



LUNDS UNIVERSITET
Ekonomihögskolan

Klimatnotet och Sveriges ekonomiska tillväxt

En simulering över dess möjliga påverkan samt
motverkande åtgärder

Kandidatuppsats VT2017

Josefine Olsson

Handledare: Pontus Hansson

Ekonomie Kandidatprogrammet

Nationalekonomiska institutionen

2017-05-24

Abstract

This thesis aims to analyse the effects on the Swedish economic growth as a result of growing carbon dioxide emissions during the period of 2017-2060. As being one of the Nordic countries, predicted to be one of the few least affected countries by global warming, Sweden will still most likely face the challenges of rising sea levels and more extreme weather events that will cause damages on infrastructure and buildings. Earlier research is ambiguous suggesting that most countries will experience lower economic growth due to global warming while other research suggest that only poor countries will be affected significantly.

By using an augmented version of the Solow model with technology, several simulations have been made to analyse the economic outcomes due to carbon dioxide emissions. Carbon dioxide emissions were assumed to increase depreciation for the parts of physical capital, which was considered more likely to be affected by climate change. Control measures such as environmental subventions, programmes that aim to increase energy efficiency and environmental R&D were also included in the model.

The results show that carbon dioxide emissions will lower GDP per capita significantly both with and without environmental control measures. However, all control measures helped lowering carbon dioxide emissions in Sweden. The results therefore suggest that it's not economically motivated for the Swedish authorities to invest in such control measures. Investments in environmental control measures should however still be made to lower the risk of experiencing negative long-term effects on economic growth after the time studied in this paper.

Keywords: Climate Change, Control Measures, Economic Growth, Growth Theory, Physical Capital

Nyckelord: Ekonomisk tillväxt, Klimatförändringar, Realkapital, Styrmedel, Tillväxtmodell

Innehållsförteckning

1. Inledning	1
2. Tidigare forskning	3
3. Ekonomiska styrmedel	5
3.1. Miljösubventioner.....	5
3.2. Energieffektivisering	5
3.3. Miljöforskning.....	6
4. Teoretisk modell	7
4.1. Produktionsfunktionen.....	8
4.2. Realkapital.....	9
4.3. Teknologi	12
4.4. Modellens jämvikt	13
4.4.1. Tillväxttakt BNP per capita.....	13
4.4.2. Tillväxttakt miljövänlig teknologi.....	13
4.4.3. BNP per capita i jämvikt.....	14
5. Metod	16
6. Ingångsvärden	18
6.1. BNP	18
6.2. Realkapital.....	19
6.3. Arbetskraft.....	20
6.4. Teknologi	21
6.5. Koldioxidutsläpp	22
6.6. Styrmedel	22
6.7. Parametrar och övriga variabler	23
7. Resultat	24
7.1. Simulering 1 - Inga styrmedel.....	24
7.2. Simulering 2 - Miljösubventioner.....	25
7.3. Simulering 3 - Energieffektivisering	26
7.4. Simulering 4 - Miljöforskning.....	27
7.5. Simulering 5 - Kombination	28
7.6. Känslighetsanalys.....	29
8. Analys och diskussion	30
8.1. Simuleringen och dess effekter.....	30
8.2. Rekommenderade åtgärder	32
8.3. Framtida forskning.....	33
9. Slutsats	34
Referenser	35
Appendix A	37
A.1. Funktioner	37
Appendix B	39
B.1. Härledning tillväxttakt.....	39
B.2. Härledning modellens jämvikt.....	42
B.3. Härledning sparkvoter.....	45

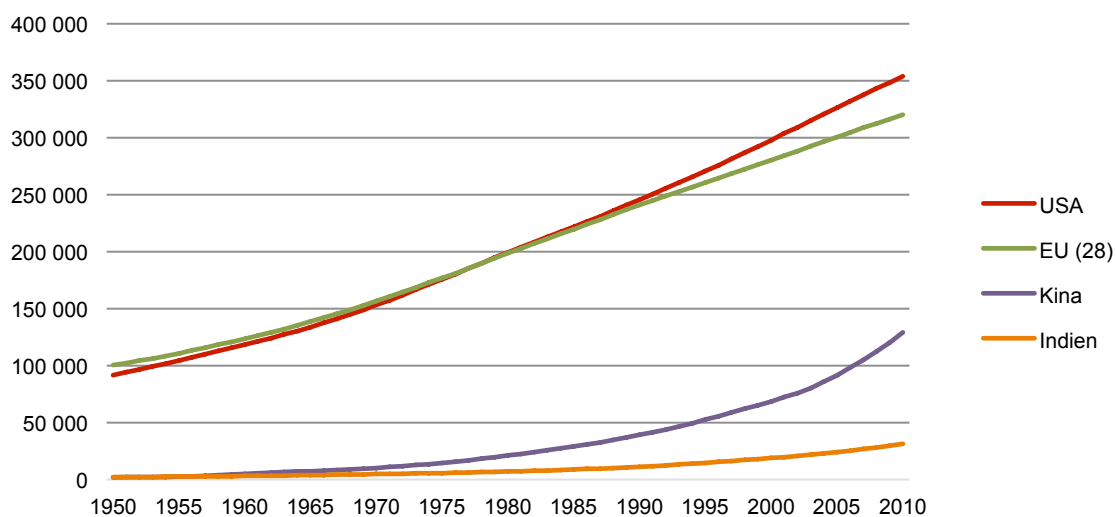
Appendix C	48
C.1. Datasammanställning	48
C.2. Data – BNP	50
C.3. Data - Koldioxidutsläpp	51
C.4. Data - Simulering 1	52
C.5. Data - Simulering 2.....	54
C.6. Data - Simulering 3.....	56
C.7. Data - Simulering 4.....	58
C.8. Data - Simulering 5.....	60

1. Inledning

Idag kan vi nästan dagligen läsa om eller själva t o m uppleva de effekter som klimatförändringarna medför. Det finns även blandade åsikter om hur de nordiska länderna kommer att påverkas av klimatförändringarna, där en del analytiker menar att dessa kommer uppleva positiva effekter på kort sikt som en följd av längre skördesäsong och ökade möjligheter för vattenkraft (Stern, 2006, s 5). Dock finns det flera som argumenterar för att den långsiktiga nettoeffekten kommer att bli negativ till följd av torka, ökad erosion och extrema väderhändelser (Stern, 2006, ss 168-575; Burke, Hsiang och Miguel, 2015, ss 235-239).

Sveriges regering bedriver en omfattande verksamhet i att minska landets koldioxidutsläpp genom införandet av miljömotiverade styrmedel (OECD, 2014, s 67). Flera internationella avtal såsom Parisavtalet har träffats för att stärka arbetet med att minska koldioxidutsläpp, och där nämnda avtal har till uppgift att säkerställa att en temperaturhöjning om 2°C inte överstigs (Regeringen, 2017). Faktum kvarstår dock att även om alla länder idag minskar sina utsläpp till minimum, så kommer det historiska ackumulerade utsläppet ändå att leda till en viss temperaturhöjning som kommer att påverka vårt samhälle idag och i framtiden (se diagram 1.1).

Diagram 1.1. Ackumulerat koldioxidutsläpp av utvalda regioner (Mt)



Källa*: Skapad av författare

*Data hämtad från CAIT Climate Data Explorer (2015)

Med ovanstående bakgrund är uppsatsens syfte att analysera hur klimatförändringarna och miljömotiverade styrmedel kan påverka ekonomisk tillväxt. Uppsatsen kommer, genom att utföra flera simuleringar med olika antaganden om styrmedlens storlek, studera hur BNP per capita utvecklas på lång sikt i jämvikt.

Uppsatsens frågeställning blir således ”Vad blir Sveriges BNP per capita och ekonomiska tillväxt under perioden år 2017-2060 till följd av klimatförändringarna om styrmedel för att stävja koldioxidutsläpp införs idag?”.

För att kunna undersöka ovanstående frågeställning har en modell med Solow- och Romer-modellen som grund tagits fram. Modellen beskriver realkapital som den enda variabel i Sverige som påverkas negativt av ökade koldioxidutsläpp till följd av ökad depreciering. Den ökade deprecieringen antas bero på extrema väderhändelser samt erosion som kommer att innebära ökad förslitning på byggnader och infrastruktur. Variabler för styrmedel såsom miljösubventioner, energieffektivisering och miljöforskning har även inkluderats i modellen för att se hur dessa kan minska koldioxidutsläppen.

Resultatet vittnar om att Sverige kommer att uppleva en betydande nedgång i BNP per capita p g a koldioxidutsläpp. Införandet av miljömotiverade styrmedel kommer inte heller leda till högre BNP per capita i jämvikt trots att koldioxidutsläppen då minskar. Kostnaden för att investera i styrmedel visar sig bli högre än den vinst som landet får i form av lägre depreciering på realkapital. Därför kommer alla investeringar i sådana styrmedel att leda till att BNP per capita blir lägre än vad det skulle vara om styrmedel inte infördes.

Uppsatsen kommer först att ta upp relevant tidigare forskning (kapitel 2) inom området klimatförändringar och ekonomisk tillväxt för att sedan gå vidare till en presentation av de ekonomiska styrmedel som används i modellen (kapitel 3). I kapitel 4 kommer den grundläggande teorin samt den utvidgade modellen att tas upp. Uppsatsen kommer därefter att ta upp metoden för analysen i kapitel 5. Data som har använts i simuleringarna behandlas i kapitel 6 och i kapitel 7 presenteras resultaten från simuleringarna. Kapitel 8 tar upp diskussionen som följd av simuleringarna samt diskuterar modellens antaganden och rekommenderade åtgärder. Det avslutande kapitlet (kapitel 9) tar upp uppsatsens slutsats. I slutet av uppsatsen kan man hitta referenslistan samt appendix med härledningar till data och uträkningar.

2. Tidigare forskning

Hotet från klimatförändringarna har först på senare år uppmärksammats på bred front på alla nivåer i samhället. Därför är det mycket aktuellt att titta på vilka effekter klimatförändringarna kan ha både socialt och ekonomiskt på samhället. Existerande forskning är ur ett ekonomiskt perspektiv i många avseenden mycket ung. En av de tidigare studierna av Holtz-Eakin och Selden (1992, ss 5-21) beskriver sambandet mellan koldioxidutsläpp och ekonomisk tillväxt. Genom att använda global paneldata undersökte de sambandet mellan BNP per capita och koldioxidutsläpp. Det funna sambandet användes sedan för att förutspå framtida globala koldioxidutsläpp genom olika antaganden om inkomst och befolkningstillväxt. Studien kommer fram till fyra slutsatser där den första slutsatsen beskriver hur den marginella benägenheten för koldioxidutsläpp minskar desto mer ett land utvecklas. Den andra slutsatsen kommer fram till att trots ovanstående slutsats, kommer utsläppen att fortsätta att växa med en årlig takt på 1,8 %. Tredje och fjärde slutsatserna kommer fram till att fortsatt ökning av utsläpp beror framförallt på snabb befolknings- och ekonomisk tillväxt i utvecklingsländer, samt att trots detta kommer den ekonomiska utvecklingstakten inte ändra framtida koldioxidutsläpp.

Vidare undersöker studien Dell, Jones och Olken (2011) hur historiska temperaturförändringar inom länder har påverkat och kommer att påverka ekonomiska utfall. Studien tar fram data för temperatur och nederbörd för alla länder i världen under perioden 1950-2003 som sedan kombineras med produktion. Genom att sedan titta på det historiska sambandet mellan ett lands nederbörd och temperatur samt ekonomisk prestation kan författarna se om temperaturförändringar har påverkat det ekonomiska utfallet. Studien kunde påvisa signifikanta effekter på den ekonomiska tillväxten i fattiga länder vid drastiska förändringar i temperaturen. Dell, Jones och Olken kan även förutom inom jordbruket, påvisa negativa effekter på politisk stabilitet och industriell produktion i fattiga länder. Studien argumenterar dock för att det är av betydelse att i framtida studier kunna inkorporera variabler som inte endast innefattar temperaturändringar på kort sikt (ss 26-27).

Forskning av Stern (2006) visar på betydelsen av starka och snabba åtgärder för att stävja utsläppen på lång sikt. Fortsatt business-as-usual kan komma att ha allvarliga effekter samt redan ackumulerat koldioxidutsläpp kommer att ha allvarliga ekonomiska földeffekter som är oåterkalliga. Genom att använda en modell för att inkludera risken för olika utfall baserade på den senaste kvantitativa forskningen om ekonomiska kostnader, kommer Stern fram till att Afrika och Mellanöstern är de regioner som kommer att uppleva högst kostnader (ss 153-158).

Han argumenterar även för att den globala uppvärmningen upp till 2-3°C i nordliga regioner eventuellt kan leda till nettovinster genom längre odlingsperioder och lägre dödlighet under vintertid. Dock kommer även dessa regioner uppleva snabbast förändring i temperaturen vilket kan leda till endast en vinst på kort sikt (s 5). I korthet kommer rapporten fram till att en ökning av medeltemperaturen om 5°C till år 2100 kan leda till en minskning av BNP till 5-20 % men att det endast skulle kosta 1 % av världens samlade BNP till 2050 att minska växthusgaserna (ss 168-575).

Annan forskning av Tol (2009) hävdar att nuvarande uppskattningar av klimatförändringarnas kostnader är mycket otillräckliga då framförallt de indirekta effekterna av klimatförändringarna på ekonomisk utveckling oftast inte tas med. De indirekta effekterna kan innefatta konflikter, klimatförändringarnas effekter efter år 2100 e t c . Tol jämför och kombinerar data från existerande studier och finner att klimatförändringar i tidigt stadie förbättrar den ekonomiska välfärden men att detta sedan sjunker och senare leder till negativa effekter (ss 29-51).

En av de allra nyaste studierna av Burke, Hsiang och Miguel (2015) undersöker hur produktionen har påverkats av temperatur- och nederbördsförändringar i 166 länder mellan år 1960-2010. De undersöker även vad de historiska förändringarna kan säga om framtida prognoser. För att kunna svara på denna fråga gjorde de prognoser av hur ländernas ekonomier kommer att utvecklas med och utan klimatförändringarna. De kommer fram till att klimatförändringarna har signifikant påverkat både rika och fattiga länders ekonomiska tillväxt historiskt och att det till största sannolikhet även kommer att ske i framtiden (ss 235-239).

En konsensus verkar finnas om att fattiga länder i Afrika och Mellanöstern kommer att påverkas mest ur ett ekonomiskt perspektiv av klimatförändringarna. Tidigare forskning verkar även vara överens om att klimatförändringarna kommer att påverka alla länders produktion i någon utsträckning, men att det finns delade åsikter i vilken utsträckning detta kommer att ske i de rika länderna. Tidigare forskning fastslår även att koldioxidutsläppen kommer att fortsätta att öka framförallt till följd av ökad befolknings- samt ekonomisk tillväxt, men att det går att minska dessa om styrmedel sätts in i tid. Viss forskning hävdar att de kortsiktiga ekonomiska effekterna av klimatförändringar kan vara positiva för en del länder, men att det på lång sikt kommer ge en negativ effekt på ekonomisk tillväxt. Få tidigare studier verkar titta på de indirekta effekterna av klimatförändringar och vad dessa kan ge för utfall på ett lands ekonomiska utveckling.

3. Ekonomiska styrmedel

Det finns en mängd olika styrmedel och metoder för att på olika sätt minska utsläpp och stävja den globala uppvärmningen. Många av dessa tenderar vara av ekonomisk karaktär såsom olika typer av skatter, subventioner och bidrag. Det finns dock även ett stort urval av andra styrmedel som kan vara administrativa, informations- eller forskningsbaserade. Ekonomiska styrmedel tenderar att ha en mer direkt verkan på utsläpp medan andra kan ta olika lång tid beroende på syftet samt metoden hos styrmedlet. De styrmedel som tas upp nedan är de styrmedel som kommer att användas i modellen samt efterföljande simuleringar för att undersöka uppsatsens frågeställning.

3.1. Miljösubventioner

Subventioner verkar för att uppmuntra ett visst beteende. I detta fall ska miljösubventioner därför verka för att uppmuntra att producera eller konsumera mer miljövänligt (Naturvårdsverket, 2005, s 8). En subvention ser till att priserna hålls under marknadspriset och motiveras ofta av att efterfrågan inte är tillräckligt stor så att produktionen blir tillräckligt lönsam. Subventioner kan även leda till välfärd förluster då de hindrar marknaden från att uppnå en optimal jämvikt (Bergh och Jakobsson, 2013, s 275). Detta förklaras även av OECD (2014) som argumenterar för att subventioner inte är det mest kostnadseffektiva styrmedlet och att de miljömässiga investeringarna förmodligen hade gjorts ändå.

Sverige har länge använt sig miljösubventioner för att minska påverkan på miljön. En stor del av miljösubventionerna går till miljöförbättrande åtgärder inom jordbruket, som står för en oproportionerligt stor del av negativ klimatpåverkan i Sverige. Dock finns det ett behov av att effektivisera systemet då många subventioner verkar överlappande (OECD, 2014).

3.2. Energieffektivisering

För att öka energieffektiviteten finns det flera metoder som kan användas. En del energipolitiska styrmedel har till syfte att ge stöd till företag att kartlägga energianvändningen och studier för att utföra investeringar för energieffektivisering. Satsningar kan även göras för att utbilda kommuner och landsting i frågan, för att stödja klimatsmart nyproduktion (Naturvårdsverket, 2017).

Sveriges energiintensitet ligger idag i linje med OECD:s genomsnitt men högre än flera andra

europiska länder. Detta p g a det stora uppvärmningsbehovet som finns i landet samt tunga industrier (OECD, 2014). Sektorn bostäder och service står för 40 % av Sveriges totala energianvändning och inom sektorn industri står ett fåtal stora aktörer såsom pappers-, järn- och stålindustri för den största delen av energianvändningen (Naturvårdsverket, 2017). Energiintensiteten har dock sjunkit sedan år 2000 medan den ekonomiska tillväxten har fortsatt uppåt. Detta beror på en intensiv politik för att minska energianvändningen i flera sektorer (OECD, 2014).

För att kunna minska energiförbrukningen krävs det ofta ombyggnationer av byggnader och lokaler samt byte av uppvärmningsmetoder såsom en omställning till fjärrvärme (OECD, 2014). Industrisektorn kräver dessutom en hög energiförbrukning vid produktion, vilket skulle innebära betydligt lägre kostnader om energieffektiviteten ökade (Naturvårdsverket, 2017).

