

Aarne Mattila

# TUTKIMUS- JA KEHITYSRAHOITUKSEN YHTEYS BRUTTOKANSANTUOTTEeseen

Johtamisen ja talouden tiedekunta

Kandidaatintutkielma

Helmikuu 2026

# TIIVISTELMÄ

Aarne Mattila: Tutkimus- ja kehitysrahoituksen yhteys bruttokansantuotteeseen  
Kandidaatintutkielma  
Tampereen yliopisto  
Kauppatieteiden tutkinto-ohjelma, taloustiede  
Tammikuu 2026

---

Tässä työssä tutkitaan tutkimus- ja kehitysrahoituksen yhteyttä bruttokansantuotteeseen kolmelle eri maaryhmälle. Kolme eri maaryhmää ovat G7, BRICS ja Pohjoismaat pois lukien Islanti. Tutkimusta ja kehitystä rahoittamalla on mahdollista kasvattaa teknologian tasoa, joka on endogeenisissä kasvumalleissa ainoa keino saavuttaa pitkäaikaista ja kestävää talouskasvua. Mahdollisesti saavutettavan talouskasvun vuoksi kansantaloudellisesta näkökulmasta on tärkeää tietää, miten hyvin tutkimus- ja kehitysrahoitus on yhteydessä bruttokansantuotteeseen ja miten rahoituksen muuttaminen vaikuttaa kansantalouteen lyhyellä ja pitkällä aikavälillä. Aiemmat tutkimustulokset aiheesta ovat osin ristiriidassa keskenään ja niiden tulokset riippuvat vahvasti käytetystä tilastollisesta menetelmästä ja pohjadataan laadusta.

Työssä koottiin maailmanpankin ja yhdistyneiden kansakuntien tietokannoista makrotaloudellisesta näkökulmasta tärkeää dataa vuosilta 2003-2020 jonka pohjalta koottiin paneeliaineisto. Paneeliaineiston analyysiin käytettiin kiinteiden vaikutusten Driscoll-Kraay korjattuja keskivirheitä. Suoritetun analyysin perusteella tilastollista yhteyttä tutkimus- ja kehitysrahoituksella ja bruttokansantuotteella asukasta kohden on G7- ja BRICS-maaryhmillä, mutta Pohjoismaille vastaavaa yhteyttä ei löytynyt. Tulosten mukaan BRICS-maaryhmässä panostukset tutkimukseen ja kehitykseen näkyvät pienemmällä viipeellä kuin G7-maissa, joka voi selittyä G7 maiden korkeammalla teknologian tasolla. Korkean tason teknologinen kehitys saattaa kehittää täysin uutta teknologiaa, jolloin sitä ei voi pohjata aiempiin teknologioihin yhtä merkittävästi kuin matalan tason teknologioita, jolloin kehitys saattaa vaatia enemmän resursseja ja teknologian kaupallistamisessa kestää pidempään.

Maaryhmät valikoituivat työhön sen perusteella, että maaryhmien sisällä on keskenään yhteisiä tekijöitä kuten G7-maissa korkea teknologinen kehitys, BRICS-maissa kehittyvät taloudet ja Pohjoismailla keskenään samankaltainen yhteiskuntarakente. Työssä käytettiin kontrollimuuttujia tutkimus- ja kehitysrahoituksen yhteyden eristämiseksi. Kontrollimuuttujia analysoidaan vain lyhyesti, sillä tutkielman tarkoituksena ei ole tarkastella niitä tarkemmin. Kontrollimuuttujien regressiokertoimista saatiin kuitenkin mahdollisia jatkotutkimusaiheita, kuten miksi koulutusvuosien lisääminen Pohjoismaissa on tilastollisesti merkitsevässä yhteydessä negatiivisesti bruttokansantuotteeseen asukasta kohden.

Avainsanat: Tutkimus- ja kehitys, bruttokansantuote, talouskasvu, tilastolliset menetelmät

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin Originality Check -ohjelmalla.

# TEKOÄLYN KÄYTTÖ OPINNÄYTTEESSÄ

Opinnäytteessäni on käytetty tekoälysovelluksia:

- Ei
- Kyllä

Ilmoitukseni mukaan olen käyttänyt opinnäytteessäni tutkielmanprosessin aikana seuraavia tekoälysovelluksia: ChatGPT, Microsoft 365 Copilot ja Scopus AI

Tekoälysovellusten nimet ja versiot: ChatGPT-4o, M365 Copilot GPT-5 ja Scopus LLMs

Käyttötarkoitus: Aiheeseen liittyvien artikkeleiden etsintä, lähteiden suomennosta, tietojen etsiminen eri artikkeleista, virheellisten kommentojen korjaus Statassa, tekstin kielioppivirheiden ja sisältövirheiden tarkastus.

Osiot, joissa tekoälyä on käytetty: Kaikki sivut, pois lukien tiivistelmä

Olen tietoinen siitä, että olen täysin vastuussa koko opinnäytteeni sisällöstä, mukaan lukien osat, joissa on hyödynnetty tekoälyä, ja hyväksyn vastuun mahdollisista eettisten ohjeiden rikkomuksista.

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO .....	5
2	TEORIA .....	6
2.1	Teknologian tason vaikutus bruttokansantuotteeseen .....	6
2.2	Pääoman määrän vaikutus bruttokansantuotteeseen .....	7
2.3	T&k-rahoituksen vaikutus teknologian tasoon .....	9
2.4	T&k-rahoituksen taloudellinen kannattavuus.....	9
3	EKONOMETRINEN ANALYYSI.....	11
3.1	Ekonometrinen malli ja mallin muuttujat.....	11
3.2	T&k-rahoituksen yhteys bkt:hen.....	13
3.2.1	T&k-rahoituksen yhteys bkt:hen G7-maissa .....	13
3.2.2	T&k-rahoituksen yhteys bkt:hen BRICS-maissa .....	14
3.2.3	T&k-rahoituksen yhteys bkt:hen Pohjoismaissa .....	16
3.3	Mallin diagnostiset tarkastelut .....	17
3.3.1	Hausmanin testi.....	17
3.3.2	Autokorrelaation testaus.....	19
3.3.3	Multikollineaarisuuden tarkastelu .....	19
3.4	Tulosten vertailu aiempiin tutkimuksiin.....	20
4	POHDINTA JA JATKOTUTKIMUSMAHDOLLISUUDET .....	21
	LÄHDELUETTELO .....	22

## 1 JOHDANTO

Tässä työssä tutkitaan paneelidatan ja aiempien tutkimusten avulla sitä, kuinka tutkimus- ja kehitysrahoitus (t&k-rahoitus) vaikuttavat bruttokansantuotteen (bkt) määrään asukasta kohden maaryhmissä G7, BRICS ja Pohjoismaat pois lukien Islanti. Työssä tehdyt estimoinnit on tehty Statalla. Talouskasvun seurauksista on keskimäärin hyötyä kaikille ja osaltaan siksi talouskasvuun vaikuttavia tekijöitä voidaan pitää tärkeänä.

