

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL

Majandusteaduskond

Sofia Kruusalu

**TEADUS- JA ARENDUSTEGEVUSE EFEKTIIVSUS EUROOPA
LIIDUS**

Magistritöö

Õppekava majandusanalüüs

Juhendaja: Heili Hein, MA

Tallinn 2023

Deklareerin, et olen koostanud lõputöö iseseisvalt ja olen viidanud kõikidele selle koostamisel kasutatud teiste autorite töödele, olulistele seisukohtadele ja andmetele, ning ei ole esitanud sama tööd varasemalt ainepunktide saamiseks.

Töö pikkuseks on 11 925 sõna sissejuhatusest kuni kokkuvõtte lõpuni.

Sofia Kruusalu 08.05.2023

(kuupäev)

SISUKORD

LÜHIKOKKUVÕTE.....	5
SISSEJUHATUS	6
1. TEADUS- JA ARENDUSTEGEVUSE OLEMUS JA TÄHTSUS	9
1.1. Teadus- ja arendustegevus kui majandusarengu võtmetegur	9
1.2. Teadus- ja arendustegevuse mõju innovatsiooni tulemuslikkusele	13
1.3. Teadus- ja arendustegevuse efektiivsus varasemas kirjanduses	15
2. TEADUS- JA ARENDUSTEGEVUSE EFEKTIIVSUSE HINDAMINE	19
2.1. Efektiivsuse mõiste ja hindamise meetodid.....	19
2.2. Stohhastiline piiranalüüs.....	22
2.2.1. Stohhastilise piiranalüüsi väljakujunemine	22
2.2.2. Efektiivsuse hindamine stohhastilise piiranalüüsi abil	22
2.2.3. Stohhastiline piiranalüüs paneelandmetel	23
2.3. Teadus- ja arendustegevuse tootmisfunktsioon	24
2.4. Teadus- ja arendustegevuse kapitalivaru	25
3. EMPIIRILINE ANALÜÜS	27
3.1. Andmed ja tunnused	27
3.2. Kirjeldav statistika	29
3.3. Tulemused	40
3.4. Järeldused	44
KOKKUVÕTE	50
SUMMARY.....	54
KASUTATUD ALLIKATE LOETELU	59
LISAD	65
Lisa 1. Analüüsis hõlmatud riigid.....	65
Lisa 2. Keskmine patenditaotluste arv 100 000 elaniku kohta Euroopa Liidu riikide aastatel 2010-2019.....	66
Lisa 3. Keskmine avaldatud teadusartiklite arv 100 000 elaniku kohta Euroopa Liidu riikides aastatel 2010-2019	67
Lisa 4. Teadus- ja arendustegevuse efektiivsus Euroopa Liidu riikides aastatel 2010-2019, kasutades patenditaotlusi väljundina	68
Lisa 5. Teadus- ja arendustegevuse efektiivsus Euroopa Liidu riikides aastatel 2010-2019, kasutades teadusartikleid väljundina	69

Lisa 6. Teadus- ja arendustegevuse efektiivsus Euroopa Liidu riikides aastatel 2010-2019, kasutades kombineeritud näitajat väljundina.....	70
Lisa 7. Lihtlitsents	71

LÜHIKOKKUVÕTE

Käesoleva magistritöö eesmärgiks on välja selgitada, kui efektiivselt kasutavad Euroopa Liidu riigid teadus- ja arendustegevuse ressursse, jaotades teadus- ja arendustegevuse kõrgharidussektori, avaliku sektori ning erasektori vahel. Lisaks hinnatakse, kui efektiivselt kasutab Eesti teadus- ja arendustegevuse ressursse võrreldes teiste Euroopa Liidu riikidega. Uuritavaks perioodiks on 2010-2019 ning efektiivsuse hindamiseks kasutatakse stohhastilist piiranalüüsi.

Käesolevas töös hinnatakse teadus- ja arendustegevuse efektiivsust kolme mudeli abil, mis tõukuvad teadus- ja arendustegevuse protsessi kui tootmisfunktsiooni kirjeldusest. Mudelite sisenditeks on teadus- ja arendustegevuse kapitalivarude ja teadlaste arv ehk tööjõud. Mudelite väljunditeks on vastavalt patenditaotluste arv, avaldatud teadusartiklite arv ning patenditaotlusi ja teadusartikleid kombineeriv muutuja.

Patenditaotluste arvu mõjutab positiivselt erasektori ja avaliku sektori kapitalivarude ning seda mõjutab negatiivselt kõrgharidussektori kapitalivarude. Teadusartiklite arvu mõjutab positiivselt kõrgharidussektori kapitalivarude ning teadlaste arv avalikus sektoris mõjutab teadusartiklite arvu negatiivselt. Kombineeritud muutujat mõjutab positiivselt kõikide sektorite kapitalivarude ja kõrgharidussektori tööjõu suurus ning negatiivselt mõjutab seda avaliku sektori tööjõu suurus.

Üldiselt on teadus- ja arendustegevuse protsessis efektiivsemateks riikideks Põhja- ja Lääne-Euroopa riigid ning ebaefektiivsemateks Ida-Euroopa ja Balkani riigid. Eesti on kolme erineva hinnangu järgi Euroopa Liidu riikide seas 10-14 kohal. Riigi tegevuskavas küll on olulisel kohal teadus- ja arendustegevuse investeringute suurendamine, kuid on oluline tähelepanu pöörata ka selle protsessi efektiivsusele.

Võtmesõnad: Teadus- ja arendustegevus, efektiivsuse hindamine, stohhastiline piiranalüüs.

SISSEJUHATUS

Uudishimu on olnud aluseks ühiskonna arengule juba aastatuhandeid. See omadus on aidanud inimestel lahti mõtestada erinevaid probleeme, üritades lahendada neid läbi kogemuste, mille tulemusena on arenenud välja aina edukam maailm. Soov omandada uusi teadmisi on aidanud kaasa teadus- ja arendustegevuse välja kujunemisele, mis on vajalik igaks eluvaldkonnaks. Teadus- ja arendustegevus on ülevaatlikult uute teadmiste loomine, mis aitab praegust tegevust tõhusamaks muuta.

Kulutused teadus- ja arendustegevusele võimaldavad ettevõtetel leida viise, kuidas olla aina enam efektiivsed ehk otsitakse võimalusi, kuidas vähem kulutada, et saaks rohkem raha teenida. See tähendab, et efektiivsematest ja teadmistele orienteeritud ettevõtetest kasvavad välja ideed, mis aitavad nii majandusel kui ka ühiskonna heaolul kasvada. Teadus- ja arendustegevusega tegelevad lisaks erasektorile ka kõrgharidussektor ning avalik sektor. Kõrgharidus- ja avaliku sektori panus teadusesse ja innovatsiooni on samuti tähtis osa majanduse ja heaolu kasvatamises, sest nende teadustegevuse peamine eesmärk ei ole kasumile suunatud, vaid on suunatud ühiskonna parendamisele.

Alates 2002. aastast on Euroopa Liidu üheks eesmärgiks olnud teadus- ja arendustegevuse investeeringute suurendamine ning kindlaks sihiks on olnud 3% osakaal sisemajanduse koguproduktist (SKP) (Komisjoni teatis... 2020). Siiani pole aga selle sihini jõutud – 2021. aastal oli teadus- ja arendustegevuse kulutuste osakaal sisemajanduse koguproduktist 2,27%. Lisaks üldisele teadus- ja arendustegevuse kulutuste suurendamisele on seatud ka eesmärk suurendada avaliku sektori investeeringute taset 1,25%-le SKPst (*Ibid.*). See mõõde aga ei pruugi jäädvustada, kui palju annavad teadus- ja arendustegevuse kulutused tegelikult tagasi ühiskonnale ja selle arengule ehk kui efektiivselt neid kulutusi kasutatakse. Need riigid, mis on saavutanud 3% eesmärgi ei pruugi olla efektiivsemad kui need riigid, mis kulutavad väiksema osa SKPst. Selle tõttu on pidevalt vaja uurida, millised riigid kasutavad teadus- ja arendustegevuse ressursse efektiivselt ja suudavad neid kulutusi kasutada, et ühiskond liiguks parema ja innovaatilisema tuleviku poole.

Magistritöö eesmärk on välja selgitada, millised riigid Euroopa Liidus kasutavad teadus- ja arendustegevuse kulutusi efektiivselt, dekomponeerides teadus- ja arendustegevus kõrgharidussektori, avaliku sektori ning erasektori vahel. Lisaks uuritakse, kui efektiivselt kasutab Eesti teadus- ja arendustegevuse ressursse võrreldes teiste riikidega. 2023. aasta Eesti valitsuse koalitsioonileppes on tõstatud üles teadus- ja arendustegevuse rahastamise teema ning eesmärgiks on tõsta investeeringud teadus- ja arendustegevusse. Koalitsioonileppes on välja toodud, et avalikke vahendeid investeeritakse teadus- ja arendustegevusele 1% SKP-st ning erasektorile on eesmärgiks 2% SKP-st. (Koalitsioonilepe ...) Antud magistritöö raames uuritakse, kas Eesti kasutab praeguseid teadus- ja arendustegevuse vahendeid ehk kapitalivaru ja tööjõudu ning kas peamiseks eesmärgiks peaks olema rahastuse suurendamine või efektiivsuse suurendamine, vaadates, mida teevad teised riigid hästi, mis rakendavad teadus- ja arendustegevuse sisendeid efektiivsemalt kui Eesti.

Magistritöös on püstitatud järgmised uurimisküsimused:

1. Millised riigid on Euroopa Liidus efektiivsed teadus- ja arendustegevuse ressursside kasutamises?
2. Kui efektiivne on Eesti teadus- ja arendustegevuse protsess võrreldes teiste riikidega?
3. Kuidas on efektiivsus muutunud vaadeldava perioodi jooksul?
4. Kuidas mõjutab kõrgharidussektori panus teadus- ja arendustegevusse selle väljundit?
5. Kuidas mõjutab avaliku sektori panus teadus- ja arendustegevusse selle väljundit?
6. Kuidas mõjutab erasektori panus teadus- ja arendustegevusse selle väljundit?

Varasemalt on uuritud teadus- ja arendustegevuse efektiivsust, kuid põhjalikult sektorite järgi on vaadeldud efektiivsust kasutades vaid andmeraja analüüsi (Ekinci & Ön, 2015; Škrinjarić, 2020). Magistritöös kasutatakse efektiivsuse hindamiseks stohhastilise piiranalüüsi meetodit, millega on võimalik lisaks efektiivsuse hindamisele ka teadus- ja arendustegevuse sisendite mõju väljundile kvantifitseerida. Empiirilise analüüsi valimi moodustavad Euroopa Liidu riigid ning vaadeldavaks ajaperioodiks on 2010-2019.

Antud töö jaguneb kolmeks peatükiks. Esimeses peatükis tehakse ülevaade varasemast teoreetilisest ja empiirilisest kirjandusest teadus- ja arendustegevuse protsessi ning selle efektiivsuse teemal. Magistritöö esimeses osas uuritakse, mis on teadus- ja arendustegevuse olemus ja millist rolli see omab riigi majanduses ja majanduskasvus ning millistele tulemustele on jõudnud varasemad empiirilised uuringud, mis on uurinud teadus- ja arendustegevuse mõju

innovatsiooni tulemuslikkusele ning selle efektiivsust. Teises peatükis kirjeldatakse efektiivsuse hindamise meetodikat ning lähemalt kirjeldatakse empiirilises analüüsis kasutatavat stohhastilist piiranalüüsi. Kolmas peatükk sisaldab andmete kirjeldust, analüüsi ning analüüsil põhinevaid järeldusi.

1. TEADUS- JA ARENDUSTEGEVUSE OLEMUS JA TÄHTSUS

Käesoleva magistritöö antud peatükis kirjeldatakse, mis on teadus- ja arendustegevuse olemus ja millist rolli see omab riigi majanduses ja majanduskasvus. Samuti uuritakse varasemate empiiriliste uuringute tulemusi teadus- ja arendustegevuse mõju innovatsiooni tulemuslikkuse ning teadus- ja arendustegevuse efektiivsuse hindamise teemadel. Teadus- ja arendustegevuse efektiivsuse hindamise tulemuste uurimisel on keskendunud riikidevahelistele uuringutele, sest käesoleva töö empiirilises analüüsis hinnatakse just riikidevahelist efektiivsust.

1.1. Teadus- ja arendustegevus kui majandusarengu võtmetegur

Tänapäeva ühiskonnas tugineb riigi majanduse edu aina rohkem immateriaalsele varale, sealhulgas teadmistele, oskustele ja innovatsioonipotentsiaalile. Nende tegurite tõhus kasutamine võib anda riigile konkurentsieelise, et kasvatada riigi majandust ja selle potentsiaali veelgi rohkem. Immateriaalse vara kasvatamine on üks majanduskasvu olulisemaid komponente ja teadus- ja arendustegevuse tõhusus muutub aina olulisemaks. (Ekinci & Ön, 2015)

Teadus- ja arendustegevus on teadmiste loomine, mida on võimalik kasutada toodetes või protsessides. Teadusuuringud on süstemaatilised uuringud teadmiste avastamiseks ja uute tõdede leidmiseks. Teadusuuringuid on ka vaja selleks, et kontrollida varasemaid avastusi ja põhimõtteid. Uuringud muudavad faktid ja andmed uuteks teadmisteks ja tõekspidamisteks ning see hõlmab endas seoste leidmist olemasolevate ja uute faktide ja andmete vahel, tulemuste tõendamist ja selgitamist ning loogiliste järelduste väljatoomist. (Aityan, 2022; Namanji & Ssekyewa, 2012) Kokkuvõtlikult saab öelda, et teadus- ja arendustegevuse roll on uute toodete loomine või täiustamine või uute tootmistehnikate väljatöötamine, mis muudavad hetke toodete valmistamise efektiivsemaks. Kuivõrd ettevõtted ei saa kulusid tegemata omandada väliseid teadmiste allikaid, on teadus- ja arendustegevus tootmisprotsessis vajalik sisend. (Sylwester, 2001)

Majanduse toodangu suurendamiseks on põhimõtteliselt kaks võimalust: esiteks saab suurendada tootmissisendite hulka ja teiseks on võimalik mõelda uutele viisidele, kuidas saada rohkem

väljundeid samast arvust sisenditest (Rosenberg 2004). 1950. aastatel avastati, et sisendite kasv selgitab vaid väga väikese osa väljundite kasvust (Abramovitz, 1956; Fabricant, 1954; Kendrick, 1956). Abramovitz (1956) tõi oma uurimuses välja, et aastatel 1870-1950 võis sisendite kasv moodustada vaid umbes 15% majanduse toodangu tegelikust kasvust ning umbes 85% majanduse kasvust ei suutnud mudel selgitada. Seega võib oletada, et innovaatus ja uute tehnoloogiate arendamine on tähtsal kohal majanduskasvu saavutamisel.

Paljude kasvuökoonoomika kontseptsioonide, sealhulgas ka teadus- ja arendustegevuse tähtsus majanduskasvus, lähtepunktiks on olnud Solow (1956) majanduskasvu mudel, mis arvestab pikaajalist majanduskasvu. Solow-Swan mudel põhineb Cobb'i ja Douglase (1928) tootmisfunktsioonile ning on üks esimesi kasvumudeleid, mis arvestas tehnoloogiliste muutuste mõjuga majanduskasvule. Antud mudel eeldab, et muutused toodangus elaniku või töötaja kohta sõltuvad kapitalivarude muutustest, rahvaarvu muutustest ja kapitali tuluosast. Solow-Swan mudel tunnistab tehnoloogia positiivse mõju olulisust majanduskasvule, kuid selles mudelis peetakse seda eksogeenseks ehk muud mudelis olevad muutujad seda ei mõjuta.

1970. aastatel pöördusid majandusteadlased eksogeenselt majanduskasvu mudelitelt endogeensete kasvumudelite poole. See pööre endogeensete mudelite poole oli seotud tooleaegsete ülemaailmsete makromajanduslike tasakaalustamatuste ja kriisidega ning sellel ajal hakati keskenduma majandustsüklitele ja nende kõikumistele. Endogeensete kasvumudelite areng andis uue suuna ja nägemuse majanduskasvust ning selle põhjustest ja allikatest. (Szarowská, 2018) Suur osa tehnoloogilise progressi mõjust majanduskasvule tuleb tänu endogeensetele protsessidele, mis tähendab, et kasvumudelis olevatel teguritel on mõju ka iseendale ja suur osa majanduskasvust tuleneb kõrvalmõjudest, mida nimetatakse *spillover* efektiks. Seega tehnoloogiline progress toimub tänu sellele, et oskusi ja teadmisi jagatakse ning seetõttu saab ka majandus kasvada. (Romer 1986; Romer 1990; Lucas 1988; Grosman & Helpman 1991)

Romer (1986) määratles teadus- ja arendustegevust kui peamist majanduskasvu allikat. Romer leidis, et teadus- ja arendustegevus loob teadmisi, mis takistavad väheneva mastaabisäästu tekkimist kapitalil kui tootmisteguril. Ka Grosman ja Helpman (1991) esitasid sarnase lähenemisviisi ning rõhutasid, et kulutused teadus- ja arendustegevusele on majanduskasvu jaoks üliloolised. Teadus- ja arendustegevusele baseerunud endogeensetes majanduskasvu mudelites luuakse tehnoloogiline progress teadmiste akumulatsioonide ning inimkapitali abil. Üheks oluliseks

aluseks endogeensete kasvumudelite puhul on teadmiste konstantse või suureneva mastaabisäästu eeldus, mis on tingitud *spillover* efektist. (Szarowská, 2018)

Teadus- ja arendustegevuse tähtsust rõhutab ka positiivsete välismõjude olemasolu. Olenemata sellest, et investeringud teadus- ja arendustegevusse on väga kulukad, on nendel investeringutel siiski laiaulatuslik positiivne mõju nii tootmistegevusele kui ka laiemalt ühiskonnale. Tuleb märkida, et teadus- ja arendustegevusel on positiivne välismõju nii tegevusala sees kui ka tegevusalade vahel, mis tähendab, et arendused ühes valdkonnas võivad positiivselt mõjutada ka teist valdkonda, sealjuures kulusid suurendamata (Dietzenbacher & Los, 2002). Need välismõjud võivad ilmuda lõpptoodangu tootmisel või teadus- ja arendustegevuse protsessis. Tootmisel tekib positiivne välismõju seetõttu, et ühe innovaatilise toote arendus mõjutab töajõu kogutootlikkust rohkem kui on selle panus kapitalivarusse. Kui uuendused tootmises on ellu viidud saavad ettevõtted nautida tootmisest tekkinud välismõjusid niivõrd palju, kuivõrd nad kasutavad uuenduslikke tooteid. (Pessoa, 2007)

Ka Dietzenbacher ja Los (2002) toovad välja, et innovatsioonil ning teadus- ja arendustegevusel on kahte tüüpi positiivsed välismõjud. Kehastamata välismõjud on seotud ideede, teadmiste ja oskusteabe edasikandmisega. Tööstusharude vahelises kontekstis on oluline seda tüüpi välismõju puhul patendid ning teadmiste edasikandmise uurimisel on tähtis jälgida, milliseid patenteeritud teadmisi või oskusi kasutatakse tööstusharude vahel. Tooteühine välismõju tekib siis, kui ettevõtte toodang sisaldab endas uuendust, mis võib hõlmata täiesti uut toodet või olemasolevate toodete kvaliteedi tõusu. Teised ettevõtted võivad kasutada neid tooteid vahetootena või kapitalina ning seetõttu võib esialge innovatsioon väljenduda palju rohkemates toodetes, sealhulgas ka nendes, mida kasutatakse lõppnõudluses, näiteks tarbimine, investeerimine ja eksport. (Dietzenbacher & Los, 2002)

Riikidevahelistes uuringutes on täheldatud, et ühe riigi tehnoloogiline areng ei sõltu ainult enda innovatsiooni võimetest, vaid ka tehnoloogilisel piirkõveral (*technological frontier*) välja töötatud tehnoloogiate jäljendamisest. See tähendab, et riigid, mis ei ole tehnoloogiliste edusammude liidrid, saavad kasu rakendades neid tehnoloogiaid ka enda riigis. Nende riikide jaoks, kes ei ole tehnoloogilisel piiril, on teadus- ja arendustegevus ja inimkapital olulised innovatsioonivõime suurendamiseks ja ka välismaise tehnoloogia siirdamiseks. Lisaks otsesele innovatsiooni mõjule võib seega teadus- ja arendustegevusel ning inimkapitalil olla ka kaudne teisene mõju, mis on seda suurem, mida kaugemal on riik tehnoloogilisest piirist. (Aghion & Howitt, 2006; Griffith *et al.*,

2003, 2004) Ka Sandu ja Ciocanel (2014) toovad välja, et ettevõtte rahvusvahelise konkurentsivõime suurendamiseks on teadus- ja arendustegevuse ning innovatsiooni intensiivsus otseselt seotud ärisectori vastuvõtuvõimega, mis on ettevõtete võime assimileerida ja ära kasutada väliseid kõrgtehnoloogilisi teadmisi. Ettevõtted, millel on suurem vastuvõtuvõime ehk võime üle tuua tehnoloogilisi arendusi oma tootmisesse, suudavad paremini tuvastada tegelikku nõudlust uute toodete ja tehnoloogiate järele välisturgudel ning neid tooteid hõlpsasti oma kodumaisesse toodangusse assimileerida. (*Ibid.*)

Teadus- ja arendustegevuse mõju riigi majandusele on võimalik vaadelda lisaks tootlikkuse suurendamisele ka läbi riigi ekspordivõime suurenemise. Üldiselt võib teadus- ja arendustegevuse intensiivsus mõjutada kõrgtehnoloogia ekspordi, suurendades kõrgtehnoloogiliste toodete tootmisvõimsust, parandades ja suurendades riigi intellektuaalset kapitali, patenditaotluste arvu ja uuenduslike ettevõtete osakaalu. Seega võib neid pidada kõrgtehnoloogiliste ekspordisuundumuste olulisteks määrajateks. Ettevõtte suurem vastuvõtuvõime mõjutab kaudselt ka ekspordivõimet ning ettevõtte konkurentsivõimet rahvusvahelistel turgudel. Mida võimelisem on ettevõtte absorbeerima kõrgtehnoloogilisi teadmisi välistelt konkurentidelt, seda suurem võimalus on ettevõttel uusi teadmisi ära kasutada ja tuua uusi lahendusi ja tooteid rahvusvahelisele turule. (Sandu & Ciocanel, 2014)

Uute toodete ja protsesside väljatöötamist ehk teadus- ja arendustegevust ja innovatsiooni on laialdaselt peetud arenenud majanduse majanduskasvu peamiseks teguriks (Bayarçelik & Taşel, 2012; Stokey, 1995). Viimaste sajandite elatustaseme tõus on suures osas saavutatud tänu lugematutele uuendustele. Sageli väidetakse, et aastate jooksul suurenenud teadus- ja arendustegevus arenenud riikides toob kaasa uusi tehnoloogilisi läbimurdeid, soodustades seeläbi majanduskasvu ja riikide jõukust. Samuti väidetakse, et riigid võistlevad omavahel tehnoloogiliste innovatsioonidega ehk riigid soovivad olla esimesed mingis tehnoloogilises läbimurdes, mis võib anda teatud tegevusvaldkonnas konkurentsieelise ning seeläbi ka majanduskasvu. Samuti on üldine arvamus, et suurem ressursside eraldamine teadus- ja arendustegevusele suurendab tulevast tootlikkust ja sissetulekut. (Sylwester, 2001) Seega teadus- ja arendustegevuse kulutuste suurenemine toob kaasa innovatsiooni ja majanduse kogutootlikkuse kasvu. Ka paljud empiirilised uuringud näitavad, et riigid, kes investeerivad rohkem teadus- ja arendustegevusse, kasvavad kiiremini ja saavutavad kõrgema sotsiaalse heaolu taseme kui riigid, mis investeerivad vähem. (Pegkas *et al.*, 2019)

1.2. Teadus- ja arendustegevuse mõju innovatsiooni tulemuslikkusele

Iga asutus, mis tegeleb teadus- ja arendustegevusega eeldab, et sellel tegevusel on väljund, mis on kasulik nii ettevõtte kasumi kasvatamiseks, riigi majanduse kasvatamiseks kui ka ühiskonna tegevuse parendamiseks. Teadus- ja arendustegevusel on mitmeid väljundeid, mida üheselt ei saa defineerida ja ka kvantifitseerida. Innovatsiooni väärtust ja tulemuslikkust on keeruline mõõta, sest erinevate mõõdikutena kasutatavad näitajad ei pruugi alati väljenduda uuenduslikkuse kasvus (Dziallas & Blind, 2019). Erinevates uuringutes, kasutatakse erinevaid mõõdikuid väljendamaks innovatsiooni tulemuslikkust ehk milline mõju on ühel täiendaval eurol teadus- ja arendustegevuse kulutusena innovatsiooni tulemuslikkusele.

