



EKONOMI-
HÖGSKOLAN

Kan koldioxidskatt generera ekonomisk tillväxt?

**En tillväxtanalys om effekterna av en koldioxidskatt som återinvesteras i
miljövänlig forskning**

Julia Rydin

Kandidatuppsats – NEKH02

Juni – 2022

Lunds universitet – Nationalekonomiska institutionen

Handledare: Pontus Hansson

Abstract

The connection between economic growth and climate change has been a basis for discussion for a long time, and it is well-known that measures need to be taken to stop global warming and the destruction of the environment. How to proceed and at what pace have also been a subject for debate, since many actions in favor of the climate will slow down the production, and thus, hamper the growth of the economy. The complexity lies in letting economies grow at the same time as the environmental destruction stops. This paper aims to investigate how a carbon tax that is reinvested in a subsidy for research and development (R&D) focused on green innovations will change both the economy and the environment. The analysis is based on a model for endogenous technological change, in which technology depends on R&D. The model also includes emissions as something affecting GDP negatively. The study is made through simulations with the purpose of estimating how GDP and the environment will change due to different tax rates, and how well the tax can be transformed into R&D. The results show that a tax reinvested in green R&D can lead to both economic growth and reduced emissions, provided that the tax is high and the transformation to R&D is successful.

Key words: Economic Growth, Endogenous Technological Change, Climate Change, Environmental Taxes and Subsidies, Environment and Economic Growth

Innehållsförteckning

1. <i>Introduktion</i>	4
1.1 Bakgrund.....	4
1.2 Problemformulering och frågeställning.....	5
1.3 Metod.....	6
1.4 Disposition.....	6
2. <i>Teori</i>	6
2.2 Allmän tillväxtteori.....	6
2.3 Tillväxt enligt Solow-modellen.....	7
2.4 Tillväxt i förhållande till miljö.....	9
2.5 Tillväxt enligt Romer-modellen.....	11
3. <i>Tidigare forskning</i>	14
3.1 Skatt på koldioxid.....	14
3.2 Politiska åtgärder och miljövänlig forskning.....	16
3.3 Simuleringar som metod.....	17
4. <i>Modifierad modell</i>	17
4.1 Modifierad modell med hänsyn till både miljö och forskning.....	17
4.2 Teknologisk tillväxt i jämvikt.....	19
4.3 Tillväxttakt i BNP per capita i jämvikt.....	20
4.4 BNP per capita i jämvikt.....	20
4.5 Koldioxidskatt som återinvesteras i miljövänlig forskning.....	20
4.6 Vad händer om koldioxid beskattas?.....	22
4.7 Vad händer när miljövänlig forskning subventioneras?.....	23
4.8 Sammanfattning av den modifierade modellen.....	24
5. <i>Metod</i>	24
5.1 Beräkningar.....	25
5.2 Parametervärden.....	27
6. <i>Data</i>	28
6.1 BNP.....	28
6.2 Realkapital.....	28
6.3 Arbetskraft.....	28
6.4 Investeringar och deprecieringstakt.....	29
6.5 Värden för hämtade data.....	29
7. <i>Simuleringar</i>	29
7.1 Simulering 1.....	30
7.2 Simulering 2.....	30
7.3 Simulering 3.....	30
7.4 Simulering 4.....	30
7.5 Simulering 5.....	31
7.6 Simulering 6.....	31
7.7 Simulering 7.....	31
7.8 Sammanfattning av simuleringar.....	31
8. <i>Resultat och analys</i>	31
8.1 Resultat från simuleringar.....	32
8.2 Resultat av olika omvandlingsfaktorer.....	36
8.3 Resultat av olika skatter och omvandlingsfaktor 1.....	38
9. <i>Diskussion</i>	38
10. <i>Slutsats</i>	41
<i>Referenslista</i>	44
<i>Appendix</i>	47

1. Introduktion

1.1 Bakgrund

Klimatförändringar är ett av världens största problem, och det är ingen nyhet att åtgärder måste vidtas för att ändra länders beteende. I enlighet med Parisavtalet ska EU satsa på att vara koldioxidneutralt år 2050 (European Commission, u.å). Avtalet syftar till att minska den globala uppvärmningen så att höjningen av medeltemperaturen håller sig under två grader Celsius jämfört med innan industrialiseringen (European Commission, u.å). För att det ska vara möjligt måste världens utsläpp nå sin topp snarast (European Commission, u.å). De länder som har skrivit på Parisavtalet har bundit upp sig till att använda olika åtgärder för att själva minska sina utsläpp genom så kallade NDCs, vilket står för “nationally determined contributions” (European Commission, u.å). De NDCs som finns idag är dock inte tillräckliga för att nå de mål som Parisavtalet har satt upp (European Commission, u.å).

Att målen är otillräckliga kan bero på att minskade utsläpp också innebär minskad produktion. Nordhaus (1992) var en av de första att forska på relationen mellan just ekonomisk tillväxt och utsläpp, och hans teorier än mer aktuella idag. Ökad produktion ger ökade utsläpp och de ökade utsläppen leder till ökad temperatur. Det medför att samhällen förstörs och att vissa sektorer av ekonomin får det svårare att producera varor (Nordhaus, 1992). Utsläppen blir alltså en negativ externalitet (extern effekt), och den blir en kostnad för samhället (Nordhaus, 2021, s. 41).

Att tillåta ett land att växa ekonomiskt men samtidigt ta hänsyn till miljön kan vara komplext. Problematiken ligger i att det måste ske en ändring av produktionen, men också i att det finns en tidsfördröjning som innebär att dagens utsläpp påverkar först i framtiden (Nordhaus, 1992). Det krävs alltså åtgärder idag för att påverka klimatet i positiv riktning för framtida generationer (Nordhaus, 1992). Det är samtidigt svårt att utvärdera åtgärderna, eftersom det är först i framtiden som utfallet av dem visar sig.

En rad förslag till lösningar för att minska utsläppen utan att det påverkar den ekonomiska tillväxten har analyserats. Nordhaus (2019) menar att innovationer som leder till minskade utsläpp kommer att ta tid att implementera i samhället. En skatt på utsläpp skulle däremot motivera producenter att vara mer miljövänliga eftersom det ger incitament till producenterna att välja insatsvaror som inte medför lika mycket utsläpp (Nordhaus, 2019). Popp (2006) påstår

att en skatt i kombination med subvention till forskning är optimalt för att öka den miljövänliga forskningen.

Nordhaus (1992) modell för tillväxt och miljö antar att teknologin är exogen. Det betyder att förändring av teknologin sker utanför modellen (Jones & Vollrath, 2013, s. 97). Men för att analysera hur subventioner kan ge fler innovationer och göra ekonomin grönare så krävs det att modellen inkluderar teknologin, vilket innebär att teknologin är endogen. Enligt Paul Romer (1990) görs det genom att låta teknologin förändras till följd av idéer och forskning. Med hjälp av Nordhaus forskning om miljövänlig ekonomisk tillväxt och Romers tankar om endogen teknologisk tillväxt går det att analysera vad som kan hända med ekonomin till följd av en skatt och ökad mängd forskning.

1.2 Problemformulering och frågeställning

Syftet med denna studie är att undersöka hur ekonomin och miljön påverkas vid införandet av en koldioxidskatt som återinvesteras i ekonomin genom att subventionera miljövänlig forskning. Det görs för att se hur produktionen i ett land förändras till följd av olika åtgärder, samt hur snabbt teknologin implementeras i samhället och om den genererar tillväxt.

Uppsatsen utgår från en modell som är framtagen för ändamålet, och den presenteras i avsnitt 4. Modellen bygger på Romers tankesätt om endogen teknologisk tillväxt, men med ett flertal modifieringar vilket gör den unik för den här studien. Modellen inkluderar bland annat de ackumulerade utsläppen vilka förmodas förstöra miljön. Det kommer vidare antas att den totala forskningen består av två olika sektorer – en miljövänlig och en miljöfarlig – och studien kommer visa vad som händer med sektorerna om den miljövänliga sektorn subventioneras.

Det undersökningen bidrar med är en endogen tillväxtmodell som tar hänsyn till koldioxidutsläpp och hur utsläppen kan påverka ett lands ekonomi i form av BNP. Modellen tar i beaktande det komplexa förhållandet mellan utsläpp och tillväxt, och den undersöker hur väl en skatt kan sänka utsläppen och stabilisera dem vid en låg nivå, samt hur väl skatten kan återinvesteras i subventioner till miljövänlig forskning för att på så sätt få ett snabbare skifte från den miljöfarliga sektorn till den miljövänliga sektorn. Således kan det tänkas att även de miljövänliga innovationerna integreras snabbare i samhället.

1.3 Metod

Sju olika scenarion kommer studeras genom sju simuleringar, i vilka den modifierade modellen används för att undersöka utfallen av åtgärderna i framtiden. I de olika simuleringarna utvärderas vad som händer med ett lands ekonomi, uttryckt i BNP per arbetare, vid olika skatter. Simuleringarna kommer att utföras i Excel, där hämtade data från 2019 används för att med hjälp av den modifierade modellen simulera framtida värden. Tidsperioden som undersöks är 2020–2050, och landet som studeras är Tyskland, eftersom det är ett av de länderna som släpper ut mest koldioxid (Richie, 2019). Tyskland används för att få fram utgångsvärden för simuleringarna, men analysen är generell och går att applicera på fler länder.

1.4 Disposition

Uppsatsens upplägg är följande, avsnitt 2 redogör för allmän tillväxtteori och de tillväxtmodeller som den modifierade modellen baseras på. I avsnitt 3 framställs tidigare forskning kring koldioxidskatt och subventioner till miljövänlig forskning. Avsnitt 4 presenterar den modifierade modellen och dess uppbyggnad, samt vad som händer vid införandet av en koldioxidskatt och subvention till forskning enligt modellen. Därefter presenteras metod i tre olika avsnitt. Avsnitt 5 presenterar hur simuleringarna går till och vilka beräkningar och antaganden som görs vid utförandet av simuleringarna. Avsnitt 6 redogör för den data som används, och avsnitt 7 redovisar vilka simuleringar som utförs samt hur åtgärderna som implementeras ser ut. Avsnitt 8 beskriver resultatet och analyserar detta. Avsnitt 9 innehåller en diskussion kring resultatet för vilken slutsatsen presenteras i avsnitt 10.

2. Teori

Avsnittet introducerar tillväxtteori och de modeller som den modifierade modellen grundas på. De teorier som redogörs för är Solows exogena tillväxtmodell, Nordhaus teorier om ekonomisk tillväxt och utsläpp samt Romers endogena tillväxtmodell med forskning. Den modifierade modellen som ligger till grund för simuleringarna presenteras i avsnitt 4.

2.2 Allmän tillväxtteori

Studien undersöker ekonomisk tillväxt, och det kan därför vara lämpligt att inleda avsnittet med en förklaring av vad som menas med begreppet. Hansson (2022) gör detta i ”Kompletterande kompendium: Ekonomisk tillväxt”, och det är den förklaringen om ekonomisk tillväxt som

avsnittet baseras på. Enligt Hansson (2022) innebär ekonomisk tillväxt en ökning av BNP. Han menar att en ökning av BNP betyder att ekonomin växer, vilket i sig innebär en ökning av produktionen i ett land. Vidare påstår han att förändring av BNP ofta studeras under en längre tidsperiod eftersom BNP kan ändras kortsiktigt till följd av olika konjunktursvängningar. Att använda BNP som mått kan ge en bild av hur rikt ett land är, och divideras BNP med befolkningen i ett land kommer det ge ett mått på hur mycket av BNP varje person i landet får ta del av. Det måttet kallas för BNP per capita.

Inom tillväxtanalys är ”jämvikt” ett viktigt begrepp. Hansson (2022) menar att en ekonomi hela tiden kommer röra sig mot sitt jämviktsläge, och det kan därför vara intressant att identifiera vad detta innebär. Att ekonomin är i jämvikt innebär att de variabler som analyseras inom ekonomin växer med oföränderlig takt. Han framhåller att den konstanta takten varar så länge ingenting förändras i ekonomin. Ligger en ekonomi under sitt jämviktsläge kommer den uppvisa snabb tillväxt i de olika variablerna, men ju mer ekonomin närmar sig jämviktsläget desto långsammare blir tillväxten (Jones & Vollrath, 2013, s. 34).

Fortsättningsvis påpekar Hansson (2022) att tillväxt kan ses som procentuella förändringar, där en tidpunkt jämförs med en annan och den procentuella förändringen mellan dessa tidpunkter är tillväxten. Görs detta så beräknas tillväxten i diskret tid. Mått på tillväxt kan även beräknas i kontinuerlig tid, vilket innebär att BNP mäts i varje ögonblick. Han menar att förändringen av variabeln ges genom att derivera variabeln med avseende på tiden, och tillväxttakten fås genom att dividera förändringen med själva variabeln. $\frac{\dot{x}}{x} = g_x$ visar hur uttrycket för tillväxttakten ser ut, där \dot{x} är förändringen av variabeln och x är själva variabeln. Ofta ges tillväxttakten beteckningen g_x . Tillväxttakten kan också ges genom att först ta den naturliga logaritmen av variabeln och sedan derivera den med avseende på tiden (Jones & Vollrath, 2013, s. 264).

2.3 Tillväxt enligt Solow-modellen

Robert Solow introducerade sin teori om ekonomisk tillväxt år 1956, och han fick nobelpriset för dessa idéer år 1987 (Jones & Vollrath, 2013, s. 20). I sin artikel “A Contribution to the Theory of Economic Growth” redogör Solow (1956) för sina tankar om hur kapital, arbetskraft och teknologi påverkar tillväxten i ett land. Charles I. Jones och Dietrich Vollrath (2013, s. 20) menar att den forskning som gjordes av Solow lade grunden för framtida forskning kring ekonomisk tillväxt. Solow-modellen kommer därför ligga till grund för de modeller som

framställs i teori-avsnittet. Solows modell utgår från att teknologi är exogen, vilket innebär att modellen inte tar hänsyn till förändringen av teknologin på samma sätt som förändringen av realkapital och arbetskraft (Jones & Vollrath, 2013, s. 21). Teknologi är således någonting som finns, men som inte kan påverkas inom modellen (Hansson, 2022, s. 22). Det är en enkel modell som antar att det endast finns en typ av vara på marknaden och att det inte sker någon handel mellan länder (Jones & Vollrath, 2013, s. 21).

Jones & Vollrath (2013) presenterar i sin bok "Introduction to Economic Growth" en bra beskrivning av modellens uppbyggnad (se kapitel 2), och det är den beskrivningen som kommer användas för att förklara Solow-modellen i det här avsnittet. Fulla beräkningar för modellens tillväxttakter redovisas i appendix. Modellen visas i uttryck 2.1, och enligt den beror ekonomisk tillväxt på realkapital (K), teknologi (A) och arbetskraft (L). α står för hur stor andel av BNP (Y) som betalas till realkapital, och $(1-\alpha)$ är hur stor andel av BNP som betalas till arbetskraften (Jones & Vollrath, 2013).

$$Y = K^\alpha (AL)^{1-\alpha} \quad (2.1)$$

Det antas i Solow-modellen att mängden arbetare är proportionellt mot antalet människor i ett land (Jones & Vollrath, 2013). Det innebär att arbetskraften kommer ha samma tillväxttakt som befolkningstillväxten (Jones & Vollrath, 2013). Uttrycket för detta visas i 2.2. \dot{L} står för förändringen av befolkningen, L för befolkningens mängd och n för befolkningens tillväxttakt.

$$\frac{\dot{L}}{L} = n \quad (2.2)$$

Realkapital (K) ackumuleras enligt uttryck 2.3. Uttrycket visar att förändringen av realkapitalet ökar med investeringarna (s) multiplicerat med BNP (Y) och minskar med en variabel δ multiplicerat med realkapitalet (Jones & Vollrath, 2013). δ är deprecieringstakten, och visar en minskning av realkapitalet som en följd av förslitningar (Jones & Vollrath, 2013).

$$\dot{K} = sY - \delta K \quad (2.3)$$

Tillväxttakten av realkapitalet ges genom att dividera uttryck 2.3 med K, se uttryck 2.4. För att uttryck 2.4 ska vara konstant i jämvikt krävs det att kvoten $\frac{Y}{K}$ är konstant (Jones & Vollrath, 2013).

$$\frac{\dot{K}}{K} = s \frac{Y}{K} - \delta \quad (2.4)$$

BNP per capita fås genom att dividera uttryck 2.1 med befolkningen (L), och uttrycket visas i 2.5 (Jones & Vollrath, 2013). y står för BNP per capita, och k för realkapital per capita.

$$y = k^\alpha A^{1-\alpha} \quad (2.5)$$

För att få ett uttryck för tillväxttakten i BNP per capita tas den naturliga logaritmen av uttryck 2.5 för att sedan deriveras med avseende på tiden, se 2.6 (Jones & Vollrath, 2013).

$$g_y = \alpha \cdot g_k + (1 - \alpha) \cdot g_A \quad (2.6)$$

Eftersom Y och K växer i samma takt i jämvikt växer även per capita-termerna med samma takt i jämvikt. Det går därför att ersätta g_k med g_y , vilket ger ett uttryck där $g_y = g_A$.

$$g_y = g_k = g \quad (2.7)$$

Teknologin antas växa med den konstanta takten g i jämvikt (Jones & Vollrath, 2013). Det ger uttrycket 2.7, där tillväxttakten i BNP per capita är lika med tillväxttakten av realkapitalet i jämvikt, vilket i sin tur är lika med den konstanta takten g .

2.4 Tillväxt i förhållande till miljö

När det kommer till relationen mellan tillväxt och miljö kan William Nordhaus (1992) ses som en av pionjärerna till forskningen som inriktar sig på tillväxt och klimatförändringar. Han presenterade i sin artikel "The "DICE" model: Background and Structure Of a Dynamic Integrated Climate-Economy Model Of the Economics of Global Warming" sina tankar om klimatförändring i form av en modell som han alltså kallar för DICE (Nordhaus, 1992). Nordhaus (2019) utvecklar tankarna kring denna modell. Modellen syftar till att visa effekterna

av koldioxidutsläpp och hur de påverkar miljön, samt hur politiska åtgärder kan minska klimatförändringen (Nordhaus, 1992).

Enligt Nordhaus (2019) kan DICE-modellen förklara hur ekonomisk tillväxt ökar koldioxidutsläpp. Det leder i sin tur till en högre temperatur, och en inverkan på ekosystem och samhällen (Nordhaus, 2019). Temperaturförändringarna har verkan på produktion som är beroende av dessa ekosystem, eller produktion inom de samhällen som påverkas (Nordhaus, 2019). Nordhaus (1992) trycker även på det faktum att det finns en tidsfördröjning när det kommer till utsläpp och hur de påverkar miljön, samt att det tar tid för de politiska åtgärderna att ge resultat. Nordhaus (2019) anser att det i nuläget inte är möjligt att minska utsläppen till noll, eftersom dagens teknologi inte tillåter det. Även om det görs teknologiförbättringar som leder till produktion med mindre utsläpp kommer det ta tid att implementera dem i ekonomin (Nordhaus, 2019).