Yksi talouskasvuun vaikuttava tekijä on t&k-rahoituksen määrä. (Gumus & Celikay, 2007). Teoreettinen ja empiirinen tutkimus ovat osoittaneet, että t&k-rahoitus on merkittävä talouskasvun ajuri (Pessoa, 2010). Bruttokansantuotteen ja t&k-rahoituksen välillä on selvä positiivinen korrelaatio, mutta muuttujien välisen kausaliteetin mittaaminen on selkeästi haastavampaa (Katz, 2006). Toisaalta on myös eriäviä näkemyksiä siitä, että tutkimuksen tuloksilla olisi kykyä tuottaa taloudellista kehitystä (Hatemi-J, Ajmi, El Montasser, Inglesi-Lotz & Gupta, 2016).

Tässä työssä keskitytään siihen, onko t&k-rahoituksella tilastollista yhteyttä bkt:hen eri maaryhmissä, mutta t&k-rahoituksen käytön tehokkuuteen ei oteta kantaa. Tarkoituksena on tuottaa tietoa siitä, onko t&k-rahoituksella tilastollisesti merkitsevää yhteyttä bruttokansantuotteeseen ja verrata saatuja tuloksia aiempiin aiheesta löytyviin tutkimustuloksiin. Tulosten perusteella voidaan tehdä jatkopäätelmiä siitä, voisiko olla taloudellisesti perusteltua käyttää t&k-rahoitusta bruttokansantuotteen kasvattamiseen ja millä viiveellä yhteydet muuttujien välillä havaitaan sekä mitä politiikkasuosituksia voidaan tulosten pohjalta antaa. Työssä tutkitaan muuttujien välistä tilastollista yhteyttä, eikä tulosten perusteella voi tehdä päätelmiä kausaalisuudesta.

## 2 TEORIA

Uusien innovaatioiden tuottamaa talouskasvua voidaan käsitellä moniulotteisena käsitteenä. Moniulotteisuus näkyy esimerkiksi t&k-työn tulosten ulkoisvaikutuksina. Ulkoisvaikutusten vuoksi t&k-rahoituksen aikaansaamaa talouskasvua ei voida mitata suoraan sen perusteella, kuinka paljon esimerkiksi jokin yksittäinen yritys pystyy tuottamaan talouskasvua innovaationsa ansiosta. Eri mailla t&k-rahoituksen vaikutukset bkt:hen vaihtelevat esimerkiksi maakohtaisten ulkoisvaikutusten voimakkuuden vuoksi ja näin ollen maakohtaiset tekijät tulee huomioida, jos t&k-rahoituksesta halutaan saada tehokasta. (Pessoa, 2010).

Useat maat ovat panostaneet tutkimukseen ja kehitykseen ja EU tasolla on pyritty vuoden 2000 Lissabonin kokouksen mukaisesti käyttämään noin kolme prosenttia maiden bkt:sta t&k-rahoitukseen (Katz, 2006). Vielä 1980-luvulla useat taloustieteilijät ajattelivat talouskasvun johtuvan ulkoisista, eksogeenisista tekijöistä. Paul Romerin vuonna 1986 julkaisema artikkelin mukaan pääoman kertyminen talouteen oli mahdollista loputtomasti, jos tuotannolla ei ole laskevia rajatuottoja. Romerin mukaan työntekijät oli mahdollista jakaa työtä suorittavaan ja innovoivaan kategoriaan, jolloin innovoinnin avulla talouden on mahdollista saavuttaa jatkuva kasvu. (Hagemann & Stephen, 2003, 16).

### 2.1 Teknologian tason vaikutus bruttokansantuotteeseen

Teknologinen kehitys ei tapahdu itsestään, vaan kehityksen aikaansaamiseksi tarvitaan tutkimus- ja kehitystyötä. Tutkimuksella ja kehitystyöllä tarkoitetaan työtä, joka tehdään uuden tiedon lisäämiseksi tai uusien asioiden kehittämiseksi vanhan tiedon pohjalta (EU, 2025). Teknologian kehittämällä on mahdollista saavuttaa talouskasvua, kun teknologian kehittäminen luo tai kasvattaa jonkin tuotteen kysyntää markkinoilla tai tekee tehdystä työtunnista aiempaa tuottavampaa. Talouskasvua voidaan mitata bruttokansantuotteen prosentuaalisena kasvuna (EBSCO, 2021).

Tutkimus- ja kehitystyön tehokkuutta voidaan mitata syntyneiden patenttien ja tutkimuskirjallisuuden suhteella (Thomas, Sharma & Jain, 2011). Tässä työssä keskitytään kuitenkin

vain tutkimaan t&k-menojen muutoksen yhteyttä bruttokansantuotteeseen, eikä oteta kantaa siihen, onko tutkimukseen ja kehitykseen käytetyt rahat käytetty tehokkaasti, eli onko t&k-rahoituksen kasvattamisella syntynyt suhteellisesti lisää uusia innovaatioita, patenteja tai tutkimuskirjallisuutta.

Bruttokansantuotetta voidaan mallintaa Cobb-Douglasin tuotantofunktiolla (Oxford Reference, 2025). Kaavasta 1 nähdään, että teknologian tasolla on suora kerrannaisvaikutus bruttokansantuotteeseen. Tuotantofunktion kaava on:

$$Y = A * K^{\alpha} * L^{\beta}. \quad (1)$$

Tuotantofunktion merkkien selitykset:

Y=bruttokansantuote

A=teknologian taso

K=pääoman määrä

L=työvoiman määrä

$\alpha$ =pääoman osuus tuotannosta

$\beta$ =työvoiman osuus tuotannosta = (1-  $\alpha$ )

## 2.2 Pääoman määrän vaikutus bruttokansantuotteeseen

Yhtälö 1 voidaan hieman muokkaamalla esittää myös kaavassa 2 näkyvässä BKT per asukas muodossa. Uudelleen järjestellystä tuotantofunktiosta voidaan nähdä, että A:n kasvaessa bruttokansantuote kansalaista kohden kasvaa.

$$\frac{Y}{L} = A * K^{\alpha}. \quad (2)$$

Myös pääoman lisääminen kasvattaa bruttokansantuotetta asukasta kohden, mutta vähenevän rajatuoton vuoksi sen kasvattamisesta saatu hyöty laskee pääoman kasvaessa. Kaavoilla 3 ja 4 on havainnollistettu esimerkki pääoman laskevasta rajatuotosta kuvitteellisilla  $\alpha=0,4$  ja  $\beta=0,6$  kertoimilla laskettuna.

