korrelatsioonanalüüsis eemaldab autor valimist Luxembourgigi, sest Luxembourgigi SKP elaniku kohta on valimis ekstremaalne väärtus. Seose tugevus paranes märgatavalt (0,475). Kolmandas korrelatsioonanalüüsis eemaldab autor Iirimaa sarnasel põhjusel nagu teisest analüüsis Luxembourgigi: Iirimaa SKP elanike kohta ei ole küll nii ekstremaalselt suur kui Luxemburgis, kuid tänu sellele, et rahvusvaheliste suurkorporatsioonide Euroopa peakontorid asuvad Iirimaal (näiteks Facebooki peakontor), on SKP elaniku kohta mõjutatud sellest. Kolmas korrelatsioonanalüüs annab tulemuseks kõige tugevama seoses (0,516). Korrelatsioonanalüüsi põhjal võib väita, et eksisteerib statistiliselt oluline positiivne seos riigi teadus- ja arendustegevuse efektiivsuses ning SKP *per capita* näitajate vahel.

Uurimistöö autor on püstitanud hüpoteesi, et jõukamate Euroopa riikide teadus- ja arendustegevuse investeeringud on efektiivsemad kui vaesemate Euroopa riikide teadus- ja arendustegevuse investeeringud. Kui erialast kirjandust uurida, siis eristub selgelt erinevad majandusruumid, kus arenenud majanduste puhul majandus kasvu tõukab eelkõige investeeringud immateriaalsetesse põhivaradesse. Korrelatsioonanalüüsis on statistiliselt oluline positiivne seos teadus- ja arendustegevuse investeeringute efektiivsuse ja SKP *per capita* vahel, mille põhjal võib hüpoteesi vastu võtta.

KOKKUVÕTE

Arenenud majanduste puhul on immateriaalsete varade investeeringud üheks peamiseks kasvu ajendavaks teguriks (Männasoo *et al.* 2018a). Teadus- ja arendustegevus on üks immateriaalsete varade alaliike. Eeldatakse, et riigid, kes panustavad suuremal määral teadus- ja arendustegevusse, saavutavad ka kõrgema sissetulekutaseme (Wang 2007). Kuid globaliseerivas maailmas, kus kõrge konkurentsi tase eksisteerib nii sise- kui ka välisturgudel, muutub riikide jaoks üha olulisemaks teadus- ja arendustegevuse investeeringute efektiivsus (Cullman *et al.* 2009), kuid kui teadus- ja arendustegevuse ressursse ei kasutata riigis efektiivselt, siis ei too ka lisainvesteeringud teadus- ja arendustegevusse kaasa loodetavat majanduskasvu (Wang 2007).

Antud uurimistöö eesmärgiks oli leida vastus kahele uurimisküsimusele:

1. Kuidas järjestuvad Euroopa riigid teadus-ja arendustegevuste investeeringute efektiivsuses?
2. Kas teadus-ja arendustegevuse efektiivsuse ja riigi jõukuse vahel leidub seos?

Antud uurimistöö hüpoteesiks oli, et jõukamate Euroopa riikide teadus-ja arendustegevuse investeeringud on efektiivsemad kui vaesemate Euroopa riikide teadus-ja arendustegevuse investeeringud.

Leidmaks vastust püstitatud uurimisküsimustele ning hüpoteesile viis antud uurimistöö autor läbi paneelandmetega stohhastilise piiranalüüsi. Hinnatava mudeli aluseks oli Cobb-Douglase tootmisfunktsioon. Analüüs põhineb Wang (2007) artiklis ilmunud mudelit, mida autor kohandas antud uurimistöö jaoks: analüüsi on kaasatud 33 Euroopa riigi paneelandmed vahemikus 2008-2017 ning riigi teadustöö tsiteeringute arvu näitaja vahemikus 2013-2017. Lisaks 28 Euroopa Liidu riigile oli analüüsi kaasatud Island, Norra, Šveits, Türgi ja Venemaa. Mudeli väljundiks oli riigi teadustöö tsiteeringute arv ning mudelisse on kaasatud kaks sisendit, milleks oli teadus- ja arendustegevuse tööjõuvaru ning teadus- ja arendustegevuse kapitalivaru. Et teadus- ja arendustegevuse sisendite mõju avaldub aja möödudes, koostas autor neli mudelit, kuhu oli