Sageli kasutatakse innovatsiooni väljundi mõõdikuna patentide arvu, peamiselt patenditaotluste arvu (Kleinknecht *et al.*, 2002). See aga hindab kaudselt ja osaliselt innovatsiooni väljundit, sest see ei mõõda otseselt näiteks kui palju uuenduslikke tooteid tuleb turule. Kõik patendid ei ole alati otseselt seotud teadus- ja arendustegevusega, samas ei pruugi kõik lisandväärtust kasvatavad tooted olla patenteeritud (Hagedoorn & Cloudt, 2003). Uute tooteideede arv ja kommertsialiseerimise potentsiaaliga ideede osakaal hindavad otseselt innovatsiooni (Dziallas & Blind, 2019), kuid neid mõõdikuid on keerulisem rakendada uurimustes, mis on makrotasandil. Lisaks on uuringutes kasutatud ka teadusajakirjades avaldatud artiklite arvu. Teadusartiklid on akadeemilise produktiivsuse ja kvaliteedi näitaja (Thomas *et al.*, 2011). McAllister ja Wagner (1981) leidsid, et on selge lineaarne seos teadus- ja arendustegevuse kulutuste ja artiklite arvu vahel, uurides Ameerika ülikoole ja kolledžeid. Popp (2015) tõi välja, et hinnates avaliku sektori teadus- ja arendustegevuse mõju innovatsiooni protsessi väljundile, on avaldatud teadusartiklite arvu sobivam kasutada kui patentide arvu.

Erinevates sektorites on teadus- ja arendustegevusel rõhk erinevatele väljunditele ja ka olemuslikult on teadus- ja arendustegevus erinev sektorite vahel. Avaliku sektori investeeringud teadus- ja arendustegevusse mängivad olulist rolli selles, et riik oleks üldiselt uuenduslikum. Erasektori teadus- ja arendustegevus on vajalik uute innovaatiliste toodete ja teenuste arendamiseks. (Pegkas *et al.*, 2019) Koostöö avaliku sektori ja erasektori vahel on olulisel kohal, sest avalikul sektoril on oluline, et ühiskond oleks uuenduslik ja teadmispõhine, erasektoril on aga uute innovaatiliste toodete ja teenuste arendamiseks vajalik rahastus, mida suudab pakkuda avalik sektor. Avaliku sektori ja ettevõtete vahelise koostöö taset mõjutab positiivselt avaliku sektori teadus- ja arendustegevuse kulutuste intensiivsus, arvestades, et tõhusad avaliku sektori

teadus- ja arendustegevuse süsteemid suudavad paremini võimendada erainvesteeringuid teadus- ja arendustegevusse. Pegas *et al.* (2019) tõid välja, et nende uurimuses oli avaliku sektori, erasektori ja kõrgharidussektori teadus- ja arendustegevuse kulutuste vahel kõrged positiivsed korrelatsioonid.

Erasektoris on suurem rõhk patentide väljatöötamisele, samas kõrghariduses ja avalikus sektoris on teadusartiklite avaldamine tähtsam. Bilbao-Osorio ja Rodríguez-Pose (2004) tõid välja, et mõju innovatsioonile üldiselt ja eelkõige patentidele võib vastavalt investeeringu teostavale sektorile järgida erinevaid suundumusi. Nad uurisid teadus- ja arendustegevuse investeeringute mõju innovatsioonile Euroopa Liidus, kus innovatsiooninäidikuna kasutati patentide arvu. Teadus- ja arendustegevuse investeeringud olid dekomponeeritud kolme sektori vahel - erasektor, avalik sektor ning kõrgharidussektor. Nende uurimuses selgus, et erasektori teadustegevuse tulumäär on suurem kui muude sektorite teadustegevusel. Erarahastatud teadusuuringud kipuvad olema rohkem rakenduslikud ning suurema ärilise orientatsiooniga, sest innovatsiooni mõõdeti patenditaotluste arvu järgi, millel on oma olemuselt tugev kaubanduslik suunitlus. Seevastu avalikus ja kõrgharidussektoris läbiviidud uuringud kipuvad olema vähem rakendatavad ning suurem suunitlus on teadusartiklite avaldamisele, mistõttu nende mõju uute patentide taotluste arvule on nõrgem. (Bilbao-Osorio & Rodríguez-Pose, 2004)

Ka Pegas *et al.* (2019) uurisid teadus- ja arendustegevuse kulutuste mõju innovatsioonile Euroopa Liidu riikides, kus innovatsiooni mõõdikuks olid patenditaotluste arv. Sarnaselt Bilbao-Osorio ja Rodríguez-Pose (2004) uurimusele, olid ka selles töös teadus- ja arendustegevuse kulutused sektorite vahel dekomponeeritud. Empiirilises analüüsis toodi esile erasektori, avaliku sektori ja kõrgharidussektori teadus- ja arendustegevuse kulutuste positiivne ja oluline mõju innovatsioonile. Erasektori teadus- ja arendustegevuse kulutused avaldasid innovatsioonile suurimat positiivset mõju. Samas on valitsustel oluline roll kõrghariduse rahastamisel, mis on alus, millele ettevõtted saavad oma teadus- ja arendustegevust rajada ning paljudel juhtudel on erasektori teadus- ja arendustegevus rahastatud riigi poolt. Seega erasektori teadus- ja arendustegevuse olulisest mõjust innovatsioonile ei saa välistada avaliku sektori ja kõrgharidussektori panust. (Pegas *et al.*, 2019)

Teadus- ja arendustegevus on innovatsiooniprotsessi põhisisend ning innovatsioon on oluline tegur, mis mõjutab tootlikkust, tootlikkuse kasvu ja konkurentsivõimet ettevõtete seest. See teadus- ja arendustegevuse positiivne mõju on ilme erasektori ettevõtete jaoks, kuid see kehtib ka teadus- ja arendustegevusest sõltuvate avalike organisatsioonide puhul, mis püüavad parandada

oma tulemuslikkust ja annavad nii erasektorile kui ka laiemalt ühiskonnale positiivseid välismõjusid. (Bozeman & Melkers, 1993)

Valitsusepoolsed teadus- ja arendustegevuse investeeringud võivad väljenduda ettevõtete teadus- ja arendustegevuse rahastamises ja toetamises. Valitsuse toetused ettevõtete teadus- ja arendustegevusele on olulised, sest ettevõtted ei suuda ise teadmisesse investeerimisest saadavat kogu välist kasu omastada ning ettevõtted ei suuda ette võtta teadus- ja arendusprojekte, mis oleksid sotsiaalselt väärtuslikud. Teadus- ja arendustegevuse kulud on investering uutesse teadmisesse ning seetõttu on üldine investeerimismäär uute teadmiste loomisesse optimaalsest madalam. Seega on vajalik valitsuse sekkumine, et stimuleerida erasektorit suurendama investeeringuid teadus- ja arendustegevusse, vähendades riskantsete investeeringute kulusid ja suurendades sel viisil oodatavat tulu teadus- ja arendusprojektidest. Tulu suureneb nii ettevõtte siseselt, kuid kaudselt võib suureneka ka sotsiaalne kasu nendelt teadus- ja arendusprojektidelt. (Pegkas *et al.*, 2019; Petrin, 2015)

Garcia ja Mohnen (2010) hindasid, kuidas valitsuse sekkumine teadus- ja arendustegevusse mõjutab innovatsiooni ehk kas valitsuse toetust saavatel ettevõtetel läheb paremini kui neil, kes ei saa innovatsiooniks riiklikku rahastamist. Selleks uuriti Austria ettevõtteid, kaasates uuringusse neid ettevõtteid, kes saavad riiklikku rahastust ning ka neid kes ei saa. Uuringus selgitati välja, et toetuse saamine suurendab teadus- ja arendustegevuse intensiivsust 2,3 protsendipunkti, ettevõttele uute toodete müügi osakaal suureneb 2,5 protsendipunkti ning turule uute toodete müügi osakaal suureneb 3,4 protsendipunkti. Seega valitsuse teadus- ja arendustegevuse kulud on tähtsad suurendamiseks erasektori tootlust, mis seeläbi suurendab ka riigi majanduslikku seisut.

1.3. Teadus- ja arendustegevuse efektiivsus varasemas kirjanduses

Eelnevates alapeatükkides on ilmnenu, et teadus- ja arendustegevus on oluline komponent kiirema majanduskasvu, parema konkurentsivõime ja üldise teaduse progressi saavutamises. Teadus- ja arendustegevus on nii ettevõtte, riigi kui ka ühiskonna tasandil oluline tegevus. Samas on vajalik ka vaadata teadus- ja arendustegevuse teist külge ehk efektiivsust. Enamik riike seisab silmitsi kasvava nõudlusega oma olemasolevatele ressurssidele ning pidevalt on vaja parandada ressursside jaotamist ja kasutamist. Teadus- ja arendustegevus kasutab nappe ressursse ning seetõttu on nende ressursside tõhus kasutamine ülioluline. (Sharma & Thomas, 2008)

Teadus- ja arendustegevuse efektiivsus viitab sellele, mil määral investeeringud teadus- ja arendustegevusse toovad kaasa uute teadmiste loomise, innovatsiooni ja majanduskasvu. Efektiivsus on seotud teadus- ja arendustegevuse investeeringute väljundi maksimiseerimisega, minimeerides samal ajal selle väljundi loomiseks vajalikke sisendeid. Efektiivne teadus- ja arendustegevuse protsess võib aidata vähendada kulusid, suurendada konkurentsivõimet ja edendada majanduskasvu. Teadus- ja arendustegevuse tootlikumaks muutmise ja seeläbi ka ettevõtte või riigi majanduse kui terviku tootlikumaks muutmise ja kasvatamise üheks tingimuseks on võimalus mõõta selle tootlikkust ehk efektiivsust (Lee & Park, 2005).

Teadus- ja arendustegevuse efektiivsuse hindamisel on võimalik tuvastada ettevõtted või riigid, mis kasutavad oma ressursse kõige tõhusamalt ning seeläbi saab vaadelda, mida teevad efektiivsemad riigid paremini võrreldes mitteefektiivsete ettevõtete või riikidega. See annab võimaluse mitteefektiivsetele ettevõtetele ja riikidele oma teadus- ja arendustegevuse protsessi parandada. Kõige üldisemas mõttes on efektiivsus väljundi ja sisendi suhe. Rohkem väljundit sisendiühiku kohta tähendab suhteliselt suuremat efektiivsust. (Karadayi & Ekinci, 2019) Kui saavutatakse suurim võimalik toodang sisendiühiku kohta, ei ole võimalik efektiivsemaks muutuda ilma uue tehnoloogiata või muude muudatusteta tootmise protsessis (Sherman & Zhu, 2006).

Käesolevas magistritöös on keskendunud riikidevahelisele efektiivsusele ja selle võrdlusele, mis on oluline nii poliitikakujundajatele, teadus- ja arendustegevuse läbiviijatele kui ka teistele asjaosalistele, kes on huvitatud oma riigi konkurentsivõime tõstmisest ning teadus- ja arendustegevuse parendamisest. Lisaks eelnevale mainitule käsitleb antud peatükk ka varasemaid empiirilisi uuringuid teadus- ja arendustegevuse efektiivsuse teemal. Järgnevalt kirjeldatakse, millistele tulemustele on jõutud nendes uuringutes ning kuidas erinevad tulemused kasutades erinevaid hindamismeetodeid.

Teadus- ja arendustegevuse efektiivsuse hindamiseks on läbi viidud mitmeid uuringuid, kasutades andmeraja analüüsi. Rousseau ja Rousseau (1997) kasutasid andmeraja analüüsi hindamiseks teadus- ja arendustegevuse efektiivsust 18 arenenud riigi seas. Selles uuringud olid teadus- ja arendustegevuse väljunditeks avaldatud artiklite arv ning väljastatud patentide arv ning sisenditeks olid sisemajanduse koguprodukt, aktiivne elanikkond ning teadus- ja arendustegevuse kulutused. Rousseau ja Rousseau (1997) leidsid, et analüüsides 14 Euroopa riiki olid Austria, Saksamaa,

Iirimaa, Holland, Rootsi, Šveits ja Suurbritannia täielikult efektiivsed. Lisades analüüsi Austraalia, Kanada, Jaapan ja USA, efektiivsed Euroopa riigid säilitasid oma efektiivsuse positsiooni ning Kanada suutis samuti jõuda efektiivsuse piirini. Lisaks leiti, et teadus- ja arendustegevuse efektiivsus ei viidanud kõrgema või madalama teadus- ja arendustegevuse saavutuse eelistamisele. Sharma ja Thomas (2008) hindasid 22 riigi teadus- ja arendustegevuse efektiivsust, võttes teadus- ja arendustegevuse väljundiks väljastatud patentide arvu. Võrreldes Rousseau ja Rousseau (1997) uurimusega võtsid Sharma ja Thomas (2008) arvesse teadus- ja arendustegevuse kulutuste ja väljundi vahelise viitaja, mis tähendab, et sisendite lisamine ei too kaasa kohest väljundite suurenemist (Griliches, 1979). Samuti kaasati uuringusse lisaks arenenud riikidele ka arenguriike. Sharma ja Thomas (2008) leidsid, et arenguriikide lisamine efektiivsuse hindamisele täiendas varasemat empiirilist kirjandust sellega, et leiti, et mõned arenguriigid võivad olla teadus- ja arendustegevuse ressursside tõhusa kasutamise etaloniks.

Škrinjarić (2020) kasutas Euroopa Liidu riikide teadus- ja arendustegevuse protsessi efektiivsuse hindamiseks andmeraja analüüsi, kuid võrreldes varasemate uuringutega, on teadus- ja arendustegevuse andmed dekomponeeritud sektorite vahel - kõrgharidussektor, avalik sektor, erasektor. Dekomponeeritud andmetega on võimalik vaadelda, milline sektor on teadus- ja arendustegevuse valdkonnas efektiivsuse saavutamisel teiste sektoritega võrreldes edukam. Uuringus selgus, et kõrge efektiivsusega riigid olid Rootsi, Soome, Saksamaa ja Taani ning madala efektiivsusega riigid olid Rumeenia, Bulgaaria, Horvaatia ja Slovakkia. Paremate tulemustega olid need riigid, kus on parem innovatsiooni ning teadus- ja arendustegevuse infrastruktuur, kõrgemad PISA tulemused ja madalam korruptsioonitase. Samuti selgus, et kõige ebaefektiivsem sektor on erasektor ning kõige rohkem saaksid riigid suurendada teadus- ja arendustegevuse väljundit patentidena, mis on erasektori puhul kõige tähtsam teadus- ja arendustegevuse väljund. Škrinjarić (2020) tõi välja asjaolu, et Euroopa riikide patenditaotluste arv jääb pidevalt maha USA-st ja Jaapanist, mis tähendab, et Euroopa jaoks on oluline tõsta erasektori teadus- ja arendustegevuse kulutuste tõhusat kasutamist, mis väljenduks suuremas arvus patenditaotlustes ühe teadus- ja arendustegevuse sisendiühiku kohta.

Lisaks andmeraja analüüsile on teadus- ja arendustegevuse efektiivsust hinnatud ka stohhastilise piiranalüüsi abil. Wang (2007) uuris 30 riigi teadus- ja arendustegevuse suhtelist efektiivsust, kasutades väljunditena teadusartikleid ja patentide arvu. Uurimuses toodi välja, et umbes kaks kolmandikku 30 riigist on tõhusamad akadeemiliste publikatsioonide avaldamisel, samas kui ligikaudu kolmandikul riikidest on patentide väljaarendamine tõhusam. See annab

poliitikakujundajatele kasu, juhtides tähelepanu riigi teadus- ja arendustegevuse protsessi tugevustele ja nõrkustele (Wang, 2007). Saades teada, kas riik on efektiivsem uuringutele suunatud teadus- ja arendustegevuses ehk teadusartiklite avaldamises või tootepõhises teadus- ja arendustegevuses ehk patentide saamises, on poliitikakujundatel võimalik keskenduda ühele teadus- ja arendustegevuse suunale ja muuta seda aina paremaks ja tõhusamaks.

Hu *et al.* (2014) uurisid 24 riigi teadus- ja arendustegevuse protsessi efektiivsust, kasutades väljunditena patenditaotluste arvu, teadusartiklite arvu ning autori- ja litsentsitasusid ning sisenditena teadus- ja arendustegevuse kapitalivaru ja töötajate arvu. Võrreldes teiste uurimustega on Hu *et al.* (2014) uuringus kasutatud autori- ja litsentsiõiguste tasusid, sest need peegeldavad võimet müüa uuenduslikke tehnoloogiaid ning seega võib neid käsitleda ühe teadus- ja arendustegevuse otsese kaubandusliku väljundina. Uuringus toodi välja, et Euroopa ja Ameerika riikide teadus- ja arendustegevuse efektiivsus oli kõrgem kui Aasia riikide efektiivsus. Vastupidiselt Sharma ja Thomas (2008) uurimusele, ei leidnud Hu *et al.* (2014), et mõned arenguriigid oleksid efektiivsemad kui arenenud riigid. Nii Wang (2007) kui ka Hu *et al.* (2014) leidsid, et teadus- ja arendustegevuse keskmine efektiivsuskordaja on umbes 0,85, mis tähendab, et keskmiselt on riikidel võimalik teadus- ja arendustegevuse protsessi tõhustada umbes 25% ulatuses.

2. TEADUS- JA ARENDUSTEGEVUSE EFEKTIIVSUSE HINDAMINE

Käesoleva magistritöö antud peatükis kirjeldatakse, kuidas teoreetiliselt hinnatakse efektiivsust, sealhulgas, milliste meetodite abil ning kuidas efektiivsuse hindamise meetodid erinevad omavahel. Samuti kirjeldatakse lähemalt stohhastilise piiranalüüsi väljatöötamist ning kuidas toimub efektiivsuse hindamine stohhastilise piiranalüüsi abil, sealhulgas kasutades paneelandmeid. Lisaks antakse ülevaade teadus- ja arendustegevuse tootmisfunktsioonist ja kapitalivarust ning kapitalivaru hindamise metoodikast. Teadus- ja arendustegevuse tootmisfunktsiooni ja kapitalivaru kasutatakse empiirilises analüüsis teadus- ja arendustegevuse protsessi efektiivsuse hindamisel.

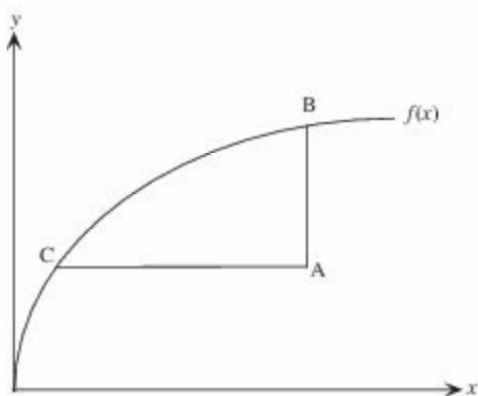
2.1. Efektiivsuse mõiste ja hindamise meetodid

Lovell (1993) määratleb tootmisüksuse efektiivsuse selle väljundi ja sisendi vaadeldud ja optimaalsete väärtuste võrdlemise kaudu. Võrdlus toimub vaadeldava ja antud sisendist saadava maksimaalse potentsiaalse väljundi suhtena või antud väljundi tootmiseks vajaliku minimaalse potentsiaali ja vaadeldava sisendi suhtena. Nendes võrdlustes on optimaalsus määratletud tootmisvõimaluste alusel. (Daraio & Simar, 2007) Seega seisneb efektiivsus üldiselt selles, et kõigile kättesaadava tehnoloogia abil kasutatakse võimalikult paljude väljundite tootmiseks võimalikult vähe sisendeid ehk ressursse (Bogetoft & Otto, 2011). Majandusliku efektiivsuse hindamise kaasaegsele kirjandusele pani aluse Farrell (1957). Farrell, keda suuresti mõjutasid Koopmans (1951) ja Debreu (1951) jagas üldise efektiivsuse tehniliseks efektiivsuseks ja alloktiivseks efektiivsuseks. Ettevõtte või riik on tehniliselt efektiivne, kui ta suudab saada maksimaalselt toodangut antud sisendite kogumiga (väljundile orienteeritud efektiivsus) või on võimeline kasutama minimaalset sisendite kombinatsiooni, et toota sama toodangut taset (sisendile orienteeritud efektiivsus). Ettevõtte või riik on alloktiivselt efektiivne, kui ta kasutab tootmistegureid punktini, kus kahe sisendi tehnilise asendamise piirmäär võrdub vastavate sisendite hindade suhtega. (Huang & Wang, 2002) Seega võttes arvesse tehnilise ja alloktiivse

efektiivsuse, määravad tootmise majandusliku efektiivsuse nii sisendite rakendamise viis kui ka sisendite kasutamise tasemed (Kalirajan, 1990).