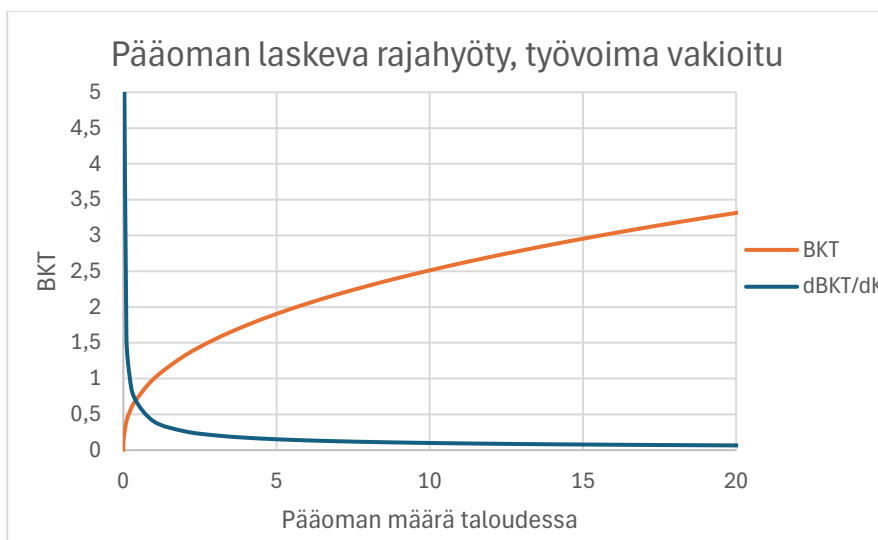
Derivoidaan kaava 1 ja saadaan:

$$\frac{dY}{dK} = A * 0,4 * K^{-0,6} * L^{0,6}. \quad (3)$$

Kaavassa 3 pääoman eksponentti on negatiivinen, joten kantaluvin kasvaessa derivaatan arvo laskee. Näin ollen funktion derivaatta lähestyy nollaa kaavan 4 mukaisesti, kun K lähestyy ääretöntä:

$$\lim_{K \rightarrow \infty} \frac{dY}{dK} = 0. \quad (4)$$

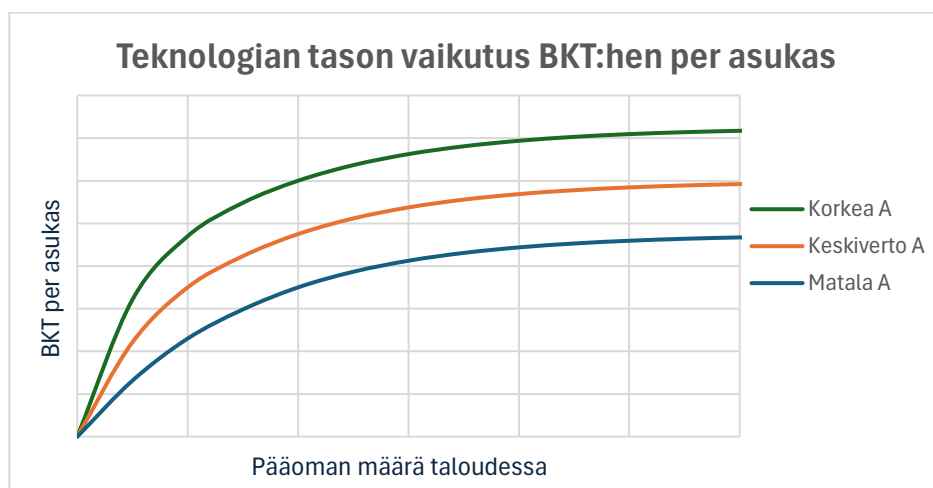
Kuviossa yksi on havainnollistettu, kuinka pääomaa lisäämällä liikutaan pitkin käyrää, jolloin bruttokansantuote per asukas kasvaa. Jos teknologian tasoa pystytään kasvattamaan, käyrä siirtyy koordinaatistossa ylöspäin, jolloin jokaisella pääoman määrällä saadaan entistä enemmän tuotantoa. Pääoman vähenevien rajatuottojen vuoksi bruttokansantuotteen nosto pelkästään pääoman avulla ei ole pitkällä tähtäimellä kansantaloudellisesti kannattavaa, vaan ainoa kestävä kasvun kehitys tapahtuu teknologian tasoa nostamalla. Jos työn tai pääoman rajatuotto pysyy samana, mutta bruttokansantuote kasvaa, silloin puhutaan neutraalista teknologisesta muutoksesta (Wetter, 2011, 63).



Kuvio 1 Pääoman laskeva rajahyöty

### 2.3 T&k-rahoituksen vaikutus teknologian tasoon

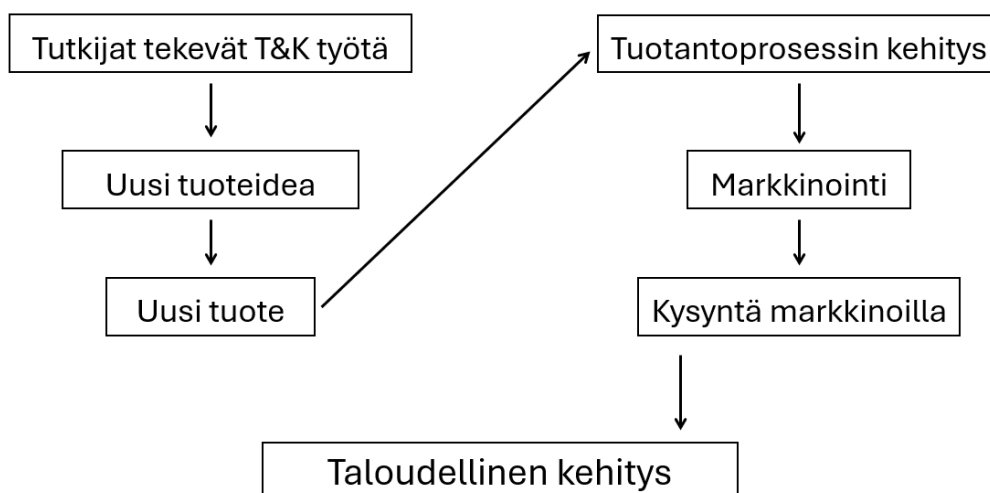
Tutkimus ja kehitysrahoituksella on todettu olevan merkittävää vaikutusta bruttokansantuotteeseen (Wetter, 2011, 63). Tutkimus ja kehitysrahoitus kasvattaa teknologian tasoa, jolloin Cobb-Douglas tuotantofunktioon perustuen teknologian tason noustessa bruttokansantuote asukasta kohden kasvaa. Kuviossa kaksi on havainnollistettu pääoman määrän ja teknologian tason yhteyttä bkt:hen asukasta kohden edellä esitetyn Cobb-Douglas-funktion avulla. Talouksissa, joissa on korkeaa teknologiaa, saadaan suurempi bruttokansantuote samalla pääoman määrällä kuin talouksissa, joissa teknologian taso on matalaa. Kaavasta 1 huomataan, että  $A$  on vakiokertoiminen termi, jolloin se vaikuttaa suoraan bruttokansantuotteen määrään jokaisella pääoman tasolla.



Kuvio 2 Teknologian tason vaikutus bruttokansantuotteeseen per asukas

### 2.4 T&k-rahoituksen taloudellinen kannattavuus

Innovaatioiden rahoituksen kannattavuuden on ajateltu perustuvan lineaariseen arvonluonnin malliin (Pessoa, 2010). Kuviossa kolme on kuvattuna lineaarisen mallin mukainen arvonluonnin ketju, joka alkaa tutkijoiden tekemästä t&k-työstä ja päättyy taloudelliseen kehitykseen eli talouskasvuun. Lineaarisen mallin mukainen ketju on yksinkertaistus. Todellisudessa kuviossa näkyvät nuolet saattaisivat kulkea ristiin, esimerkiksi jos uusi tuoteidea tarvitsee jatkotutkimusta tai idea uudesta tuotteesta saadaan ennen tutkimustyötä, jolloin tuotteiden saattaminen uudeksi tuotteeksi saattaa vaatia t&k-työtä.



