

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
Majandusteaduskond
Majandusanalüüsi ja rahanduse instituut

Indrek Viires

**MITTEPARAMEETRILINE TOOTMISEFEKTIIVSUSE
HINDAMINE: RIIKIDE VÕRDLEVUURING**

Magistritöö

Õppekava Rakenduslik Majandusteadus, peeriala majandusanalüüs

Juhendaja: Professor Kadri Männasoo

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 11 736 sõna sissejuhatusest kuni kokkuvõtte lõpuni.

Indrek Viires

(allkiri, kuupäev)

Üliõpilase kood: 176557TAAM

Üliõpilase e-posti aadress: indrek.viires@gmail.com

Juhendaja: Professor Kadri Männasoo:

Töö vastab kehtivatele nõuetele

.....

(allkiri, kuupäev)

Kaitsmiskomisjoni esimees:

Lubatud kaitsmisele

.....

(nimi, allkiri, kuupäev)

1. SISUKORD

LÜHIKOKKUVÕTE	4
SISSEJUHATUS	5
1. TOOTLIKKUSE JA EFEKTIIVSUSE OLEMUS	8
1.1. Tootlikkuse tõlgendamine ja rakendamine majanduses	8
1.1.1. Tootlikkusindeksid	11
1.2. Efektiivsus	12
2. UURIMISE METOODIKA	15
2.1. Mitteparameetrilise andmeraja analüüsi areng	15
2.2. Mitteparameetriline efektiivsuse hindamine	16
2.2.1. Mitteparameetrilised efektiivsuse hindamise meetodikad ja lähenemised	21
2.2.2. Superefektiivsus	22
3. EMPIIRILINE ANALÜÜS	24
3.1. Andmed ja valimi kirjeldus	24
3.2. Kõrge, keskmise ja madala arengutasemega riigigruppide võrdlus	26
3.3. Tulemused	30
3.4. Järeldused	43
KOKKUVÕTE	48
SUMMARY	51
KASUTATUD ALLIKATE LOETELU	54
LISAD	57
Lisa 1. Töös kasutatud mõistete tabel	57
Lisa 2. Diferents-diferents hinnangu regressiooni tulemused	58
Lisa 3. Wilcoxon'i rank sum testide tulemused	58
Lisa 4. R kood	59

LÜHIKOKKUVÕTE

Uurimistöö kajastab efektiivsuse ja hindamise metoodikat tuginedes Farrell'i poolt loodud lähenemisele, millest on nüüdseks välja kujunenud andmeraja analüüs (DEA – *data envelopment analysis*). Eraldiseisvalt vaatleb töö kahe lähedalt seotud mõiste, efektiivsus ja tootlikkus sisu ning lähenemisi nendega tegelemiseks. Töö leiab, millised riigid paiknevad maailma tehnoloogilisel piirkõveral, kuidas erinevatel arengutasemetel paiknevad riigid oma sisendite struktuurilt sarnanevad ja millised tegurid veavad erinevatel arengutasemetel tootlikkuse arengut.

Käesolev töö hindab andmeraja analüüsi meetodil maailma tehnoloogilise piirkõvera ja riikide efektiivsuse selle suhtes 2003. ning 2014. aasta andmete põhjal. Lisaks efektiivsusele uurib töö riikide tootlikkuse arengut Malmquist'i indeksi kaudu dekomponeerides selle tehnoloogilisest muutusest ja efektiivsuse muutusest tulenevaks osaks. Maailma tootmise piirkõvera hindab DEA tegemata eeldusi tootmisfunktsiooni kuju, või turustruktuuri osas, kõik tulemused on otseselt saadud andmete ekstrapoleerimisest.

Tulemuste vaatlus toimub kogu valimi lõikes ja erinevate arengutasemete kaupa sõltuvalt kapitalitöõjõu suhte tasemest. Tulemused kajastavad globaalsete efektiivsusnäitajate ühtlustumist ja tootlikkuse kasvu, mis madalal- ja keskmisel arengutasemel tõukub üleüldisest tehnoloogia arengust ning kõrgel arengutasemel parima tehnoloogia levikust aina rohkematesse valdkondadesse.

Võtmesõnad: andmeraja analüüs, Malmquist'i indeks, tootlikkus, efektiivsus

SISSEJUHATUS

Uurimistöö tegeleb mitteparameetrilise efektiivsuse hindamisega, rakendades andmeraja analüüsi (DEA – *data envelopment analysis*) riikide tootlikkuse modelleerimisel. Metoodika rakendab Farrell'i maksimaalselt efektiivse tehnoloogia piirkõverat, leides riikide asukohad antud kõvera suhtes. Andmete töötlus ja analüüs viiakse läbi R tarkvaras, milleks kasutatakse peamiselt Bogetoft'i ja Otto (2011) loodud paketti „Benchmarking“. Töös modelleeritakse maailma tehnoloogiline piirkõver ehk parimale sisendite ja väljundite vahekorrale tuginev piirjoon, mis kirjeldab optimaalset empiirilisel vaadeldud tootmisviisi erineva majandusarengu tasemega riigigruppides vastavalt kapitali ja tööjõu sisendite vahekorrale.

Farrell'i (1957) metoodika pani aluse mitmetegurilise efektiivsuse hindamise valdkonna arengule, kuid on rakendustes tõeliselt kanda kinnitanud alles jooksvat aastatuhandel. Piirkõver tähistab parimat efektiivsuse standardit antud sisendite korral ning võimaldab võrrelda valimis olevate riikide suhtelist asukohta hinnatud piirkõvera suhtes, et seeläbi anda hinnang nende efektiivsusele. Stohhastilisest piiranalüüsist (SFA – *Stochastic Frontier Analysis*) erineb DEA-l põhinev lähenemine eelkõige kahest aspektist: mudeli kohta tehakse suhteliselt vähe eeldusi, peamiselt tuginetakse üksnes empiiriliste vaatlusandmete ekstrapoleerimisele, mis muudab tulemused sõltumatuks võrreldavate üksuste, siinses töös riikide, vahelistest erinevustest turustruktuuri ja turutõrgete osas, aga ka vigadest mudeli spetsifikatsiooni koostamisel. DEA tulemused hinnavad kaugust maailma parimatest, mitte keskmisest sooritusest, mille alusel on mõistlikum teha sisukaid järeldusi tootlikkuse kohta.

Uurimisteema käsitleb efektiivsuse mõõtmiseks ja dekomponeerimiseks mitteparameetrilist andmeraja analüüsi ja selle rakendusi tänapäeva globaalsel tiheda konkurentsiga majandusmaastikul. Ressursside piiratuse kontekstis on tähtis keskenduda parimate valikute tegemisele, seega peab iga riik mõistma tegureid, millest tõukub majanduskasv. Muuhulgas uurib sinne töö, kuidas mõjutavad erinevad sisendtegurid ja konvergensitase tootlikkust erineva majandusarengu tasemega riikide gruppides.

Töö peamine hüpotees on järgmine: erinevatel majandusarengu astmetel paiknevate riikide jaoks on tootlikkuse arengut vedavate komponentide kaal erinev. Hüpoteesi kontrollimiseks tuleb hinnata tootlikkuse piirkõver ning erinevate riikide paiknemine leitud kõvera suhtes.

Et leida lahendused, mida sinne töö otsib, peab vaadeldavat piiritlema. Seetõttu on tarvilik sätestada selged küsimused, mis taotlevad uurimistöö eesmärgi täitmist. Konkreetsed uurimisküsimused, millele käesolev uurimistöö vastab on järgmised:

1. Millised riigid asuvad tootlikkuse andmeraja piirkõveral?
2. Milline on erinevus ressursikasutuses maailma jõukaimate ja konvergeeruvate riikide vahel?
3. Millised faktorid veavad erinevatel arenguastmetel tootlikkust?
4. Millised riigid ja millisel viisil sarnanevad või erinevad tootlikkust vedavate komponentide struktuuris?

Lisaks uurib töö ka tugevatesse majandusühendustesse ja -liitudesse kuulumise mõju konvergenti soodustamise kontekstis, mida hinnatakse siinses töös võrreldes Euroopa Liidu 2004. aasta laienemise käigus Euroopa Liiduga liitunud riikide tootlikkuse kasvu nendega võrreldaval arengutasemel paiknevate riikidega, mis Euroopa Liitu ei kuulu.

Efektiivsust hindava uuringu korrektseks läbiviimiseks peab olema paika pandud kolm elementi, mida tehakse töö tulemustele eelnevates peatükkides. Kriitilisteks elementideks on (Førsund 2018, 10):

1. efektiivsusmõõdikute definitsioonid;
2. meetodika efektiivsusmõõdikute arvutamiseks;
3. andmed sisendite ja väljundite kohta, mis sobivad vaadeldava tegevuse efektiivsuse mõõtmiseks.

Töö esimene peatükk lahkab tootlikkuse olemust, et luua taustsüsteem edasise töö mõistmiseks. Välja on toodud tootlikkuse ja efektiivsuse erinevused ja defineeritud tootlikkuse mõiste. Seejärel keskendub peatükk efektiivsusele ning efektiivsusmõõdikute defineerimisele.

Töö teine peatükk annab lühiülevaate andmeraja analüüsi alase kirjanduse tekkest ning arengust. Seejärel avab peatükk DEA modelleerimise telgitagused, arutades hinnatava tehnoloogia, efektiivsuste ja nende muutumise tehnilisi ja teooriale tuginevaid aluseid. Lahti on harutatud efektiivsusmõõdikute ja Malmquist'i indeksi sisu ning arvutusmeetodika koos aspektidega, mida nende kasutamisel peab arvestama koos eeldustega mudeli koostamisel.

Töö kolmas peatükk algab riikide valimi kirjeldusega, mille käigus on esitatud kasutatavate muutujate sisu, valimi moodustamise alused ja kirjeldatud esialgse valimi kompositsioon. Järgnevalt keskendub peatükk tulemuste esitamisele ja analüüsile. Kõigepealt on kirjeldatud valimist erindite eemaldamise protsess, misjärel on esitatud lõplike DEA mudelite visualiseering ja sisu. Seejärel liigutakse tulemuste dunaamilise poole juurde, vaadeldes näitajate muutusi, kasutades lisaks efektiivsusmõõdikutele ka Malmquist'i indeksit. Viimase osana tulemustest on kirjeldatud tulemuste vaatlus rühmiti, kus valim on jagatud osadeks arengutasemeti. Lisaks on kajastatud Euroopa Liiduga ühinemise alusel koostatud osavalimi tulemused kõrvutatuna võrdlusriikidega väljaspool Euroopa Liitu. Kolmas peatükk sisaldab ka tulemuste analüüsi, mis süveneb saadud tulemuste sisusse ja püüab leida tulemustele põhjendusi koos järeldustega, millega arvestada tulevaste riiklikul tasemel tehtavate otsuste tegemisel.

Töös leitavad võrdlevanalüüsi tulemused ütlevad ausalt, kas tajutav tootlikkuse paranemine on tulenenud üleüldisest globaalsest arengust, või on riiklikul tasandil tehtud tarku otsuseid, mis on viinud lähemale tehnoloogilisele piirkõverale ja loonud jätkusuutlikuma, konkurentsivõimelisema ja igati parema majanduskeskkonna.

1. TOOTLIKKUSE JA EFEKTIIVSUSE OLEMUS

Käesolev peatükk kajastab kahte lähedalt seotud mõistet: tootlikkus ja efektiivsus, nende tähendusi ja rakendusi majandusteaduslikus kontekstis. Tootlikkus ja efektiivsus on tihtipeale mõisted, mida kasutatakse sünonüümidena, kuid tegelikult nad seda ei ole. Seega on oluline mõlemad terminid täpselt defineerida ja piiritleda.

Tootlikkus peegeldab agregeeritud väljundi kogust, mis lisandub ühe ühiku agregeeritud sisendi rakendamisest tootmises, sõltumata potentsiaalsest arenguruumist, mis otsustusüksusel on. Tootlikkus on positivistlik hinnang, mis kirjeldab olukorda ainult nii nagu ta on. Efektiivsus on tase, mille ulatuses rakendatakse potentsiaalset tootmisvõimekust, ehk viis kuidas kasutatakse ära oma olemasolevaid ressursse. Seotud mõiste ebaefektiivsus on seega erinevus või jääkliige tegeliku ja optimaalse opereerimise vahel, millest viimane määrab ära ka tehnoloogilise piirkõvera. Efektiivsus on normatiivne hinnang, mis võrdleb tegelikku olukorda parima võimalikuga. Suur erinevus tootlikkuse ja efektiivsuse vahel seisneb näitajate dünaamika hindamises, tootlikkuse muutus on palju üldisem ja kattub efektiivsuse muutusega vaid osaliselt. (Sickles, Zelenyuk 2019, 97–98) Tootlikkus ja efektiivsus on kaks erinevat ideed, mis mõlemad põhjendavad sama asja – vaadeldava iseseisva majandusüksuse sooritust. Kirjanduses, mis käsitleb efektiivsuse ja tootlikkuse hindamist, nimetatakse selliseid üksuseid otsustusüksusteks (DMU – *decision-making-units*) (Bogetoft, Otto 2011, 81).

1.1. Tootlikkuse tõlgendamine ja rakendamine majanduses

Tänapäeval on tootlikkuse olulisus muutumas aina aktuaalsemaks, sest riigid on jõudmas arengutasemeile, kus kehtib kahanev mastaabisääst ehk iga järgnev ühik sisendeid loob aina väiksemas ulatuses väljundi kasvu. See motiveerib nii tootjaid kui poliitikuid vaatama innovatsiooni ja paremate tehnoloogiate poole, et hoida majandust kasvavana ka olukorras, kus ressursse napib. Hall'i ja Jones'i (1999) tulemused rõhutavad tootlikkuse võtmerolli, näiteks esines nende töös USA ja Nigeri vahel 35-kordne erinevus tööjõu tootlikkuses. Erinev kapitaliintensiivsus kahe riigi vahel panustas eelmainitud näitajasse faktoriga 1.5, erisused hariduse omandamises panustasid

faktoriga 3.1 ja ülejäänud tuli tootlikkusest faktoriga 7.7. (Hall, Jones 1999, 83) Taolised tulemused viitavad tõsiasjale, et üldjoontes on tootlikkus ja efektiivsus oma olulisuselt juba möödunud sisendite panusest, tendents, mis oodatavasti aina süveneb. Tänapäevaks on tootlikkuse kasv esmatähtis Euroopa arenenud majandustele, kui nad soovivad konkureerida USA ja teiste suurte majandusjõududega maailmaturul (Männasoo *et al.* 2018, 1598).

Tootlikkuse mõõtmise juured ulatuvad majanduskasvu arvestuse teooriani (*growth accounting approach*), millele pani aluse Robert Solow (1957), kes sätestas, et sisemajanduse koguprodukti (SKP) kasvumäär koosneb sisendite kaalutud kasvumääradest, mille kaalud tulenevad osalisest sisendeile vastavast mastaabielasticusest ja tehnoloogilisest arengust. Muidugi olid sellisel lihtsustatud eeldusel omad puudused: sobivus vaid ühe väljundiga konteksti; eeldus, et kõik vaadeldavad üksused on täielikult efektiivsed; uute tehnoloogiate Hicks'i neutraalsus ehk sisendite olulisuse muutumatuna püsimine uute innovatiivsete tehnoloogiate kasutuselevõttus; sisenditele vastavate mastaabielasticuste teadmine; püsiva mastaabisäästu eeldus mudelile (Sickles, Zelenyuk 2019, 101). Ükski neist ei ole enamasti reaalses elus paikapidav, mis soosis tootlikkusest mõtlemise suuna edasist arengut. Tootlikkust on võimalik hinnata sisendeid minimeerivast ja väljundeid maksimeerivast seisukohast, käesolev töö tegutseb väljundipõhises kontekstis. Kõige üldisemal kujul on mitme sisendi ja ühe väljundiga mudeli väljundipõhine tootlikkus matemaatiliselt defineeritud kui (*Ibid.*, 97):

$$MFP = \{y/Q_i(x) | x \in \mathbb{R}_+^m\} \quad (1)$$

kus

MFP – koguteguritootlikkus (*multi-factor-productivity*.)

y – väljund

$Q_i(\cdot)$ – on mingi funktsioon, mis sobivalt agregeerib sisendite vektorid positiivseks skalaariks

x – sisend

\mathbb{R}_+ – mittenegatiivsete reaalarvude hulk

m – sisendite arv

Kuigi tootlikkuse kontseptsioon on üheselt mõistetav, tekivad empiirilisel analüüsil mitmed probleemid. Tihtipeale on, võrreldes makrotasandiga, mikrotasandi andmeid kasutades võimalik vastata rohkematele küsimustele ja analüüs paikneb reaalse otsuste tegemise tasandile lähemal, kuid sellega kaasnevad sageli mõõtevead ja kaheldavus andmete usaldusväärsuses, kajastades aina vähem efektiivsust ja rohkem mõjuvõimu kohalikul turul. Lisaks esinevad traditsioonilistes lähenemistes probleemid andmete agregeerimises, kus peab arvestama *a priori* sätestatud kaaludega, mis ei pruugi olla tõesed. (Syverson 2011, 330–331) Ühe otsustusüksuse tootlikkuse

tasandil mängivad rolli ka mõjurid, mida riikide kontekstis on keeruline eraldiseisvalt mõõta. Sellisteks otsustusüksuse sisesteks mõjuriteks on rakendatavate juhtimismeetodite kvaliteet agregeeritavate mikrotasandil, tööjõu ja kapitali kvaliteet, teadus- ja arendustegevuse roll ühiskonnas, inimeste õppimisvõime, toodete innovatsioon ja tootmisüksuste struktuuri muutused. Välised mõjurid on teadmiste ülekanded (*knowledge spill-overs*) teistest riikidest, konkurents, regulatiivsed aspektid ja paindlikud sisenditurud. (*Ibid.*, 335–357) Paratamatult tuleb mudelite koostamisel teha piisavalt lihtsustusi ja hõlmata nende mõjurite spetsiifikat teistesse muutujatesse ulatuses, mida võimaldavad olemasolevad andmed.

Riigid, mis kuuluvad tugevatesse majandusühendustesse, näiteks Euroopa Liitu, omavad suhteliselt kiiremaid tootlikkuse kasvumäärasid. Probleem liiga suurte majandusühendustega tuleneb aga heterogeensuse vähendavast mõjust keskmisele väärtusele, mis toob kasvumäärad alla kõikide osalejate jaoks. Majandused, mis juba osalevad tugevates majandusühendustes, keelduvad *ceteris paribus* oma liikmeks vastu võtmast uusi riike, kes keskmist väärtust vähendaksid. (Quah 1997, 14) Riigi tasemel on oluline omada tugevat sotsiaalset infrastruktuuri, mis soosib kõrget tööjõu tootlikkust, loob majanduskeskkonda, mis toetab tootlikke tegevusi ja julgustab kapitali akumulatsiooni, oskuste omandamist, innovatsiooni- ja arendustegevust ning tehnoloogia ülekandumist (Hall, Jones 1999, 84). Nimetatud tingimuste täitmisel on hõlpsam luua sidemeid riiklike majandusühendustega, mis võimendaksid liikmesriikide tootlikkuse kasvu.

Konvergensiteooriast tulenevalt (β -konvergens) sõltub konvergensti kiirus esialgselt kaugusest piirkõverast. Kumar ja Russell (2002, 529), paraku, ei leidnud seost konvergensti kiiruse ja tootlikkuse esialgse taseme vahel ning tõid välja, et nii majanduskasvu kui bipolaarset rahvusvahelist divergensti veab põhiliselt kapitali süvenemine tootmissisendite kontekstis. Sama töö tulemused leiavad, et kõrge kapitaliseeritusega riigid on valdavalt ka kõrge sissetulekuga elaniku kohta (*income per capita*). Sellest järeldub, et märkimisväärne tehnoloogiline areng kõrge kapitali-tööjõu suhte puhul soosib peamiselt kõrge sissetulekutasemega riike. See ei olegi niivõrd üllatav, kui eeldada, et tehnoloogiline innovatsioon leiabki peamiselt aset just kõrge kapitaliseeritusega riikides. (*Ibid.*, 539–540)

Riigi tootlikkuse kasv pakub täiendavaid võimalusi edasiseks arenguks, loob ettevõtlikke ja paremal järjel ühiskondi, annab võimalusi astuda majanduskoostöösse ja –ühendustesse teiste riikidega, mis looksid sünergiat ja kiirendaksid mõlemapoolset arengut veelgi, ning rajab teed jätkusuutliku tulevikuni, vastates heaolu kasvu ootustele.

1.1.1. Tootlikkusindeksid

Praeguseks on tootlikkuse hindamine muutunud paljuski maksimeerimisülesandest indeksipõhiseks. Geniaalse lahenduse indeksipõhiseks mõõtmiseks pakkus välja Malmquist (1953), kelle teguripõhine indeks sidus kaks vektorit ükskõiksuskõveraga radiaalsel viisil, luues Malmquist'i väljundi- ning sisendikoguse indeksi (Sickles, Zelenyuk 2019, 106). Nüüdseks on nendest välja arenenud tootlikkuse indeksipõhises mõõtmises enimkasutatav Malmquist'i tootlikkuse indeks (siinses töös edaspidi lihtsalt Malmquist'i indeks), mille standardkuju lõi Caves, Christensen ja Diewert (1982). Malmquist'i indeks ei võrdle väljundeid eraldiseisvalt sisenditest, nagu teevad teised tootlikkuse indeksid, vaid vaatleb neid koos. Sisendi-väljundi paarid ei ole oma tekkelt eraldiseisvad, vaid esinevad alati koos ja see on struktuur, mida on mõistlik alles hoida ka arvutuste käigus. (Sickles, Zelenyuk 2019, 111) Malmquist'i indeks ei tee piiravaid eeldusi ja ei nõua täielikku efektiivsust. Tehnoloogilise arengu komponent Malmquist'i indeksis on võrdne suhtega Solow majanduskasvu arvestuse koguteguritootlikkusest hilisema perioodi tehnoloogia kõrvutamisel varasema perioodi tehnoloogiaga ehk tegu on Solow kogufaktoritootlikkusega indeksi kujul (*Ibid.*, 128).

Teine laialt kasutatust leidnud tootlikkuse indeks on Hicks-Moorsteen'i indeks, mis on defineeritud kui Malmquist'i väljundi ja sisendi indeksite suhe, mistõttu saab selle kaudu esitatavat tootlikkuse muutust mitme sisendi ja väljundiga kontekstis tõlgendada kui väljundite kasvumäära jagatuna sisendite kasvumääraga (Mizobuchi 2017, 168–169). Mizobuchi (2017) kajastab ka tõsiasja, et pideva mastaabisäästu ja Hicks'i neutraalsuse tingimustes on väljundit maksimeerivad Malmquist'i ja Hicks-Moorsteen'i indeksid võrdsed, kuid lõdvendatud mastaabisäästu eelduse tingimuse puhul see enam nii ei ole. See on ka mõistetav, arvestades, et nii Malmquist'i kui Hicks-Moorsteen'i indeks tuginevad sarnasele logaritmilistele erinevustele põhinevale arvutuslikule lähenemisele.