Nordhaus modell är tämligen komplex, Hansson (2022) presenterar en mer lättsmält modell som bygger på den av Nordhaus. För att förklara hur ackumulerad miljöförstöring kan påverka produktionen är det därför den modellen som används i detta avsnitt. Beräkningar för tillväxttakterna finns i appendix. Modellen demonstreras i uttryck 2.8, och den visar att det som påverkar produktionen (Y) är realkapital (K), teknologi (A), arbetskraft (L) samt den ackumulerade miljöförstöringen (P) (Hansson, 2022). α är ett tal mellan noll och ett, och γ är större än noll (Hansson, 2022). γ kan ses som ett mått på hur mycket miljöförstöringen påverkar produktionen (Hansson, 2022). Arbetskraft och realkapital förändras som i Solow-modellen, se 2.2 och 2.3 (Hansson, 2022). Teknologin antas vara exogen (Hansson, 2022).

$$Y = K^\alpha (AL)^{1-\alpha} P^{-\gamma} \quad (2.8)$$

Uttrycket 2.9 redogör för förändringen av P . Detta uttryck visar på en positiv del som beror på θ , B och Y samt en negativ del som består av deprecieringstakten för utsläppen (δ_P) och de ackumulerade miljöförstöringen P (Hansson, 2022). θ är i denna funktion en variabel som visar hur stor inverkan produktionen har på miljön (Hansson, 2022). B visar förhållandet mellan miljö och produktion, och ett högre B ger ett mindre värde på $\frac{\theta}{B}$, vilket medför att förändringen av den ackumulerade miljöförstöringen kommer minska om B ökar (Hansson, 2022). Till följd

av att utsläppen försvinner i en långsam takt kommer δ_P vara ett tämligen lågt tal (Hansson, 2022).

$$\dot{P} = \frac{\theta}{B}Y - \delta_P P \quad (2.9)$$

Enligt modellen påverkas BNP positivt av den teknologiska tillväxten och mer miljövänlig produktion (Hansson, 2022). Tillväxttakten i miljöförstöringen kommer påverka den ekonomiska tillväxten i jämvikt negativt (Hansson, 2022). Även befolkningstillväxten kommer påverka den ekonomiska tillväxten i jämvikt negativt (Hansson, 2022). Detta visas i uttryck 2.10.

$$g_y = \frac{1-\alpha}{1-\alpha+\gamma} g_A + \frac{\gamma}{1-\alpha+\gamma} (g_B - n) \quad (2.10)$$

För att beskriva hur klimatförändringarna påverkar ekonomin kan Nordhaus (1992, s. 40) ursprungsmodell användas. Han gör ett alternativt antagande om förändringen av miljöförstöringen. I stället för att uttrycka den som i 2.9 så uttrycker han den som i 2.11.

$$d_{ij}(t) = \eta_i T(t)^2 Q_{ij}(t) \quad (2.11)$$

Han redogör hur olika sektorer inom ekonomin påverkas av klimatförändringarna. Variabeln $d_{ij}(t)$ står för hur mycket produktionen minskar inom en viss sektor i ekonomin, η_i är en koefficient för hur mycket skada som görs inom en viss sektor, $T(t)$ visar hur mycket medeltemperaturen har ökat jämfört med före industrialiseringen (Nordhaus, 1992). Nordhaus (1992) menar här att om medeltemperaturen ökar kommer produktionen minska kvadratisk. I denna formel står i för sektor och j för land (Nordhaus, 1992).

2.5 Tillväxt enligt Romer-modellen

Romer (1990) analyserar i sin rapport "Endogenous Technological Change" hur ekonomisk tillväxt uppkommer till följd av idéer. Enligt Romer (1990) grundar sig ekonomisk tillväxt i att idéer är icke-rivaliserande och icke-exkluderbara. Det gör att idéer i sig inte är bundna till en specifik individ, utan de kan användas av flera individer (Romer, 1990). När ett land har högt humankapital kan landet generera fler idéer, och ju mer humankapital som tillförs ett lands

forskningssektor desto mer avancerad teknologi kommer landet utveckla (Romer, 1990). Att teknologi förändras på grund av forskning gör att Romers modell visar på en endogen teknologisk tillväxt, vilket betyder att teknologin kan ändras inom modellen (Jones & Vollrath, 2013, s. 98-99; Hansson, 2022, s. 22).

Detta avsnitt bygger på en modell presenterad i "Introduction to Economic Growth" av Jones och Vollrath (2013) (se kapitel 5), som i sin tur är baserad på Romers antaganden om endogen teknologisk tillväxt. Beräkningar för tillväxttakterna finns i appendix. Modellen visas i uttryck 2.12.

$$Y = K^\alpha (AL_Y)^{1-\alpha} \quad (2.12)$$

Modellen beskriver att det är realkapitalet (K), teknologin (A) och antalet individer som arbetar med att producera varor och tjänster (L_Y) som driver produktionen (Y) (Jones & Vollrath, 2013).

Antagandet om att teknologin är endogen kan visas i uttryck 2.13, vilket redogör för förändringen av teknologin (Jones & Vollrath, 2013). θ står för hur snabbt nya idéer tillkommer forskningssektorn (Jones & Vollrath, 2013). θ multipliceras med mängden forskare (L_A) och teknologin (A). Antalet forskare höjs upp till λ för att visa hur mycket varje enskild forskare bidrar till förändringen av teknologin (Jones & Vollrath, 2013). Är λ mindre än ett innebär det att varje ny forskare inte bidrar med lika mycket (Jones & Vollrath, 2013). Teknologin höjs upp till ϕ , och om ϕ större än noll innebär det att forskare kan använda sig av existerande idéer för att skapa ny teknologi (Jones & Vollrath, 2013). Både λ och ϕ bör ligga mellan 0 och 1 (Jones & Vollrath, 2013; Hansson, 2022, s. 42).

$$\dot{A} = \theta L_A^\lambda A^\phi \quad (2.13)$$

Genom att dividera uttryck 2.13 med A kan den allmänna tillväxttakten för teknologin ges, se uttryck 2.14 (Jones & Vollrath, 2013).

$$\frac{\dot{A}}{A} = \theta \frac{L_A^\lambda}{A^{1-\phi}} \quad (2.14)$$

Arbetskraften och realkapitalet antas förändras på samma sätt som i Solow-modellen, se 2.2 och 2.3 (Jones & Vollrath, 2013). Vidare kommer arbetskraften att delas upp i två sektorer – en sektor som producerar varor och tjänster (L_Y) och en sektor som forskar (L_A) (Jones & Vollrath, 2013). Detta visas i uttryck 2.15.

$$L_A + L_Y = L \quad (2.15)$$

För att få ett uttryck för tillväxttakten i BNP per capita divideras uttrycket i 2.12 med arbetskraften (L), därefter logaritmeras uttrycket och deriveras med avseende på tiden (Jones & Vollrath, 2013). Det ger ett allmänt uttryck för tillväxttakterna visat i 2.16. Precis som i Solow-modellen kommer Y och K växa i samma takt i jämvikt (Jones & Vollrath, 2013). L_Y och L kommer också växa i samma takt i jämvikt. Om L_Y hade växt snabbare än L hade det slutligen funnits fler personer som arbetar med att producera varor och tjänster än totalt antal människor. Om L_Y växer i långsammare takt än L kommer det leda till att det inte finns någon som arbetar med att producera varor och tjänster. Det betyder att tillväxttakten för kvoten L_Y/L ($g_{L_Y/L}$) kommer vara noll i jämvikt.

$$g_y = \alpha \cdot g_k + (1 - \alpha) \cdot g_A + (1 - \alpha) \cdot g_{L_Y/L} \quad (2.16)$$

Om dessa antaganden sätts in i uttrycket 2.15 kommer det att ge uttrycket 2.17, vilket visar att tillväxttakten i BNP per capita beror på den teknologiska tillväxttakten (g_A).

$$g_y = g_A \quad (2.17)$$

Eftersom alla tillväxttakter är konstanta i jämvikt innebär det att förändringen av den teknologiska tillväxttakten kommer att vara noll i jämvikt (Jones & Vollrath, 2013). Genom att använda uttrycket för förändringen av teknologin går det att hitta ett uttryck för g_A i jämvikt.

$$g_A = \frac{\lambda n}{1 - \phi} \quad (2.18)$$

Det görs genom att ta logaritmen av uttryck 2.14 och sedan derivera samma uttryck med avseende på tiden (Jones & Vollrath, 2013). Det ger uttryck 2.18. Uttrycket visar att tillväxttakten i jämvikt påverkas av befolkningstillväxten (n), hur mycket varje enskild forskare

bidrar till teknologin (λ) och hur väl forskare kan använda sig av existerande idéer för att skapa ny teknologi (ϕ).

3. Tidigare forskning

I denna del kommer tidigare forskning att presenteras. Den tidigare forskningen kommer vara relaterad till ekonomisk tillväxt och hur BNP kan tänkas påverkas av en skatt på koldioxid och subvention till miljövänlig forskning. Det kommer även redogöras för tidigare studier inom tillväxt i vilka simuleringar har använts som metod för undersökningar av framtida BNP.

3.1 Skatt på koldioxid

En generell åtgärd som kan användas för att minska klimatförändringarna är att öka marknadspriset på koldioxid, och det kan göras antingen genom en skatt eller genom så kallad “cap-and-trade” (Nordhaus, 2019). Nordhaus (2019) hävdar att det kommer visa både konsumenter och producenter vilka varor som släpper ut mycket koldioxid, och ge incitament till producenter att använda sig av produktionsätt som inte genererar lika mycket utsläpp. Likväl kommer det motivera företag till innovationer som släpper ut mindre och driva investerare mot mer miljövänliga investeringar (Nordhaus, 2019). Nordhaus (2021, s. 191) menar att den optimala skatten för utsläpp är densamma som kostnaden av skadan som utsläppen orsakar samhället. Detta skulle innebära en optimal fördelning av alla resurser vilket kommer minska utsläppen (Nordhaus, 2021, s. 192). Det kommer även öka statens intäkter till dess att skatten är så hög att den tvingar utsläppsgenerande produktion att stänga ner (Nordhaus, 2021, s. 196).

Det har analyserats hur effektiv en koldioxidskatt är. En studie av Höhle och Runst (2022) analyserar en koldioxidskatt som introducerades i Tyskland mellan 1999–2003. Deras resultat indikerar att skatten var effektiv för att reducera utsläpp (Höhle & Runst, 2022). Samma resultat går att finna i en undersökning av Runst och Thonipara (2020) i vilken de visar att en koldioxidskatt i Sverige som syftar till att minska utsläppen hos hushållen är effektiv.

Inom ämnet koldioxidskatt i relation till ett lands välfärd har det gjorts en rad undersökningar. Många inriktar sig på specifika länder, som den av Dong, Wei, Ma och Li (2018) som undersöker Kina. I undersökningen antas det att teknologin är exogen, och den teknologiska

förbättringen är ökad energieffektivitet (Dong. et. al., 2018). Utgångspunkten är att om producenten betalar koldioxidskatten kommer det ge den incitament att öka effektiviteten i energianvändningen eftersom det blir dyrare att producera till följd av skatten (Dong et. al., 2018). Studiens slutsats är att BNP initialt kommer minska i Kina när en skatt läggs på en skatt på koldioxid, men om skatten kombineras med en teknologisk utveckling kommer de positiva effekterna av på BNP vara större än de negativa effekterna från skatten (Dong et. al., 2018). Dong et. al. (2018) menar att det kan vara värt att införa en hög koldioxidskatt i början för att på så sätt minska utsläppen, men att denna bör kombineras med en ökad teknologisk utveckling för att minska den ekonomiska förlusten till följd av skatten.

Det finns ett flertal undersökningar som studerar hur en koldioxidskatt tillsammans med olika stimuleringsåtgärder kan påverka BNP. Xu och Wei (2022) undersöker hur Kina kan påverkas av en skatt på koldioxid i kombination med sänkt mervärdesskatt, och kommer fram till att kombinationen kan minska utsläppen. De menar att skatten kommer göra det svårt att producera med samma metoder som tidigare, och att företag därför bör använda sig av mer miljövänlig energi och ändra den industriella strukturen (Xu & Wei, 2022). En liknande studie av Conefrey, Fitz Gerald, Malaguzzi Valeri och Tol (2013) visar att en skatt på koldioxid som återinvesteras i reducerad inkomstskatt kan vara effektiv. De kommer även fram till att en skatt är det mest kostnadseffektiva sättet att minska utsläppen (Conefrey et. al., 2013). Ghosh, Pohit och Ohja (2020) har studerat Indien och olika sätt som en koldioxidskatt kan återinvesteras i samhället för att ge eventuell ekonomisk tillväxt. De menar att en skatt kan ge upphov till ekonomisk tillväxt men att den inte behöver göra det (Ghosh, Pohit och Ohja, 2020).

Gu och Wang (2017) undersöker genom simuleringar hur olika koldioxidskatter påverkar både ekonomin och miljön. De framställer att koldioxidskatter är ett effektivt sätt att minska utsläppen, vilket i sin tur gynnar miljön (Gu & Wang, 2017). Företag som genererar koldioxid i sin produktion kommer behöva betala för det och följden blir minskad produktion (Gu & Wang, 2017). Utsläppen kan reduceras ytterligare om skatten kombineras med ökade investeringar i forskning (Gu & Wang, 2017). Gu & Wang (2017) menar likt Dong et. al. (2018) att kombinationen leder till minskad total ekonomisk förlust.

3.2 Politiska åtgärder och miljövänlig forskning

Det finns olika tolkningar i frågan vad en subvention till miljövänlig forskning kan göra för ekonomin. Tvetydigheten grundar sig i varför subventionen ges, om det är till följd av den positiva externaliteten som uppkommer på grund av minskade utsläpp, eller om det är för att öka de miljövänliga innovationerna. Nordhaus (2021, s. 207) menar att det finns en positiv externalitet av forskning, som en påföljd av att innovationer är publika varor (Nordhaus, 2021, s. 207). Nordhaus (2021, s. 207) hävdar därmed att det är svårt att hindra någon från att använda den nya teknologi som skapas till följd av forskning. Idag är priset på koldioxid för lågt för att betala för den skada som den orsakar (Nordhaus, 2021, s. 206-207). Det gör det mer lönsamt att investera i forskning som inte är miljövänlig (Nordhaus, 2021, s. 212). Genom att beskatta koldioxid kommer det kosta lika mycket att investera i forskning som är miljövänlig, och företag motiveras därmed att investera i miljövänliga innovationer (Nordhaus, 2021 s. 213-214 & 223).

Popp (2006) menar likt Nordhaus att den miljövänliga forskningen bär på en positiv externalitet, och han hävdar att företag måste drivas mot investeringar i den miljövänliga sektorn genom politiska åtgärder. I enlighet med Nordhaus påstår Popp (2006) att en koldioxidskatt kan leda till ökade incitament för företag att bedriva miljövänlig forskning, eftersom skatten gör det dyrare att investera i miljöfarlig verksamhet. Skatten bör samtidigt kombineras med en subvention till miljövänlig forskning, eftersom det tar bort den positiva externaliteten som uppstår till följd av kunskapsspridning (Popp, 2006). När det ges en subvention till miljövänlig forskning och denna ökar kan ökningen ske på bekostnad av annan forskning, vilket innebär att forskare kommer flytta från en sektor till en annan. Det beror på att forskning kräver humankapital som tar tid att skapa (Popp, 2006).

Det finns även undersökningar som visar hur subventioner till miljövänlig forskning kan öka den sociala välfärden, och hur miljön kan påverkas av dem. En sådan undersökning är den av Feng och Hwan Jung (2020). De finner att en subvention kan öka den sociala välfärden, men att subventionen inte bör riktas mot att förbättra miljön utan att den bör sättas efter den sociala välfärden (Feng & Hwan Jung, 2020). En subvention som enbart riktar in sig på miljön kan bli för liten, medan en subvention som riktar in sig på att öka den sociala välfärden kommer öka statens vilja att subventionera miljövänlig forskning och driva upp investeringarna riktade mot den sektorn (Feng & Hwan Jung, 2020).

3.3 Simuleringar som metod

Att använda simuleringar för att analysera vad framtida utfall kan bli till följd av potentiella åtgärder är en vanlig metod. Av den forskning som tagits upp i detta avsnitt så använder sig Dong. et. al. (2018), Xu och Wei (2022) samt Ghosh, Pohit och Ohja (2020), av en simuleringsmetod i form av en ”computable general equilibrium model” (CGE). Popp (2006) använder sig av det han kallar för ENTICE-modell, vilket är en modifierad version av Nordhaus DICE-modell men där förändringen av teknologin är endogen i stället för exogen, och gör simuleringar enligt denna. Conefrey et. al. (2012) simulerar vad som kan tänkas hända i framtiden med hjälp av en HERMES-modell. Den gemensamma nämnaren i dessa studier är att det är simuleringar som används för att estimerar framtida värden på BNP till följd av implementerade åtgärder.

4. Modifierad modell

I avsnitt 4 kommer en modifierad modell att presenteras, vilket är en endogen tillväxtmodell med hänsyn till koldioxidutsläpp. Modellen bygger Solow-modellen, Nordhaus tankar om koldioxidutsläpp och produktion samt Romers antaganden om endogen teknologisk tillväxt. Även om modellen tar avstamp i tidigare forskning skiljer den sig samtidigt från dessa modeller eftersom det är en endogen tillväxtmodell som beror på mängden utsläpp. Den är därmed framtagen för den här studien. Först kommer basmodellen att presenteras, och sedan kommer det redogöras för vad som händer i modellen när det läggs på en koldioxidskatt som återinvesteras i miljövänlig forskning i form av en subvention.

4.1 Modifierad modell med hänsyn till både miljö och forskning

Modellen är skapad för att analysera hur både miljö och forskning påverkar BNP per capita. Modellens antaganden om den teknologiska tillväxten följer Romers (1990), vilket innebär att modellen utgår från att den teknologiska tillväxten är endogen och att forskning driver den teknologiska tillväxten framåt.