Kuvio 3 Lineaarinen arvonluontiketju. Lähde: Pessoa (2010)

T&k-rahoitus on investointi, jolloin investoidaan tutkimukseen ja kehitykseen. Investoinnit ovat taloudellisesti kannattavia, jos investoinnista saatavat hyödyt ylittävät sen kustannukset. Investoinnin kustannus ei ole aina siihen käytetty suora rahamäärä, vaan kustannus voi myös olla vaihtoehtokustannus, jolloin vertaillaan eri investointien kannattavuuksia. Kannattavuuden periaatetta on havainnollistettu kaavassa 5.

$$\frac{\text{Investoinnista saatu hyöty}}{\text{investoinnin kustannus}} \quad (5)$$

Jos kaavasta 5 saadaan suurempi suhdeluku kuin 1, niin investointi on lähtökohtaisesti kannattava. Investoinnin kustannus voidaan laskea myös sidotun pääoman kustannuksena. Tämänlaisessa tapauksessa on kyse vaihtoehtokustannuslaskennasta, eli investoinnin odotetun hyödyn tulee ylittää markkinoilla saatavilla olevan riskittömänä pidetyn tuoton odotettu hyöty, jotta investointia voidaan pitää kannattavana.

### 3 EKONOMETRINEN ANALYYSI

Työssä arvioitiin t&k-menojen yhteyttä bruttokansantuotteeseen asukasta kohden paneeliaineistoa hyödyntäen. Tilastollisen analyysin vaiheet perustuvat Princetonin yliopiston paneelidatan analysointiohjeeseen (Torres-Reyna, 2007). Vaikka tutkimus ei käsittelekään pääasiassa kontrollimuuttujia, niiden merkityksestä bruttokansantuotteeseen tehdään analyysivaiheessa alustavia huomioita.

#### 3.1 Ekonometrinen malli ja mallin muuttujat

Mallissa selitettävä muuttuja on bkt:n luonnollinen logaritmi asukasta kohden ja selittävinä muuttujina on t&k-menojen prosenttiosuus bruttokansantuotteesta, luonnollinen logaritmi vuosittaisen pääoman kertymisestä taloudessa, ulkomaankaupankäyntiprosentti bruttokansantuotteesta, elinajanodote ja keskimääräiset koulutusvuodet. Logaritmuunnosta käytetään, jotta regressiokertoimia voidaan tulkita likimääräisinä prosentuaalisina muutoksina. Logaritointi on myös yleinen käytäntö ekonometrisessä analyysissä heteroskedastisuuden ja selittäjien keskinäisen varianssin vähentämiseksi. (Gyedu, Heng, Ntarmah, He & Frimpong, 2021).

Vakiotermi  $a$  kuvaa selitettävän muuttujan odotusarvoa tilanteessa, jossa kaikki selittävät muuttujat saavat arvon nolla. Regressiokertoimet  $\beta_i$  kuvaavat kunkin selittävän muuttujan vaikutusta selitettävään muuttujaan muiden kertoimien pysyessä vakioina. Virhetermi  $u$  sisältää kaikki mallin selittämättömät tekijät bruttokansantuotteeseen asukasta kohden. Mallissa muuttujien arvot ovat peräisin vuosilta 2003–2020 ja kaikki selittävien muuttujien tiedot perustuvat maailmanpankin tietokantaan (The World Bank Group, 2025). Selitettävän muuttujan tiedot ovat peräisin yhdistyneiden kansakuntien kehitysohjelman tietokannasta (United Nations Development Programme, 2025). Selitettävän muuttujan ja vuosittaisen pääoman kertymän arvojen yksikkönä on USD:n reaaliarvo vuoden 2025 marraskuussa.

Estimoitava malli:

s

$$Y = a + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_4 X_4 + \beta_5 X_5 + u$$

Jossa:

$Y = \ln(\text{bruttokansantuote asukasta kohden})$

$a$  = vakiotermi

$\beta_i$  = muuttujan  $X_i$  regressiokerroin

$X_1$  = t&k-menojen prosentuaalinen osuus bkt:stä

$X_2 = \ln(\text{Gross capital formation}) = \ln(\text{pääomakertymä})$

$X_3$  = trade share gdp, ulkomaankaupan prosenttiosuus bruttokansantuotteesta

$X_4$  = eliniänodote

$X_5$  = koulutusvuodet, keskiarvo

$u$  = virhetermi

Pääoman määrä on kontrollimuuttujana analyysissä, koska sillä on vaikutusta bruttokansantuotteeseen bruttokansantuotetta mittaavissa malleissa kuten Solowin ja Romerin kasvumalleissa sekä Cobb-Douglas tuotantofunktiossa. Ulkomaankaupankäyntiprosentti on sisällytetty malliin, sillä vienti ja tuonti vaikuttavat suoraan bruttokansantuotteeseen. Eliniän odote on mallissa mukana, sillä investoinneilla terveyteen on yhteys talouskasvuun (Gong, Li & Wang, 2012). Koulutusvuosia lisäämällä voidaan lisätä työn tuottavuutta ja siksi se on mukana mallissa (Gong & Pang 2023).

Kiinteiden vaikutusten mallia käytetään tässä työssä sillä, maakohtaisten havaitsemattomien erojen voidaan olettaa korreloivan mallin selittävien muuttujien kanssa ja tämän huomiotonta jättäminen saattaisi aiheuttaa harhaa regressiokertoimiin. Driscoll-Kraay korjattuja keskivirheitä päädytään käyttämään analyysissä, sillä menetelmä korjaa bruttokansantuotteessa tyypillisesti esiintyvää autokorrelaation aiheuttamaa harhaa keskivirheisiin, eikä käytetty menetelmä estä tulosten luotettavaa tulkintaa merkittävästi, mikäli mallissa havaitaan lievää multikollineaarisuutta.

Hypoteesien testaamisella voidaan tehdä johtopäätös selittävän muuttujan vaikutuksesta selitettävään muuttujaan. Tutkimuksessa nollahypoteesi on, että t&k-menoilla ei ole yhteyttä bruttokansantuotteeseen asukasta kohden. Hypoteesien testaamisessa käytetään yleisimpiä taloustieteessä käytettyä riskirajoja, jotka ovat  $p < 0,1$ ,  $p < 0,05$  ja  $p < 0,01$ .

Nollahypoteesi:

$$H_0: \beta_1 = 0.$$

Vaihtoehtoinen hypoteesi:

$$H_1: \beta_1 \neq 0.$$

### 3.2 T&k-rahoituksen yhteys bkt:hen

Tutkimus- ja kehitysrahoituksella näyttää olevan tilastollista selitysvoimaa bkt:hen asukasta kohden G7- ja BRICS-maaryhmissä. Vastaavaa tilastollista selitysvoimaa selitettävään muuttujaan ei havaittu Pohjoismaissa.

#### 3.2.1 T&k-rahoituksen yhteys bkt:hen G7-maissa

Maaryhmälle tehty, taulukossa yksi näkyvä paneeliregressio on tilastollisesti merkitsevä, sillä sen F-testin arvo on hyvin pieni ja näin mallilla voidaan sanoa olevan tilastollista selitysvoimaa. Taulukossa yksi näkyvät tilastollisesti merkitsevät muuttujat G7-maaryhmälle.