Veel üks populaarne tootlikkuse kasvu mõõtev indeks on Fisher'i tootlikkuse indeks, mis kajastab Fisher'i väljundi ja sisendiindeksite suhet (*Ibid.*, 177) ning erineb Malmquist'i indeksist ka oma arvutusliku meetoodika poolest, olles Laspeyres'i ja Paasche indeksite geomeetriline keskmine (Diewert 1992, 212). Selle kasutamine nõuab konkurentsipõhist hindade kujunemist ja otsustusüksuse pideva või kahaneva mastaabisäästu tingimusel toimimist (*Ibid.*, 243).

1.2. Efektiivsus

Hindamaks, millised riigid paiknevad tootmisfunktsiooni piirkõveral ja kuidas erineb ressursikasutus maailma jõukaimate ning konvergeeruvate riikide vahel, peab rakendama mingit ühtset mõõdikut, mis ei oleks mõjutatud riiklikest eripäradest ja võimaldaks positsioneerida kõikide vaatluste funktsionaalsuse hõlpsalt tõlgendataval tasandil. Lahendus sellele on kasutada laialt levinud, kuid tihti ka erinevalt tajutud mõõdikut, milleks on efektiivsus. Efektiivsus on täielik, kui olemasolevatest sisenditest on saadud maksimaalne võimalik väljund või vajamineva väljundi tootmiseks kasutatakse minimaalselt sisendeid ehk tegu võib olla kas väljundit maksimeeriva või sisendeid minimeeriva efektiivsusega. (Ubago Martínez *et al.* 2018, 728-729). Täpsemalt kasutatakse siinses uurimistöös väljundi maksimeerimisele suunatud Farrell'i efektiivsust, mis on kõige laialdasemalt kasutatav lähenemine mõõtmaks efektiivsuse taset mitme sisendi ja väljundiga kontekstis, ning selle mõtte on leida, kas on võimalik suurendada väljundeid ilma sisendeid muutmata (Bogetoft, Otto 2011, 26). Seega on Farrell'i efektiivsus loogiline valik nii oma võrreldavuse, lihtsasti tõlgendatavuse kui ka teooria kättesaadavuse tõttu.

Farrell'i ajendas oma mõõdiku arendamiseks varasema hea alternatiivi puudus. Ajalooliselt peeti pikka aega piisavaks mõõta tööjõu keskmist tootlikkust ja kasutada seda efektiivsuse mõõdikuna. Keskmise tootlikkuse alusel leitud efektiivsusmõõdik on aga juba eos mitterahuldav, sest ignoreerib kõiki sisendeid peale tööjõu. Taolise lähenemise rakendus on aga niivõrd laialdane, et omab nüüdseks kultuslikku mõju riikide majanduspoliitikaile. (Farrell 1957, 253) Farrell'i efektiivsusmõõdik on mõeldud hindamaks saavutusi või säästva ressursikasutuse võimalusi iga otsustusüksuse jaoks, arvestades iga üksuse olemasolevaid võimalusi. Tegu on mõõdikuga, mis kirjeldab kaugust parimast võimalikust tootlikkusest, kuid mitte tingimata suunast, kuhu riigipoolne initsiatiiv soovib suunduda. (Charnes *et al.* 1978, 443) Vaatluste järjestamine Farrell'i efektiivsuse alusel on seega võimalik piiratud määral. Isegi juhtudel kui kaks üksust ei ole otseselt teineteisega võrreldavad, on Farrell'i efektiivsus ikkagi tulemuslikkuse mõõdik ja kõrge Farrell'i väljundipõhine efektiivsusnäitaja viitab suurele arengupotentsiaalile. Kriitiline on igasuguse võrdluse juures meeles pidada, et tegu ei ole tavalise järjestamisega, kus kõik võistlevad kõigiga, „vaid olukord sarnaneb pigem hobuste võiduajamisele või golfi, kus on kasutusel händikäpid.“ (Bogetoft, Otto 2011, 29) Probleem, mida Farrell'i efektiivsus seega lahendab, seisneb kõikide olemasolevate andmete kaasamises, pakkumaks ühest näitajat, mis võrdleb vaatluse efektiivsust parima reaalselt eksisteeriva tulemusega, mitte valdkonna keskmisega. Üks Farrell'i efektiivsuse

eelistest on lihtne tõlgendatavus, tähtis element on ka fakt, et ei omistata ettemääratud kaalusid erinevatele sisenditele, mis annaks ülehinnatud tegurite suhtes erapooletud tulemused (*Ibid.*, 49).

Charnes, Cooper ja Rhodes (1978, 430) defineerivad otsustusüksuse väljundipõhise efektiivsuse kui minimaalse suhte kaalutud väljundite ja sisendite vahel, mis vastavad tingimusele, et sarnased näitajad iga otsustusüksuse kohta on suurem-võrdsed ühest. Väljundit maksimeeriva hinnangu kasutamine riikide võrdlevanalüüsis on põhjendatud läbi riikide soovi toota maksimaalset kogust tooteid ja teenuseid oma käsutuses olevatest ressurssidest (Ubago Martínez *et al.* 2018, 729). Väljundit maksimeeriv Farrell'i efektiivsus tehnoloogia T suhtes on matemaatiliselt defineeritud kui (Bogetoft, Otto 2011, 26):

$$F = \max \{F > 0 | (x, Fy) \in T\} \quad (2)$$

kus

F – efektiivsus

T – parim kasutuses olev tehnoloogia

Selline lähenemine annabki võrreldavad väärtused, kus uuritava ajahetke parimad tavad vastavad efektiivsusnäitajale 1, ning teiste, domineeritud vaatluste efektiivsus on proportsionaalselt suurem ühest, sest „struktuurse efektiivsuse mõõtmisel võrreldakse ühe üksuse efektiivsust kogu valimi parimatega (Farrell 1957, 260)“, pakkudes tulemused suhtarvuna võimalikkusest, mitte võrdlusena keskmise sooritajaga. Kuna otsustusüksuse tehnoloogiline efektiivsus on suhteline, sõltudes teiste üksuste efektiivsusest, siis uute vaatluste juurde lisamisel võib esialgse üksuse efektiivsus kahaneda, kuid kindlasti mitte suurenda (*Ibid.*). Farrell'i efektiivsuse kasutamisel on tähtis hoida fookuses, mida ja millisest suunast hinnatakse. Esimene sätestus, mida tuleb oma suunitluse juures teha, on eristamine hinna- ja tehnoloogilise efektiivsuse vahel. Esimene neist hindab otsustusüksuse edukust valimaks parimat sisendite komplekti, teine edukust olemasolevatest sisenditest maksimaalse väljundi tootmist (*Ibid.*, 259). Efektiivsuse varjuküljena on tehnoloogilisest ebaefektiivsusest tulenev suhteline kaotus parima olemasoleva tehnoloogia mitterakendamine ja hinnaeaaefektiivsusest tulenev suhteline kaotus ebaoptimaalne sisendite jaotus (Førsund 2017, 93). Suurte otsustusüksuste võimekus oma käsutuses olevatest sisenditest maksimaalse välja võtmiseks on hinnatav just läbi tehnoloogilise efektiivsuse. Hinnaefektiivsus mängib rolli eelkõige mikrotasandil suure otsustusüksuste allüksuste seas ja seda käesoleva uurimistöökäigus ei vaadelda.

Analüütilisest aspektist efektiivsusega edasi minnes eksisteerib ka lahendus eristamaks (ja vahel ka järjestamaks) neid, kelle traditsiooniline Farrell'i efektiivsusnäitaja on üks. Sellisel juhul tuleb mängu superefektiivsus (*super-efficiency*), millel on mitu kasulikku omadust. Superefektiivsus on efektiivsus teiste otsustusüksuste poolt välja joonistatud tehnoloogia suhtes. Superefektiivne otsustusüksus omab võimekust kahandada oma väljundeid vähemalt natuke, muutumata tava-pärasel efektiivsusanalüüsis ebaefektiivseks. Superefektiivsuse alusel on võimalik hinnata ka erindite esinemist, mis kajastub ebatavaliselt madalal näitajal. (Bogetoft, Otto 2011, 145) Seeläbi saab ühest lisanduvast kirjeldavast näitajast abi nii valimi usaldusväärsuse parandamisel kui ka olukorra analüüsis, mis teeb superefektiivsusest igati mõistliku näitaja, mida analüüsi käigus rakendada.

2. UURIMISE METOODIKA

Käesolev peatükk kajastab detailselt Farrell'i lahendustele tugineva mitteparameetrilise andmeraja analüüsi metoodika tekkelugu ja selle sisu. Alapeatükk 2.2. täpsustab, millistele spetsiifilistele omadustele ja eeldustele tuginedes on siinse töö arvutused tehtud. Lisaks on täpsustatud, millistele näitajatele tuginevad tehtavad hinnangud ja järeldused.

2.1. Mitteparameetrilise andmeraja analüüsi areng

Kuigi põhitõed DEA metoodika arenemiseks pandi paika juba 1950. aastatel Farrell'i (1957) teedrajava tööga, oli tema pakutud uue efektiivsusmõõdiku juurdumine teadusmaailmas esialgu aeglane. Farrell valas vundamendi uutele lähenemistele efektiivsuse ja produktiivsuse uuringutes, pakkudes uudseid lahendusi efektiivsuse ja produktiivsuse defineerimiseks ning võrdlusanalüüsi ja efektiivsusmõõdikute arvutusmetoodikas. Põhiline eeldus on sealjuures ebaefektiivsete operatsioonide võimalus, kasutades võrdluspunktina piirkõvera tootmisfunktsiooni, mitte keskmist tootlikkust nagu tegi suurem osa majanduslikust kirjandusest kuni hetkeni, kui Farrell'i töö avaldati. (Førsund, Sarafoglou 2002, 24-25) Täpsemalt pakkus Farrell (1957, 262) välja meetodi hindamiseks parimatel tavadel põhinevat piirkõverat, ümbritsedes andmed mitteparameetrilise ja ositi lineaarse funktsiooniga, võttes tingimusteks ka kumerad negatiivse tõusuga isokvandid ja mastaabisäästu puudumise. Tänapäevased võrdlusanalüüsid kasutavad aina enam parimate tavade ehk piirkõvera analüüsi meetodeid, mille idee on modelleerida tehnoloogiline piirkõver, selle asemel et modelleerida tehnoloogiliste võimaluste keskmist kasutamist. Taoline lähenemine omab nii metodoloogilisi kui praktilisi eeliseid. Üks väga praktiline eelis on tõsiasi, et tihtipeale on targem õppida parimailt, selle asemel et imiteerida keskmikke. (Bogetoft, Otto 2011, 17)

Farrell'i töö ilmumisele 1957. aastal järgnenud periood kohest levikut uue efektiivsusmõõdiku kasutuselevõtus ei toonud. Alles teisel aastakümnel pärast Farrell'i töö avaldamist toimusid suured arengud hindamismetoodikas, millest kõik põhinesid tema ideedel. Arenes ka arvutuste teoreetilise aspekti mõistmine. (Førsund, Sarafoglou 2002, 35) Charnes, Cooper ja Rhodes (1978) lõid Farrell'i tööle järje, kasutades identseid efektiivsusmõõdikuid ja ositi lineaarset tootmistehno-

loogiat, kuid nende loodud lineaarprogrammeerimismudel oli üldine ja parem Farrell'i ühikisokvant lähenemisest ühe väljundi puhul (Førsund, Sarafoglou 2002, 32). Nead olid ka need, kes panid aluse *Data Envelopment Analysis*'e (DEA) ehk mitteparameetrilise andmeraja analüüsi terminoloogiale, seades sellega paika tee vastavas valdkonnas tekkiva kirjanduse arenguks tulevikus. DEA on matemaatiline programmeerimismeetod, mis hindab parimatele tavadele vastava piirkõvera ja määrab erinevate otsustusüksuste efektiivsuse selle piirkõvera suhtes. (Bogetoft, Otto 2011, 81)

Laias laastus saab DEA arengu Charnes'i, Cooper'i ja Rhodes'i (1978) töö ilmumise järgselt jagada kolme etappi, mis kirjeldavad teemakohase kirjanduse arengut ja levikut, kuid loovad sealjuures ka pildi erinevate uute rakendusvõimaluste leidmisest ja modelleerimismetoodika usaldusväärsuse tõusust (Emrouznejad, Yang 2018, 5):

1. 1978 – 1994: DEA-ga seotud artiklite arvu kasv küllaltki aeglane;
2. 1995 – 2003: DEA-ga seotud artiklite arvu kasv stabiilne, keskmiselt 134 artiklit aastas;
3. 2004–2018: DEA-ga seotud artiklite arvu kasv eksponentsiaalselt suurenev, keskmiselt 680 artiklit aastas. Viimastel aastatel juba tasemel 1000 artiklit aastas.

Emrouznejad'i ja Yang'i (2018, 4) uuring leidis teadusajakirjadest 10 300 DEA-ga seotud artiklit, mis olid tolleks hetkeks avaldatud. Energia, tööstus, pangandus, haridus ja tervishoid on valdkonnad, kus DEA-l põhinev analüüs enim rakendust leiab (*Ibid.*, 5). Ilmselt on toimunud eksponentsiaalne kasv DEA-l põhinevate uuringute osas, mis on kahtlemata paljuski tingitud globaalsest infoleviku hõlbustumisest, kuid sellises mastaabis areng näitab ka DEA kui meetoodika kinnistumist väärtusliku vahendina käsitlemaks efektiivsust ja selle erinevaid aspekte ning koostamiseks piirkõverapõhiseid analüüse.

2.2. Mitteparameetriline efektiivsuse hindamine

Töös viiakse läbi võrdlevuuring enam kui kuuekümmne riigi efektiivsuse kohta. „Tänapäevane kirjandus võrdlusanalüüsi teemal on tuginenud suuresti Farrell'i (1957) mõõdikuile, mille idee on keskenduda proportsionaalsetele muutustele (Bogetoft, Otto 2011, 15).“ Farrell'i meetoodikale põhinedes käsitletakse just protsentuaalset vähenemist sisendites või protsentuaalset suurenemist väljundites. Tuleb arvestada, et mitteparameetrilised deterministlikud piirkõveramudelid on väga ahvatlevad, sest nad tuginevad vähestele eeldustele, kuid on oma konstruktsioonilt tundlikud

ekstreemsete väärtuste ja erindite suhtes (Simar 2003, 393), ning on tugevalt mõjutatud ka andmete mõõtmise käigus tekkinud vigadest ja ebatäpsustest (Ubago Martínez *et al.* 2018, 729). Kindlasti tuleb enne tulemuste tõlgendamist veenduda valimi sobivuses usaldusväärsete ja üheselt mõistetavate tulemuste modelleerimiseks.

Käesolevas töös kasutatakse võrdlevanalüüsi läbiviimiseks mitteparameetrilise andmeraja analüüsi meetodit sarnaselt Kumar'i ja Russell'i (2002) poolt tehtuga, sätestades uuritavateks otsustusüksusteks riigid, kasutades sisenditeks andmeid kapitalivaru ning tööjõu kohta ja väljundiks sisemajanduse koguprodukti (SKP). Siinne töö erineb eelmainitud tööst, sest vaatleb efektiivsust väljundit maksimeerivast, mitte sisendeid minimeerivast aspektist ja jätab välja kapitali akumulatsiooni faktori. DEA algoritmi arvutusi kasutatakse korrespondeeruvale väljundi ja sisendi vahelisele suhtele kuju andmiseks. Ühe väljundi puhul on tegu funktsiooniga, kus väljund on maksimeeritud ehk tootmisfunktsiooniga. Erinevalt teisiti leitud tootmisfunktsioonidest, tuleneb siinne empiirilistest vaatlustest ja on seeläbi ka otseselt nende analüüsis rakendatav, mis võimaldab vaadelda ka tehnoloogilise muutuse toimumist. (Charnes *et al.* 1978, 434) Kuna DEA tugineb tootmisteooriale, ja selle mõte seisneb ühtses võimalikus tehnoloogias (T) otsustusüksuste jaoks, saab tehnoloogia ehk tootmisvõimaluste komplekti defineerida kui (Bogetoft, Otto 2011, 82):

$$T = \{(x, y) \in \mathbb{R}_+^m \times \mathbb{R}_+^n \mid x \text{ saab toota } y\} \quad (3)$$

kus

n – väljundite arv

Reaalsuses on tehnoloogia T tihti teadmata. DEA ületab selle probleemi, põhinedes tehnoloogia hindamisel ajaloolistele vaatlustele, mis kirjeldavad reaalsel tootmistegevust. Empiiriline referentstehnoloogia on konstrueeritud minimaalse ekstrapoleerimise põhimõttele tuginedes, milleks on kõikide andmete kaasamine ja regulaarsuse eelduste täitmine, luues samal ajal vähima võimaliku kogumi. Vähimat võimalikku kogumit valides teeb DEA ettevaatliku ja konservatiivse hinnangu tehnoloogia ja ebaefektiivsusest tuleneva kaotuse kohta, mis on rakenduslikult oluline. Konservatiivne tehnoloogia hinnang sätestab, et ükski otsustusüksus ei pruugi olla jõudnud selleni, mis on tegelikult tehnoloogiliselt võimalik, seega on parimatel tavadel põhinev hinnang ettevaatlik. (*Ibid.*, 82–83) On võimalik, et parimatel tavadel tuginev piirköver paikneb DEA meetodikas tunduvalt madalamal kui on tegelikult võimalik, aga on uurijaile vaadeldamatu (Kumar, Russell 2002, 540).

DEA konstrueerib efektiivsusmõdikud, mis hõlmavad kogu valimit ja hindavad seeläbi parimat võimalikku tootmisfunktsiooni ehk tehnoloogilist piirkõverat, mis vastab realselt saavutatud parimatele tavadele. Sealjuures on parimateks tavadeks võetud olemasolevate vahenditega maksimaalse tulemuse saavutanud otsustusüksuste tegevus ehk tuginetud on empiirikal, mitte eeldustele ega hinnangutele uuritava kohta. Üheks DEA eeliseks on just see, et sisendeid ei tule agregeerida enne mudeli hindamist, vaid hindamine toimub esialgsete andmete alusel (Charnes *et al.* 1978, 440). Mõned vaadeldavad sisendi-väljundi kombinatsioonid on tehnoloogia piirkõvera koostamises ülearused, sest vaadeldavat väljundit saab toota mingi muu efektiivsema protsessi abil, mis kasutab vähem ühte sisendit ja mitte rohkem teisi, ning on esindatud mõne teise vaatluse kujul. Selliselt domineeritud protsessid ongi tehnoloogiliselt ebaefektiivsed. (Kumar, Russell 2002, 530)

Piirkõvera tehnoloogiat saab uurida kahel viisil, tuginedes kas inseneriteaduslikele andmetele tootmisfunktsiooni kohta või vaadeldavale parimale tavale. Neist teine on Farrell'i (1957) poolne soovitus ja leiab rakendust empiirikas. (Førsund 2018, 11) DEA tehnoloogia, mis hindab efektiivse tootmise piirkõverat, on hea alternatiiv stohhastilisele piiranalüüsile (SFA – *Stochastic Frontier Analysis*), sest see lubab hinnata piirkõverat piiravate jaotuslike eeldusteta ja piiritlemata eeldustega tootmistehnoloogia osas. (Banker 1984, 36) Teine levinud efektiivsuse hindamise meetod on SFA, mis erinevalt DEA-st on parameetiline lähenemine ja lähedamalt seotud majandusteooriaga. SFA omistab tootmisfunktsioonile selge funktsionaalse kuju ning nõuab enne hindamisprotsessi eeldusi tootmisvõimaluste komplekti struktuuri ning andmete genereerimise kohta. Lisaks tõlgendab SFA andmete genereerimisel piirkõverast eemal paiknemist korruga läbi regressiivse ja deterministliku lähenemise, mida nimetataksegi stohhastiliseks lähenemiseks. (Bogetoft, Otto 2011, 197–198) Deterministlik osa SFA-st on lähedaseim punkt siinses töös kasutatavale DEA-le, kuid need kaks meetodit erinevad suures ulatuses. SFA ei hinda enamasti vaatlusi täielikult efektiivse skooriga ja selle tulemused on mõjutatud uute ebaefektiivsete vaatluste lisamisest või varasemate eemaldamisest.

Läbi DEA tehtaval piirkõvera hindamisel tuleb mõne eeldusega siiski arvestada, mis sätestavad osaliselt tema omadused, olles kooskõlas majandusteooriaga:

1. Kumerus: Majandusteaduses on kumerus tavapärane eeldus ning võrdlusanalüüsis täidab kumerus tehnoloogia laiendamise rolli, eriti juhul kui kasutada on vaid üksikud vaatlused.

Lisaks sellele loob kumerus ka tehnoloogiad, mis on parema võimekusega keskpärastest parimate eristamiseks. (Bogetoft, Otto 2011, 64)

2. Vaba käsutatavuse (*free disposability*) võimalikkus. Vaba käsutatavus tähendab, et sisendite ülejääkidest ja väljunditest on võimalik vabalt vabaneda ehk alati on võimalik toota vähem väljundit rohkemate sisenditega. Enamikel juhtudel on vaba käsutatavus kindel ja nõrk regulaarsuse eeldus empiirilise referentstehnoloogia loomisel. (*Ibid.*, 62) Sealjuures on oluline, et sisenditele omistatud kaalud tulenevad DEA-s otseselt vaatlusandmetest, mistõttu ei saa ükski teine komplekt kaalusid, mis vastavad samadele tingimustele, anda soovivamaid efektiivsushinnanguid. Kui otsustusüksus ei saa täieliku efektiivsuse hinnangut empiiriliste kaaludega, ei saa ta neid ka ühelgi muul juhul. (Charnes *et al.* 1978, 431)
3. Hõlmamiseeldus, mille kohaselt kuuluvad kõik vaadeldavad üksused tõenäosusega 1 ühte terviklikku tootmisvõimaluste hulka (Simar 2003, 391). Taoliselt konstrueeritud mudeli põhiline idee on hõlmata andmed väikseimasse võimalikku kumerasse koonusesse, mille ülemine piir esindab parimatel tavadel põhinevat tootmise piirkõverat. (Kumar, Russell 2002, 530) Efektiivsus on mõõdetud väljundil põhineva kaugusena sellest piirkõverast ehk kui mitu korda peaks olema võimalik väljundit suurendada, kasutades olemasolevaid sisendeid.