Det antas i modellen att det finns en miljövänlig och en icke-miljövänlig produktion som beror på hur mycket miljövänligt och miljöfarligt realkapital som används. Med miljövänlig produktion menas produktion som inte släpper ut koldioxid. All annan produktion anses vara allmän produktion, vilken här är ekvivalent med miljöfarlig produktion. Modellen visas i

uttryck 4.1. Den visar att BNP (Y) påverkas av totalt realkapital (\bar{K}), en allmän produktivitet (A), antal människor som arbetar med att producera varor och tjänster (L_Y) och de ackumulerade utsläppen (P). Det kommer redogöras för variablerna i tur och ordning nedan.

$$Y = \bar{K}^\alpha (AL_Y)^{1-\alpha} P^{-\gamma} \quad (4.1)$$

\bar{K} är total mängd realkapital, och det delas upp i miljövänligt realkapital (K) och miljöfarligt realkapital (C), se uttryck 4.2.

$$\bar{K} = K + C \quad (4.2)$$

K är en andel av det totala realkapitalet, och andelen bestäms av en variabel som visar hur produktionen påverkar miljön (B) i förhållande till en allmän produktivitet (A) och B , se uttryck 4.3.

$$K = \frac{B}{A+B} \bar{K} \quad (4.3)$$

Detsamma gäller för C , men för vilken andelen beror på A i förhållande till A och B vilket visas i uttryck 4.4.

$$C = \frac{A}{A+B} \bar{K} \quad (4.4)$$

B är en variabel som visar hur stor den miljövänliga produktionen är, ju mindre B är, desto mer påverkan har produktionen på miljön. Ett litet värde på B men hög produktivitet innebär att det miljövänliga realkapitalet är litet och att det miljöfarliga realkapitalet är stort. Ju större B , desto mer miljövänligt realkapital används i produktionen.

Produktionsfunktionen visar även en variabel P , vilken står för de ackumulerade utsläppen. Denna är upphöjd till en negativ term, γ . Det beror på att de ackumulerade utsläppen antas påverka produktionen negativt. Antagandet följer det av Nordhaus (1992) och Hansson (2022). Att öka det miljöfarliga realkapitalet (C) kan leda till ökad produktion idag, men även mer utsläpp. En minskning i C minskar förändringen av P , vilket visas i uttryck 4.5. Uttrycket visar att de ackumulerade utsläppen förändras genom en positiv term och en negativ term. Den positiva termen är s_P multiplicerat med C , och s_P står för den inverkan som varje enhet

miljöfarligt realkapital har på miljön. Den negativa termen innehåller deprecieringstakten för de ackumulerade utsläppen (δ_P), vilken bygger på tiden det tar för koldioxidutsläppen att försvinna ur atmosfären. Det multipliceras med de ackumulerade utsläppen, P .

$$\dot{P} = s_P C - \delta_P P \quad (4.5)$$

\bar{K} förändras enligt uttryck 4.6. Uttrycket visar att den totala mängden realkapital ökar till följd av ökade investeringar, s , och minskar med deprecieringstakten δ .

$$\dot{\bar{K}} = sY - \delta\bar{K} \quad (4.6)$$

A förändras på samma sätt som i Romer-modellen, se 2.13. B förändras på samma sätt som A , se 4.7. Arbetskraften består av mängden människor som producerar varor och tjänster (L_Y), mängden människor som arbetar inom den miljöfarliga forskningssektorn (L_A) och mängden människor som arbetar inom den miljövänliga forskningssektorn (L_B). Arbetskraften förändras på samma sätt som i Solow-modellen, se uttryck 2.2.

$$\dot{B} = \theta L_B^\lambda B^\phi \quad (4.7)$$

Den miljövänliga teknologin förändras som i uttryck 4.7. λ och ϕ står för samma som i Romer-modellen, se avsnitt 2.

4.2 Teknologisk tillväxt i jämvikt

Forskning inom den miljövänliga sektorn har beteckningen L_B . För att få fram ett uttryck för tillväxttakten i B divideras \dot{B} (uttryck 4.7) med B , och ger uttryck 4.8.

$$g_B = \theta \frac{L_B^\lambda}{B^{1-\phi}} \quad (4.8)$$

$$g_B = \frac{\lambda n}{1-\phi} \quad (4.9)$$

Den teknologiska tillväxttakten i jämvikt beror på samma faktorer som i Romer-modellen, vilket visas i uttryck 4.9.

4.3 Tillväxttakt i BNP per capita i jämvikt

Tillväxttakt i BNP per capita för den modifierade modellen visas i uttryck 4.10. Beräkningar för tillväxttaktarna finns i appendix.

$$g_y = g_A - \frac{\gamma}{1-\alpha} g_P \quad (4.10)$$

Uttrycket visar att tillväxttakten för BNP per capita beror på den teknologiska tillväxten (g_A) och tillväxten för de ackumulerade utsläppen, (g_P). De ackumulerade utsläppen kommer påverka tillväxten i BNP negativt.

4.4 BNP per capita i jämvikt

BNP per capita för den modifierade modellen visas i uttryck 4.11. Beräkningar till uttrycket finns i appendix.

$$y = \left(\frac{s}{n+g+\delta} \right)^{\frac{\alpha}{1-\alpha}} \cdot A \cdot \frac{L_Y}{L} \cdot P^{-\frac{\gamma}{1-\alpha}} \quad (4.11)$$

Uttrycket visar att BNP per capita i jämvikt beror på teknologiska nivån (A), hur stor del som arbetar med att producera varor och tjänster ($\frac{L_Y}{L}$) och de ackumulerade utsläppen, P . Första delen, $\left(\frac{s}{n+g+\delta} \right)^{\frac{\alpha}{1-\alpha}}$, visar vilka faktorer som påverkar realkapitalets jämviktsläge (Jones & Vollrath, 2013, s. 41–42). Uttrycket visar att det som påverkar realkapitalets jämviktsläge är investeringar (s), arbetskraftens tillväxt (n), deprecieringstakten för realkapitalet, δ och g , som i det här fallet beror på teknologins tillväxttakt (g_A) och arbetskraftens tillväxttakt (n). Till exempel kommer ökade investeringar ge ett högre jämviktsläge på realkapitalet, och därmed en högre nivå på BNP per capita (Jones & Vollrath, 2013, s. 111).

4.5 Koldioxidskatt som återinvesteras i miljövänlig forskning

Det kommer nu presenteras vad som händer i modellen om det läggs på en skatt på koldioxid som sedan återinvesteras i en subvention till miljövänlig forskning. Startpunkten för analysen är vad som händer vid beskattning av koldioxid. Det börjar i uttrycket för förändringen av

reakkapital, se 4.6. När det införs en koldioxidskatt blir det dyrare att investera i realkapital. Det är det totala realkapitalet som beskattas, se uttryck 4.12.

$$\dot{\bar{K}} = s(1 - T)Y - \delta\bar{K} \quad (4.12)$$

Det totala realkapitalet (\bar{K}) består av miljövänligt realkapital (K), och miljöfarligt realkapital, (C). Det är det totala realkapitalet som beskattas, även om det enbart är C som antas släppa ut koldioxid. C kommer däremot minska till följd av ökningen i miljövänlig forskning, då det antas ske på bekostnad av den miljöfarliga forskningen (Popp, 2006). När C minskar kommer även förändringen av P att minska. Eftersom P påverkar BNP negativt kommer ett litet P innebära att BNP återigen ökar.

När mängden miljövänlig forskning ökar antas det vara på bekostnad av den miljöfarliga forskningen (Popp, 2006). Det beror på att forskning kräver humankapital, och det är inte troligt att humankapital skapas under kort tid (Popp, 2006). Samtidigt kommer en subvention öka den totala mängden forskning på sikt (Jones & Vollrath, 2013, s. 107). Detta faktum bortses från i modellen, och det antas att det enbart är uppdelningen mellan den miljövänliga och den miljöfarliga sektorn som ändras. Om ingen koldioxidskatt introduceras kommer det antas att andelen miljövänlig och miljöfarlig forskning är konstant under hela tidsperioden som undersöks. Uttrycket för hur koldioxidskatten omvandlas till miljövänlig forskning visas nedan, se 4.13 och 4.14. L_T står för total mängd forskning, L_B är miljövänlig forskning, L_A är miljöfarlig forskning, T står för koldioxidskatten och F för omvandlingsfaktorn.

$$L_B = L_T \cdot (\text{Andel miljövänlig forskning år 2019} + TF) \quad (4.13)$$

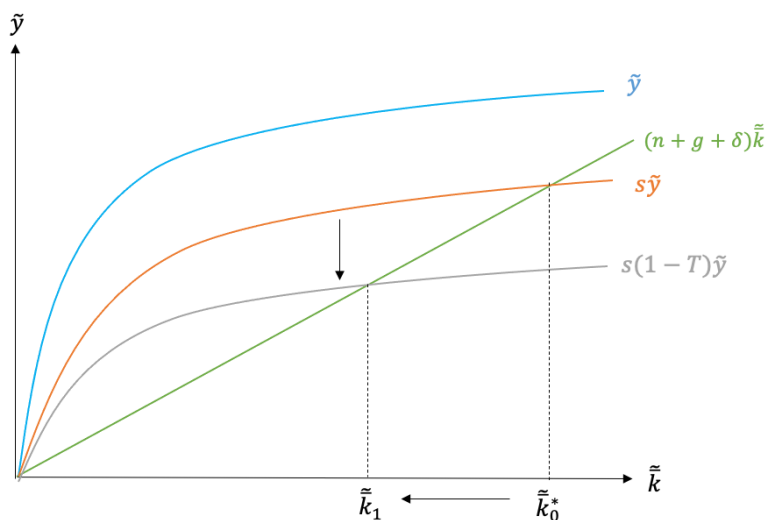
$$L_A = L_T - L_B \quad (4.14)$$

När koldioxidskatten återinvesteras i den miljövänliga forskningen sker det en omvandling från koldioxidskatten till forskning, och denna omvandling representeras i modellen av en omvandlingsfaktor. Omvandlingsfaktorn visar alltså hur väl kapitalet från koldioxidskatten omvandlas till forskning. Omvandlingsfaktorn beror på skatten, vilket grundas i att skatten multiplicerat med omvandlingsfaktorn inte kan överstiga 0,9 eftersom den initiala fördelningen

av den miljövänliga forskningen adderat med skatten och omvandlingsfaktorn inte får överstiga ett. Då hade den totala forskningen ökat.

4.6 Vad händer om koldioxid beskattas?

Vad som händer när det införs en skatt på koldioxid kan analyseras i ett Solow-diagram, se figur 1. Analysen följer Solow-modellen beskriven i "Introduction to Economic Growth" av Jones och Vollrath (2013) (se kapitel 2). I Solow-diagrammet visas en hjälpvariabel för BNP per capita på y-axeln, och en hjälpvariabel för realkapital på x-axeln. Hjälpvariablerna står för BNP per capita och teknologi samt realkapital per capita och teknologi (Jones & Vollrath, 2013). Uttryck 4.12 ovan visar att när koldioxid beskattas kommer samma mängd investeringar inte att generera lika mycket realkapital, och allt annat lika kommer mängden realkapital att minska från \tilde{k}_0^* till \tilde{k}_1 . För att hålla en specifik nivå av realkapitalet krävs det att de nödvändiga investeringarna, den gröna kurvan i diagrammet, är lika med de faktiska investeringarna, den orangea kurvan i diagrammet (Jones & Vollrath, 2013). När de faktiska investeringarna sjunker kommer det leda till ett nytt jämviktssläge eftersom det inte investeras tillräckligt mycket för att hålla nivån av realkapital konstant (Jones & Vollrath, 2013). Det är detta nya jämviktssläge som visas i punkten \tilde{k}_1 .

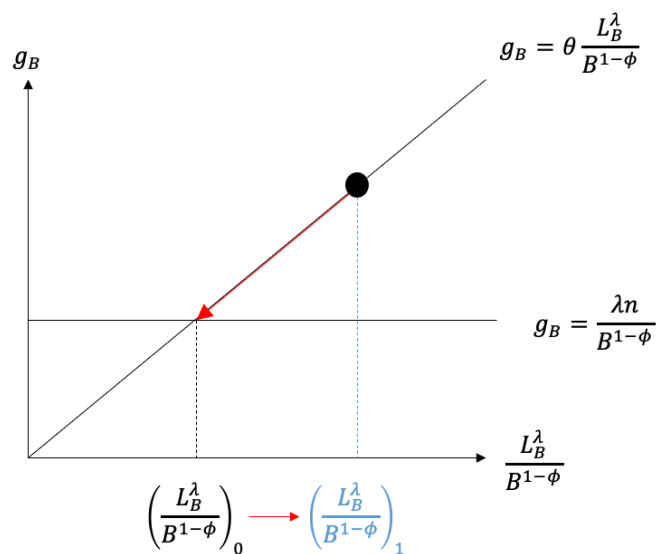


Figur 1: Visar vad som händer med BNP per capita och teknologienhet initialt när det tillkommer en skatt, T , på koldioxid.

I uttryck 2.7 visas det att tillväxttakten i BNP per capita i Solow-modellen är lika med tillväxttakten i realkapital per capita. Det innebär att BNP per capita beror på hur realkapital per capita förändras, och när realkapitalet minskar kommer även BNP per capita att göra det (Jones & Vollrath, 2013). Det blir en kortsiktig tillväxteffekt när BNP per capita minskar, men tillväxten kommer sedan att gå tillbaka till jämviktsläget (Jones & Vollrath, 2013). Den långsiktiga effekten är att nivån på BNP per capita sjunker till följd av det minskade realkapitalet (Jones & Vollrath, 2013).

4.7 Vad händer när miljövänlig forskning subventioneras?

Analysen kring vad som händer vid en subventionering av miljövänlig forskning grundar sig i förändringen av den miljövänliga produktiviteten, se uttryck 4.7. Den tänkta effekten av en subvention till forskningssektorn är att det ökar antalet människor som forskar (Jones & Vollrath, 2013, s. 107). Detta kan analyseras utifrån ett diagram, se figur 2 nedan.



Figur 2: Figuren visar vad som händer när miljövänlig forskning subventioneras.

Denna figur baseras på "Introduction to Economic Growth" av Jones och Vollrath (2013) (se kapitel 5) som bygger på Romers modell. Figuren visar tillväxttakten i B på y-axeln, och kvoten mellan antalet människor inom miljövänlig forskning dividerat med teknologin på x-axeln. När antalet människor som forskar ökar kommer kvoten på x-axeln att öka. Det redovisas i figuren att ekonomin är i jämvikt där g_B i jämvikt (se 4.9) möter det allmänna uttrycket för g_B (se 4.8). Enligt figuren kommer ekonomin hamna i en ny punkt när forskningen ökar, till följd av att fler

forskare ökar teknologin och g_B hamnar över jämviktsläget. I den nya punkten ökar teknologin snabbare än mängden forskare, vilket gör att kvoten på x-axeln minskar och att ekonomin rör sig tillbaka till jämviktsläget. Jones & Vollrath (2013) menar att det blir en tillfällig ökning av den teknologiska tillväxten, och teknologin ökar till en högre nivå. BNP per capita kommer således öka. En subvention till forskning bör därför öka BNP per capita på lång sikt.

4.8 Sammanfattning av den modifierade modellen

Den modifierade modellen visar en modell för hur BNP förändras till följd av forskning och utsläpp. Modellen är endogen och teknologin kan därför påverkas av faktorer som finns inom modellen, i detta fall av forskning. Utsläppen påverkar BNP negativt. Modellen antar att ekonomin är uppdelad i två sektorer, en miljövänlig och en miljöfarlig. Det finns därmed en miljövänlig produktion och en miljöfarlig produktion. Att den miljövänliga forskningen ökar leder till att produktionen blir mer miljövänlig. När koldioxid beskattas och återinvesteras i miljövänlig forskning i form av subventioner kommer därför ekonomin bli mer miljövänlig vilket minskar utsläppen och ökar BNP.

5. Metod

Undersökningen använder simuleringar för att visa hur framtida utveckling av BNP per arbetare uppskattas genom den modifierade modellen. Syftet med denna undersökning är att studera hur BNP kan komma att förändras av en skatt på koldioxid som återinvesteras i forskning. Simuleringarna görs i datorprogrammet Excel. Simuleringarna baseras på data från 2019 som ligger till grund för beräkningar för variabler. Simuleringarna baseras även på antaganden för parametervärden. Det kommer i det här avsnittet redogöras för dessa beräkningar och antaganden. Den data som används presenteras i avsnitt 6, och simuleringarna som görs presenteras i avsnitt 7. Det är data för Tyskland som används i beräkningarna, och det beror på att Tyskland är ett land som släpper ut mycket koldioxid (Richie, 2019).

Metoden kommer först redovisa de beräkningar för variablerna som gjordes, och sedan antaganden för parametervärden. Beräkningarna kan delas in i två grupper, där den ena gruppen är utgångsvärdena år 2019 som simuleringarna baseras på, och den andra gruppen är beräkningarna för förändringen av variablerna. Först kommer beräkningar för utgångsvärden att presenteras.

5.1 Beräkningar

Som utgångspunkt för simuleringarna används värden för år 2019. Värden för \bar{K} , Y , δ , s , L och L_T hämtades från den data som redovisas i avsnitt 6. Värden för A , B , P , L_A och L_B räknas ut utifrån den data som finns. För att räkna ut värdet på A , den allmänna produktiviteten, år 2019 skrivs uttryck 4.10 om till uttryck 6.1 nedan.

$$\frac{y^{1-\alpha}}{\bar{K}^{1-\alpha} \cdot L_Y} = AP^{1-\alpha} \quad (6.1)$$

Uttrycket visar ett gemensamt värde för A och P , och för att få ett uttryck för enbart A måste de separeras. Genom att uppskatta hur stor andel av uttrycket som är A ges ett värde, och uttrycket för P antas därmed vara resterande del. A antas vara 0,6 av det gemensamma värdet. För att räkna ut P , de ackumulerade utsläppen, för år 2019 används uttryck 6.2. x representerar det beräknade värdet från uttryck 6.1.

$$P = \left(\frac{x}{A}\right)^{\frac{1-\alpha}{\gamma}} \quad (6.2)$$

För att räkna ut B år 2019 används värdet för A samma år. A och B ses som olika andelar av produktionen, A antas vara två tredjedelar av den totala produktionen och B antas vara en tredjedel av den totala produktionen. Genom att använda värdet för A kan den totala produktionen räknas ut, se uttryck 6.3. B blir därmed den totala produktionen multiplicerat med en tredjedel.

$$Total\ produktion = A \cdot \frac{1}{\left(\frac{A}{Total\ produktion}\right)} \quad (6.3)$$

För att räkna ut hur stor del som arbetar med forskning (L_T) respektive hur stor del som arbetar med att producera varor och tjänster (L_Y) används data från OECD för att få ut den procentuella tillväxttakten mellan år 2010–2019. Data för forskningen presenteras i avsnitt 6. För att få värden mellan år 2010–2014 räknades först den genomsnittliga procentuella tillväxttakten per år ut mellan 2015–2019 enligt uttryck 6.4 nedan.

$$\left(\frac{\text{Forskning 2019}}{\text{Forskning 2015}}\right)^{\frac{1}{4}} - 1 \quad (6.4)$$

Därefter används värdet för den genomsnittliga årliga procentuella förändringen för att räkna ut värdena mellan åren 2010–2014, se uttryck 6.5. I detta uttryck står r för den genomsnittliga procentuella tillväxttakten per år under åren 2015–2019, $t-1$ är året som forskningen beräknas för och t är året innan.

$$\text{Forskning år } (t - 1) = \frac{\text{forskning år } t}{(1+r)} \quad (6.5)$$

För att räkna ut L_T respektive L_Y används de beräknade värdena för år 2010–2019 för att räkna ut en genomsnittlig procentuell tillväxt per år (se uttryck 6.6), och sedan antas det att dessa variabler utvecklas med samma procentuella förändring per år fram till år 2050. För att få ett värde för L_T multipliceras andelen forskare med totalt antal arbetare. Resterande arbetare antas vara L_Y .

$$\left(\frac{\text{Forskning 2019}}{\text{Forskning 2010}}\right)^{\frac{1}{9}} - 1 \quad (6.6)$$

För att beräkna hur mängden miljövänliga forskare förändras till följd av att koldioxidskatten återinvesteras i miljövänlig forskning används uttrycket (4.13) presenterad i avsnitt 4. Det antas att andelen miljövänliga forskare år 2019 är 0,1 och andelen miljöfarliga forskare är 0,9.