3.3. Miljöforskning

Miljöforskning används för att få fram olika tekniker som har till syfte att minska koldioxidutsläpp samt det redan ackumulerade utsläppet. Sådana tekniker kan t ex vara biobränsle, smarta nät samt lagring av koldioxid (OECD, 2014)

Sverige är internationellt sett en stor forskarnation och hade år 2012 fjärde högsta bruttonationalutgifter till forskning och utveckling inom OECD. I Sverige står industrin bakom en stor del av forskningsinsatserna vilket anses unikt i världen. Dock är Sverige den enda ledande forskningsnationen som har minskat forskningsintensiteten under det senaste årtiondet. Detta beror på att många utlandsägda företags FoU-investeringar flyttar utomlands (OECD, 2014).

Miljöforskning finansieras med anslag från staten och privata aktörer. Statens forskningsbudget har på senare år ökat p g a flera initiativ med syfte att på sikt kunna uppnå de miljömål som satts upp i samband med FN:s klimatmöte i Paris (Regeringen, 2016).

4. Teoretisk modell

Tidigare forskning påvisar att det finns ett behov av att undersöka och analysera uppsatsens frågeställning. Uppsatsens modell som ska göra detta bygger på ekonomen Robert Solows tillväxtmodell. Solow-modellen visar på ett positivt samband mellan teknologisk utveckling och ekonomisk tillväxt. Vad modellen då kunde påvisa var att teknologisk utveckling som en exogen faktor var den främsta drivande faktorn av ekonomisk tillväxt. Produktionsfunktionen för den grundläggande Solow-modellen ser ut som följande,

$$Y = F(K, AL) = K^\alpha(AL)^{1-\alpha} \quad (4.1)$$

där Y är produktion, K är kapital, L är arbetskraft, A är teknologi och $0 \leq \alpha \leq 1$. Ett grundläggande antagande i Solow-modellen är antagandet om kapitalackumulation och hur dess förändring ser ut enligt följande funktion,

$$\dot{K} = sY - \delta K \quad (4.2)$$

där s är sparkvoten och δ är deprecieringstakten. Realkapitalet ökar genom att en viss andel av BNP sparas och investeras samtidigt som en viss förslitning av kapitalet sker som gör att det minskar. Solow-modellen förklarar dock inte vad som omfattar teknologi och vilka faktorer som innebär en ökad tillväxt. Variabeln är därmed exogen och kan inte härledas i modellen.

För att kunna titta på hur Sveriges ekonomiska tillväxt kommer se ut till följd av klimatförändringarna har jag valt att utvidga Solow-modellen nämnd ovan. Eftersom tidigare forskning påvisar att Sverige framförallt kommer att uppleva klimatförändringarna i form av mer extremt väder samt ökad erosion, har jag valt realkapital som den enda variabel i modellen som direkt påverkas negativt av koldioxidutsläpp i form av ökad förslitning. Det är även rimligt att anta att all realkapital inte kommer att påverkas negativt av klimatförändringar såsom maskiner och immateriella tillgångar. Därför delar min utvidgade modell upp realkapitalet som återfinns i Solow-modellen i två delar.

Det är även rimligt att anta att all produktion inte bidrar till koldioxidutsläpp. Därför har den utvidgade modellen delats upp i två produktionsfunktioner där den ena produktionsfunktionen inte bidrar till koldioxidutsläpp och den andra gör det. Mer ingående om detta återfinns i nästa avsnitt samt i kapitel 6.

4.1. Produktionsfunktionen

Uttrycken nedan visar produktionsfunktionen för min utvidgade modell. Ekvation 4.3 visar hur Sveriges totala BNP (Y) har delats upp i två produktionsfunktioner, Y_v och Y_f , i enlighet med diskussionen i föregående avsnitt. Y_v representerar den del av den totala produktionen som inte bidrar till koldioxidutsläpp, d v s den är miljövänlig (v). Y_f är den del av produktionen som är miljöfarlig (f) och som därmed bidrar till koldioxidutsläpp. Uttrycket $(1 - \eta - \gamma - \sigma)$ beskriver kostnaderna av att införa miljömotiverade styrmedel. I min utvidgade modell har jag valt att införa tre sådana styrmedel: miljösubventioner (η), satsningar på förbättrad energieffektivitet (γ) samt miljöforskning (σ). Dessa anses inte vara en naturlig del av Y_i , då Y_i är inkomsterna innan miljöförbättrande styrmedel har införts. Jag kommer därför benämna uttrycket $(Y_i (1 - \eta - \gamma - \sigma))$ i ekvation 4.3 som Y_{tot} i resterande del av uppsatsen, då Y_{tot} kommer att representera de inkomster som blir över efter att miljöförbättrande styrmedel har satts in.

Alla ekvationer nedan går att finna i Appendix A.

$$Y_i (1 - \eta - \gamma - \sigma) = (Y_v + Y_f)(1 - \eta - \gamma - \sigma) \quad (4.3)$$

Ekvation 4.4 visar hur produktionsfunktionen för min utvidgade modell ser ut. I likhet med Solow-modellen beror produktionen på realkapital, teknologi och arbetskraft. Den miljövänliga delen av den totala produktionen har betecknats med notationen v och den miljöfarliga delen med f . I den utvidgade modellen har realkapitalet i enlighet med diskussionen i tidigare avsnitt, delats upp i K_1 och K_2 i både Y_v och Y_f . Variabeln K_1 är här den del av realkapitalet som inte kommer att påverkas av klimatförändringar d v s maskiner och immateriella tillgångar. Variabeln K_2 är istället den del av realkapitalet som kommer påverkas av klimatförändringar d v s byggnader och infrastruktur. På så sätt blir $K_{1,v}$ och $K_{1,f}$ realkapital som inte är klimatkänsligt

inom miljövänlig respektive miljöfarlig produktion, och $K_{2,v}$ samt $K_{2,f}$ realkapital som är klimatkänsligt inom miljövänlig respektive miljöfarlig produktion.

$$Y_{\text{tot}} = (K_{1,v}^\alpha K_{2,v}^\mu (A_v L_{Y,v})^{1-\alpha-\mu} + K_{1,f}^\alpha K_{2,f}^\mu (A_f L_f)^{1-\alpha-\mu}) (1 - \eta - \gamma - \sigma) \quad (4.4)$$

Parametrarna α och μ antar värdena $0 \leq \alpha \leq 1$ och $0 \leq \mu \leq 1$, och beskriver hur viktigt realkapitalet är i produktionen.

Variablerna A_v och A_f beskriver teknologi i miljövänlig respektive miljöfarlig produktion. Variabeln $L_{Y,v}$ beskriver arbetskraft inom varu- och tjänsteproduktion i miljövänlig produktion. Variabeln L_f beskriver total arbetskraft i miljöfarlig produktion. Mer ingående om denna uppdelning tas upp i avsnitt 4.3.

Produktionsfunktionen tar följande uttryck i BNP per capita (för härledning se Appendix B), vilket även är vad simuleringen i kapitel 8 kommer att bygga på,

$$y_{\text{tot}} = (k_{1,v}^\alpha k_{2,v}^\mu A_v^{1-\alpha-\mu} \left(\frac{L_{Y,v}}{L}\right)^{1-\alpha-\mu} + k_{1,f}^\alpha k_{2,f}^\mu A_f^{1-\alpha-\mu} \left(\frac{L_f}{L}\right)^{1-\alpha-\mu}) (1 - \eta - \gamma - \sigma) \quad (4.5)$$

4.2. Realkapital

Variabeln K_1 kommer att följa samma antagande som Solow-modellen gällande dess kapitalackumulation enligt ekvation 4.2 (se Appendix A). I den utvidgade modellen har dock K_2 antagits ha en annan deprecieringstakt än K_1 , vilket ger följande uttryck för respektive del av det klimatkänsliga realkapitalet,

$$\dot{k}_{2,v} = s_{2,v} y_{\text{tot}} - \delta_2 k_{2,v} \quad (4.6)$$

$$\dot{k}_{2,f} = s_{2,f} y_{\text{tot}} - \delta_2 k_{2,f} \quad (4.7)$$

I kapitalackumuleringen är $s_{2,v}$ sparkvoten för klimatkänsligt realkapital inom miljövänlig produktion dvs hur stor andel av total BNP som investeras i $K_{2,v}$. Sparkvoten $s_{2,f}$ är därmed hur stor andel av total BNP som investeras i klimatkänsligt realkapital i miljöfarlig produktion ($K_{2,f}$). Deprecieringstakten (δ_2) antas i den utvidgade modellen delvis bero på ackumulerat koldioxidutsläpp och antar därför följande uttryck,

$$\delta_2 = \delta_1 + \delta_u \lambda \quad (4.8)$$

Deprecieringstakten (δ_2) för K_2 beror enligt uttrycket ovan på δ_1 som är den depreciering av realkapitalet som sker oberoende av ackumulerat koldioxidutsläpp. Variabeln λ beskriver det ackumulerade koldioxidutsläppet och beskrivs som $0 \leq \lambda \leq 1$. Variabeln δ_u beskriver hur mycket deprecieringen ökar när λ växer. Enligt modellen är $0 \leq \delta_u \leq 1$ och $0 \leq \delta_1 \leq 1$. Det ackumulerade koldioxidutsläppet λ antar följande uttryck,

$$\lambda = \left(\int_{t_0}^t x(\rho) - \beta x_0 d\rho \right) / \left(1 + \int_{t_0}^t x(\rho) - \beta x_0 d\rho \right) \quad (4.9)$$

Ekvation 4.9 beskriver det ackumulerade koldioxidutsläppen i atmosfären. Variabeln β beskriver den naturliga absorberingen av koldioxid som sker av hav, skog och växter under ett visst år. Uttrycket βx_0 beskriver därför att absorberingstakten är en konstant utifrån ett visst års nivåer. Modellen antar $0 \leq \beta \leq 1$. Funktionen $x(\rho)$ beskriver flödet av koldioxidutsläpp som beror på variabeln ρ , som i sin tur är en variabel som varierar mellan tiden t_0 och t . Uttrycket i nämnaren i λ har inkluderats för att säkerställa att λ inte kan anta ett värde större än 1, eftersom deprecieringstakten inte heller kan överstiga 1.

$$x = Y_f^\theta (1 - a\eta)(1 - s_{tot})\Omega \quad (4.10)$$

Ekvation 4.10 beskriver flödet av koldioxidutsläpp (x). Koldioxidutsläpp antas i min utvidgade modell bero på Y_f eftersom detta är den miljöfarliga produktionen som bidrar till

koldioxidutsläpp. Koldioxidutsläpp ökar även på grund av konsumtion $(1 - s_{tot})$ och energiineffektivitet Ω . Variabeln ϑ är en konstant som beskriver den avtagande avkastningen i utsläpp i miljöfarlig produktion. Termen $(1 - \eta)$ beskriver hur x minskar när miljösubventioner förs in för att ställa om miljöfarlig produktion till miljövänlig produktion. Variabeln a har lagts in som en förstärkare av miljösubventionen då det är rimligt att anta att subventionen kan ge större effekt på koldioxidutsläpp än bara kostnaden att införa den.

$$\Omega = \Omega_0 + (1 - b\gamma)\varphi \quad (4.11)$$

Ovanstående ekvation beskriver energiineffektivitet. Variabeln Ω_0 har lagts till som den ineffektivitet i energianvändning som alltid kommer att finnas oavsett hur mycket resurser som satsas på att minska den. Variabeln φ är en konstant och beskriver den energiineffektivitet som kan variera och som går att minska genom energieffektiviseringsprogram. Det kvarvarande uttrycket $(1 - \gamma)$ beskriver styrmedel för att öka effektiviteten hos Ω och innebär att desto högre satsningar (γ), desto lägre blir φ . I likhet med tidigare har b lagts till för att förstärka dess effekt på koldioxidutsläpp.

Jag har i modellen antagit att Sverige endast påverkas av koldioxidutsläpp som landet själv har släppt ut och inte av de utsläpp som sker från övriga länder. Detta är självfallet inte ett realistiskt förhållningssätt då, enligt min modell, deprecieringen av realkapital borde öka ännu mer till följd av ökade utsläpp av omvärlden. Detta eftersom luft är en publik vara och som inte går att isolera till ett land. Dock har denna uppsats till syfte att undersöka hur Sveriges ekonomiska tillväxt kommer att påverkas av koldioxidutsläpp samt hur utvalda miljöförbättrande styrmedel påverkar denna utveckling. Om jag därför ska kunna observera signifikanta förändringar av utsläpp till följd av införandet av styrmedel i Sverige, behöver jag begränsa detta till att endast gälla Sveriges utsläpp. Om modellen istället hade inkluderat hela världens utsläpp hade det lett till att Sveriges investeringar i styrmedel hade haft en obefintlig effekt på utsläppsgraden. Jag kan därför argumentera för att modellen håller om jag förutsätter att alla länder tar till liknande åtgärder som Sverige eller om större regioner som t e x EU gör detta. Då kan världen eller regionen i fråga ses som en enhet, där de totala styrmedlen kan ha en signifikant påverkan på det totala koldioxidutsläppet i världen.

4.3. Teknologi

I Solow-modellen förklaras teknologi exogent d v s krafter utanför modellen verkar för att teknologi växer på lång sikt. I den utvidgade modellen har jag dock valt att göra A_v endogen för att kunna titta på hur den miljövänliga produktionen växer över tiden i jämvikt med hjälp av satsningar på miljöforskning. Som grund till detta har Romer-modellen använts (Jones och Vollrath, 2013, s 99). Detta innebär att den miljövänliga produktionen styrs av arbetskraft inom varu- och tjänsteproduktionssektorn ($L_{Y,v}$). Teknologiacumulation för min utvidgade modell ser därmed ut enligt följande,

$$\dot{A}_v = \theta A_v^\phi L_{A,v}^\omega (1 + \sigma)^\psi \quad (4.12)$$

I funktionen ovan är θ en konstant som beskriver den teknologiska produktiviteten, ϕ är möjligheterna för ny teknologi och som i sin tur beror på den befintliga teknologin. I modellen är $0 < \phi < 1$. Uttrycket $(1 + \sigma)^\psi$ beskriver hur satsningar på miljöforskningar påverkar utvecklingen av teknologi positivt och ψ beskriver den avtagande avkastningen i forskningssatsningar. I modellen är $0 < \psi < 1$. $L_{A,v}$ är arbetskraft i forskningssektorn och ω är avtagande avkastning i forskning och beskrivs i modellen som $0 < \omega < 1$.

Min modell reglerar inte den tidsfördröjning som investeringar i miljöforskning ofta har, och inkorporerar inte heller att forskning kan leda till nya teknologier som i sin tur minskar utsläpp. Istället minskar miljöforskning i min modell BNP indirekt, eftersom det blir en direkt kostnad på miljöfarlig produktion att investera. I sin tur leder det till att koldioxidutsläpp minskar då detta beror på miljöfarlig produktion som kan ses i ekvation 4.10. Det finns alltså ingen variabel för styrmedlet miljöforskning i nämnda ekvation, vilket leder till att det blir svårt att se någon direkt positiv effekt av investeringar i detta. Varför denna kompromiss har gjorts är för att avgränsa modellen och göra det tydligare vilka direkta effekter styrmedel och koldioxidutsläpp har på Sveriges tillväxt, samt att det är svårt att veta hur effektiv framtida framforskade tekniker kommer att vara inom området. På så sätt fås en mer konkret bild fram av vilka åtgärder som kan vara till nytta idag och 40 år framåt, och inte vilka styrmedel som har större nytta efter perioden i fråga.

4.4. Modellens jämvikt

För att kunna analysera den ekonomiska tillväxten måste man först identifiera vilka variabler som är viktiga för att nå tillväxt på lång sikt. Tillväxtteorin bygger traditionellt på att hitta det jämviktsläge som en modell kommer att få på lång sikt. Jämviktsläget m a o steady state är därför den ekonomiska nivå en ekonomi når på lång sikt. I jämvikt växer alla variabler konstant men inte nödvändigtvis i samma takt. Detta kallas att de växer längs den balanserade tillväxtbanan. Variablerna kommer att fortsätta att växa i konstant takt i steady state tills någon variabel eller parameter förändras så att ekonomin påverkas (Jones och Vollrath, 2002, s 38).

Alla nedanstående beräkningar och härledningar går att finna i Appendix B.

4.4.1. Tillväxttakt BNP per capita

I likhet med den traditionella tillväxtteorin med teknologi ser tillväxttakten i den utvidgade modellen ut som följande,

$$g_{y_{tot}} = g_{K_{1,v}} = g_{K_{2,v}} = g_{K_{1,f}} = g_{K_{2,f}} = g_{y_v} = g_{y_f} = h \cdot g_{A_f} + r \cdot g_{A_v} \quad (4.13)$$

Total BNP per capita växer alltså i samma takt längs den balanserade tillväxtbanan som realkapital i både miljövänlig och miljöfarlig produktion, och BNP per capita i respektive produktion (Jones och Vollrath, 2002, s 38). Total BNP per capita växer också i samma takt som det vägda medelvärdet av teknologi i miljövänlig och miljöfarlig produktion. Variablerna h och r representerar alltså andelarna som respektive sektor utgör av den totala produktionen.

4.4.2. Tillväxttakt miljövänlig teknologi

Eftersom det är endast i den miljövänliga produktionsfunktionen som teknologi förklaras endogent, kan tillväxttakten endast härledas i A_v . I jämvikt är således tillväxttakten,

$$g_{A_v} = \frac{\omega n}{1-\phi} \quad (4.14)$$

Tillväxttakten i jämvikt för A_v drivs därmed av befolkningstillväxten, avtagande avkastning i forskning samt befintlig teknologi.

4.4.3. BNP per capita i jämvikt

Nedan kan man se hur total BNP per capita påverkas av de olika variablerna i jämvikt.

$$y_{\text{tot}}^* = \left[\left(\frac{s_{1,v}(1-\eta-\gamma-\sigma)}{n_v+g_{A,v}+\delta_1} \right)^{\frac{\alpha}{1-\alpha-\mu}} \left(\frac{s_{2,v}(1-\eta-\gamma-\sigma)}{n_v+g_{A,v}+\delta_2} \right)^{\frac{\mu}{1-\alpha-\mu}} \left(\frac{L_{Y,v}}{L} \right) A_v + \left(\frac{s_{1,f}(1-\eta-\gamma-\sigma)}{n_f+g_{A,f}+\delta_1} \right)^{\frac{\alpha}{1-\alpha-\mu}} \left(\frac{s_{2,f}(1-\eta-\gamma-\sigma)}{n_f+g_{A,f}+\delta_2} \right)^{\frac{\mu}{1-\alpha-\mu}} \left(\frac{L_f}{L} \right) A_f \right] (1-\eta-\gamma-\sigma) \quad (4.15)$$

Resultatet ovan visar att inkomsterna påverkas positivt av en hög sparkvot ($s_{1,v}$, $s_{1,f}$, $s_{2,v}$ och $s_{2,f}$) både direkt men även indirekt genom att minska den totala konsumtionen. Den totala konsumtionen ökar i sin tur koldioxidutsläppen, vilket leder till en ökning i δ_2 i ekvation 4.6 och 4.7. Inkomsterna påverkas även negativt av befolkningstillväxten, tillväxttakten i teknologi samt deprecieringstakten av realkapitalet. Befolkningstillväxtens negativa påverkan beror på att en högre befolkningstillväxt kräver större investeringar för att hålla kvoten mellan realkapital och arbetskraft konstant i kapitalackumulationsfunktionen (se ekvation 4.2) i jämvikt.