Kaasaegsetes efektiivsuse hindamise võrdlusanalüüsid kasutatakse üha enam parimate tavade ehk piirkõvera analüüsi meetodeid, mis on kas parameetrilised või mitteparameetrilised (Murillo-Zamorano, 2004). Nende meetodite idee on modelleerida tehnoloogia piirkõver, mis väljendab parimat tehnoloogia kasutust väljundite tootmiseks sisendite abil. Iga ettevõtte või riigi efektiivsus sõltub tema kaugusest efektiivsuse piirkõverast. Mida kaugemal on ettevõtte või riik piirkõverast, seda ebaefektiivsem ta on. (Bogetoft & Otto, 2011) Piirkõvera analüüsi üheks eeliseks on see, et see on objektiivne kvantitatiivne meetod, mis ei sõltu muudest välistest tegurite mõjust, kasutades mõjude kontrollimiseks programmeerimis- või ökonomeetrilisi meetodeid (Huang & Wang, 2002). Piirkõvera analüüsid üldiselt (eriti andmerajaanalüüs ja stohhastiline piiranalüüs) arenevad kiiresti nii teoreetilisest kui ka praktilisest aspektist. (Bogetoft & Otto, 2011)

Käesolev magistritöö keskendub väljundile orienteeritud tehnilisele efektiivsusele, mis tähendab, et hinnatakse Euroopa Liidu riikide võimet kasutada teadus- ja arendustegevuse olemasolevaid sisendeid saavutamaks võimalikult suur väljund. Kui kõik teadus- ja arendustegevuse sisendid ja väljundid on kujutatud mitmemõõtmelises ruumis, moodustavad kõige tõhusamad riigid efektiivsuse piirkõvera ning iga riigi kaugus selles kõverast näitab selle riigi innovatsiooni ebaefektiivsuse taset (Liu *et al.*, 2018). Joonis 2.1. väljendab väljundile orienteeritud tehnilist ebaefektiivsust ühe väljundi ja ühe sisendi puhul, kus $f(x)$ on tootmise kõver, y on väljund ning x on sisend. Punkt A väljendab ebaefektiivset tootmist, samas punktides B ja C on tootmine efektiivne. Punkti A kaugus punktist B näitab toodangu kadu, mis on tingitud ebaefektiivsust, sest sama sisendi koguse abil suudab tootja punktis B toota rohkem väljundit kui tootja punktis A. (Kumbhakar *et al.* 2015)



Joonis 2.1. Väljundile orienteeritud tehniline ebaefektiivsus
Allikas: Kumbhakar *et al.* 2015

Mitteparameetriliste efektiivsuse hindamise meetodite hulka kuuluvad andmeraja analüüsi (DEA - *Data Envelopment Analysis*) ning *Free Disposal Hull* (FDH). Efektiivsuse hindamise uuringutes kasutatakse peamiselt andmeraja analüüsi. Mitteparameetrilised meetodid põhinevad hüpoteesil, et efektiivsuse piirkõver saadakse kõige efektiivsema otsustusüksuse (DMU - *decision making unit*) empiiriliste tulemuste või võrdlusnäitajate põhjal. Mitteparameetriliste hindamise meetodite abil on võimalik efektiivsust hinnata kui on mitu väljundit ja sisendit, eelnevalt väljunditele ja sisenditele kaalu määramata. (Asmare & Begashaw, 2018)

Parameetriliste efektiivsuse hindamise meetodite hulka kuuluvad stohhastiline piiranalüüs (SFA - *Stochastic Frontier Analysis*), *Distribution-Free Analysis* (DFA) ning *Thick Frontier Analysis* (TFA). Nendest kõige laiemasemalt kasutatakse efektiivsuse hindamiseks stohhastilist piiranalüüsi. Parameetriliste lähenemisviiside kohaselt konstrueeritakse efektiivsuse piirkõver ökonomeetrilise modelleerimise aluselt ning tavaliselt selleks kasutatakse Cobb-Douglassi tootmisfunktsiooni kuju. Tootmisfunktsioon on defineeritud selgitavate muutujate, milleks on sisendid, väljundid ja muud võimalikud seletavad muutujad, ja selle regressiooni veakomponendi liikmetega - juhuslik vealiige ja ebaefektiivsuse liige. Stohhastiline piiranalüüs lähenemine käsitleb kõrvalekaldeid tootmispiirist nii juhusliku mürana kui ka ebaefektiivsusena. (*Ibid.*)

Võrreldes andmeraja analüüsiga võimaldab stohhastiline piiranalüüs eeldada stohhastilist seost kasutatud sisendite ja toodetud väljundi vahel. Täpsemalt võimaldab see eeldada, et kõrvalekalded efektiivsuse piirkõverast võivad kajastada mitte ainult ebaefektiivsust, vaid ka andmetes esinevat müra. (Bogetoft & Otto, 2011) Seevastu andmeraja analüüs on deterministlik mitteparameetriline meetod ning üksiku otsustusüksuse kõrvalekaldumist efektiivsuse kõverast peetakse täielikult ebaefektiivseks tootmiseks. Andmeraja analüüsis puudub stohhastiline häire, mis oleks võinud põhjustada kõrvalekaldeid efektiivsuse kõverast hoolimata tegelikust efektiivsest tootmisest. (Behr, 2015) Samuti majandusteooriale tuginedes ei hinda stohhastilise piiranalüüsi meetod mitte ainult efektiivsust, vaid hindab ka tegurite mõju (Bai, 2013). Võttes eelnevat arvesse kasutatakse käesolevas magistritöös teadus- ja arendustegevuse protsessi riikidevaheliseks hindamiseks stohhastilist piiranalüüsi ning järgnevas alapeatükis kirjeldatakse stohhastilise analüüsi olemus ja ülesehitus põhjalikumalt.

2.2. Stohhastiline piiranalüüs

2.2.1. Stohhastilise piiranalüüsi väljakujunemine

Stohhastilise piiranalüüsi väljatöötamist ja arengut mõjutas 1950. aastate tootmise efektiivsuse kirjandus, peamiselt Koopmansi (1951), Debreu (1951) ja Shephardi (1953) teoreetilised tööd. Koopmans (1951) esitas tehnilise efektiivsuse definitsiooni, kus tootja on tehniliselt efektiivne ainult siis, kui ei ole võimalik toota rohkem toodangut ilma mõnda muud toodangut vähem tootmata või mõnda sisendit rohkem kasutamata. Debreu (1951) ja Shephard (1953) tutvustasid teoreetiliselt, kuidas mõõta tootja radiaalset kaugust efektiivsuse kõverast. Efektiivsuse mõõtmise kirjanduse väljatöötamisel oli kesksel kohal kaugusfunktsioonide seostamine tehnilise efektiivsusega.

Samuti avaldas suurt mõju stohhastilise piiranalüüsi välja kujunemisele Farrell (1957), kes oli esimene, kes mõõtis efektiivsust empiiriliste andmete põhjal. Farrelli (1957) töö avaldas suurt mõju Aignerile ja Chule (1968), Seitzile (1971), Timmerile (1971), Afriatile (1972) ja Richmondile (1974). Just need tööd viisid otseselt stohhastilise piiranalüüsi väljatöötamiseni. Need autorid hindasid deterministlikku tootmiskõverat, kas lineaarse programmeerimise või modifitseeritud vähimruutude tehnikate abil. Afriat (1972) koostas tootmisfunktsiooni koos efektiivsuse tõenäosusjaotusega nii, et tuletatud efektiivsused on suurima tõepäraga. Schmidt (1976) tõi välja, et Aigneri ja Chu (1968) hinnangud olid kooskõlas maksimaalse tõepära hinnanguga, mille ühepoolne veajaotus oli kas eksponentsiaalne või poolnormaalne. Sellest sai alguse tehnilise ebaefektiivsuse seostamine ühepoolse vea jaotusega, kuid nende mudelite ainus vealiige oli ebaefektiivsus. Need olid puhtalt deterministlikud mudelid, kus puudus sümmeetriline juhusliku müra vea komponent. (Kumbhakar & Lovell, 2000)

2.2.2. Efektiivsuse hindamine stohhastilise piiranalüüsi abil

Stohhastiline piiranalüüs sai alguse Aigner *et al.* (1977) ning Meeuseni ja van den Broeckki (1977) töödest. Stohhastiline piiranalüüs on ajendatud teoreetilisest ideest, et ükski majandusagent ei saa ületada ideaalsuse piiri ning kõrvalekaldeid sellest äärmusest kujutavad endast individuaalset ebaefektiivsust. Statistilisest vaatest on see idee ellu viidud regressioonmudeli täpsustamisega, mida iseloomustab kombineeritud vealiige. (Belotti *et al.*, 2013) Esimesed stohhastilise piiranalüüsi mudelid omasid kombineeritud vealiikmete struktuuri, kus üks veakomponent hõlmab endas statistilist müra ja teine veakomponent hõlmab endas ebaefektiivsust (Kumbhakar & Lovell, 2000). Stohhastilise piiranalüüsi mudeleid hinnatakse tavaliselt tõepärapõhiste meetoditega ning

peamine huvi on teha järeldusi nii regressioonimudeli parameetrite kui ka ebaefektiivsuse kohta (Belotti *et al.*, 2013). Stohhastilise piiranalüüsi mudelit saab väljendada järgnevalt (Kumbhakar & Lovell, 2000):

$$y = f(x; \beta) \cdot \exp \{v - u\} \quad (1)$$

kus

y – skalaarne väljund,

x – sisendite vektor,

β – tehnoloogia parameetrite vektor,

$v - u$ – vealiige,

$v \sim N(0, \sigma_v^2)$ – juhusliku müra vealiikme komponent,

$u \geq 0$ – tehnilise ebaefektiivsuse vealiikme komponent.

Antud mudelis on hinnatavateks parameetriteks β , σ_v^2 ja σ_u^2 , mis on seotud ebaefektiivsuse vealiikme komponendiga. Jaotuslik eeldus eeldab, et kombineeritud viga ($v - u$) on negatiivselt kallutatud ja statistiline efektiivsus eeldab, et mudelit hinnatakse suurima tõepäraga. Pärast mudeli hindamist saadakse valimi keskmise tehnilise ebaefektiivsuse hinnang $E(-u) = E(v - u) = -(2/\pi)^{1/2} \sigma_u$ normaal-poolnormaalse jaotuse puhul ja $E(-u) = E(v - u) = -\sigma_u$ normaal-eksponentsiaalse jaotuse puhul. (*Ibid.*)

2.2.3. Stohhastiline piiranalüüs paneelandmetel

Rikkalikuma valimi olemasolu, mida annab paneelandmete kasutamine, võimaldab leevendada kehtestatud eeldusi ja hinnata realistlikumat ebaefektiivsust (Belotti *et al.*, 2013). Pitt ja Lee (1981) töötasid välja esimese paneelandmetele tugineva stohhastilise piiranalüüsi mudeli, mis põhines suurimale tõepärale:

$$y_{it} = \alpha + X'_{it}\beta + v_{it} \pm u_{it}, \quad i = 1, \dots, N, \quad t = 1, \dots, T_i$$

$$u_{it} = \omega_i + \omega_{i1}t + \omega_{i2}t^2 \quad (2)$$

Antud stohhastilise piiranalüüsi mudel hõlmas endas ajas muutumatut ebaefektiivsust, kuid Belotti *et al.* (2013) töid välja, et ebaefektiivsuse ajas muutumatust on varasemalt kahtluse alla seatud. Seetõttu on paneelandmetele tuginevat stohhastilise piiranalüüsi mudelit modifitseeritud ning Greene (2005) esitas järgneva mudeli:

$$y_{it} = \alpha_i + x'_{it}\beta + \varepsilon_{it} \quad (3)$$

Vastavalt paneelandmete stohhastilise piiranalüüsi mudelile on võimalik välja töötada efektiivsuse hindamise mudel, mis põhineb teadus- ja arendustegevuse tootmisfunktsioonile, mida kirjeldatakse järgnevas alapeatükis (Liu *et al.*, 2018):

$$\log Y_{it} = \alpha_0 + \alpha_1 \log K_{it} + \alpha_2 \log L_{it} + v_{it} - u_{it} \quad (4)$$

kus

Y_{it} – vastava objekti ja ajaperioodi väljund,
 K_{it} – vastava objekti ja ajaperioodi kapitalivaru,
 L_{it} – vastava objekti ja ajaperioodi tööjõud,
 $\alpha_0, \alpha_1, \alpha_2$ – parameetrite hinnangud,
 v_{it} – juhuslik vealiige,
 u_{it} – ebaefektiivsuse vealiige.

Teadus- ja arendustegevuse protsessi efektiivsuse kõvera hindamiseks, mis on määratletud kui maksimaalne saavutatav väljund antud sisendite hulgaga, on stohhastiline komponent väljendatud kaheosalise vealiikmena. v_{it} on juhuslik vealiige, mis eeldatakse olevat $iidN(0, \sigma_v^2)$ ja sõltumatu u_{it} , mis hõlmab endas tehnilist ebaefektiivsust ning on poolnormaaljaotusega ($u_i \sim iidN^+(\mu, \sigma_u^2)$). Tehnilise ebaefektiivsuse liiget võib kirjeldada kui $u_{it} = u_i \exp[-\eta(t - T)]$, kus η on tundmatu skalaarne parameeter, mida tuleb hinnata ja mis näitab tehnilise ebaefektiivsuse kõikuvat trendi aja t jooksul. $\eta > 0$, $\eta = 0$, $\eta < 0$ tähistavad vastavalt paranenud, püsivat või vähenevat tehnilist efektiivsust. (*Ibid.*)

2.3. Teadus- ja arendustegevuse tootmisfunktsioon

Teadus- ja arendustegevuse protsessi efektiivsuse hindamise aluseks on Griliches'i (1979) välja töötatud teadmiste loomise funktsiooni raamistik. Teadmiste loomise funktsiooni kohaselt sõltub uute teadmiste tootmise määr teadus- ja arendustegevusega seotud tööjõu hulgast ja teadlaste käsutuses olevast teadmiste varust, sealhulgas olemasolev teadmiste hulk kui ka lisanduvad teadmised (Abdih & Joutz, 2006). Teadus- ja arendustegevuse tootmisfunktsioon põhineb Cobb-Douglase tootmisfunktsiooni vormile ning käsitleb teadus- ja arendustegevust kui tootmisprotsessi, kus innovatsiooni väljund, on teadmist genereerivate sisendite, näiteks teadus- ja arendustegevuse kulutuste ja teadus- ja arendustegevuse tööjõu töö tulemus.

Cobb-Douglase tootmisfunktsioon:

$$Y = AK^\alpha L^{1-\alpha} \quad (5)$$

kus

Y – toodang,

A – koguteguritootlikkus,

K – kapital,

L – tööjõud,

α – toodangu elastsus kapitali suhtes,

$(1 - \alpha)$ – toodangu elastsus tööjõu suhtes.

Teadus- ja arendustegevuse tootmisfunktsioon logaritmilises vormis vastavalt Cobb-Douglase tootmisfunktsioonile:

$$\ln(Y) = \ln A + \alpha \ln(K) + (1 - \alpha) \ln(L) \quad (6)$$

Eelnev valem väljendab teadus- ja arendustegevuse sisendite ja väljundite suhet, kus Y on teadmis väljendav näitaja ehk tootmise väljund, K on teadus- ja arendustegevuse kapitalivaru ning L on teadus- ja arendustegevuse tööjõud ehk innovatsiooni tootmiseks vajalikud sisendid, α ja $(1 - \alpha)$ on vastavalt kapitalivaru ja tööjõu panus toodangusse ehk toodangu elastsus. Tavaliselt väljendatakse teadus- ja arendustegevuse väljundina patentide omastamist, uuenduslikke tooteid või teadusartiklite avaldamist. (Anselin *et al.*, 2000)

2.4. Teadus- ja arendustegevuse kapitalivaru

Teadus- ja arendustegevuse protsessi hindamiseks teadus- ja arendustegevuse tootmisfunktsiooni ja stohhastilise piiranalüüsi abil on vajalik teadus- ja arendustegevuse kapitalivaru, mida otseselt on keeruline mõõta, kuid seda on võimalik hinnata. Teadus- ja arendustegevuse kapitalivaru hinnatakse sama meetodika alusel, mida ka muu majanduse kapitalivaru, kuid arvestades teadus- ja arendustegevuse vara iseloomu, on kasutatud suuremat amortisatsioonimäära, sest teadus- ja arendustegevuse jaoks kasutatav vara on lühema elueaga kui muu vara. Varasemates empiirilistes uuringutes, mis käsitlevad teadus- ja arendustegevuse efektiivsust, on samuti kapitalivaru hinnatud, kasutades siinmainitud meetodikat. Vastavalt sellele muudetakse sarnaselt Liu *et al.* (2018) tööle aastased teadus- ja arendustegevuse kulutused kapitalivaruks, kasutades OECD (2001) soovitatud pideva inventuuri meetodit:

$$K_{it} = (1 - \sigma)K_{it-1} + I_{it} \quad (7)$$

kus

K_{it} – vastava objekti ja ajaperioodi teadus- ja arendustegevuse kapitalivaru,

I_{it} – vastava objekti ja ajaperioodi teadus- ja arendustegevuse kulutused,

σ – amortisatsioonimäär, mis on teadus- ja arendustegevuse kapitalivaru hindamisel üldiselt 15% (Franco *et al.*, 2016; Guellec & de la Potterie, 2001).

Baasaasta teadus- ja arendustegevuse kapitalivaru hindamiseks kasutatakse järgnevat valemit, mis põhineb Coe *et al.* (2009) meetodikale:

$$K_0 = \frac{I_0}{g + \sigma} \quad (8)$$

kus

K_0 – baasaasta teadus- ja arendustegevuse kapitalivaru,

I_0 – baasaasta teadus- ja arendustegevuse investeeringud,

σ – amortisatsioonimäär,

g – teadus- ja arendustegevuse investeeringute keskmine aastane kasvumäär.

3. EMPIIRILINE ANALÜÜS

Käesoleva magistr töö antud peatükis kirjeldatakse, milliseid andmeid kasutatakse empiirilises analüüsis ning esitatakse nende andmete lühiülevaade ja kirjeldav statistika. Samuti antakse ülevaade empiirilise analüüsi tulemustest ning tehakse järeldused uuringu tulemustest.

3.1. Andmed ja tunnused

Käesolevas empiirilises analüüsis on kasutatud 27 Euroopa Liidu riigi (lisa 1) andmeid aastatel 2010-2019 hindamaks teadus- ja arendustegevuse protsessi efektiivsust. Antud periood on valitud teadus- ja arendustegevuse kulutuste andmete kättesaadavuse alusel. Lisaks sellele on ajaperiood piiratud kuni 2019. aastani, millega elimineeritakse 2020. aastal alanud COVID-19 pandeemiast tekkinud hälbeid ja ebakõlasid andmetes. Valimisse on kaasatud Euroopa Liidu riigid, sest uuritakse, kui efektiivselt suudavad riigid toimetada teadus- ja arendustegevuse valdkonnas sarnases majanduskeskkonnas, sarnastel tingimustel, sarnaste regulatsioonidega. Tabelis 3.1 on toodud analüüsis kasutatavad tunnused, nende kirjeldused ja andmeallikad.

Tabel 3.1. Analüüsis kasutatavate tunnuste kirjeldus

Tunnus	Tunnuse kirjeldus	Allikas
Patendid	Patenditaotluste arv Euroopa Patendiametile (EPO – <i>European Patent Office</i>)	Eurostat
Artiklid	Avaldatud teadusartiklite arv	Web of Science
I_tot	Teadus- ja arendustegevuse aastased kogukulutused	Eurostat
I_business	Teadus- ja arendustegevuse aastased kogukulutused erasektoris	Eurostat
I_gov	Teadus- ja arendustegevuse aastased kogukulutused avalikus sektoris	Eurostat
I_educ	Teadus- ja arendustegevuse aastased kogukulutused kõrghariduses	Eurostat

Tunnus	Tunnuse kirjeldus	Allikas
K_tot	Teadus- ja arendustegevuse kogu kapitalivaru	Eurostat, autori arvutused
K_business	Teadus- ja arendustegevuse kapitalivaru erasektoris	Eurostat, autori arvutused
K_gov	Teadus- ja arendustegevuse kapitalivaru avalikus sektoris	Eurostat, autori arvutused
K_educ	Teadus- ja arendustegevuse kapitalivaru kõrghariduses	Eurostat, autori arvutused
L_tot	Täistööajale taandatud teadlaste arv kokku	Eurostat
L_business	Täistööajale taandatud teadlaste arv erasektoris	Eurostat
L_gov	Täistööajale taandatud teadlaste arv avalikus sektoris	Eurostat
L_educ	Täistööajale taandatud teadlaste arv kõrghariduses	Eurostat

Käesoleva magistritöö empiirilises uuringus hinnatakse teadus- ja arendustegevuse protsessi efektiivsust Euroopa Liidu riikides ning selleks kasutatakse teadus- ja arendustegevuse tootmisfunktsiooni, kus väljunditeks on patenditaotluste arv (Eurostat, tabel PAT_EP_TOT) ja avaldatud teadusartiklite arv (Web of Science) ning väljundi tootmiseks vajalikeks sisenditeks vastavalt teadus- ja arendustegevuse tootmisfunktsioonile, millest lähemalt oli kirjutatud 2.3. peatükis, on kapitalivaru ja tööjõud. Kapitalivaru on arvatud kasutades 2.4. peatükis kirjeldatud kapitalivaru hindamise meetodikat, kus amortisatsioonimääraks on 15% ning teadus- ja arendustegevuse investeeringutena on kasutatud teadus- ja arendustegevuse kulutusi (Eurostat, tabel TSC00001). Tööjõuna kasutatakse antud analüüsis täistööajale taandatud teadlaste arvu. Kapitalivaru ja tööjõud on dekomponeeritud kolme sektori vahel – erasektor, avalik sektor ja kõrgharidussektori. Lisaks sellele on antud empiirilises analüüsis kõik andmed väljendatud 100 000 elaniku kohta, et riikide andmed oleksid omavahel võrreldavad.

Empiirilises kirjanduses on välja toodud, et innovatsiooni ning teadus- ja arendustegevuse väljundi mõõtmiseks on kaks võimalust. Esimeseks võimaluseks on vaadelda teadus- ja arendustegevuse vaheetappi, milleks on patentide ja teadusartiklite loomine ning teiseks võimaluseks on vaadelda lõppetappi ehk uuenduslikud tooted, mis on välja kujunenud otseselt teadus- ja arendustegevusest. Parimaks mõõdikuks on otseselt teadus- ja arendustegevusest välja kujunenud uuenduslikud tooted, kuid seda on keeruline ja ressursimahukas mõõta ja tavaliselt on andmed kättesaadavad

vaid väheste riikide kohta piiratud aastatel. Seega kasutatakse kõige sagedamini teadus- ja arendustegevuse protsessi käsitlevates empiirilistes uuringutes, sealhulgas efektiivsuse hindamise uuringutes, teadus- ja arendustegevuse protsessi väljundite mõõtmiseks patente ja teadusartikleid parima lahendusena. (Liu *et al.* 2018) Acs *et al.* (2002) on välja toonud, et patendid on usaldusväärne teadus- ja arendustegevuse väljundi kaudne mõõdik asendamaks otseseid väljundeid. Teadusartiklitel on oluline roll uute ideede edastamisel ja jagamisel ning teadus- ja arendustegevusele tugeva teoreetilise aluse rajamisel (Liu *et al.* 2018), mistõttu võib seda pidada samuti üheks oluliseks teadus- ja arendustegevuse protsessi väljundiks. Nii patentide kui ka teadusartiklite kohta on Liu *et al.* (2018) täheldanud, et need on tundlikud teadus- ja arendustegevuse sisendite suhtes ning sobituvad hästi tehnoloogiliste muutustega, mistõttu nemad kasutasid efektiivsuse hindamisel teadus- ja arendustegevuse väljunditena just patente ja teadusartikleid. Seda ja eelnevaid empiirilisi uuringuid, millest lähemalt oli kirjutatud 1.3. peatükis, arvesse võttes, on käesoleva magistr töö empiirilises analüüsis kasutatud teadus- ja arendustegevuse protsessi väljunditena patenditaotluste arvu ning avaldatud teadusartiklite arvu.

3.2. Kirjeldav statistika

Järgnevalt antakse lühiülevaade kasutatavatest andmetest. Tabelis 3.2. on välja toodud valimit kirjeldav statistika. Vaadeldaval perioodil oli keskmiselt esitatud Euroopa Patendiametile 13,94 patenditaotlust 100 000 elaniku kohta. Maksimaalselt esitati 96,49 patenditaotlust 100 000 elaniku kohta 2016. aastal Luksemburgis ning kõige vähem taotlusi esitati 2010. aastal Rumeenias, kus esitati 0,07 patenditaotlust 100 000 elaniku kohta. Joonisel 3.1 on kujutatud 2010, 2015 ja 2019 aastate patenditaotluste arv 100 000 elaniku kohta riikide lõikes ning on näha, et Luksemburg on esitanud üle aastate kõige rohkem patenditaotlusi ning patenditaotluste arvu poolest järgneva Rootsi võrreldes esitatas 2019. aastal Luksemburg 1,5 korda rohkem taotlusi 100 000 elaniku kohta. Seda suurt erinevust Luksemburgi ja muude riikide vahel on näha ka joonisel lisas 2, kus joonistub välja, et Luksemburg esitab mitu korda rohkem patenditaotlusi 100 000 elaniku kohta kui kõik teised riigid.