För att beräkna förändringen över tiden för variablerna \bar{K} , A , B och P för år t adderas värdet år $t-1$ med förändringen för variabeln år $t-1$, se 6.7 och 6.8. V_{t-1} står för en variabel år $t-1$, ΔV_{t-1} står för förändringen av denna variabel år $t-1$ och V_t står för värdet av variabeln år t . Uttrycken för förändringen av variablerna nedan presenteras i avsnitt 4. Beräkningar för simuleringarna kommer göras i diskret tid.

$$\Delta V_{t-1} = V_t - V_{t-1} \quad (6.7)$$

$$V_t = V_{t-1} + \Delta V_{t-1} \quad (6.8)$$

När skatten införs kommer detta påverka förändringen av det totala realkapitalet (\bar{K}) vilket presenteras i uttryck 4.12. Även förändringen av C och K redovisas i avsnitt 4, se 4.3 och 4.4.

5.2 Parametervärden

För att utföra simuleringarna behövs diverse antaganden göras. Med det menas att många parametrar sätts till ett specifikt värde. α antas vara en tredjedel i enlighet med Solow-modellens antaganden. θ antas vara 0,02 i uttrycket för förändring av både A och B. Värdet för investeringarna i totalt realkapital (s) antas inte förändras utan vara samma värde som för 2019. Likväl antas även deprecieringstakten (δ) vara samma som 2019. Deprecieringstakten för utsläppen (δ_P) antas vara ett litet värde då det tar lång tid för utsläppen att försvinna (Hansson, 2022, s. 59) och värdet sätts därför till 0,01. För att bestämma exakt vad δ_P är hade det behövts göras en mer noggrann beräkning av hur lång tid koldioxid stannar i atmosfären. Ett lägre värde på δ_P kommer ge högre värden på förändringen av P, se uttryck 4.5. Det är därför möjligt att denna uppskattning ger felaktigheter i värdena för BNP per arbetare, även om utvecklingen av BNP per arbetare inte bör förändras.

Den inverkan som varje enhet miljöfarligt realkapital har på miljön betecknas s_P . När ingen koldioxidskatt läggs på antas det att utsläppen ökar. Förändringen av P måste då visa på en tillväxt, och givet detta antagande måste första termen i uttrycket för förändringen av P vara positiv. Alltså kommer s_P att vara ett litet tal, och i denna undersökning antas s_P vara $1 \cdot 10^{-14}$.

γ antas vara 2 i simuleringarna, och detta värde baseras på det som Nordhaus (1992, s. 40) kommer fram till, se uttryck 2.11. Han antar att produktionen minskar kvadratisk mot ökningen i medeltemperatur, och eftersom $P^{-\gamma}$ påverkar tillväxten av BNP per capita negativt kommer det antas att γ är 2. Det antas vidare att koldioxidskatten (T) läggs på år 2020.

Nästa antagande gäller λ och ϕ . Hur mycket varje enskild forskare bidrar till forskningen (λ) och hur väl nya idéer kan bygga på gamla (ϕ) antas vara samma för förändringen av L_A och L_B , och värdena ses som konstanta för alla år. λ antas vara 0,7 och ϕ antas vara 0,5. Att värdena är konstanta för varje år beror på att simuleringarna syftar till att undersöka vad en koldioxidskatt som återinvesteras i en subvention till miljövänlig forskning har för effekt på den miljöfarliga respektive den miljövänliga produktionen, och inte hur λ och ϕ i sig påverkar dessa variabler.

Att det görs antaganden för de olika parametrarna kan vara en källa till osäkerhet, och värdena på BNP per arbetare som ges i simuleringarna behöver därför inte stämma överens med

verkligheten. Däremot bör utvecklingen av variablerna stämma överens med verkligheten, och parametervärdena kan därav ses som rimliga även om de inte är helt korrekta.

6. Data

Avsnitt 6 redogör och beskriver den data som har hämtats för simuleringarna. Generellt om datan är att det är köpkraftsjusterade data som används. Köpkraftsjusterade data är bra för jämförelse mellan länder, eftersom den tar hänsyn till att olika länder har olika prisnivåer (Hansson, 2022, s. 8). I denna undersökning är det enbart ett land som analyseras (Tyskland), men köpkraftsjusterade data anses trots det vara lämplig eftersom det öppnar upp möjligheten för eventuell jämförelse mellan Tyskland och andra länder. Analysen påverkas inte av detta val. Data hämtades för år 2019.

6.1 BNP

För att utföra simuleringarna och få ut framtida värden används ett initialt värde på BNP från år 2019, och detta värde hämtades från Penn World Table Version 10.0, i vilken det benämns "Output-side real GDP at chained PPPs (in mil. 2017 US\$)" (rgdpo) (University of Groningen, 2021). 2019 är det senaste året som det finns data för i datafilen.

6.2 Realkapital

Realkapitalet hämtas från datafilen Penn World Table Version 10.0 (University of Groningen, 2021). Den data som används för realkapital (\bar{K}) heter i datafilen "Capital Stock in Current PPPs" (cn). \bar{K} står för det totala realkapitalet, och det består av det miljövänliga realkapitalet (K) och det miljöfarliga realkapitalet (C) vilka räknas ut som andelar av det totala realkapitalet baserat på den allmänna produktiviteten (A) och hur miljövänlig produktionen är (B).

6.3 Arbetskraft

I undersökningen delas arbetskraften upp i den arbetskraft som engagerar sig i forskning (L_T) och den arbetskraft som en engagerar sig i produktion av varor och tjänster, (L_Y). Den totala mängden arbetskraft hämtades från Penn World Table Version 10.0, och benämns "Number of persons engaged" (emp) (University of Groningen, 2021). För att beräkna andelen som forskar används data från OECD (2022). Den data som används heter "Total Researchers in full-time

equivalent per thousand employment”. Det används data mellan år 2015–2019. Värdet för 2019 är en uppskattning gjord av OECD (OECD, 2022). Dessa värden användes för att beräkna den genomsnittliga tillväxttakten per år, se beräkningar i avsnitt 5. Värdena redovisas i tabell 2 nedan.

6.4 Investeringar och deprecieringstakt

Investeringar för realkapital hämtas från Penn World Table Version 10.0, och kallas för “Share of gross capital formation at current PPPs” (csh_i) i datafilen (University of Groningen, 2021). Deprecieringstakten hämtas från samma data, och kallas för “Average depreciation rate of the capital stock” (delta) (University of Groningen, 2021).

6.5 Värden för hämtade data

Tabell 1: Tabellen visar värden för hämtade data. Alla variabler hämtades för 2019.

BNP	Realkapital	Arbetskraft	Investeringar	Deprecieringstakt
4 275 312	20 907 856	44,80	0,23	0,04

Värden för BNP, realkapital och arbetskraft står i miljoner, men dessa multiplicerades sedan med 10^6 innan simuleringarna gjordes.

Tabell 2: Visar värden för mängden forskare för åren 2015–2019, presenterad i antal forskare per 1000 arbetare.

År	2015	2016	2017	2018	2019
Forskare	9,0	9,2	9,5	9,7	10,0

Andel forskare presenteras i datafilen som antal forskare per 1000 arbetare. Detta värde dividerades senare med 1000 för att få ut en procentandel.

7. Simuleringar

I denna del av uppsatsen kommer de sju simuleringarna som görs att beskrivas. Simuleringarna görs för att studera vad som händer vid olika skatter och vid olika faktorer. Syftet är att undersöka hur stor skatt respektive omvandlingsfaktor som krävs för att BNP per arbetare ska bli högre år 2050 än 2020 och för att de ackumulerade utsläppen ska stabiliseras vid ett lågt värde. Om ingen åtgärd införs antas produktionen fortsätta som den gör år 2019. Till följd av

de ackumulerade utsläppen antas tillväxten av BNP per arbetare minska, och BNP per arbetare kommer vara lägre än i scenarion där skatten har införts.

Det kommer göras en simulering där inga åtgärder införs, och resterande simuleringar kommer innehålla en skatt och en omvandlingsfaktor. Två olika skatter undersöks, en låg och en hög. Den höga antas vara 10 procent av BNP, och den låga 5 procent av BNP. Även två olika omvandlingsfaktorer kommer undersökas, den höga omvandlingsfaktorn antas vara 8 och den låga omvandlingsfaktorn antas vara 1.

7.1 Simulering 1

Den första simuleringen är en grundsimulering, där ingen skatt på koldioxid införs. Denna simulering visar därför vad som händer med BNP om produktionen fortsätter som den tidigare gjort.

7.2 Simulering 2

Simulering 2 visar vad som händer med BNP om den lägre skatten (5 procent) införs tillsammans med den högre omvandlingsfaktorn (8). Den visar alltså hur en lägre skatt kommer utveckla BNP per arbetare när omvandlingsfaktorn är hög.

7.3 Simulering 3

Simulering 3 följer samma antaganden som simulering två, men skillnaden är att omvandlingsfaktorn som skatten multipliceras med (1) är lägre. Det medför att andelen miljövänliga forskare kommer förändras med en mindre andel än i simulering 2.

7.4 Simulering 4

Denna simulering antar likväl att skatten är konstant och att den återinvesteras i forskning multiplicerat med en omvandlingsfaktor, men i det här fallet är det den högre (10 procent) av två olika skatter som analyseras. Omvandlingsfaktorn kommer vara den högsta (8). Det leder, som i simulering 2, till att andelen miljövänlig forskning också kommer vara högre än simuleringen med lägre omvandlingsfaktor.

7.5 Simulering 5

Här görs samma antaganden som i simulering 4, men det är den lägre omvandlingsfaktorn (1) av två olika som används.

7.6 Simulering 6

I denna simulering kommer det undersökas hur ekonomin påverkas av en hög skatt (10 procent) första halvan av tidsperioden, som sänks till en lägre skatt (5 procent) år 2036. Omvandlingsfaktorerna kommer vara samma för hela tidsperioden. I denna simulering är omvandlingsfaktorn den högre (8). Simuleringen görs för att se om ekonomin förändras annorlunda jämfört med om skatten är konstant.

7.7 Simulering 7

Simulering 7 gör samma antaganden som simulering 6, med skillnaden att det är den lägre omvandlingsfaktorn (1) som undersöks för att se om det ger någon skillnad i resultatet jämfört med simulering 6.

7.8 Sammanfattning av simuleringar

Tabell 3: Sammanfattning av simuleringarna i tabellform.

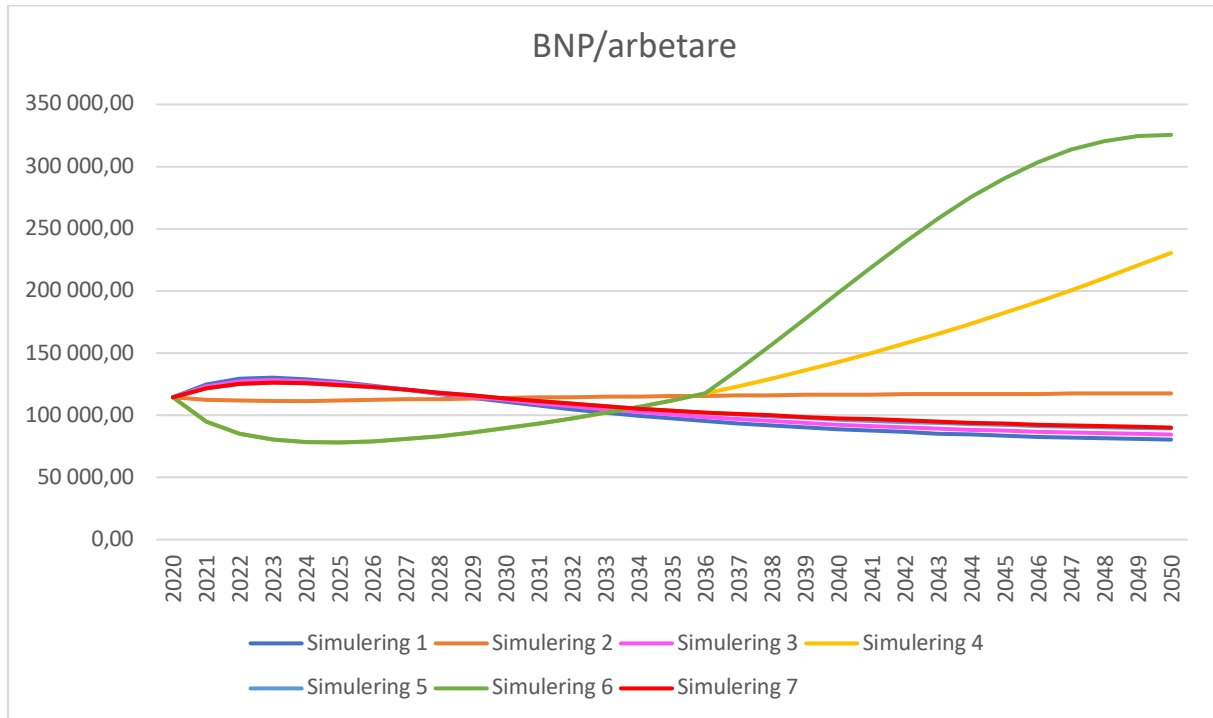
Simulering	1	2	3	4	5	6	7
Skatt	Ingen	5%	5%	10%	10%	Först:10% Sedan:5%	Först:10% Sedan:5%
Omvandlingsfaktor	-	8	1	8	1	8	1

8. Resultat och analys

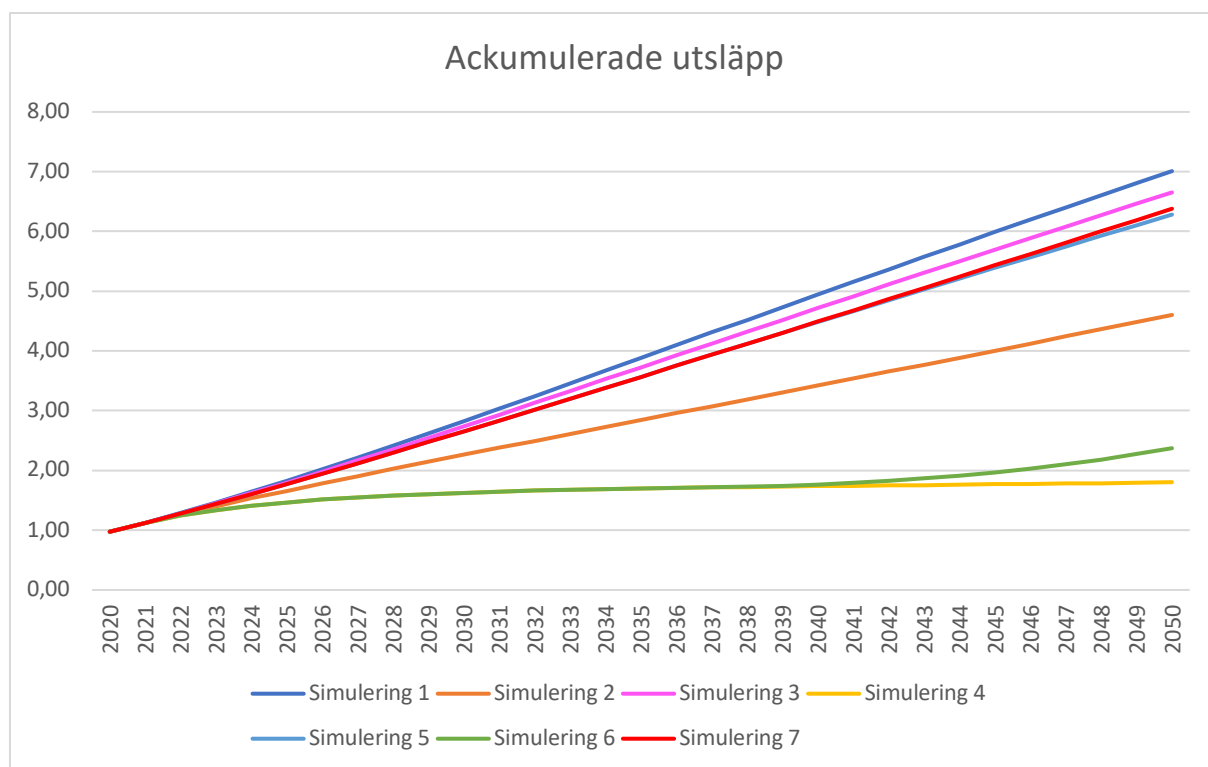
Avsnitt 8 presenterar resultatet av simuleringarna. Resultaten återges i två gemensamma diagram, ett för BNP per arbetare och ett för de ackumulerade utsläppen under tidsperioden 2020–2050. Det kommer även redogöras för två tabeller med BNP per arbetare år 2050. Den första tabellen visar värdet på BNP per arbetare år 2050 när olika omvandlingsfaktorer kombineras med de olika skatterna. Den andra tabellen visar BNP per arbetare år 2050 när omvandlingsfaktorn är 1 och skatterna varierar. Syftet med tabellerna är att visa vilken omvandlingsfaktor som krävs för att skatten ska göra någon skillnad, samt vilken skatt som krävs om omvandlingsfaktorn i sig inte gör någon skillnad för andelen miljövänlig forskning. Först kommer resultaten i diagrammen att presenteras, och sedan följer en analys om dessa.