kaasatud erinevad viiteajad, esimesse mudelisse oli lisatud kaheaastane viiteaeg ning igasse järgnevasse mudelisse lisandus viiteajale üks aasta ehk neljanda mudeli viiteajaks sai viis aastat. Et neljandas mudelis osutuvad kõik sisendid statistiliselt oluliseks nivool 0,05, võtab autor selle mudeli analüüsi aluseks. Selgub, et nii teadus- ja arendustegevuse kapitalivaru kui ka tööjõuvaru omavad positiivset mõju tootmiskõverale ning kahest sisendist omab suuremat mõju kapitalivaru. Lisaks stohhastilise piiranalüüsi tulemuste põhjal võib väita, et mudelis esineb ebaefektiivsus, nii tehnilise ebaefektiivsuse kui ka statistilise müra näol, kuid neist kahest seletab tehniline ebaefektiivsus suurema osa mudelis olevast ebaefektiivsusest.

Vastamaks esimesele uurimisküsimusele, kuidas järjestuvad Euroopa riigid teadus- ja arendustegevuste investeeringute efektiivsuses, annab stohhastiline piiranalüüs ka efektiivsuse skoorid, mille abil võrdles autor Euroopa riikide järjestust teadus- ja arendustegevuse investeeringute efektiivsuse osas. Efektiivsuse skoorid on skaalal nullist üheni. Mida efektiivsem on riik oma teadus- ja arendustegevuste investeeringutes, seda enam efektiivsus skoor läheneb ühele. Selgub, et Euroopa kõige efektiivsemad riigid on Suurbritannia (0,953) Šveits (0,773), Holland (0,709) Hispaania (0,631), ja Itaalia (0,660). Kõige madalam teadus- ja arendustegevuse investeeringute efektiivsus on Lätil (0,114), Venemaal (0,119), Malta (0,139), Luxemburg (0,121) ja Leedul (0,140). Eesti on 33st riigist 18. kohal efektiivsusega (0,313).

Teisele uurimisküsimusele vastamiseks, kas leidub seos teadus- ja arendustegevuse efektiivsuse ja riigi jõukuse vahel, viis autor läbi korrelatsioonanalüüsi efektiivsuse skooride ja riigi SKP *per capita* näitaja vahel. Selgub, et esineb statistiliselt oluline positiivne seos näitajate vahel, korrelatsioonanalüüs annab seose tugevuseks (0,205). Kui autor eemaldas mudelist ekstremaalsed väärtused, milleks oli Luxemburg ja Iirimaa oma liiga kõrge SKP *per capita* näitaja osas, muutus statistiliselt oluline positiivne seos näitajate veelgi tugevamaks (0,516).

Korrelatsioonanalüüsi tulemuste põhjal saab antud uurimistöös püstitatud hüpoteesi vastu võtta ning seda tulemust kinnitab ka erialane kirjandus, et jõukamad majandused eelistavad võrreldes vaesemate majandustega investeerida rohkem immateriaalsetesse varadesse ning kitsamalt ka teadus- ja arendustegevusse.

SUMMARY

EFFICIENCY OF USING RESEARCH AND DEVELOPMENT RESOURCES IN EUROPEAN COUNTRIES

Grete-Maarja Tött

In developed economies, investments in intangible assets are one of the main drivers of economic growth. Research and development is one of the sub-categories of intangible assets. It has been claimed that countries which invest more intensely in research and development (R&D) are also expected to reach higher levels of income. However, in a globalizing world where high levels of competition exist in both domestic and foreign markets, the efficiency of R&D investments is becoming increasingly more important for all countries. It has been hypothesized that if a country's R&D resources are not used efficiently, that country may be subject to lower growth rates for their R&D investments. The purpose of this research is to find answers to two research questions:

1. How do European countries rank in research and development investment efficiency?
2. Is there a link between R&D efficiency and national wealth?