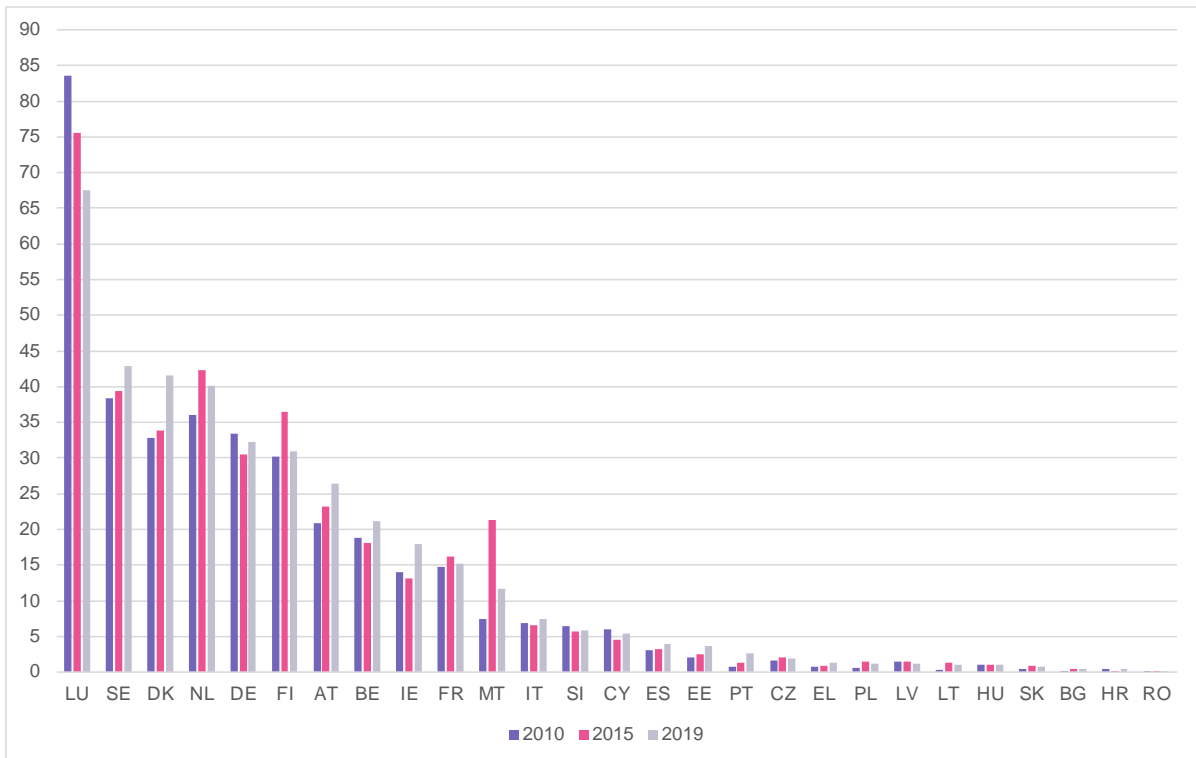
Tabel 3.2. Valimit kirjeldav statistika

Tunnus	Aritmeetiline keskmine	Standardhälve	Maksimum	Miinum
Patenditaotluste arv	13,94	18,70	96,49	0,07
Avaldatud teadusartiklite arv	234,22	121,82	627,65	48,09
T&A kogukulutused	5 125,80	4 760,04	16 136,68	278,43
Erasektori T&A kulutused	3 272,39	3 293,01	11 526,20	85,67
Avaliku sektori T&A kulutused	545,29	600,97	3 462,29	22,37
Kõrghariduse T&A kulutused	1 275,75	1 196,70	5 331,07	27,27
T&A kogu kapitalivaru	27 956,62	27 330,62	90 712,08	1 115,12
Erasektori T&A kapitalivaru	17 693,34	19 180,84	64 469,36	361,07
Avaliku sektori T&A kapitalivaru	3 189,09	3 274,89	17 355,80	79,66
Kõrghariduse T&A kapitalivaru	7 043,81	6 726,81	29 366,26	164,79
Teadlaste arv, FTE	359,23	175,08	781,44	79,61
Teadlaste arv erasektoris, FTE	173,19	130,73	542,49	17,42
Teadlaste arv avalikus sektoris, FTE	44,19	25,99	145,94	2,03
Teadlaste arv kõrghariduses, FTE	138,96	61,80	288,44	29,74

Allikas: Eurostat, Web of Science, autori arvutused

Rohkem taotlusi esitavad Põhja- ja Lääne-Euroopa riigid ning need riigid esitasid 2019. aastal keskmiselt umbes 25 korda rohkem patenditaotlusi 100 000 elaniku kohta kui Ida-Euroopa ja Balkani riikides. Samas tuleb täheldada, et Luksemburgis on patenditaotluste arv vähenevas trendis, kui 2010. aastal oli 83,65 siis 2019. aastal oli patenditaotluste arv 100 000 elaniku kohta langenud 67,6 peale, mis tähendab et 2019. aastal oli umbes 19% vähem patenditaotlusi kui 2010. aastal. Samuti on oluline märkida, et Luksemburg on ainus riik, mille patenditaotluste keskmine aastane kasv 10 vaadeldava aasta jooksul on negatiivne. 10 aasta jooksul langes keskmiselt patenditaotluste arv Luksemburgis 2%.

Kõige suurem keskmine patenditaotluste kasv on olnud Lätis, kus on see 47%, kuid patenditaotluste arv on võrdlemisi väike, jäädes 0,4 ja 3,95 vahele, ning ka kasv on olnud aastate jooksul kõiguv. Üldiselt on patenditaotluste kasv olnud ebaühtlasem Ida-Euroopa ja Balkani riikides võrreldes Põhja- ja Lääne-Euroopa riikidega, mis on põhjustatud sellest, et nendes riikides on üle aastate olnud madalamad väärtused võrreldes Põhja- ja Lääne-Euroopa riikidega, mis tähendab, et sama suured muutused absoluutväärtuses näivad suurte protsentuaalsete muutustena.



Joonis 3.1. Patenditaotluste arv 100 000 elaniku kohta Euroopa Liidu riikides
Allikas: Eurostat, autori koostatud

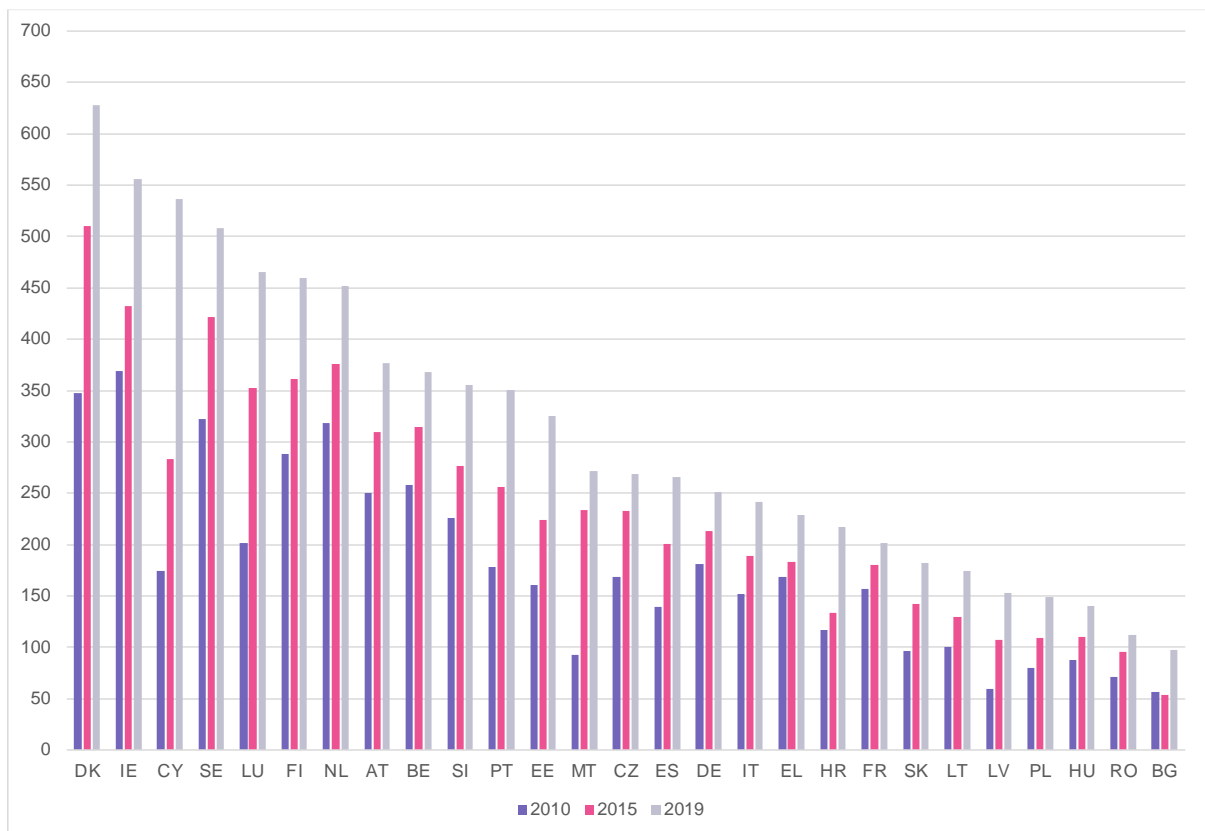
Vaadeldaval perioodil avaldati Euroopa Liidu riikides keskmiselt 234,22 teadusartiklit 100 000 elaniku kohta. Kõige rohkem avaldati teadusartikleid 100 000 elaniku kohta 2019. aastal Taanis, kus avaldati 627,65 teadusartiklit ning kõige vähem avaldati 2011. aastal Bulgaarias, kus avaldati 48,09 teadusartiklit 100 000 elaniku kohta. Joonisel 3.2 on kujutatud 2010, 2015 ja 2019 aastatel avaldatud teadusartiklite arv 100 000 elaniku kohta riikide lõikes.

Sarnaselt patenditaotlustele, avaldatakse 100 000 elaniku kohta rohkem teadusartikleid Põhja- ja Lääne-Euroopas, mis on näha joonisel lisas 3, kuid patenditaotluste ja teadusartiklite vahel on ka erisusi. 2019. aastal oli Küpros teadusartiklite avaldamises kolmandal kohal ning joonisel 3.2 on näha, et alates 2010. aastast on teadusartiklite avaldamine 100 000 elaniku kohta jõuliselt kasvanud. 2019. aastal avaldati Küprosel umbes 2 korda rohkem teadusartikleid 100 000 elaniku kohta kui 2010. aastal. Patenditaotlusi vaadeldes, on Küpros võrreldes teiste riikidega tagasihoidlik ning paikneb alles 14. kohal.

Samuti saab märkida, et Prantsusmaa on võrreldes teiste riikidega edukam patentide taotlemises kui teadusartiklite avaldamises. Prantsusmaale sarnaselt on Saksamaa edukam patentide taotlemises kui teadusartiklite avaldamises. Patentide taotlemises oli Saksamaa 2019. aastal 5.

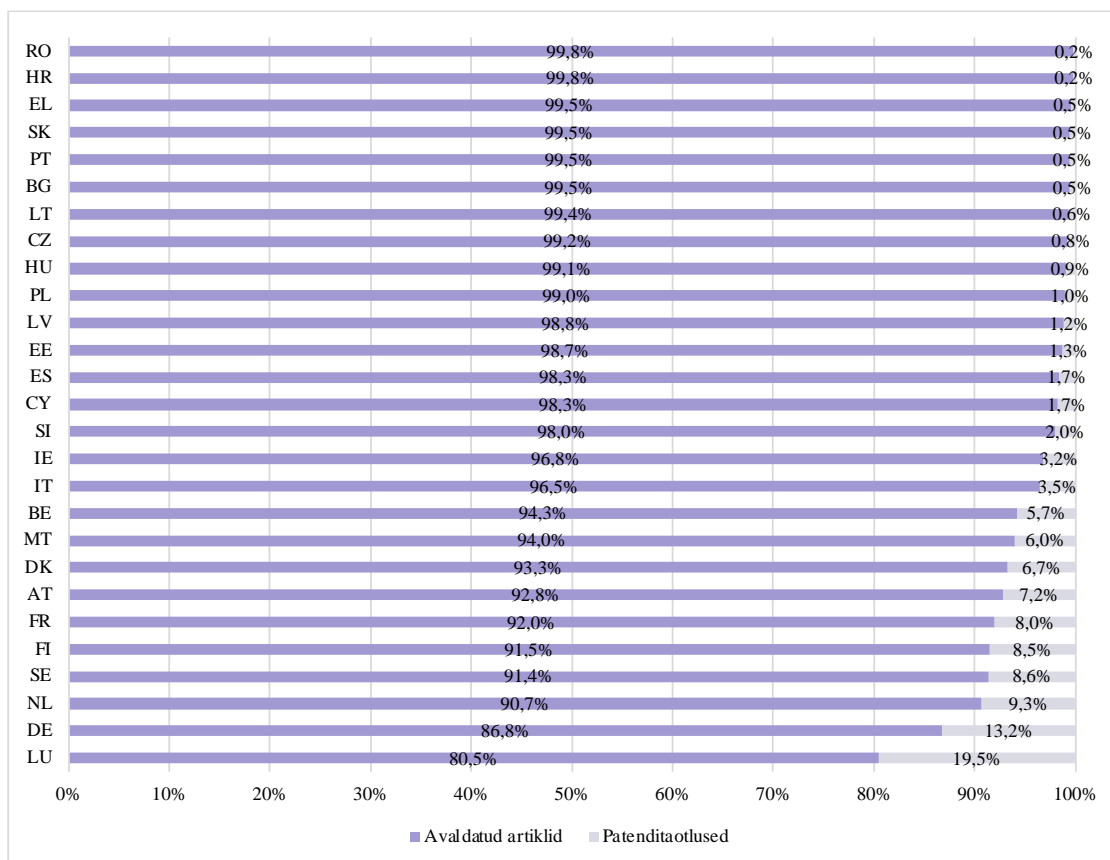
kohal, siis teadusartiklite avaldamises oli vaid 16. kohal. Joonisel 3.5 on näha, et nii Prantsusmaal kui Saksamaal on kulutatud teadus- ja arendustegevusele kordades rohkem raha protsentuaalselt sisemajanduse koguproduktist erasektoris kui avalikus sektoris ja kõrgharidussektoris. See võib viidata asjaolule, et Prantsusmaal ja Saksamaal on erasektori ettevõtted keskendunud patentide välja töötamisele mitte teadusartiklite avaldamisele ning teadusartikleid avaldatakse suhteliselt vähem võrreldes teiste riikidega, sest avaliku sektori ja kõrgharidussektori kulutused on kordades väiksemad kui erasektori kulutused.

Lisaks on joonisel 3.5 näha, et Küprosel, mis on edukam just teadusartiklite avaldamises kui patentide väljatöötamisel, on kõrgharidussektoris teadus- ja arendustegevuse rahastus samal tasemel erasektoriga. Kõikides Euroopa Liidu riikides on aastane keskmine avaldatud teadusartiklite kasv olnud positiivne ning on suhteliselt sarnane riikide lõikes. Kõige väiksem keskmine aastane kasv oli Prantsusmaal, kus teadusartiklite arv 100 000 elaniku kohta kasvas 10 aasta jooksul aastas keskmiselt 3% ning kõige suurem keskmine aastane kasv oli Küprosel, kus teadusartiklite arv 100 000 elaniku kohta kasvas aastas keskmiselt 14%.



Joonis 3.2. Avaldatud teadusartiklite arv 100 000 elaniku kohta Euroopa Liidu riikides
Allikas: Web of Science, autori koostatud

Üldiselt absoluutarvudes vaadates avaldatakse kõikides Euroopa Liidu riikides rohkem teadusartikleid 100 000 elaniku kohta kui tehakse patenditaotlusi Euroopa Patendiametile (joonis 3.3). Keskmiselt on üle riikide teadus- ja arendustegevuse väljundid jaotunud selliselt, et 95% väljunditest on teadusartiklid ning 5% on patenditaotlused. Kõige suurem patenditaotluste osakaal on Luksemburgis, kus on see 19,5%. Suurem patenditaotluste osakaal on üldiselt Põhja- ja Lääne-Euroopas. Ida-Euroopa ja Balkani riikides on patenditaotluste osakaal väga väike võrreldes teiste riikidega, jäädes 2% ja 0,2% vahele. Seda erinevust Põhja- ja Lääne-Euroopa ning Ida-Euroopa ja Balkani riikide vahel oli näha ka varasematest joonistest, et Põhja- ja Lääne-Euroopa riigid panustavad võrdlemisi rohkem patenditaotluste väljatöötamisele ning muud riigid panustavad teadusartiklite avaldamisele.

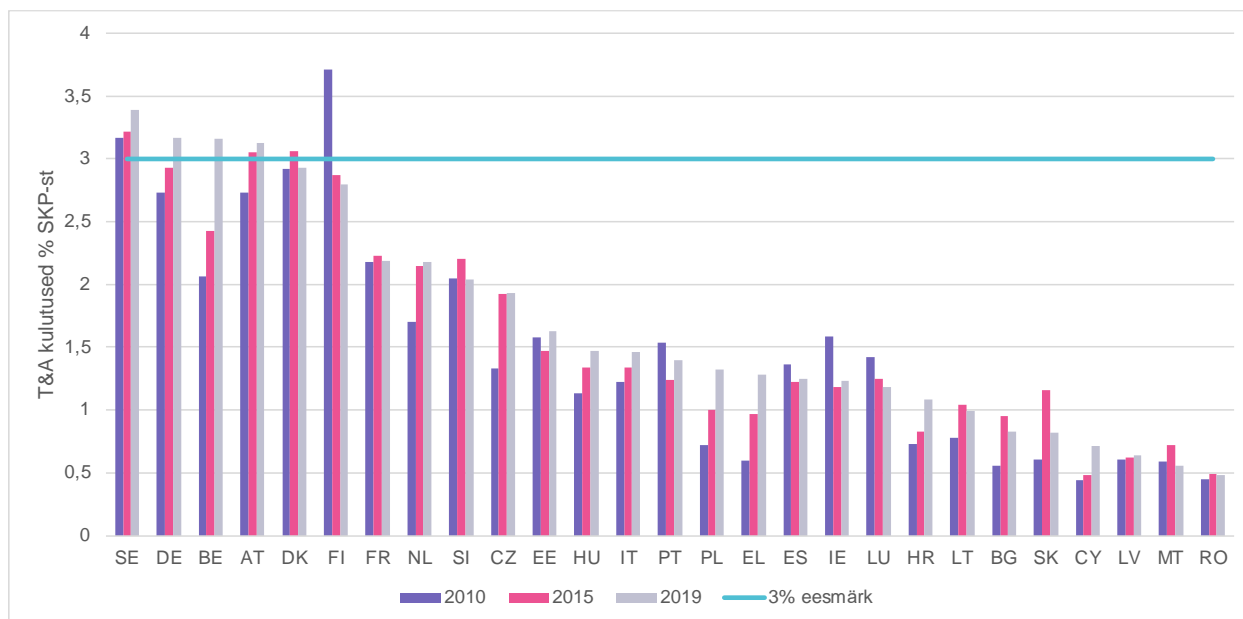


Joonis 3.3. Teadus- ja arendustegevuse väljundite jaotus Euroopa Liidus aastatel 2010-2019
Allikas: Eurostat, Web of Science, autori koostatud

Joonisel 3.4 on näha kui palju riigid on kulutanud teadus- ja arendustegevusele protsentuaalselt sisemajanduse koguproduktist. Sissejuhatuses oli mainitud, et Euroopa Liidus on riikidele eesmärgiks pandud, et riigid kulutaksid teadus- ja arendustegevusele vähemalt 3% SKP-st. Joonisel on näha, et selle eesmärgi on umbes 20 aastaga suutnud täita vaid väga vähesed riigid. 2019. aastal kulutasid teadus- ja arendustegevusele üle 3% SKP-st vaid 4 riiki – Rootsi, Taani, Belgia ja Austria. Kõige suurema kasvu 2010. ja 2019. aasta vahel on teinud Belgia, kus kulutused teadus- ja arendustegevusele tõusis 1,1 protsendipunkti, teistes riikides kulutused protsentuaalselt SKP-st kasvasid alla 0,7 protsendipunkti või langesid.

Kõige suurem langus teadus- ja arendustegevuse kulutustes oli Soomes, kus 2010. ja 2019. aasta vahel langesid kulutused 0,9 protsendipunkti ning se langus on olnud pidev aastate jooksul. Soomes on 10 aasta jooksul keskmiselt aastas kulutused teadus- ja arendustegevusele langenud 0,1 protsendipunkti. Joonisel 3.4 on näha ka asjaolu, et 2010. aastal oli Soome kulutanud teadus- ja arendustegevusele üle 3% Euroopa Liidu eesmärgi, kuid juba 2015. aastal oli langenud alla 3%.

Soomel on taas eesmärk tõsta kulutusi teadus- ja arendustegevusele neljale protsendile SKP-st, kuid Soome valitsus tõstatas üles vajaduse lisaks üldisele rahastamise eesmärgile ka muudele eesmärkidele ja soovitudele teadus- ja arendustegevuse teemal. Näiteks annab Soome Parlamendi teadus-, arendus- ja innovatsioonirühm (TAI) soovitusi seoses TAI-süsteemi juhtimise tugevdamise, teadus- ja arendustegevuse oskuste ja tööjõu kättesaadavuse suurendamisega, koostöö edendamisega, riiklikul tasandil strateegiliste valikute tegemisega, rahastamise tulemuslikkuse hindamisega ning teadustegevuseks ja innovatsiooniks soodsa tegevuskeskkonna arendamisega. (New momentum...) Sellest on näha, et lisaks tavalisele rahastamise suurendamisele, soovib Soome TAI töörühm tegeleda ja uurida teadus- ja arendustegevuse protsessi efektiivsuse hindamisega, mis tähendab, et Soome jaoks ei ole oluline ainult teadus- ja arendustegevuse investeeringute suurendamine, vaid ka nende investeeringute efektiivne kasutamine, et Soome teadlased kasutaksid investeeringuid võimalikult tõhusalt suurendamaks teadus- ja arendustegevuse toodangut.