Kasutatav andmepõhine metoodika ei vaja täpsustusi tehnoloogia spetsiifilise funktsionaalse vormi osas ega eelda midagi turustruktuuri või turutõrgete puudumise osas. Turutõrked või institutsionaalsed puudujäägid on tihtilugu need võimalikud põhjused, mille tõttu riigid jäävad ülemaailmsest tootmise piirkõverast eemale ja on ebaefektiivsed. (*Ibid.*, 528)

DEA eelisteks on tehnoloogilise järelejõudmise ehk efektiivsuse paranemise (*technical efficiency*) ja tehnoloogilise muutuse ehk piirkõvera nihkumise (*technological change*) eristamine; see ei vaja spetsifikatsiooni või funktsionaalset kuju; see ei eelda mingit institutsionaalset või turustruktuuri; ei eelda neutraalsust tehnoloogilise muutuse osas. (*Ibid.*, 529) Globaalse tehnoloogia areng peegeldub tootmisfunktsiooni muutumises väljundi-sisendi tasandil ja tehnoloogiline järelejõudmine on esindatud liikumistega piirkõvera suunas, mis peegelduvad ka efektiivsusnäitajate paranemises. (*Ibid.*, 532)

Efektiivsuse kasvu ja tehnoloogilise muutuse eristamiseks on vaja rakendada dünaamilist hindamist. Võrdlusanalüüsi puhul on selleks tavalisim vahend Malmquist'i indeks (M), mis

agregeerib sisendid ilma nende hindu kasutamata. Malmquist'i indeks mõõdab, kui palju on otsustusüksuse tootlikkus paranenud ühest perioodist järgmisesse liikudes. See muutus on jagatud kaheks erinevaks faktoriks, mis võivad teineteist võimendada või piirata: üleüldine tehnoloogiline areng (või taandareng), mis mõjutab kõiki otsustusüksuseid, ning efektiivsuse paranemine, mis tuleneb iga otsustusüksuse spetsiifilistest otsustest ja tegudest. Tehnoloogiline muutus (TC – *technological change*) mõõdab ulatust tehnoloogilises arengus, mille tõttu on võimalik toota rohkem vähem ressursse kasutades. Efektiivsuse muutus (EC – *efficiency change*) kajastab järelejäädumise määra tänapäevasele tehnoloogiale. (Bogetoft, Otto 2011, 41–43) Malmquist'i indeksi kasutamise eelised seisnevadki seega kokkuvõtlikult kolmes aspektis, mis on küllaltki sarnased kogu DEA metoodika eelistele, tulenevalt sarnasest loogikast ja põhimõtetest mudelite arvutuses (Uddin 2015, 241):

1. tootlikkuse kasv on dekomponeeritud tehnoloogiliseks muutuseks ja efektiivsuse muutuseks;
2. Malmquist'i indeks arvestab tootlikkuse muutuse indeksi arvutamisel kõikide sisendite ja väljunditega;
3. ei ole vaja teha eeldusi otsustusüksuse käitumise osas, näiteks, kas rakendatakse kasumit maksimeerivat või kulusid minimeerivat lähenemist, ega ka sisendite ja väljundite hindade osas.

Malmquist'i indeksi arvutamisel on kasutatud mastaabisäästu puudumise eeldust, kuna tehnoloogilise piirkõvera nihked võivad varieeruva mastaabisäästu puhul jätta otsustusüksused tehnoloogiliselt võimalikust alast välja ja anda seeläbi mitteobjektiivseid hinnanguid tehnoloogilise muutuse kohta nende otsustusüksuste jaoks, nagu on tõestanud ka Grifell-Tatjé ja Lovell (1995). Arvutuslikult koosneb Malmquist'i indeks tehnoloogilise arengu ja efektiivsuse paranemise korrutisest ja seda saab esitada järgnevalt (Bogetoft, Otto 2011, 41):

$$M(s, t) = \sqrt{\frac{E(t,s)}{E(s,s)} \times \frac{E(t,t)}{E(s,t)}} \times \frac{E(t,t)}{E(s,s)} = TC(s, t) \times EC(s, t) \quad (4)$$

kus

M – Malmquist'i indeks

TC – tehnoloogiline muutus

EC – efektiivsuse muutus

E – DEA algoritmipõhine efektiivsuse mõõdik

s – algperioodi tehnoloogia

t – lõpp-perioodi tehnoloogia

Kahtlemata ei ole ka laialt rakendust leidnud Malmquist'i indeks täiuslik. Yörük ja Zaim (2005), kes vaatlesid kapitalivaru ja tööjõu suuruse abil modelleeritud tootlikkust Majanduskoostöö ja Arengu Organisatsiooni (OECD) riikide seas, leidsid, et standardne Malmquist'i indeks ei arvesta tootlikkuse hindamisel negatiivsete välismõjude olemasoluga, nagu näiteks tootmise käigus tekkiv saaste või mürareostus, viies välismõjude koguste kasvamisel liialt suure tootlikkuse kasvu hinnanguni ja languse puhul liialt väikese hinnanguni. Seda tõika peab siinse töö kontekstis arvestama just madalamate arengutasemetega riikide tootlikkuse kiire kasvu juures, kelle jaoks uued rakendatavad tehnoloogiad võivad olla küll efektiivsemad, kuid ka tugevalt keskkonda saastavad. Selline kahju ei kajastu siinse töö hinnangutes, kuid vähendab selgelt reaalselt tehtava tootmise väärtust. Samuti sisaldub taoline hinnangute mõjutus kõrge arengutaseme tootlikkuse kasvu muutuses, mis võib olla alaväärtustatud, sest ei arvestata vähenevate keskkonnakahjudega innovatiivsete tehnoloogiate kasutuselevõtul.

Hiljutisemas kirjanduses on efektiivsushinnangute koostamisel leitud võimalusi negatiivsete välismõjude olemasolu kaasamiseks. Üks viis selle saavutamiseks on spetsiifiliste andmete mudelisse lisamine, näiteks väetiste ja pestitsiidide kasutamisstatistika põllumajandustootmise hinnangutes (Serra *et al.* 2014). Teisalt saab kasutada ka laiendatud Malmquist–Luenbergeri indeksit, kuhu on kaasatud andmed riiklike emissioonide statistika kohta (Yörük, Zaim 2005), mis omakorda eeldab ühiskondlikest eelistustest tulenevate kaalude omistamist negatiivsetele välismõjudele.

2.2.1. Mitteparameetrilised efektiivsuse hindamise meetodikad ja lähenemised

Mitmed majandusteoreetilised mudelid rakendavad just mastaabisäästu puuduse eeldust – tehnoloogiat, mille raamistikus kõikide sisendite suurenemine viib proportsionaalse suurenemiseni ka väljundis. Seda tehakse eelkõige lihtsuse huvides, jäädes ikkagi üldjoontes enamike tootmisprotsessidega sidusaks. Sõltumata radiaalsetest muutustest, mis toimuvad tehnoloogia-komplektis asuvate punktidega, ei välju need mastaabisäästuta mingil juhul tehnoloogia T enda raamistikust.

Reaalsuses ei oma tehnoloogia globaalselt ühesugust mastaabisäästu, mistõttu ei ole mastaabisäästu puudumise eeldus riikide skaalal hindamise teostamisel enamasti kohane. Sellisel puhul on parem enne hinnangute andmist mitte eeldada mingit kindlat mastaabisäästu, vaid hinnata seda reaalsete vaatluste pealt. Kui sellisel viisil eksisteerivad kõvera eri punktides erinevad mastaabisäästu tingimused, on tegu varieeruva mastaabisäästuga. (Sickles, Zelenyuk 2019, 26–30)

Üks DEA edasiarendustest on erinditele vähemtundlik täieliku vaba käsutatavuse (FDH – *Free Disposal Hull*) efektiivsuspiirkõvera modelleerimismetoodika. FDH puhul on tegu lõdvendusega kumeruse eelduses. Jätkuvalt peavad kõik eksisteerivad vaatlused mahtuma tehnoloogia raamistikku, kuid see ei ole garanteeritud kumeralt olemasolevate vaatluste vahel paikneva ala jaoks. Tegemine on varieeruvale mastaabisäästule üsnagi sarnase lahendusega, varieeruvat mastaabisäästu saab pidada kumeraks suluks vaba käsutatavuse tingimustes hinnatud tehnoloogia ümber. Kumeruse eelduse hülgamine ei ole üldjuhul soovituslik, see omab majanduslikke kaalutlusi ja on intuiitiivselt põhjendatud. (*Ibid.*, 274–276) Kumera tehnoloogia tingimustes jääb tehnoloogiasse „ruumi“ kuhu areneda, muutes efektiivsushinnangud loogilisemalt tõlgendatavaks.

Alternatiivne võimalus tavapärasele DEA hindamisele on order-m meetod. Order-m efektiivsuse hindamise meetod ei kasuta mudeli koostamisel kõiki valimi vaatluseid, vaid moodustab efektiivsuspiiri, kasutades suurusega m alamvalimeid, mistõttu nimetatakse seda meetodit ka osalise piirkõvera mudeliks (*partial frontier model*). Order-m meetod on robustsem ekstreemsete väärtuste osas, miinusena tuleb sel juhul eraldiseisvalt sätestada alamvalimi väärtus m , mille järgi hinnanguid tegema hakatakse (Da Silva *et al.* 2016, 121).

Samu statistilisi omadusi kui order-m lahendus rahuldab ka α -kvantiil meetod, mille eeliseks on võrreldes eelmainituga täielik tootmisvõimaluste komplekti hõlmamine, pakkudes selgemaid tootmisefektiivsuse hinnanguid ja lihtsamat tõlgendatavust. Kvantiilipõhine meetoodika on ekstreemsete väärtuste ja erindite suhtes palju robustsem kui tavapärased mitteparameetrilised lähenemised (DEA ja FDH), sest ei hõlma kõiki vaatlusi. α -kvantiil meetoodikat saab täpsemini peenhäälestada võrreldes order-m lähenemisega ja see on vähem mõjutatud suurtest väärtustest väljundile orienteeritud mudelites, mistõttu on α -kvantiil meetoodika tulemused enamasti heaks võrdluspunktiks. (Aragon *et al.* 2005, 378–380)

2.2.2. Superefektiivsus

Kasutataval DEA meetodikal on omad teadaolevad puudused, millega tuleb arvestada. Üks Farrell'i lähenemise puudustest on see, et ettevõtte efektiivsusnäitaja võib olla 1, kuid tema opereerimine on sealjuures ikka ebaefektiivne, tähenduses, et väljundi kogust saab suurendada senist väljunditootmise struktuuri mõjutamata (Bogetoft, Otto 2011, 127). See tuleneb DEA tundlikkusest erindite osas, mistõttu peab tulemuste saamisel nende olemasolu hindama ja vajadusel erandid valimist välja jätma. Erind on atüüpiline vaatlus, mis asub teiste vaatluste pilvest

eemal; statistilises kirjanduses ei ole erindid üheselt defineeritud, tihtilugu viidatakse neile kui vaatlustele, mis tunduvad olevat ebajärjepidevad ülejäänud andmetega (Simar 2003, 393).

Erindite leidmiseks kasutatakse siinses töös lisaks graafilisele vaatlusele veel superefektiivsust. Superefektiivsuse mõõdikud ei ole tingimata väärtustega suuremad kui 1. See on ka põhjus, miks neid kasutada: oleme huvitatud otsustusüksuste, mille tavapärase efektiivsuse näitaja on 1, võrdlemisest. Superefektiivsus näitab, kui palju on efektiivse otsustusüksuse väljundis lõtku ehk kui palju on võimalik, sisendeid muutmata, oma väljundi mahtu kahandada enne, kui mõne teise üksuse tulemus osutub nende omast paremaks. Kui võrdluspunkt mõne muu, parema efektiivse otsustusüksusega puudub, on superefektiivsuse näitaja negatiivne lõpmatus, mis näitab hüperfektiivsust – puudub referentspunkt, millega kõrgematel tasemetel võrrelda, ja praeguse tehnoloogiataseme juures oleks võimalik laieneda lõpmatult, muutumata sealjuures ebaefektiivseks. (Bogetoft, Otto 2011, 116–118) Ka ebatavaliselt madalad superefektiivsuse näidikud indikeerivad vaatluse erindistaatust. Sealjuures peab arvestama uuritava otsustusüksuse eripära ja põhjustega, miks vaadeldav otsustusüksus erindistaatuse alla liigitub. Kuna siinses uuringus käsitletakse riike, võib probleemile viitav superefektiivsuse näitaja olla küllaltki vähesel määral teistest erinev, tingituna riikide tasemel näitajate agregeeritusest. Sellegipoolest ei ole täpset piirmäära, millest alates erindistaatus oleks kinnitatud, võimalik sätestada.

3. EMPIIRILINE ANALÜÜS

Algav peatükk kirjeldab kasutatud valimi omadusi ja eripärasid, andmete sisu ja valimi jaotust sisendstruktuuri alusel. Eraldi alapeatükk lahkab kõrge, keskmise ja madala arengutasemega riikide võrdlusanalüüsi aluseid. Alapeatükk 3.2. kajastab valimi spetsifikatsiooni korrigeerimist, DEA arvutuste ning dünaamilise hindamise tulemusi, erinevate mastaabisäästueelduste mõju tehnoloogilisele piirkõverale ja üldistusi lõplike efektiivsushinnangute kohta koos riikide positsioneerimisega modelleeritud piirkõverate suhtes. Tulemuste analüüs vastab püstitatud uurimisküsimustele.

3.1. Andmed ja valimi kirjeldus

DEA on väga tugevalt andmetepõhine arvutusmetoodika, kus nii kaalud, tehnoloogiline piirkõver kui ka efektiivsused tuginevad ainult andmetele endile, mitte muudele väärtusi kujundavatele eeldustele. Asjakohaste andmete olemasolu on seega ülimalt oluline, mudel, mis representeerib päris maailma, on alati lihtsustus (Førsund 2018, 10). Töös uuritav esialgne valim koosneb 67-st riigist, mille kohta sisaldab Penn World Table 9.0 (Feenstra *et al.* 2016) 2003. ja 2014. aasta jaoks andmeid riigi SKP, kapitalivaru, töötundide arvu, rahvaarvu ja hõivatute arvu kohta. Töös kasutatav mudel modelleerib ühe väljundi ja kahe sisendiga tootmisfunktsiooni, kus väljundiks on reaalväärtuses SKP elaniku kohta ja sisenditeks töötaja keskmine töötundide arv aastas ning kapitalivaru töötaja kohta. SKP ja kapitalivaru on Penn World Table'is esitatud absoluutarvudena miljonites dollarites, ning on muudetud ühe inimese põhiseks, kasutades vastavalt rahva- ning hõivatute arvu näitajat.

Empiiriline analüüs kasutab R tarkvarapaketti „Benchmarking“ (Bogetoft, Otto 2018b), mis täiendab 2011. aastal ilmunud raamatut „Benchmarking with DEA, SFA and R“. „Benchmarking“ pakett sisaldab meetodeid tehnoloogia piirkõverate hindamiseks ja efektiivsuste mõõtmiseks; DEA puhul on võimalik rakendada erinevaid mastaabisäästueeldusi ning hinnata vajaminevaid efektiivsusmõõdikuid (Bogetoft, Otto 2018a, 2). Lisaks kasutatakse mõnetiseks andmetöötluseks tabelarvutusprogrammi MS Excel ja andmete visualiseerimiseks tarkvarapaketti ggplot2 (Wickham 2016).

DEA-l põhinevad efektiivsushinnangud ei sõltu mõõteskaalast, mida on erinevate sisendite või väljundite juures kasutatud, tulemused on sõltumatud positiivsetest lineaarsetest teisendustest. Eelneva kehtimiseks peab olema kasutatud ühe muutuja puhul sama mõõteskaalat kõikide otsustusüksuste andmetes. (Bogetoft, Otto 2011, 131) Sellest olenemata on parem tulemusi lahti mõtestada samale skaalale taandatud andmeid analüüsid, mistõttu on kõiki andmeid kasutatud ühe inimeseni, kas siis elaniku või töötaja kohta, taandatud skaalal. Kasutatud andmete kirjeldav ülevaatlik statistika 2014. aasta kohta on esitatud tabelis 1.

Erinevalt varasemast on värskemates Penn World Table'i väljaannetes eristatud SKP elatustaseme seisukohast tootmisvõimekuse omast (Feenstra *et al.* 2015, 3151). See on oluline kvalitatiivne parendus andmetes väljundipõhise analüüsi teostamisel. Väljundipõhine reaalne SKP on hea võrdlemaks just riikidevahelisi tootmisvõimekusi mingil aastal ja erineb elatustaset kirjeldavast tarbimispõhisest SKP näitajast seetõttu, et eri riigid peavad leppima erinevate kauplemis-tingimustega tulenevalt ekspordi- ja impordihindade vahest (*Ibid.*, 3153).

Tabel 1. 2014. aasta andmete kirjeldav statistika

Muutuja	Vähim	Suurim	Aritmeetiline keskmine	Mediaan	Standardhälve
SKP elaniku kohta (\$)	2 917.1	78 292.9	27 724.0	24 742.2	16 780.1
Kapitalivaru töötaja kohta (\$)	10 385.9	552 395.1	249 253.0	236 213.9	151 722.2
Keskmine aastane tööaeg töötaja kohta (tundi)	1 371.1	2 510.4	1 864.1	1 829.4	258.7

Allikas: (Feenstra *et al.* 2016), autori arvutused

Sisendiks kasutatav kapitalivaru mõõdik sisaldab kumulatiivset investeringute mahtu ehitistesse ja erinevatesse seadmetesse, mis on korrigeeritud ühesuguste suhteliste hindadega nende struktuuridele ja seadmetele riikide üleselt. Keskmine kapitali amortisatsioonimäär varieerub riigiti, sest kapitalivaru struktuur on riigiti erinev. Kapitali väärtuse määramisel rakenduvad kapitalistruktuuri omapärad, mille tulemusena on ehitiste kaal suurem masinate omast, sest ehitised on vaestes riikides suhteliselt odavad ja masinad suhteliselt kallid, tingituna ehitiste pikaajalisest kasutuseast. On tähtis märkida, et kapitalivaru Penn World Table'is kätkeb endas ainult toodetud kapitali nagu ehitised ja seadmed, mitte loodusvarasid nagu maa ja maavarad, mille kasutamisel tekkivad erisused efektiivsuses võivad olla suuremad kui toodetud kapitalil. (Feenstra *et al.* 2015, 3177–3179) See vähendab osaliselt ka maavarade ja loodusressursside mõju uuringutulemustele, kuid mitte täielikult, sest erinevalt sisenditest on väljundkomponendis SKP elaniku

kohta nende mõju jätkuvalt esindatud. Eriti tähelepanelikult tuleb seetõttu jälgida maavararikaste riikide figureerimist tulemustes ja olla asjaoluga arvestav nende kohta tehtavates hinnangutes.

Kui Kumar ja Russell (2002, 531) kasutasid oma töös agregeeritud väljundina reaalselt SKP-d ja sisenditena kapitalivaru ning tööhõivet, siis uuemad andmed võimaldavad tööhõive asendada oluliselt kirjeldavamaga näitajaga, milleks on keskmine töötundide arv töötaja kohta aastas. Nii viisi on palju täpsemini seletatud riikidevahelised erisused, sest tööhõive ei kirjelda täielikult tehtava töö mahtu.

3.2. Kõrge, keskmise ja madala arengutasemega riigigruppide võrdlus

Erinevate gruppide hindamiseks on riigid tulemuste vaatlusel rühmitatud muutuja *peers* alusel kolme gruppi. Muutuja *peers* on üks DEA tulemustest ja sisaldab infot vaatluste kohta, mis on võrdluspunktiks uuritavale riigile. Rühmitamine kõrgesse, keskmisesse ja madalasse arengutasemesse toimub esimese võrdluspunkti alusel ehk millise riigiga vaatlust esimesena ja enim võrreldakse. Liigitus sõltub eelkõige vastava riigi sisendstruktuuri sarnasustest võrdluspunktiga. Selle tulemusena on siinse töö käsitluses mõistet arengutase kasutatud võrdsena kapitali-töötajõu suhte tasemega. Moodustatud gruppide paiknemine kapitali-töötajõu rakendamise tasandil on esitatud joonisel 1. Riikide paigutumine erinevatesse arengurühmadesse on esitatud tabelis 2.

Teine eraldiseisev riikide rühmitus seisneb Euroopa Liiduga 2004. aastal liitunud riikide rühma (EL2004) võrdlemisel varasemalt moodustatud keskmise arengutasemega riikide rühmaga, kust on välja arvatud EL2004 rühma kuulujad, et kontrollida Quah (1997) poolt välja toodud tugevate ühenduste eeliste mõju. Selline võrdlus tugineb tõdemusele, et kõik EL2004 rühma liikmed peale Küprose, Läti ja Sloveenia paiknevad samuti keskmisel arengutasemel ehk keskmise kapitali-töötajõu suhtega riigid on oma omadustelt EL2004 rühmale sarnaseimad. Teoorias peaks esinema riikide arengule positiivne mõju, mis tuleneb tugeva majandusühendusega liitumisest. Selle võrdluse koostamisel välistatakse teiste keskmise taseme riikide seast ka Rumeenia, kes liitus Euroopa Liiduga aastal 2007 (Further ... 2019) ja on seetõttu samuti uuritava aja jooksul mõjutatud Euroopa Liiduga liitumise efektist ning ei sobi seetõttu võrdlusrühma.

Tabel 2. Riikide jaotumine erinevatesse arengurühmadesse kapitali-töõjõu suhte alusel

Madal arengutase	Keskmine arengutase	Kõrge arengutase
Bulgaaria	Uus-Meremaa	Madalmaad
Argentiina	Austraalia	Austria
Brasiilia	Tšiili	Belgia
Barbados	Tšehhi	Hispaania
Colombia	Eesti	Soome
Ecuador	Ungari	Prantsusmaa
Indoneesia	Island	Ühendkuningriik
India	Iisrael	Itaalia
Jamaica	Lõuna-Korea	Ameerika Ühendriigid
Saint Lucia	Leedu	Küpros
Sri Lanka	Malta	Kreeka
Mehhiko	Malaisia	Hongkong
Filipiinid	Rumeenia	Iirimaa
Tai	Slovakkia	Läti
Uruguay	Türgi	Portugal
Venezuela	Taiwan	Saksamaa
Lõuna-Aafrika	–	Kanada
–	–	Taani
–	–	Jaapan
–	–	Sloveenia
–	–	Rootsi
–	–	Trinidad ja Tobago

Allikas: Autori koostatud

Märkus: Riigid, mis on võrdluspunktiks neile järgnevatele rühma liikmetele on esitatud paksus kirjas.