Teknologi verkar både som en positiv och negativ kraft i jämvikt. Teknologin A_v och A_f till höger om de båda produktionsfunktionerna ger högre BNP per capita i jämvikt men tillväxttakten (g_A) i teknologi ger lägre inkomster då hög tillväxttakt i teknologi i likhet med befolkningstillväxt kräver större investeringar. De positiva effekterna av teknologi är dock högre än de negativa och det är för att A är mycket större än g_A (Jones och Vollrath, 2002, s 33). Den miljövänliga delen av jämviktsuttrycket drivs även av kvoten mellan arbetskraft i varu- och tjänsteproduktionssektorn samt total arbetskraft i miljövänlig produktion. Eftersom A_v är endogen kommer även jämvikt att bero på arbetskraft i forskningssektorn (se Appendix B.2).

Total BNP per capita påverkas negativt av ackumulerat koldioxidutsläpp i atmosfären genom att den ökar deprecieringen (δ_2) av det klimat känsliga realkapitalet (K_2). Grundläggande depreciering (δ_1) påverkar även jämviktsläget negativt och är i regel mindre än δ_2 . Uttrycket $(1-\eta-\gamma-\sigma)$ i funktionen visar att inkomsterna i jämvikt kommer att bli lägre då investeringar

i styrmedel införs. Dock har $(1 - \eta)$ en positiv inverkan på inkomsterna då den verkar till att styra den miljöfarliga produktionen till miljövänlig produktion, som på sikt leder till lägre depreciering av det miljö känsliga realkapitalet (se ekvation 4.10). På samma sätt verkar $(1 - \gamma)$ för att öka inkomsterna genom att minska energiineffektiviteten som även det kommer att leda till lägre ackumulerat koldioxidutsläpp, och som i sin tur leder till lägre depreciering av det klimatkänsliga realkapitalet (se ekvation 4.11). Slutligen verkar $(1 + \sigma)$ för att öka inkomsterna genom ökade satsningar på miljöforskningar som leder till högre teknologiutveckling (se ekvation 4.12).

5. Metod

För att kunna göra en prognos om den framtida utvecklingen av Sveriges BNP-tillväxt behöver jag göra ett antal simuleringar under olika antaganden. För att kunna göra detta använder jag den utvidgade modellen som ett verktyg för att kunna ta fram olika värden för variablerna och för att sedan beräkna BNP per capita i jämvikt. Simuleringarna kommer att göras för tidsperioden år 2017-2060. Jag vill med detta kunna analysera hur koldioxidutsläpp påverkar deprecieringen av realkapitalet samt hur styrmedel för att motverka utsläppen har för effekt på den ekonomiska tillväxten. Simuleringen kommer att göras på främst BNP per capita för att se den långsiktiga trenden men även på koldioxidutsläpp.

Antagandet att ekonomin befinner sig nära sin jämviktsnivå har gjorts för att kunna se hur de korrigerade variablerna i simuleringarna kommer att påverka tillväxten. Om Sverige inte hade befunnit sig nära jämviktsnivån hade det varit troligt att svängningar i ekonomin skulle kunna komma att påverka analysen negativt. Konvergensen till jämviktsnivån hade gjort att tillväxten hade antingen varit högre eller lägre än tillväxttakten i jämvikt, vilket hade gett att det hade blivit svårare att identifiera de effekter som förändringar i miljömotiverade styrmedel skulle ge.

Jag har valt att göra fem simuleringar.

Simulering 1: Koldioxidutsläpp får verka fritt utan styrmedel.

Simulering 2: Endast miljösubventioner förs in i modellen.

Simulering 3: Endast satsningar på energieffektivitet förs in i modellen.

Simulering 4: Endast satsningar på miljöforskning förs in i modellen.

Simulering 5: Simulering 2-4 kombineras för att se de totala effekterna av styrmedlen.

För att kunna göra simuleringarna bör först en kontroll mot ett reellt värde göras för att säkra så att modellen ger en så nära bild av verkligheten som möjligt. Ett sätt att göra detta är att jämföra modellens tillväxttakt med Sveriges genomsnittliga tillväxttakt för en viss tidsperiod. Modellens genomsnittliga tillväxttakt för BNP per capita för perioden 2017-2060 blir därmed 0,007 % vilket är betydligt lägre än den genomsnittliga tillväxttakten under perioden 1993-2017 som var 2,6 % (Carlgren, 2017). Detta är inte ödesdigert för analysen utan simuleringen kan ändå utföras tillförlitligt då uppsatsen främst har till syfte att undersöka BNP per capita utan koldioxidutsläpp relativt BNP per capita med koldioxidutsläpp samt med miljöförbättrande styrmedel. Att ha i

åtanke att tillväxten förmodligen är lägre än den framtida reella tillväxten kan därför vara en god tanke, men kommer inte innebära att analysen blir opålitlig.

I simulering 1 kommer BNP per capita när koldioxidutsläpp inte antas påverka deprecieringen av realkapital inkluderas samt BNP per capita är koldioxidutsläpp finns men inga styrmedel har förts in. På så vis kan jag få en bra jämförelse mellan de olika scenariona och kan se hur mycket koldioxidutsläpp påverkar BNP per capita utan påverkan av miljöförbättrande styrmedel.

Övriga simuleringar kommer att anta att styrmedel förs in år 2017 och sedan är konstanta under hela perioden som simuleringarna görs på. Alla styrmedel förutom miljösubventioner kommer att anta både högre och lägre värden än grundscenariot, då miljösubventionernas ingångsvärde redan är så pass lågt att det skulle vara svårt att se några effekter av ett ännu lägre värde på detta. På så vis går det att undersöka de långsiktiga effekterna, inom perioden 2017-2060, av införandet av styrmedel och vilka nivåer som är optimala i detta hänseende.

I simuleringarna 2-4 kommer endast ett styrmedel i varje simulering att testas medan de andra antas vara noll. På så vis kan vi isolera variabeln i fråga och se hur denna ensamt påverkar BNP per capita samt koldioxidutsläpp. I den avslutande simuleringen (simulering 5) kommer olika kombinationer av styrmedlen i denna uppsats att föras in. Tre av dessa scenarion kommer att utgå från grundscenariot och sedan ändra endast en variabel för att titta på den samlade effekten på BNP per capita och koldioxidutsläpp. Grundscenariot är det scenario där alla styrmedel antar sina ingångsvärden. Det avslutande scenariot kommer att kombinera alla ändringar som gjorts i simulering 5. Med detta blir det möjligt att se om det finns några kombinationer eller isolerade variabler som kan både gynna tillväxten i BNP per capita samt minska koldioxidutsläppen.

6. Ingångsvärden

Stora delar av de data som har använts i simuleringen har hämtats från Statistiska Centralbyråns databas. Utgångsåret är 2015 då detta är det år som flest värden kunde återfinnas och om det inte har funnits data för detta år på en variabel, har en uppskattning gjorts på värdet med hjälp av historisk data. Simuleringarna i kapitel 7 har dock gjorts från och med år 2017. Oftast har ett genomsnitt på förändringen under de senaste 10 åren tagits fram för att sedan uppskatta det framtida värdet fram till år 2017. För en del variabler och parametrar har det inte funnits data att hämta och då har en uppskattning gjorts med stöd av diverse underlag såsom rapporter, statistik e t c för att få värdet så nära verkligheten som möjligt. All data i kronor nedan beräknas med löpande priser vilket innebär att data beräknas i nominella priser utifrån 2017 års prisnivåer. Alla ingångsvärden går att finna i Appendix C.

6.1. BNP

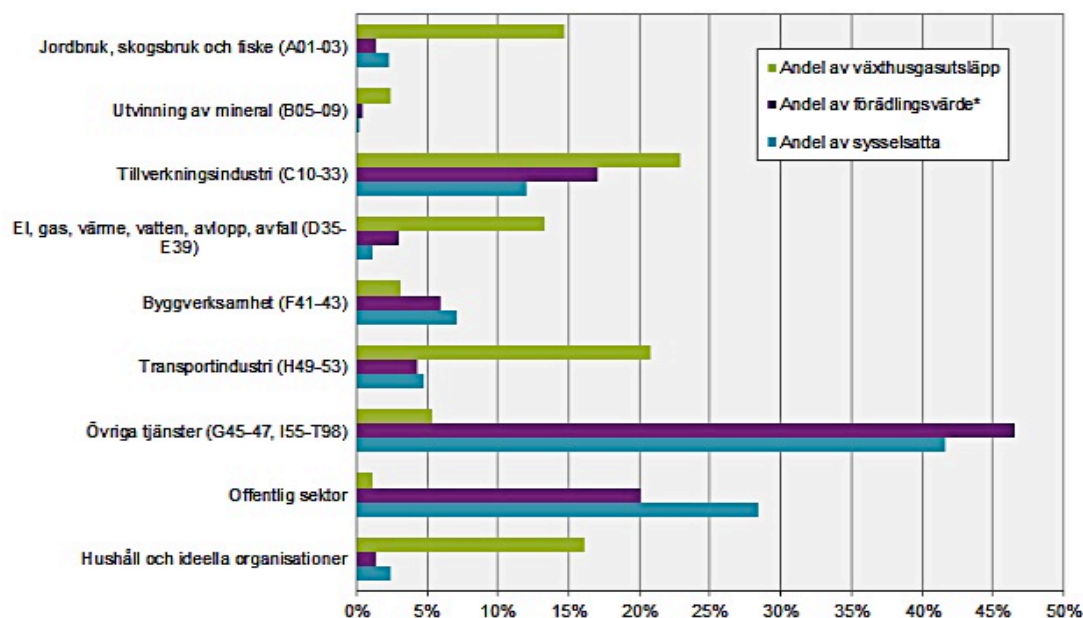
För produktionsfunktionen har BNP, realkapital och befolkning hämtats från SCB (2016). BNP har hämtats från ”BNP från användningssidan (ENS2010), försörjningsbalans, löpande priser, mnkr efter användning och år”.

En av de svåraste uppgifterna var att uppskatta hur stor andel av variablerna i produktionsfunktionen som är miljövänliga respektive miljöfarliga. Genom att utgå från diagram 6.1. nedan kan de branscher som släpper ut mest koldioxid särskiljas från de branscher som inte gör det och därigenom göra en klassificering av miljövänlig respektive miljöfarlig produktion. De miljöekonomiska profilerna från Statistiska Centralbyrån (2015) visar att det är tillverkningsindustrin; jordbruk, skogsbruk och fiske; transportindustri; el, gas, värme, vatten och avlopp; samt hushåll och ideella organisationer som släpper ut mest koldioxid. De branscher som släpper ut minst koldioxid är utvinning av mineraler; byggverksamhet; övriga tjänster samt offentlig sektor.

Vidare kan vi genom att titta på hur stor andel av det totala förädlingsvärdet som varje bransch tillför, estimerar hur stor andel av BNP som är miljövänlig produktion. Miljöfarlig produktion kan på så sätt estimeras genom att addera andelarna av förädlingsvärdet från de branscher som släpper ut mest koldioxid. Detta eftersom förädlingsvärdet är företagets bidrag till BNP. På liknande sätt kan vi även estimerar hur stor del av arbetskraften som arbetar i de fem branscherna som släpper ut mest koldioxid genom att addera andelen av sysselsatta i nämnda branscher.

Måttet utgör en bra utgångspunkt för definitionen av miljövänlig respektive miljöfarlig produktion.

Diagram 6.1. Miljöekonomiska profiler per bransch



Källa: Statistiska Centralbyrån (2015)

Med utgångspunkt från diskussionen ovan kan därför fördelningen göras så att ca 30 % av total BNP räknas som miljöfarlig produktion och 70 % som miljövänlig produktion. Detta innebär att tillverkningsindustri; jordbruk, skogsbruk och fiske; transportindustri; el, gas, värme, vatten och avlopp; samt hushåll och ideella organisationer återfinns i större utsträckning i produktionsfunktionen för Y_f .

6.2. Realkapital

Data för realkapital hämtades från SCB:s ”Stock av fast realkapital, netto 1 januari respektive år (ENS2010) efter näringsgren SNI 2007 och tillgångsslag” (2016). Dock har det totala realkapitalet fått estimeras fram då det nyaste värdet som fanns var för år 2014. Detta har gjorts genom att beräkna fram den genomsnittliga tillväxttakten i realkapitalet under de senaste 10 åren och sedan ta förändringsfaktorn multiplicerat med värdet för 2014. Värdet för totalt realkapital år 2015 blir därmed 13 233 787 847 710 SEK. Värdet för år 2017 har sedan fåtts fram genom att beräkna kapitalackumuleringen utifrån år 2015 enligt ekvation 4.2. För att finna fördelningen mellan K_1

och K_2 måste vi titta mer noggrant på kapitalstocken och vad som ingår enligt datan från SCB. En rimlig fördelning verkar vara att inkludera bostäder, byggnader, transportmedel och odlade biologiska tillgångar till K_2 och resten av kapitalstocken såsom bl a immateriella tillgångar och maskiner till K_1 då antagandet är att dessa inte är lika känsliga för klimatförändringar i lika stor utsträckning som K_2 .

Vidare har det varit svårt att hitta underlag för att kunna estimerade fördelningen av miljöfarlig och miljövänlig produktion i K_1 och K_2 . Utgångspunkten har därför gjorts utifrån vad som ingår i respektive kapitalstock och vad som är rimligt att respektive del släpper ut i form av koldioxid. I K_2 ingår transportmedel som är en av de största utsläppskategorierna i Sverige enligt diagram 6.1 och därför är det rimligt att kapitalstocken i K_2 bidrar till större utsläpp än K_1 . Fördelningen i K_2 har därför estimerats till 40 % som miljövänlig och 60 % miljöfarlig av total K_2 , medan det omvända gäller för K_1 .

För variablerna i realkapitalets förändring har deprecieringstakten (δ_1) antagits vara det vedertagna 0,05. Vidare har δ_u antagits vara 0,025 och innebär att när det ackumulerade utsläppet ökar, kommer deprecieringstakten att påverkas med 2,5 % av det ackumulerade utsläppet. Den totala sparkvoten har tagits fram genom data från "Fasta bruttoinvesteringar (ENS2010) efter näringsgren SNI 2007 och investeringstyp. År 1980 – 2014" från SCB (2016). Eftersom det ännu en gång endast fanns data till och med år 2014 behövdes ett genomsnitt för förändringen tas fram för att sedan multiplicera detta med 2014 års värde. Genom att sedan dividera de totala bruttoinvesteringarna år 2015 med total BNP kan vi få fram den totala sparkvoten som uppgick samma år. Värdet på total sparkvot blev därmed 0,23, vilket innebär att 23 % av inkomsterna investeras vidare. För att sedan få fram var och en av sparkvoterna i respektive kapitalackumulationsfunktion behöver vi lösa ut just dessa variabler ur funktionerna. För härledning av tillvägagångssättet, se Appendix B.

6.3. Arbetskraft

Befolkningen var enligt data från SCB (2016) 9 851 017 år 2015 och hämtades i likhet från SCB och "Befolkningsstatistik i sammandrag 1960–2016". Fördelningen mellan sysselsatta i miljöfarlig respektive miljövänlig produktion uppskattats till ca 25 % respektive 75 % av total arbetskraft enligt. Detta har gjorts som tidigare med stöd av diskussionen i kapitel 5. För att hitta antalet sysselsatta i forskning $L_{A,v}$ har en uppskattning gjorts genom att dividera total arbetskraft i

miljövänlig produktion med 13,74. Siffran är hämtad från Vetenskapsrådets forskningsbarometer (2016) där det anges att det finns 13,74 forskare på 1000 arbetare.

Befolkningstillväxten har beräknats fram genom att beräkna den genomsnittliga befolkningstillväxten mellan åren 1970-2016. Antagandet är att tillväxten är konstant och att denna varken minskar eller ökar. Befolkningstillväxten blir därmed 0,006.

6.4. Teknologi

Utgångsvärdet för teknologi beräknas fram genom att lösa ut A_v respektive A_f från de båda produktionsfunktionerna. Jag får därmed fram ett utgångsvärde för A_v och A_f som senare i simuleringarna kommer att ändras endogent respektive exogent beroende vilka antaganden som görs.

$$A_v = \left(\frac{y_v}{k_{1,v}^\alpha k_{2,v}^\mu (1-\eta-\gamma-\sigma)} \right)^{\frac{1}{1-\alpha-\mu}} \frac{L}{L_{Y,v}} \quad (5.1)$$

$$A_f = \left(\frac{y_f}{k_{1,f}^\alpha k_{2,f}^\mu (1-\eta-\gamma-\sigma)} \right)^{\frac{1}{1-\alpha-\mu}} \frac{L}{L_f} \quad (5.2)$$

Den teknologiska nivån A_v är 126 722 och A_f är 1 226 001 för nuvarande läge. Detta är vårt utgångsvärde och det går egentligen inte att analysera något utifrån detta värde, utan vad som är intressant är att titta på tillväxttakterna och hur värdet förändras över tid.

Värdet för θ har tagits fram genom att lösa ut variabeln från teknologiackumulationsfunktionen enligt nedan,

$$\theta = \frac{\dot{A}_v}{A_v^\phi L_{A,v}^\omega (1+\sigma)^\psi} \quad (5.3)$$

Där ϕ har uppskattats till 0,65, ω till 0,6 och ψ till 0,8. θ antar därmed värdet 0,00031, vilket i sig inte betyder så mycket.

Tillväxttakten för miljöfarlig teknologi (A_f) har tagits fram med hjälp av ekvation 4.14. Eftersom modellen antar att miljövänlig teknologi (A_v) växer snabbare än miljöfarlig teknologi, kan tillväxttakten i miljöfarlig teknologi bestämmas utifrån tillväxttakten i jämvikt i miljövänlig teknologi. Om miljöfarlig produktion istället hade haft en högre tillväxttakt än miljövänlig produktion, hade den miljöfarliga produktionen till slut blivit mycket större än den miljövänliga produktionen, vilket inte är vad jag vill uppnå med modellen. Genom att räkna fram tillväxttakten i miljövänlig teknologi i jämvikt kan jag därför utifrån detta värde anta tillväxttakten i miljöfarlig teknologi. Tillväxttakten för A_f blir därmed 0,009 d v s 0,9 % och antas vara konstant under hela perioden.