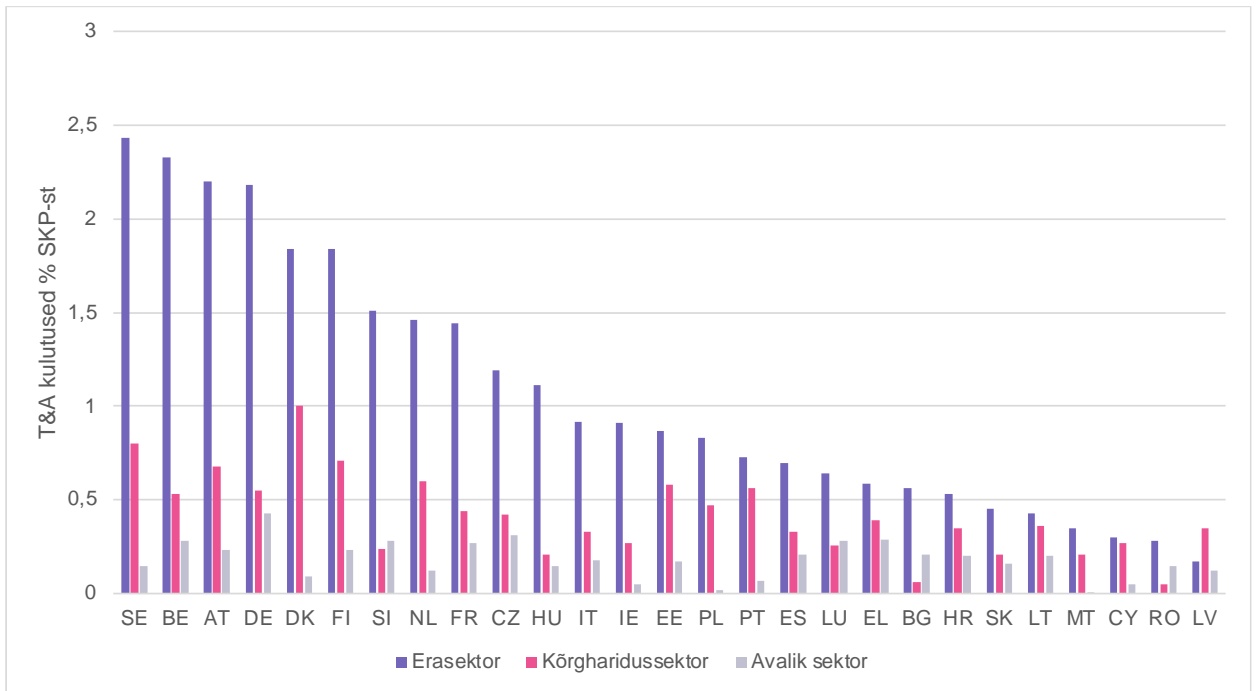


Joonis 3.4. Teadus- ja arendustegevuse kulutused % SKP-st Euroopa Liidu riikides

Allikas: Eurostat, autori koostatud

Joonisel 3.5 on näha, et kõikides Euroopa Liidu riikides peale Läti kulutatakse erasektoris teadus- ja arendustegevusele kõige rohkem protsentuaalselt SKP-st. Lätis kulutab kõrgharidussektor kõige rohkem teadus- ja arendustegevusele protsentuaalselt SKP-st. Kõige suurem vahe erasektori ja teiste sektorite kulutuste vahel on Põhja- ja Lääne-Euroopa riikides. Kui Rootsis kulutatakse erasektoris pea 2,5% SKP-st teadus- ja arendustegevusele, siis kõrgharidussektori ja avalikus sektoris kulutatakse alla 1% SKP-st, mis tähendab erasektori kulutab umbes 1,5 protsendipunkti rohkem teadus- ja arendustegevusele kui muud sektorid.

Vaadates aga Eesti kulutusi sektorite lõikes, on näha, et 2019. aastal kulutas erasektori 0,87% SKP-st teadus- ja arendustegevusele ning kõrgharidussektori ja avalik sektor kokku 0,75% SKP-st, mis tähendab, et erasektor kulutab vaid 0,12 protsendipunkti rohkem teadus- ja arendustegevusele kui teised sektorid kokku. Samuti osades Ida-Euroopa ja Balkani riikides kulutati 2019. aastal kõrgharidussektoris ja avalikus sektoris kokku rohkem kui erasektoris teadus- ja arendustegevusele protsentuaalselt SKP-st. Kõrgharidussektori ja avalik sektor keskenduvad peamiselt teadusartiklite avaldamisele ning seda oli näha ka joonistel 3.1 ja 3.2, et Ida-Euroopa ja Balkani riigid on teadus- ja arendustegevuses teiste riikidega võrreldes rohkem keskendunud teadusartiklite avaldamisele kui patente välja töötamisele.

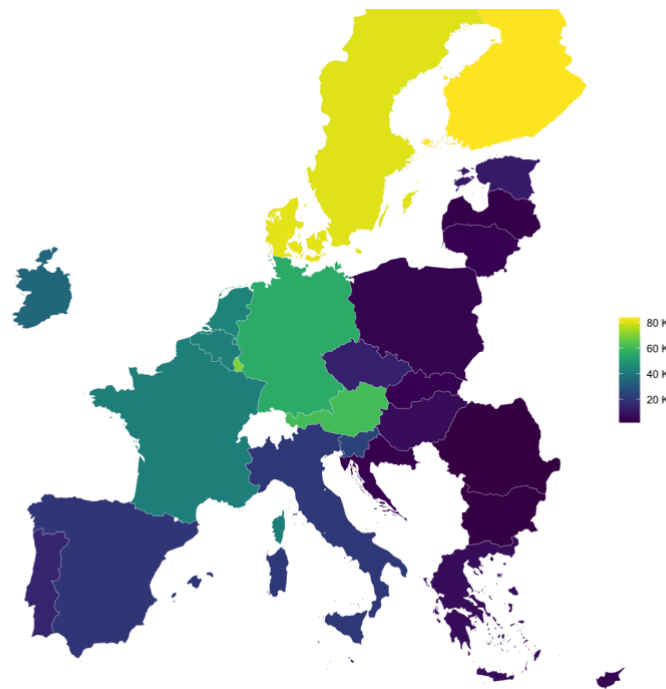


Joonis 3.5. Teadus- ja arendustegevuse kulutused % SKP-st sektorite lõikes 2019. aastal
Allikas: Eurostat, autori koostatud

Vaadeldaval perioodil oli Euroopa Liidu riikides keskmiselt teadus- ja arendustegevuse kogukapitalivaru 100 000 elaniku kohta 27 657 euro väärtuses, erasektoris keskmiselt kapitalivaru oli 100 000 elaniku kohta 17 693 euro väärtuses, avalikus sektoris keskmiselt kapitalivaru oli 100 000 elaniku kohta 3189 euro väärtuses ning kõrgharidussektoris keskmiselt kapitalivaru oli 7044 euro väärtuses. 2019. aastal oli kõige suurem kogukapitalivaru Taanis, kus seda oli 90 712 euro väärtuses ning kõige väiksem kogukapitalivaru oli Rumeenias, kus seda oli 2554 euro väärtuses. Joonisel 3.6 on näha, et suurema kapitalivaruga riigid 100 000 elaniku kohta on Põhja- ja Lääne-Euroopa riigid. Nendes riikides on rohkem kapitaliressurssi teadus- ja arendustegevuseks elaniku kohta, mis võib anda nendele riikidele eelise teadus- ja arendustegevuse protsessi, kuid antud magistritöö raames on tähtis vaadelda lisaks ka ressursside kasutamise efektiivsust ehk riigid, kus on elaniku kohta rohkem kapitalivaru, ei pruugi olla nende kasutamises efektiivsemad, kui riigid, kus on väiksem kapitalivaru. Näiteks Küpros oli 2019. aastal kogukapitalivaru poolest alles 21. kohal, kuid teadusartiklite avaldamises oli 4. kohal, mis võib viidata asjaolule, et Küpros suudab kasutada oma teadus- ja arendustegevuse kapitaliressurssi efektiivsemalt teadusartiklite vaatest.

2019. aastal oli erasektori kapitalivaru kõige suurem Rootsis, kus seda oli 100 000 elaniku kohta 62 875 euro väärtuses ning kõige väiksem erasektori kapitalivaru oli Rumeenias, kus seda oli 1279

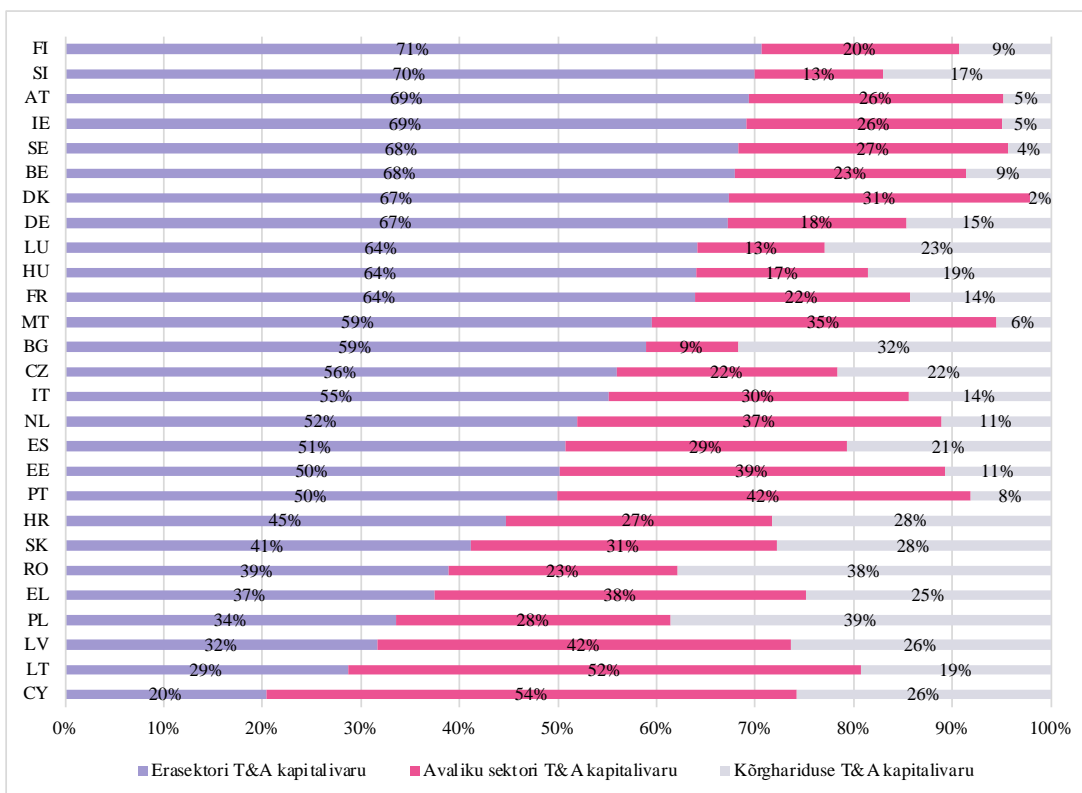
euro väärtuses. Avalikus sektoris oli kapitalivaru kõige suurem Luksemburgis, kus seda oli 100 000 elaniku kohta 17 312 euro väärtuses ning kõige väiksem avaliku sektori kapitalivaru oli Maltal, kus seda oli 100 000 elaniku kohta 362 euro väärtuses. Kõrgharidussektoris oli kapitalivaru kõige suurem Taanis, kus seda oli 100 000 elaniku kohta 29 366 euro väärtuses ning kõige väiksem kõrghariduse kapitalivaru oli Bulgaarias, kus seda oli 100 000 elaniku kohta 225 euro väärtuses.



Joonis 3.6. Teadus- ja arendustegevuse kogukapitalivaru 100 000 elaniku kohta Euroopa Liidu riikides 2019. aastal

Allikas: Eurostat, autori arvutused, autori koostatud

Joonisel 3.7 on näha, kuidas oli 2010-2019 perioodil teadus- ja arendustegevuse kapitalivaru jaotunud sektorite vahel. Euroopa Liidu riikides keskmiselt on 54% kapitalivarust erasektoril, 29% kõrgharidusel ning 18% avalikul sektoril. Põhja- ja Lääne-Euroopas on enamuse teadus- ja arendustegevuse kapitalivarust olnud erasektoril. Lisaks nendele riikidele on erasektoril enamuse kapitalivarust ka Sloveenias, Ungaris, Maltal ja Bulgaarias. Avaliku sektori kapitalivaru enamuse poolest paistavad silma Läti ja Küpros, kus avalikul sektoril on vastavalt 52% ja 54% teadus- ja arendustegevuse kapitalivarust. Väga väikese avaliku sektori osakaalu poolest paistavad silma Sloveenia, Luksemburg ja Bulgaaria, kus avaliku sektori kapitalivaru osakaal on vastavalt 13%, 13% ja 9%. Teistes riikides on avaliku sektori teadus- ja arendustegevuse kapitalivaru osakaal 20% ja 40% vahel. Taanis, Rootsis, Austrias ja Iirimaal on teiste riikidega võrreldes suhteliselt madalam kõrgharidussektori kapitalivaru osakaal, jäädes alla 5%.



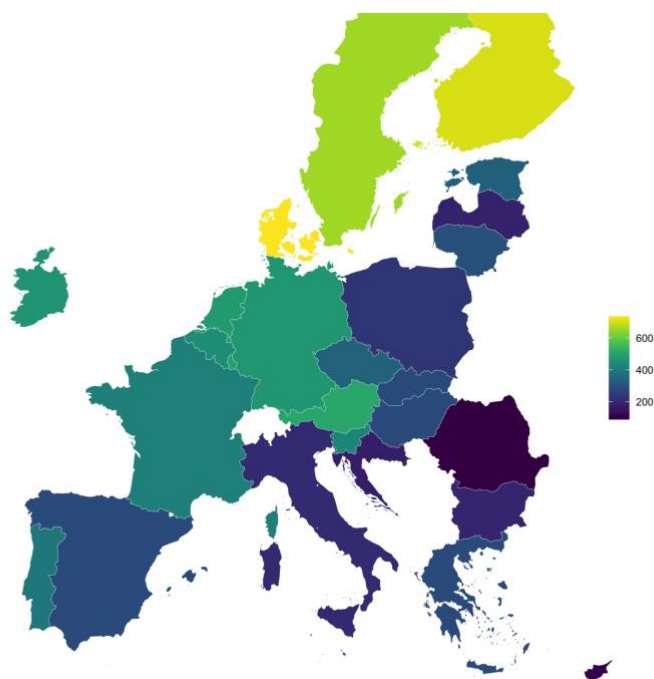
Joonis 3.7. Teadus- ja arendustegevuse kapitalivaru jaotus sektorite vahel Euroopa Liidu riikides aastatel 2010-2019

Allikas: Eurostat, autori arvutused, autori koostatud

Vaadeldaval perioodil on Euroopa Liidus keskmiselt 359 teadlast 100 000 elaniku kohta. Joonisel 3.8 on näha, et 2010.-2019. aastate perioodil on 100 000 elaniku kohta rohkem teadlasi olnud Põhja- ja Lääne-Euroopa riikides. Kõige rohkem oli teadlasi 100 000 elaniku kohta 2016. aastal Taanis, kus oli 781 teadlast 100 000 elaniku kohta, kõige vähem aga oli teadlasi 100 000 elaniku kohta 2011. aastal Rumeenias, kus oli 80 teadlast 100 000 elaniku kohta. Aastatel 2010-2019 on keskmiselt olnud kõige rohkem teadlasi Rootsis, kus töötas aastas keskmiselt 441 teadlast 100 000 elaniku kohta ning kõige vähem teadlasi keskmiselt on olnud Rumeenias, kus töötas aastas keskmiselt 24 teadlast 100 000 elaniku kohta. Joonistelt 3.6 ja 3.8 joonistub välja, et teadus- ja arendustegevuse ressursse on 100 000 elaniku kohta rohkem Põhja- ja Lääne-Euroopa riikides ning ressursisivaesed piirkonnad on Balkani riigid ning mõnel määral ka Ida-Euroopa riigid.

Erasektoris oli aastatel 2010-2019 Euroopa Liidus 100 000 elaniku kohta keskmiselt 173 teadlast. Kõige rohkem oli 100 000 elaniku kohta teadlasi erasektoris 2019. aastal Rootsis, kus oli 542 teadlast 100 000 elaniku kohta ning kõige vähem oli 2011. aastal Rumeenias, kus oli 17 teadlast

100 000 elaniku kohta. Avalikus sektoris oli vaadeldaval perioodil 100 000 elaniku kohta keskmiselt 44 teadlast. Kõige rohkem oli 100 000 elaniku kohta teadlasi avalikus sektoris 2011. aastal Luksemburgis, kus oli 146 teadlast 100 000 elaniku kohta ning kõige vähem avaliku sektori teadlasi oli 2019. aastal Maltal, kus oli 2 teadlast 100 000 elaniku kohta. Kõrgharidussektoris oli vaadeldaval perioodil 100 000 elaniku kohta keskmiselt 139 teadlast. Kõige rohkem oli 100 000 elaniku kohta teadlasi kõrghariduses 2019. aastal Taanis, kus oli 288 teadlast 100 000 elaniku kohta ning kõige vähem oli kõrghariduse teadlasi 2019. aastal Rumeenias, kus oli 30 teadlast 100 000 elaniku kohta.

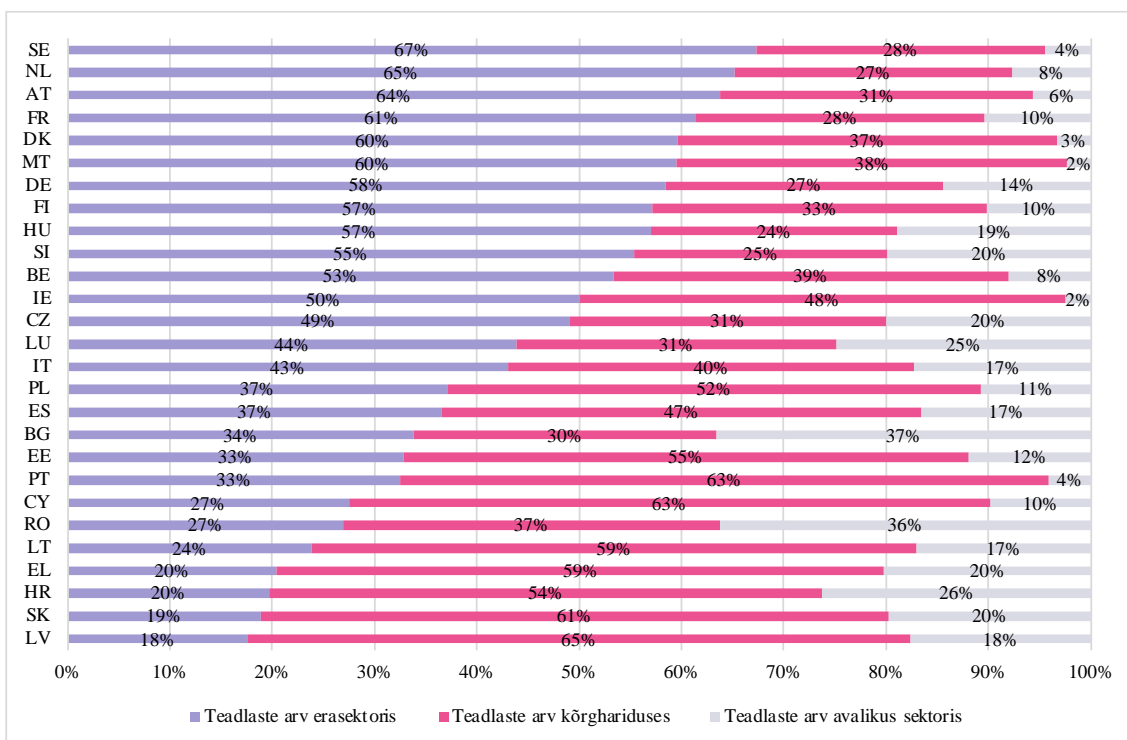


Joonis 3.8. Keskmise teadlaste arv 100 000 elaniku kohta Euroopa Liidu riikides aastatel 2010-2019

Allikas: Eurostat, autori koostatud

Joonisel 3.9 on kujutatud keskmine teadlaste arv 100 000 elaniku kohta Euroopa Liidu riikides aastatel 2010-2019. Riikide üleselt on keskmiselt 43% teadlastest erasektoris, 42% kõrghariduses ning 15% avalikus sektoris. Põhja- ja Lääne-Euroopas domineerib teadlaste arvu poolest erasektori, kus on üle poolte riigi teadlastest. Kõrge avaliku sektori osakaalu poolest paistavad silma Bulgaaria ja Rumeenia. Euroopa Komisjoni raportis on välja toodud, et Bulgaarias domineerib institutsionaalne toetus arvukatele avalikele teadusorganisatsioonidele ning puudub tõhus konkurentsikeskkond, mis hõlmaks sõltumatuid ja väliseid ekspertteadmisi teaduslike ideede, arengute ja tulemuste alal. Samuti täheldati, et Bulgaarias valitseb avalikus sektoris

ebasoodne kulustruktuur, mis võib tähendada, et sõltumata suurest avaliku sektori teadlaste arvust, ei suuda see sektor olla piisavalt tootlik. (Zhechkov & Mahieu, 2017) Samuti võib see viidata ka sellele, et suur avaliku sektori suurus teadus- ja arendustegevuses ei pruugi olla riigi jaoks kõige optimaalsem valik, kuid see sõltub, kuidas on teadus- ja arendustegevus korraldatud avalikus sektoris ning mis on seatud eesmärgid avalikus sektoris teadus- ja arendustegevuse valdkonnas ning kas neid eesmäärke ka täidetakse.



Joonis 3.9. Teadlaste jaotus sektorite vahel Euroopa Liidu riikides aastatel 2010-2019
Allikas: Eurostat, autori koostatud

3.3. Tulemused

Teadus- ja arendustegevuse protsessi hindamiseks Euroopa Liidu riikides kasutatakse antud töös stohhastilist piiranalüüsi ning käesolevas alapeatükis antakse selle analüüsi tulemuste kohta detailne ülevaade. Stohhastilise piiranalüüsi hindamine on läbi viidud tarkvaraprogrammis R. Teadus- ja arendustegevuse efektiivsuse hindamisel on kõik andmed väljendatud 100 000 elaniku kohta ning on kasutatud järgmist mudelit:

$$\ln Y_{it} = \alpha_0 + \alpha_1 \ln K_{business_{it}} + \alpha_2 \ln K_{gov_{it}} + \alpha_3 \ln K_{educ_{it}} + \alpha_4 \ln L_{business_{it}} + \alpha_5 \ln L_{gov_{it}} + \alpha_6 \ln L_{educ_{it}} + v_{it} - u_{it} \quad (8)$$

kus

Y_{it} – teadus- ja arendustegevuse väljund (patenditaotlused, teadusartiklid),

$K_{business_{it}}$ – erasektori teadus- ja arendustegevuse kapitalivaru,

$K_{gov_{it}}$ – avaliku sektori teadus- ja arendustegevuse kapitalivaru,

$K_{educ_{it}}$ – kõrgharidussektori teadus- ja arendustegevuse kapitalivaru,

$L_{business_{it}}$ – erasektori teadus- ja arendustegevuse teadlaste arv,

$L_{gov_{it}}$ – avaliku sektori teadus- ja arendustegevuse teadlaste arv,

$L_{educ_{it}}$ – kõrgharidussektori teadus- ja arendustegevuse teadlaste arv,

$\alpha_0, \dots, \alpha_6$ – parameetrite hinnangud,

v_{it} – juhuslik vealiige,

u_{it} – ebaefektiivsuse vealiige.

Esiialgu hinnatakse kaks mudelit, kus sõltuvateks muutujateks on teadus- ja arendustegevuse väljundid, milleks on esimese mudeli puhul patenditaotluste arv ning teises mudelis avaldatud teadusartiklite arv ning sõltumatuteks muutujateks on teadus- ja arendustegevuse sisendid, milledeks on kapitalivaru ja teadlaste arv. Teadus- ja arendustegevuse sisendid on mudelites sektorite vahel jaotatud, et näha, milline on sektorite sisendite mõju patenditaotlustele ja artiklite avaldamistele.

Lisaks kahele eelnevale mudelile, kus sõltuvateks muutujateks on eraldi teadus- ja arendustegevuse väljundid ehk patenditaotlused ja teadusartiklid, on hinnatud ka mudel, kus sõltuvaks muutujaks on võetud muutuja, kus patenditaotlused ja teadusartiklid on kombineeritud. Seda seetõttu, et nii kapitalivaru kui ka tööjõudu kasutatakse nii patentide väljatöötamiseks kui ka teadusartiklite avaldamiseks ning on keeruline leida kui suur osa kapitalivarust ja tööjõust läheb patentide väljatöötamiseks ja kui suur osa läheb teadusartiklite avaldamiseks. Esiialgu normaliseeriti patenditaotluste ja teadusartiklite andmed, et patenditaotlusi ja teadusartikleid oleks võimalik sama kaaluga kombineerida ehk mõlemal tunnusel oleks kombineeritud muutujas kaaluks 0,5. Andmete normaliseerimiseks on kasutatud *z-score* standardiseerimist, kus muutjate iga väärtuse puhul lahutatakse muutuja keskmine väärtus ja jagatakse muutuja standardhälbega.