Et agregeerida praktikas mitut hinnatud Malmquist'i indeksit või efektiivsusnäitajat üheks numbriks, kasutatakse enamasti kaalumata geomeetrilist keskmist, mille tulemused on veidi kõrgemad, kui siinses töös kasutatava kaalumata harmoonilise keskmise omad, kuid alati samasuunalised, erinedes mõne protsendipunkti ulatuses. Seega säilib leitavate mõjude üldine võrreldavus varasemate töödega, kuid peab arvestama, et siin leitud agregeeritud tulemuste ulatused on hinnatud konservatiivsemalt kui enamasti praktikas esineb. Zelenyuk (2006, 1083) toob välja, et Malmquist'i indeksi või efektiivsusnäitajate kontekstis peaks arvestama ka keskmisega, mis omistaks vaatlustele mingid majanduslikud kaalud, olgu selleks siis kaalutud geomeetriline keskmine nagu on esitlenud Färe ja Zelenyuk (2005) või kaalutud harmooniline keskmine (Zelenyuk 2006). Kaalude kasutamise eelduseks on aga sisendite hindade olemasolu, mille kohta info käesolevas töös puudub. Kaalud, mida grupiviisiliseks näitajate agregeerimiseks peaks kasutama, ei ole iga kord erinevatel alustel põhinevad, vaid tulenevad majanduse põhitõdedest, kus agendid optimeerivad oma käitumist. Ühe väljundiga mudelis riikide võrdlemisel ja tootlikkuse muutuse analüüsis on enamasti väljundiks SKP, mis juhul oleksid

kaalud vastavate majanduste osakaalud vaadeldava rühma agregeeritud SKP-st, et iga otsustusükuse tulemused representeeriksid vastavat osa vaadeldava kogumi sooritusest. (*Ibid.*, 1081–1082)

Käesolevas töös ei saa rakendada kaalutud keskmisi veel kahel põhjusel. Kaalutud keskmine, mis tugineks majanduste osakaaludele vaadeldava rühma SKP-st, vähendab küll väikeste ja kiiresti muutuvate majanduste näitajate mõju agregeeritud keskmistele, kuid muudab tulemused tundlikuks mõne üksiku vaatluse osas, näiteks moodustab Poola SKP EL2004 rühma agregeeritud SKP-st üle 50%, kuid Poola ülimalt madal efektiivsuse muutuse väärtus on ülejäänud rühma kontekstis erandlik. Kuna vaadeldav periood sisaldab ka erandlikult suurt ülemaailmset majanduskriisi, on potentsiaal mõne üksiku vaatluse tulemuste ebakõlaks kogu rühma kontekstis küllaltki suur ja oht, et representatiivsed tulemused on seeläbi moonutatud, liigne taolise kaalumise põhjendatuseks. Kaalutud keskmine, mis tugineks siinse töö otsese väljundi SKP elaniku kohta rühmaviisilisele agregeerimisele, eelistaks oma kaaludes riike, mille SKP elaniku kohta näitajad on rühmades suurimad ja see ei oma majanduslikku põhjendatust, sest ei ole alust alaväärtustada rühmade vaesemaid liikmeid.

Malmquist'i indeksi ja muude näitajate agregeerimine kogu valimi või moodustatud rühmade kirjeldamiseks on teostatud tuginedes Zelenyuk'i (2006) töös leitud, mis sätestab, et kuigi erinevused ei ole eriti suured, annab geomeetriline keskmine alati kõrgemad hinnangud kui harmooniline keskmine, olgugi et nende esimese järgu tuletised on võrdsed hinnatuna number ühe suhtes, mis on mõõdupuuks nii Malmquist'i indeksi kui ka efektiivsushinnangute puhul. Töös tehtavate hinnangute konservatiivsuse huvides on seega kõik agregeeritud näitajad leitud kasutades harmoonilist keskmist, mis ei ülehindaks suuri väärtusi nagu tavaline aritmeetiline keskmine ja ei alahindaks väikseid väärtusi, nagu kipub tegema geomeetriline keskmine. Harmoonilised keskmised on käesolevas töös arvatud järgmise valemi alusel:

$$Hk = \frac{1}{\bar{x}(\frac{1}{X})} \quad (5)$$

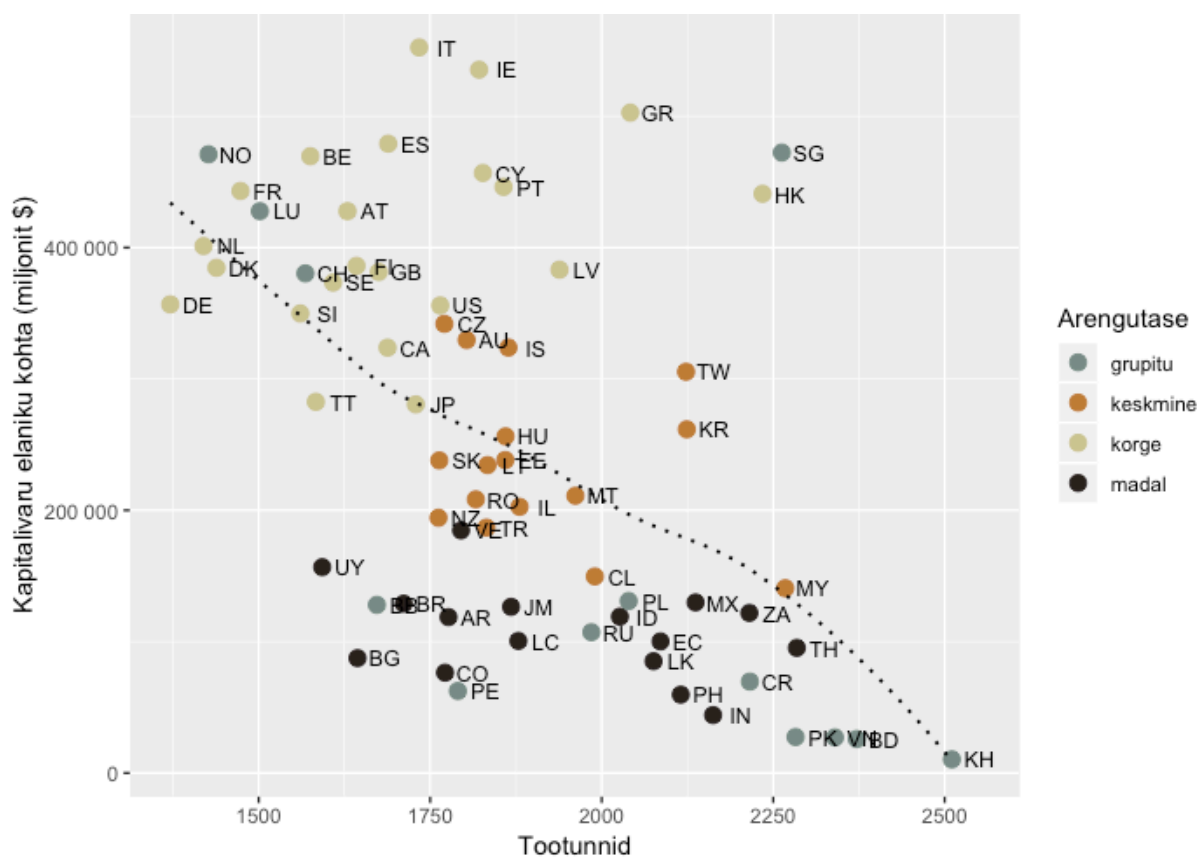
kus

Hk – harmooniline keskmine

\bar{x} – aritmeetiline keskmine

X – agregeeritav näitaja

Töös esitatud DEA arvutuste järgseid agregeeritud tulemusi on hinnatud esmajärgus harmoonilisele keskmisele tuginedes, kuid kohati on välja toodud ka aritmeetilise keskmise näidud. Töös üleüldiselt kasutatud mõiste keskmine all on alati mõeldud harmoonilist keskmist, kui ei ole täpsustatud teisiti.



Joonis 1. Sisendite jaotus valimis aastal 2014.

Allikas: (Feenstra *et al.* 2016), autori koostatud

Vaadeldes sisendite jaotust kogu valimi lõikes (Joonis 1.), on selgelt näha kapitali ja tööjõu sisendite asendusseos ning struktuursed erinevused kõrgemalt ja madalamalt arenenud majandusega riikide vahel. Riikide nimetused tulenevad ISO 3166-1 alpha-2 standardist. (ISO ...) Kõrgelt arenenud riigid paiknevad joonisel 1. eelkõige vasakul üleval ja madalalt arenenud riigid paremal all.

Jooniselt 1. peegeldub ka valimis esinev potentsiaalne oht erindite olemasoluks tulenevalt mõningate vaatluste paiknemisest eemal juba niigi hajusast vaatluspilvest. Kui erindistaatust kinnitav superefektiivsuse näitaja kattub valimi vaatlustepilvest eemal paiknemisega, on erindi

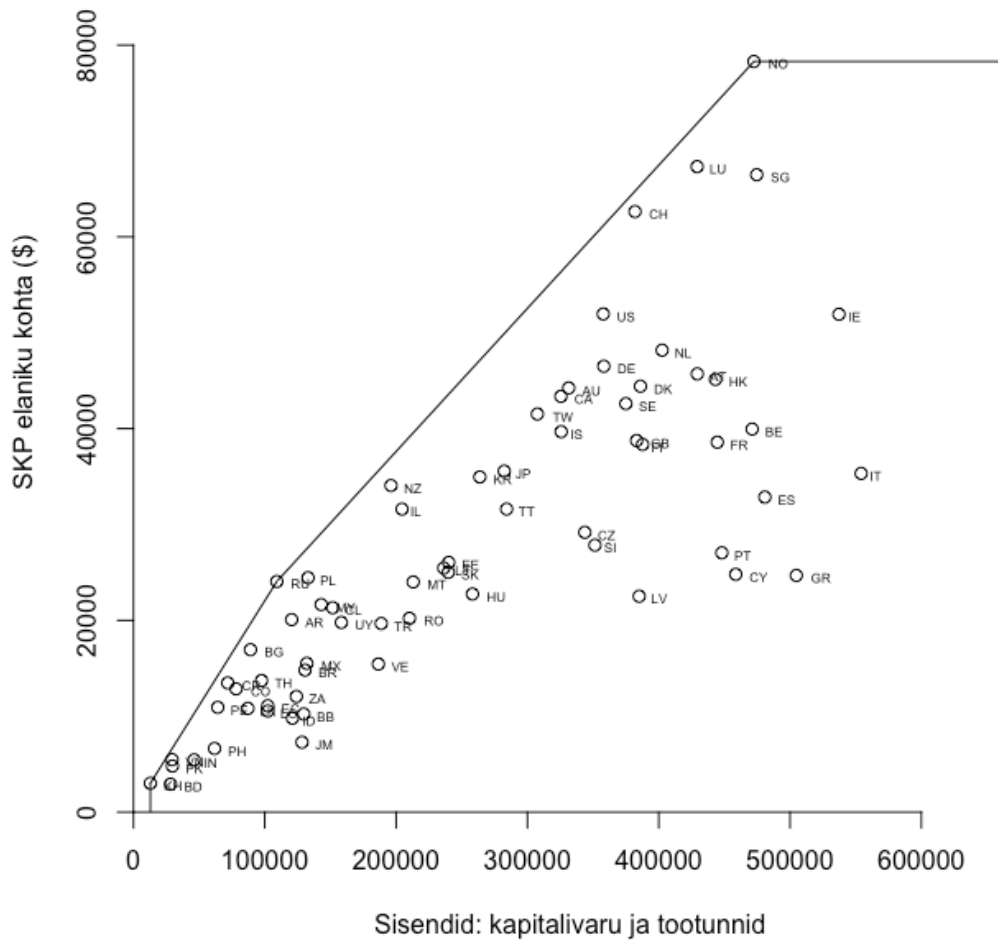
olemasolu leidnud kinnitust, misjärgselt tuleb valimit niikaua kitsendada, kuni silmatorkavaid erindeid enam ei esine. Kui erindistaatusele vihjab kas üks või teine ilming, peab suuresti tuginema vastava riigi spetsiifikale majandusstruktuuri osas.

3.3. Tulemused

Esialgsete tulemuste vaatlusel leidsid tõendid erindite olemasoluks valimis, mida illustreerib joonis 2. Esimeses järgus liigitusid erindite alla Norra ja Venemaa vastavate superefektiivsusnäitajatega 0.71 ja 0.85, mis viitab nii suurte otsustusüksuste puhul kui riigid vajadusele näitaja põhjuste täpsustamiseks. Nii Norra kui Venemaa puhul saab põhjendada erindlikku olukorda läbi nende maavaradel põhineva majandusstruktuuri, tuginedes üle viiendiku majandusest moodustavale naftatööstusele Norras (Norway ... 2012) ja Venemaa majanduse jätkuvast tugevast sõltuvusest nafta hinnast ning energia ekspordist (Kuzmenko *et al.* 2017).

Erindite alla liigitusid veel kaks kolmeliikmelist riikide gruppi. Esimeseks neist on äärmiselt kõrge tööjõutundide arvu ja olematu kapitalivarustatusega Kagu-Aasia riigid, kelle majandus tugineb paljus tekstiilitööstusele ja mille probleemsele viitas juba graafiline vaatlus joonisel 1. Sellesse rühma kuuluvad Kambodža (superefektiivsus $-\infty$), Bangladesh (superefektiivsus $-\infty$) ja Vietnam (superefektiivsus 0.81). Nende riikide töötajate keskmine töötundide arv aastas on üle viiendiku (Kambodža puhul isegi 27%) kõrgem kui valimi mediaan. Taolise sisendstruktuuriga riikide modelleerimine peegeldabki oma olemuselt eelkõige seda, kes on jõudnud rohkem tööd teha, mitte seda, kes toodab efektiivsemalt. Taoliste vaatluste kaasamisel häguneb pilt tootmise piirkõvera alumises otsas, mitte ei selgu adekvaatsed efektiivsushinnangud.

Teine erindite grupp on oma olemuselt esimese vastand. See koosneb väikestest ja kõrge kapitalivaruga riikidest: Luksemburg, Singapur ja Šveits. Oma efektiivsusnäitajatega paigutuvad nad teiste riikide pilvest oluliselt kõrgemale (Joonis 2.). Ilmselt kajastuvad selle rühma efektiivsusnäitajates lisaks riikide enda efektiivsele toimimisele ka paljude teiste riikide ettevõtjate ning rahvusvaheliste institutsioonide tegevuse jäljed, mistõttu ei ole maailma tootmispiirkõvera hindamisel neid tulemusi otstarbekas arvestada.



Joonis 2. Esialgne DEA mudel 2014. aasta kohta

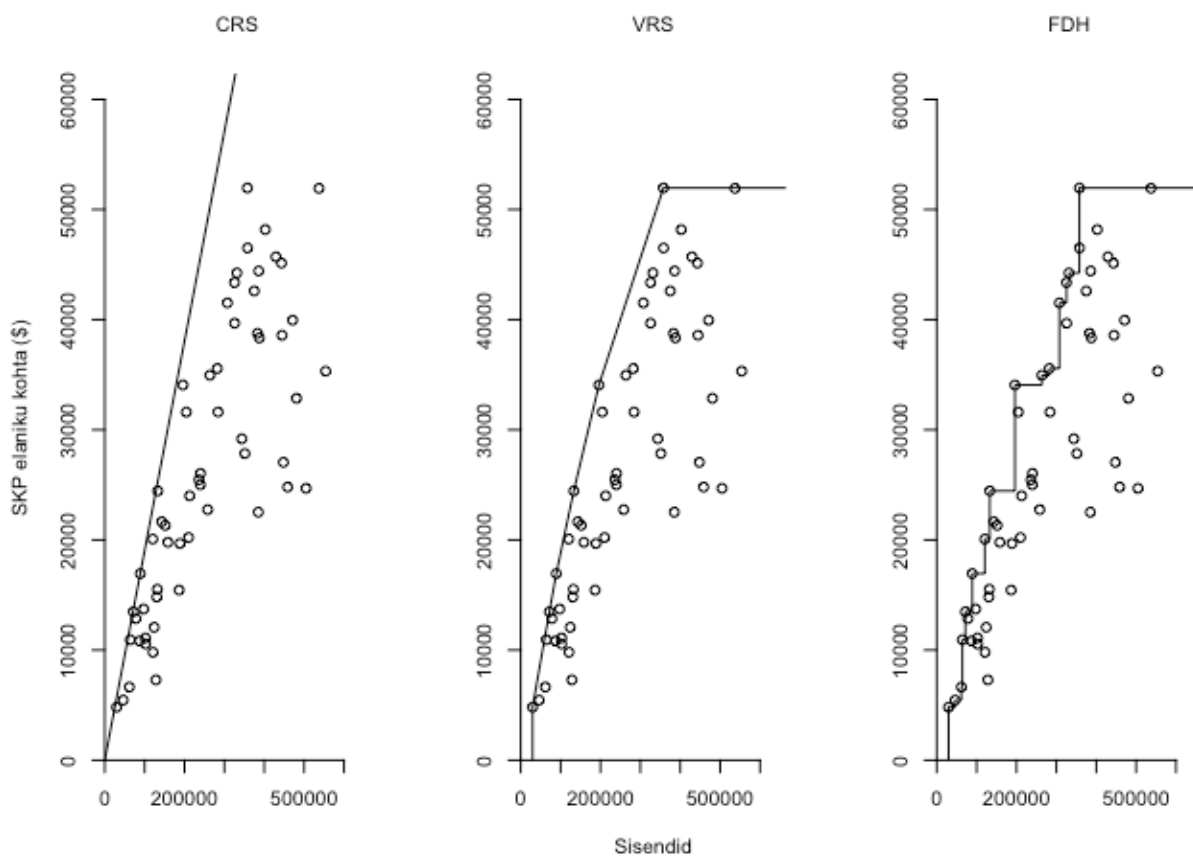
Allikas: Autori koostatud

Lisaks on valimist erindistaatuse tõttu välja jäetud Barbados, kelle näitajate varieeruvus oli teistest riikidest kordades suurem, mõjutades seeläbi tugevalt hinnatud keskmisi. Barbados figureeris esialgselt 2003. aastal piirkõveral, tegi Malmquist'i produktiivsuse indeksi alusel üle kolme ja poole kordse taandarengu ja langes selle tagajärjel madala arengutaseme nõrgimate sekka – käitumine, mis on küll vastavuses majandusloogikaga, kuid mõjutab oluliselt arvatavate keskmiste väärtusi ja tuleneb hinnatava majanduse väiksusest ning madala arengutasemega kaasnevatest probleemidest, kus sõltumata tegelikust progressi ulatusest, on võrdlus teiste riikidega kohatu.

Mudelit on hinnatud kolmel erineval spetsifikatsioonilisel eeldusel tootmise piirkõvera moodustumise ja kuju osas (Joonis 3), milleks on:

1. CRS – *constant returns to scale* ehk mastaabisäästu puudumine;
2. VRS – *variable returns to scale* ehk varieeruv mastaabisääst;

3. FDH – *free disposability hull* ehk täielik vaba käsutatavus.

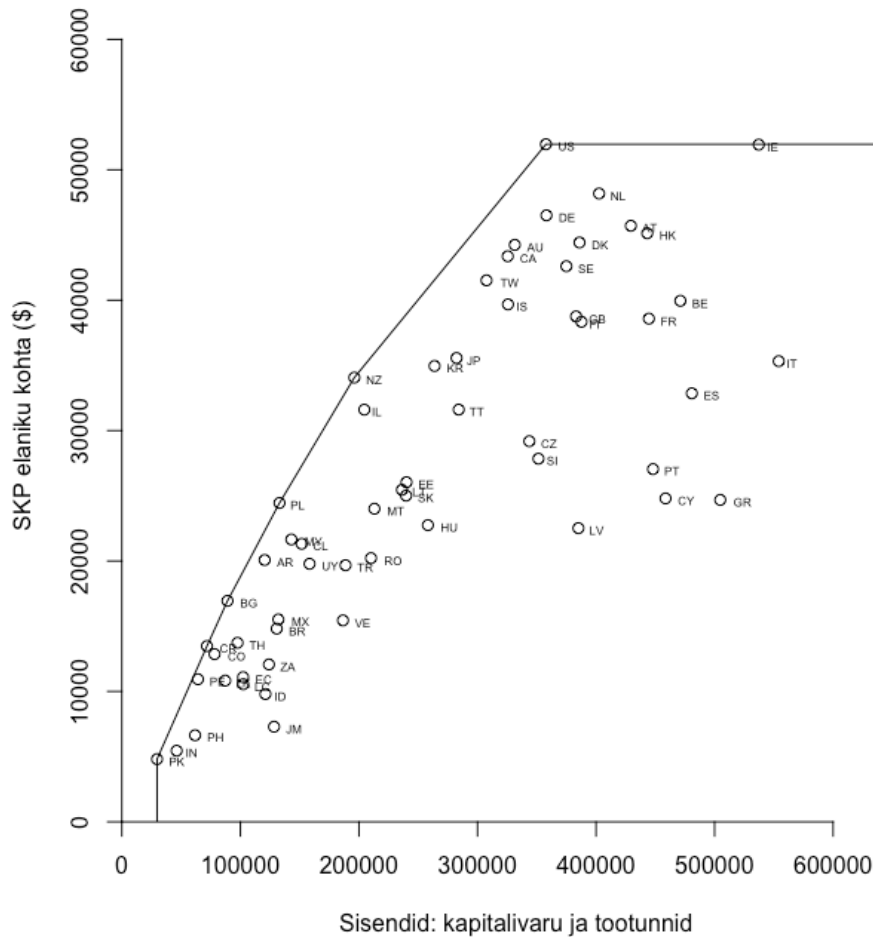


Joonis 3. Erinevate eeldustega tootmise piirkõvera mudelid aasta 2014 kohta

Allikas: Autori koostatud

Uurimistulemuste vaatlusel selgus, et kolmest vaadeldud spetsifikatsioonist moodustasid uuritavatest just varieeruva mastaabisäästuga mudelid kõige loogilisemaid tehnoloogilisi piirkõveraid, lubades ruumi ebaefektiivsuseks, kuid olles loodava kõveraga ka võimalikult konservatiivne. Nagu näha jooniselt 3, loob varieeruva mastaabisäästu eeldusel hinnatud piirkõver tehnoloogia, mis võimaldab efektiivsust kõige mõistlikumalt hinnata, sest selle tõusunurk väheneb sisendite kasvades, liikudes kõrgematel arengutasemetel aina sügavamalt kahaneva mastaabisäästu piirkonda. Teoreetiliste mudelite ja empiirikaga sobivuse tõttu on varieeruv mastaabisäästul põhinevad mudelid mastaabilt erinevate otsustusüksuste lõplikul hindamisel eelistatud ka kirjanduses (Rayp, Van De Sjipe 2007; Drew *et al.* 2015; Ubago Martínez *et al.* 2018). Varieeruva mastaabisäästu eeldus sätestab, et iga tootmisüksus toimib optimaalsel tasemel, mis vastab tema sisendite ja väljundikogusele. See lubab hinnata tehnoloogilist efektiivsust ilma mastaabi mõjutusteta. (Ubago Martínez *et al.* 2018, 729) Varieeruva mastaabisäästuga mudelis on selline

omadus põhjustatud ebefektiivse otsustusüksuse võrdluse toimumisest vaid teiste üksustega, mille suurus on uuritava üksuse sarnane (Coelli *et al.* 2005, 172). Niisugustel kaalutlustel on järgnev analüüs läbi viidud põhiliselt varieeruva mastaabisäästuga mudeli alusel, mis on täpsemalt vaadeldav joonisel 4.