6.5. Koldioxidutsläpp

Data för det ackumulerade koldioxidutsläppet för Sverige har hämtats från CAIT Climate Data Explorer (2015). Data fanns endast tillgängligt fram till år 2013 och därför har den genomsnittliga tillväxttakten, 0,014, i ackumulerat koldioxidutsläpp i Sverige tagits fram för perioden 1983-2013 för att sedan få fram ett värde för 2015. Eftersom värdena är mycket stora har koldioxidutsläpp multiplicerats med 0,002 för att få fram en realistisk siffra för det ackumulerade koldioxidutsläppet. Värdet för β har hämtats från The Global Carbon Budget 1959-2011 (Ahlström et al., 2013) som anger att ca 26 % av koldioxidutsläpp absorberas av haven och ca 28 % av växter. Värdet för β kommer därför i denna uppsats att vara 0,54. x_0 i denna modell blir detsamma som utgångsvärdet för koldioxidutsläpp då jag har antagit att den maximala mängden som hav och växter kan absorbera uppgår till 54 % av 2015 års värde av koldioxidutsläpp. Detta innebär att när koldioxidutsläpp ökar kommer det fortfarande endast vara möjligt för hav och växter att absorbera 54 % av utgångsvärdet. Koldioxidutsläpp divideras sedan enligt ekvation 4.9 och där utgångsvärdet 0,4827 då fås fram.

6.6. Styrmedel

Utgångspunkten för de olika styrmedlen har tagits fram med hjälp av diverse underlag för att uppskatta hur mycket utgifter som läggs på just styrmedel. För miljösubventioner (η) har data hämtats från SCB (2017) och för enkelhetens skull har de totala utgifterna för miljösubventioner använts oavsett ändamål och syfte med subventionerna inom området. År 2015 uppskattades de totala miljösubventionerna uppgå till ca 0,18 % av BNP och ingångsvärdet blir därmed 0,0018. Satsningar inom miljöforskning (σ) uppskattas till ett värde av 0,01 inom vår modell och grundar

sig på data från OECD (2017). Datan behandlar ”Gross Domestic Spending on R&D” och mäter därför totala utgifter på forskning som uppgår till 3,262 % av BNP år 2015. Eftersom det inte har gått att hitta mer specifik data har en uppskattning gjorts att ca 1/3 av ovanstående värde läggs på miljöforskning. Underlag för att kunna bedöma utgångspunkten för energieffektivisering (γ) har funnits för år 2008 där det anges att ca 530 miljoner SEK av den statliga budgeten skulle satsas på energieffektiviseringsprogram under perioden 2010-2014 per år (OECD, 2014, s 131). Med utgångspunkt från detta antar jag därför att ca 1 % av BNP satsas på sådana program, så att utgångsvärdet blir 0,01.

6.7. Parametrar och övriga variabler

Parametrarna α och μ uppskattas i simuleringarna till 0,15 respektive 0,18. I den vanliga Solow-modellen med teknologi uppskattas α vara ca 0,33 med empiriska studier som underlag för antagandet (Jones och Vollrath, 2002, s 22). Därför har det i denna uppsats uppskattats att ca hälften av detta värde till var och en av K_1 och K_2 . Anledningen till att värdet för K_2 är lite högre är för att det är rimligt att byggnader, bostäder, anläggningar och transportmedel är något viktigare i produktionen än maskiner. Variabeln a i ekvation 4.10 uppskattas till 5 och variabeln b till 7.

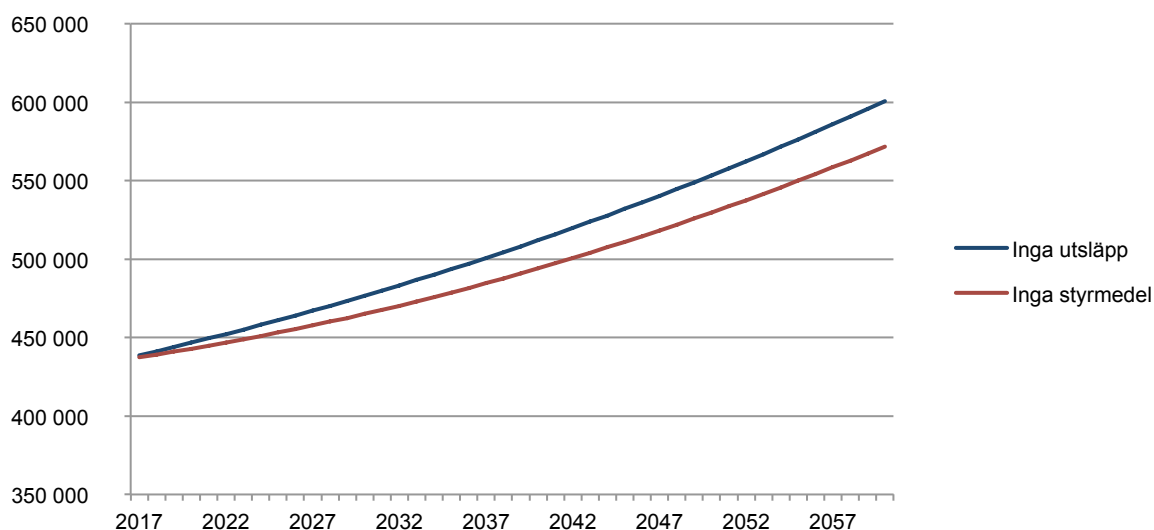
7. Resultat

I detta kapitel tas resultaten från simuleringarna upp i ordning för att sedan sammanställas i slutet av kapitlet. Alla siffror för simuleringarna går att finna i Appendix C och alla diagram över koldioxidutsläpp visar det årliga flödet av utsläpp.

7.1. Simulering 1 - Inga styrmedel

Resultatet från simulering 1 visas nedan och visar hur utvecklingen skulle se ut om det inte hade införts några styrmedel idag samt om det inte hade funnits några koldioxidutsläpp fram till år 2060.

Diagram 7.1. BNP per capita 2017-2060, löpande priser



Diagrammet visar att Sverige skulle ha en hög tillväxt i BNP per capita exkluderat koldioxidutsläpp. Dock finns det tydliga indikationer på att närvaron av koldioxidutsläpp bidrar negativt till den ekonomiska tillväxten som då blir betydligt lägre än om koldioxidutsläpp inte hade funnits.

7.2. Simulering 2 - Miljösubventioner

I diagram 7.2. syns det tydligt att satsningar på miljösubventioner inte lönar sig ekonomiskt ur ett BNP per capita-perspektiv. BNP per capita sjunker och blir mindre ju mer man väljer att satsa på just miljösubventioner. Dock kan vi se i diagram 8.3. att de flesta satsningarna har en avsevärd effekt på flödet av koldioxidutsläpp. När $\eta = 0,0018$ är det endast en liten negativ effekt på BNP per capita genom att studera diagram 8.2. nedan samt tabellen i Appendix C. Detta värde får även endast en liten påverkan på flödet av koldioxidutsläpp där det skiljer ytterst lite mellan att inte ha några styrmedel och att investera 0,18 % av BNP.

Diagram 7.2. BNP per capita 2017-2060, löpande priser, miljösubventioner

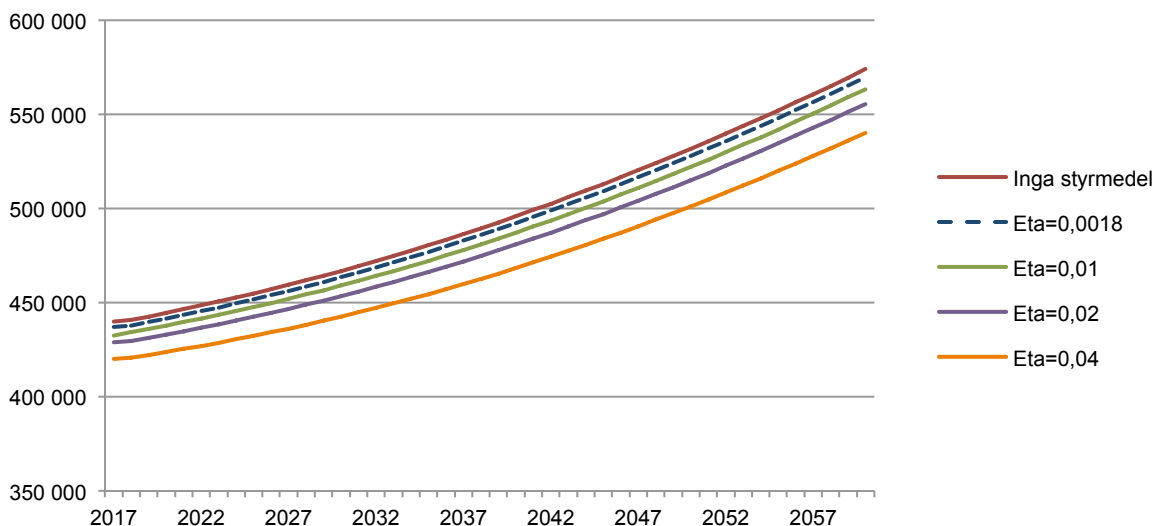
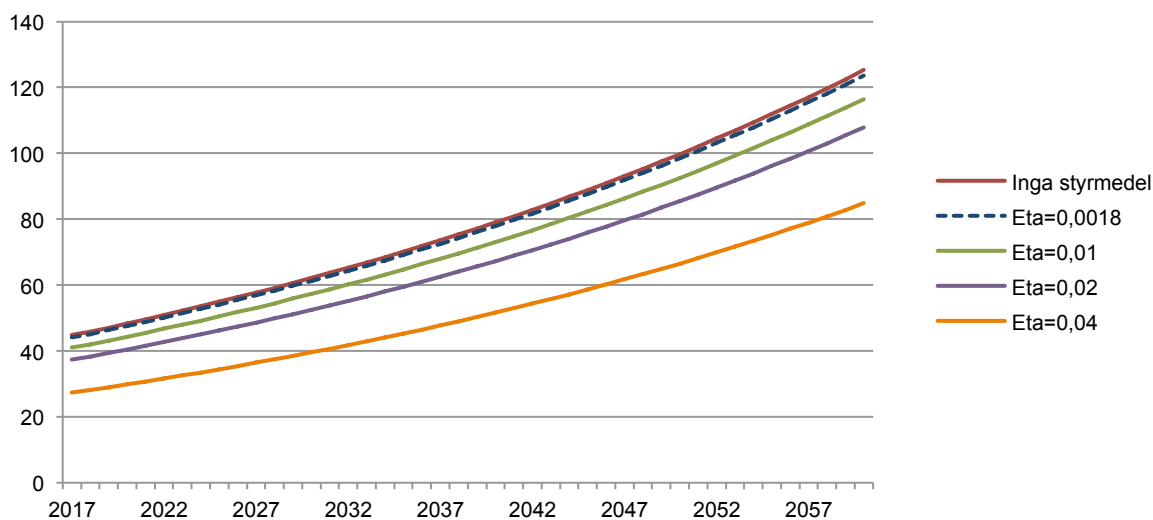


Diagram 7.3. Koldioxidutsläpp Sverige (Mt), miljösubventioner



7.3. Simulering 3 - Energieffektivisering

I likhet med simulering 2 kan man se att satsningar på energieffektivisering minskar BNP per capita i förhållande till om inga styrmedel förs in. Att satsa 0,005 % av BNP verkar ge högst BNP per capita och precis som i tidigare simulering är det en negativ nivåskillnad i takt med att satsningar på energieffektivitet ökar. Med tiden ökar även gapet mellan de olika graferna vilket innebär att tillväxttakten utan styrmedel är något högre än övriga. Dock ger satsningarna i vanlig ordning en betydande skillnad i takten av koldioxidutsläpp där både en nivåskillnad och tillväxtskillnad kan observeras.

Diagram 7.4. BNP per capita 2017-2060, löpande priser, energieffektiviseringar

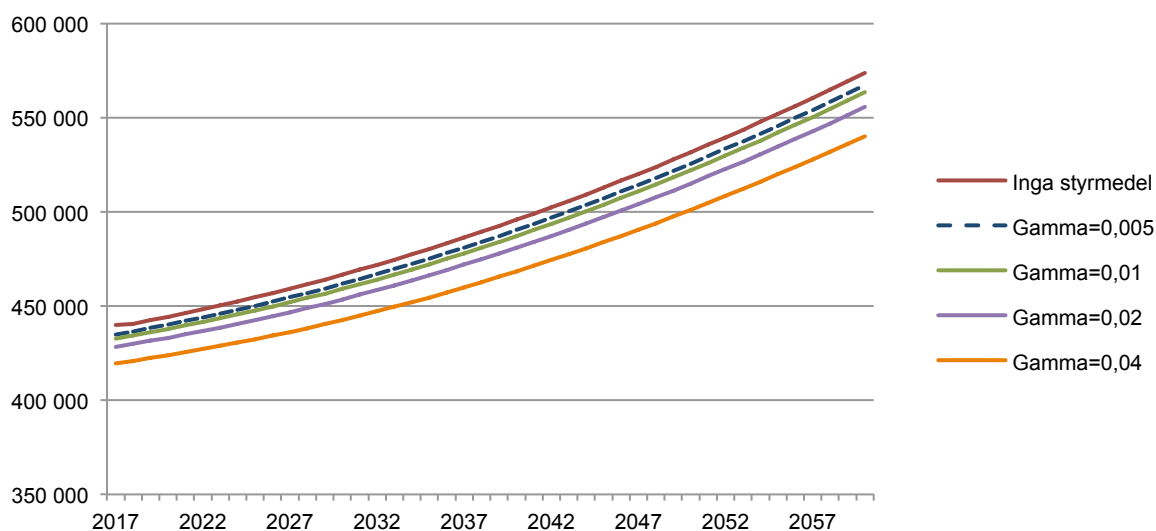
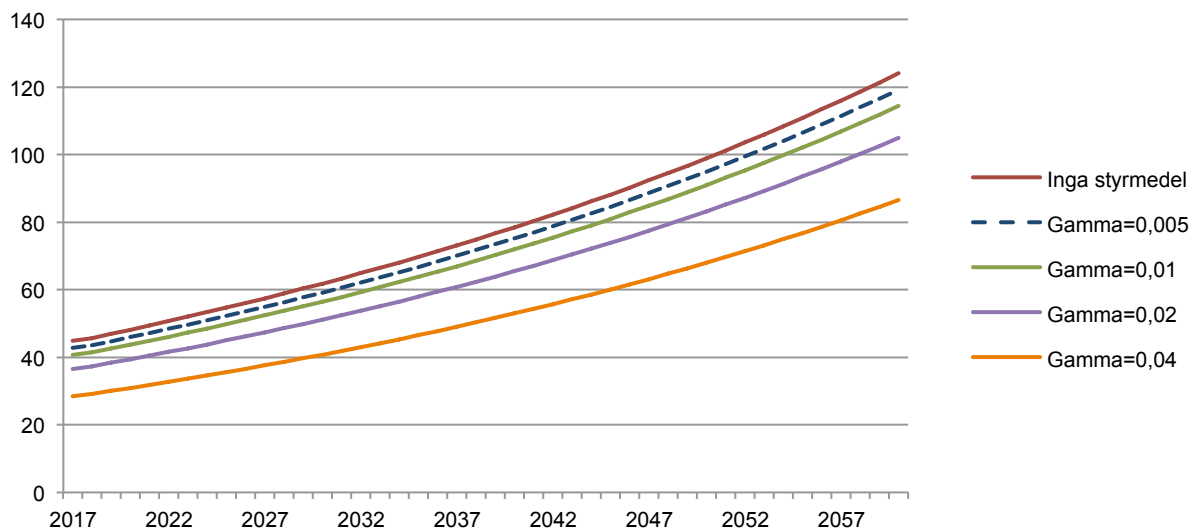


Diagram 8.5. Koldioxidutsläpp Sverige (Mt), energieffektiviseringar



7.4. Simulering 4 - Miljöforskning

Att satsa på miljöforskning verkar inte ha en positiv effekt på BNP per capita enligt den utvidgade modellen. I likhet med simulering 2 och 3 minskar BNP per capita i takt med att satsningarna ökar. Till skillnad dock mot tidigare simuleringar innebär satsningar på miljöforskning inte en lika stor förlust på BNP per capita under perioden. Gapet verkar inte heller växa sig lika stort. En annan skillnad är även miljöforskning har endast en liten negativ effekt på koldioxidutsläpp.