Taulukko 1 Paneeliregression tuloste G7-maaryhmälle

```
. xtsc ln_gdppc L1_rnd L2_rnd L3_rnd L4_rnd L5_rnd ln_gcf trade_share_gdp life_exp Mean_Years_of_Schooling, fe
```

```
Regression with Driscoll-Kraay standard errors   Number of obs   =       91
Method: Fixed-effects regression                Number of groups =        7
Group variable (i): country_id                 F( 9, 6)        =    977.91
maximum lag: 2                                Prob > F         =    0.0000
                                                within R-squared =    0.8654
```

ln_gdppc	Drisc/Kraay				
	Coefficient	std. err.	t	P> t	[95% conf. interval]
L1_rnd	-.0976192	.0267692	-3.65	0.011	-.1631211 - .0321174
L2_rnd	-.0334784	.0299976	-1.12	0.307	-.10688 .0399232
L3_rnd	.0322656	.0364363	0.89	0.410	-.0568909 .1214221
L4_rnd	.0861149	.0413399	2.08	0.082	-.0150402 .1872699
L5_rnd	-.0057236	.0352467	-0.16	0.876	-.0919692 .080522
ln_gcf	.5795965	.0288602	20.08	0.000	.5089783 .6502148
trade_share_gdp	-.0043783	.0011406	-3.84	0.009	-.0071692 -.0015873
life_exp	-.0072793	.0074141	-0.98	0.364	-.0254211 .0108624
Mean_Years_of_Schooling	-.0089247	.014523	-0.61	0.561	-.0444613 .0266119
_cons	-4.187492	.7751689	-5.40	0.002	-6.084262 -2.290722

Estimoitu malli G7 maille:

$$Y = -4.1875 - 0.0976 * L1_{rnd} - 0.0335 * L2_{rnd} + 0.0323 * L3_{rnd} + 0.0861 * L4_{rnd} - 0.0057 * L5_{rnd} + 0.5796 * X_2 - 0.0044 * X_3 - 0.0073 * X_4 - 0.0089 * X_5$$

Taulukosta yksi huomataan, että t&k-rahoituksella on tilastollisesti merkitsevä yhteys bruttokansantuotteeseen yhden ja neljän vuoden viipeillä. Tulosten mukaan viiden prosentin riskitasolla voidaan todeta, että t&k-menojen yhden prosentin kasvulla on negatiivinen yhteys seuraavan vuoden bkt:hen asukasta kohden keskimäärin 0,098 prosentin verran. Kymmenen prosentin riskitasolla voidaan todeta, että t&k-menojen nostaminen yhdellä prosentilla on positiivisesti yhteydessä bkt:hen asukasta kohden neljän vuoden viipeellä keskimäärin 0,086 prosentin verran. Pääoman yhden prosentin kasvulla on positiivinen yhteys bkt:hen asukasta kohden keskimäärin 0,580 prosentin verran, aiemmin tehdyn VIF-analyysin perusteella muuttujien välillä on lievää multikollineaarisuutta, joten sen vuoksi ei tästä kannata tehdä sen suurempia päätelmiä. Ulkomaankaupan osuuden yhden prosentin nousulla on negatiivinen yhteys bkt:hen asukasta kohden keskimäärin 0,004 prosentin verran.

Tutkimus- ja kehitysmenojen määrä näyttää olevan melko maltillisessa yhteydessä bkt:n muutokseen, joka voisi kertoa G7 maaryhmässä siitä, että teknologista kehitystä ei ole G7-maissa helposti saavutettavissa, vaan suuri osa kehitettävästä teknologiasta on uutta eikä siten teknologiaa voida kopioida nopeasti muualta. Suoritetun analyysin perusteella voidaan todeta, että t&k-menoilla on tilastollista selitysvoimaa bruttokansantuotteeseen asukasta kohden G7-maissa viipeillä 1 ja 4. Nollahypoteesi hylätään tulosten antaessa tukea vaihtoehdoiselle hypoteesille.

### **3.2.2 T&k-rahoituksen yhteys bkt:hen BRICS-maissa**

Maaryhmälle tehty, taulukossa kaksi näkyvä paneeliregressio on tilastollisesti merkitsevä, sillä sen F-testin arvo on hyvin pieni ja näin mallilla voidaan sanoa olevan tilastollista selitysvoimaa. Mallin selitysvaste on myös korkea, vaikka se ei varsinaisesti ekonometrisessä tutkimuksessa olekaan itseisarvo. Taulukossa kaksi näkyvät tilastollisesti merkitsevät muuttajat BRICS-maaryhmälle.

## Taulukko 2 Paneeliregression tuloste BRICS-maaryhmälle

```
. xtsc l1_gdppc L1_rnd L2_rnd L3_rnd L4_rnd L5_rnd ln_gcf trade_share_gdp life_exp Mean_Years_of_Schooling, fe
```

```
Regression with Driscoll-Kraay standard errors   Number of obs   =       65
Method: Fixed-effects regression                 Number of groups =       5
Group variable (i): country_id                  F( 9, 4)        =   5734.19
maximum lag: 2                                  Prob > F         =   0.0000
                                                within R-squared =   0.9661
```

ln_gdppc	Drisc/Kraay			P> t	[95% conf. interval]	
	Coefficient	std. err.	t			
L1_rnd	-.2616587	.0562489	-4.65	0.010	-.4178306	-.1054869
L2_rnd	.233517	.0931658	2.51	0.066	-.0251528	.4921867
L3_rnd	.0377815	.0788339	0.48	0.657	-.1810966	.2566596
L4_rnd	.0914564	.1279402	0.71	0.514	-.2637624	.4466753
L5_rnd	-.0510298	.0618623	-0.82	0.456	-.2227871	.1207274
ln_gcf	.7338282	.015114	48.55	0.000	.6918651	.7757913
trade_share_gdp	-.0073431	.0011715	-6.27	0.003	-.0105959	-.0040904
life_exp	-.0101932	.0042395	-2.40	0.074	-.021964	.0015777
Mean_Years_of_Schooling	.1117229	.0328182	3.40	0.027	.0206049	.2028409
_cons	-11.00167	.5663156	-19.43	0.000	-12.57401	-9.429322

Estimoitu malli BRICS-maille:

$$\ln_{gdppc} = -11,0017 - 0,2617 * L1_{rnd} + 0,2335 * L2_{rnd} + 0,0378 * L3_{rnd} + 0,0915 * L4_{rnd} - 0,0510 * L5_{rnd} + 0,5796 * X_2 - 0,7338 * X_3 - 0,0102 * X_4 + 0,1117 * X_5$$

Taulukosta kaksi huomataan, että t&k-rahoituksella on tilastollisesti merkitsevä yhteys bruttokansantuotteeseen yhden ja kahden vuoden viipeillä. Tulosten mukaan viiden prosentin riskitasolla voidaan todeta, että t&k-menojen yhden prosentin kasvulla on negatiivinen yhteys seuraavan vuoden bkt:hen asukasta kohden keskimäärin 0,262 prosentin verran. Kymmenen prosentin riskitasolla voidaan todeta, että t&k-menojen nostaminen yhdellä prosentilla on positiivisesti yhteydessä bkt:hen asukasta kohden kahden vuoden viipeellä keskimäärin 0,234 prosentin verran.