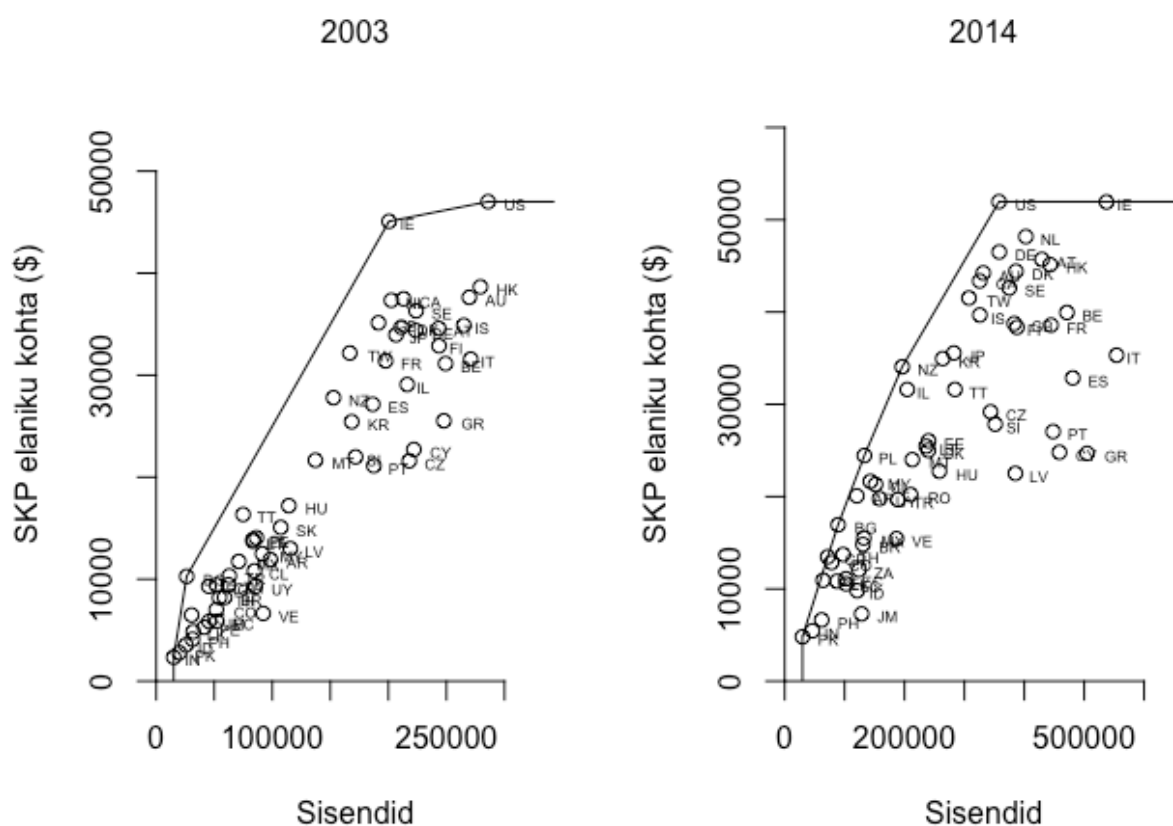
Joonis 4. Lõplik DEA mudel 2014. aasta kohta

Allikas: Autori koostatud

Globaalsel tehnoloogilisel piirkõveral paiknevad kogu valimit arvesse võttes 2014. aastal Bulgaaria, Saksamaa, Kambodža, Norra, Peruu ja Venemaa. Kui vaadelda valimit ilma erinditeta, moodustavad tehnoloogilise piirkõvera Pakistan, Costa Rica, Bulgaaria, Poola, Uus-Meremaa ja USA.

Vaadeldes võrdlevalt 2003. ja 2014. aasta DEA kaudu arvatud efektiivsusnäitajate jaotust (Joonis 5.), on näha, et selle ajaga on üldine jaotus muutunud vertikaalses mõõtmes palju ühtlasemaks ja nihkunud ka piirkõverale lähemale, vähendades seeläbi kahetipulise konvergentsiteooria põhjen-

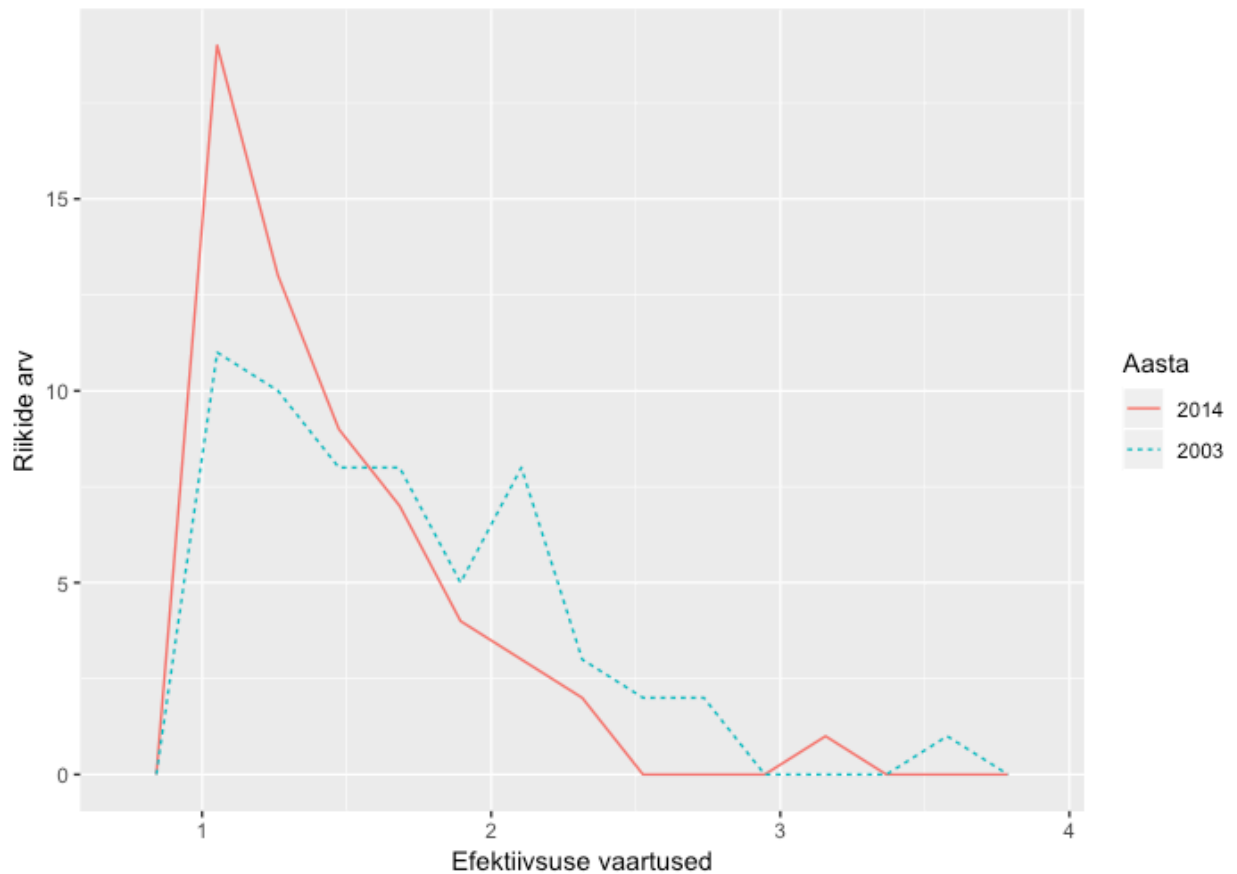
datust, mida on põhjalikult esitanud näiteks Quah (1996). 2014. aastal puuduvad selgesti eristatavad kaks vaatlusepilve.



Joonis 5. Varieeruva mastaabisäästuga DEA aastatel 2003 ja 2014

Allikas: Autori koostatud

Järelejõudmise efekti kinnitab efektiivsushinnangute sagedusjaotuste võrdlus (Joonis 6.), kust on näha, et aastaks 2014. on efektiivsushinnangutest efektiivsemad kaks kvartiili koondunud vahemikku 1–1.31, millest pooled paiknevad vahemikus 1–1.11. Aastal 2003 paiknevad efektiivsushinnangud palju laiemalt ja suuremas vahemikus, vaatlustest efektiivsemad kaks kvartiili mahuvad vahemikku 1–1.58 ja esimene kvartiil paikneb vahemikus 1–1.25. Kõige efektiivseimasse vahemikku 1–1.1 kuulub 2014. aastal 14 vaatlust ja aastal 2003 vaid 7. Valimi harmooniline keskmine efektiivsus paranes 2003. aastast 2014. aastani 0.22 võrra ja aritmeetiline keskmine efektiivsus 0.30 võrra. Kõik need numbrid viitavad valimis olevate riikide puhul vaadeldavas ajavahemikus efektiivsuste ühtlustumisele ja üleüldisele järelejõudmisele primatale.



Joonis 6. Riikide efektiivsushinnangute sagedusjaotus aastatel 2003 ja 2014

Allikas: Autori koostatud

Tabel 3. toob ära kõikide riikide kohta efektiivsusnäitajad kahe vaadeldava aasta kohta eraldi, aga ka aastate keskmised efektiivsused kogu valimi lõikes. 2014. aastal said täielikult efektiivse skoori 10 riiki: Pakistan, Peruu, Costa Rica, Bulgaaria, Poola, Uus-Meremaa, Saksamaa, Madalmaad ja USA. Sealjuures on huvitav täheldada, et erinevalt teistest ei paikne Peruu, Madalmaad ja Saksamaa graafiliselt tehnoloogilisel piirkõveral, vaid jäävad veidi selle alla oma täielikult efektiivsest tulemusest hoolimata. Selle kohta saab infot uurides superefektiivsusi, nagu ka on hiljem käesolevas peatükis tehtud.

2003. aastal said perfektse efektiivsuse skoori 6 riiki: India, Bulgaaria, Saksamaa, Madalmaad, Iirimaa ja USA. Neist 4 kattuvad aastaga 2014 ehk on oma efektiivsusliidri positsiooni vaadeldava perioodi lõppedes säilitanud. Tehnoloogilise piirkõvera moodustasid nendest 4, ka siis jäid piirkõverast veidi eemale Saksamaa ja Madalmaad.

hüperefektiivsus oluliselt vähem kirjeldav madala arengutasemega riikide seas, kus suhtelised tootlikkuse erinevused on oluliselt suuremad kui kõrgematel arengutasemetel. Seetõttu leiab madala arengutaseme piirkonnast hüperefektiivseid riike veelgi, 2003. aastal oli tehnoloogilise piirkõvera kõige alumises otsas selleks eesrindlikuks riigiks India, kellest 2014. aastaks möödusid Pakistan ja Peruu. Hüperefektiivsed oli 2003. aastal ka Madalmaad, kelle superefektiivsus püsib ka 2014. aastal väga tugev, omades 2.1% varu väljundis. Madala arengutasemega riikide osas on vaadeldava ajaperioodi jooksul tugeva positsiooni saavutanud Costa Rica, kel on 2014. aastal 1.1% väljundi varu. Kahetipuliselt konvergeerunud jaotuse tõttu ei olnud 2003. aastal piirkõvera keskmises sektsioonis selget täielikult efektiivset liidrit, 2014. aastal on nendeks madal-keskmises piirkõvera osas Poola 2.2% varuga ja kõrge-keskmises osas Uus-Meremaa 8.3% varuga. Tehnoloogilise piirkõvera ülemises osas, kõrge arengutasemega riikide seas, on Iirimaa kaotanud täielikult oma 2003. aasta 17.9% varu ja USA suurendanud oma varu 7.8%-lt 10.6%-le.

Vaadeldava ajaperioodi jooksul toimunud tootlikkuse muutuse hindamiseks on rakendatud Malmquist'i indeksit ja sealjuures on muutused dekomponeeritud ka üldisest tehnoloogilisest muutusest ning riigispetsiifilisest efektiivsuse muutusest tulenevaks osaks. Tabel 4. toob ära Malmquist'i indeksi ja dekomponeeritud muutuste riigispetsiifilised väärtused koos valimi keskmise ja mediaaniga. Peab täheldama, et madala arengutasemega riigid pakuvad väga mitmeti mõistetavaid tulemusi, mis on tingitud väikese SKP elaniku kohta ja madala kapitalivaru taseme juures toimuvate absoluutses mastaabis väikeste muutuste suhteliselt suurest panusest hinnatud muutujate kujunemisel. Nii on tehnoloogilisel piirkõveral paiknevate Peruu, aga ka Poola jaoks tootlikkus kahanenud, sest hoolimata tipptehnoloogia rakendamisest mõnes valdkonnas, ei korva see stagnatsiooni paljudes teistes. Kõrgeima Malmquist'i indeksiga Jamaica on seevastu tootlikkuses küll varasema suhtes tugevalt paranenud, kuid siiski aeglasemini kui maailm neil eest liigub, omades 2014. aastal valimi halvimat efektiivsusnäitajat. See illustreerib tõsiasja, et mida ebaefektiivsem otsustusüksus on, seda suuremat indeksipõhist tootlikkuse kasvu näidatakse, kuna esialgne tase on lihtsalt niivõrd madal. Teisalt ei pruugi kõrge tootlikkusega otsustusüksused olla tegelikult tehnoloogiliselt eriti efektiivsed, peegeldades hoopis paljuski mõjuvõimu turu üle (Syverson 2011, 357). Valimiülene harmooniline kaalutud keskmine Malmquist'i indeks on 1.04 ehk globaalne keskmine efektiivsus paranes vaadeldavas ajavahemikus 4%. Arengut näitava Malmquist'i indeksiga on valimis 34 riiki 58-st ehk tootlikkus on paranenud üle pooltes riikides.

Tabel 4. Malmquist'i indeks ja dekomponeeritud riikide areng 2003–2014 järjestatuna Malmquist'i indeksi alusel

Riik	M	TC	EC	Riik	M	TC	EC
Jamaica	1.93	1.53	1.26	Prantsusmaa	1.02	0.96	1.07
Saint Lucia	1.70	1.69	1.00	Hongkong	1.02	1.05	0.97
Bulgaaria	1.69	1.69	1.00	Kanada	1.01	1.06	0.96
Rumeenia	1.66	1.46	1.13	Lõuna-Korea	1.00	1.26	0.79
Indoneesia	1.40	1.69	0.83	Uus-Meremaa	1.00	1.28	0.78
Ungari	1.37	1.24	1.10	Soome	0.98	0.97	1.01
India	1.36	2.00	0.68	Tai	0.98	1.58	0.62
Kreeka	1.33	0.99	1.34	Ameerika Ühendriigid	0.98	0.98	1.00
Türgi	1.33	1.42	0.94	Ecuador	0.95	1.51	0.63
Trinidad ja Tobago	1.30	1.17	1.11	Madalmaad	0.95	0.95	1.00
Mehhiko	1.29	1.43	0.90	Taani	0.93	0.95	0.98
Malta	1.29	1.30	0.99	Belgia	0.92	0.91	1.00
Leedu	1.23	1.28	0.96	Island	0.92	1.08	0.85
Eesti	1.22	1.30	0.94	Costa Rica	0.90	1.70	0.53
Läti	1.22	1.10	1.11	Pakistan	0.90	2.16	0.42
Ühendkuningriik	1.19	1.02	1.17	Austraalia	0.89	1.05	0.84
Iirimaa	1.19	1.00	1.19	Tšehhi	0.88	1.06	0.83
Küpros	1.17	0.99	1.18	Austria	0.87	0.95	0.91
Taiwan	1.17	1.22	0.96	Iisrael	0.87	1.27	0.69
Hispaania	1.13	1.00	1.13	Saksamaa	0.84	0.92	0.92
Portugal	1.13	1.03	1.11	Malaisia	0.84	1.39	0.61
Slovakkia	1.11	1.24	0.89	Poola	0.83	1.37	0.60
Filipiinid	1.10	1.87	0.59	Tšiili	0.82	1.39	0.59
Brasiilia	1.09	1.42	0.77	Uruguay	0.79	1.32	0.60
Jaapan	1.07	1.14	0.94	Venezuela	0.78	1.33	0.59
Sri Lanka	1.04	1.75	0.59	Colombia	0.77	1.52	0.51
Sloveenia	1.04	1.04	0.99	Argentiina	0.71	1.32	0.53
Itaalia	1.03	0.93	1.10	Lõuna-Aafrika	0.71	1.32	0.53
Rootsi	1.03	0.98	1.05	Peruu	0.69	1.65	0.42
		M		TC		EC	
Harmoniline keskmine		1.04		1.22		0.82	

Allikas: Autori koostatud

Märkus: M – Malmquist'i indeks, TC – tehnoloogiline muutus, EC – efektiivsuse muutus.

Tulemused kirjeldavad selgelt, kuidas uuritavas ajavahemikus on eelkõige toimunud tugev üldine tehnoloogiline areng, valimi harmooniline keskmine koefitsient on 1.22 ehk valimis on toimunud 22% tehnoloogiline areng, mis loob kogu aluse üldisele tootlikkuse arengule. Tehnoloogilise arengu ärakasutamises on suhteliselt tugevaimad esinejad Pakistan (116%) ja India (100%), kelle tehnoloogiline tase on ainsana rohkem kui kahekordistunud. Suuremalt jaolt on

kiirelt tehnoloogiliselt arenenud vaesemad riigid Kagu-Aasiast ja Lõuna-Ameerikast. Efektiivsus on seevastu vaadeldud ajavahemikus hoopis kahanenud. Harmooniline kaalutud keskmine efektiivsuse muutus on 0.82, mis kirjeldab –18% muutust kogu valimi efektiivsusnäitajates. Efektiivsuse muutus on olnud püsiv või paranenud 20-s riigis 58-st, kõige suurem areng on toimunud Kreekas (34%) ja Jamaical (26%). Suurima languse efektiivsuses on teinud Peruu (–58%), Pakistan (–58%) ja Colombia (–49%). Suurim efektiivsuse kaotus on käinud tugeva tehnoloogilise arenguga käsikäes, esinedes põhiliselt Lõuna-Ameerika riikides.

Et analüüsida rühmiti erinevatel arengutasemetel asetsevaid riike, tuleb nad mingi tunnuse alusel grupeerida. DEA toimib võrdlusmetoodika alusel, seega saab ka jälgitavad rühmad moodustada DEA tulemuste alusel. Täpsemalt liigituvad vaatlused eri rühmadesse tunnuse *peers* alusel, mis annab vastava info selle kohta, milliste efektiivsemate riikidega kirjeldatavat vaatlust võrreldakse. Riigid on rühmitatud selle tunnuse esimese vaste järgi ehk riigi järgi, mis on esimene ja olulisim võrdluspunkt. Peab meeles pidama, et taoline rühmitamine tugineb paljuski sisendite saadavusele, eelkõige on suure mõjuga kapitalivarude suurus, mis tähendab, et rühmade äärealadel võib suurema SKP elaniku kohta näitajaga riik liigituda madalama arengutaseme sekka kui mõni teine, seda puhtalt madalama kapitali-töötajate suhte alusel. Niiviisi saab kogu valimi jagada kolmeks suuremaks arengurühmaks – madala, keskmise ja kõrge kapitali-töötajate suhtega riigid.

Rühmituse aluseks olevate peamiste võrdlusriikide seas on 5 riiki: Bulgaaria on võrdluspunktiks madalaima arengutaseme juures, Uus-Meremaa keskmise taseme puhul ja kõrge taseme moodustavad riigid, keda võrreldakse USA, Saksamaa või Madalmaadega. Kõrgeimal tasemel on võrdluspunktiks kolm eri riiki tulenevalt parimast vastest sisendstruktuuri alusel, kuid efektiivsustasandil paiknevad kõik grupi liikmed tootmispiirkõvera ülemise parema osa juures hajusas pilves. Madalama ja keskmise kapitali-töötajate suhtega riigid paiknevad seevastu palju tihedamalt. Sellisel meetodil moodustatud rühmadest jäävad välja neli riiki, kelle võrdluspunkt on vaid nemad ise ja see ei kattu ühegi teise riigiga: Costa Rica, Peruu, Pakistan ja Poola. Peamiselt kuuluvad madala arengutasemega gruppi riigid Lõuna-Ameerikast ja Kagu-Aasiast, kõrge arengutaseme rühma moodustavad valdavalt enamused riigid Lääne-Euroopast ja keskmise arengutaseme riigid Ida-Euroopast ning efektiivsemad riigid vaesematest piirkondadest. Igasse rühma kuulub muidugi ka erandeid, kes selliste üldistuste alla ei liigitu.

Tabel 5. illustreerib erinevusi erinevate arengutasemetega riikide vahel. Madala arengutasemega riigid on enim parandanud oma keskmist efektiivsust (37%), keskmise arengutasemega veidi

vähem (20%) ja kõrge arengutaseme juures on toimunud minimaalne 1% keskmise efektiivsusnäitaja halvenemine.

Tabel 5. Erinevate arengutasemetega riikide harmooniliste keskmiste näitajate võrdlus

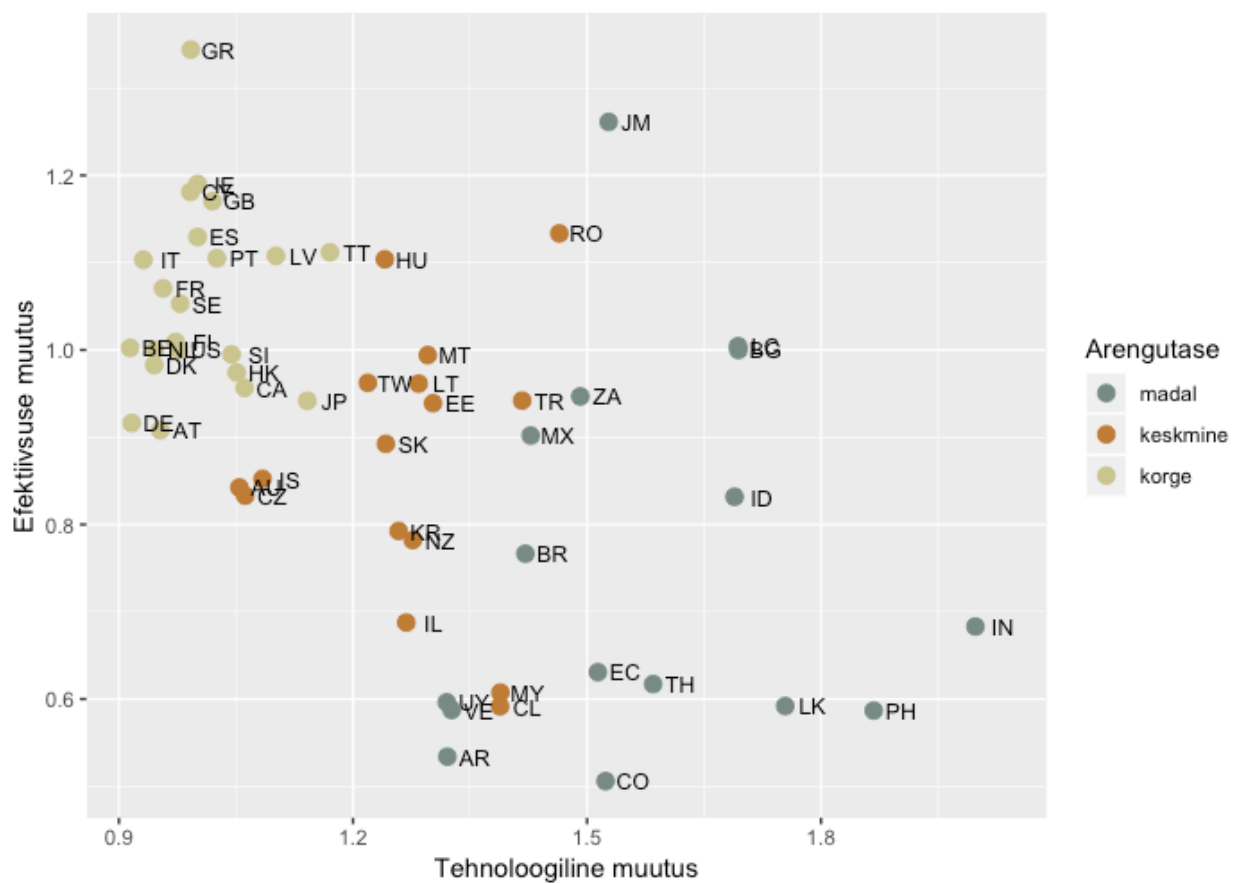
Arengutase	Efektiivsus 2003	Efektiivsus 2014	Malmquist'i indeks $M = TC \cdot EC$	Tehnoloogiline muutus, TC	Efektiivsuse muutus, EC
Madal	1.91	1.54	1.08	1.55	0.70
Keskmine	1.54	1.34	1.06	1.25	0.84
Kõrge	1.29	1.30	1.05	1.00	1.05

Allikas: Autori koostatud

Märkus: Tehnoloogiline muutus ei ole kõrgel arengutasemel täpselt sama, tegelik väärtus on 0.9998.