Diagram 8.6. BNP per capita 2017-2060 löpande priser, miljöforskning

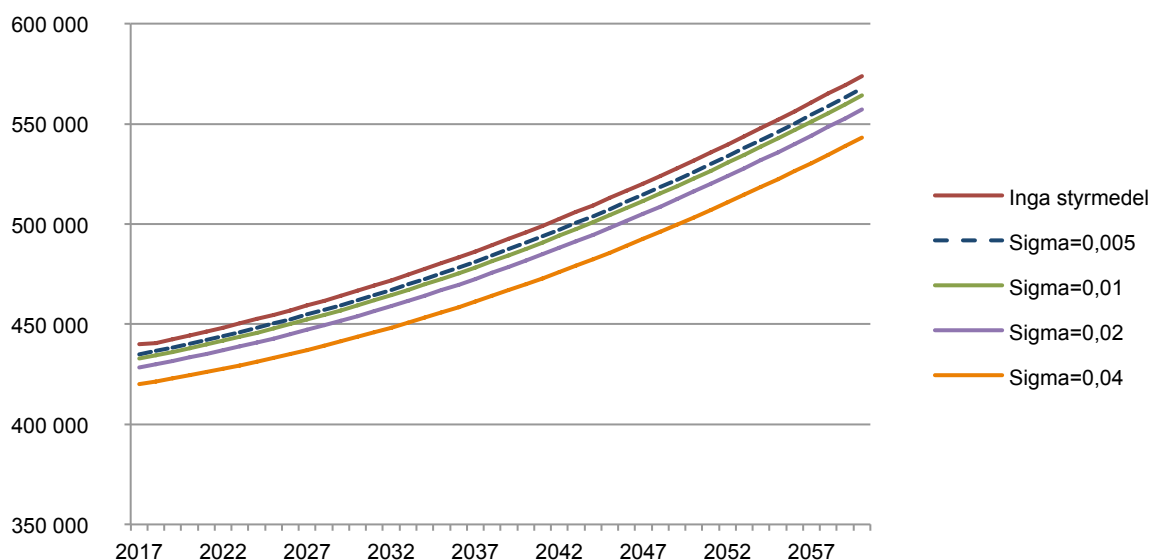
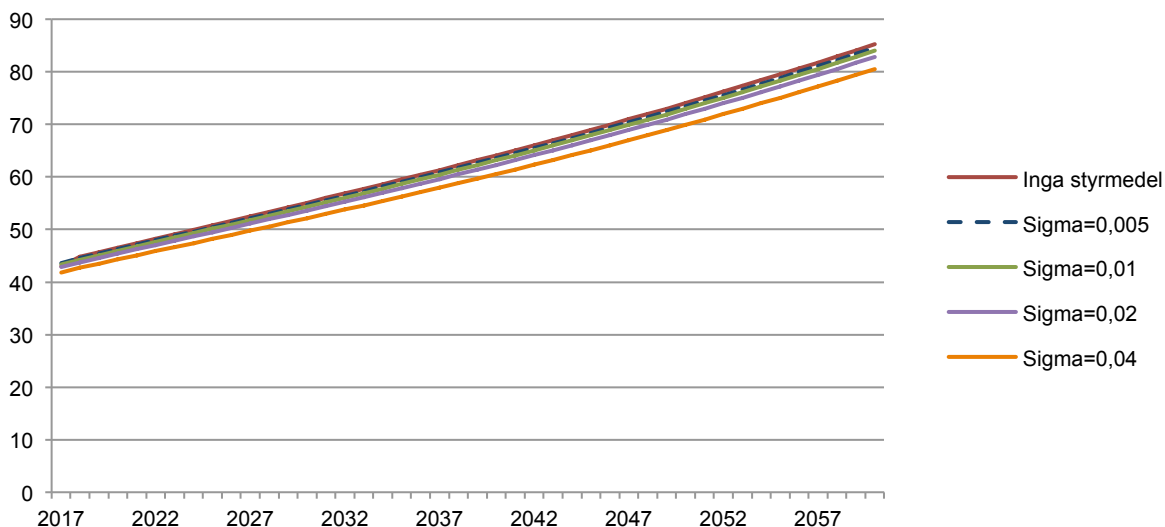


Diagram 7.7. Koldioxidutsläpp Sverige (Mt), miljöforskning



7.5. Simulering 5 - Kombination

Scenariona nedan vittnar om att även vissa ändringar från grundscenariot så kommer BNP per capita att minska vid satsningar på olika miljörelaterade styrmedel. Mest tydligt blir det i den nya kombinationen där alla värdena på styrmedel har höjts från grundscenariot och antar värdena $\eta = 0,01$, $\gamma = 0,02$ och $\sigma = 0,02$. Det verkar alltså inte finns en kombination där BNP per capita ökar till följd av införande av styrmedel. Dock bidrar dessa styrmedel till att minska koldioxidutsläpp kraftigt där den nya kombinationen är mest effektiv. Alla styrmedel verkar också för att minska tillväxten i koldioxidutsläpp något, vilket leder till ett ökat gap mellan att inte föra styrmedel och att göra det.

Diagram 8.8. BNP per capita 2017-2060, löpande priser, kombination

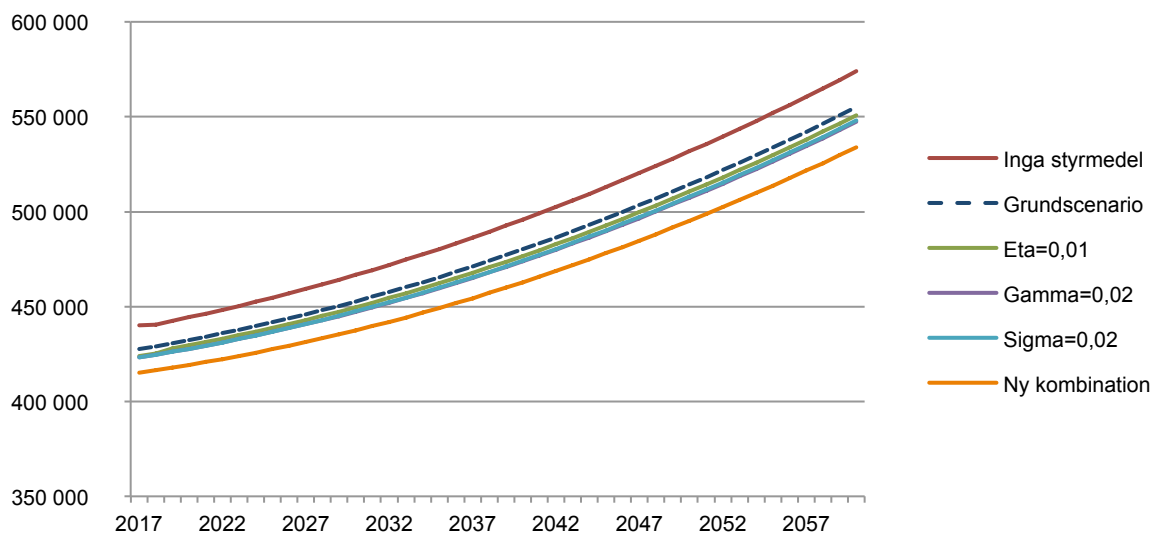
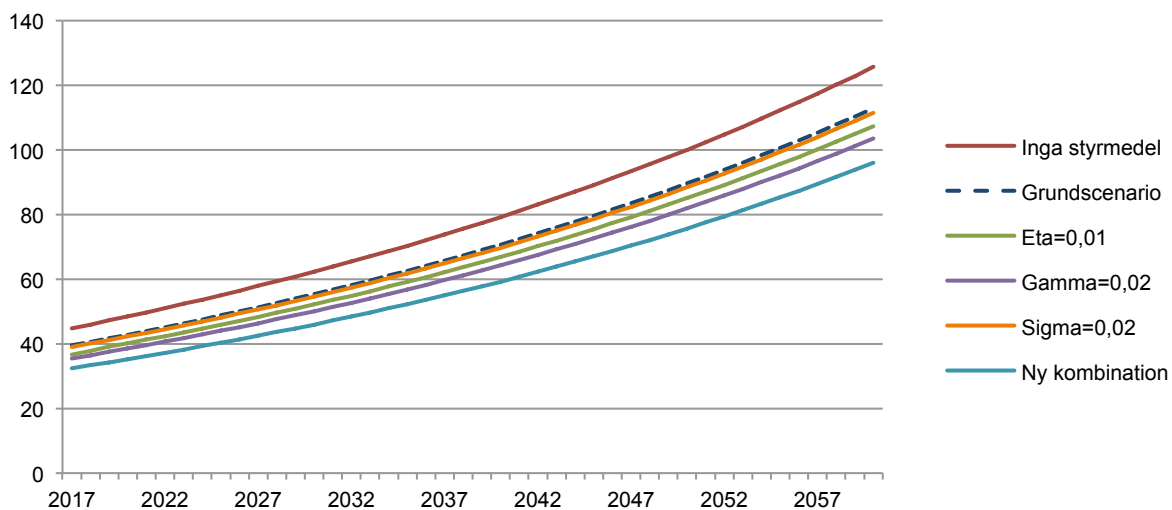


Diagram 7.9. Koldioxidutsläpp Sverige (Mt), kombination



7.6. Känslighetsanalys

En känslighetsanalys kan identifiera känsliga variabler vars värde kan ha stor påverkan på BNP om denna ändras till ett nytt värde. Det är av betydelse att göra en känslighetsanalys i studier som denna, där många variabler och parametrar har uppskattats självständigt då tillräckliga underlag har inte har funnits. En känslighetsanalys görs genom att utgå från ett bestämt scenario och sedan ändra variabeln som man vill undersöka till ett nytt värde. Det nya BNP-värdet man då får fram kan man jämföra med det ursprungliga värdet på BNP.

Nedan i tabell 8.1. har jag listat resultaten av analysen. Kolumnen längst till höger beskriver den procentuella skillnaden mellan det gamla och nya BNP-värdet år 2060 som fås fram i analysen.

Tabell 8.1. Känslighetsanalys

Variabel	Urspr. värde BNP	Nytt värde BNP	Skillnad BNP %
β	0,5400	0,2700	- 0,0016
α	0,1500	0,0750	0,0294
μ	0,1800	0,0900	0,0226
δ_u	0,0250	0,0125	0,0388
δ_0	0,0500	0,0250	0,0771
n	0,0060	0,0030	- 0,1069
ϕ	0,6000	0,3000	- 0,0786
ω	0,6000	0,3000	- 0,0794
ψ	0,8000	0,4000	- 0,0004
ϑ	0,8000	0,4000	0,0012
a	5	2,5	0
b	7	3,5	0
s_{tot}	0,2300	0,1150	- 0,0017
$s_{1,v}$	0,0219	0,0109	- 0,0313
$s_{1,f}$	0,0146	0,0073	- 0,0850
$s_{2,v}$	0,0387	0,0194	- 0,0395
$s_{s,f}$	0,1548	0,0774	- 0,1131

Analysen ovan vittnar om att ingen variabel är direkt känslig för förändringar, då den procentuella skillnaden är mycket låg i alla fallen. Detta innebär att om ett värde på en av dessa variabler har uppskattats fel, så kommer det ändå inte att påverka den övergripande analysen nämnvärt.

8. Analys och diskussion

I följande kapitel kommer jag diskutera resultaten från simuleringarna, modellen och dess antaganden samt rekommenderade åtgärder för bäst utfall.

8.1. Simuleringen och dess effekter

Simuleringarna visar att införandet av styrmedel inte kommer att ge högre BNP per capita då kostnaderna av att införa styrmedel inte kompenseras av minskningen i koldioxidutsläpp. Tillväxttakten i BNP per capita påverkas därför något negativt då minskningen i total BNP av att göra satsningar på miljöförbättrande styrmedel inte vägs upp utav lägre depreciering i realkapitalet. Miljösubventioner och energieffektiviseringar är dock mycket effektiva i att minska koldioxidutsläpp där dessa ger både en negativ nivå- samt tillväxteffekt på utsläpp. Därför kan det ses som en nödvändig kostnad idag för att på sikt motverka att den globala uppvärmningen stiger till ännu högre än de 2° C som idag är målet enligt Parisavtalet (Regeringen, 2017).

Miljöforskning är inte heller lönsamt i denna modell då det varken har en direkt negativ effekt på koldioxidutsläpp eller positiv effekt på tillväxt i BNP per capita för att det ska vara motiverat att investera i dessa. Eftersom miljövänlig teknologi drivs av tillväxt i befolkning, avtagande avkastning i forskning samt möjligheterna för ny teknologi, kommer inte ökade satsningar på just miljöforskning att leda till ökad tillväxttakt i jämvikt i varken BNP per capita eller teknologi. Dock kan ökade investeringar i forskning leda till en nivåeffekt så att jämviktsnivån blir högre eller lägre (Jones och Vollrath, 2002, s 107). I denna simulering visar resultatet det sistnämnda p g a att det kostar mer av BNP att investera än vad det ger tillbaka i form av minskade utsläpp.

Vad som även är viktigt att notera är att med energieffektiviseringsprogram kan både hushållens och industriernas intäkter öka. Detta eftersom energiintensiva industrier ofta har höga kostnader p g a hög energiineffektivitet. När energieffektiviteten ökar kan således kostnaderna av att producera minska för industrierna. Detsamma gäller för hushåll. Detta fångas kanske inte helt upp i modellen som enbart reglerar energieffektivisering som en direkt kostnad av BNP samt som minskande effekt av koldioxidutsläpp. I modellen påverkar den alltså inte konsumtionen som i realiteten skulle kunna öka till följd av ökad disponibel inkomst. Hushåll och industrier är två av de sektorer som bidrar till mest utsläpp i Sverige enligt kapitel 6 och som vi kan anta bero till stor del på p g a energiineffektivitet. Därför kan det finnas stora positiva fördelar för dessa sektorer av ökade satsningar på energieffektivitet som kanske inte syns i modellen.

Simuleringarna i kapitel 7 visar att koldioxidutsläppen fortsätter att öka oavsett vilka styrmedel som sätts in. Sverige har genom att ingå i Parisöverenskommelsen skrivit under på att inte släppa ut mer koldioxid än dagens nivåer, vilket inte visas i resultaten (Regeringen, 2017). Detta skulle innebära att Sverige inte bara förlorar ekonomiskt på att införa styrmedel utan även misslyckas med att bemöta sina åtaganden utifrån Parisavtalet. En sådan implikation stämmer inte helt överens med verkligheten då faktum är att Sveriges utsläpp har minskat i stadig takt från 1980-talet samtidigt som Sveriges tillväxt fortsätter att vara stark (se Appendix C). En möjlig orsak skulle kunna vara att modellen inte är omfattande nog och därför utelämnar just denna effekt. En annan orsak skulle kunna vara att det finns andra negativa miljökonsekvenser som visar sig i simuleringarna men som inte tas upp av modellen. Jag har även med min modell valt att fokusera på de miljömotiverade styrmedlens direkta påverkan på BNP per capita och koldioxidutsläpp och därför har utsläppens reella tillväxtbana inte jättestor betydelse. Detta eftersom en ökning av t ex miljösubventioner kommer i någon skala att leda till lägre koldioxidutsläpp oavsett om tillväxttakten för utsläpp från början är positiv eller negativ.

Det är därför rimligt att utifrån denna simulering utgå från att prognosen för den globala uppvärmningens effekter på Sverige är mycket osäker och att det därför är, utifrån denna modell, svårt att motivera utsläppsminskande åtgärder av Sverige ur ett ekonomiskt perspektiv. Detta kan delvis ses som i enlighet med tidigare forskning i kapitel 2, där det nämns att Sverige är ett av de länder som troligen kommer få uppleva fler positiva effekter av den globala uppvärmningen än andra länder på kortare sikt. Resonemanget skulle kunna vara att en tidsperiod på 43 år är för kort tid för att Sverige verkligen ska uppleva kraftiga negativa effekter av klimatförändringarna som många andra länder närmare ekvatorn redan börjat få uppleva. På så sätt ses investeringar i miljöförbättrande styrmedel idag som en större negativ faktor på den svenska ekonomin än utsläppen i sig. Vidare borde det enligt modellen ändå vara motiverat att införa styrmedel idag för att motverka negativa effekter som kan uppstå efter perioden studerad i denna uppsats.

Faktum kvarstår dock att den globala uppvärmningen kommer och redan påverkar Sveriges BNP per capita i jämvikt negativt relativt än om klimatförändringarna inte hade funnits i min modell. Därför står frågan helt enkelt mellan att minska utsläppen idag med följd att BNP per capita minskar ännu mer eller att inte göra sådana investeringar och istället riskera en ännu högre deprecieringstakt av realkapitalet efter år 2060 som då leder till lägre BNP per capita.

8.2. Rekommenderade åtgärder

Utifrån ovanstående diskussion kan det vara svårt att motivera att införa utsläppsåstramande styrmedel i Sverige idag, men som tidigare nämnt kan det ändå vara nödvändigt för att förhindra en högre kostnader till följd av utsläpp i framtiden. I simuleringarna har miljösubventioner och energieffektiviseringsprogram ungefär lika stor påverkan på BNP per capita i jämvikt, men olika effektivitet gällande minskningar av koldioxidutsläpp. Därför är det enligt modellen mer motiverat att satsa på miljösubventioner än energieffektiviseringsprogram då denna innebär samma kostnad som den sistnämnda, men har en större negativ påverkan på utsläpp. Miljösubventionerna bör vara mer inriktade på att styra produktion än konsumtion från miljöfarlig till miljövänlig, då det enligt kapitel 6 är tillverkningsindustrin som står för den största andelen av utsläpp i Sverige.

Med samma resonemang som ovan är det även motiverat att ha vissa satsningar på energieffektivisering då det, som nämnt tidigare, skulle ge högre vinster samt disponibla inkomster till industrier och hushåll. Energieffektiviseringsprogram bland hushåll kan innefatta informationskampanjer för att få hushåll att byta till t ex fjärrvärme. Bland industrier kan det innefatta att uppmuntra företag att lägga fram en plan för att effektivisera verksamheten ur ett energiperspektiv flera år framöver eller även här informationskampanjer om andra mer effektiva energiteknikers fördelar.

Ovanstående bygger självklart även på satsningar på miljöforskning som kan och bör kunna ta fram tekniker för att göra energianvändandet mer effektivt samt tekniker för att binda koldioxid. Energieffektiviseringsprogram kan också gå hand i hand med miljösubventioner för att t ex belöna företag eller hushåll som tar till åtgärder för att öka energieffektiviteten. Därför är det svårt att utesluta den ena från den andra, utan det vore mycket klokt att investera i alla nämnda styrmedel. Dessa styrmedel kommer då troligtvis få störst effekter under olika tidpunkter. På kort och medellång sikt, inom undersökningsperioden för denna uppsats, vore satsningar på miljösubventioner och energieffektivisering ha störst effekt medan på lång sikt, efter undersökningsperioden, kommer troligen satsningarna på miljöforskning ge effekt. Notera att med kort sikt i detta fall menar jag inom perioden 2017-2060.

8.3. Framtida forskning

Det finns mycket kvar att forska inom området och det är tydligt att så är fallet med kapitel 2 i denna uppsats som underlag. Det verkar finnas mycket forskning inom området för hur klimatförändringarna kommer att påverka ekonomin för de länder som befinner sig närmare ekvatorn och som därmed kommer få uppleva störst påverkan i modern tid. Dock finns det lite forskning hur det kan komma se ut för andra länder såsom Sverige. Detta gör det svårt för dessa länder att uppskatta vilka ekonomiska kostnader klimatförändringarna kan innebära. Det verkar dock finnas en konsensus att dessa länder kommer att få uppleva mer regn och fler stormar som då kan leda till ökade skador på infrastruktur. Därför kan en givande aspekt vara att undersöka hur stor roll indirekta effekterna av klimatförändringarna kan spela på olika länders ekonomier. I länder som Sverige skulle en sådan effekt kunna antingen vara mycket liten eller stor beroende på t ex institutionerna, befolkningens hälsa m m. Det verkar även finnas endast lite forskning som hur befolkningens hälsa kan komma att påverkas i både rika och fattiga länder till följd av att nya sjukdomar sprids.

En annan aspekt som bör forskas mer om är de extrema händelsernas påverkan på ekonomin som följd av klimatförändringarna. I min uppsats har detta inkorporerats i deprecieringsvariabeln som en löpande kostnad för realkapital men hade även varit intressant att föra in detta som en slumpvariabel, för de allra mest extrema väderhändelserna. Dessa har förmodligen en stor påverkan på samhällsfunktionen som i sin tur kan innebära en stor kostnad för landet, antingen på kort eller lång sikt.