Pääoman kertymän yhden prosentin kasvulla on positiivinen yhteys bkt:hen asukasta kohden keskimäärin 0,73 prosentin verran, aiemmin tehdyn VIF-analyysin perusteella muuttujien välillä on lievää multikollineaarisuutta, joten sen vuoksi ei tästä kannata tehdä sen suurempia päätelmiä. Ulkomaankaupan osuuden yhden prosentin nousulla on negatiivinen yhteys bkt:hen asukasta kohden keskimäärin 0,007 prosentin verran. Keskimääräisten koulutusvuosien yhden vuoden kasvulla on yhteys selitettävään muuttujaan keskimäärin 11,2 prosentin verran.

BRICS-maissa on lyhyellä aikavälillä mahdollinen yhteys t&k-rahoituksen ja bkt:n määrässä. Tämä voisi tarkoittaa, että BRICS-maat saavat nopeasti hyödynnettyä t&k-työtänsä kansantalouden kehittämiseksi. Tämä voi johtua t&k-rahoitusprojektien luonteesta, eli kehitettävät tuotteet kehitetään ja saadaan kaupallistettua lyhyellä aikavälillä. Yksi selitys voi olla myös, että BRICS-maissa osataan hyödyntää hyvin muiden maiden teknologiaa oman teknologisen kehityksensä pohjaksi. Tulosten perusteella BRICS-maissa keskimääräisten koulutusvuosien lisäämistä kannattaisi pohtia koska sillä vaikuttaa olevan vahva yhteys talouskasvuun. Suoritettujen analyysien perusteella voidaan sanoa, että t&k-menoilla ja selitettävällä muuttujalla on tilastollinen yhteys BRICS-maissa viipeillä 1 ja 2. Nollahypoteesi hylätään tulosten antaessa tukea vaihtoehdoiselle hypoteesille.

### 3.2.3 T&k-rahoituksen yhteys bkt:hen Pohjoismaissa

Maaryhmälle tehty, taulukossa kolme näkyvä paneeliregressio on tilastollisesti merkitsevä, sillä sen F-testin arvo on hyvin pieni ja näin mallilla voidaan sanoa olevan tilastollista selitysvoimaa. Taulukossa 3 näkyvät tilastollisesti merkitsevät muuttujat Pohjoismaille.

Taulukko 3 Paneeliregression tuloste Pohjoismaille

```
. xtsc l1_gdppc L1_rnd L2_rnd L3_rnd L4_rnd L5_rnd ln_gcf trade_share_gdp life_exp Mean_Years_of_Schooling, fe
```

Regression with Driscoll-Kraay standard errors    Number of obs    =    52  
Method: **Fixed-effects regression**            Number of groups =    4  
Group variable (i): **country\_id**            F( 9, 3)        =    725.55  
maximum lag: 2                                Prob > F        =    0.0001  
   within R-squared =    0.8290

ln_gdppc	Drisc/Kraay				
	Coefficient	std. err.	t	P> t	[95% conf. interval]
L1_rnd	-.0757859	.0396323	-1.91	0.152	-.2019136 .0503417
L2_rnd	-.0248096	.0373778	-0.66	0.554	-.1437623 .0941431
L3_rnd	.030386	.0344165	0.88	0.442	-.0791428 .1399147
L4_rnd	.0810003	.0563286	1.44	0.246	-.0982625 .2602631
L5_rnd	-.0799243	.0468028	-1.71	0.186	-.2288716 .069023
ln_gcf	.7201604	.0607157	11.86	0.001	.526936 .9133848
trade_share_gdp	-.0023097	.0016835	-1.37	0.264	-.0076673 .0030478
life_exp	-.0132878	.0200401	-0.66	0.555	-.0770642 .0504887
Mean_Years_of_Schooling	-.2697008	.0644709	-4.18	0.025	-.4748759 -.0645257
_cons	-2.279496	.8691473	-2.62	0.079	-5.045511 .4865186

Estimoitu malli Pohjoismaille:

$$\ln_{gdppc} = -2,279 - 0,0758 * L1_{rnd} - 0,0248 * L2_{rnd} + 0,0304 * L3_{rnd} + 0,0810 * L4_{rnd} - 0,0799 * L5_{rnd} + 0,7202 * X_2 - 0,0023 * X_3 - 0,0133 * X_4 - 0,2697 * X_5$$

Suoritetun analyysin perusteella nollahypoteesia ei voida hylätä ja se jää voimaan. Kuten G7 ja BRICS-ryhmissäkin, Pohjoismaissa pääoman kertymisellä on tilastollisesti merkitsevä yhteys selitettävään muuttujaan. Saatujen tulosten mukaan pääoman kasvattaminen Pohjoismaissa yhdellä prosentilla on positiivisesti yhteydessä selitettävän muuttujan kasvuun keskimäärin 0,72 prosentin verran. Koulutusvuosien lisääminen yhdellä vuodella on tulosten mukaan negatiivisesti yhteydessä selitettävään muuttujaan keskimäärin 0,228 prosentin verran. On mahdollista, että koulutusvuosien lisääminen Pohjoismaissa on kansantaloudelle haitallista. Pohjoismaissa ei kannattaisi lisätä koulutusvuosia ilman tarkempaa tutkimusta siitä, onko koulutusvuosien lisäämisestä kansantaloudelle mitään hyötyä.

### **3.3 Mallin diagnostiset tarkastelut**

Mallin diagnostisilla tarkasteluilla pyritään tarkastelemaan mallin antamien tulosten luotettavuutta. Diagnostiset tarkastelut tulee tehdä, jotta voidaan ylipäätään pohtia ovatko saadut tulokset luotettavia.

#### **3.3.1 Hausmanin testi**

Hausmanin testillä voidaan määrittää, tuleeko paneelidatan analysoinnissa käyttää kiinteitä vai satunnaisia vaikutuksia. Hausmanin testissä nollahypoteesinä on, että mallin kertoimissa ei ole systemaattista eroa. Systemaattisella erolla tarkoitetaan eroja, jotka johtuvat maakohtaisista eroavaisuuksista, jotka vaikuttavat selittävien muuttujien selitysasteeseen. Maakohtaisten erojen vaikutus analyysiin tulee minimoida, sillä silloin saadaan tarkemmin mallinnettua selittävien muuttujien yhteyttä selitettävään muuttujaan ja eristettyä muut selitettävään muuttujan vaikuttavat tekijät analyysistä. Testataan Hausmanin testillä kaikki kolme maaryhmää mahdollisien ryhmäkohtaisten ominaisuuksien varalta. Testitulokset on esitelty taulukoissa 4, 5 ja 6. (Torres-Reyna, 2007).