Malmquist'i indeks viitab ajavahemikus 2003–2014 toimunud 8% tootlikkuse paranemisele madala kapitali-tööjõu suhtega riikides, keskmise ja kõrge kapitali-tööjõu suhte taseme juures on tootlikkus kasvanud vähem, vastavalt 6% ja 5%. Vaadeldes Malmquist'i indeksit dekompooneerituna, leidub, et madala ja keskmise arengutasemega riikides on toimunud suur tehnoloogiline areng, vastavalt 55% ja 25%, kuid kõrge arengutaseme juures on toimunud tehnoloogiline stagnatsioon (kahanemine 0.02%). See vaatlus viitab tugevale konvergentsiefektile, mille käigus seni mahajäänud riigid rakendavad uusi ja paremaid juba kasutusel olevaid tehnoloogiaid oluliselt kiiremas tempos (toimub tehnoloogiline difusioon), kui leiab aset uute tehnoloogiate väljaarendamine kõrge arengutasemega riikides. On üldteada, et madalama arengutasemega riikides toimub tehnoloogiline areng läbi imiteerimise ja kaasaegse tehnoloogia kasutuselevõtu, samas kui kõrge arengutasemega riikides toimub tehnoloogiline areng aeglasemalt, seoses aeganõudvama ja kallima uute tehnoloogiate välja töötamise protsessiga. Samuti mängib siinkohal tulemustes rolli Malmquist'i indeksi poolne negatiivsete välismõjudega mitteametamine, mis võtab palju vähem saastavat, kuid pisut vähem tootlikku tootmist tagasiminekuks, ja ei arvesta paremast keskkonnast tulenevat väärtust. Saadud tulemused on, üllatuslikult, suuresti vastupidised Kumar'i ja Russell'i (2002, 538) poolt leitud, mis väljendas, et väga madala kapitali-tööjõu suhtega piirkondades toimus aastate 1965–1990 jooksul negatiivne tehnoloogiline muutus, keskmise-madala kapitali tööjõu suhte juures 20% tehnoloogiline areng, keskmise kapitali-tööjõu suhte juures oli areng olematu ja kõrge kapitali-tööjõu suhte puhul esines 30% suurenemine. Efektiivsuse muutus soosib seevastu vaid kõrge arengutasemega riike, olles selles rühmas ainsana positiivse väärtusega ja kasvades uuritavas ajavahemikus 5%. Efektiivsuse muutus on negatiivne madala ja keskmise arengutasemega riikides vastavalt –30% ja –16%.

Tehnoloogilise muutuse ja efektiivsuse muutuse vahelised suhted erinevatel arengutasemetel on vaadeldavad joonisel 7, millelt ilmnevad samuti küllaltki arengutasemeti koondunud vaatluspilved. Madala arengutaseme riigid omavad suurt tehnoloogilise arengu näitajat ja ülimalt varieeruvat efektiivsuse muutuse näitajat, paiknedes joonisel paremal. Kõrge arengutasemega riikidel on stabiilne ja suhteliselt kõrge efektiivsuse muutuse näitaja ning pigem madal tehnoloogilise muutuse näitaja ja nad paiknevad vasakul üleval. Kõik, mis jääb nende kahe vahele, iseloomustab keskmise arengutaseme riike.



Joonis 7. Tehnoloogiline muutus ja efektiivsuse muutus arengutasemeti

Allikas: Autori koostatud

Teine rühmitamisalus põhineb 2004. aasta Euroopa Liidu valdavalt idasuunalise laienemise raames Euroopa Liiduga liitunud riikide vastandamisel valimi keskmise arengutaseme rühmaga, kust on Euroopa Liiduga liitunud välja arvatud. Euroopa liiduga ühines 2004. aastal 8 Kesk- ja Ida-Euroopa riiki: Tšehhi, Eesti, Ungari, Läti, Leedu, Poola, Slovakkia ja Sloveenia ja lisaks neile

veel Küpros ja Malta (Further ... 2019), kes moodustavad rühma tunnusega EL2004. Kuna suurem osa neist liigituvad keskmise arengutaseme alla, on paslik luua võrdlusgrupp teiste keskmise arengutaseme riikidega, mis on oma omadustelt sarnased, aga ei osale tugevates majandusühendustes. Nendeks riikideks on Austraalia, Tšiili, Island, Iisrael, Lõuna-Korea, Malaisia, Uus-Meremaa, Türgi ja Taiwan. Tabelis 6. on toodud rühma EL2004 näitajate võrdlus teiste keskmise kapitali-tööjõu tasemega riikidega, millest ilmneb, et efektiivsusnäitajad on konvergeerunud EL2004 rühmas (0.11) märgatavalt aeglasemini kui ülejäänud valimis (0.28). See aga ei olegi niivõrd oluline, sest uurides Euroopa Liitu kuulumise olulisust efektiivsushinnangute mõjutamisel diferents-diferents hinnangu (*difference-in-difference estimator*) alusel (Lisa 2.), tuleb vastav koefitsient negatiivne ja statistiliselt mitteoluline ehk Euroopa Liitu kuulumine ei oma statistiliselt olulist mõju efektiivsusnäitajatele.

Tabel 6. Euroopa Liiduga 2004. aastal liitunud harmooniliste keskmiste näitajate võrdlus ülejäänud keskmise kapitali-tööjõu suhtega rühmaga

Rühm	Efektiivsus 2003	Efektiivsus 2014	Malmquist'i indeks $M = TC \times EC$	Tehnoloogiline muutus, TC	Efektiivsuse muutus, EC
EL2004	1.71	1.60	1.11	1.18	0.93
Võrdlusgrupp	1.47	1.19	0.96	1.25	0.76

Allikas: Autori koostatud

Malmquist'i indeksi ja selle komponentide kahe rühma vaheliste erinevuste statistilist erinevust on hinnatud Wilcoxon'i *rank sum* testiga, mille tulemused on esitatud ka lisas 3. Malmquist'i indeksi väärtuste erinevus on oluline nivool 0.1 (*p-value* 0.09), tehnoloogilise muutuse erinevus ei ole statistiliselt oluline ja efektiivsuse muutuse erinevus on statistiliselt oluline nivool 0.05 (*p-value* 0.02).

Seega esineb selge erinevus tootlikkuse muutuse osas tulenevalt just efektiivsuse muutusest. Malmquist'i indeks kajastab rühmas EL2004 tootlikkuse 11% kasvu, võrdlusgrupis on tootlikkus 4% kahanenud. Efektiivsuse muutuse osas on tugev eelis EL2004 rühmal. Tulemused viitavad soositud tootlikkuse kasvutempole EL2004 rühmas, mis on suuresti tingitud paremast efektiivsuse muutusest kui ülejäänud keskmise arengutaseme riikide sooritus on pakkunud. Kui võrdlusgrupi riikide tootlikkus on arenenud tänu globaalsele tehnoloogilisele arengule, siis EL2004 rühmas on kaotus efektiivsuse muutusest palju väiksem. Taoline ilming soosib teooriat tugevate majandusühenduste positiivse mõju kohta, mis võimaldab arenenud tehnoloogia kiiremat ja eelkõige

ulatuslikumat jõudmist uute liitujateni ja väldib seeläbi liikmesriikide mahajäämist, sest ühtemoodi arenevad, teistega võrreldes, suuremal hulgal valdkondi.

3.4. Järeldused

Tulemuste arutelu järgib alapeatükis 3.3. toodud tulemuste esitamise järjekorda, alustades saadud mudelite tõlgendamisest ja efektiivsusnäitajate jaotusest, liikudes seejärel efektiivsusnäitajate dünaamika juurde, mis on seotud pidevalt arengutaseme alusel toimunud rühmitamise tulemustega. Peatüki lõpus on vaadeldud Euroopa Liiduga liitunud tootlikkuse kasvu kõrvuti võrdlusgrupiga, et uurida Euroopa Liitu kuulumise mõju.

Enne seda kõike tuleb aga anda kommentaar mitmete erindite ja nende mõju kohta. Nagu võis juba valimi graafilisel vaatlusel tõdeda, esinesid valimis mitmed erindid, mis moonutasid tugevalt efektiivsushinnanguid. Seda võis ka oodata tuginedes Simar'i (2003) ja Bogetoft'i ning Otto (2011) poolsetele varasemalt kajastatud kommentaaridele DEA tundlikkuse osas erindite suhtes. Siinse töö tulemused toetavad erindite esinemise kontrollimise kriitilist tähtsust igasuguse DEA analüüsi teostamisel ja soosivad ka nende esinemise mitmest kontrolli, mitte pelgalt tuginemist ühele kriteeriumile. Esialgselt valimist osutusid 9 riiki erinevatel põhjustel erindite alla liigituvaks, mis on esmasest uuritavate riikide arvust ligikaudu 13,5%.

DEA mudelite sisu uurimise juurde liikudes peab meeles pidama, et töös leitud mudelis esitatud maailma tootmise piirkõverat ja sellega seotud efektiivsusnäitajaid tuleb tõlgendada üsna laiapinnaliselt, et kirjeldada ka institutsionaalset ja seadusandlikku mõju lisaks puhtalt tehnoloogial põhinevale sisule. Seega saab mõni riik jääda eemale piirkõverast näiteks ebapiisava finantsinstitutsioonide arengu või turumoonutuste tõttu. Kuna piirkõver on defineeritud valimisiseste riikide parimate tavade suhtes, võib tegelik piirkõver paikneda hoopiski kõrgemal. (Kumar, Russell 2002, 531) Asudes seda arvestades tulemuste sisu üle juurdlema, leidub, et üleüldiselt viitavad käesoleva töö tulemused eelkõige aastatel 2003–2014 esinenud järelejõudmise efektile riikide tootlikkuse osas, kuigi Malmquist'i indeksist dekomponeeritud efektiivsuse muutus viitab justkui madalamate arengutasemete seas olevate riikide omavahelisele divergentsile.

Vaadeldes erinditeta valimit (58 riiki) sai koostatud DEA meetodil mudel 2003. ja 2014. aasta kohta, mis kirjeldab nende kahe momendi hetkeseisu globaalse tehnoloogia ja efektiivsushinnangute osas. 2014. aasta mudeli hinnangud kirjeldavad selgelt ära, millised riigid asuvad tootlikkuse andmeraja piirkõveral. Kuna kõrgel arengutasemel ei ole liidrite osas toimunud vaadeldava aja jooksul muutusi, ja madalal arengutasemel on riigid väga tihedas konkurentsisis, võib tehnoloogilisel piirkõveral paiknejatest välja tuua eelkõige piirkõverat selgelt defineerivate Uus-Meremaa ja Poola esilekerkimise koos kogu keskmise arengutaseme tekkega ja kahe konvergenssirühma ühendumisega, mis annab alust globaalse konvergensti toimumise tõesusele ja oodatavale jõudsale tehnoloogilisele arengule väljaspool kõrge kapitaliseeritusega riike.

Üldine efektiivsusjaotus on valimi üleselt konvergeerunud ja nihkunud piirkõverale vähemale, keskmine efektiivsus kirjeldab valimis 2014. aastal 34%-st arengupotentsiaali võrreldes 2003. aasta 52%-ga, viidates kogu valimi ulatuses tugevale arengule. Sama kinnitab kahe vaatlusaasta efektiivsuste sagedusjaotuste võrdlus (Joonis 6.), 2014. aastaks ei ole efektiivsusjaotus enam kahetipuline, vaid on selgelt koondunud ühe keskse kõrgeima efektiivsusega konvergensitsentri ümber.

Kuna globaalne keskmine efektiivsus on tulemustele tuginedes paranenud, tuleb hakata süvenema, milliste riikide areng on sellise olukorra kujundanud. Jaotades valimi kapitali-tööjõu suhte alusel kolmeks arengutasemeks, selgub, et peamiselt tuleneb see situatsioon just madala arengutasemega riikide konvergensist, kelle efektiivsus on 37% kasvanud. Samuti on tugeva keskmise arengutasemega riikide klassi teke olnud efektiivsushinnanguid parandav, kusjuures keskmise arengutasemega riikide arengupotentsiaali erinevus kõrge arengutasemega riikidest on 2014. aastaks vähenenud üle kuue korra, olles nüüd vaid 4%. Kõrge arengutasemega riikide seas on keskmine efektiivsus vaadeldaval perioodil kahanenud 1% võrra. Nii võib väita, et efektiivsus on maailmas oluliselt kasvanud just madalama arengutasemega riikide hulgas, kellest on välja arenenud ka tugev keskmise arengutasemega riikide klass koos selgelt piirkõverat kujundavate esindajatega. Kõrgel arengutasemel on vaadeldud ajavahemikus olnud areng pigem aeglane, võimaldades mahajäänutel konvergeeruda. Efektiivsushinnangute erinevus on vaadeldud ajavahemikus kõrge ja madala arengutaseme vahel vähenenud 2.58 korda, esitledes taas tugeva järeljõudmise efekti olemasolu.

Malmquist'i indeksit vaadeldes saab teha kujunenud olukorra kohta sügavamaid järeldusi. Indeksi enda muutused kajastavad valimis keskmiselt vaid 4% tootlikkuse arengut. Arengutaseme alusel

koostatud rühmade järgi esineb tugevaim areng madalal arengutasemel (1.08). Keskmisel ja kõrgel arengutasemel on areng olnud mõõdukas (vastavalt 1.06 ja 1.05), viidates taas valimi konvergeerumisele läbi kiirema arengu madala kapitali-tööjõu suhtega riikides kui nende kõrgemal tasemel paiknevates võrreldavates. Indeksit dekomponeerides selgub, et sarnases mahus toimunud tootlikkuse keskmine kasv keskmise ja kõrge arengutasemega riikide seas on oma loomulikest erinevad. Vähene tootlikkus mahajäänud riikides tuleneb sisendite vales jaotusest ehk jaotuslikust ebaefektiivsusest, mis pakub võimalusi kiireks arenguks pelgalt läbi olemasolevate sisendite ümberjaotamise (Syverson 2011, 359). See on üks võimalikest mõjutajatest, mis põhjendab tootlikkuse kasvu suurte näitajate rohket esinemist madala arengutasemega riikide seas, kuid jaotuslikku efektiivsust ennast siinses töös ei hinnata.

Globaalne tehnoloogiline muutus on taaskord soosinud just madala ja keskmise arengutasemega riike, pannes aluse riikidevaheliste erinevuste vähenemisele ja üleüldisele tootlikkuse ühtlustumisele. Igal kõrgemal arengutasemel on uute tehnoloogiate arenemisest tulenev mõju aina väiksem, kõrgeimal tasemel lausa negatiivne 0.02%, mis on eeldatavasti tingitud Malmquist'i indeksi omadusest mitte arvestada negatiivsete välismõjude kahanemisest tulenevat väärtust, mida on pakkunud innovatiivne vähem saastav tehnoloogia, millesuunaline areng on vaadeldaval perioodil fookusesse kerkinud. Seevastu saavad madalal ja keskmisel arengutasemel tegutsevad riigid tugevalt parandada oma tootlikkust iga tehnoloogilise muutusega, mis nendeni jõuab, kuna esialgne tase paikneb nende jaoks oluliselt madalamal ja on võimalik ära kasutada juba olemasolevate efektiivsete tehnoloogiate rakendamist. Seega ei saa nõustuda Kumar'i ja Russell'i (2002, 546) leitud tõdemusega, et tehnoloogia areng on olnud täielikult mitteneutraalne, soosides rikkaid kapitalimahukaid riike rohkem kui vaeseid tööjõumahukaid riike, kuna siinse töö tulemused väidavad vastupidist.

Võimalik, et taolise vastuolu näol on tegu ajastu märgiga. Tänapäeval, kui info kättesaadavusest tulenev tehnoloogia levik aina kiireneb, jõuavad olemasolevad uuendused hõlpsamini vaesematesse piirkondadesse kui kunagi varem ja sealsetel majandustel on võimalik valida rohkemate sobivate lahenduste vahel väärtusloomeks, arenemaks seeläbi suhteliselt kiiremini kui kõrge arengutasemega riigid, kes on sunnitud otsima tehnoloogilist arengut täielikult läbi innovatsiooni ning teadus- ja arendustegevuse. Samuti kajastab taoline olukord tehnoloogilise innovatsiooni vaevalisust tänapäeva maailmas, 11 aasta jooksul ei ole tehnoloogia piirkõverat kõrgel arengutasemel traditsioonilisest tootlikkuse kasvu seisukohast suudetud laiendada, arvestamata siinkohal loodussõbralikumate tootmismeetodite arenguga.

Hoopis teistsugune pilt avaneb Malmquist'i indeksi teist komponenti, efektiivsuse muutust, uurides. Efektiivsuse muutus ehk oma arengutasemele vastavate parimatele tavadele tugineva tehnoloogia rakendamine on kõrge arengutasemega riikide tootlikkuse kasvus positiivne komponent. Kui kõrge arengutasemega riikide tootlikkuse kasv aastate 2003–2014 jooksul oli kokku 5%, siis valdava osa sellest moodustaski efektiivsuse muutus. Kõrge arengutaseme juures on seega tootlikkuse kasv tulenenud just efektiivsuse kasvust, mitte uute tehnoloogiate peale-tulekust, täielik tipp tehnoloogia leiab aina suuremal määral ja rohkemates riikides rakendust. Madalal ja keskmisel arengutasemel on efektiivsuse muutus esindatud näitajatega 0.79 ja 0.84, mis heidavad valgust mahajääjate tekkele nendes valimi rühmades. Kuigi agregeeritud tootlikkus on kahes madalama kapitali-tööjõu suhtega rühmas tugevalt kasvanud, on oma segmendile vastavate parimate tavade rakendamine hoopis kahanenud. See on osaliselt tingitud oma rühma parimaid tavasid esindavate riikide nagu Pakistan, Peruu, Costa Rica, Bulgaaria või Poola tugevast tehnoloogilisest arengust, mis on laiendanud oma rühma jaoks tehnoloogilist piirkõverat ja kaugendanud aeglasemalt arenevate riikide positsiooni piirkõverast. Teisalt vähendab madalal arengutasemel efektiivsuse muutust ka tõsiasi, et uue tehnoloogia rakendamise järgselt ei tarvitata enam nii suures mahus tööjõudu, kuid kahanemine tehtud töötundide arvus on suhteliselt väiksem kui saadav tootlikkuse kasv, luues situatsiooni, kus sisendite tasakaal nihkub küll kapitalivaru suurenemise poole, kuid teeb seda tempos, mille käigus ei suudeta kogu olemasolevat tööjõudu enam rakendada, tuues kaasa ebaefektiivsuse tööjõu kasutuses.

Nende vaadeldud näitajate tulemusel saab kinnitada ka käesoleva töö hüpoteesi. Tõesti, erinevatel majandusarengu tasemetel on arengut vedavate komponentide kaal erinev. Kõrge kapitali-tööjõu suhte tingimuses tõukub tootlikkuse kasv efektiivsuse kasvust, tehnoloogiline areng ise seda hinnatud valimi alusel ei soodusta. Keskmisel ja madalal arengutasemel on arengut vedav tegur eeskätt tehnoloogiline areng ehk maailma tippude kasutuses oleva tehnoloogia ülevõtmine, sealjuures muututakse läbi tehnoloogiliste mahajääjate tekke, aga ka olemasoleva tööjõu kahaneva tootlikkuse tõttu aina ebaefektiivsemaks.

Maailma tehnoloogilised liidrid on jätkuvalt USA, Saksamaa ja Madalmaad, kes veavad tootmise piirkõvera laienemist läbi innovatsiooni kõrgeimal tasemel. Eelkõige saab liidriks pidada USA-d, kelle järgi moodustub kõrgeima taseme tehnoloogilise piirkõvera tipp.

Quah (1997) rõhutab oma töös, et kasvumäärasid mõjutab lisaks majanduse avatusele ka konkreetne kaubanduspartnerite valik. Sellise mõju põhjendamiseks on siinses töös vaadeldud Euroopa Liiduga 2004. aastal liitunud riikide tootlikkuse kasvu võrreldes sarnaste keskmisel arengutasemel paiknevate riikide grupiga. Võrdluse tulemused kajastavad Euroopa Liiduga liitumise positiivset mõju läbi tähelepaneku, et efektiivsuse muutuse tootlikkuse arengut pärssiv mõju on olnud EL2004 rühmas 17% väiksem kui võrdlusrühmas, mis on põhjustanud ka üleüldise tootlikkuse 15% kiirema kasvu EL2004 rühmas. Kokkuvõtvalt kajastavad tulemused Euroopa Liiduga liitumise positiivset mõju arenguvõimalustele läbi tehnoloogia kindlama ja ühtlasema leviku liikmesriikidesse. EL2004 rühm on suutnud võrdlusgrupist ulatuslikumalt kasutusele võtta uusi efektiivsemaid tehnoloogiaid, mis on ilmselt tulenenud tugevates partnersuhetes toimuvast info ja oskuste ülekandest, sest tihedate sotsiaalsete ja koostöösidemete olemasolu võimendab ulatust, milles teadmised ja tehnoloogia saavad ühest piirkonnast teise üle kanduda (Basile *et al.* 2012, 715), ja on seeläbi omandanud konkurentsieelise, püsides tehnoloogilisele piirkõverale lähemal. Kahtlemata on oluline täheldada, et Euroopa Liitu kuulumine ei oma statistiliselt olulist mõju efektiivsusnäitajate paranemisele ega tehnoloogilise arengu ära kasutamisele. Sellegipoolest soodustab kõrgetasemelisest kaubanduspartnerlusest osavõtt tiptasemel tehnoloogia jõudmist parimatelt osalejatelt vähem arenenud liikmeteni vältimaks mahajääjate teket, mis pärsiks majandusühenduse kõiki osapooli.