Tabelis 3.3 on välja toodud stohhastilise piiranalüüsi abil loodud mudelid, kasutades patenditaotlusi, teadusartikleid ning kombineeritud näitajat sõltuva muutujana. Kõikidel mudelitel on gamma väärtus üle 0,9, mis tähendab, et nende mudelite puhul on üle 90% andmete varieerumisest põhjustatud ebaefektiivsusest. See tähendab, et stohhastilise piiranalüüsi kasutamine õigustatud. Esimeses mudelis on nivool 0,01 statistiliselt olulisteks muutujateks

erasektori kapitalivaru, avaliku sektori kapitalivaru ning kõrgharidussektori kapitavaru. Selles mudelis ei ole ühegi sektori tööjõu muutujad statistiliselt olulised. Teises mudelis on nivool 0,01 statistiliselt olulisteks muutujateks kõrgharidussektori kapitalivaru ning avaliku sektori tööjõud. Ajaperioodi kasutus osutus statistiliselt oluliseks vaid mudelis, kus sõltuvaks muutujaks oli avaldatud teadusartiklite arv. Kolmandas mudelis on ainsaks statistiliseks ebaoluliseks tunnuseks erasektori tööjõud, kõik muud muutujad on nivool 0,01 statistiliselt olulised.

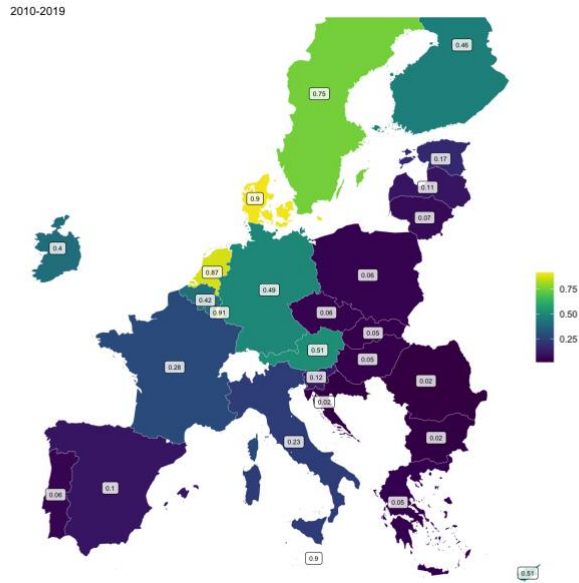
Tabel 3.3. Stohhastilise piiranalüüsi mudelid

	Patenditaotlused	Teadusartiklid	Kombineeritud
Vabaliige	-1,496**	4,721***	-5,030***
Erasektori kapitalivaru, ln	0,330***	0,011	0,238***
Avaliku sektori kapitalivaru, ln	0,406***	0,048	0,209***
Kõrgharidussektori kapitalivaru, ln	-0,209*	0,257***	0,259***
Erasektori tööjõud, ln	0,144	-0,062	-0,031
Avaliku sektori tööjõud, ln	-0,089	-0,124***	-0,133***
Kõrgharidussektori tööjõud, ln	0,012	0,059	0,152*
Ajaperiood		0,031***	0,023***
σ_u^2	4,753	1,875	0,845
σ_v^2	0,050	0,008	0,012
γ	0,990	0,996	0,986

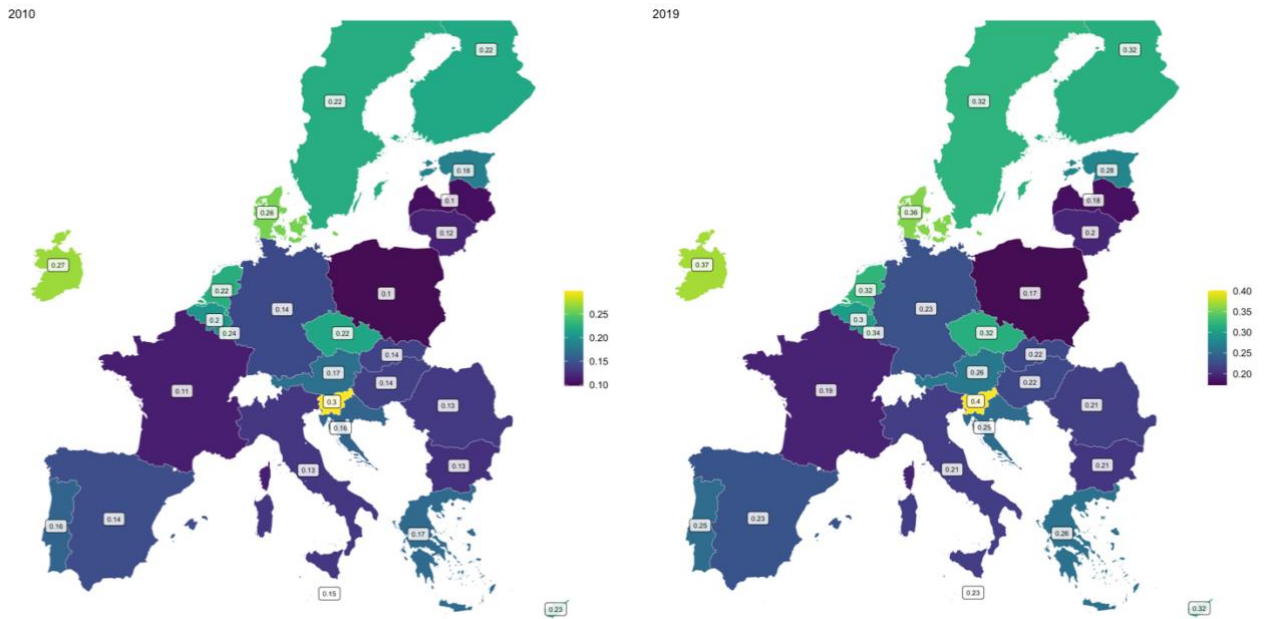
Allikas: Eurostat, Web of Science, autori koostatud

Märkused: Olulisuse nivood: 0 '***' 0,001 '**' 0,01 '*'

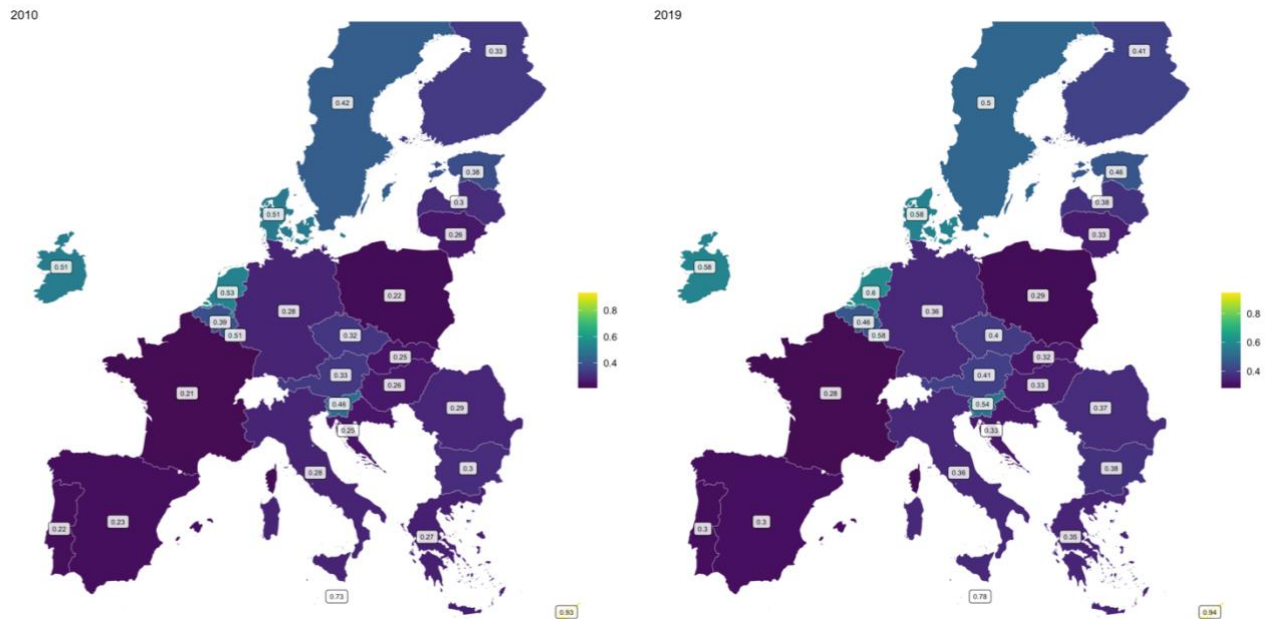
Vastavalt stohhastilisele piiranalüüsile on lisaks regressioonmudelitele hinnatud ka riikide efektiivsusskoorid kahe hinnatud mudeli kohta. Esimese mudeli puhul, kus teadus- ja arendustegevuse väljundina on kasutatud patenditaotluste arvu 100 000 elaniku kohta on efektiivsus hinnatud kogu analüüsitava perioodi kohta kokku ning efektiivsusskoorid riikide lõikes on välja toodud joonisel 3.10. Teise mudeli puhul, kus teadus- ja arendustegevuse väljundina on kasutatud avaldatud teadusartiklite arvu 100 000 elaniku kohta on efektiivsus hinnatud iga aasta kohta eraldi ning efektiivsusskoorid 2010. ja 2019. aastatel riikide lõikes on välja toodud joonisel 3.11. Samuti kolmanda mudeli puhul, kus teadus- ja arendustegevuse väljundina on kasutatud patenditaotlusi ja teadusartikleid kombineerivat tunnust, on efektiivsus hinnatud iga aasta kohta eraldi ning efektiivsusskoorid 2010. ja 2019. aastatel riikide lõikes on välja toodud joonisel 3.12. Teise ja kolmanda mudeli puhul on efektiivsusskoorid eraldi välja toodud aastate lõikes, sest nendes mudelites osutus ajaperioodi kasutamine statistiliselt oluliseks. Detailed andmed mudelite efektiivsusskooride kohta on välja toodud lisades 4-6.



Joonis 3.10. Teadus- ja arendustegevuse efektiivsus Euroopa Liidu riikides aastatel 2010-2019, kasutades patenditaotlusi väljundina
Allikas: Eurostat, autori koostatud



Joonis 3.11. Teadus- ja arendustegevuse efektiivsus Euroopa Liidu riikides 2010. ja 2019. aastal, kasutades teadusartikleid väljundina
Allikas: Eurostat, Web of Science, autori koostatud



Joonis 3.12. Teadus- ja arendustegevuse efektiivsus Euroopa Liidu riikides 2010. ja 2019. aastal, kasutades kombineeritud väljundit
Allikas: Eurostat, Web of Science, autori koostatud

3.4. Järeldused

Tabelis 3.3 välja toodud esimese mudeli alusel mõjutavad erasektori ja avaliku sektori kapitalivaru patenditaotluste arvu positiivselt, kuid kõrgharidussektori kapitalivaru mõjutab patenditaotluste arvu negatiivselt. Muud muutujad olid mudelis statistiliselt mitteolulised. See tähendab, et mida kõrgem on erasektori ja avaliku sektori kapitalivaru, seda rohkem esitatakse patenditaotlusi, kuid mida kõrgem on kõrgharidussektori kapitalivaru, seda vähem esitatakse patenditaotlusi. Kõrgharidussektori kapitalivaru negatiivset mõju võib selgitada see, et üldiselt kasutatakse kõrghariduses teadus- ja arendustegevuse ressursse teadusartiklite välja töötamiseks ja avaldamiseks ning patendite välja töötamine on erasektori põhiliseks eesmärgiks teadus- ja arendustegevuse kontekstis. Avaliku sektori kapitalivaru positiivset mõju võib selgitada asjaolu, et avalik sektori annab ettevõtetele toetusi selleks, et nad saaksid teadus- ja arendustegevust teha. Avalik sektor on huvitatud riigi majanduskasvust ning üheks viisiks, kuidas riigi majandust kasvatada on luua ettevõtete poolne konkurentsieelis, mis on võimalik läbi uute innovatiivsete toodete loomise, mis on võimalik läbi teadus- ja arendustegevuse. Teadus- ja arendustegevus on aga oma loomu poolest riskantne ja kalline ettevõtmine ning üldjuhul, kui ettevõttel ei ole lisaressursse selle jaoks, siis sellega ei tegeleta. Seetõttu annavad avaliku sektori institutsioonid ettevõtetele vajalikku lisarahastust, et ettevõtted saaksid teadus- ja arendustegevuse riske

maandada. Seda on välja toodud ka 2023. aasta Eesti Vabariigi Valitsuse koalitsioonileppes, et majandusarengu eesmärgiks on Eesti majanduse innovatsioonivõime suurendamine läbi teadus- ja arendustegevuse kindla rahastamise (Koalitsioonilepe ...).

Tabelis 3.3 välja toodud teise mudeli alusel mõjutab kõrgharidussektori kapitalivaru teadusartiklite avaldamist positiivselt ning avaliku sektori tööjõu suurus mõjutab teadusartiklite avaldamist negatiivselt. Muud muutujad olid mudelis statistiliselt mitteolulised. See tähendab, et mida kõrgem on kõrgharidussektori kapitalivaru, seda rohkem avaldatakse teadusartikleid ning mida rohkem on riigis avaliku sektori teadlasi, seda vähem avaldatakse teadusartikleid.

Tabelis 3.3 välja toodud kolmanda mudeli alusel mõjutavad kõikide sektorite kapitalivaru patenditaotluste ja teadusartiklite arvu positiivselt. Samuti mõjutab kõrgharidussektori tööjõu suurus patenditaotluste ja teadusartiklite arvu positiivselt, kuid avaliku sektori tööjõu suurus mõjutab patenditaotluste ja teadusartiklite arvu negatiivselt. Seega, mida kõrgem on kapitalivaru ning mida rohkem on kõrgharidussektoris teadlasi *ceteris paribus*, seda rohkem tehakse patenditaotlusi ning avaldatakse teadusartikleid. Samas, mida rohkem on teadlasi avalikus sektoris, seda vähem tehakse patenditaotlusi ning avaldatakse teadusartikleid.

Esimese mudeli alusel ei olnud tööjõu muutujad statistiliselt olulised ning teises ja kolmandas mudelis avaldab avaliku sektori tööjõu näitaja negatiivset mõju teadus- ja arendustegevuse väljundile. Võib oletada, et tööjõu muutujad on statistiliselt ebaolulised, sest ühest küljest ei osale kõik teadlased patentide välja töötamisel, sealhulgas näiteks kõrgharidussektori teadlased, kes peamiselt tegelevad teadusartiklite kirjutamisega. Teisest küljest, aga võib statistilist ebaolulisust selgitada ka see, et teadus- ja arendustegevuse protsessis pole oluline mitte teadlaste kvantiteet vaid kvaliteet (Liu *et al.*, 2018).

Joonisel 3.10 on välja toodud Euroopa Liidu riikide teadus- ja arendustegevuse efektiivsus, kus väljundiks on patenditaotluste arv. Üldiselt on kõrgem efektiivsus Põhja- ja Lääne-Euroopa riikides, kuid erindina saab välja tuua Küprose ja Malta, kus on samuti suhteliselt kõrge efektiivsus võrreldes teiste riikidega. Kõige kõrgema efektiivsusega riik on Luksemburg, mille efektiivsusskoor on 0,91, mis tähendab, et Luksemburgis toodeti 91% maksimaalsest võimalikust toodangust ning olemasolevate ressursside abil on võimalik toodangut suurendada vaid 9%. Kõige madalama efektiivsusega riik on Rumeenia, mille efektiivsusskoor on 0,017, mis tähendab, et Rumeenias toodeti vaid 1,7% maksimaalsest võimalikust toodangust. Küprose ja Malta efektiivset

teadus- ja arendustegevust on täheldatud ka varasemates empiirilistes uuringutes (Juříčková *et al.*, 2019; Halaskova *et al.*, 2020). Juříčková *et al.* (2019) uuringus tõusis Küpros analüüsitaval perioodil 2005-2016 kõige efektiivsemaks riigiks ning selle põhjenduseks tuuakse välja ressursside tõhusat kasutamist teadusartiklite ja patenditaotluste loomiseks. Malta puhul tuleb välja tuua, et kuigi Malta investeerib suhteliselt vähe (2019. aastal 0,56%) teadus- ja arendustegevusse protsentuaalselt SKP-st võrreldes teiste riikidega (2019. aastal oli eelviimasel kohal), oli 2019. aastal selle riigi efektiivsuskooriks 0,9.

Joonisel 3.11 on välja toodud Euroopa Liidu riikide teadus- ja arendustegevuse efektiivsus 2010. ja 2019. aastal, kus väljundiks on avaldatud teadusartiklite arv. Üldiselt on näha, et efektiivsemateks riikideks on pigem Põhja- ja Lääne-Euroopa riigid. 2010. aastal oli keskmine efektiivsuskoor üle Euroopa Liidu riikide 0,18 ning 2019. aastal oli keskmine efektiivsuskoor üle riikide 0,27. See näitab, et 10 aastaga on riikides keskmiselt efektiivsus suurenenud ehk samade ressursside abil suudetakse toota rohkem väljundeid ehk avaldada rohkem teadusartikleid. 2010. ja 2019. aastate vahel on suutnud kõik riigid oma teadus- ja arendustegevuse protsessi efektiivsemaks muuta. 2010. aastal oli kõige kõrgem efektiivsus Sloveenias, mille efektiivsuskooriks oli 0,30, mis tähendab, et sellel aastal toodeti Sloveenias 30% maksimaalsest kogusest, mis on võimalik olemasolevate ressursside abil. 2010. aastal oli kõige madalam efektiivsus Poolas, mille efektiivsuskooriks oli 0,10, mis tähendab, et sellel aastal toodeti Poolas vaid 10% maksimaalsest kogusest. 2019. aastal oli kõige kõrgem efektiivsus samuti Sloveenias, mille efektiivsuskooriks oli 0,40 ning kõige madalam efektiivsus oli Poolas, mille efektiivsuskooriks oli 0,17. Seega Sloveenia teadus- ja arendustegevuse protsessi efektiivsuskoor suurenes rohkem kui Poola efektiivsuskoor.

Kui võrrelda kahe mudeli vahelisi efektiivsuseid, siis paistab välja Sloveenia, mis on teadusartiklite poolest kõige efektiivsem, kuid patenditaotluste poolest vaid 15. kohal. Vastupidiselt paistab silma aga Malta, mis on patenditaotluste efektiivsuse poolest vaid 16. kohal, kuid vaadates teadusartikleid väljundina, on Malta efektiivsuse poolest 3. kohal. Samuti on näha erisust ka Prantsusmaa osas, patenditaotluste efektiivsuse poolest on Prantsusmaa väga madalal võrreldes teiste Euroopa Liidu riikidega, 25. kohal, kuid teadusartiklite efektiivsuse poolest on Prantsusmaa 12. kohal. Siit paistab välja ka asjaolu, et kuigi 2019. aastal kulutati Prantsusmaal üle 2% SKP-st teadus- ja arendustegevusele ja oli Euroopa Liidu riikide seas sellega 7. kohal, siis efektiivsuse poolest on Prantsusmaa pigem madalal positsioonil võrreldes teiste Euroopa Liidu

riikidega. Balkani riigid on nii patenditaotluste kui ka teadusartiklite poolest Euroopa Liidus kõige ebaefektiivsemad riigid.

Joonisel 3.12 on välja toodud Euroopa Liidu riikide teadus- ja arendustegevuse efektiivsus 2010. ja 2019. aastal, kus väljundina on kasutatud patenditaotluste ja teadusartiklite kombineeritud muutujat. Keskmise efektiivsuskoor 2010. aastal oli 0,37 ning 2019. aastal oli 0,44. Seega 10 aasta jooksul riikide teadus- ja arendustegevuse protsessi efektiivsus suurenes ning 2019. aastal toodeti 7 protsendipunkti võrra rohkem maksimaalsest võimalikust toodangust kui 2010. aastal. Kõige efektiivsemate riikidena paistavad välja Küpros ja Malta ning samuti saab efektiivsemateks riikideks pidada ka Hollandit, Iirimaa, Taanit ja Luksemburgi. Nende riikide efektiivsuskoorid olid kogu vaadeldava perioodi jooksul üle 0,5, mis tähendab, et need riigid suutsid toota üle 50% maksimaalsest teadus- ja arendustegevuse toodangust, mida antud ressursside abil on võimalik toota. Küprose ja Malta efektiivsuskoorid 2019. aastal olid vastavalt 0,94 ja 0,78 ning jooniselt 3.12 on näha, et need on võrreldes teiste riikidega palju efektiivsemad.

Üheks selgituseks Küprose ja Malta suure efektiivsuse erinevuses võrreldes teiste riikidega võib olla see, et nende riikide suurus. Küpros ja Malta on Euroopa Liidus ühed kõige väiksemad riigid, kus on alla miljoni elaniku ning ka väikesed muutused kapitalivarus ja töajõus võivad üldist pilti suurelt mõjutada, sest näiteks kui Küprosel või Maltal on üks teadlane vähem, siis 100 000 elaniku kohta näeb välja nagu oleks olnud suur muutus võrreldes näiteks Saksamaaga, kus 80 miljoni elaniku puhul ühe teadlase vähenemine ei avalda nii suurt mõju. Lisaks sellele võib suurt erinevust tekitada mõõtmisvead kapitalivarus, kuna see on hinnangupõhine ning kindlaimad tulemused annaks reaaleluliselt mõõdetud andmed. Patenditaotluste puhul on oluline jälgida, kas taotluse esitaja asub selles samas riigis, kus patent loodi. Kui andmed sisaldavad endas ka neid patenditaotlusi, mille taotleja ei asu samas riigis loojaga, siis võivad tulemused olla moonutatud, arvestades, et osades riikides on kehtestatud maksusoodustused intellektuaalse omandi, mille alla läheb ka patenditaotlused, kasutamisele. Näiteks Küprosel on kehtestatud maksuvabastus kasumile, mis on seotud intellektuaalse omandiga (Cyprus IP...). Antud töös on patenditaotluste andmed võetud patenditaotleja riigi alusel, mistõttu võivadki Küpros ja Malta tunduda superefektiivsed. Küprose puhul aga suurt rolli patenditaotlused ei mängi, sest just artiklite avaldamises on Küpros üks efektiivsemaid riike.

Eesti on kolme erineva hinnangu järgi 10-14 kohal Euroopa Liidu riikide seas teadus- ja arendustegevuse protsessi efektiivsuse poolest. Seega on Eesti heal positsioonil teadus- ja

arendustegevuses, kuid on arenguruumi efektiivsuse poole liikumiseks. Kui vaadata efektiivsuse hinnangut, kus teadus- ja arendustegevuse väljundiks oli patenditaotluste ja teadusartiklite kombineeritud näitaja, siis 2019. aastal oli Eesti efektiivsusskooriks 0,46 ehk Eestis toodeti 46% maksimaalsest võimalikust toodangust. Kuigi riigi tegevuskavas on olulisel kohal teadus- ja arendustegevuse investeeringute suurendamine, on oluline tähelepanu pöörata ka selle protsessi efektiivsusele. Eesti on teadus- ja arendustegevuse protsessi efektiivsuse poolest Euroopa Liidus heal positsioonil, kuid seda oleks võimalik parandada suurendamata teadus- ja arendustegevuse kulutusi. Kõige rohkem saaks õppust võtta Küprosel ja Maltalt, kes on territooriumilt väikesed riigid ning teadus- ja arendustegevusele kulutatakse alla 1% SKP-st, kuid need riigid on võrreldes teiste Euroopa Liidu riikidega palju efektiivsemad teadus- ja arendustegevuse protsessis.