## Taulukko 4 Hausmanin testi G7-maaryhmälle

```

Test of H0: Difference in coefficients not systematic

      chi2(6) = (b-B)'[(V_b-V_B)^(-1)](b-B)
              = 68.05
Prob > chi2 = 0.0000
(V_b-V_B is not positive definite)

```

## Taulukko 5 Hausmanin testi BRICS-maaryhmälle

```

Test of H0: Difference in coefficients not systematic

      chi2(4) = (b-B)'[(V_b-V_B)^(-1)](b-B)
              = 53.53
Prob > chi2 = 0.0000
(V_b-V_B is not positive definite)

```

## Taulukko 6 Hausmanin testi Pohjoismaille

```

Test of H0: Difference in coefficients not systematic

      chi2(3) = (b-B)'[(V_b-V_B)^(-1)](b-B)
              = 28.26
Prob > chi2 = 0.0000
(V_b-V_B is not positive definite)

```

Kiinteiden vaikutusten malli (FE) on tilastollisesti parempi kuin satunnaisten vaikutusten malli (RE) kaikissa ryhmissä, sillä kaikkien testien p-arvo on pienempi kuin 0,01 jolloin nol-lahypoteesit voidaan kaikissa tapauksissa hylätä yhden prosentin riskitasolla. Tämä viittaa siihen, että yksilövaikutukset kuten maiden ominaisuudet korreloivat selittäjien kanssa, jolloin satunnaisten vaikutusten mallin oletukset eivät päde. Analyysissä käytettiin FE-mallia RE-mallin sijasta, joten mallin valinta osoittautui oikeaksi. Myös kirjallisuus suosittaa käyttämään FE-mallia, sillä otos ei ole satunnainen otos suuresta populaatiosta, vaan havaintoyksiköt ovat tarkoituksella valikoituja (Wooldridge, 2003, 473).

### 3.3.2 Autokorrelaation testaus

Testataan autokorrelaation mahdollisuutta Pohjoismaiden maaryhmällä. Taulukon seitsemän mukaisesti autokorrelaatiota on havaittavissa viiden prosentin riskitasolla. Autokorrelaation esiintymismahdollisuuden vuoksi työssä päädyttiin käyttämään autokorrelaatiolle robusteja Driscoll-Kraay korjattuja keskivirheitä kaikkien maaryhmien analysoinnissa ja valinta osoittautui oikeaksi (Hoechle, 2007, 285).

Taulukko 7 Autokorrelaation tarkastelu Pohjoismaille

Wooldridge test for autocorrelation in panel data			
H0: no first-order autocorrelation			
F(	1,	3)	= 29.338
Prob > F =			0.0123

### 3.3.3 Multikollinearisuuden tarkastelu

Multikollinearisuutta ei voida tarkastella työssä käytettävällä kiinteiden vaikutusten mallilla, koska kiinteiden vaikutusten malli poistaa havaintoyksiköiden yksilölliset osat ja Variance inflation factor-arvot eli VIF-arvot eivät näin ollen ole saatavilla. Mallin muuttujien multikollinearisuutta voidaan kuitenkin tarkastella ajamalla ensin regressioanalyysi, jonka jälkeen voidaan testata mahdolliset multikollinearisuudet, tulokset löytyvät taulukosta kahdeksan.

Taulukko 8 VIF-arvot estimoiduille maaryhmille

. vif G7			. vif BRICS			. vif pohjoismaat		
Variable	VIF	1/VIF	Variable	VIF	1/VIF	Variable	VIF	1/VIF
ln_gcf	5.78	0.173083	ln_gcf	5.74	0.174230	life_exp	2.67	0.374603
rnd_expend-p	3.61	0.277084	life_exp	4.10	0.243613	ln_gcf	2.46	0.407093
trade_shar-p	3.16	0.315996	rnd_expend-p	3.19	0.313631	rnd_expend-p	1.89	0.529082
Mean_Years-g	2.21	0.451954	trade_shar-p	1.92	0.522189	trade_shar-p	1.75	0.572586
life_exp	1.70	0.586650	Mean_Years-g	1.82	0.550248	Mean_Years-g	1.59	0.627457
Mean VIF	3.29		Mean VIF	3.35		Mean VIF	2.07	

VIF-arvojen ollessa yli neljä mallissa on multikollinearisuuden riski (The Pennsylvania State University, 2018). VIF-arvot ovat hieman yli neljä G7-ryhmässä pääomakertymämuuttujalle sekä BRICS-ryhmässä muuttujille pääomakertymä ja eliniänodote. Mallissa käytettiin Driscoll-Kraay robust standard errors -menetelmää, jonka keskivirheet ovat robusteja heteroskedastisuudelle eikä mahdollinen lievä multikollinearisuus heikennä mallin tulkintaa merkittävästi. (Hoechle, 2007, 285).

### 3.4 Tulosten vertailu aiempiin tutkimuksiin

Yleisen uskomuksen mukaan tutkimustyö johtaa teolliseen kehitykseen. Uskomusta vahventaa useat tutkimukset, joiden mukaan tutkimuspaperien ja bruttokansantuotteen määrässä on positiivinen yhteys. Joidenkin alan asiantuntijoiden mukaan ei kuitenkaan ole selvää, että tutkimus- ja kehitystyöllä olisi vaikutusta taloudelliseen kehitykseen ja tutkimusten tulokset riippuvat käytetyistä menetelmistä ja aineistoista. (Hatemi-J ym., 2016).

Tässä työssä tehdyn analyysin perusteella G7-maaryhmässä havaitaan tilastollisesti merkitsevää yhteyttä t&k-rahoituksen ja selitettävän muuttujan välillä. Regressiokertoimet G7-maaryhmälle ovat kuitenkin noin kolme kertaa pienemmät kuin BRICS-maiden tilastollisesti merkitsevät vastaavat kertoimet. Hatemi-J ym. (2016) tutkimuksen mukaan tilastollisesti merkitsevää yhteyttä t&k-rahoituksen ja taloudellisen kehityksen välillä oli G7 maista Yhdistyneellä kuningaskunnalla, Italialla, Japanilla ja Yhdysvalloilla. Tutkimus- ja kehitysrahoituksen heikkoa yhteyttä taloudelliseen kehitykseen rikkaissa maissa voi selittää rikkaiden maiden kyky rahoittaa tuottamatonta t&k-työtä, jolloin rahoitus ei välttämättä perustu tutkimuksen tarpeeseen. (Vinkler, 2008).

BRICS-maissa on Sesayn, Yulinin ja Wangin mukaan (2018) t&k-rahoituksen ja bkt kasvun välillä on yhteys, jonka mukaan t&k-menojen kasvattaminen yhdellä prosentilla on yhteydessä 0,013 prosentin kasvuun bruttokansantuotteessa mittausaikavälillä on 2000–2013. Sesay ym. (2018) tutkimus on linjassa tämän työn päätelmien kanssa siitä, että t&k-rahoituksella ja bruttokansantuotteella asukasta kohden on tilastollinen yhteys BRICS-maaryhmässä. (Sesay, Yulin & Wang, 2018).

Tilastollista yhteyttä ei havaittu Pohjoismaissa selitettävän muuttujan ja t&k-rahoituksen välillä. Tulos voi selittyä sillä, että t&k-rahoituksen kohdennus kannattaviin kohteisiin ei ole tehokasta tai se ei perustu yhtä paljon tutkimuksen tarpeeseen kuin esimerkiksi Italialla, Japanilla ja Yhdysvalloilla. Pohjoismaista Suomessa on havaittu mukaan tilastollisesti merkitsevää yhteyttä t&k-rahoituksen ja talouskasvun välillä vuosina 1981–2011, kun taas Norjassa, Ruotsissa ja Tanskassa vastaavaa yhteyttä ei havaittu (Ntuli, Inglesi-Lotz, Chang & Pouris, 2015). Tämä voi selittää sitä, miksi Pohjoismaat eivät maaryhmänä ole tilastollisesti merkitseviä tässä työssä tehdyssä tutkimuksessa, vaikka Suomi yksittäinen sitä saattaisikin olla.