Riiklike efektiivsuste dünaamika on uuritud ajavahemikus olnud positiivne, efektiivsusjaotused on ühtlustunud ja on toimunud konvergens kõrgel arengutasemel paiknevate riikide ja nende vahel, kes sinna veel ei ole jõudnud. Riikide arengutase ja jõukus on sätestatud läbi kapitali-tööjõu suhte taseme. Suure kapitalivaru olemasolu võimaldab teha tootmises mööndusi tööjõu osakaalus ja luua arenemiseks vajalikku innovatsiooni. Sellegipoolest on ajavahemikus 2003–2014 saanud kasu tehnoloogilisest arengust madalama majandusarengu tasemega riigid, mille tootlikkuse arengut veab parimate olemasolevate tehnoloogiate jõudmine aina rohkematesse piirkondadesse ja valdkondadesse.

KOKKUVÕTE

Mitteparameetrilist andmeraja analüüsi kasutades on võimalik hõlpsasti visandada maailma tehnoloogiline piirkõver ja hinnata sellest tulenevaid efektiivsusnäitajaid erinevate võrreldavate otsustusüksuste jaoks. Antud lähenemise eelisteks on võrdlemine maailma parimate tavadega, mitte keskmistega, ja suhteline sõltumatus eeldustest, mida alternatiivsetes meetodites tehakse tehnoloogia, turustruktuuri, turutõrgete, sisendite kaalude ja muude eelduste osas. Meetodi nõrkuseks on tundlikkus ekstreemsete väärtuste ja erindite suhtes, mis kätkeb endas vajadust tugevaks kontrolliks erindite olemasolu osas ja valimi andmete usaldusväärsuses, et tagada õigesti tõlgendatavaid uurimistulemusi.

Uurimistöö eesmärk on käsitleda DEA meetodika võimalusi tootlikkuse dekomponeerimiseks. Muuhulgas on uuritud, millistes arenguetappides mõjutavad erinevad faktorid tootlikkust enim läbi maailma riikide determineeritud tootlikkuse kõvera modelleerimise ja analüüsi. Siinne töö keskendub traditsioonilisele ühe väljundi ja kahe sisendiga tootmisfunktsioonile, kus väljundiks on reaalne SKP elaniku kohta ja sisenditeks töötaja keskmine töötundide arv aastas ning kapitalivaru töötaja kohta. Lõplik kasutatav valim põhineb 58-l riigil, mille andmete alusel moodustati võrreldavad varieeruva mastaabisäästuga mudelid 2003. ja 2014. aasta kohta. Efektiivsushinnangute leidmise järgselt uurib töö tootlikkuse kasvu dünaamikat Malmquist'i indeksit kasutades, dekomponeerides selle üleüldisest tehnoloogilisest arengust tulenevaks osaks ja riigispetsiifilistest otsustest ja sooritusest tulenevaks efektiivsuse muutuseks. Kõiki leitud kirjeldavaid näitajaid on hinnatud harmoonilisele keskmisele tuginedes nii kogu valimi kui ka kapitali-tööjõu suhtele põhinevate rühmade jaoks, mis jagasid valimi kolmeks riikide alamgrupiks. Lisaks sellele vaatleb töö eraldi osavalimina Euroopa Liiduga 2004. aastal liitunud 10 riigi arengut ja võrdleb seda keskmisel arengutasemel paiknevate võrdlusriikide tulemustega.

Põhilised järeldused, mida siinses töös saadud tulemuste alusel saab teha on järgmised:

1. globaalsel tehnoloogilisel piirkõveral põhineva hinnangu alusel olid 2014. aastal täielikult efektiivsed 10 riiki: Pakistan, Peruu, Costa Rica, Bulgaaria, Poola, Uus-Meremaa,

- Saksamaa, Madalmaad ja USA, kes on erinevates arenguetappides võrdluspunktiks teistele riikidele;
2. ressursikasutuse seisukohalt jagunevad riigid erinevatele arengutasemetele kapitali-tööjõu suhte alusel, suurem kapitalivarustatuse tase ja väiksem tööjõu osakaal sisendites viitavad kõrgemale arengutasemele;
 3. on tekkinud selge keskmisel tasemel kapitali-tööjõu suhtega riikide kogum, mis ühendab varasemalt kahetipuliselt konvergeerunud riikide jaotusi ja viitab globaalse konvergentsi toimumisele;
 4. globaalse keskmise alusel on maailma efektiivsusnäitajad 2003–2014 aastani paranenud ja ühtlustunud 18% võrra, madalal arengutasemel on areng suurim (37%), keskmisel arengutasemel suur (20%) ja kõrgel arengutasemel negatiivne (–1%);
 5. tootlikkuse areng on kogu valimis aastatel 2003–2014 olnud 4%, areng on suurim madalal arengutasemel (8%) ja mõõdukas keskmisel (6%) ja kõrgel arengutasemel (5%);
 6. piirkõvera laienemine ehk kasutatava parima tehnoloogia areng on toimunud eelkõige madala arengutasemega riikides (55%), keskmise arengutaseme juures on tehnoloogia areng olnud 25% ja kõrgel arengutasemel negatiivne –0.002%, ehk reaalne maailma tipp tehnoloogia ei ole vaadeldaval perioodil eriti arenenud, põhjustades tehnoloogilise piirkõvera tõusu järsenemise;
 7. parima arengutasemele vastava tehnoloogia rakendamise ulatus erinevates riikides ehk efektiivsuse muutus on madalal ja keskmisel arengutasemel olnud kahanev (vastavalt –30% ja –16%) ja kõrgel tasemel paranenud (5%), mis tuleneb kiirest arengust madalamates arenguetappides, kus kõik riigid ei suuda piisavalt kiiresti arengutega kaasas käia, aga ka väga aeglasest tehnoloogia arengust kõrgel tasemel, mis lubab kõigil parimatele tavadele vastava tehnoloogia suunas konvergeeruda;
 8. suurtes majandusühendustes osalemine soodustab Euroopa Liiduga 2004. aastal liitunute näitel tipp tehnoloogia jõudmist kõigi vähemarenenud osavõtjateni, mis annab neile eelise oma arengutasemel paiknevate konkurentidega võrreldes ja vähendab tõenäosust mahajääjate tekkeks.

Kinnitust saab hüpotees, et tootlikkust vedavate komponentide kaal erineb arengutasemeti. Kõrgel arengutasemel on tootlikkuse areng selgelt efektiivsuse muutusest tulenev ja kätkeb endas laiapõhjalist ressursisäästlikkuse printsiibi rakendamist koos võimalikult heade olemasolevate tehnoloogiatega kõigis tegutemisvaldkondades. Tehnoloogiline muutus on kõrgel arengutasemel stagneerunud ja ei ole vaadeldaval ajaperioodil tootlikkust kasvatavat rolli mänginud. Madalal ja

keskmisel arengutasemel on tootlikkuse kasv tingitud just tehnoloogilisest arengust, mille käigus võetakse kõrgemalt arenenud riikidest üle aina paremaid tehnoloogiaid. Efektiivsuse muutus on neis rühmades aga negatiivne, mis näitab rühmasiseste mahajääjate teket – kuigi tekib ligipäas aina parematele tehnoloogiatele, ei jõua need lahendused kõikidesse valdkondadesse, mille stagneerumine efektiivsust pärsib.

DEA meetodika on kasulik tööriist erinevate võrreldavate otsustusüksuste, kaasaarvatud riikide, efektiivsuse ja selle arengu hindamiseks, misjärel saab neid hinnanguid siduda parimate otsustusüksuste poolt defineeritud efektiivsuspiiriga ja neilt õpitut rakendada piirkõverast eemal paiknevate otsustusüksuste tegutsemises. DEA rakendamise võimalused ei piirdu riikide tasemel võrdlustega. Töö tulemused võimaldavad mõista, millistel arengutasemetel erinevad riigid paiknevad ja millistest faktoritest tõukub efektiivsuse ja tootlikkuse kasv antud arengutasemel. Seda arvestades saavad riigid ja riikide ühendused teha informeeritumaid otsuseid eelarve- ja majanduspoliitikas laiemalt.

Uurimistööd on edaspidi võimalik edasi arendada kasutades suuremal hulgal infot sisendite osas, kaasates mudelisse ka täpsemat infot immateriaalsete varade, tootmiskeskonna ja kasutatava inimkapitali kvaliteedi kohta. Malmquist'i indeksi alusel tehtavas tootlikkuse hindamises tuleb tulevikus arvestada ka loodusvarade ja keskkonnaväärtustega. Uuringu tulemusi võiks võrrelda sama valimi jaotusliku ehk hinnaefektiivsuse mõjudega, kuid selle hindamise jaoks puuduvad praegu veel vajaminevad andmed. Tasub kaaluda ka teistel mastaabisäästu eeldustel mudelite koostamist nagu *order-m* või α -kvantiil, mis ei ole niivõrd tundlikud ekstreemsete väärtuste suhtes ja lubaksid selgemalt järjestada vaatlusi paremuse alusel. Nii oleks võimalik hinnata efektiivsust veelgi põhjalikumalt.

SUMMARY

NON-PARAMETRIC PRODUCTION EFFICIENCY ESTIMATION: A CROSS-COUNTRY COMPARATIVE ANALYSIS

Indrek Viires

This research paper takes a nonparametric approach to efficiency estimation by using data envelopment analysis (DEA) to model the global technological efficiency frontier and assess the output-oriented efficiency measures for every decision making unit (DMU) observed. The global technological frontier models the best combination of inputs and outputs for different capital-labour ratio levels – a reflection of best practices used in production technologies. Estimated efficiency measures describe the relative position of observations to the technological frontier.

Data envelopment analysis employs Farrell's (1957) approach to efficiency estimation, which has laid the foundation for further developments in the field of operational efficiency estimation. DEA differs from other means of efficiency estimation such as Stochastic Frontier Analysis (SFA) by requiring minimal *a priori* assumptions regarding the functional form of the production function and relying solely on extrapolation of actual data. This makes the results indifferent to variance in market structure or market imperfections across the observed DMU-s. DEA estimations rely on comparison with the best, not the average, which is reasonable and makes any conclusions derived from such estimations more meaningful. Downsides of using DEA include sensitivity to outliers and extreme values, which necessitates thorough testing for the existence of outliers and usage of data that is measured correctly.

The subjects discussed in this research paper are the possibilities of using DEA for decomposition of efficiency and productivity growth. The main hypothesis of this paper is as follows: the weights of the components that drive productivity growth are different for countries on different levels of economic development. The research questions that require an answer to make necessary conclusions are:

1. What countries are located on the global technological frontier?
2. How does resource consumption differ between the wealthiest and the converging countries of the world?
3. Which factors drive productivity growth on different levels of economic development?
4. Which countries and in what way are similar or different in the structure of factors that drive their productivity growth?

This research paper also investigates the effect of economic co-operation and taking part in coalitions on the efficiency and productivity change of countries. This is done by comparing the efficiency and productivity measures of countries that joined the European Union in 2004 to other countries in the medium group of capital-labour ratio levels that do not take part in any large coalitions.

DEA modelling was performed by focusing on a traditional dual-input single-output production function, with GDP *per capita* as the output and average yearly working hours per worker and capital stock per worker as inputs. The final sample consists of 58 countries, whose data was used to model variable returns-to-scale technological frontiers for years 2003 and 2014. Malmquist productivity index was applied to assess the dynamics and decomposition of productivity growth. Productivity change was decomposed into technology change (global technological progress) and efficiency change (dependent on country-specific decisions and performance). The sample was divided into three separate groups of economic development. The group-specific efficiency and productivity measures were aggregated using harmonic averages.

Main conclusions made from the results of analysis conducted in this research paper are the following:

1. there were 10 completely efficient countries in 2014: Pakistan, Peru, Costa Rica, Bulgaria, Poland, New-Zealand, Germany, Netherlands and USA;
2. all countries can be designated to separate groups of economic development according to their capital-labour ratio, a higher level of capital-stock and lesser use of labour imply a higher level of economic development;
3. a distinct medium group of economic development has emerged, which unifies the formerly twin peaked distribution of countries;
4. the global average efficiency score has improved by 18% through 2003–2014, countries in the low development group have benefitted the most (37%), medium development group

- has benefitted greatly (20%) and the highly developed countries have, on average, become a little less effective (-1%);
5. average productivity change in the whole sample has been 4%.
 6. technological change has mostly benefitted the low development group of countries (55%), medium development group has benefitted from it a lot (25%) and there has been slightly negative technological change (-0.002%) in the highly developed group;
 7. efficiency change is negative in low- and medium development groups (-30% and -16% respectively) and positive in the high development country group (5%);
 8. according to the subsample including the members of the European Union who joined in 2004, participating in large economic coalitions increases the spread of technological improvements and makes being technologically left behind less probable.

The hypothesis of the weights of components that drive productivity growth being different for countries on different levels of economic development is proven, as productivity growth in low- and medium development groups stems distinctively from global technological change, the component of efficiency change in these two groups is negative. This implies that many improvements in used technology are made in these groups, yet the improvements are not widespread and do not reach all sectors of economy. The high development group benefits solely from efficiency change and has a slightly negative technological change, which is probably due to Malmquist productivity indexes property of not incorporating environmentally friendly improvements in production methods into the productivity improvement measure. All in all there are signs of catch-up in global efficiency, as the less developed start using technological improvements faster than the highly developed can innovate at the highest level, which allows everyone to converge towards the best practises of the world.

KASUTATUD ALLIKATE LOETELU

- Aragon, Y., Daouia, A., Thomas-Agnan, C. (2005). Nonparametric Frontier Estimation: A Conditional Quantile-Based Approach. – *Econometric Theory*, Vol. 21, No. 2, 358–389.
- Banker, R. D. (1984). Estimating most productive scale size using data envelopment analysis. – *European Journal of Operational Research*, Vol. 17, No. 1, 35–44.
- Basile, R., Capello, R., Caragliu, A. (2012). Technological interdependence and regional growth in Europe: Proximity and synergy in knowledge spillovers – *Papers in Regional Science*, Vol. 91, No. 4, 697–722.
- Bogetoft, P., Otto, L. (2011). *Benchmarking with DEA, SFA and R*. New York: Springer Science+Business Media.
- Bogetoft, P., Otto, L. (2018a). *Benchmark and Frontier Analysis Using DEA and SFA*. Kättesaadav: <https://cran.r-project.org/web/packages/Benchmarking/Benchmarking.pdf>, 1. veebruar 2019
- Bogetoft, P., Otto, L. (2018b). Benchmarking with DEA and SFA, R package version 0.27.
- Charnes, A., Cooper, W.W., Rhodes, E. (1978). Measuring the efficiency of decision making units. – *European Journal of Operational Research*, Vol. 2, No. 6, 429–444.
- Coelli, T. J., Rao, D. S. P., O'Donnell, C. J., Battese, G. E. (2005). *An Introduction to Efficiency and Productivity Analysis*. New York: Springer US.
- Da Silva, T., Martins-filho, C., Ribeiro, E. (2016). A comparison of nonparametric efficiency estimators: DEA, FDH, DEAC, FDHC, order-m and quantile. – *Economics Bulletin, Access Econ*, Vol. 36, No. 1, 118–131.
- Diewert, W. E. (1992). Fisher Ideal Output, Input, and Productivity Indexes Revisited. – *Journal of Productivity Analysis*, Vol. 3, No. 3, 211–248.
- Drew, J., Kortt, M., Dollery, B. (2015). What Determines Efficiency in Local Government? A DEA Analysis of NSW Local Government. – *Economic Papers*, Vol. 34, No. 4, 243–256.
- Emrouznejad, A., Yang, G.–L. (2018). A survey and analysis of the first 40 years of scholarly literature in DEA: 1978–2016. – *Socio-Economic Planning Sciences*, Vol. 61, 4–8.
- Farrell, M. J. (1957). The Measurement of Productive Efficiency. – *Journal of the Royal Statistical Society. Series A (General)*, Vol. 120, No. 3, 253–290.
- Feenstra, R. C., Inklaar, R., Timmer, M. P. (2015). The next Generation Of the Penn World Table. – *American Economic Review*, Vol. 105, No. 10, 3150–3182.
- Feenstra, R. C., Inklaar, R., Timmer, M. P. (2016). Penn World Table 9.0. [E-andmebaas] <https://www.rug.nl/ggdc/docs/pwt90.xlsx>, 4. märts 2019.

- Førsund, F. R. (2017). Measuring effectiveness of production in the public sector. – *Omega*, Vol. 73, 93–103.
- Førsund, F. R. (2018). Economic Interpretations of DEA. – *Socio-Economic Planning Sciences*, Vol. 61, 9–15.
- Førsund, F. R., Sarafoglou, N. (2002). On the Origins of Data Envelopment Analysis. – *Journal of Productivity Analysis*, Vol. 17, 23–40.
- Frankel, J. A., Romer, D. (1999). Does Trade Cause Growth? – *American Economic Review*, Vol. 89, No. 3, 379–399.
- Further Expansion*. European Union. Kättesaadav: https://europa.eu/european-union/about-eu/history/2000-2009_en, 22. märts 2019.
- Färe, R., Zelenyuk, V. (2005). On Farrell's Decomposition and Aggregation – *International Journal of Business and Economics*, Vol. 4, No.2, 167–171.
- Grifell-Tatjé, E., Lovell, C. A. K. (1995). A note on the Malmquist productivity index. – *Economics Letters*, Vol. 47, No. 2, 169–116.
- Hall, R. E., Jones, C. I. (1999). Why do Some Countries Produce so Much More Output Per Worker Than Others? – *Quarterly Journal of Economics*, Vol. 114, No. 1, 83–116.
- ISO 3166 Maintenance Agency. *Decoding table of ISO 3166-1 alpha-2 codes*. Kättesaadav: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:pub:PUB500001:en>, 15. aprill 2019
- Kumar, S., Russell, R. R. (2002). Technological Change, Technological Catch-up, and Capital Deepening: Relative Contributions to Growth and Convergence. – *American Economic Review*, Vol. 92, No. 3, 527–548.
- Kuzmenko, E., Smutka, L., Pankov, M., Efimova, N. (2017). The Success Of Economic Policies In Russia: Dependence On Crude Oil Vs. Export Diversification – *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*, Vol. 65, No. 1, 299–310.
- Malmquist, S. (1953). Index numbers and indifference surfaces. – *Trabajos de Estadística*, Vol. 4, No. 2, 209-242.
- Mizobuchi, H. (2017). A superlative index number formula for the Hicks-Moorsteen productivity index. – *Journal of Productivity Analysis*, Vol. 48, No. 2/3, 167–178.
- Männasoo, K., Hein, H., Ruubel, R. (2018). The contributions of human capital, R&D spending and convergence to total factor productivity growth. – *Regional Studies*, Vol. 52, No. 12, 1598–1611.
- Norway Country Monitor. (2012). Economic Structure and Context: Key Sectors.

- R Core Team (2017). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Kättesaadav: <https://www.R-project.org/>, 1. veebruar 2019
- Serra, T., Chambers, R. G., Lansink, A. O. (2014). Measuring technical and environmental efficiency in a state-contingent technology. – *European Journal of Operational Research*, Vol. 236, No. 2, 706–717.
- Sickles, R., Zelenyuk, V. (2019). *Measurement of productivity and efficiency: theory and practice*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Simar, L. (2003). Detecting Outliers in Frontier Models: A Simple Approach. – *Journal of Productivity Analysis*, Vol. 20, 391–424.
- Solow, R. M. (1957). Technical Change and the Aggregate Production Function. – *The Review of Economics and Statistics*, Vol. 39, No. 3, 312–320.
- Syverson, C. (2011). What Determines Productivity? – *Journal of Economic Literature*, Vol. 49, No. 2, 326–365.
- Zelenyuk, V. (2006). Aggregation of Malmquist productivity indexes – *European Journal of Operational Research*, Vol. 174, No. 2, 1076–1086.
- Quah, D. T. (1996). Twin Peaks: Growth And Convergence In Models Of Distribution Dynamics. – *Economic Journal*, Vol. 106, No. 437, 1045–1055.
- Quah, D. T. (1997). Empirics for Growth and Distribution: Stratification, Polarization, and Convergence Clubs. – *Journal of Economic Growth*, Vol. 2, No. 1, 27–59.
- Rayp, G., Van De Sjipte, N. (2007). Measuring and explaining government efficiency in developing countries. – *The Journal Of Development Studies*, Vol. 43, No. 2, 360–381.
- Ubago Martínez, Y., Pascual Arzoz P., Iraizoz Apezteguía, B. (2018). Does decentralization contribute to efficiency? Evidence from OECD countries. – *Applied Economics*, Vol. 50, No. 7, 726–742.
- Uddin, N. (2015). Productivity Growth, Efficiency Change, & Technical Progress of a Corporate Sector in Bangladesh: A Malmquist Output Productivity Index Approach – *International Journal of Economics and Finance*, Vol. 7, No. 8. 240–255.
- Yörük, B. K., Zaim, O. (2005). Productivity growth in OECD countries: A comparison with Malmquist indices – *Journal of Comparative Economics*, Vol. 33, No. 2, 401–420.
- Wickham. H. (2016). *ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis*. New York: Springer-Verlag.