The hypothesis of this research is that research and development investments in wealthier European countries are more efficient than R&D investments in poorer European countries.

In order to find the answer to the research questions and the hypothesis, I carry out a stochastic frontier analysis using panel data. The model under assessment is based on the Cobb-Douglas production function. I am analysing 33 European countries using data from 2008-2017. In addition to 28 EU countries, Iceland, Norway, Switzerland, Turkey and Russia are included in the analysis. The output of the model is the number of national research citations, and two inputs are included in the model: R&D labor supply and R&D capital stock.

As the impact of R&D inputs will become apparent in time, I will create four models involving different delay times, a two-year delay for the first model, and an extra year is added for each

subsequent model, which means that the fourth model is using five-year delay time. Since in the fourth model, all inputs prove to be statistically significant at the 0.05 level, I will use the fourth model as a base model for the analysis. It turns out that both R&D capital stock and the labor supply have a positive impact on the production curve and that out of the two inputs, R&D capital stock has a greater impact on the production curve. Based on the stochastic frontier analysis results, it can be argued that the model has inefficiencies, both in terms of technical inefficiency and statistical noise, but of these two, technical inefficiencies explain most of the inefficiency in the given model.

To answer the first research question on how European countries are ranked in the effectiveness of R&D investment, the stochastic frontier analysis also provides efficiency scores to compare the ranking of European countries in the efficiency level of their R&D investments. Efficiency scores are presented on a scale from zero to one. The more efficient a country is in its R&D investments, the more the efficiency score approaches to one. It turns out that the most efficient countries in Europe regarding their R&D investments are Great Britain (0.953) Switzerland (0.773), the Netherlands (0.709) Spain (0.631), and Italy (0.660). Latvia (0.114), Russia (0.119), Malta (0.139), Luxembourg (0.121) and Lithuania (0.140) have the lowest R&D efficiency scores. Estonia ranks 18th out of 33 countries with efficiency (0.313).

In order to answer the second research question, whether there is a link between the efficiency of R&D and GDP per capita, I carry out a correlation analysis between efficiency scores and the countries' GDP per capita indicator. Turns out, there is a positive statistically significant link at 0.05 level (0.205). By removing extreme values from the model, namely Luxembourg and Ireland because GDP per capita is artificially too high the link between R&D efficiency and GDP per capita increases (0.516).

Previous empirical literature agrees with this statement: it can be argued that wealthier economies prefer to invest more in intangible assets and, more narrowly, in R&D, compared to poorer economies. The correlation analysis results in a statistically significant positive correlation between the efficiency of R&D investment and GDP per capita, thus I can accept the hypothesis that research and development investments in wealthier European countries are more efficient than R&D investments in poorer European countries.

ALLIKAD

- Aigne, D., Schmidt, P., Knox Lovell, C. (1977). Formulation and estimation of stochastic frontier production function models. - *Journal of Econometrics*, Vol 6, No.1, 21-37 .
- Alem, H. (2018). Effects of model specification, short-run, and long-run inefficiency: an empirical analysis of stochastic frontier models. - *Agricultural Economics- Czech*, Vol.64, No.12, 508–516.
- Andriessen, D. (2003). *Making Sense of Intellectual Capital*. 1st ed. London: Routledge.
- Anselin, L., Varga, A., Acs, Z.(2000). Geographical Spillovers and University Research: A Spatial Econometric Perspective.- *Growth and Change*, Vol. 31, No.4, 501-515.
- Bezat, A. (2009). Comparison of the deterministic and stochastic approaches for estimating technical efficiency on the example of non-parametric dea and parametric sfa methods.- *Metody Ilościowe w Badaniach Ekonomicznych*, Vol. 10, No.1, 20-29.
- Bilbao-Osorio, B., Rodríguez-Pose, A. (2004.) From R&D to Innovation and Economic Growth in the EU. - *Growth and Change*, Vol. 35, No 4, 434-455.
- Breschi, S., Lissoni, F.(2001). Knowledge Spillovers And Local Innovation Systems: A Critical Survey. - *Industrial and Corporate Change*, Vol. 10, No. 4, 975-1005.
- Coccia, M. (2011.) The interaction between public and private R&D expenditure and national productivity. - *Prometheus*, Vol. 29, No. 2, 121-130.
- Cooke, P., Leydesdorff, L. (2006). Regional Development in the Knowledge-Based Economy: The Construction of Advantage. - *The Journal of Technology Transfer*, Vol. 31, No. 1, 5–15.
- Corrado, C., Haltiwanger, J., Sichel, D. (2005.) *Measuring Capital and Technology: An Expanded Framework*, Chicago: University of Chicago Press.
- Cullmann, A., Schmidt-Ehmcke, J., Zloczynski, P. (2009). *Innovation, R&D efficiency and the impact of the regulatory environment: a two stage semi-parametric DEA approach*. DIW Discussion Papers, No. 883, Berlin: Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung (DIW).
- Esnar, K.(2005.) Haiglate efektiivsuse hindamine Eesti näitel.(Magistritöö) Tartu Ülikool Rahvamajanduse instituut. Tartu.