Tabellerna kommer förklaras och sedan analyseras. Tabeller för värdena som presenteras i diagrammen finns i appendix.

8.1 Resultat från simuleringar



Figur 3: Visar utvecklingen av BNP per arbetare för varje år och varje simulering. Värden på BNP per arbetare finns presenterade i appendix.



Figur 4: Visar utvecklingen av de ackumulerade utsläppen, P , för varje år och varje simulering. Värden på P finns presenterade i appendix.

Simulering 1 redogör för hur det kommer se ut om ingen åtgärd införs utan ekonomin fortsätter som vanligt. Det visas ett lägre värde på BNP per arbetare år 2050 än år 2020. P har högst värde år 2050 om det jämförs med alla simuleringar. Diagrammet visar en initial uppgång i BNP per arbetare, men därefter en minskning.

Simulering 2 (låg skatt, hög omvandlingsfaktor) kommer visa på ett lite högre värde på BNP per arbetare år 2050, även om kurvan är plan. Simulering 2 visar inte på samma uppgång som simulering 1, utan i stället en liten initial nedgång i BNP per arbetare. De ackumulerade utsläppen är lägre än i simulering 1, men de visar ändå på en hög ökning.

Simulering 3 (låg skatt, låg omvandlingsfaktor) följer utvecklingen av simulering 1, både vad gäller BNP per arbetare och de ackumulerade utsläppen. De ackumulerade utsläppen är något lägre än simulering 1, och BNP per arbetare är lite högre år 2050.

Simulering 4 (hög skatt, hög omvandlingsfaktor) visar på ett högre BNP per arbetare år 2050 jämfört med år 2020 jämfört med simulering 1, 2 och 3. Simuleringen visar att de ackumulerade

utsläppen stabiliseras på en låg nivå. Simuleringen visar på en initial nedgång i BNP per arbetare, och denna är lägst år 2025. Därefter ökar BNP per arbetare. Minskningen av BNP per arbetare är större än den i simulering 2, och de ackumulerade utsläppen lägre.

Simulering 5 (hög skatt, låg omvandlingsfaktor) följer samma utveckling i BNP per arbetare som simulering 1 och 3. Värdet på de ackumulerade utsläppen är högt år 2050, men det är lägre än både 1 och 3.

Simulering 6 (först hög skatt, sedan låg skatt, hög omvandlingsfaktor) visar på den högsta BNP per arbetare år 2050. Denna simulering följer till en början mönstret i simulering 4, men efter år 2036 visar kurvan för BNP per arbetare en brantare uppgång. Simuleringen har ett högre värde på de ackumulerade utsläppen år 2050 än simulering 4, men lägre än övriga simuleringar.

Simulering 7 (först hög skatt, sedan låg skatt, låg omvandlingsfaktor) har en liknande kurva som simulering 1, 3, och 5, både när det kommer till BNP per arbetare och när det kommer till de ackumulerade utsläppen. De ackumulerade utsläppen är lägre än simulering 1 och 3, och marginellt lägre än simulering 5.

Simulering 1 har högst ackumulerade utsläpp, och lägst BNP per arbetare år 2050 av alla simuleringar. Eftersom det är den simulering utan koldioxidskatt så stämmer det överens med teorin. De ackumulerade utsläppen minskar BNP per arbetare. Det framgår i resultatet att de simuleringar som följer varandra i utvecklingen av BNP per arbetare också gör det i de ackumulerade utsläppen, vilket även stämmer överens med teorin.

Simuleringarna visar att när omvandlingsfaktorn är låg, skildrar simuleringarna inte en uppgång i BNP per arbetare och en minskning av de ackumulerade utsläppen. De följer i stället simulering 1, vilket är det scenario där ingen skatt läggs på. Det gäller för simulering 3, 5 och 7. När det läggs på en låg skatt men faktorn är hög (simulering 2), kommer BNP per arbetare vara högre år 2050 jämfört med 2020. Skillnaden mellan åren är däremot liten. De ackumulerade utsläppen kommer inte visa på en stabilisering vid ett lågt värde. Den simulering som är mest fördelaktig för miljön är simulering 4. Resultatet redogör även för ett högre BNP per arbetare år 2050 jämfört med simulering 2. Tolkningen av resultatet blir därmed att en låg koldioxidskatt tillsammans med en hög omvandlingsfaktor inte kommer ge någon större skillnad i BNP per arbetare om 2050 jämförs med 2020. Däremot kommer det vara sämre för

miljön jämfört med en hög skatt tillsammans med en hög omvandlingsfaktor. En hög skatt i kombination med en hög omvandlingsfaktor är alltså både bättre för ekonomin och för miljön.

Simuleringarna som visar på högst BNP per arbetare år 2050 är simuleringarna med hög skatt och hög omvandlingsfaktor (simulering 4 och simulering 6). Simuleringarna demonstrerar en initial minskning i BNP per arbetare, där BNP per arbetare inledande blir lägre än i de andra simuleringarna. En trolig förklaring till det är att det sker ett stort skifte i forskningen när koldioxidskatten och omvandlingsfaktorn är hög. När omvandlingsfaktorn är hög och skatten är hög kommer andelen miljövänliga forskare öka och andelen miljöfarliga forskare minska. En tänkbar förklaring till varför det sker en initial minskning i BNP per arbetare är för att det tar längre tid för produktionen att gå från miljöfarlig till miljövänlig än vad det gör för forskningen. Eftersom forskningen förändrar produktionen för både A (den miljöfarliga produktionen) och B (den miljövänliga produktionen) kommer minskat (ökat) antal forskare leda till minskad (ökad) produktion. L_A (den miljöfarliga forskningen) sjunker när L_B (den miljövänliga forskningen) stiger, vilket medför en minskning av A och en ökning av B. Eftersom B initialt är på en lägre nivå än A kommer det ta längre tid för B att hamna på samma nivå som A. Totalt sätt blir det därför minskad produktion, och därmed minskat BNP per arbetare initialt.

Simulering 6 uppvisar ett högre BNP per arbetare år 2050 än simulering 4, vilket beror på att det kostar mindre att investera i realkapital när skatten sänks. I simulering 6 kan det tänkas att den höga koldioxidskatten leder till att B ökar vilket medför att C minskar. Det kommer i sin tur minska förändringen av P (de ackumulerade utsläppen). När det blir mer gynnsamt att investera i allt realkapital kommer C att återigen öka, och det medför en ökning av P. Nivån på de ackumulerade utsläppen är fortfarande låg jämfört med andra simuleringar, men högre än simulering 4. Det ska däremot ifrågasättas huruvida det är rimligt att BNP per arbetare blir så högt som i simulering 4 och simulering 6. Till följd av de antaganden som gjorts så behöver värdena inte stämma överens med verkligheten, men utvecklingen av BNP per arbetare och de ackumulerade utsläppen kan fortfarande vara trolig på sikt. Även om värdena i sig inte är rimliga kan det därmed argumenteras för att effekterna är sannolika.

Resultaten visar att skatten och omvandlingsfaktorn har stor betydelse när det kommer till hur stort BNP per arbetare och de ackumulerade utsläppen kommer vara år 2050. Resultaten tyder däremot på att den höga omvandlingsfaktorn måste kombineras med en hög skatt för att

resultatet ska ge både högre BNP per arbetare år 2050 jämfört med 2020 och en stabilisering av de ackumulerade utsläppen på en låg nivå.

8.2 Resultat av olika omvandlingsfaktorer

Tabell 4: Visar BNP per arbetare år 2050 för olika skatter och olika omvandlingsfaktorer.

Faktor	Skatt 5%	Skatt 10%
1	84 525,32	89 473,28
2	86 708,85	96 088,44
3	89 564,27	106 209,95
4	93 168,84	113 197,39
5	97 625,77	142 249,80
6	103 066,68	171 796,87
7	109 655,38	208 785,15
8	117 591,76	230 553,39
9	127 113,34	63 486,36
10	138 488,84	-
11	151 990,16	-
12	167 809,93	-
13	185 843,24	-
14	205 131,61	-
15	222 464,46	-
16	228 917,24	-
17	201 585,81	-
18	63 936,75	-

Tabellen visar BNP per arbetare år 2050 för olika omvandlingsfaktorer och de olika skatterna som används i simuleringarna. Tabellen visar därmed vilken omvandlingsfaktor som krävs för att BNP per arbetare ska vara högre år 2050 än 2020. Tabell för värden på BNP per arbetare finns i appendix. Som framgår i avsnitt 4 kan skatten multiplicerat med omvandlingsfaktorn inte överstiga 0,9, eftersom det kommer leda till att andelen miljövänliga forskare förändras med ett värde större än 1, vilket i sin tur kommer öka den totala mängden forskare. I undersökningen kommer den totala mängden forskning inte förändras, utan det kommer enbart att ske en övergång mellan den miljövänliga och den miljöfarliga forskningen. Därför kan enbart omvandlingsfaktor 1 till 9 analyseras för skatten 10 procent av BNP, och omvandlingsfaktor 1 till 18 för skatten 5 procent av BNP.

Maximal omvandlingsfaktor är i detta fall 18 för skatten 5 procent av BNP och 9 för skatten 10 procent av BNP. Ingen av omvandlingsfaktorerna ger högst BNP per arbetare år 2050. För skatten 10 procent av BNP kommer omvandlingsfaktor 8 ge högst BNP per arbetare år 2050, och för skatten 5 procent av BNP kommer det vara omvandlingsfaktor 16 som ger högst BNP per arbetare år 2050. När omvandlingsfaktorn ökar innebär det att en större mängd forskare går från miljövänlig forskning till miljöfarlig forskning. Tabellen visar att när skatten är 10 procent så kan omvandlingsfaktorn även vara 5, 6 och 7 för att BNP per arbetare ska vara högre år 2050

än 2020. En lägre omvandlingsfaktor ger en mindre övergång från miljöfarlig till miljövänlig forskning.

När omvandlingsfaktorn är som högst, 9 för en skatt på 10 procent av BNP och 18 för en skatt på 5 procent av BNP, så kommer BNP per arbetare vara mindre än vid lägre omvandlingsfaktorer. När omvandlingsfaktorn är som högst innebär det att alla forskare går till den miljövänliga sektorn och att det därmed inte är någon forskare kvar i den miljöfarliga sektorn. Eftersom förändringen i den allmänna produktiviteten, A, beror på forskningen i den miljövänliga sektorn så innebär det att A inte kommer öka. B (den miljövänliga produktionen) kommer öka eftersom andelen miljövänliga forskare ökar. B är initialt lägre än A, och även om det sker en utveckling av B så kommer det ta längre tid för denna att komma upp i samma nivå som A. Det gör att produktionen stannar av, och BNP sjunker.

Det visas i tabellen att när omvandlingsfaktorn är 8 och koldioxidskatten är 5 procent kommer BNP per arbetare vara marginellt högre år 2050 jämfört med 2020. För att det ska gå att urskilja en tillväxt krävs en högre omvandlingsfaktor, och en lägre skatt kommer därför att kräva en högre omvandlingsfaktor för att ge samma effekt som en högre skatt. Omvandlingsfaktorn och skatten måste därmed följa varandra. Eftersom omvandlingsfaktorn är någonting som mäts i ekonomin, och skatten är en åtgärd som bestäms, kan det därför tänkas att skatten måste sättas beroende på vad omvandlingsfaktorn är. Omvandlingsfaktorn ska vara hög i förhållande till skatten, men inte så hög att all miljöfarlig produktion stannar av. Det måste ske en gradvis ökning av den miljövänliga forskningen, eftersom den antas öka på bekostnad av den miljöfarliga.

8.3 Resultat av olika skatter och omvandlingsfaktor 1

Tabell 5: Visar olika skatter när omvandlingsfaktorn är 1, samt vilket BNP per arbetare det ger år 2050. Skatten anges i procent av BNP.

Skatt	BNP/arbetare 2050
10%	89 473,28
15%	95 415,23
20%	102 502,19
25%	110 915,63
30%	120 862,78
35%	132 564,74
40%	146 229,17
45%	161 993,59
50%	179 816,43
55%	199 280,55
60%	219 264,75

Tabellen visar olika skatter när omvandlingsfaktorn är 1, vilket innebär att omvandlingen från koldioxidskatt till forskning är så liten att den inte ger någon extra effekt. Tabellen avser därmed att visa hur stor skatten måste vara om det inte finns någon omvandlingsfaktor som påverkar omvandlingen från koldioxidskatt till forskning. Av resultatet framgår att det krävs att skatten är runt 30 procent av BNP för att värdet på BNP per arbetare år 2050 ska vara större än värdet på BNP per arbetare 2020. Det är en hög skatt, och det krävs därför en omvandlingsfaktor om skatten ska vara lägre. Det tyder på att omvandlingsfaktorn är viktig för att det ska gå att sätta en lägre koldioxidskatt och samtidigt låta ekonomin växa.

9. Diskussion

Resultaten visar att det som spelar en avgörande roll för att BNP per arbetare ska vara högre år 2050 jämfört med 2020 är att omvandlingsfaktorn är hög. Det demonstreras i simuleringarna att beroende på hur stor omvandlingsfaktorn är kommer det krävas olika hög skatt för att minska och stabilisera de ackumulerade utsläppen och därmed öka BNP. När omvandlingsfaktorn är medräknad i simuleringen kommer omvandling av skatt till forskning ske oavsett hur hög omvandlingsfaktorn är, men ju högre omvandlingsfaktor desto större omvandling. Om omvandlingsfaktorn är hög kommer forskningen att öka med mer än skattens storlek. Det tyder på att det i praktiken måste göras en noggrann uppskattning av omvandlingsfaktorn innan koldioxidskatten sätts för att denna ska ge optimalt resultat när den återinvesteras i forskning. Annars är risken att det sätts en för låg skatt i förhållande till omvandlingsfaktorn. Även om det

ger upphov till tillväxt så är denna troligtvis liten om skatten är för låg, och det kommer inte vara fördelaktigt ur ett miljöperspektiv.

För att generera tillväxt krävs det att de ackumulerade utsläppen minskar, eftersom en ökning av de ackumulerade utsläppen leder till en minskning av BNP enligt den modifierade modellen. I avsnitt 4 förklaras det att det krävs en minskning av det miljöfarliga realkapitalet (C) för att förändringen av de ackumulerade utsläppen (P) ska minska. C minskar om den miljövänliga produktionen (B) ökar, och B ökar om den miljövänliga forskningen ökar. För att minska de ackumulerade utsläppen och stabilisera dem vid en låg nivå är det därför viktigt att den miljövänliga forskningen ökar. Omvandlingsfaktorn och skatten är det som bestämmer hur mycket forskningen ökar, och det är ytterligare ett argument till varför det är viktigt att mäta omvandlingsfaktorn innan skatten sätts.

Enligt Popp (2006) och Nordhaus (2021) behövs incitament till att bedriva miljövänlig forskning. Skatten på koldioxid gör det dyrare att bedriva verksamhet som är miljöfarlig, vilket kan få fler företag att satsa på den miljövänliga sektorn (Popp, 2006; Nordhaus, 2019). Simuleringarna följer detta antagande eftersom skatten förändrar andelen som väljer miljövänlig forskning. En subvention till forskning leder till att den positiva externaliteten som uppstår till följd av kunskapsspridning och forskning försvinner, och det kommer i sin tur leda till att företag blir mer villiga att forska (Popp, 2006). Alltså kommer en subvention till den miljövänliga forskningen att leda till en ökning av denna (Popp, 2006). Omvandlingsfaktorn visar hur väl det går att omvandla koldioxidskatten till forskning. En hög omvandlingsfaktor kan därmed stå för att incitamenten att forska vid en subvention är höga, och att det därför kommer ske en ökning av mängden forskare.

Även om antagandet att det finns en omvandlingsfaktor stämmer, känns det orimligt att det sker en stor övergång mellan miljövänlig forskning och miljöfarlig forskning på så kort tid. Det skulle kräva att många forskare byter sektor direkt när skatten införs. Denna ökning av mängden miljövänliga forskare är svår att motivera på kort sikt, vilket innebär att omvandlingsfaktorn är lägre i verkligheten. I den här modellen betyder det att skatten måste vara högre för att BNP per arbetare ska vara högre år 2050 jämfört med 2020. Effekten av subventionen är däremot tänkbar på längre sikt. Popp (2006) belyser detta när han menar att forskning kräver humankapital, som tar lång tid att skapa. När miljövänlig forskning subventioneras kommer humankapitalet söka sig till den miljövänliga sektorn, och därför kommer subvention av

miljövänlig forskning ske på bekostnad av annan forskning (Popp, 2006). Effekten att den miljövänliga forskningen ökar på bekostnad av den miljöfarliga är alltså ett tänkbart scenario, men kommer troligtvis inte ske så snabbt som i dessa simuleringar.

Nordhaus (2019) menar att det inte går att minska utsläppen till noll i nuläget, eftersom dagens teknologi inte tillåter det. Detta stämmer överens med resultaten från denna studie, eftersom en hög omvandlingsfaktor tillsammans med en hög skatt gör att det inte finns någon miljöfarlig forskning kvar. BNP per arbetare blir då lågt. Nordhaus (2019) påstår även att det kommer ta tid att implementera mer miljövänliga innovationer i samhället. Det betyder att om forskningen ökar kommer detta inte direkt leda till en uppgång i BNP, utan denna ökning kommer senare. Det kan också förklara den nedgång i BNP per arbetare som följer en hög skatt och en hög omvandlingsfaktor. Ökningen av det miljövänliga realkapitalet bör visa hur väl det går att implementera de nya innovationerna i samhället, eftersom det är den miljövänliga produktionen. Denna variabel ökar med den miljövänliga forskningen. När den miljövänliga produktionen ökar, minskar det miljöfarliga realkapitalet, och det miljövänliga realkapitalet ökar. Att det miljövänliga realkapitalet ökar tyder i sin tur på att de miljövänliga innovationerna har implementerats i samhället eftersom produktionen blir mer miljövänlig. De ackumulerade utsläppen minskar och BNP kommer således att öka. Hur väl innovationerna implementeras i ekonomin kommer därför vara beroende av omvandlingsfaktorn och koldioxidskatten, då innovationerna beror på B som i sin tur beror på den miljövänliga forskningen.

Det ska även föras en diskussion kring vilka tänkbara resultat en hög långsiktig skatt ger i jämförelse med en hög kortsiktig skatt. Genom en hög kortsiktig skatt går det att tvinga ekonomin att ställa om till mer miljövänlig produktion. Enligt Dong, et. al. (2018) kan det vara effektivt att sätta en hög skatt direkt, men detta bör kombineras med en teknologisk utveckling. I den modifierade modellen är den teknologiska utvecklingen endogen och beror på forskning. Ökad mängd forskning kommer därmed driva teknologin framåt, och öka innovationerna. En hög omvandlingsfaktor ökar mängden forskning, och därmed den teknologiska utvecklingen. Det kan därför argumenteras för att den teknologiska utvecklingen är omvandlingsfaktorn i den här undersökningen. Den teknologiska utvecklingen kommer driva upp BNP och göra förlusten som uppstår till följd av skatten mindre (Gu & Wang, 2017). En hög initial koldioxidskatt som sedan minskas kan vara lättare att motivera för företag, då det visar att det kommer bli mer förmånligt att investera i realkapital i framtiden.