Eesti on 4. kohal 2004. aastal Euroopa Liiduga ühinenud riikide seas, vaadates kombineeritud näitajaga teadus- ja arendustegevuse protsessi efektiivsust. Neli riiki kümnest on üldises pingereas viimase 8 seas, Eesti on aga 10. kohal. Kui arvestada, et 2004. aastal Euroopa Liiduga liitunud 10 riiki olid enne liitumist majanduslikult suhteliselt sarnases kehvases seisus, siis teadus- ja arendustegevuse valdkonnas on Eesti hästi arenenud. Samuti võrreldes Läti ja Leeduga, millel on sarnane rahvaarv ja geograafiline piirkond, on Eesti paremal järjel teadus- ja arendustegevuse protsessi efektiivsusega. Läti on üldises pingereas 15. kohal ning Leedu alles 20. kohal. Pikema ajaperioodi jaoks rohkem informatsiooni, kuid piiratud andmete tõttu ei ole antud magistratöös võimalik põhjalikumalt uurida 2004. aastal ühinenud riikide arengut teadus- ja arendustegevuse protsessi efektiivsuses ning kuidas see on ajas muutunud riikide lõikes.

Lisaks eelnevale kirjeldavale ülevaatele teadus- ja arendustegevuse protsessi efektiivsuse teemal on võimalik antud analüüsi täiustada, uurides, millised protsessivälised sotsiaal-majanduslikud tegurid mõjutavad teadus- ja arendustegevuse protsessi efektiivsust. See võiks anda riikidele täiendavat informatsiooni selle kohta, et mida nad saaksid muuta oma teadus- ja arendustegevuse protsessis, et olla aina enam efektiivsemad, andes seega eelise teiste riikide ees ehk kasutades samu ressursse saaksid riigid toota rohkem väljundit.

Samuti võib üheks muudatuseks antud töös olla teadus- ja arendustegevuse kapitalivarude muutmine. Teadus- ja arendustegevuse kulutused sisaldavad endas ka tööjõukuluseid ning võib argumenteerida, et see ei ole osa kapitalivarust ja see tuleks kapitalivarust välja jätta. Samas võib tööjõukuluseid vaadelda ka kui intellektuaalse kapitali mõõdikuna, mida on üldiselt keeruline

mõõta. Seetõttu autori arvamusel ei ole mõistlik tööjõukulusid teadus- ja arendustegevuse kulutustest välja jätta.

Uuritavate riikide jaoks oleks ka kasulik kui sisendid oleksid jagatud väljundite alusel ehk oleks näha, kui palju kasutatakse konkreetse väljundi jaoks teadus- ja arendustegevuse ressursse. See annaks täpsemad tulemused kindla väljundi efektiivsuse kohta, mille alusel oleks riikidel võimalik täpsemalt aru saada, millise väljundi efektiivsust on vaja tõsta või millisele väljundi tootmisele on mõistlik keskenduda täiendavalt. Lisaks oleks võimalik tulemuste kinnitamiseks või ümberlükkamiseks kasutada muid näitajaid väljundina, mis oleksid otsesemad teadus- ja arendustegevuse tulemuse mõõdikud. Näiteks saaks kasutada teadus- ja arendustegevuse väljundina käive uudsete toodete müügist või turule toodud uudsete toodete arv. See on eriti oluline erasektori puhul, sest ettevõtted ei pruugi alati uudsetele toodetele patenti taodelda. Samas on selliste andmete kätte saamine ressursimahukam kui patenditaotlused.

KOKKUVÕTE

Käesoleva magistritöö eesmärk oli analüüsida teadus- ja arendustegevust kolmes erinevas sektoris – kõrgharidus, avalik sektor ja ärisektor –, et teha kindlaks, millised Euroopa Liidu riigid kasutavad teadus- ja arendustegevuse ressursse efektiivselt. Lisaks uuriti Eesti teadus- ja arendustegevuse ressurside kasutamise efektiivsust võrreldes teiste Euroopa Liidu riikidega. Eesmärkide täitmiseks uuriti varasemat teoreetilist ja empiirilist kirjandust teadus- ja arendustegevuse teemal, keskendudes spetsiifilisemalt riikide teadus- ja arendustegevuse efektiivsusele. Uuriti, miks on teadus- ja arendustegevus riigi majandusele oluline tegur, kuidas mõjutab teadus- ja arendustegevuse ressurside kasutamine innovatsiooni tootlikkust ning millistele tulemustele on jõutud varasemates empiirilistes uuringutes, mis käsitlevad riikide teadus- ja arendustegevust.

Teadus- ja arendustegevus on uute teadmiste loomine, mida on võimalik kasutada toodete tootmise protsesside tõhusamaks muutmiseks või uute toodete turule toomiseks. Uued teadmised ja innovaatilised tooted loovad ettevõtetele ja riikidele konkurentsieelise teiste ettevõtete ja riikide ees. Konkurentsieelis võib aidata riigil saavutada jätkusuutlikku majanduskasvu. Seetõttu võib pidada teadus- ja arendustegevust üheks peamiseks arenenud riikide peamiseks majanduskasvu edendavaks teguriks.

Teadus- ja arendustegevuse protsessi oluline osa on selle tulemus, mis võib väljenduda mitmel erineval viisil. Kõige tähtsam ettevõtete ja seega ka riigi jaoks on uued innovaatilised tooted, mis võivad seada ettevõtetele ja riigile konkurentsieelise. Teadus- ja arendustegevuse mõju ja efektiivsuse hindamisel on aga riigitasandil keeruline kvantifitseerida uusi innovaatilisi tooteid, mistõttu on empiirilistes uuringutes kasutatud teisi mõõdikuid väljendamaks teadus- ja arendustegevuse väljundit. Kõige enam on uuringutes kasutatud patenditaotluste ja avaldatud teadusartiklite arvu. Nii patenditaotluste kui ka teadusartiklite ning teadus- ja arendustegevuse ressurside vahel on leitud tugev lineaarne seos, mistõttu on peetud patenditaotlusi ja teadusartikleid heaks innovatsiooni tulemuse mõõdikuks. Lisaks sellele võib patenditaotlusi ja teadusartikleid samuti teadus- ja arendustegevuse otsesteks väljunditeks, sest need on väljundid, mille nimel tehakse teadus- ja arendustegevust ettevõtetes ja muudes institutsioonides.

Teadus- ja arendustegevuses tuleb märkida ja erinevate sektorite eripära. Erasektori teadus- ja arendustegevus on suurema ärilise orientatsiooniga ning on peamiselt suunatud uute innovaatiliste toodete arendamisele, mistõttu on patentide väljatöötamine peamine teadus- ja arendustegevuse suunitlus. Kõrgharidussektori ja vähemal määral ka avaliku sektori puhul on olulisemal kohal uute teadmiste loomine ja levitamine. Seetõttu on nendes sektorites teadus- ja arendustegevus suunatud teadusartiklite kirjutamisele ja avaldamisele. Avaliku sektori ja erasektori puhul tuleb märkida ka nende tihe koostöö. Teadus- ja arendustegevus on ettevõtete jaoks riskantne ettevõtmine, mistõttu paljud ettevõtted ei soovi sellega tegeleda, sest kulud sellele on tihtipeale suured ning kui vaba raha selle jaoks ei ole, siis teadus- ja arendustegevust ette ei võeta, kuigi võimalik kasu võib olla nii ettevõtte kui riigi jaoks suurem kui kulu. Seetõttu avalik sektor on tihtipeale nõus rahastama eraettevõtete teadus- ja arendustegevuse projekte, maandamaks sellega ettevõtete riske. Seega on avaliku sektori jaoks kaudselt oluline ka patenditaotluste väljatöötamine.

Ülemaailmse kasvava nõudluse taustal on riigi jaoks oluline, et ressursse kasutataks efektiivselt. Ressursside efektiivne kasutamine tähendab, et ressursse vähendatakse piirini, kus toodang hakkab vähenema või toodangut suurendatakse piirini, kus ressursside kasutus hakkab suurenema. Ka teadus- ja arendustegevuse protsessis on oluline efektiivsus ning selle hindamine. Efektiivsuse hindamiseks kasutatakse parameetrilisi ja mitteparameetrilisi meetodeid. Kõige laialt kasutatavateks meetoditeks on andmeraja analüüs (DEA), mis on mitteparameetiline meetod ning stohhastiline piiranalüüs (SFA), mis on parameetiline meetod. Peamiseks erinevuseks andmeraja analüüsi ja stohhastilise piiranalüüsi vahel on seel, et stohhastiline piiranalüüs võimaldab eeldada stohhastilist seost kasutatud sisendite ja toodetud väljundi vahel ehk kõrvalekalded efektiivsuse piirkõverast võivad kajastada endas mitte ainult ebaefektiivsust, vaid ka andmetes esinevat müra. Antud magistritöös on kasutatud teadus- ja arendustegevuse protsessi efektiivsuse hindamiseks stohhastilist piiranalüüsi.

Teadus- ja arendustegevuse protsessi efektiivsuse hindamise aluseks on teadus- ja arendustegevuse tootmisfunktsioon, mis põhineb Cobb-Douglaste tootmisfunktsioonile, kus mudelis sisenditeks on teadus- ja arendustegevuse kapitalivarud ja tööjõud ning väljundiks on teadus- ja arendustegevuse toodang, mis antud magistritöös on patenditaotluste arv ning avaldatud teadusartiklite arv. Teadus- ja arendustegevuse kapitalivarud on keeruline otseselt mõõta ning seetõttu oli seda hinnatud, kasutades teadus- ja arendustegevuse kulutusi ning arvestades 15% amortisatsioonimääraga, mida on kasutatud varasemates empiirilistes uuringutes.

Empiirilises analüüsis hinnati Euroopa Liidu riikide teadus- ja arendustegevuse efektiivsust aastatel 2010-2019. Efektiivsust hinnati kolme mudeli alusel, kus sisenditeks olid teadus- ja arendustegevuse kapitalivaru ja teadlaste arv ning väljunditeks olid vastavalt patenditaotluste arv, avaldatud teadusartiklite arv ning patenditaotlusi ja teadusartikleid kombineeriv muutuja. Empiirilise analüüsi põhilised järeldused on järgmised:

1. Mida kõrgem on erasektori ja avaliku sektori kapitalivaru, seda rohkem esitatakse patenditaotlusi ning mida kõrgem on kõrgharidussektori kapitalivaru, seda vähem esitatakse patenditaotlusi.
2. Mida kõrgem on kõrgharidussektori kapitalivaru, seda rohkem avaldatakse teadusartikleid ning mida rohkem on riigis avaliku sektori teadlasi, seda vähem avaldatakse teadusartikleid.
3. Kombineeritud mudeli alusel mõjutab kõrgharidussektori tööjõu suurus patenditaotluste ja teadusartiklite arvu positiivselt, kuid avaliku sektori tööjõu suurus mõjutab patenditaotluste ja teadusartiklite arvu negatiivselt.
4. Mudeli alusel, kus väljundiks oli patenditaotluste arv, osutusid kõige efektiivsemateks riikideks Luksemburg, Taani, Malta, Holland ja Rootsi. Kõige ebaefektiivsemad riigid olid Rumeenia, Horvaatia, Bulgaaria, Slovakkia ja Ungari. Keskmise efektiivsusskoor Euroopa Liidu riikides oli 0,32. Efektiivsusskoorid varieerusid 0,02 ja 0,91 vahel.
5. Mudeli alusel, kus väljundiks oli avaldatud teadusartiklite arv, osutusid kõige efektiivsemateks riikideks Sloveenia, Iirimaa, Taani, Luksemburg ja Küpros. Kõige ebaefektiivsemad riigid olid Poola, Läti, Prantsusmaa, Leedu ja Bulgaaria. 2010. aastal oli keskmine efektiivsusskoor Euroopa Liidu riikides 0,18 ning 2019. aastal oli keskmine efektiivsusskoor 0,27. 2010. aastal varieerusid efektiivsusskoorid 0,1 ja 0,3 vahel. 2019. aasta varieerusid efektiivsusskoorid 0,17 ja 0,4 vahel.
6. Mudeli alusel, kus väljundiks oli kombineeritud näitaja, osutusid kõige efektiivsemateks riikideks Küpros ja Malta, millede efektiivsusskoorid 2019. aastal olid vastavalt 0,94 ja 0,73. Lisaks olid suhteliselt efektiivsemad riigid võrreldes teistega ka Holland, Iirimaa, Taani ja Luksemburg, millede efektiivsusskoorid olid läbi aastate üle 0,5.
7. Kõikide mudelite alusel olid üldiselt efektiivsemateks riikideks Põhja- ja Lääne-Euroopa riigid ning ebaefektiivsemateks riikideks olid Ida-Euroopa ja Balkani riigid. Lisaks paistsid silma teadus- ja arendustegevuse protsessi efektiivsuse poolest Küpros ja Malta.
8. Eesti on kolme erineva hinnangu järgi 10-14 kohal Euroopa Liidu riikide seas teadus- ja arendustegevuse protsessi efektiivsuse poolest. Kui vaadata efektiivsuse hinnangut, kus

teadus- ja arendustegevuse väljundiks oli patenditaotluste ja teadusartiklite kombineeritud näitaja, siis 2019. aastal oli Eesti efektiivsusskooriks 0,46 ehk Eestis toodeti 46% maksimaalsest võimalikust toodangust. Eesti heal positsioonil teadus- ja arendustegevuses, kuid on arenguruumi efektiivsuse poole liikumiseks. Kuigi riigi tegevuskavas on olulisel kohal teadus- ja arendustegevuse investeringute suurendamine, on oluline tähelepanu pöörata ka selle protsessi efektiivsusele.

Antud analüüsi on võimalik täiustada, uurides, millised protsessivälised sotsiaal-majanduslikud tegurid mõjutavad teadus- ja arendustegevuse protsessi efektiivsust. See annaks täiendavat informatsiooni selle kohta et, mida oleks võimalik muuta teadus- ja arendustegevuse protsessis, et olla aina enam efektiivsemad. Lisaks sellele annaks täiendavat informatsiooni teadus- ja arendustegevuse efektiivsuse kohta detailsemate andmete kasutamine nii sisendite kui ka väljundite kohta. Sisendite osas oleks kasulik ressursid lahku lüüa sisendite järgi. Selle alusel oleks võimalik vaadelda täpsemalt teadus- ja arendustegevuse efektiivsust erinevate väljundite alusel. Väljundite puhul oleks kasulik vaadelda teadus- ja arendustegevuse efektiivsust lisaks patenditaotlustele ja teadusartiklitele ka uudsete toodete vaatest, mis on otsesem väljund erasektori puhul.

SUMMARY

EFFICIENCY OF RESEARCH AND DEVELOPMENT IN THE EUROPEAN UNION

Sofia Kruusalu

Since 2002, one of the goals of the European Union has been to increase investments in research and development (R&D), and the fixed target has been 3% of the gross domestic product (GDP) (Komisjoni teatis... 2020). However, this goal has not yet been reached - in 2021, the share of research and development expenditure in the gross domestic product was 2.27%. In addition to the general increase in research and development expenditures, the goal is also set to increase the level of public sector investments to 1.25% of GDP (*Ibid.*). However, this measure does not necessarily capture how much research and development expenditures actually give back to society and its development, i.e. how efficiently these expenditures are used. Those countries that have reached the 3% target might not be necessarily more efficient than those countries that spend a smaller share of GDP. Because of this, it is necessary to constantly study which countries use research and development resources effectively and are able to use these expenses so that society moves towards a better and more innovative future. Therefore, this master's thesis examined the effectiveness of the research and development process of the countries of the European Union using a parametric stochastic frontier analysis approach.

The purpose of this master's thesis was to analyze research and development across three different sectors—higher education, the public sector, and the business sector—to determine which nations in the European Union employ resources effectively. Furthermore, the effectiveness of Estonia's usage of resources for R&D in relation to other EU members was investigated.

The following research questions were set to fulfil the objectives of this master's thesis:

1. Which countries in the European Union are effective in using research and development resources?
2. How effective is Estonia's research and development process compared to other countries?

3. How has the efficiency changed during the observed period?
4. How does the higher education sector's contribution to research and development affect R&D output?
5. How does the public sector's contribution to research and development affect R&D output?
6. How does the private sector's contribution to research and development affect R&D output?

Research and development is the creation of new knowledge that can be used to make production processes more efficient or to bring new products to the market. New knowledge and innovative products create a competitive advantage for companies and countries over other companies and countries. Competitive advantage can help a country achieve sustainable economic growth. Therefore, research and development can be considered one of the main factors promoting economic growth in developed countries.

An important part of the research and development process is its output, which can be expressed in many different ways. The most important thing for companies and therefore for the country are new innovative products that can give companies and the country a competitive advantage. However, when evaluating the impact and efficiency of research and development activities, it is difficult to quantify new innovative products at the national level, which is why other metrics have been used in empirical studies to express the output of research and development activities. Most researches have used the number of patent applications and published scientific articles. A strong linear relationship has been found between both patent applications and scientific articles and research and development resources, which is why patent applications and research articles have been considered a good measure of innovation performance. Moreover, patent applications and scientific articles can also be considered as direct outputs of research and development, since they are the outputs for which research and development is carried out in companies and other institutions.

In research and development, the special features of different sectors should be noted. Research and development in the private sector has a greater commercial orientation and is mainly aimed at the development of new innovative products, which is why the development of patents is the main direction of research and development. In the case of the higher education sector and, to a lesser extent, the public sector, the creation and dissemination of new knowledge is more important. Therefore, research and development in these sectors is focused on writing and publishing

scientific articles. The close cooperation between the private and public sectors should be noted. Research and development is a risky business for companies, which is why many companies do not want to engage in it, because the costs for it are often too high, and if there is no free money for it, then research and development is not undertaken, although there may be possible benefits for both the company and country. Therefore, the public sector is often willing to finance the research and development projects of private companies, thereby mitigating the company's risks. Therefore, the development of patent applications is also indirectly important for the public sector.

Considering the growing global demand, it is important for the country that resources are used efficiently. Efficient use of resources means that resources are reduced to a point where output begins to decrease, or output is increased to a point where resource use begins to increase. Efficiency and its evaluation are also important in the process of research and development. Parametric and non-parametric methods are used to evaluate efficiency. The most widely used methods are data envelopment analysis (DEA), which is a non-parametric method, and stochastic frontier analysis (SFA), which is a parametric method. The main difference between DEA and SFA is that stochastic frontier analysis allows to assume a stochastic relationship between the inputs used and the output produced, i.e. deviations from the efficiency frontier can reflect not only inefficiency, but also noise in the data. In this master's thesis, stochastic limit analysis has been used to evaluate the efficiency of the research and development process.

The basis for evaluating the effectiveness of the research and development process is the research and development production function, which is based on the Cobb-Douglas production function, where the inputs in the model are the capital stock and labor of research and development, and the output is the output of research and development, which in this master's thesis is the number of patent applications and the number of published scientific articles. R&D capital stock is difficult to measure directly and was therefore estimated using the R&D expenditures and 15% depreciation rate, which has been used in previous empirical studies.

In the empirical analysis, the efficiency of the research and development activities of the countries of the European Union was evaluated in the years 2010-2019. The efficiency was evaluated on the basis of three models, where the inputs were the capital stock of R&D and the number of researchers, and the outputs were the number of patent applications, the number of published scientific articles, and a variable combining patent applications and scientific articles. The main conclusions of the empirical analysis are as follows:

1. The higher the capital stock of the private and public sectors, the more patent applications are filed, and the higher the capital stock of the higher education sector, the fewer patent applications are filed.
2. The higher the capital stock of the higher education sector, the more research articles are published, and the more public sector researchers there are in the country, the less research articles are published.
3. Based on the combined model, the size of the workforce in the higher education sector has a positive effect on the number of patent applications and research articles, but the size of the public sector workforce has a negative effect on the number of patent applications and research articles.
4. Based on the model, where the output was the number of patent applications, Luxembourg, Denmark, Malta, the Netherlands and Sweden turned out to be the most effective countries. The most ineffective countries were Romania, Croatia, Bulgaria, Slovakia and Hungary. The average efficiency score of the countries of the European Union was 0.32. Efficiency scores varied between 0.02 and 0.91.
5. Based on the model, where the output was the number of published scientific articles, Slovenia, Ireland, Denmark, Luxembourg and Cyprus turned out to be the most effective countries. The most ineffective countries were Poland, Latvia, France, Lithuania and Bulgaria. In 2010, the average efficiency score of the countries of the European Union was 0.18, and in 2019, the average efficiency score was 0.27. In 2010, efficiency scores varied between 0.1 and 0.3. In 2019, efficiency scores varied between 0.17 and 0.4.
6. On the basis of the model, where the output was a combined indicator, the most efficient countries turned out to be Cyprus and Malta, whose efficiency scores in 2019 were 0.94 and 0.73, respectively. In addition, the Netherlands, Ireland, Denmark and Luxembourg were also relatively more efficient countries compared to others, whose efficiency scores were over 0.5 over the years.
7. On the basis of all models, in general, the more efficient countries were the countries of Northern and Western Europe, and the less efficient countries were the countries of Eastern Europe and the Balkans. Cyprus and Malta stood out in terms of the efficiency of the R&D process.
8. According to three different assessments, Estonia ranks 10-14 among European Union countries in terms of the efficiency of the research and development process. Looking at the efficiency assessment, where the output of research and development activity was a combined indicator of patent applications and research articles, in 2019 Estonia's efficiency

score was 0.46, i.e. 46% of the maximum possible output was produced in Estonia. Estonia has a good position in research and development, but there is room for improvement to move towards efficiency. Although increasing research and development investments has an important place in the country's action plan, it is also important to pay attention to the efficiency of this process.

It is possible to improve the analysis by investigating which non-process socio-economic factors affect the efficiency of the research and development process. This would provide additional information about what could be changed in the research and development process in order to be more efficient. Furthermore, the use of more detailed data on both inputs and outputs would provide additional information on the effectiveness of research and development. Regarding inputs, it would be useful to separate resources by inputs. Based on this, it would be possible to observe more precisely the effectiveness of research and development activities on the basis of various outputs. In the case of outputs, it would be useful to look at the effectiveness of research and development from the perspective of novel products, which is a more direct output in the case of the private sector.

KASUTATUD ALLIKATE LOETELU

- Abdih, Y., & Joutz, F. (2006). Relating the Knowledge Production Function to Total Factor Productivity: An Endogenous Growth Puzzle. *IMF Staff Papers*, 53(2), 242–271.
- Abramovitz, M. (1956). Resource and Output Trends in the United States Since 1870. *The American Economic Review*, 46(2), 5–23.
- Acs, Z. J., Anselin, L., & Varga, A. (2002). Patents and innovation counts as measures of regional production of new knowledge. *Research Policy*, 31(7), 1069–1085.
- Afriat, S. N. (1972). Efficiency estimation of production functions. *International Economic Review*, 568–598.
- Aghion, P., & Howitt, P. (2006). “Joseph Schumpeter Lecture” Appropriate Growth Policy: A Unifying Framework. *Journal of the European Economic Association*, 4(2/3), 269–314.
- Aigner, D. J., & Chu, S. (1968). On estimating the industry production function. *The American Economic Review*, 58(4), 826–839.
- Aigner, D., Lovell, C. K., & Schmidt, P. (1977). Formulation and estimation of stochastic frontier production function models. *Journal of Econometrics*, 6(1), 21–37.
- Aityan, S. K. (2022). *Business Research Methodology: Research Process and Methods*. Springer Nature.
- Anselin, L., Varga, A., & Acs, Z. J. (2000). Geographic and sectoral characteristics of academic knowledge externalities. *Papers in Regional Science*, 79(4), 435–443.
- Asmare, E., & Begashaw, A. (2018). Review on Parametric and Nonparametric Methods of Efficiency Analysis. *Open Access Bioinformatics*, 2.
- Bai, J. (2013). On Regional Innovation Efficiency: Evidence from Panel Data of China’s Different Provinces. *Regional Studies*, 47(5), 773–788.
- Bayarçelik, E. B., & Taşel, F. (2012). Research and Development: Source of Economic Growth. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 58, 744–753.
- Behr, A. (2015). *Production and efficiency analysis with R*. Springer.
- Belotti, F., Daidone, S., Ilardi, G., & Atella, V. (2013). Stochastic Frontier Analysis using Stata. *The Stata Journal*, 13(4), 719–758.