- Falvey, R., Foster, N., Greenaway, D. (2006.) Intellectual Property Rights and Economic Growth. - *Review of Development Economics*, Vol. 10, No. 4, 700-719.
- González, E., Gascón, F. (2004). Sources of productivity growth in the Spanish pharmaceutical industry (1994-2000). - *Research Policy*, Vol. 33, No. 5, 735-745 .
- Hall, B. H. (2009.) Measuring the Returns to R&D: The Depreciation Problem. *NBER Working Paper No. 13473*.
- Haridus- ja Teadusministeerium, 2014. *Eesti teadus- ja arendustegevuse ning innovatsiooni strateegia 2014–2020: Teadmistepõhine Eesti*, Tartu: Haridus- ja Teadusministeerium.
- Männasoo, K., Hein, H., Ruubel, R. (2018b). The contributions of human capital, R&D spending and convergence to total factor productivity growth. - *Regional Studies*, Vol. 52, No. 12, 1598-1611.
- Kaplan, R. S., Norton, D. P. (2004). *Strategy maps: converting intangible assets into tangible outcomes*. Boston: Harvard Business School Press.
- Männasoo, K. et al., (2018a). *Kas ettevõtete investeerinugd jõuavad tootlikkuseni*, Tallinn: Arenguseire Keskus.
- Mastromarco, C. (2008). *Stochastic frontier models*. Kättesaadav: <https://pdfs.semanticscholar.org/ed7e/5bcd631ecbc15c727da47463d40319583ec4.pdf>, 15.05.2019
- Meeusen, W. & van Den Broeck, J. (1977). Efficiency Estimation from Cobb-Douglas Production Functions with Composed Error. - *International Economic Review*, Vol.18, No. 2, 435-444.
- OECD. (2012) Science and Technology
[Võrgumaterjal] http://www.oecd.org/sdd/08_Science_and_technology.pdf (23. märts 2018)
- Penman, S. H. (2009). Accounting for Intangible Assets: There is Also an Income Statement.- *Abacus*, Vol. 45, No. 3, 358-371.
- Riigiteataja. (2011). RTJ 5 materiaalne ja immateriaalne põhivara.
[Võrgumaterjal] <https://www.riigiteataja.ee/aktalisa/3100/1201/2005/RTJ%205.pdf>. (24. märts 2019).
- Roth, F., Thum, A.-E. (2013). Intangible Capital and Labor Productivity Growth: Panel Evidence for the EU From 1998–2005. - *Review of Income and Wealth*, Vol. 53, No. 3, 486-508.
- Stata. Xtfreier — Stochastic frontier models for panel data
[Võrgumaterjal] <https://www.stata.com/manuals13/xttfreier.pdf> (11 mai 2019)
- van Ark, B., Hao, J. X., Corrado, C., Hulten, C. (2009.) Measuring intangible capital and its contribution to economic growth in Europe. *EIB papers*, Vol. 14, No.1, 62-93.