När omvandlingsfaktorn är hög och skatten är hög visar simuleringarna att BNP per arbetare kommer att vara högre år 2050 än 2020 och de ackumulerade utsläppen kommer att vara låga. Frågan är hur väl det kommer gå att implementera koldioxidskatten i samhället om det initialt sker en minskning av BNP. En analys är att det kommer vara svårt att få människor att samtycka till att landets inkomster minskar för att framtida generationer ska få det bättre. Men till följd av de tidsfördröjningar som finns när det kommer till utsläpp och åtgärder samt deras påverkan på miljön är det emellertid ofrånkomligt (Nordhaus, 1992).

Rimligheten i resultaten bör diskuteras. En koldioxidskatt har visat sig vara effektiv i reduktionen av utsläpp i sektorer som transport och hushåll (Höhle & Runst, 2022; Runst & Thonipara, 2020). Det är därför troligt att en koldioxidskatt skulle vara effektiv även när det kommer till produktion. I dessa simuleringar sker det även en återinvestering av skatten till ekonomin i form av subventioner till miljövänlig forskning. Återinvesteringar från en koldioxidskatt har i sig visat sig vara någonting som kan öka BNP, även om det inte alltid är så (Conefrey et. al., 2013; Ghosh, Pohit & Ohja, 2020; Xu & Wei, 2022). Det blir därför en fråga om hur det görs. En koldioxidskatt i kombination med subventioner till miljövänlig forskning kan öka den ekonomiska tillväxten på sikt (Popp, 2006). Koldioxidskatten ger incitament till företag att satsa mer på den miljövänliga sektorn, och ökade investeringar i forskning kan minska de förluster som kommer av en skatt (Gu & Wang, 2017). Dong et. al. (2018) visar att en koldioxidskatt initialt kan minska BNP, men att denna kommer öka igen om skatten kombineras med teknologisk utveckling. Tidigare forskning indikerar därmed att de presenterade resultaten är rimliga.

10. Slutsats

Syftet med denna studie är att undersöka hur ekonomin och miljön påverkas vid införandet av en koldioxidskatt som återinvesteras i ekonomin genom att subventionera miljövänlig forskning. Det görs för att se hur produktionen i ett land förändras till följd av olika åtgärder, samt hur snabbt teknologin implementeras i samhället och om den genererar tillväxt. Genom sju olika simuleringar testas olika koldioxidskatter för att se hur väl detta fungerar. Återinvesteringen görs med hjälp av en omvandlingsfaktor, som visar hur väl skatten kan återinvesteras till just forskning.

Resultatet visar att en koldioxidskatt kan vara effektiv när den kombineras med rätt omvandlingsfaktor. Är omvandlingsfaktorn för låg i förhållande till skatten kommer åtgärderna inte vara effektiva i den bemärkelsen att de stabiliserar de ackumulerade utsläppen på en låg nivå samt ger ett högre BNP per arbetare år 2050 jämfört med 2020. Det krävs att det görs en noggrann undersökning av omvandlingsfaktorn innan koldioxidskatten införs för att skatten ska läggas på rätt nivå. Omvandlingsfaktorn som används i simuleringarna är hög i det avseendet att den ger en kraftig ökning av den miljövänliga forskningen och en kraftig minskning av den miljöfarliga. Den effekten är rimlig på lång sikt, men inte under tidsperioden som studeras i den här undersökningen.

Hur väl det går att implementera de miljövänliga innovationerna i ekonomin kommer bero på mängden miljövänlig forskning, eftersom mängden miljövänlig forskning påverkar den miljövänliga produktionen. När den ökar kommer det ske en ökning av det miljövänliga realkapitalet och en minskning av det miljöfarliga realkapitalet, vilket i sin tur kommer minska de ackumulerade utsläppen. En minskning av de ackumulerade utsläppen kommer leda till en ökning av BNP, och det är därmed viktigt för den ekonomiska tillväxten att den miljövänliga produktionen ökar. När omvandlingsfaktorn är bestämd går det att sätta den högsta skatten i förhållande till denna omvandlingsfaktor, och det leder till att det går snabbare att implementera miljövänliga innovationer i samhället. Den högsta skatten som kan sättas i förhållande till omvandlingsfaktorn kommer medföra att de ackumulerade utsläppen stabiliseras på en låg nivå, och att de minskar till följd av att produktionen har blivit mer miljövänlig. Det bör även ske en gradvis förändring av produktionen från miljöfarlig till miljövänlig. En direkt övergång till enbart miljövänlig produktion kommer inte generera ekonomisk tillväxt.

Genom att sätta en hög skatt först och sänka den efter halva tidsperioden går det att få ett högre BNP per arbetare än om den höga skatten är konstant genom hela tidsperioden. Orsaken till detta är att det blir mer gynnsamt att investera i miljöfarligt realkapital när skatten sjunker på allt realkapital. Ur ett ekonomiskt perspektiv är det sannolikt en bättre metod än att ha en långsiktig skatt, men det är sämre för miljön. Samtidigt kan det tänkas att det är lättare att motivera en initial hög skatt som sedan sänks, än att sätta en långsiktig hög skatt. En hög skatt kan vara svår att motivera eftersom det ger en initial minskning av BNP per arbetare.

Möjliga vidarestudier inom detta ämne skulle förslagsvis kunna omfatta en djupare analys av parametervärden. En djupare analys av de olika parametervärdena hade kunnat ge bättre värden på resultatet, och även en mer träffsäker analys.

Referenslista

- Conefrey, T., Fitz Gerald, J. D., Malaguzzi Valeri, L. & Tol, R. S. J. (2013). The impact of a carbon tax on economic growth and carbon dioxide emissions in Ireland, *Journal of Environmental Planning and Management*, vol. 56, no. 7, pp. 934-952
- Dong, B., Weixan, W., Ma, X. & Peng, L. (2018) On the Impacts of Carbon Tax and Technological Progress on China, *Applied Economics*, vol. 50, no. 4, pp. pp. 389–406
- European Commission. (U.å). Paris Agreement, Tillgänglig online: https://ec.europa.eu/clima/eu-action/international-action-climate-change/climate-negotiations/paris-agreement_en [hämtad 2022-05-02]
- Feng, T. & Hwan Jung, S. (2020). Government subsidies for green technology development under uncertainty, *European Journal of Operational Research*, Vol. 286, no. 2, pp. 726-739
- Ghosh, J., Pohit, S. & Ohja, V. P. (2020). Recycling carbon tax for inclusive green growth: A CGE analysis of India, *Energy Policy*, Vol. 144, pp. 1-12
- Gu, G. & Wang, Z. (2019) The Limit of Global Carbon Tax and Its Climatic and Economic Effects, *Computational Economics*, vol. 53, no. 1, pp. 169–189
- Hansson, P. (2022). Kompletterande kompendium: Ekonomisk tillväxt, Lunds universitet
- Höhle, D. & Runst, P. (2022). The German eco tax and its impact on CO2 emissions, *Energy Policy*, vol. 160, pp. 1-10
- Jones, C. I. & Vollrath, D. (2013) Introduction to economic growth, New York: W.W Norton & Company Inc.
- Nordhaus, W. D. (1992) The "DICE" model: Background and Structure Of a Dynamic Integrated Climate-Economy Model of Global Warming, *Cowles Foundation Discussion*

Paper, no. 1009, pp. 1-76, Tillgänglig online:

<https://cowles.yale.edu/sites/default/files/files/pub/d10/d1009.pdf> [Hämtad 2022-02-28]

Nordhaus, W. D. (2019). Climate Change: The Ultimate Challenge for Economics, *American Economic Review*, vol. 109, no. 6, pp. 1991-2014

Nordhaus, W. D. (2021). *The Spirit of Green*, Princeton: Princeton University Press

OECD. (2022). Main Science and Technology Indicators: Table 8 – Total researchers in full-time equivalent per thousand employment, *OECD Publishing*, vol. 2021, no. 2, pp. 17-18, Tillgänglig online: https://www.oecd-ilibrary.org/science-and-technology/total-researchers-in-full-time-equivalent-per-thousand-total-employment_f9f80cb3-en [hämtad 2022-05-17]

Popp, D. (2006) R&D Subsidies and Climate Policy: Is There a “Free Lunch”?, *Climatic Change*, vol. 77, pp. 311–341, Tillgänglig online: <https://rdcu.be/cNuFm> [hämtad 2022-05-04]

Richie, H. (2019). Who emits the most CO2 today?, Our World in Data. Tillgänglig online: <https://ourworldindata.org/annual-co2-emissions#:~:text=China%20is%2C%20by%20a%20significant,closely%20by%20Europe%20with%2017%25>. [Hämtad 2022-05-05]

Romer, P. M. (1990). Endogenous Technological Change, *Journal of Political Economy*, vol. 98, no. 5, pp. S71-S72, Tillgänglig online: <https://www.jstor.org/stable/2937632?seq=1> [hämtad 2022-04-02]

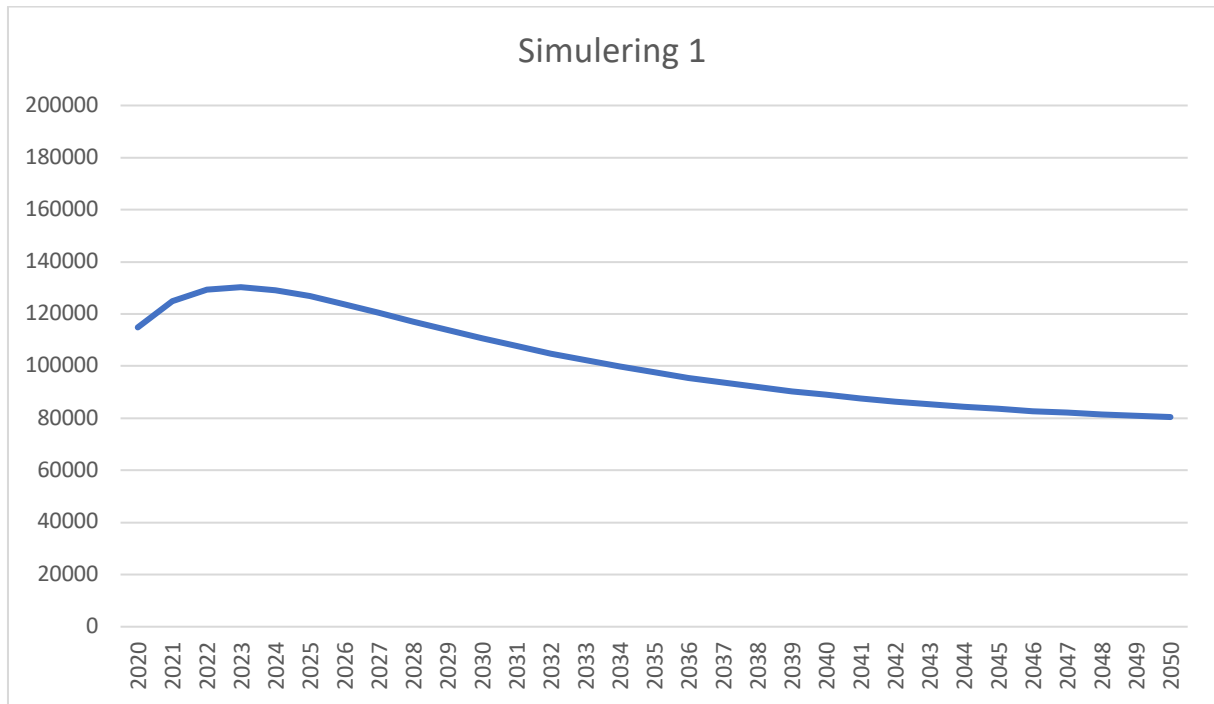
Runst, P. & Thonipara, A. (2020). Dosis facis effectum why the size of the carbon size matters: Evidence from the Swedish residential sector, *Energy economics*, vol. 91, pp. 1-15

Solow, R. M. (1956). A Contribution to the Theory of Economic Growth, *The Quarterly Journal of Economics*, vol. 70, no. 1, pp. 65-94, Tillgänglig online: <https://www.jstor.org/stable/1884513?seq=1> [hämtad 2022-04-06]

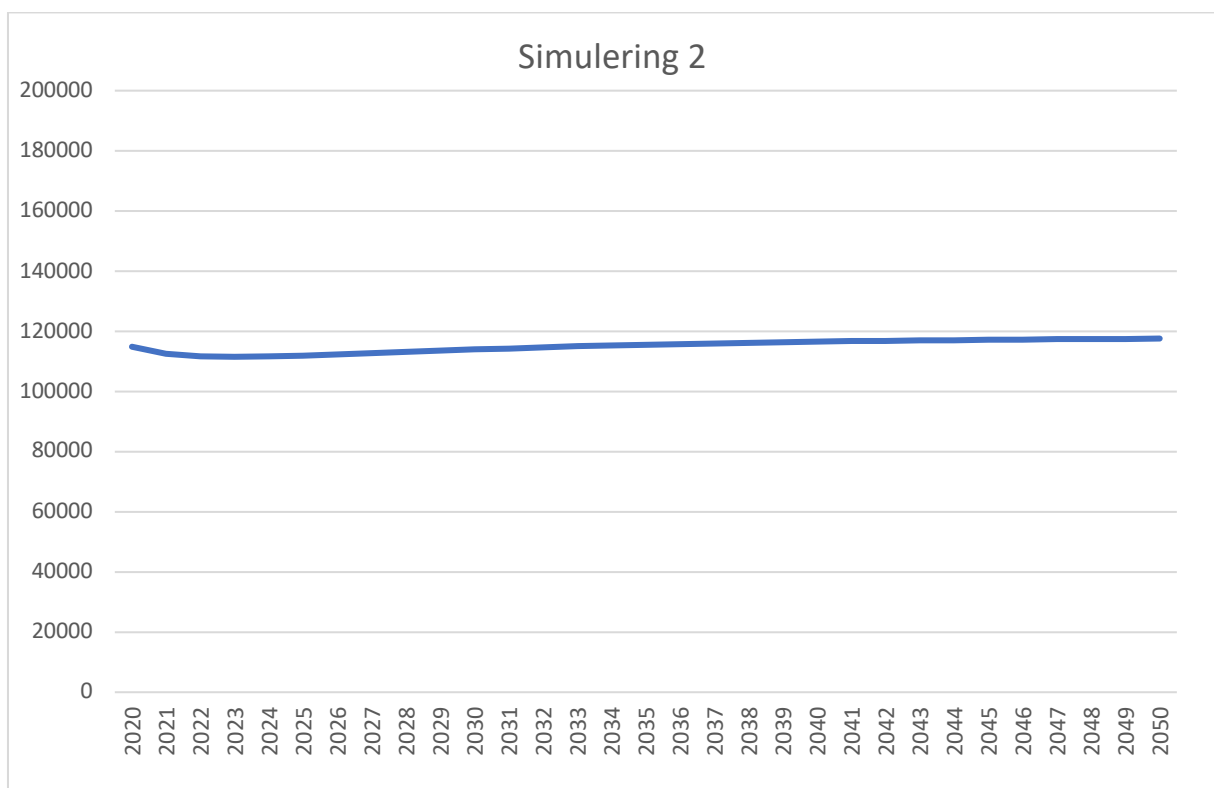
University of Groningen. (2021). Penn World Table, Tillgänglig online:
<https://www.rug.nl/ggdc/productivity/pwt/?lang=en> [hämtad 2022-03-29]

Xu, J. & Wei, W. (2022). Would carbon tax be an effective policy tool to reduce carbon emission in China? Policies simulation analysis based on a CGE model, *Applied Economics*, vol. 54, no. 1, pp. 115-134