- Bilbao-Osorio, B., & Rodríguez-Pose, A. (2004). From R&D to Innovation and Economic Growth in the EU. *Growth and Change*, 35(4), 434–455.
- Bogetoft, P., & Otto, L. (2011). *Benchmarking with DEA, SFA, and R*. Springer Science+Business Media.
- Bozeman, B., & Melkers, J. (1993). *Evaluating R&D Impacts: Methods and Practice*. Springer Science & Business Media.
- Cobb, C. W., & Douglas, P. H. (1928). A Theory of Production. *The American Economic Review*, 18(1), 139–165.
- Coe, D. T., Helpman, E., & Hoffmaister, A. W. (2009). International R&D spillovers and institutions. *European Economic Review*, 53(7), 723–741.
- Cyprus IP Incentives. EY. Kättesaadav: https://www.ey.com/en_cy/ip-cyprus, 6. mai 2023.
- Daraio, C., & Simar, L. (2007). *Advanced Robust and Nonparametric Methods in Efficiency Analysis: Methodology and Applications*. Springer Science & Business Media.
- Debreu, G. (1951). The Coefficient of Resource Utilization. *Econometrica*, 19(3), 273–292.
- Dietzenbacher, E., & Los, B. (2002). Externalities of R&D Expenditures. *Economic Systems Research*, 14(4), 407–425.
- Dziallas, M., & Blind, K. (2019). Innovation indicators throughout the innovation process: An extensive literature analysis. *Technovation*, 80–81, 3–29.
- Ekinci, Y. (2015). *A Review on the Comparison of EU Countries Based on Research and Development Efficiencies*.
- Eurostat (2023). PAT_EP_TOT: Patent applications to the EPO by country of applicants and inventors (2004 and onwards; source: EPO). Eurostat (database). - [Online]. Kättesaadav: <https://ec.europa.eu/eurostat/data/database>, 3. aprill 2023.
- Eurostat (2023). TSC00001: Research and development expenditure, by sectors of performance. Eurostat (database). - [Online]. Kättesaadav: <https://ec.europa.eu/eurostat/data/database>, 1. aprill 2023.
- Eurostat (2023). TSC00004: Total researchers by sectors of performance - full time equivalent. Eurostat (database). - [Online]. Kättesaadav: <https://ec.europa.eu/eurostat/data/database>, 1. aprill 2023.
- Fabricant, S. (1954). Economic Progress and Economic Change. In *Economic Progress and Economic Change* (pp. 1–97). NBER.
- Farrell, M. J. (1957). The Measurement of Productive Efficiency. *Journal of the Royal Statistical Society: Series A (General)*, 120(3), 253–281.

- Franco, C., Pieri, F., & Venturini, F. (2016). Product market regulation and innovation efficiency. *Journal of Productivity Analysis*, 45, 299–315.
- Garcia, A., & Mohnen, P. (2010). *Impact of government support on R&D and innovation*
- Greene, W. (2005). Reconsidering heterogeneity in panel data estimators of the stochastic frontier model. *Journal of Econometrics*, 126(2), 269–303.
- Griffith, R., Redding, S., & Van Reenen, J. (2003). R&D and Absorptive Capacity: Theory and Empirical Evidence*. *The Scandinavian Journal of Economics*, 105(1), 99–118.
- Griliches, Z. (1979). Issues in Assessing the Contribution of Research and Development to Productivity Growth. *The Bell Journal of Economics*, 10(1), 92–116.
- Grossman, G. M., & Helpman, E. (1991). Trade, knowledge spillovers, and growth. *European Economic Review*, 35(2), 517–526.
- Guellec, D., & de la Potterie, B. van P. (2001). The internationalisation of technology analysed with patent data. *Research Policy*, 30(8), 1253–1266.
- Hagedoorn, J., & Cloudt, M. (2003). Measuring innovative performance: Is there an advantage in using multiple indicators? *Research Policy*, 32(8), 1365–1379.
- Halaskova, M., Gavurova, B., & Kocisova, K. (2020). Research and Development Efficiency in Public and Private Sectors: An Empirical Analysis of EU Countries by Using DEA Methodology. *Sustainability*, 12(17), Article 17.
- Hu, J.-L., Yang, C.-H., & Chen, C.-P. (2014). R&d Efficiency and the National Innovation System: An International Comparison Using the Distance Function Approach. *Bulletin of Economic Research*, 66(1), 55–71.
- Huang, T., & Wang, M. (2002). Comparison of Economic Efficiency Estimation Methods: Parametric and Non-parametric Techniques. *The Manchester School*, 70(5), 682–709.
- Juříčková, E., Pilík, M., & Kwarteng, M. A. (2019). Efficiency measurement of national innovation systems of the european union countries: DEA model application. *Journal of International Studies*, 12(4), 286-299.
- Kalirajan, K. P. (1990). On measuring economic efficiency. *Journal of Applied Econometrics*, 5(1), 75–85.
- Karadayi, M. A., & Ekinci, Y. (2019). Evaluating R&D performance of EU countries using categorical DEA. *Technology Analysis & Strategic Management*, 31(2), 227–238.
- Kendrick, J. W. (1956). Productivity Trends: Capital and Labor. *The Review of Economics and Statistics*, 38(3), 248–257.
- Kleinknecht, A., Van Montfort, K., & Brouwer, E. (2002). The Non-Trivial Choice between Innovation Indicators. *Economics of Innovation and New Technology*, 11(2), 109–121.

Koalitsioonilepe 2023-2027. Vabariigi Valitsus. Kättesaadav: <https://valitsus.ee/koalitsioonilepe-2023-2027>, 16. aprill 2023.

KOMISJONI TEATIS EUROOPA PARLAMENDILE, NÕUKOGULE, EUROOPA MAJANDUS- JA SOTSIAALKOMITEELE NING REGIOONIDE KOMITEELE, Uus Euroopa teadusruum teadusuuringute ja innovatsiooni jaoks, (2020). <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ET/TXT/?uri=CELEX:52020DC0628>

Koopmans, T. C. (1951). *Analysis of production as an efficient combination of activities*. Wiley.

Kumbhakar, S. C., & Lovell, C. A. K. (2000). *Stochastic Frontier Analysis*. Cambridge University Press.

Lee, H., & Park, Y. (2005). An international comparison of R&D efficiency: DEA approach. *Asian Journal of Technology Innovation*, 13(2), 207–222.

Liu, J., Lu, K., & Cheng, S. (2018). International R&D Spillovers and Innovation Efficiency. *Sustainability*, 10(11), Article 11.

Lovell, C.A.K. (1993), “Production Frontiers and Productive Efficiency,” in H.O. Fried, C.A.K. Lovell, and S.S. Schmidt, eds., *The Measurement of Productive Efficiency*, New York, Oxford University Press

Lucas, R. E. (1988). On the mechanics of economic development. *Journal of Monetary Economics*, 22(1), 3–42.

McAllister, P. R., & Wagner, D. A. (1981). Relationship between R&D expenditures and publication output for U.S. colleges and universities. *Research in Higher Education*, 15(1), 3–30.

Meeusen, W., & van Den Broeck, J. (1977). Efficiency estimation from Cobb-Douglas production functions with composed error. *International Economic Review*, 435–444.

Murillo-Zamorano, L. R. (2004). Economic Efficiency and Frontier Techniques. *Journal of Economic Surveys*, 18(1), 33–77.

Namanji, S., & Ssekyewa, C. (2012). Role and Nature of Research in Development. *Makerere Journal of Higher Education*, 4(1), Article 1.

New momentum for the Finnish RDI system – parliamentary working group sets objectives for the allocation of R&D funding. Prime Minister’s Office. Kättesaadav: <https://vnk.fi/en/-/new-momentum-for-the-finnish-rdi-system-parliamentary-working-group-sets-objectives-for-the-allocation-of-r-d-funding>, 15. aprill 2023.

OECD. (2001). Measuring productivity. *Manual, Measurement of Aggregate and Industry Level Productivity Growth*.

Pegkas, P., Staikouras, C., & Tsamadias, C. (2019). Does research and development expenditure impact innovation? Evidence from the European Union countries. *Journal of Policy Modeling*, 41(5), 1005–1025.

- Pessoa, A. (2007). *Innovation and Economic Growth: What is the actual importance of R&D?*
- Petrin, T. (2015). *A literature review on the impact and effectiveness of government support for R&D and innovation.*
- Pitt, M. M., & Lee, L.-F. (1981). The measurement and sources of technical inefficiency in the Indonesian weaving industry. *Journal of Development Economics*, 9(1), 43–64.
- Popp, D. (2015). *Using Scientific Publications to Evaluate Government R&D Spending: The Case of Energy* (Working Paper No. 21415). National Bureau of Economic Research.
- Richmond, J. (1974). Estimating the efficiency of production. *International Economic Review*, 515–521.
- Romer, P. M. (1986). Increasing Returns and Long-Run Growth. *Journal of Political Economy*, 94(5), 1002–1037.
- Romer, P. M. (1989). *Human Capital And Growth: Theory and Evidence* (Working Paper No. 3173). National Bureau of Economic Research.
- Romer, P. M. (1990). Endogenous Technological Change. *Journal of Political Economy*, 98(5, Part 2), S71–S102.
- Rosenberg, N. (2004). *INNOVATION AND ECONOMIC GROWTH*. Paris: OECD.
- Rousseau, S., & Rousseau, R. (1997). Data envelopment analysis as a tool for constructing scientometric indicators. *Scientometrics*, 40(1), 45–56.
- Sandu, S., & Ciocanel, B. (2014). Impact of R&D and Innovation on High-tech Export. *Procedia Economics and Finance*, 15, 80–90.
- Schmidt, P. (1976). On the statistical estimation of parametric frontier production functions. *The Review of Economics and Statistics*, 58(2), 238–239.
- Seitz, W. D. (1971). Productive efficiency in the steam-electric generating industry. *Journal of Political Economy*, 79(4), 878–886.
- Sharma, S., & Thomas, V. J. (2008). Inter-country R&D efficiency analysis: An application of data envelopment analysis. *Scientometrics*, 76(3), 483–501.
- Shephard, R.W. (1953) *Cost and Production Functions*. Princeton University Press, Princeton.
- Sherman, H. D., & Zhu, J. (2006). *Service Productivity Management: Improving Service Performance using Data Envelopment Analysis* (2006th edition). Springer.
- Škrinjarić, T. (2020). R&D in Europe: Sector Decomposition of Sources of (in)Efficiency. *Sustainability*, 12(4), Article 4.

- Solow, R. M. (1956). A Contribution to the Theory of Economic Growth. *The Quarterly Journal of Economics*, 70(1), 65–94.
- Stokey, N. L. (1995). R&D and Economic Growth. *The Review of Economic Studies*, 62(3), 469–489.
- Sylwester, K. (2001). R&D and economic growth. *Knowledge, Technology & Policy*, 13(4), 71–84.
- Szarowská, I. (2018). Importance of R&D expenditure for economic growth in selected CEE countries. *E+M Ekonomie a Management*, 21(4), 108–124.
- Zhechkov R., Mahieu B. (2017). Specific support to Bulgaria - Background report. Luxembourg: Publications Office of the European Union.
- Thomas, V. J., Jain, S. K., & Sharma, S. (2009). Analyzing R&D efficiency in Asia and the OECD: An application of the Malmquist Productivity Index. *2009 Atlanta Conference on Science and Innovation Policy*, 1–10.
- Timmer, C. P. (1971). Using a probabilistic frontier production function to measure technical efficiency. *Journal of Political Economy*, 79(4), 776–794.
- Wang, E. C. (2007). R&D efficiency and economic performance: A cross-country analysis using the stochastic frontier approach. *Journal of Policy Modeling*, 29(2), 345–360.
- Web of Science*. Kättesaadav: <https://www.webofscience.com/wos/>, 1. aprill 2023.

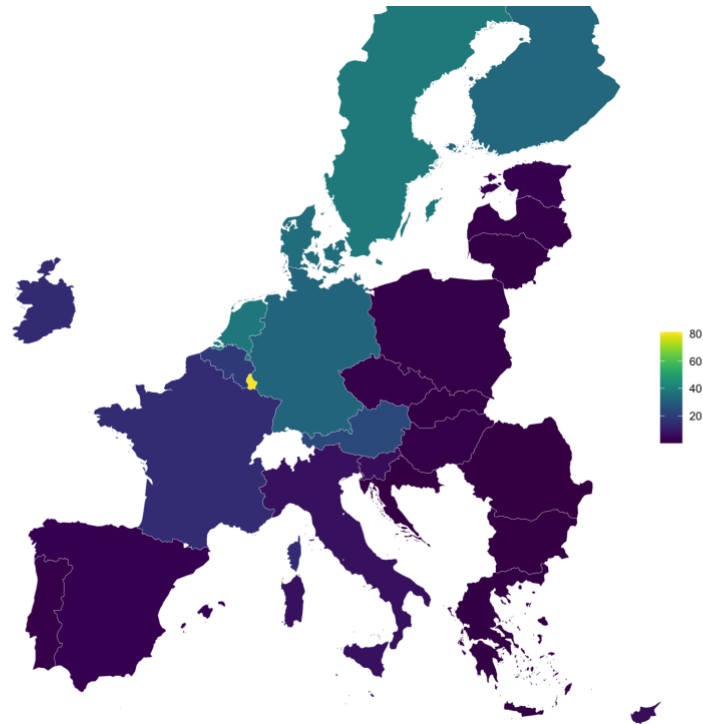
LISAD

Lisa 1. Analüüsis hõlmatud riigid

Riik	Riigi 2 kohaline lühend
Austria	AT
Belgia	BE
Bulgaaria	BG
Horvaatia	HR
Küpros	CY
Tšehhi	CZ
Taani	DK
Eesti	EE
Soome	FI
Prantsusmaa	FR
Saksamaa	DE
Kreeka	EL
Ungari	HU
Iirimaa	IE
Itaalia	IT
Läti	LV
Leedu	LT
Luksemburg	LU
Malta	MT
Holland	NL
Poola	PL
Portugal	PT
Rumeenia	RO
Slovakkia	SK
Sloveenia	SI
Hispaania	ES
Rootsi	SE

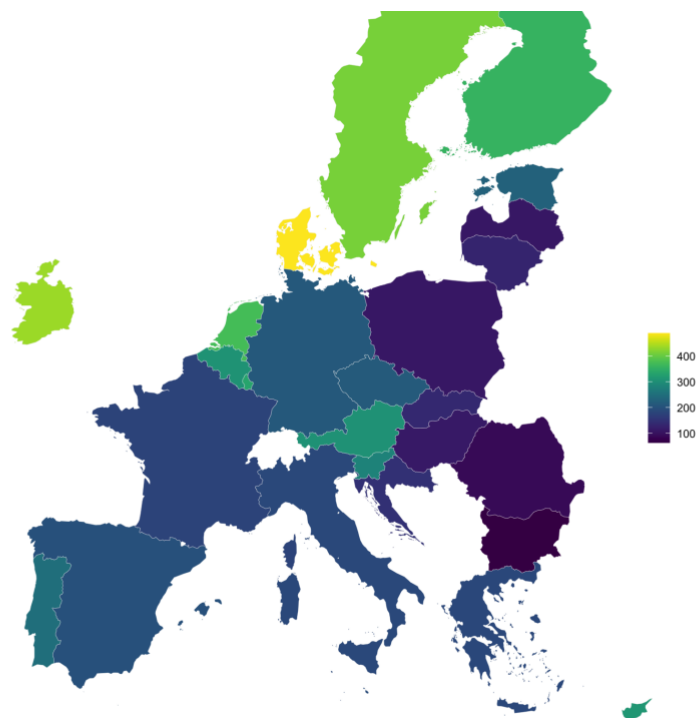
Allikas: autori koostatud

Lisa 2. Keskmise patenditaotluste arv 100 000 elaniku kohta Euroopa Liidu riikide aastatel 2010-2019



Allikas: Eurostat, autori koostatud

Lisa 3. Keskmise avaldatud teadusartiklite arv 100 000 elaniku kohta Euroopa Liidu riikides aastatel 2010-2019



Allikas: Web of Science, autori koostatud

Lisa 4. Teadus- ja arendustegevuse efektiivsus Euroopa Liidu riikides aastatel 2010-2019, kasutades patenditaotlusi väljundina

Riik	Efektiivsusskoor
AT	0,51
BE	0,42
BG	0,02
HR	0,02
CY	0,51
CZ	0,06
DK	0,90
EE	0,17
FI	0,46
FR	0,28
DE	0,49
EL	0,05
HU	0,05
IE	0,40
IT	0,23
LV	0,11
LT	0,07
LU	0,91
MT	0,90
NL	0,87
PL	0,06
PT	0,06
RO	0,02
SK	0,05
SI	0,12
ES	0,10
SE	0,75

Allikas: Eurostat, Web of Science, autori koostatud

Lisa 5. Teadus- ja arendustegevuse efektiivsus Euroopa Liidu riikides aastatel 2010-2019, kasutades teadusartikleid väljundina

Riik/Aasta	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
AT	0,17	0,18	0,19	0,20	0,21	0,22	0,23	0,24	0,25	0,26
BE	0,20	0,21	0,22	0,23	0,24	0,26	0,27	0,28	0,29	0,30
BG	0,13	0,13	0,14	0,15	0,16	0,17	0,18	0,19	0,20	0,21
HR	0,16	0,17	0,18	0,19	0,20	0,21	0,22	0,23	0,24	0,25
CY	0,23	0,24	0,25	0,26	0,27	0,28	0,29	0,30	0,31	0,32
CZ	0,22	0,23	0,24	0,25	0,26	0,27	0,28	0,29	0,30	0,32
DK	0,26	0,27	0,28	0,29	0,30	0,31	0,32	0,34	0,35	0,36
EE	0,18	0,19	0,20	0,21	0,22	0,24	0,25	0,26	0,27	0,28
FI	0,22	0,23	0,24	0,25	0,26	0,27	0,28	0,29	0,31	0,32
FR	0,11	0,12	0,13	0,14	0,15	0,16	0,17	0,17	0,18	0,19
DE	0,14	0,15	0,16	0,17	0,18	0,19	0,20	0,21	0,22	0,23
EL	0,17	0,18	0,19	0,20	0,21	0,22	0,23	0,24	0,25	0,26
HU	0,14	0,14	0,15	0,16	0,17	0,18	0,19	0,20	0,21	0,22
IE	0,27	0,28	0,29	0,30	0,31	0,32	0,34	0,35	0,36	0,37
IT	0,13	0,14	0,15	0,16	0,16	0,17	0,18	0,19	0,20	0,21
LV	0,10	0,11	0,12	0,13	0,14	0,14	0,15	0,16	0,17	0,18
LT	0,12	0,12	0,13	0,14	0,15	0,16	0,17	0,18	0,19	0,20
LU	0,24	0,25	0,26	0,28	0,29	0,30	0,31	0,32	0,33	0,34
MT	0,15	0,15	0,16	0,17	0,18	0,19	0,20	0,21	0,22	0,23
NL	0,22	0,23	0,25	0,26	0,27	0,28	0,29	0,30	0,31	0,32
PL	0,10	0,11	0,11	0,12	0,13	0,14	0,15	0,15	0,16	0,17
PT	0,16	0,17	0,18	0,19	0,20	0,21	0,22	0,23	0,24	0,25
RO	0,13	0,14	0,15	0,16	0,17	0,18	0,18	0,19	0,20	0,21
SK	0,14	0,15	0,15	0,16	0,17	0,18	0,19	0,20	0,21	0,22
SI	0,30	0,31	0,32	0,33	0,34	0,36	0,37	0,38	0,39	0,40
ES	0,14	0,15	0,16	0,17	0,18	0,19	0,20	0,21	0,22	0,23
SE	0,22	0,23	0,24	0,25	0,27	0,28	0,29	0,30	0,31	0,32

Allikas: Eurostat, Web of Science, autori koostatud

Lisa 6. Teadus- ja arendustegevuse efektiivsus Euroopa Liidu riikides aastatel 2010-2019, kasutades kombineeritud näitajat väljundina

Riik/Aasta	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
AT	0,33	0,34	0,35	0,36	0,36	0,37	0,38	0,39	0,40	0,41
BE	0,39	0,39	0,40	0,41	0,42	0,43	0,44	0,45	0,45	0,46
BG	0,30	0,31	0,32	0,33	0,33	0,34	0,35	0,36	0,37	0,38
HR	0,25	0,26	0,27	0,28	0,29	0,29	0,30	0,31	0,32	0,33
CY	0,93	0,93	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94
CZ	0,32	0,33	0,34	0,35	0,35	0,36	0,37	0,38	0,39	0,40
DK	0,51	0,51	0,52	0,53	0,54	0,55	0,55	0,56	0,57	0,58
EE	0,38	0,39	0,40	0,41	0,42	0,42	0,43	0,44	0,45	0,46
FI	0,33	0,34	0,35	0,36	0,37	0,38	0,39	0,39	0,40	0,41
FR	0,21	0,22	0,23	0,23	0,24	0,25	0,26	0,27	0,27	0,28
DE	0,28	0,29	0,30	0,31	0,32	0,32	0,33	0,34	0,35	0,36
EL	0,27	0,28	0,29	0,30	0,31	0,32	0,32	0,33	0,34	0,35
HU	0,26	0,27	0,27	0,28	0,29	0,30	0,31	0,32	0,32	0,33
IE	0,51	0,52	0,53	0,54	0,55	0,55	0,56	0,57	0,58	0,58
IT	0,28	0,29	0,30	0,31	0,31	0,32	0,33	0,34	0,35	0,36
LV	0,30	0,31	0,32	0,33	0,33	0,34	0,35	0,36	0,37	0,38
LT	0,26	0,27	0,27	0,28	0,29	0,30	0,31	0,32	0,32	0,33
LU	0,51	0,51	0,52	0,53	0,54	0,55	0,55	0,56	0,57	0,58
MT	0,73	0,74	0,74	0,75	0,75	0,76	0,76	0,77	0,77	0,78
NL	0,53	0,54	0,55	0,55	0,56	0,57	0,58	0,58	0,59	0,60
PL	0,22	0,22	0,23	0,24	0,25	0,26	0,26	0,27	0,28	0,29
PT	0,22	0,23	0,24	0,25	0,26	0,26	0,27	0,28	0,29	0,30
RO	0,29	0,30	0,31	0,32	0,32	0,33	0,34	0,35	0,36	0,37
SK	0,25	0,26	0,26	0,27	0,28	0,29	0,30	0,30	0,31	0,32
SI	0,46	0,47	0,48	0,49	0,50	0,50	0,51	0,52	0,53	0,54
ES	0,23	0,24	0,24	0,25	0,26	0,27	0,28	0,29	0,29	0,30
SE	0,42	0,43	0,44	0,45	0,46	0,46	0,47	0,48	0,49	0,50

Allikas: Eurostat, Web of Science, autori koostatud

Lisa 7. Lihtlitsents

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks¹

Mina Sofia Kruusalu

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

Teadus- ja arendustegevuse efektiivsus Euroopa Liidus,

mille juhendaja on Heili Hein,

1.1 reprodutseerimiseks lõputöö säilitamise ja elektroonse avaldamise eesmärgil, sh Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogusse lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

1.2 üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tallinna Tehnikaülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogu kaudu kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.

2. Olen teadlik, et käesoleva lihtlitsentsi punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.

3. Kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest ning muudest õigusaktidest tulenevaid õigusi.

08.05.2023 (kuupäev)

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