- Vogel, J. (2013). The two faces of R&D and human capital: Evidence from Western European regions. - *Papers in Regional Science*, Vol. 94, No. 3, 525-551.
- Volkov, D. & Garanina, T. (2007). Intangible Assets: Importance in the Knowledge-Based Economy and the Role in Value Creation of a Company. - *The Electronic Journal of Knowledge Management*, Vol. 5, No. 4, 539 - 550.
- Wakelin, K. (2001). Productivity growth and R&D expenditure in UK manufacturing firms. - *Research Policy*, Vol. 30, No. 7, 1079-1090 .
- Wang, E. C. (2007). R&D efficiency and economic performance: A cross-country analysis using the stochastic frontier approach. - *Journal of Policy Modeling*, Vol. 29, No. 2, 345-360.
- World Bank, 2016. Research and development expenditure (% of GDP).
[Võrgumaterjal]<https://data.worldbank.org/indicator/GB.XPD.RSDV.GD.ZS?end=2016&locations=Z4-1W-US-EU-ZA-8S-B8&start=2013> (12 mai 2018).

LISAD

Lisa 1. arvutuste sisendandmed

Muutuja	Allikas
Tsiteeringute arv	SciVal andmebaas
Teadus- ja arendustegevuse töötajate arv	Eurostat, [rd_p_persocc]
Teadus- ja arendustegevuse kulutused	Eurostat, [rd_e_gerdtot]
Kapitali osakaal	The Conference Board Total Economy Andmebaas, Growth Accounting and Total Factor Productivity, 1990-2018
SKP <i>per capita</i>	World Bank andmebaas, https://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.MKTP.PP.KD

Lisa 2. Mudelite keskmised efektiivsused

iso	Mudel 1 keskmine efektiivsus	Mudel 2 keskmine efektiivsus	Mudel 3 keskmine efektiivsus	Mudel 4 keskmine efektiivsus
GBR	0,949346	0,950502	0,951705	0,9529389
CHE	0,705605	0,729779	0,753816	0,7733554
NLD	0,660191	0,671181	0,689793	0,7087982
ITA	0,651396	0,653865	0,656766	0,6595219
ESP	0,678798	0,687783	0,65605	0,6308482
DEU	0,50111	0,505725	0,534613	0,5570429
BEL	0,469272	0,485032	0,507446	0,5230886
DNK	0,496296	0,509655	0,514746	0,5144363
FRA	0,468079	0,469571	0,478729	0,4857923
POL	0,505704	0,53779	0,496054	0,4682669
GRC	0,545991	0,558733	0,494854	0,4543311
SWE	0,380996	0,386802	0,425832	0,4538345
PRT	0,465174	0,479712	0,452811	0,4335805
CYP	0,38532	0,410232	0,404919	0,3967583
NOR	0,326105	0,334962	0,357535	0,3733888
IRL	0,305815	0,320094	0,343278	0,3654746
AUT	0,284296	0,294785	0,317931	0,3346795
EST	0,302181	0,329259	0,321261	0,3126663
FIN	0,280079	0,283068	0,296481	0,3039527
CZE	0,291651	0,307555	0,298647	0,2915373
TUR	0,243239	0,258601	0,26701	0,2774266
ROU	0,308055	0,315899	0,277188	0,252327
HUN	0,265875	0,27713	0,261208	0,2522115
SVN	0,222721	0,236895	0,228971	0,2236423
ISL	0,211697	0,218284	0,221802	0,2220557
SVK	0,251325	0,273358	0,241519	0,217894
HRV	0,250443	0,255978	0,232287	0,2150202
BGR	0,188457	0,200397	0,172542	0,1530588
LTU	0,157118	0,167686	0,152643	0,1397423
MLT	0,138628	0,152728	0,144808	0,139415
LUX	0,098762	0,102374	0,113124	0,1209283
RUS	0,157075	0,155626	0,133579	0,1193456
LVA	0,137131	0,14537	0,128358	0,1143068

Lisad 3-7

Viidatud lisad 3-7 on leitavad lingilt:

https://drive.google.com/open?id=1xiSH81-qp54x9vNOFS2_CQagnj5aT31T