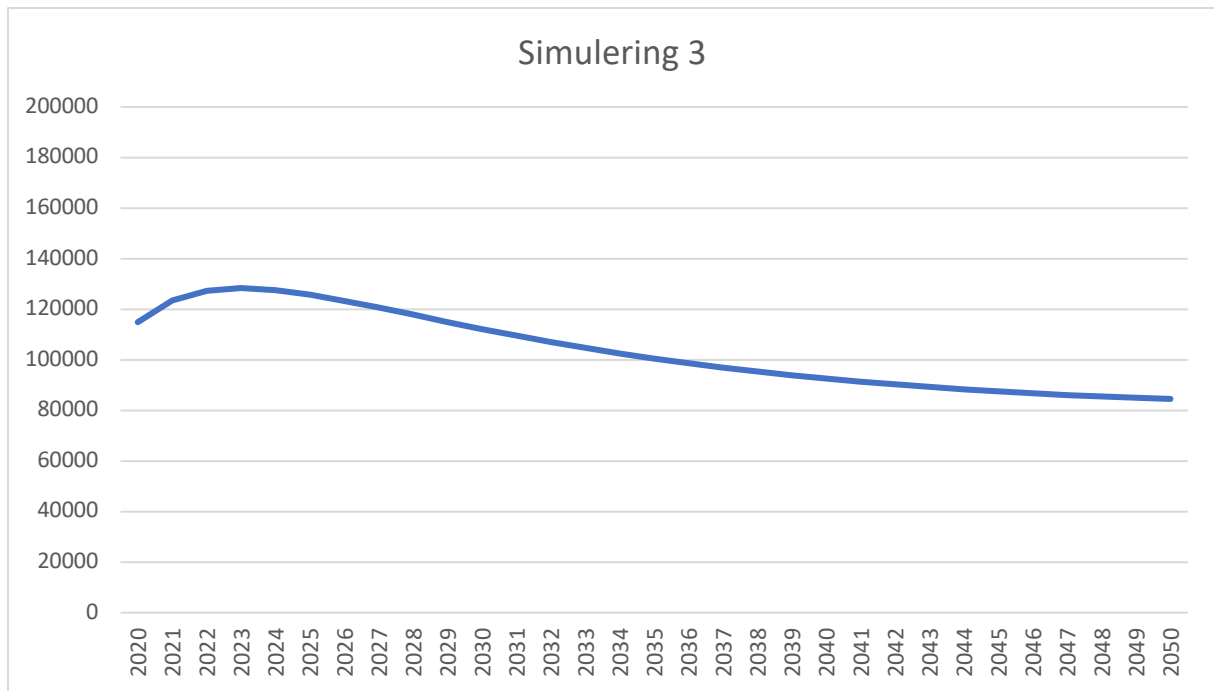
Appendix



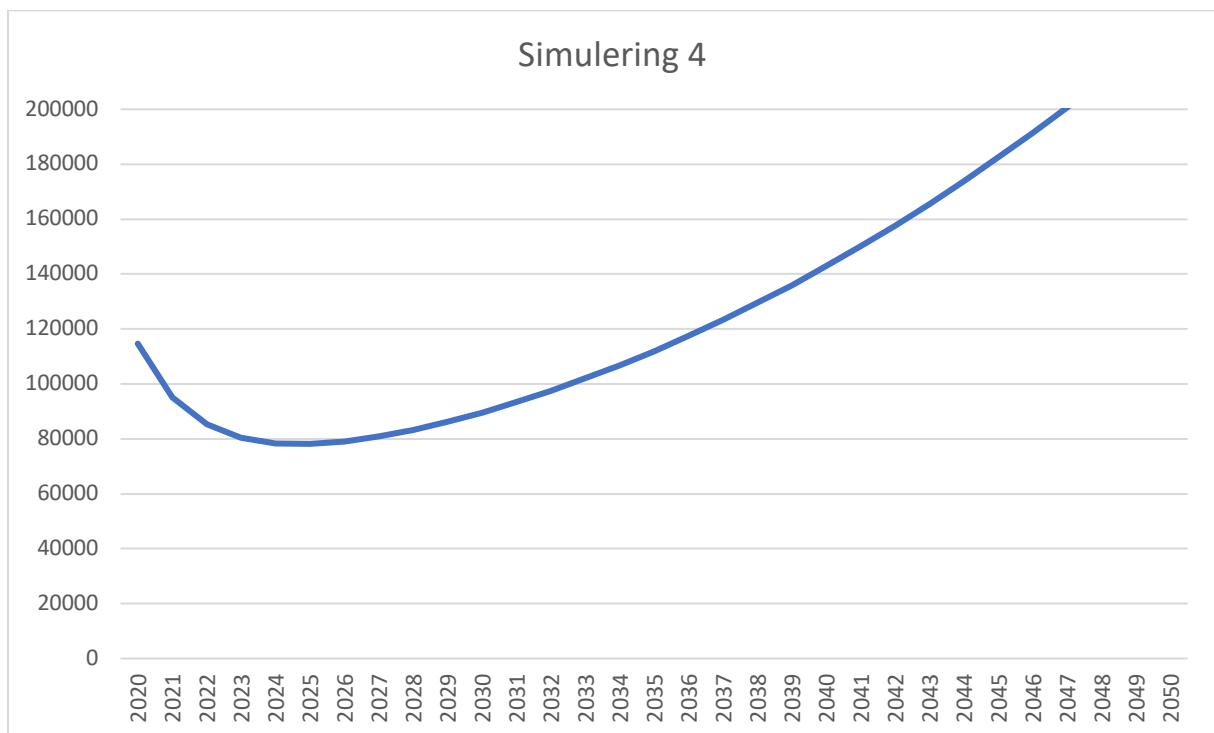
Figur 5: Visar utvecklingen av BNP per arbetare när ingen koldioxidskatt läggs på och ingen subvention av forskning sker.



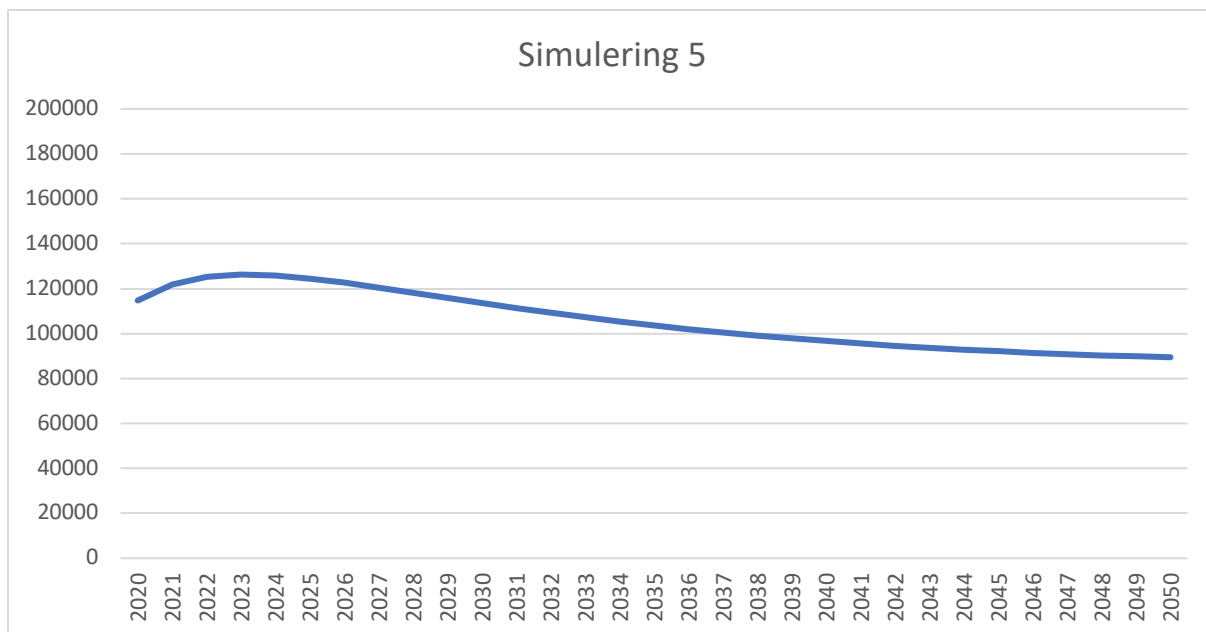
Figur 6: Visar utvecklingen av BNP per arbetare vid en låg skatt (5 procent av BNP) och en hög omvandlingsfaktor (8).



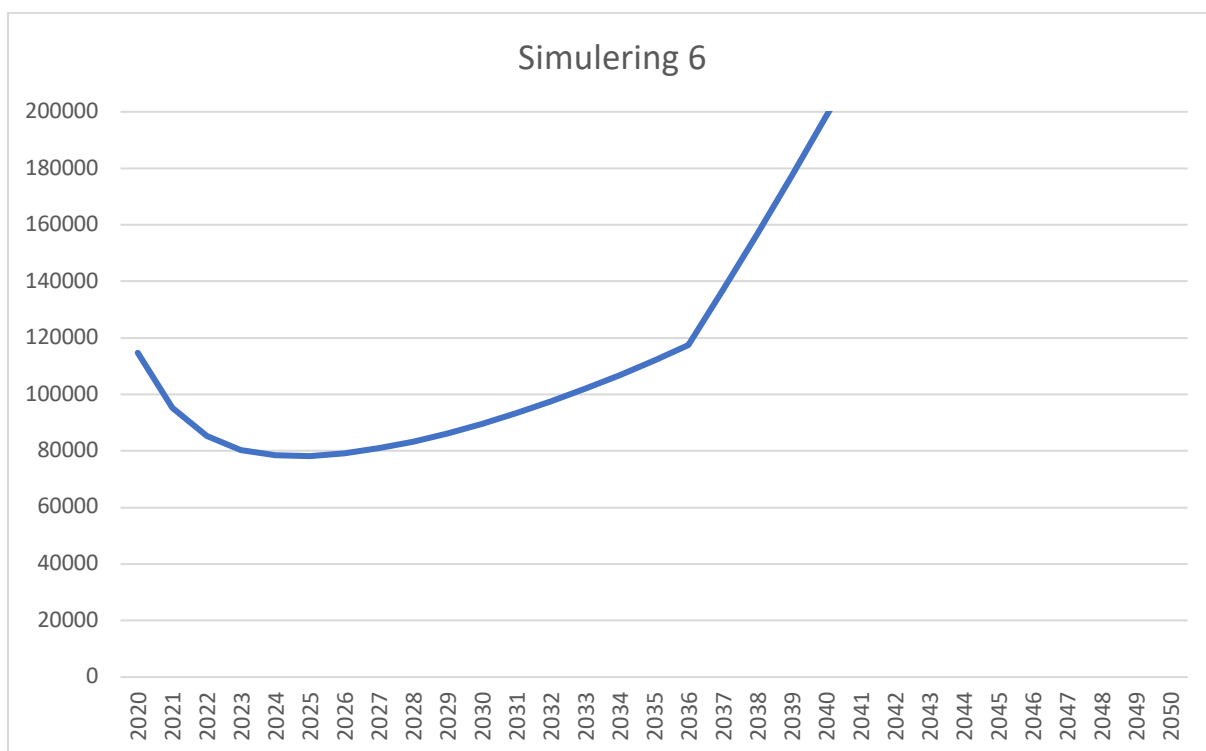
Figur 7: Visar utvecklingen av BNP per arbetare vid en låg skatt (5 procent av BNP) och en låg omvandlingsfaktor (1).



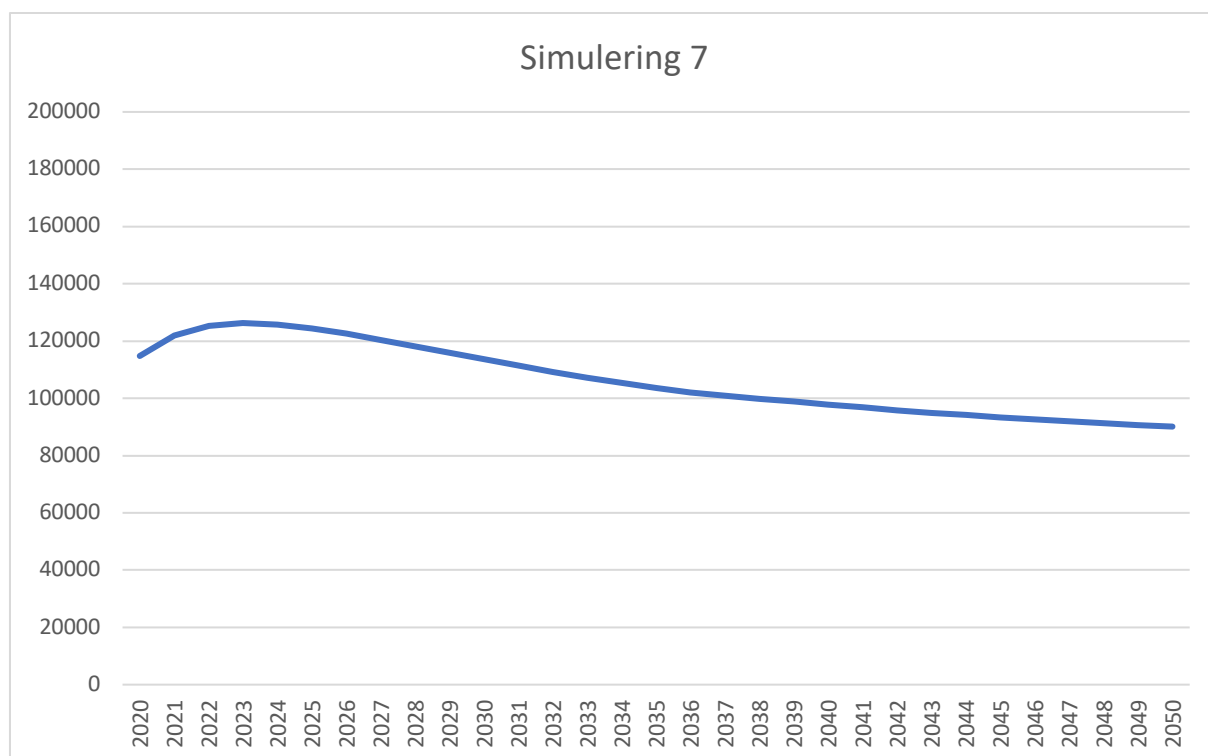
Figur 8: Visar utvecklingen av BNP per arbetare vid en hög skatt (10 procent av BNP) och en hög omvandlingsfaktor (8).



Figur 9: Visar utvecklingen av BNP per arbetare vid en hög skatt (10 procent av BNP) och en låg omvandlingsfaktor (1).



Figur 10: Visar utvecklingen av BNP per arbetare när skatten är hög (10 procent av BNP) mellan 2020-2035 och låg (5 procent av BNP) mellan 2036-2050. Omvandlingsfaktorn är hög (8) i denna simulering.



Figur 11: Visar utvecklingen av BNP per arbetare när skatten är hög (10 procent av BNP) mellan 2020-2035 och låg (5 procent av BNP) mellan 2036-2050. Omvandlingsfaktorn är låg (1).

Tabell 6: Visar utvecklingen av BNP per arbetare för de olika simuleringarna.

År	Simulering 1	Simulering 2	Simulering 3	Simulering 4	Simulering 5	Simulering 6	Simulering 7
2019	95 441,30	95 441,30	95 441,30	95 441,30	95 441,30	95 441,30	95 441,30
2020	114 759,24	114 759,24	114 759,24	114 759,24	114 759,24	114 759,24	114 759,24
2021	124 962,91	112 619,67	123 458,15	95 174,24	121 922,90	95 174,24	121 922,90
2022	129 375,38	111 744,29	127 380,70	85 228,54	125 281,86	85 228,54	125 281,86
2023	130 282,73	111 518,52	128 373,63	80 374,61	126 282,40	80 374,61	126 282,40
2024	129 118,98	111 632,95	127 593,27	78 395,26	125 826,56	78 395,26	125 826,56
2025	126 771,82	111 923,98	125 764,11	78 174,44	124 483,83	78 174,44	124 483,83
2026	123 791,80	112 301,74	123 343,87	79 118,95	122 618,98	79 118,95	122 618,98
2027	120 520,84	112 715,50	120 623,51	80 895,81	120 468,23	80 895,81	120 468,23
2028	117 170,21	113 136,26	117 788,07	83 309,16	118 185,44	83 309,16	118 185,44
2029	113 868,61	113 547,45	114 954,46	86 239,65	115 870,79	86 239,65	115 870,79
2030	110 692,21	113 939,83	112 195,26	89 612,90	113 589,00	89 612,90	113 589,00
2031	107 683,64	114 308,58	109 554,08	93 382,11	111 381,09	93 382,11	111 381,09
2032	104 864,22	114 651,55	107 055,53	97 518,15	109 272,22	97 518,15	109 272,22
2033	102 241,76	114 968,23	104 711,78	102 003,49	107 276,80	102 003,49	107 276,80
2034	99 815,71	115 259,11	102 526,92	106 828,45	105 402,04	106 828,45	105 402,04
2035	97 580,43	115 525,26	100 499,87	111 988,67	103 650,33	111 988,67	103 650,33
2036	95 527,38	115 768,12	98 626,33	117 483,43	102 020,85	117 483,43	102 020,85
2037	93 646,49	115 989,28	96 900,03	123 314,40	100 510,72	136 849,99	100 928,33
2038	91 927,07	116 190,42	95 313,69	129 484,71	99 115,77	156 946,11	99 846,59
2039	90 358,33	116 373,23	93 859,49	135 998,24	97 831,04	177 542,64	98 788,84
2040	88 929,80	116 539,35	92 529,53	142 858,94	96 651,18	198 346,01	97 764,66
2041	87 631,44	116 690,38	91 316,02	150 070,33	95 570,70	218 992,08	96 780,81
2042	86 453,84	116 827,83	90 211,45	157 635,04	94 584,10	239 050,03	95 841,97
2043	85 388,19	116 953,13	89 208,67	165 554,31	93 686,02	258 038,31	94 951,13
2044	84 426,35	117 067,63	88 300,93	173 827,60	92 871,26	275 452,51	94 110,08
2045	83 560,78	117 172,56	87 481,91	182 452,20	92 134,89	290 803,16	93 319,63
2046	82 784,57	117 269,11	86 745,73	191 422,85	91 472,20	303 658,55	92 579,90
2047	82 091,34	117 358,34	86 086,89	200 731,40	90 878,75	313 685,82	91 890,45
2048	81 475,25	117 441,26	85 500,30	210 366,50	90 350,36	320 683,32	91 250,44
2049	80 930,93	117 518,79	84 981,24	220 313,34	89 883,10	324 598,06	90 658,76
2050	80 453,45	117 591,76	84 525,32	230 553,39	89 473,28	325 525,56	90 114,07

Tabell 7: Visar de ackumulerade utsläppen, P , för de olika simuleringarna.

År	Simulering 1	Simulering 2	Simulering 3	Simulering 4	Simulering 5	Simulering 6	Simulering 7
2019	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84
2020	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97
2021	1,12	1,12	1,12	1,12	1,12	1,12	1,12
2022	1,29	1,27	1,28	1,24	1,28	1,24	1,28
2023	1,46	1,40	1,45	1,34	1,44	1,34	1,44
2024	1,64	1,53	1,62	1,41	1,61	1,41	1,61
2025	1,83	1,66	1,80	1,47	1,77	1,47	1,77
2026	2,02	1,78	1,98	1,51	1,95	1,51	1,95
2027	2,21	1,90	2,17	1,55	2,12	1,55	2,12
2028	2,41	2,02	2,35	1,58	2,30	1,58	2,30
2029	2,62	2,14	2,55	1,61	2,47	1,61	2,47
2030	2,83	2,26	2,74	1,63	2,65	1,63	2,65
2031	3,03	2,38	2,93	1,65	2,84	1,65	2,84
2032	3,24	2,49	3,13	1,66	3,02	1,66	3,02
2033	3,46	2,61	3,33	1,68	3,20	1,68	3,20
2034	3,67	2,73	3,53	1,69	3,38	1,69	3,38
2035	3,88	2,84	3,72	1,70	3,57	1,70	3,57
2036	4,09	2,96	3,92	1,71	3,75	1,71	3,75
2037	4,31	3,07	4,12	1,72	3,93	1,72	3,93
2038	4,52	3,19	4,32	1,72	4,12	1,73	4,12
2039	4,73	3,30	4,52	1,73	4,30	1,75	4,30
2040	4,94	3,42	4,72	1,74	4,48	1,77	4,49
2041	5,15	3,54	4,91	1,74	4,67	1,79	4,68
2042	5,36	3,65	5,11	1,75	4,85	1,83	4,87
2043	5,57	3,77	5,31	1,76	5,03	1,87	5,06
2044	5,78	3,89	5,50	1,76	5,21	1,91	5,24
2045	5,99	4,01	5,70	1,77	5,39	1,97	5,43
2046	6,20	4,12	5,89	1,77	5,57	2,03	5,62
2047	6,40	4,24	6,08	1,78	5,75	2,10	5,81
2048	6,60	4,36	6,27	1,79	5,93	2,18	6,00
2049	6,81	4,48	6,46	1,80	6,11	2,27	6,19
2050	7,01	4,60	6,65	1,80	6,28	2,37	6,38

Beräkningar för Solow-modellen

Bygger på uträkningar från "Introduction to Economic Growth" av Jones & Vollrath (2013).