Existerande forskning brister även i att undersöka hur styrmedel skulle kunna utformas eller initieras för att förbättra både den ekonomiska tillväxten samt minska koldioxidutsläpp. Med hänvisning från modellen innebär satsningar på styrmedel idag en ekonomisk förlust för länder som Sverige. För att kunna motivera andra länder att vidta åtgärder för att minska utsläpp är det därför viktigt att finna de sätt där landet nödvändigtvis inte förlorar på det ekonomiskt på kort sikt. Om man bara tittar på kostnaderna av att införa styrmedel och om effekterna av dessa är alltför avlägsna i tiden, kan det vara svårare att motivera andra länder att följa samma bana. Detta leder även till att framtida forskning borde titta på internationella avtals betydelse för att få igenom stora förändringar i flera länder när det inte är ekonomiskt motiverat för bara ett land att införa styrmedel. Sådan forskning skulle eventuellt leda till en större motivering att ingå flera sådana avtal om den visar på att det finns vinster att hämta.

9. Slutsats

Uppsatsens syfte har varit att med hjälp av en utvidgad modell av Solow- och Romer-modellen undersöka hur klimatförändringarna kan komma att påverka Sveriges ekonomiska tillväxt samt hur olika styrmedel med syfte att minska utsläpp, kan motverka detta. Analysen gällde för perioden 2017-2060. För Sveriges del gjordes antagandet att landet främst kommer att påverkas av klimatförändringarna genom ökad depreciering av den del av realkapitalet som ansågs vara mer känsligt för den globala uppvärmningens effekter. Analysen har byggts på ett antal simuleringar där styrmedel vars storlek har varierat har inkluderats.

Resultaten visar att BNP per capita i jämvikt kommer att minska signifikant på grund av klimatförändringarna men att det inte är ekonomiskt motiverat i dagsläget att införa miljömotiverade styrmedel i Sverige. Istället kommer BNP per capita att minska ytterligare och på sikt göra att tillväxttakten avtar. Resultaten vittnar även att införandet av styrmedel kommer att minska koldioxidutsläpp signifikant. Därför kan det ändå vara motiverat att införa styrmedel idag för att på sikt minska det ackumulerade koldioxidutsläppet, som i sin tur har en negativ påverkan på realkapitalets tillväxttakt. Den ekonomiska vinsten av införandet antas därför inte synas i modellen för att tidsperioden för analysen är för kort och att större negativa effekter av den globala uppvärmningen inte antas uppträda förrän efter.

Rekommendationerna är dock att ändå införa styrmedel idag eftersom den globala uppvärmningens påverkan på den svenska ekonomin är högst osäkra. Med stöd från forskning som finns idag borde det därför vara motiverat att för landet att ta på sig en högre kostnad idag för att risksäkra framtiden något relativt om inga styrmedel hade införts. För att även uppfylla sin del av Parisavtalet är detta en nödvändighet för Sverige för att föregå som ett gott exempel till andra länder.

Referenser

- Ahlström A. et al., (2013) The Global Carbon Budget 1959-2011, *Earth System Science Data*, Vol. 5, ss 165-185.
- Bergh A. och Jakobsson N., (2014) Modern Mikroekonomi – Marknad, politik och välfärd, Upplaga 2, Studentlitteratur, s 275.
- Burke M., Hsiang S. M. och Miguel E., (2015) Global Non-Linear Effect of Temperature on Economic Production, *Nature* 527, ss 235–239.
- CAIT Climate Data Explorer, (2015) Historical Emissions, Tillgänglig: <http://cait.wri.org/historical/> [Hämtad 20/4-2017], (CO2 Emission Totals, Cumulative, Indien, Kina, EU(28), USA, Sverige, 1950-2010).
- Carlgren, F., (2017) BNP – Internationellt, Ekonomifakta, Tillgänglig: <http://www.ekonomifakta.se/Fakta/Ekonomi/Tillvaxt/BNP---internationellt/> [Hämtad 21/5-2017]
- Dell M., Jones B. F., och Olken B. A., (2011) Temperature Shocks and Economic Growth: Evidence from the Last Half Century, *American Economic Journal: Macroeconomics*, Vol. 4, No. 3, ss 26-27.
- Holtz-Eakin D., och Selden T. M., (1992) Stoking the fires? CO₂ Emissions and Economic Growth, NBER Working Paper No. 4248, National Bureau of Economic Research, ss 5-21.
- Jones C. I. och Vollrath D., (2002) Introduction to Economic Growth, Uppl. 2, New York: Norton and Company Inc, s 20, s 22, s 33, s 38, ss 99, s 107.
- Naturvårdsverket, (2005) Ekonomiska Styrmedel för Miljöns skull [pdf], Tillgänglig: <http://www.naturvardsverket.se/Documents/publikationer/620-8215-9.pdf?pid=3944> [Hämtad 10/4-2017], s 8.
- OECD, (2017) Gross Domestic Spending on R&D, Tillgänglig: <https://data.oecd.org/rd/gross-domestic-spending-on-r-d.htm> [Hämtad 25/4-2017].
- OECD, (2014) OECD:s Granskning av Sveriges Miljöpolitik [pdf], Tillgänglig: <http://www.regeringen.se/49bbb5/contentassets/bdbff322aa1844948829ac268a13e6a2/oecds-granskning-av-sveriges-miljopolitik-2014> [Hämtad 20/4-2017], s 67, s 131.
- Regeringen, (2016) Sammanfattning av regeringens budgetsatsningar inom miljö, klimat och energi, Tillgänglig: <http://www.regeringen.se/artiklar/2016/09/sammanfattning-av-regeringens-budgetsatsningar/> [Hämtad 20/4-2017].

- Regeringen, (2017) Klimatavtalet från Paris, Tillgänglig: <http://www.regeringen.se/regeringspolitik/klimatavtalet-fran-paris/> [Hämtad 20/4-2017].
- Statistiska Centralbyrån, (2016) BNP från användningssidan (ENS2010), försörjningsbalans, löpande priser, mnkr efter användning och år, Tillgänglig: http://www.statistikdatabasen.scb.se/pxweb/sv/ssd/START_NR_NR0103_NR0103E/NR0103ENS2010T01A/?rxid=2e03e395-6e7b-43e9-90ad-74ca18746a44 [Hämtad 24/4-2017], (löpande priser mnkr, BNP till marknadspris, 1980-2016).
- Statistiska Centralbyrån, (2016) Befolkningsstatistik i sammandrag 1960-2016, Tillgänglig: <http://www.scb.se/hitta-statistik/statistik-efter-amne/befolkning/befolkningens-sammansattning/befolkningsstatistik/pong/tabell-och-diagram/helarsstatistik--riktet/befolkningsstatistik-i-sammandrag/> [Hämtad 24/4-2017], (folkmängd 31 december).
- Statistiska Centralbyrån, (2016) Fasta bruttoinvesteringar (ENS2010) efter näringsgren SNI 2007 och investeringstyp. År 1980 – 2014, Tillgänglig: http://www.statistikdatabasen.scb.se/pxweb/sv/ssd/START_NR_NR0103_NR0103E/NR0103ENS2010T10A/?rxid=04307640-1c0b-42f6-ad11-0b48f7bc0392 [Hämtad 24/4-2017], (löpande priser mnkr, 0002 hela ekonomin totalt, alla investeringstyper, 2014).
- Statistiska Centralbyrån, (2016) Stock av fast realkapital, netto 1 januari respektive år (ENS2010) efter näringsgren SNI 2007 och tillgångsslag, Tillgänglig: http://www.statistikdatabasen.scb.se/pxweb/sv/ssd/START_NR_NR0103_NR0103E/NR0103ENS2010T11A/?rxid=85ac04ec-f2f7-479e-b707-c730a79b5b21 [Hämtad 24/4-2017], (löpande priser mnkr, 0002 hela ekonomin totalt, alla tillgångsslag, 2004-2014).
- Statistiska Centralbyrån, (2017) Totala miljömotiverade subventioner, 2000-2015, Tillgänglig: <http://www.scb.se/hitta-statistik/statistik-efter-amne/miljo/miljoekonomi-och-hallbar-utveckling/miljorakenskaper/pong/tabell-och-diagram/miljorelaterade-subventioner/totala-miljomotiverade-direkta-subventioner-20002015/> [Hämtad 27/4-2017].
- Statistiska Centralbyrån, (2015) Miljöekonomiska profiler per bransch 2015, Tillgänglig: <http://www.scb.se/hitta-statistik/statistik-efter-amne/miljo/miljoekonomi-och-hallbar-utveckling/miljorakenskaper/pong/tabell-och-diagram/utslapp-till-luft/miljoekonomiska-profiler-per-bransch-2015/> [Hämtad 24/4-2017].
- Stern N. H., (2006) The Economics of Climate Change: the Stern Review, Cambridge: Cambridge University Press, s 5, s 122, ss 153-158, ss 168-575.
- Tol S. J. T., (2009) The Economic Effects of Climate Change, *Journal of Economic Perspectives*, Vol. 23, No. 2, ss 29-51.
- Vetenskapsrådet, (2016) Sambandet mellan FoU-utgifter och antalet forskare är starkt, Tillgänglig: <https://www.vr.se/nyheterpress/forskningsbarometern2016/avsnitt/sambandetmellanfou-utgifterochantaletforskarearstarkt.4.11c1cb331544d75b0ebbc088.html> [Hämtad 25/4-2017], (Sverige).

Appendix A

A.1. Funktioner

Produktion

Notationer: v = Miljövänlig produktion
 f = Miljöfarlig produktion
 $tot = v + f$

Produktionsfunktioner: $Y_i(1 - \eta - \gamma - \sigma) = (Y_v + Y_f)(1 - \eta - \gamma - \sigma)$ (A.1)

$$Y_v = K_{1,v}^\alpha K_{2,v}^\mu (A_v L_{Y,v})^{1-\alpha-\mu} (1 - \eta - \gamma - \sigma) \quad (A.2)$$

$$Y_f = K_{1,f}^\alpha K_{2,f}^\mu (A_f L_f)^{1-\alpha-\mu} (1 - \eta - \gamma - \sigma) \quad (A.3)$$

$$Y_{tot} = (K_{1,v}^\alpha K_{2,v}^\mu (A_v L_{Y,v})^{1-\alpha-\mu} + K_{1,f}^\alpha K_{2,f}^\mu (A_f L_f)^{1-\alpha-\mu}) (1 - \eta - \gamma) \quad (A.4)$$

Realkapital: $K_{tot} = K_{1,v} + K_{1,f} + K_{2,v} + K_{2,f}$ (A.5)

Arbetskraft: $L_{tot} = (L_{Y,v} + L_{A,v}) + L_f$ (A.6)

Realkapital

Kapitalackumulation: $\dot{K}_{1,v} = s_{1,v} Y_{tot} - \delta_1 K_{1,v}$ (A.7)

$$\dot{K}_{1,f} = s_{1,f} Y_{tot} - \delta_1 K_{1,f} \quad (A.8)$$

$$\dot{K}_{2,v} = s_{2,v} Y_{tot} - \delta_2 K_{2,v} \quad (A.9)$$

$$\dot{K}_{2,f} = s_{2,f} Y_{tot} - \delta_2 K_{2,f} \quad (A.10)$$

Sparkvot: $s_{tot} = s_{1,v} + s_{1,f} + s_{2,v} + s_{2,f}$ (A.11)

Depreciering: $\delta_2 = \delta_0 + \delta_u \lambda$ (A.12)

Teknologi

Teknologiackumulation: $\dot{A} = \theta A^\phi L_{A,v}^\omega (1 + \sigma)^\psi$ (A.13)

Koldioxidutsläpp

Akkumulerad koldioxid: $\lambda = \left(\int_{t_0}^t x(\rho) - \beta x_0 d\rho \right) / \left(1 + \int_{t_0}^t x(\rho) - \beta x_0 d\rho \right)$ (A.14)

Flöde av koldioxid: $x_t = y^g(1 - a\eta)(1 - s_{tot})\Omega$ (A.15)

$$(1 - s_{tot}) = \text{Konsumtion} \quad (\text{A.16})$$

Teknologisk ineffektivitet: $\Omega = \Omega_0 + (1 - b\gamma)\varphi$ (A.17)

Appendix B

B.1. Härledning tillväxttakt

För att kunna beräkna modellens jämvikt måste vi först hitta tillväxttakten i BNP per capita i steady state.

$$\text{BNP per capita:} \quad y_{\text{tot}} = \frac{Y_{\text{tot}}}{L_{\text{tot}}} \quad (\text{B.1})$$

$$\text{Realkapital per capita:} \quad k_{\text{tot}} = \frac{K_{\text{tot}}}{L_{\text{tot}}} \quad (\text{B.2})$$

$$y_{\text{tot}} = \frac{Y_{\text{tot}}}{L_{\text{tot}}} = \frac{(K_{1,v}^\alpha K_{2,v}^\mu (A_v L_{Y,v})^{1-\alpha-\mu} + K_{1,f}^\alpha K_{2,f}^\mu (A_f L_f)^{1-\alpha-\mu}) (1-\eta-\gamma-\sigma)}{L^\alpha L^\mu L^{1-\alpha-\mu}}$$

$$\rightarrow$$

$$y_{\text{tot}} = (k_{1,v}^\alpha k_{2,v}^\mu A_v^{1-\alpha-\mu} \left(\frac{L_{Y,v}}{L}\right)^{1-\alpha-\mu} + k_{1,f}^\alpha k_{2,f}^\mu A_f^{1-\alpha-\mu} \left(\frac{L_f}{L}\right)^{1-\alpha-\mu}) (1-\eta-\gamma-\sigma) \quad (\text{B.3})$$

Eftersom modellen består av två produktionsfunktioner behöver vi först beräkna tillväxttakten för dessa separat innan vi kan analysera tillväxttakten för total BNP per capita. Vi börjar med att hitta tillväxttakten för y_v genom att föra in den naturliga logaritmen i funktionen och sedan derivera.

$$y_v = k_{1,v}^\alpha k_{2,v}^\mu A_v^{1-\alpha-\mu} \left(\frac{L_{Y,v}}{L}\right)^{1-\alpha-\mu} (1-\eta-\gamma-\sigma)$$

$$\ln y_v = \alpha \ln k_{1,v} + \mu \ln k_{2,v} + (1-\alpha-\mu) \ln A_v + (1-\alpha-\mu) \ln \left(\frac{L_{Y,v}}{L}\right)$$

$$\frac{\partial \ln y_v}{\partial t} = \alpha \frac{\partial \ln k_{1,v}}{\partial t} + \mu \frac{\partial \ln k_{2,v}}{\partial t} + (1-\alpha-\mu) \frac{\partial \ln A_v}{\partial t} + (1-\alpha-\mu) \frac{\partial \ln \left(\frac{L_{Y,v}}{L}\right)}{\partial t}$$

$$\rightarrow \frac{\dot{y}_v}{y_v} = \alpha \frac{\dot{k}_{1,v}}{k_{1,v}} + \mu \frac{\dot{k}_{2,v}}{k_{2,v}} + (1-\alpha-\mu) \frac{\dot{A}_v}{A_v} + (1-\alpha-\mu) \frac{\dot{\left(\frac{L_{Y,v}}{L}\right)}}{\left(\frac{L_{Y,v}}{L}\right)}$$

$$\rightarrow g_{y_v} = \alpha g_{k_{1,v}} + \mu g_{k_{2,v}} + (1-\alpha-\mu) g_{A_v} + (1-\alpha-\mu) g_{\frac{L_{Y,v}}{L}} \quad (\text{B.4})$$

I jämvikt är $g_{\frac{L_{Y,v}}{L}} = 0$ då $\frac{L_{Y,v}}{L}$ är andelen människor som producerar varor och tjänster, vilket innebär att kvoten är en konstant och därför har en tillväxttakt som är 0.