#### 4 POHDINTA JA JATKOTUTKIMUSMAHDOLLISUUDET

Bruttokansantuotteen ja t&k-rahoituksen välillä on tilastollista yhteyttä aiempien sekä tässä työssä tehdyn tutkimuksen mukaan. Tutkimus ja kehitysrahoitus ei kuitenkaan automaattisesti vaikuta olevan tilastollisessa yhteydessä korkeampaan bruttokansantuotteeseen. Tästä syystä olisikin taloudellisesta näkökulmasta tärkeää selvittää, onko mahdollisia yhdistäviä tekijöitä sellaisissa maissa, joissa t&k-rahoitus on vahvasti yhteydessä bruttokansantuotteeseen.

Tuloksista voidaan havaita, että BRICS-maissa t&k-työ on lyhyellä aikavälillä tehokasta, mikäli havaitun yhteyden t&k-menoissa bruttokansantuotteeseen oletettaisiin olevan kausaalista. Vastaavasti G7-maissa t&k-rahoituksen yhteys bkt:hen näkyy pari vuotta myöhemmin kuin BRICS-maissa. Pohjoismaista voidaan todeta, että teknologian tason kehittämisellä ei vaikuta olevan merkittävää yhteyttä bkt:hen. Pääoman kertymän lisääminen olisi tulosten valossa Pohjoismaissa hyödyllistä kansantaloudelle, jos havaitulla yhteydellä olisi kausaalivaikutusta. Yksi mahdollisista syistä pääoman kertymisen ja selitettävän muuttujan yhteyteen voisi olla, että Pohjoismaissa on jo tällä hetkellä korkeaa teknologiaa, mutta kaupallistamiseen ei ole riittävästi pääomaa tai osaamista tarjolla.

Perusteltuja jatkotutkimusaiheita työssä saatujen tulosten perusteella olisi tilastollisesti merkitsevien muuttujien yhteyden tutkiminen bruttokansantuotteeseen. Yhtenä aiheena voitaisiin tutkia, miksi Pohjoismaissa koulutusvuosien lisääminen on tilastollisessa yhteydessä bruttokansantuotteen laskuun. Tulosten mukaan voi olla mahdollista, että ihmisiä koulutetaan esimerkiksi Suomessa kansantalouden näkökulmasta keskiarvollisesti liian monta vuotta. Mikäli näin on, niin kannattaisi tutkia kohdistuuko koulutus väärille aloille tai koulutusasteelle, jolloin koulutus ei tuota työmarkkinoille tehokkaasti siellä tarvittavaa osaamista vai onko koulutus itsessään tehotonta.

Tämän tutkimuksen jatkotutkimuksena voitaisiin tutkia keinoja ohjata t&k-rahoitusta hankkeisiin, jossa sijoitettu pääoma tuottaisi mahdollisimman paljon talouskasvua tai millä viipeellä eri maissa t&k-rahoitus on yhteydessä bkt:hen. Jatkotutkimusten tulosten perusteella voitaisiin antaa politiikkasuosituksia siitä, miten t&k-rahoitusta voisi käyttää finanssi-politiikan välineenä.

## LÄHDELUETTELO

### Kirjallisuus

- Gong, J., Pang J. (2023). The returns to an additional year of education for college graduates, *Journal of Public Economics*, 218, <https://doi.org/10.1016/j.jpu-beco.2022.104796>
- Gong, L., Li H., Wang, D. (2012). Health investment, physical capital accumulation, and economic growth. *China economic review*, DOI: 10.1016/j.chieco.2012.07.002
- Gumus, E., Celikay, F. (2007). R&D Expenditure and Economic Growth: New Empirical Evidence. *Margin: The Journal of Applied Economic Research*, 9(3), 205-217. <https://doi-org.libproxy.tuni.fi/10.1177/0973801015579753>
- Gyedu S, Heng T, Ntarmah A, He Y, Frimppong E. (2021). The impact of innovation on economic growth among G7 and BRICS countries: A GMM style panel vector autoregressive approach, *Technological Forecasting and Social Change*, <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2021.121169>.
- Hagemann H., Stephen S. (2003). *Growth Theory and Growth policy*. Routledge: Yhdistynyt kuningaskunta.
- Hatemi-J A., Ajmi A., El Montasser G., Inglesi-Lotz R., Gupta R. (2016). Research output and economic growth in G7 countries: new evidence from asymmetric panel causality testing, *Applied Economics*, <https://doi.org/10.1080/00036846.2015.1117052>
- Hoechle, D. (2007). Robust Standard Errors for Panel Regressions with Cross-Sectional Dependence. *The Stata Journal: Promoting Communications on Statistics and Stata*, 7(3), 281-312. <https://doi.org/10.1177/1536867X0700700301>
- Katz J. (2006). Indicators for complex innovation systems. *Research Policy*, 35(7), 893-909. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2006.03.007>.
- Ntuli, H., Inglesi-Lotz, R., Chang, T. Pouris, A. (2015). Does research output cause economic growth or vice versa? Evidence from 34 OECD countries. *J Assn Inf Sci Tec*, 1709-1716. <https://doi-org.libproxy.tuni.fi/10.1002/asi.23285>
- Pessoa A. (2010). R&D and economic growth: How strong is the link?. *Economics Letters*. 107(2), 152-154. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S016517651000011X?via%3Dihub>
- Sesay, B., Yulin, Z. & Wang, F. (2018). Does the national innovation system spur economic growth in Brazil, Russia, India, China and South Africa economies? Evidence from panel data. *South African Journal of Economic and Management Sciences*, 21(1), <https://doi.org/10.4102/sajems.v21i1.1647>

Thomas, V.J., Sharma, S., Jain, S. (2011). Using patents and publications to assess R&D efficiency in the states of the USA. Elsevier Ltd, <https://doi.org/10.1016/j.wpi.2010.01.005>.

Torres-Reyna O. (2007). Panel Data Analysis Fixed and Random Effects using Stata. Princeton University

Vinkler P. (2008). Correlation between the structure of scientific research, scientometric indicators and GDP in EU and non-EU countries. *Scientometrics*, <https://doi.org/10.1007/s11192-008-0215-z>

Wetter, J. (2011). *The Impacts of Research and Development Expenditures : The Relationship between Total Factor Productivity and U.S. Gross Domestic Product Performance*. Springer New York, NY.

Wooldridge, J. (2003). *Introductory Econometrics*. South-Western: Yhdysvallat.

## Muut lähteet

EBSCO. (2021). Economic Growth. Viitattu 12.11.2025. <https://www.ebsco.com/research-starters/business-and-management/economic-growth>

EU. (n.d.). What is R&D?. Viitattu 17.9.2025. <https://projects.research-and-innovation.ec.europa.eu/en/node/11956>

Oxford Reference. (n.d.). Cobb–Douglas function. Viitattu 15.8.2025. <https://www.oxfordreference.com/display/10.1093/oi/authority.20110803095620528>

The Pennsylvania State University. (2018). Detecting Multicollinearity Using Variance Inflation Factors. Viitattu 18.10.2025. <https://online.stat.psu.edu/stat462/node/180/>

The World Bank Group. (2025). World Development Indicators. Viitattu 3.10.2025. <https://databank.worldbank.org/home>

United Nations Development Programme. (2025). Documentation and downloads. Viitattu 3.10.2025. <https://hdr.undp.org/data-center/documentation-and-downloads>