Tillväxttakt för BNP per capita i jämvikt

$$Y = K^\alpha (AL)^{1-\alpha}$$

Dividera med L för att få uttryck för BNP per capita:

$$\frac{Y}{L} = \frac{K^\alpha (AL)^{1-\alpha}}{L^{\alpha L^{1-\alpha}}} \rightarrow y = k^\alpha A^{1-\alpha}$$

Logaritmera båda sidor:

$$\ln(y) = \alpha \cdot \ln(k) + (1 - \alpha) \cdot \ln(A)$$

Derivera med avseende på tiden:

$$\frac{d\ln(y)}{dt} = \alpha \cdot \frac{d\ln(k)}{dt} + (1 - \alpha) \cdot \frac{d\ln(A)}{dt}$$

Generellt uttryck för tillväxttakten:

$$g_y = \alpha \cdot g_k + (1 - \alpha) \cdot g_A$$

I jämvikt gäller:

$$g_y = g_k$$

Sätt in i det generella uttrycket för tillväxttakten

$$g_y = \alpha \cdot g_y + (1 - \alpha) \cdot g_A \rightarrow (1 - \alpha)g_y = (1 - \alpha)g_A \rightarrow g_y = g_A$$

$$g_A = g \rightarrow g_y = g_k = g$$

Beräkningar för tillväxt i förhållande till miljö

Beräkningarna bygger på modellen från ”Kompletterande Kompendium: Ekonomisk Tillväxt” av Hansson (2022).

Tillväxttakt i BNP per capita i jämvikt

$$Y = K^\alpha (AL)^{1-\alpha} P^{-\gamma}$$

Dividera med L för att få BNP per capita:

$$\frac{Y}{L} = \frac{K^\alpha (AL)^{1-\alpha} P^{-\gamma}}{L^\alpha L^{1-\alpha}} \rightarrow y = k^\alpha A^{1-\alpha} P^{-\gamma}$$

Logaritmera båda sidor:

$$\ln(y) = \alpha \cdot \ln(k) + (1 - \alpha) \cdot \ln(A) - \gamma \cdot \ln(P)$$

Derivera med avseende på tiden:

$$\frac{d\ln(y)}{dt} = \alpha \cdot \frac{d\ln(k)}{dt} + (1 - \alpha) \cdot \frac{d\ln(A)}{dt} - \gamma \cdot \frac{d\ln(P)}{dt}$$

Generellt uttryck för tillväxttakten:

$$g_y = \alpha \cdot g_k + (1 - \alpha) \cdot g_A - \gamma \cdot g_P$$

I jämvikt gäller:

$$g_y = g_k$$

Sätt in i uttryck för tillväxt för BNP per capita:

$$g_y = \alpha \cdot g_y + (1 - \alpha) \cdot g_A - \gamma \cdot g_P \rightarrow (1 - \alpha) \cdot g_y = (1 - \alpha) \cdot g_A - \gamma \cdot g_P$$

$$g_y = g_A - \frac{\gamma}{1-\alpha} g_P$$

Tillväxttakt i miljöförstöring

$$\dot{P} = \frac{\theta}{B} Y - \delta_P P$$

För att få tillväxttakten i P divideras ovanstående uttryck med P:

$$\frac{\dot{P}}{P} = \frac{\theta}{B} \frac{Y}{P} - \frac{\delta_P P}{P} \rightarrow g_P = \theta \frac{Y}{BP} - \delta_P$$

I jämvikt måste täljare och nämnare i uttrycket $\frac{Y}{BP}$ växa i samma takt. θ och δ_P är parametrar och ses därför som konstanta. Det ger:

$$g_Y - g_B - g_P = 0 \rightarrow g_P = g_Y - g_B$$

Tillväxttakt för BNP per capita kan skrivas:

$$g_Y - n = g_y \rightarrow g_Y = g_y + n$$

Stoppa in i uttryck för g_P :

$$g_P = g_y + n - g_B$$

Utvidgning av tillväxttakt i BNP per capita

$$g_y = g_A - \frac{\gamma}{(1-\alpha)} \cdot (g_y + n - g_B) \rightarrow g_y = g_A - \frac{\gamma}{1-\alpha} g_y - \frac{\gamma}{1-\alpha} (n - g_B)$$

$$g_y + \left(\frac{\gamma}{1-\alpha}\right) \cdot g_y = g_A - \frac{\gamma}{1-\alpha} \cdot (n - g_B) = g_A + \frac{\gamma}{1-\alpha} (g_B - n)$$

$$\left(1 + \frac{\gamma}{1-\alpha}\right) \cdot g_y = g_A + \frac{\gamma}{1-\alpha} (g_B - n)$$

$$\left(\frac{1-\alpha+\gamma}{1-\alpha}\right) \cdot g_y = g_A + \frac{\gamma}{1-\alpha} (g_B - n)$$

$$g_y = \frac{1-\alpha}{1-\alpha+\gamma} \cdot g_A + \frac{\gamma}{1-\alpha+\gamma} (g_B - n)$$

Beräkningar för Romer-modellen

Beräkningarna bygger på dem i "Introduction to Economic Growth" av Jones & Vollrath (2013).

Tillväxttakt för BNP per capita i jämvikt

$$Y = K^\alpha (AL_Y)^{1-\alpha}$$

Dividera med L för att få BNP per capita:

$$\frac{Y}{L} = \frac{K^\alpha (AL_Y)^{1-\alpha}}{L^\alpha L^{1-\alpha}} \rightarrow y = k^\alpha A^{1-\alpha} \left(\frac{L_Y}{L}\right)^{1-\alpha}$$

Logaritmera båda sidor:

$$\ln(y) = \alpha \cdot \ln(k) + (1 - \alpha) \cdot \ln(A) + (1 - \alpha) \cdot \ln\left(\frac{L_Y}{L}\right)$$

Derivera med avseende på tiden:

$$\frac{d\ln(y)}{dt} = \alpha \cdot \frac{d\ln(k)}{dt} + (1 - \alpha) \cdot \frac{d\ln(A)}{dt} + (1 - \alpha) \cdot \frac{d\ln\left(\frac{L_Y}{L}\right)}{dt}$$

Generellt uttryck för tillväxttakten:

$$g_y = \alpha \cdot g_k + (1 - \alpha) \cdot g_A + (1 - \alpha) \cdot g_{\frac{L_Y}{L}}$$

I jämvikt gäller:

$$g_y = g_k$$

$$g_{\frac{L_Y}{L}} = 0$$

Sätt in i det generella uttrycket för tillväxttakten:

$$g_y = \alpha \cdot g_y + (1 - \alpha) \cdot g_A + (1 - \alpha) \cdot 0$$

$$(1 - \alpha) \cdot g_y = (1 - \alpha) \cdot g_A$$

$$g_y = g_A$$

Generell tillväxt för A

$$\dot{A} = \theta L_A^\lambda A^\phi$$

$$\frac{\dot{A}}{A} = \theta \frac{L_A^\lambda A^\phi}{A^\phi A^{1-\phi}} = \theta \frac{L_A^\lambda}{A^{1-\phi}} = g_A$$

Tillväxttakt i jämvikt för A

$$g_A = \theta \frac{L_A^\lambda}{A^{1-\phi}} = \theta L_A^\lambda A^{\phi-1}$$

Logaritmera båda sidor:

$$\ln(g_A) = \ln(\theta) + \lambda \cdot \ln(L_A) + (\phi - 1) \cdot \ln(A)$$

Derivera med avseende på tiden:

$$\frac{d\ln(g_A)}{dt} = \frac{d\ln(\theta)}{dt} + \lambda \cdot \frac{d\ln(L_A)}{dt} + (\phi - 1) \cdot \frac{d\ln(A)}{dt}$$

Tillväxttakten av g_A :

$$\frac{g_A}{g_A} = g_\theta + \lambda \cdot g_{L_A} + (\phi - 1) \cdot g_A$$

I jämvikt:

$\dot{g}_A = 0$ (eftersom tillväxttakter är konstanta i jämvikt kommer förändringen av dessa att vara noll i jämvikt)

$g_\theta = 0$ (eftersom θ är en parameter)

$g_{L_A} = n$ (eftersom L_A och L växer med samma takt i jämvikt, n)

Sätt in i uttryck för tillväxttakten för g_A :

$$0 = 0 + \lambda \cdot n + (\phi - 1) \cdot g_A \rightarrow (1 - \phi) \cdot g_A = \lambda \cdot n \rightarrow g_A = \frac{\lambda n}{(1 - \phi)}$$

Beräkningar modifierad modell

Tillväxttakt för BNP per capita i jämvikt

$$Y = \bar{K}^\alpha (A L_Y)^{1-\alpha} P^{-\gamma}$$

Dividera med L:

$$\frac{Y}{L} = \frac{\bar{K}^\alpha (A L_Y)^{1-\alpha} P^{-\gamma}}{L^\alpha L^{1-\alpha}} \rightarrow y = \bar{k}^\alpha A^{1-\alpha} \left(\frac{L_Y}{L}\right)^{1-\alpha} P^{-\gamma}$$

Ta logaritmen av båda sidor:

$$\ln(y) = \alpha \cdot \ln(\bar{k}) + (1 - \alpha) \cdot \ln(A) + (1 - \alpha) \cdot \ln\left(\frac{L_Y}{L}\right) - \gamma \cdot \ln(P)$$

Derivera med avseende på tiden:

$$\frac{d\ln(y)}{dt} = \alpha \cdot \frac{d\ln(\bar{k})}{dt} + (1 - \alpha) \cdot \frac{d\ln(A)}{dt} + (1 - \alpha) \cdot \frac{d\ln\left(\frac{L_Y}{L}\right)}{dt} - \gamma \cdot \frac{d\ln(P)}{dt}$$

Generellt uttryck för tillväxttakten:

$$g_y = \alpha \cdot g_{\bar{k}} + (1 - \alpha) \cdot g_A + (1 - \alpha) \cdot \frac{g_{L_Y}}{L} - \gamma \cdot g_P$$

I jämvikt gäller:

$$g_y = g_{\bar{k}}$$

$$\frac{g_{L_Y}}{L} = 0$$

Sätt in i generellt uttryck för tillväxttakten:

$$g_y = \alpha \cdot g_y + (1 - \alpha) \cdot g_A + (1 - \alpha) \cdot 0 - \gamma \cdot g_P \rightarrow (1 - \alpha) \cdot g_y = (1 - \alpha) \cdot g_A - \gamma \cdot g_P$$

Tillväxttakt i jämvikt:

$$g_y = g_A - \frac{\gamma}{1 - \alpha} g_P$$

Uttryck för BNP per capita i jämvikt

För att hitta BNP per capita i jämvikt används tillväxttakten för BNP (inte BNP per capita) för att bestämma hjälpvariablerna som ska användas. Uttrycket för tillväxttakten för de stora variablerna är:

$$g_Y = \frac{1 - \alpha}{1 - \alpha + \gamma} (g_A + n)$$

Baserat på dessa kommer hjälpvariablerna vara:

$$\tilde{y} = \frac{\gamma}{(AL)^{\frac{1 - \alpha}{1 - \alpha + \gamma}}} \text{ och } \tilde{k} = \frac{\bar{K}}{(AL)^{\frac{1 - \alpha}{1 - \alpha + \gamma}}}$$

För att hitta \tilde{y} :

$$\tilde{y} = \frac{\bar{K}^\alpha (AL_Y)^{1 - \alpha} P^{-\gamma}}{\left[(AL)^{\frac{1 - \alpha}{1 - \alpha + \gamma}} \right]^\alpha \left[(AL)^{\frac{1 - \alpha}{1 - \alpha + \gamma}} \right]^{1 - \alpha}} = \left[\frac{\bar{K}}{(AL)^{\frac{1 - \alpha}{1 - \alpha + \gamma}}} \right]^\alpha \cdot \left[\frac{AL_Y}{(AL)^{\frac{1 - \alpha}{1 - \alpha + \gamma}}} \right]^{1 - \alpha} \cdot P^{-\gamma}$$

$$\tilde{y} = \tilde{k}^\alpha \left(\frac{A \cdot L_Y}{A^{1 - \alpha + \gamma} \cdot L^{\frac{1 - \alpha}{1 - \alpha + \gamma}}} \right)^{1 - \alpha} \cdot P^{-\gamma}$$

$$\tilde{y} = \tilde{k}^\alpha \cdot \left(A^{\frac{1 - \alpha + \gamma - 1 + \alpha}{1 - \alpha + \gamma}} \cdot \frac{L_Y}{L^{\frac{1 - \alpha}{1 - \alpha + \gamma}}} \right)^{1 - \alpha} \cdot P^{-\gamma} \rightarrow \tilde{y} = \tilde{k}^\alpha \left(A^{\frac{\gamma}{1 - \alpha + \gamma}} \cdot \frac{L_Y}{L^{\frac{1 - \alpha}{1 - \alpha + \gamma}}} \right)^{1 - \alpha} \cdot P^{-\gamma}$$

$$\tilde{y} = \tilde{k}^\alpha \cdot A^{\frac{(1 - \alpha)\gamma}{1 - \alpha + \gamma}} \cdot \left(\frac{L_Y}{L^{\frac{1 - \alpha}{1 - \alpha + \gamma}}} \right)^{1 - \alpha} \cdot P^{-\gamma}$$

I jämvikt:

$$\dot{\tilde{k}} = s\tilde{y} - (n + g + \delta)\tilde{k} = 0$$

Sätt in uttryck för \tilde{y} :

$$s\tilde{k}^\alpha \cdot A^{\frac{(1 - \alpha)\gamma}{1 - \alpha + \gamma}} \cdot \left(\frac{L_Y}{L^{\frac{1 - \alpha}{1 - \alpha + \gamma}}} \right)^{1 - \alpha} \cdot P^{-\gamma} - (n + g + \delta)\tilde{k} = 0$$

$$s\tilde{k}^\alpha \cdot A^{\frac{(1-\alpha)\gamma}{1-\alpha+\gamma}} \cdot \left(\frac{L_Y}{L^{1-\alpha+\gamma}}\right)^{1-\alpha} \cdot P^{-\gamma} = (n+g+\delta)\tilde{k}$$

Lös ut \tilde{k} genom att flytta över till en sida

$$\tilde{k}^{1-\alpha} = \left(\frac{s}{n+g+\delta}\right) \cdot A^{\frac{(1-\alpha)\gamma}{1-\alpha+\gamma}} \cdot \left(\frac{L_Y}{L^{1-\alpha+\gamma}}\right)^{1-\alpha} \cdot P^{-\gamma}$$

Höj upp till $\frac{1}{1-\alpha}$:

$$\tilde{k} = \left(\frac{s}{n+g+\delta}\right)^{\frac{1}{1-\alpha}} \cdot A^{\frac{\gamma}{1-\alpha+\gamma}} \cdot \frac{L_Y}{L^{1-\alpha+\gamma}} \cdot P^{\frac{-\gamma}{1-\alpha}}$$

Sätt in i uttryck för \tilde{y} :

$$\tilde{y} = \left(\frac{s}{n+g+\delta}\right)^{\frac{\alpha}{1-\alpha}} \cdot A^{\frac{\alpha\gamma}{1-\alpha+\gamma}} \cdot \left(\frac{L_Y}{L^{1-\alpha+\gamma}}\right)^\alpha \cdot P^{\frac{-\alpha\gamma}{1-\alpha}} \cdot A^{\frac{(1-\alpha)\gamma}{1-\alpha+\gamma}} \cdot \left(\frac{L_Y}{L^{1-\alpha+\gamma}}\right)^{1-\alpha} P^{-\gamma}$$

$$\tilde{y} = \left(\frac{s}{n+g+\delta}\right)^{\frac{\alpha}{1-\alpha}} \cdot A^{\frac{\alpha}{1-\alpha+\gamma}} \cdot \frac{L_Y}{L^{1-\alpha+\gamma}} \cdot P^{\frac{-\gamma}{1-\alpha}}$$

Hitta uttryck för Y:

$$\tilde{y} = \frac{Y}{(AL)^{\frac{1-\alpha}{1-\alpha+\gamma}}} \rightarrow Y = \tilde{y} \cdot (AL)^{\frac{1-\alpha}{1-\alpha+\gamma}} \rightarrow Y = \tilde{y} \cdot A^{\frac{1-\alpha}{1-\alpha+\gamma}} \cdot L^{\frac{1-\alpha}{1-\alpha+\gamma}}$$

Dividera med L för att få BNP per capita:

$$\frac{Y}{L} = \frac{\tilde{y} \cdot A^{\frac{1-\alpha}{1-\alpha+\gamma}} \cdot L^{\frac{1-\alpha}{1-\alpha+\gamma}}}{L} = \tilde{y} \cdot A^{\frac{1-\alpha}{1-\alpha+\gamma}} \cdot \frac{L^{\frac{1-\alpha}{1-\alpha+\gamma}}}{L}$$

$$y = \tilde{y} \cdot A^{\frac{1-\alpha}{1-\alpha+\gamma}} \cdot L^{\frac{1-\alpha}{1-\alpha+\gamma} - 1} = \tilde{y} \cdot A^{\frac{1-\alpha}{1-\alpha+\gamma}} \cdot L^{\frac{1-\alpha-1+\alpha+\gamma}{1-\alpha+\gamma}} \rightarrow y = \tilde{y} \cdot A^{\frac{1-\alpha}{1-\alpha+\gamma}} \cdot L^{\frac{-\gamma}{1-\alpha+\gamma}}$$

Sätt in uttryck för \tilde{y} i uttrycket ovan:

$$y = \left(\frac{s}{n+g+\delta}\right)^{\frac{\alpha}{1-\alpha}} \cdot A^{\frac{\gamma}{1-\alpha+\gamma}} \cdot \frac{L_Y}{L^{1-\alpha+\gamma}} \cdot P^{\frac{-\gamma}{1-\alpha}} \cdot A^{\frac{1-\alpha}{1-\alpha+\gamma}} \cdot L^{\frac{-\gamma}{1-\alpha+\gamma}}$$

$$y = \left(\frac{s}{n+g+\delta}\right)^{\frac{\alpha}{1-\alpha}} \cdot A^{\frac{\gamma+1-\alpha}{1-\alpha+\gamma}} \cdot \frac{L_Y}{L^{1-\alpha+\gamma}} \cdot \frac{1}{L^{\frac{\gamma}{1-\alpha+\gamma}}} \cdot P^{\frac{-\gamma}{1-\alpha}}$$

BNP i jämvikt:

$$y = \left(\frac{s}{n+g+\delta}\right)^{\frac{\alpha}{1-\alpha}} \cdot A \cdot \frac{L_Y}{L} \cdot P^{\frac{-\gamma}{1-\alpha}}$$