LISAD

Lisa 1. Töös kasutatud mõistete tabel

Eestikeelne täisnimi	Kasutatud lühend	Ingliskeelne täisnimi	Mõiste selgitus
andmeraja analüüs	DEA	<i>data envelopment analysis</i>	majanduslik modelleerimismeetod, mis hindab parimatele tavadele vastava piirkõvera ja määrab erinevate otsustusüksuste efektiivsuse selle piirkõvera suhtes
stohhastiline piiranalüüs	SFA	<i>stochastic frontier analysis</i>	majanduslik modelleerimismeetod, mis hindab tootmisfunktsiooni ja sellest sõltuvat efektiivsust rakendades stohhastilist lähenemist
otsustusüksus	DMU	<i>decision-making-unit</i>	vaadeldav iseseisev majandusüksus, mis on autonoomne oma valikutes
koguteguritootlikkus	MFP	<i>multi-factor-productivity</i>	üleüldine tootmissisendite rakendamise efektiivsus; osa majanduskasvust, mis ei ole seletatav kapitali- ja tööjõusisendite kasvuga
sisemajanduse koguprodukt	SKP	<i>gross domestic product</i>	ühe riigi aastase toodangu ja teenuste turuväärtus
majanduskasvu arvestuse teooria		<i>growth accounting approach</i>	Robert Solow poolt loodud teooria, kus majanduskasv koosneb erinevatest vaadeldavatest teguritest ning jääkliikmest, mis esindab tehnoloogia arengut
teadmiste ülekanded		<i>knowledge spill-overs</i>	ideede ülekandumine indiviidide vahel, mis stimuleerib tehnoloogiliste parenduste teket
sissetulek elaniku kohta		<i>income per capita</i>	riigi elaniku keskmine aastane sissetulek
vaba käsutatavus		<i>free disposability</i>	olukord, kus on võimalik väljunditest kuludeta loobuda või toota kindlat kogust väljundit rohkematest sisenditest kui vajalik
superefektiivsus		<i>super-efficiency</i>	efektiivsus teiste otsustusüksuste poolt välja joonistatud tehnoloogia suhtes
β -konvergens		<i>β-convergence</i>	protsess, kus vaesed regioonid arenevad kiiremini kui rikkad ja jõuavad neile järele
diferents-diferents hinnang		<i>difference-in-difference estimator</i>	ökonomeetiline tehnika, kus läbi regressiooni hinnatakse erinevust uuritava ja kontrollgrupi vahel
osalise piirkõvera mudel		<i>partial frontier model</i>	FDH üldistus, kus superefektiivsed vaatlused saavad paikneda väljaspool hinnatud tehnoloogilist kõverat

Allikas: Autori koostatud

Lisa 2. Diferents-diferents hinnangu regressiooni tulemused

```
Call:
lm(formula = EFF ~ EL + K14 + (EL * K14), data = did)

Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-0.67258 -0.18480 -0.08172  0.17930  0.63485

Coefficients:
                Estimate            Std. Error t value      Pr(>|t|)
(Intercept)  1.5209492908445294557  0.0996127236489456475  15.269 <0.00000000000000002 ***
EL           0.2128050137542148446  0.1373066639105557651   1.550    0.130
K14          0.0000000000000006439  0.1408736647692621635   0.000    1.000
EL:K14      -0.0611790645764692248  0.1941809463065123365  -0.315    0.755
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 0.2988 on 34 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.0989,    Adjusted R-squared:  0.01939
F-statistic: 1.244 on 3 and 34 DF,  p-value: 0.309
```

Allikas: Autori koostatud

Märkus: EFF – efektiivsushinnang, EL – Euroopa Liitu kuulumise indikaatortunnus, K14 – 2014. aasta indikaatortunnus.

Lisa 3. Wilcoxon'i rank sum testide tulemused

Wilcoxon rank sum test with continuity correction

data: EL2004M\$V1 and TeisedM\$V1

W = 66, p-value = 0.09417

alternative hypothesis: true location shift is not equal to 0

Wilcoxon rank sum test with continuity correction

data: EL2004M\$V2 and TeisedM\$V2

W = 33, p-value = 0.3477

alternative hypothesis: true location shift is not equal to 0

Wilcoxon rank sum test with continuity correction

data: EL2004M\$V3 and TeisedM\$V3

W = 73, p-value = 0.02474

alternative hypothesis: true location shift is not equal to 0

Allikas: Autori koostatud

Märkus: V1 – Malmquist'i indeks, V2 – Tehnoloogiline muutus, V3 – Efektiivsuse muutus.

Lisa 4. R kood

```
library(Benchmarking)
library(tibble)
library(dplyr)
library(boot)
library(ggplot2)
library(wesanderson)

options(scipen=999) #eemaldan plots'i kasutatavatel joonistel scientific formaadi

#2014 andmed
X <-data.frame(data=Input[-c(2),]) #Muudan andmed data frame'iks
Sisend<-column_to_rownames(X, var="data.country") #muudan riigid reanimedeiks
Sisendp<-cbind(X,ISO[-c(2),]) #Lisan ISO koodid
Sisendplot<-column_to_rownames(Sisendp, var="countrycode") #sätestan ISO koodid
reanimedeiks
Sisendplot<-subset(Sisendplot, select= -data.country) #eemaldan riiginime

Y <-data.frame(data=Output[-c(2),]) #Muudan andmed data frame'iks
Valjund<-column_to_rownames(Y, var="data.country") #muudan riigid reanimedeiks
Valjundp<-cbind(Y,ISO[-c(2),]) #Lisan ISO koodid
Valjundplot<-column_to_rownames(Valjundp, var="countrycode") #sätestan ISO koodid
reanimedeiks
Valjundplot<-subset(Valjundplot, select= -data.country) #eemaldan riiginime

#Mudel esialgse valimiga
par(mfrow=c(1,1))
e1 vrs <- dea(Sisend,Valjund,ORIENTATION = "out") #dea analüüsi Farrell klassi tulemus
dea.plot(Sisendplot,Valjundplot, ORIENTATION="in-out",txt =TRUE, fex=0.5,xlab="Sisendid:
kapitalivaru ja tootunnid",ylab="SKP elaniku kohta ($)") #esialgse mudeli visualiseering

val <-data.frame(e[["eff"]]) #data frame efektiivsustest
group<-peers(e) #kellega võrreldakse, ehk millisesse gruppi kuulub
kaalud<-lambda(e) #kaalud millega võrdlusele arvestatakse

se<-sdea(Sisend,Valjund,ORIENTATION = "out") #super-efektiivsused võrdlemaks neid, kelle
standardefektiivsus on 1
e_fdh<-dea(Sisend,Valjund,RTS="fdh",ORIENTATION = "out") #free disposal hull analüüs.
e1 crs <- dea(Sisend,Valjund,RTS="crs",ORIENTATION = "out")#pideva mastaabisäästu
analüüs

#valimi spetsifikatsioon 2

Valjund2<-as.data.frame(Output[-c(36,47,55), ]) #uus v'ljund ilma Norra Venemaa Ja
Kambodžata
Valjund2n<-column_to_rownames(Valjund2,var="country") #uus väljund reanimedega
ISO2<-ISO[-c(36,47,55),] #eemaldan erandid ISO koodides
Valjund2p<-cbind(Valjund2,ISO2) #Lisan ISO koodid
```

```

Valjund2plot<-column_to_rownames(Valjund2p, var="countrycode") #sätestan ISO koodid
reanimedeeks
Valjund2plot<-subset(Valjund2plot, select= -country) #eemaldan riiginime

Sisend2<-as.data.frame(Input[-c(36,47,55), ]) #uus sisend ilma Norra Venemaa Ja Kambodžata
Sisend2n<-column_to_rownames(Sisend2,var="country") #uus sisend reanimedega
Sisend2p<-cbind(Sisend2,ISO2) #Lisan ISO koodid
Sisend2plot<-column_to_rownames(Sisend2p, var="countrycode") #sätestan ISO koodid
reanimedeeks
Sisend2plot<-subset(Sisend2plot, select= -country) #eemaldan riiginime

e2_vrs<-dea(Sisend2n,Valjund2n,ORIENTATION = "out") #mudel 2 vrs
e2_fdh<-dea(Sisend2n,Valjund2n,RTS="fdh",ORIENTATION = "out")#mudel 2 fdh
e2_crs<-dea(Sisend2n,Valjund2n,RTS="crs",ORIENTATION="out")#mudel 2 crs
se2<-sdea(Sisend2n,Valjund2n,ORIENTATION = "out") #superefektiivsused mudel2

#valimi spetsifikatsioon 3

Valjund3<-as.data.frame(Output[-c(2,6,9,11,36,41,47,55,56,67), ]) #uus väljund ilma Šveitsi,
Luksemburgi, Singapuri, Vietnami, Bangladeshi ja Barbadoseta
Valjund3n<-column_to_rownames(Valjund3,var="country") #uus väljund reanimedega
ISO3<-ISO[-c(2,6,9,11,36,41,47,55,56,67),] #eemaldan erindid ISO koodides
Valjund3p<-cbind(Valjund3,ISO3) #Lisan ISO koodid
Valjund3plot<-column_to_rownames(Valjund3p, var="countrycode") #sätestan ISO koodid
reanimedeeks
Valjund3plot<-subset(Valjund3plot, select= -country) #eemaldan riiginime

Sisend3<-as.data.frame(Input[-c(2,6,9,11,36,41,47,55,56,67), ]) #uus sisend ilma Šveitsi,
Luksemburgi, Singapuri, Vietnami, Bangladeshi ja Barbadoseta
Sisend3n<-column_to_rownames(Sisend3,var="country") #uus sisend reanimedega
Sisend3p<-cbind(Sisend3,ISO3) #Lisan ISO koodid
Sisend3plot<-column_to_rownames(Sisend3p, var="countrycode") #sätestan ISO koodid
reanimedeeks
Sisend3plot<-subset(Sisend3plot, select= -country) #eemaldan riiginime

e3_vrs<-dea(Sisend3n,Valjund3n,ORIENTATION = "out") #mudel 3 vrs
dea.plot(Sisend3plot,Valjund3plot, ORIENTATION="in-out",txt =TRUE, fex=0.5,
xlab="Sisendid: kapitalivaru ja tootunnid",ylab="SKP elaniku kohta ($)") #Dea visualiseering
3vrs

e3_fdh<-dea(Sisend3n,Valjund3n,RTS="fdh", ORIENTATION = "out") #mudel 3 fdh
dea.plot(Sisend3plot,Valjund3plot,RTS="fdh", ORIENTATION="in-out",txt =TRUE, fex=0.5,
xlab="Sisendid: kapitalivaru ja tootunnid",ylab="SKP elaniku kohta ($)") #Dea visualiseering
3fdh

e3_crs<-dea(Sisend3n,Valjund3n,RTS="crs", ORIENTATION = "out") #mudel 3 crs
dea.plot(Sisend3plot,Valjund3plot,RTS="crs", ORIENTATION="in-out",txt =TRUE, fex=0.5,
xlab="Sisendid: kapitalivaru ja tootunnid",ylab="SKP elaniku kohta ($)") #Dea visualiseering
3crs

```

```

#Spetsifikatsioon 3 võrdlus
par(mfrow=c(1,3))
dea.plot(Sisend3plot,Valjund3plot,RTS="crs", ORIENTATION="in-out",txt =FALSE, fex=0.5,
xlab=" ",ylab="SKP elaniku kohta ($)")+title(main=list("CRS",cex = 1,col = "black", font = 1))
dea.plot(Sisend3plot,Valjund3plot, ORIENTATION="in-out",txt =FALSE, fex=0.5,
xlab="Sisendid",ylab=" ") +title(main=list("VRS",cex = 1,col = "black", font = 1))
dea.plot(Sisend3plot,Valjund3plot,RTS="fdh", ORIENTATION="in-out",txt =FALSE, fex=0.5,
xlab=" ",ylab=" ") +title(main=list("FDH",cex = 1,col = "black", font = 1))
par(mfrow=c(1,1))

#edasi ainult vrs, sest see on kõige paremini kirjeldav
val3 <-data.frame(e3_vrs[["eff"]]) #data frame efektiivsustest mudelis 3
se3<-sdea(Sisend3n,Valjund3n,ORIENTATION = "out") #superefektiivsused mudelis 3

group3<-peers(e3_vrs) #arengutasemeti grupeerimise tunnused
grupp3<-as.data.frame(group3) #võrdlusandmetest data frame
Jaotus<-grupp3[order(grupp3$peer1),] #sorteeritud esimese võrreldava alusel

#2003 andmed

Valjund2003<-as.data.frame(X2003OUT[-c(5,8,10,35,40,46,54,55,66), ]) #võrdne valimi
spetsifikatsioon 3-ga
Valjund2003n<-column_to_rownames(Valjund2003,var="country") #uus väljund reanimedega
Valjund2003p<-cbind(Valjund2003,ISO3) #Lisan ISO koodid
Valjund2003plot<-column_to_rownames(Valjund2003p, var="countrycode") #sätestan ISO
koodid reanimedeks
Valjund2003plot<-subset(Valjund2003plot, select= -country) #eemaldan riiginime

Sisend2003<-as.data.frame(X2003IN[-c(5,8,10,35,40,46,54,55,66), ]) #võrdne valimi
spetsifikatsioon 3-ga
Sisend2003n<-column_to_rownames(Sisend2003,var="country") #uus sisend reanimedega
Sisend2003p<-cbind(Sisend2003,ISO3) #Lisan ISO koodid
Sisend2003plot<-column_to_rownames(Sisend2003p, var="countrycode") #sätestan ISO koodid
reanimedeks
Sisend2003plot<-subset(Sisend2003plot, select= -country) #eemaldan riiginime

e2003_vrs<-dea(Sisend2003n,Valjund2003n,ORIENTATION = "out") #mudel 2003 vrs
dea.plot(Sisend2003plot,Valjund2003plot, ORIENTATION="in-out",txt =TRUE, fex=0.5,
xlab="Sisendid",ylab="SKP") #mudel 2003 visualiseering
se2003<-sdea(Sisend2003n,Valjund2003n,ORIENTATION = "out") #2003 aasta
superefektiivsused

#2014 ja 2003 joonised kõrvuti
par(mfrow=c(1,2))
dea.plot(Sisend2003plot,Valjund2003plot, ORIENTATION="in-out",txt =TRUE, fex=0.5,
xlab="Sisendid",ylab="SKP elaniku kohta ($)")+title(main=list("2003",cex = 1,col = "black",
font = 1))
dea.plot(Sisend3plot,Valjund3plot, ORIENTATION="in-out",txt =TRUE, fex=0.5,
xlab="Sisendid",ylab="SKP elaniku kohta ($)")+title(main=list("2014",cex = 1,col = "black",
font = 1))

```

```

sekoos<-cbind(se2003$eff,se3$eff) #tabel superefektiivsustega 2003 ja 2014 aastast

#Malmquist'i kaudu dekomponeerimine
malmq<-
malmq(Sisend2003n,Valjund2003n,ID0=NULL,Sisend3n,Valjund3n,ID1=NULL,RTS="crs",O
RIENTATION="out") #Malmquist'i hinnangud
m<-as.data.frame(cbind(malmq$m,malmq$tc,malmq$ec)) #data frame Malmquist'i tulemustest
mround<-round(m, digits = 2) #ümardan kahe komakohani

#tabel efektiivsusnäitajatest
eff03ja14<-cbind(e2003_vrs$eff,e3_vrs$eff)
etabel<-round(eff03ja14, digits = 2)

#keskmised efektiivsused
1/mean(1/e3_vrs$eff) # harmooniline 2014
1/mean(1/e2003_vrs$eff) #harmooniline 2003

#Malmquist'i keskmised
1/mean(1/m$V1)#MQ indeks harmooniline
1/mean(1/m$V2)# harmooniline tehnoloogiline muutus
1/mean(1/m$V3)# harmooniline efektiivsuse muutus

#RUHMITAMINE

#ARENGUTASEME JARGI
#Malmquist'i näitajad
madalM<-as.data.frame(m[-
c(2,8,12,17,23,27,28,32,35,38,39,41,47,48,53,54,3,4,16,18,19,20,29,40,
11,21,22,26,36,46,56,7,13,14,31,49,50,52,10,42,43,45),]) #madal rühm
Malmquist
keskmineM<-as.data.frame(m[-
c(1,5,6,9,15,24,25,30,33,34,37,44,51,55,57,58,3,4,16,18,19,20,29,40,
11,21,22,26,36,46,56,7,13,14,31,49,50,52,10,42,43,45),]) #keskmine rühm
Malmquist
korgeM<-as.data.frame(m[-
c(2,8,12,17,23,27,28,32,35,38,39,41,47,48,53,54,1,5,6,9,15,24,25,30,33,
34,37,44,51,55,57,58,10,42,43,45),]) #kõrge rühm

#efektiivsusnäitajad
madalE<-as.data.frame(eff03ja14[-
c(2,8,12,17,23,27,28,32,35,38,39,41,47,48,53,54,3,4,16,18,19,20,29,40,
11,21,22,26,36,46,56,7,13,14,31,49,50,52,10,42,43,45),]) #madal rühm eff
keskmineE<-as.data.frame(eff03ja14[-
c(1,5,6,9,15,24,25,30,33,34,37,44,51,55,57,58,3,4,16,18,19,20,29,40,
11,21,22,26,36,46,56,7,13,14,31,49,50,52,10,42,43,45),]) #keskmine
rühm eff
korgeE<-as.data.frame(eff03ja14[-
c(2,8,12,17,23,27,28,32,35,38,39,41,47,48,53,54,1,5,6,9,15,24,25,30,33,
34,37,44,51,55,57,58,10,42,43,45),]) #kõrge rühm eff

```

```
#Arengutasemete keskmised
```

```
#madal harmooniline
```

```
round(1/mean(1/madalE$V1),2)  
round(1/mean(1/madalE$V2),2)  
round(1/mean(1/madalM$V1),2)  
round(1/mean(1/madalM$V2),2)  
round(1/mean(1/madalM$V3),2)
```

```
#keskmise harmooniline
```

```
round(1/mean(1/keskmiseE$V1),2)  
round(1/mean(1/keskmiseE$V2),2)  
round(1/mean(1/keskmiseM$V1),2)  
round(1/mean(1/keskmiseM$V2),2)  
round(1/mean(1/keskmiseM$V3),2)
```

```
#kõrge harmooniline
```

```
round(1/mean(1/korgeE$V1),2)  
round(1/mean(1/korgeE$V2),2)  
round(1/mean(1/korgeM$V1),2)  
round(1/mean(1/korgeM$V2),2)  
round(1/mean(1/korgeM$V3),2)
```

```
1/mean(1/korgeM$V2)
```

```
#Euroopa liiduga liitujad
```

```
EL2004M<-as.data.frame(m[-  
c(1,5,6,9,15,24,25,30,33,34,37,44,51,55,57,58,3,4,16,18,19,20,29,40,  
21,22,26,46,56,14,7,13,31,50,52,10,42,43,2,8,27,28,32,39,41,47,53,54),])  
EL2004E<-as.data.frame(ef03ja14[-  
c(1,5,6,9,15,24,25,30,33,34,37,44,51,55,57,58,3,4,16,18,19,20,29,40,  
21,22,26,46,56,7,14,13,31,50,52,10,42,43,2,8,27,28,32,39,41,47,53,54),])
```

```
#Võrdlusrühm
```

```
TeisedM<-as.data.frame(m[-  
c(1,5,6,9,15,24,25,30,33,34,37,44,51,55,57,58,3,4,16,18,19,20,29,40,  
11,21,22,26,36,46,56,7,13,14,31,49,50,52,10,42,43,45,12,17,23,36,35,45,48,49,5,47,38),])  
TeisedE<-as.data.frame(ef03ja14[-  
c(1,5,6,9,15,24,25,30,33,34,37,44,51,55,57,58,3,4,16,18,19,20,29,40,  
11,21,22,26,36,46,56,7,13,14,31,49,50,52,10,42,43,45,12,17,23,36,35,45,48,49,5,47,38),])
```

```
#Võrdlus EL2004 vs teised
```

```
#keskmised EL04 harmooniline  
round(1/mean(1/EL2004E$V1),2)  
round(1/mean(1/EL2004E$V2),2)  
round(1/mean(1/EL2004M$V1),2)  
round(1/mean(1/EL2004M$V2),2)
```

```

round(1/mean(1/EL2004M$V3),2)

#keskmised teised harmooniline
round(1/mean(1/TeisedE$V1),2)
round(1/mean(1/TeisedE$V2),2)
round(1/mean(1/TeisedM$V1),2)
round(1/mean(1/TeisedM$V2),2)
round(1/mean(1/TeisedM$V3),2)

#Diferents-diferents hinnang
teisedK<-cbind.data.frame("EFF"=TeisedE$V2,"EL"=0,"K14"=1)
teisedO<-cbind.data.frame("EFF"=TeisedE$V1,"EL"=0,"K14"=0)
EL2004K<-cbind.data.frame("EFF"=EL2004E$V2,"EL"=1,"K14"=1)
EL2004O<-cbind.data.frame("EFF"=EL2004E$V1,"EL"=1,"K14"=0)
did<-rbind.data.frame(teisedK,teisedO,EL2004K,EL2004O)#teen data frame'i
didreg<-lm(formula=EFF~ EL + K14 + (EL*K14),data=did) #regressioon
summary(didreg) #tulemused

#Wilcoxon'i ranksum test
res1 <- wilcox.test(EL2004M$V1,TeisedM$V1,exact = FALSE) #Malmquist'ile
res1
res2 <- wilcox.test(EL2004M$V2,TeisedM$V2,exact = FALSE) #Tehnoloogilisele muutusele
res2
res3 <- wilcox.test(EL2004M$V3,TeisedM$V3,exact = FALSE) #Efektiivsuse muutusele
res3

#JOONISED
#Malmquist'i tulemuste joonis
koos<-
rbind.data.frame(cbind(madalM,Arengutase="madal"),cbind(keskmineM,Arengutase="keskmine
"),cbind(korgeM,Arengutase="korge"))
koos$grupp <- as.factor(koos$Arengutase)
colnames(koos)[2]<-"Tehnoloogiline_muutus"
colnames(koos)[3]<-"Efektiivsuse_muutus"
koos<-cbind(koos,ISOAT)
dekomplot<-ggplot(koos,aes(Tehnoloogiline_muutus,Efektiivsuse_muutus,colour=Arengutase,
)) + geom_point(size=3) +
  scale_color_manual(values = wes_palette(n=3, name="Moonrise2"))+
  geom_text(color="black",label=koos$ISO,nudge_x = 0.035, size = 3.3,check_overlap = F)+
  scale_y_continuous(name="Efektiivsuse muutus")+scale_x_continuous(name="Tehnoloogiline
muutus")
dekomplot

#Algse valimi joonis
valimill
colnames(valimill)[1]<-"ISO"
colnames(valimill)[2]<-"Tootunnid"
colnames(valimill)[3]<-"Kapitalivaru"
valimill<-cbind(valimill,Grupp=1)
valimill<-subset(valimill,select=-Grupp)

```



```

ggplot(valimill,aes(Tootunnid,Kapitalivaru,colour=Arengutase)) +
  geom_point(size=3)+geom_text(color="black",label=valimill$ISO,nudge_x = 40, size=
3.3,check_overlap = F)+
  scale_color_manual(values = wes_palette(n=4, name="Moonrise2"))+
  geom_smooth(lty="dotted",size=0.7,color="black",method="loess",se = FALSE)+
  scale_y_continuous(name="Kapitalivaru elaniku kohta (miljonit $)",
labels=scales::format_format(big.mark = " ",scientific=FALSE))

#Sageduspolügonid efektiivsuste jaotustest
histoplot<-as.data.frame(ef03ja14)
v2hist<-as.data.frame(cbind(histoplot$V2,"Aasta"="2014"))
v1hist<-as.data.frame(cbind(histoplot$V1,"Aasta"="2003"))
histoplot2<-rbind.data.frame(v2hist,v1hist)
histoplot2$V1<-as.numeric(as.character(histoplot2$V1))
ggplot(histoplot2,aes(x=V1,color=Aasta,linetype=Aasta))+
  geom_freqpoly(bins=13)+xlab("Efektiivsuse vaartused")+ylab("Riikide arv")

quantile(histoplot$V1) #kvantiilid 2003
quantile(histoplot$V2) #kvantiilid 2014

```