I jämvikt är $g_y = g_k$ eftersom,

$$g_K = \frac{\dot{K}}{K} = \frac{sY - \delta K}{K} = s \frac{Y}{K} - \delta \quad (\text{B.5})$$

g_K är konstant i jämvikt vilket implicerar att kvoten $\frac{Y}{K}$ då även måste vara i konstant i jämvikt. Detta innebär att Y_{tot} , $K_{1,v}$ och $K_{2,v}$ måste växa i samma takt då tillväxttakten i kapitalackumulationsfunktionerna i den utvidgade modellen ser ut enligt nedan,

$$g_{K_{1,v}} = \frac{\dot{K}_{1,v}}{K_{1,v}} = s_{1,v} \frac{Y_{\text{tot}}}{K_{1,v}} - \delta_1 \frac{K_{1,v}}{K_{1,v}} \quad (\text{B.6})$$

$$g_{K_{2,v}} = \frac{\dot{K}_{2,v}}{K_{2,v}} = s_{1,v} \frac{Y_{\text{tot}}}{K_{2,v}} - \delta_1 \frac{K_{2,v}}{K_{2,v}} \quad (\text{B.7})$$

Vi kan även föra samma resonemang för produktionsfunktionen med notationen f där Y_{tot} , $K_{1,f}$ och $K_{2,f}$ då kommer att växa i samma takt. Detta antyder att Y_{tot} kommer att växa i samma takt som Y_v och Y_f då den ena produktionsfunktionen av de båda annars inte kommer att spela någon roll på lång sikt. Detta för att om t ex den miljövänliga produktionen växer snabbare än den miljöfarliga produktionen, så kommer den miljöfarliga produktionen till slut att vara mycket liten relativt till den miljövänliga produktionen. Detta ger att vi kan skriva om uttrycket för tillväxttakten i BNP per capita med notationen v enligt nedan.

$$g_{y_v} = \alpha g_{y_v} + \mu g_{y_v} + (1 - \alpha - \mu) g_{A_v}$$

$$\rightarrow (1 - \alpha - \mu) g_{y_v} = (1 - \alpha - \mu) g_{A_v}$$

$$\rightarrow g_{y_v} = g_{A_v}$$

Tillväxttakten drivs därmed av teknologi. För att i sin tur få fram vad teknologi i miljövänslig produktion drivs av måste vi göra liknande uträkningar för A_v .

$$g_{A_v} = \frac{\dot{A}_v}{A_v} = \frac{\theta A_v^\phi L_{A,v}^\omega (1 + \sigma)^\psi}{A_v} = \theta A_v^{\phi-1} L_{A,v}^\omega (1 + \sigma)^\psi$$

$$\ln g_{A_v} = \ln \theta + (\phi - 1) A_v + \omega \ln L_{A,v} + \psi \ln(1 + \sigma)$$

$$\frac{\partial \ln g_{A_v}}{\partial t} = \frac{\partial \ln \theta}{\partial t} + (\phi - 1) \frac{\partial A_v}{\partial t} + \omega \frac{\partial \ln L_{A,v}}{\partial t} + \psi \frac{\partial \ln(1 + \sigma)}{\partial t}$$

$$\rightarrow \frac{\dot{g}_{A_v}}{g_{A_v}} = g_\theta + (\phi - 1)g_{A_v} + \omega n + \psi g_{(1+\sigma)}$$

Eftersom θ och $(1 + \sigma)$ är konstanter är tillväxttakten 0. I jämvikt när $\frac{\dot{g}_{A_v}}{g_{A_v}} = 0$ blir tillväxttakten därmed,

$$0 = (\phi - 1)g_{A_v} + \omega n$$

$$\rightarrow g_{A_v} = \frac{\omega n}{1 - \phi}$$

$$\rightarrow g_{K_{1,v}} = g_{K_{2,v}} = g_{y_v} = g_{A_v} = \frac{\omega n}{1 - \phi}$$

På samma sätt som ovan kan vi få fram tillväxttakten för y_f vilket då ger,

$$g_{K_{1,f}} = g_{K_{2,f}} = g_{y_f} = g_{A_f}$$

där A_f bestäms utanför modellen d v s exogent. Eftersom Y_{tot} består av två produktionsfunktioner som adderas ihop, ger detta en lite annorlunda resonemang gällande tillväxttakten för nämnda variabel. Tidigare resonemang menar att Y_{tot} kommer att växa i samma takt som Y_v och Y_f . Dock implicerar detta inte att Y_{tot} kommer att växa i samma takt som A_v och A_f separat. Eftersom den totala produktionsfunktionen ser ut som den gör, där de miljövänliga och de miljöfarliga delarna av produktionen utgör olika stora andelar av produktionen, måste ett vägt medelvärde av tillväxttakten för teknologi tas fram. Ett sådant medelvärde skulle kunna se ut enligt nedan,

$$g_{A_{v\text{ägt}}} = h \cdot g_{A_f} + r \cdot g_{A_v}$$

detta implicerar nedanstående,

$$g_{y_{tot}} = g_{K_{1,v}} = g_{K_{2,v}} = g_{K_{1,f}} = g_{K_{2,f}} = g_{y_v} = g_{y_f} = g_{A_{v\text{ägt}}} = h \cdot g_{A_f} + r \cdot g_{A_v}$$

som i sin tur ger,

$$\mathbf{g}_{y_{\text{tot}}} = \mathbf{g}_{K_{1,v}} = \mathbf{g}_{K_{2,v}} = \mathbf{g}_{K_{1,f}} = \mathbf{g}_{K_{2,f}} = \mathbf{g}_{y_v} = \mathbf{g}_{y_f} = \mathbf{h} \cdot \mathbf{g}_{A_f} + \mathbf{r} \cdot \frac{\omega \mathbf{n}}{1-\phi} \quad (\text{B.8})$$

B.2. Härledning modellens jämvikt

Eftersom modellen består av två produktionsfunktioner måste vi först hitta var produktionsfunktions steady state d v s jämvikt innan vi kan utläsa jämvikten för Y_{tot} . För att göra detta måste flertalet hjälpvariabler först tas fram enligt följande utseende,

$$\tilde{y}_v = \frac{Y_v}{A_v L} \quad \text{och} \quad \tilde{y}_f = \frac{Y_f}{A_f L} \quad (\text{B.9})$$

$$\tilde{k}_{1,v} = \frac{K_{1,v}}{A_v L}, \quad \tilde{k}_{2,v} = \frac{K_{2,v}}{A_v L}, \quad \tilde{k}_{1,f} = \frac{K_{1,f}}{A_f L} \quad \text{och} \quad \tilde{k}_{2,f} = \frac{K_{2,f}}{A_f L} \quad (\text{B.10})$$

Vi börjar först med att ta fram \tilde{y}_{tot} för att sedan lösa jämvikten för \tilde{y}_v respektive \tilde{y}_f separat. För att kunna göra detta måste vi även sedan lösa $\tilde{k}_{1,v}$, $\tilde{k}_{2,v}$, $\tilde{k}_{1,f}$ och $\tilde{k}_{2,f}$.

$$\begin{aligned} \tilde{y}_{\text{tot}} &= \left(\frac{K_{1,v}^\alpha K_{2,v}^\mu (A_v L_{Y,v})^{1-\alpha-\mu}}{(A_v L)^\alpha (A_v L)^\mu (A_v L)^{1-\alpha-\mu}} + \frac{K_{1,f}^\alpha K_{2,f}^\mu (A_f L_f)^{1-\alpha-\mu}}{(A_f L)^\alpha (A_f L)^\mu (A_f L)^{1-\alpha-\mu}} \right) (1 - \eta - \gamma - \sigma) \\ \rightarrow \tilde{y}_{\text{tot}} &= \left(\tilde{k}_{1,v}^\alpha \tilde{k}_{2,v}^\mu \left(\frac{L_{Y,v}}{L} \right)^{1-\alpha-\mu} + \tilde{k}_{1,f}^\alpha \tilde{k}_{2,f}^\mu \right) (1 - \eta - \gamma - \sigma) \end{aligned} \quad (\text{B.11})$$

Vi börjar med att lösa jämvikten för \tilde{y}_v .

$$\tilde{y}_v = \frac{Y_v}{A_v L} = \frac{K_{1,v}^\alpha K_{2,v}^\mu (A_v L_{Y,v})^{1-\alpha-\mu}}{(A_v L)^\alpha (A_v L)^\mu (A_v L)^{1-\alpha-\mu}} (1 - \eta - \gamma - \sigma) = \tilde{k}_{1,v}^\alpha \tilde{k}_{2,v}^\mu \left(\frac{L_{Y,v}}{L} \right)^{1-\alpha-\mu} (1 - \eta - \gamma - \sigma)$$

$$\dot{\tilde{k}}_{1,v} = \frac{\dot{K}_{1,v}}{A_v L} - \frac{\dot{K}_{1,v}}{[A_v L]^2} \left[\frac{\dot{A}_v L_v + A_v \dot{L}_v}{A_v L} \right] = s_1 \tilde{y}_v - (n_v + g_{A,v} + \delta_1) \tilde{k}_{1,v}$$

$$\dot{\tilde{k}}_{2,v} = \frac{\dot{K}_{2,v}}{A_v L} - \frac{\dot{K}_{2,v}}{[A_v L]^2} \left[\frac{\dot{A}_v L_v + A_v \dot{L}_v}{A_v L} \right] = s_2 \tilde{y}_v - (n_v + g_{A,v} + (\delta_0 + \lambda_t \delta_u)) \tilde{k}_{2,v}$$

I jämvikt är $\dot{\tilde{k}}_{1,v} = 0$ och $\dot{\tilde{k}}_{2,v} = 0$, vilket ger,

$$s_1 \tilde{y}_v = (n_v + g_{A,v} + \delta_1) \tilde{k}_{1,v}$$

$$s_2 \tilde{y}_v = (n_v + g_{A,v} + \delta_2) \tilde{k}_{2,v}$$

För att lösa systemet ovan kan vi sätta in funktionen \tilde{y}_v i båda uttrycken. Först löser vi $\tilde{k}_{1,v}$ i termer av $\tilde{k}_{2,v}$.

$$s_1 \tilde{k}_{1,v}^\alpha \tilde{k}_{2,v}^\mu \left(\frac{L_{Y,v}}{L}\right)^{1-\alpha-\mu} (1-\eta-\gamma-\sigma) = (n_v + g_{A,v} + \delta_1) \tilde{k}_{1,v}$$

$$\rightarrow \tilde{k}_{1,v}^{\alpha-1} = \frac{(n_v + g_{A,v} + \delta_1)}{s_1(1-\eta-\gamma-\sigma)} \left(\frac{L_{Y,v}}{L}\right)^{-(1-\alpha-\mu)} \tilde{k}_{2,v}^{-\mu}$$

$$\rightarrow \tilde{k}_{1,v} = \left(\frac{s_1(1-\eta-\gamma-\sigma)}{(n_v + g_{A,v} + \delta_1)}\right)^{\frac{1}{1-\alpha}} \left(\frac{L_{Y,v}}{L}\right)^{\frac{1-\alpha-\mu}{1-\alpha}} \tilde{k}_{2,v}^{\frac{\mu}{1-\alpha}}$$

När vi nu har ett uttryck för $\tilde{k}_{1,v}$ i termer av $\tilde{k}_{2,v}$ måste vi sätta in detta i $\tilde{k}_{2,v}$.

$$s_2 \tilde{k}_{2,v}^\mu \left[\left(\frac{s_1(1-\eta-\gamma-\sigma)}{(n_v + g_{A,v} + \delta_1)}\right)^{\frac{1}{1-\alpha}} \left(\frac{L_{Y,v}}{L}\right)^{\frac{1-\alpha-\mu}{1-\alpha}} \tilde{k}_{2,v}^{\frac{\mu}{1-\alpha}} \right]^\alpha \left(\frac{L_{Y,v}}{L}\right)^{1-\alpha-\mu} (1-\eta-\gamma-\sigma) = (n_v + g_{A,v} + \delta_2) \tilde{k}_{2,v}$$

$$\rightarrow \tilde{k}_{2,v}^{\mu-1} \left(\frac{s_1(1-\eta-\gamma-\sigma)}{(n_v + g_{A,v} + \delta_1)}\right)^{\frac{1}{1-\alpha}} \left(\frac{L_{Y,v}}{L}\right)^{\frac{\alpha-\alpha^2-\alpha\mu}{1-\alpha}} \tilde{k}_{2,v}^{\frac{\alpha\mu}{1-\alpha}} \left(\frac{L_{Y,v}}{L}\right)^{\frac{(1-\alpha-\mu)(1-\alpha)}{(1-\alpha)}} = \frac{(n_v + g_{A,v} + \delta_2)}{s_2(1-\eta-\gamma-\sigma)}$$

$$\rightarrow \tilde{k}_{2,v}^{\frac{\mu-\mu\alpha-1+\alpha+\mu\alpha}{1-\alpha}} = \left[\frac{s_1(1-\eta-\gamma-\sigma)}{(n_v + g_{A,v} + \delta_1)}\right]^{\frac{-\alpha}{1-\alpha}} \left[\frac{s_2(1-\eta-\gamma-\sigma)}{(n_v + g_{A,v} + \delta_2)}\right]^{-1} \left(\frac{L_{Y,v}}{L}\right)^{\frac{-(1-\alpha-\mu)}{1-\alpha}}$$

$$\rightarrow \tilde{k}_{2,v}^* = \left[\frac{s_1(1-\eta-\gamma-\sigma)}{(n_v + g_{A,v} + \delta_1)}\right]^{\frac{-\alpha}{1-\alpha}} \frac{(1-\alpha)}{(\mu+\alpha-1)} \left[\frac{s_2(1-\eta-\gamma-\sigma)}{(n_v + g_{A,v} + \delta_2)}\right]^{\frac{-1}{\mu+\alpha-1}} \left(\frac{L_{Y,v}}{L}\right)^{\frac{-(1-\alpha-\mu)(1-\alpha)}{(\mu+\alpha-1)(1-\alpha)}}$$

$$\rightarrow \tilde{k}_{2,v}^* = \left(\frac{s_1(1-\eta-\gamma-\sigma)}{(n_v + g_{A,v} + \delta_1)}\right)^{\frac{\alpha}{1-\alpha-\mu}} \left(\frac{s_2(1-\eta-\gamma-\sigma)}{(n_v + g_{A,v} + \delta_2)}\right)^{\frac{1-\alpha}{1-\alpha-\mu}} \left(\frac{L_{Y,v}}{L}\right) \quad (B.12)$$

Nu har vi även ett uttryck för $\tilde{k}_{2,v}$ vilket innebär att vi nu kan substituera detta uttryck tillbaka in i $\tilde{k}_{1,v}$.

$$\tilde{k}_{1,v} = \left(\frac{s_1(1-\eta-\gamma-\sigma)}{(n_v + g_{A,v} + \delta_1)}\right)^{\frac{1}{1-\alpha}} \left[\left(\frac{s_1(1-\eta-\gamma-\sigma)}{(n_v + g_{A,v} + \delta_1)}\right)^{\frac{\alpha}{1-\alpha-\mu}} \left(\frac{s_2(1-\eta-\gamma-\sigma)}{(n_v + g_{A,v} + \delta_2)}\right)^{\frac{1-\alpha}{1-\alpha-\mu}} \left(\frac{L_{Y,v}}{L}\right) \right]^{\frac{\mu}{1-\alpha}} \left(\frac{L_{Y,v}}{L}\right)^{\frac{1-\alpha-\mu}{1-\alpha}}$$

$$\rightarrow \tilde{k}_{1,v} = \left(\frac{s_1(1-\eta-\gamma-\sigma)}{(n_v + g_{A,v} + \delta_1)}\right)^{\frac{1-\alpha-\mu+\alpha\mu}{(1-\alpha-\mu)(1-\alpha)}} \left(\frac{s_2(1-\eta-\gamma-\sigma)}{(n_v + g_{A,v} + \delta_2)}\right)^{\frac{\mu}{1-\alpha-\mu}} \left(\frac{L_{Y,v}}{L}\right)^{\frac{\mu+1-\alpha-\mu}{(1-\alpha)}}$$

$$\rightarrow \tilde{k}_{1,v}^* = \left(\frac{s_1(1-\eta-\gamma-\sigma)}{(n_v + g_{A,v} + \delta_1)}\right)^{\frac{(1-\mu)}{(1-\alpha-\mu)}} \left(\frac{s_2(1-\eta-\gamma-\sigma)}{(n_v + g_{A,v} + \delta_2)}\right)^{\frac{\mu}{1-\alpha-\mu}} \left(\frac{L_{Y,v}}{L}\right) \quad (B.13)$$

Nu kan vi till slut sätta in båda uttrycken för $\tilde{\mathbf{k}}_{1,v}^*$ och $\tilde{\mathbf{k}}_{2,v}^*$ i $\tilde{\mathbf{y}}_v$.

$$\begin{aligned} \tilde{\mathbf{y}}_v &= \left[\left(\frac{s_1(1-\eta-\gamma-\sigma)}{(n_v+g_{A,v}+\delta_1)} \right)^{\frac{(1-\mu)}{(1-\alpha-\mu)}} \left(\frac{s_2(1-\eta-\gamma-\sigma)}{(n_v+g_{A,v}+\delta_2)} \right)^{\frac{\mu}{1-\alpha-\mu}} \left(\frac{L_{Y,v}}{L} \right) \right]^\alpha \left[\left(\frac{s_1(1-\eta-\gamma-\sigma)}{(n_v+g_{A,v}+\delta_1)} \right)^{\frac{\alpha}{1-\alpha-\mu}} \left(\frac{s_2(1-\eta-\gamma-\sigma)}{(n_v+g_{A,v}+\delta_2)} \right)^{\frac{1-\alpha}{1-\alpha-\mu}} \left(\frac{L_{Y,v}}{L} \right) \right]^\mu \\ &\quad \left(\frac{L_{Y,v}}{L} \right)^{1-\alpha-\mu} (1-\eta-\gamma-\sigma) \\ \rightarrow \tilde{\mathbf{y}}_v^* &= \left(\frac{s_1(1-\eta-\gamma-\sigma)}{(n_v+g_{A,v}+\delta_1)} \right)^{\frac{\alpha}{(1-\alpha-\mu)}} \left(\frac{s_2(1-\eta-\gamma-\sigma)}{(n_v+g_{A,v}+\delta_2)} \right)^{\frac{\mu}{1-\alpha-\mu}} \left(\frac{L_{Y,v}}{L} \right) (1-\eta-\gamma-\sigma) \end{aligned} \quad (\text{B.14})$$

När vi nu har jämvikten för $\tilde{\mathbf{y}}_v^*$ behöver vi även hitta jämvikten för $\tilde{\mathbf{y}}_f^*$. Genom att göra exakt samma process kommer vi att komma fram till följande jämvikt för $\tilde{\mathbf{y}}_f^*$,

$$\tilde{\mathbf{y}}_f^* = \left(\frac{s_1(1-\eta-\gamma-\sigma)}{(n_f+g_{A,f}+\delta_1)} \right)^{\frac{\alpha}{(1-\alpha-\mu)}} \left(\frac{s_2(1-\eta-\gamma-\sigma)}{(n_f+g_{A,f}+\delta_2)} \right)^{\frac{\mu}{1-\alpha-\mu}} (1-\eta-\gamma-\sigma) \quad (\text{B.15})$$

Detta ger jämvikten för $\tilde{\mathbf{y}}_{\text{tot}}^*$,

$$\begin{aligned} \tilde{\mathbf{y}}_{\text{tot}}^* &= \left[\left(\frac{s_1(1-\eta-\gamma-\sigma)}{(n_v+g_{A,v}+\delta_1)} \right)^{\frac{\alpha}{(1-\alpha-\mu)}} \left(\frac{s_2(1-\eta-\gamma-\sigma)}{(n_v+g_{A,v}+\delta_2)} \right)^{\frac{\mu}{1-\alpha-\mu}} \left(\frac{L_{Y,v}}{L} \right) + \right. \\ &\quad \left. \left(\frac{s_1(1-\eta-\gamma-\sigma)}{(n_f+g_{A,f}+\delta_1)} \right)^{\frac{\alpha}{(1-\alpha-\mu)}} \left(\frac{s_2(1-\eta-\gamma-\sigma)}{(n_f+g_{A,f}+\delta_2)} \right)^{\frac{\mu}{1-\alpha-\mu}} \right] (1-\eta-\gamma-\sigma) \end{aligned} \quad (\text{B.16})$$

Vi vet att $\mathbf{y}^* = \tilde{\mathbf{y}}^* \cdot \mathbf{A}$,

$$\mathbf{y}_{\text{tot}}^* = \left[\left(\frac{s_{1,v}(1-\eta-\gamma-\sigma)}{n_v+g_{A,v}+\delta_1} \right)^{\frac{\alpha}{1-\alpha-\mu}} \left(\frac{s_{2,v}(1-\eta-\gamma-\sigma)}{n_v+g_{A,v}+\delta_2} \right)^{\frac{\mu}{1-\alpha-\mu}} \left(\frac{L_{Y,v}}{L} \right) A_v + \right. \\ \left. \left(\frac{s_{1,f}(1-\eta-\gamma-\sigma)}{n_f+g_{A,f}+\delta_1} \right)^{\frac{\alpha}{1-\alpha-\mu}} \left(\frac{s_{2,f}(1-\eta-\gamma-\sigma)}{n_f+g_{A,f}+\delta_2} \right)^{\frac{\mu}{1-\alpha-\mu}} A_f \right] (1-\eta-\gamma-\sigma) \quad (\text{B.17})$$

Eftersom A_v är endogen kan vi även föra in uttrycket för detta i funktionen för $\mathbf{y}_{\text{tot}}^*$. Genom att ändra om lite i funktionen för tillväxttakten i A_v kan vi få fram vad vi söker,

$$g_{A_v} = \frac{\dot{A}}{A} = \frac{\theta A^\phi L_{A,v}^\omega (1+\sigma)^\psi}{A} \quad (\text{B.18})$$

$$\rightarrow A = \left(\frac{\theta L_{A,v}^\omega (1+\sigma)^\psi}{g_{A_v}} \right)^{\frac{1}{1-\phi}}$$

$$\rightarrow y_{\text{tot}}^* = \left[\begin{aligned} & \left(\frac{s_{1,v}(1-\eta-\gamma-\sigma)}{n_v+g_{A,v}+\delta_1} \right)^{\frac{\alpha}{1-\alpha-\mu}} \left(\frac{s_{2,v}(1-\eta-\gamma-\sigma)}{n_v+g_{A,v}+\delta_2} \right)^{\frac{\mu}{1-\alpha-\mu}} \left(\frac{L_{Y,v}}{L} \right) \left(\frac{\theta L_{A,v}^\omega (1+\sigma)^\psi}{g_{A_v}} \right)^{\frac{1}{1-\phi}} + \\ & \left(\frac{s_{1,f}(1-\eta-\gamma-\sigma)}{n_f+g_{A,f}+\delta_1} \right)^{\frac{\alpha}{1-\alpha-\mu}} \left(\frac{s_{2,f}(1-\eta-\gamma-\sigma)}{n_f+g_{A,f}+\delta_2} \right)^{\frac{\mu}{1-\alpha-\mu}} \left(\frac{L_f}{L} \right) A_f \end{aligned} \right] (1-\eta-\gamma-\sigma) \quad (\text{B.19})$$

B.3. Härledning sparkvoter

Den totala sparkvoten i modellen togs fram genom nedanstående uträkning,

$$s_{\text{tot}} = \frac{\text{Fasta Bruttoinvesteringar}}{Y_{\text{tot}}} \quad (\text{B.20})$$

Genom ovanstående vet vi nu vad den totala sparkvoten kommer att bli,

$$s_{\text{tot}} = s_{1,v} + s_{2,v} + s_{1,f} + s_{2,f} \quad (\text{B.21})$$

Vi vet att,

$$\dot{K}_{1,v} = s_{1,v} Y_{\text{tot}} - \delta_1 K_{1,v} \quad (\text{B.22})$$

$$\dot{K}_{1,f} = s_{1,f} Y_{\text{tot}} - \delta_1 K_{1,f} \quad (\text{B.23})$$

$$\dot{K}_{2,v} = s_{2,v} Y_{\text{tot}} - \delta_2 K_{2,v} \quad (\text{B.24})$$

$$\dot{K}_{2,f} = s_{2,f} Y_{\text{tot}} - \delta_2 K_{2,f} \quad (\text{B.25})$$

I jämvikt är $\dot{K} = 0$, samt i båda kapitalackumulationsfunktionerna vet vi att δ_2 är detsamma och därför kan lösa ut $s_{2,v}$ i termer av $s_{2,f}$ genom att göra enligt nedan,

$$\frac{s_{2,v} Y_{\text{tot}}}{K_{2,v}} = \frac{s_{2,f} Y_{\text{tot}}}{K_{2,f}}$$

$$\rightarrow s_{2,v} = s_{2,f} \frac{K_{2,v}}{K_{2,f}}$$

och substituera ovanstående uttryck in i s_{tot} ,

$$s_{tot} = s_{1,v} + s_{2,f} \frac{K_{2,v}}{K_{2,f}} + s_{1,f} + s_{2,f} \quad (B.26)$$

Vi kan även lösa ut Y_{tot} i termer av $s_{2,f}$ och sedan substituera in detta i kapitalackumulationsfunktionen för $K_{1,f}$,

$$s_{1,f} \left(\frac{\delta_2 K_{2,f}}{s_{2,f}} \right) = \delta_1 K_{1,f}$$

$$\rightarrow s_{1,f} = \frac{\delta_1 K_{1,f} s_{2,f}}{\delta_2 K_{2,f}}$$

Substituera in ovanstående uttryck i s_{tot} ,

$$s_{tot} = s_{1,v} + s_{2,f} \frac{K_{2,v}}{K_{2,f}} + \frac{\delta_1 K_{1,f} s_{2,f}}{\delta_2 K_{2,f}} + s_{2,f} \quad (B.27)$$

På samma sätt som tidigare kan vi även lösa ut $s_{1,v}$ i termer av $s_{2,f}$,

$$\rightarrow s_{1,v} = \frac{\delta_1 K_{1,v} s_{2,f}}{\delta_2 K_{2,f}}$$

och substituera in i uttrycket för s_{tot} ,

$$s_{tot} = \frac{\delta_1 K_{1,v} s_{2,f}}{\delta_2 K_{2,f}} + s_{2,f} \frac{K_{2,v}}{K_{2,f}} + \frac{\delta_1 K_{1,f} s_{2,f}}{\delta_2 K_{2,f}} + s_{2,f}$$

$$\rightarrow s_{tot} = s_{2,f} \left(\frac{\delta_1 K_{1,v}}{\delta_2 K_{2,f}} + \frac{K_{2,v}}{K_{2,f}} + \frac{\delta_1 K_{1,f}}{\delta_2 K_{2,f}} + 1 \right) \quad (B.28)$$

$$\rightarrow s_{2,f} = \frac{s_{tot}}{\left(\frac{\delta_1 K_{1,v}}{\delta_2 K_{2,f}} + \frac{K_{2,v}}{K_{2,f}} + \frac{\delta_1 K_{1,f}}{\delta_2 K_{2,f}} + 1 \right)} \quad (B.29)$$

Eftersom vi har all data i uttrycket för $s_{2,f}$ kan vi sätta in denna och få fram ett värde. Eftersom vi även har löst alla sparkvoter i termer av $s_{2,f}$ kan vi därefter få fram värdena för dessa.

Appendix C

C.1. Datasammanställning

Variabel	Beskrivning	Ingångsvärde
Y_{tot}	Total BNP	4 181 103 000 000
Y_v	Total miljövänlig BNP	2 926 772 100 000
Y_f	Total miljöfarlig BNP	1 254 330 900 000
K_{tot}	Totalt realkapital	13 233 787 847 710
$K_{1,v}$	Miljövänligt realkapital som inte påverkas av koldioxidutsläpp	1 828 914 335 842
$K_{1,f}$	Miljöfarligt realkapital som inte påverkas av koldioxidutsläpp	1 219 276 223 895
$K_{2,v}$	Miljövänligt realkapital som påverkas av koldioxidutsläpp	4 074 238 915 189
$K_{2,f}$	Miljöfarligt realkapital som påverkas av koldioxidutsläpp	6 111 358 372 783
L_{tot}	Total befolkning	9 851 017
L_v	Total arbetskraft i miljövänlig produktion	7 388 263
$L_{A,v}$	Arbetskraft i forskningssektorn i miljövänlig produktion	177 354
$L_{Y,v}$	Arbetskraft i varu- och tjänstesektorn i miljövänlig produktion	2 259 485
L_f	Total arbetskraft i miljöfarlig produktion	2 462 754
A_v	Teknologi i miljövänlig produktion	126 722
A_f	Teknologi i miljöfarlig produktion	1 226 001
λ	Ackumulerat koldioxidutsläpp	0,4827
β	Naturlig absorbering av koldioxid	0,5400
α	Andel av inkomster som tillfaller realkapital som inte påverkas av koldioxidutsläpp	*0,1500
μ	Andel av inkomster som tillfaller realkapital som påverkas av koldioxidutsläpp	*0,1800
δ_u	Andel av ackumulerat koldioxidutsläpp som påverkar depreciering av realkapital	*0,0100
δ_0	Grundläggande depreciering av realkapital	0,0500
n	Befolkningstillväxt	0,0060
ϕ	Möjligheter för ny teknologi	*0,6500
ω	Avtagande avkastning i forskning	*0,6000
ψ	Avtagande avkastning i forskningssatsningar	*0,8000
θ	Produktivitet i teknologi	0,00031
ϑ	Avtagande avkastning i miljöfarlig produktion	*0,8000
η	Andel av BNP till miljösubventioner	0,0018
γ	Andel av BNP till energieffektiviseringar	0,0100
σ	Andel av BNP till miljöforskning	0,0100
a	Förstärkningsmekanism för miljösubventioner	5
b	Förstärkningsmekanism för energieffektiviseringar	7
Ω	Energiineffektivitet	$1,5640 \cdot 10^{-8}$

Ω_0	Grundläggande energiineffektivitet	$3,1280 \cdot 10^{-9}$
φ	Rörlig energiineffektivitet	$1,3454 \cdot 10^{-8}$
s_{tot}	Total andel av sparande	0,2300
$s_{1,v}$	Andel sparande som tillfaller realkapital som inte påverkas av koldioxidutsläpp i miljövänlig produktion	0,0219
$s_{1,f}$	Andel sparande som tillfaller realkapital som inte påverkas av koldioxidutsläpp i miljöfarlig produktion	0,0146
$s_{2,v}$	Andel sparande som tillfaller realkapital som påverkas av koldioxidutsläpp i miljövänlig produktion	0,0387
$s_{2,f}$	Andel sparande som tillfaller realkapital som påverkas av koldioxidutsläpp i miljöfarlig produktion	0,1548

*Enbart uppskattade värden

C.2. Data – BNP

År	BNP SEK	Befolkning	BNP per capita SEK
1980	584 413 000 000	8 317 937	70259
1981	638 634 000 000	8 323 033	76731
1982	699 524 000 000	8 327 484	84002
1983	784 825 000 000	8 330 573	94210
1984	881 974 000 000	8 342 621	105719
1985	959 717 000 000	8 358 139	114824
1986	1 049 286 000 000	8 381 515	125190
1987	1 135 409 000 000	8 414 083	134942
1988	1 241 401 000 000	8 458 888	146757
1989	1 373 535 000 000	8 527 036	161080
1990	1 514 857 000 000	8 590 630	176338
1991	1 624 458 000 000	8 644 119	187926
1992	1 627 077 000 000	8 692 013	187192
1993	1 634 131 000 000	8 745 109	186862
1994	1 744 433 000 000	8 816 381	197863
1995	1 883 562 000 000	8 837 496	213133
1996	1 932 025 000 000	8 844 499	218444
1997	2 019 261 000 000	8 847 625	228226
1998	2 121 037 000 000	8 854 322	239548
1999	2 237 854 000 000	8 861 426	252539
2000	2 380 358 000 000	8 882 792	267974
2001	2 478 130 000 000	8 909 128	278156
2002	2 569 876 000 000	8 940 788	287433
2003	2 677 446 000 000	8 975 670	298300
2004	2 805 115 000 000	9 011 392	311285
2005	2 907 352 000 000	9 047 752	321334
2006	3 099 081 000 000	9 113 257	340063
2007	3 297 053 000 000	9 182 927	359042
2008	3 387 599 000 000	9 256 347	365976
2009	3 288 509 000 000	9 340 682	352063
2010	3 519 994 000 000	9 415 570	373848
2011	3 656 577 000 000	9 482 855	385599
2012	3 684 800 000 000	9 555 893	385605
2013	3 769 909 000 000	9 644 864	390872
2014	3 936 840 000 000	9 747 355	403888
2015	4 181 103 000 000	9 851 017	424434

Källa: Statistiska Centralbyrån (2016)

C.3. Data - Koldioxidutsläpp

Ar	Årligt koldioxidutsläpp Mt	Akkumulerat koldioxidutsläpp Mt
1980	74,3101	2816,8862
1981	67,3242	2884,2104
1982	61,6068	2945,8172
1983	56,0675	3001,8847
1984	55,2108	3057,0955
1985	59,4289	3116,5244
1986	60,8623	3177,3867
1987	59,1312	3236,5179
1988	56,7012	3293,2191
1989	53,9828	3347,2019
1990	53,2948	3400,4967
1991	54,2745	3454,7712
1992	56,7795	3511,5507
1993	56,4772	3568,0279
1994	58,4336	3626,4615
1995	58,1841	3684,6456
1996	63,6201	3748,2657
1997	57,3812	3805,6469
1998	58,3312	3863,9781
1999	57,2568	3921,2349
2000	53,2927	3974,5276
2001	52,4690	4026,9966
2002	54,0454	4081,0420
2003	55,2148	4136,2568
2004	53,5797	4189,8365
2005	50,4384	4240,2749
2006	48,0793	4288,3542
2007	46,4393	4334,7935
2008	44,4019	4379,1954
2009	41,5014	4420,6968
2010	46,9340	4467,6308
2011	43,4496	4511,0804
2012	40,4062	4551,4866
2013	38,9058	4590,3924
2014	*37,7386	*4628,1310
2015	*36,9838	*4665,1148

*Uppskattade värden

Källa: CAIT Climate Change Explorer (2015)

C.4. Data - Simulering 1

År	BNP per capita SEK		Årligt koldioxidutsläpp Mt	Tillväxt BNP per capita	
	Inga styrmedel	Inga utsläpp	Inga styrmedel	Inga styrmedel	Inga utsläpp
2017	437470	434535	44,8021	0,0053	0,0251
2018	439248	441444	45,8468	0,0053	-0,0068
2019	441071	444155	47,0755	0,0053	0,0101
2020	442943	446897	48,3241	0,0054	0,0102
2021	444870	449675	49,5938	0,0054	0,0102
2022	446855	452492	50,8857	0,0055	0,0103
2023	448900	455352	52,2008	0,0056	0,0104
2024	451007	458258	53,5402	0,0057	0,0105
2025	453179	461212	54,9048	0,0058	0,0106
2026	455416	464216	56,2956	0,0058	0,0107
2027	457721	467271	57,7135	0,0059	0,0108
2028	460094	470380	59,1594	0,0060	0,0109
2029	462536	473543	60,6342	0,0061	0,0110
2030	465047	476761	62,1388	0,0062	0,0111
2031	467628	480035	63,6740	0,0063	0,0112
2032	470279	483367	65,2407	0,0064	0,0113
2033	473000	486755	66,8397	0,0065	0,0114
2034	475790	490202	68,4718	0,0066	0,0115
2035	478651	493706	70,1379	0,0066	0,0116
2036	481581	497270	71,8387	0,0067	0,0116
2037	484580	500892	73,5750	0,0068	0,0117
2038	487648	504573	75,3478	0,0069	0,0118
2039	490785	508313	77,1578	0,0070	0,0119

2040	493991	512113	79,0057	0,0070	0,0120
2041	497264	515973	80,8925	0,0071	0,0121
2042	500605	519892	82,8189	0,0072	0,0121
2043	504012	523870	84,7858	0,0073	0,0122
2044	507486	527909	86,7939	0,0073	0,0123
2045	511027	532007	88,8442	0,0074	0,0123
2046	514633	536165	90,9374	0,0075	0,0124
2047	518304	540383	93,0745	0,0075	0,0125
2048	522040	544660	95,2562	0,0076	0,0125
2049	525840	548998	97,4835	0,0076	0,0126
2050	529705	553396	99,7573	0,0077	0,0126
2051	533633	557853	102,0783	0,0077	0,0127
2052	537624	562371	104,4476	0,0078	0,0127
2053	541678	566949	106,8661	0,0078	0,0128
2054	545794	571587	109,3347	0,0079	0,0128
2055	549973	576285	111,8543	0,0079	0,0129
2056	554213	581043	114,4260	0,0080	0,0129
2057	558516	585862	117,0506	0,0080	0,0129
2058	562879	590741	119,7293	0,0081	0,0130
2059	567304	595681	122,4631	0,0081	0,0130
2060	571789	600682	125,2530	0,0081	0,0130

C.5. Data - Simulering 2

År	BNP per capita SEK				Årligt koldioxidutsläpp Mt			
	Eta=0,0018	Eta=0,01	Eta=0,02	Eta=0,04	Eta=0,0018	Eta=0,01	Eta=0,02	Eta=0,04
2017	437555	424445	419595	409990	44,1267	39,8987	34,9492	25,9816
2018	438577	434975	430582	421795	45,1605	41,1672	37,4809	27,4088
2019	440362	436678	432188	423212	46,3740	42,0343	38,2843	28,0525
2020	442199	438435	433850	424687	47,6072	42,8929	39,0802	28,6908
2021	444090	440249	435570	426225	48,8613	43,7449	39,8705	29,3254
2022	446040	442122	437351	427828	50,1375	44,5923	40,6567	29,9573
2023	448051	444058	439197	429498	51,4367	45,4364	41,4403	30,5877
2024	450126	446058	441108	431236	52,7600	46,2787	42,2226	31,2175
2025	452265	448125	443087	433044	54,1083	47,1203	43,0045	31,8475
2026	454472	450259	445134	434923	55,4826	47,9624	43,7872	32,4786
2027	456746	452462	447251	436874	56,8837	48,8060	44,5714	33,1114
2028	459089	454734	449439	438897	58,3126	49,6519	45,3581	33,7466
2029	461501	457077	451698	440994	59,7701	50,5009	46,1479	34,3847
2030	463984	459490	454028	443163	61,2571	51,3537	46,9414	35,0262
2031	466536	461974	456429	445405	62,7745	52,2111	47,7395	35,6717
2032	469159	464529	458903	447721	64,3230	53,0736	48,5424	36,3215
2033	471852	467155	461448	450109	65,9035	53,9418	49,3510	36,9762
2034	474616	469852	464064	452570	67,5168	54,8163	50,1655	37,6360
2035	477450	472619	466751	455104	69,1637	55,6976	50,9865	38,3013
2036	480354	475457	469510	457710	70,8451	56,5860	51,8143	38,9726
2037	483327	478366	472339	460387	72,5616	57,4821	52,6495	39,6500
2038	486370	481344	475239	463135	74,3142	58,3862	53,4923	40,3340
2039	489482	484391	478208	465955	76,1035	59,2988	54,3432	41,0247
2040	492663	487507	481246	468844	77,9305	60,2203	55,2025	41,7225

2041	495912	490692	484354	471803	79,7960	61,1509	56,0704	42,4276
2042	499228	493945	487530	474831	81,7006	62,0910	56,9474	43,1403
2043	502612	497265	490773	477928	83,6453	63,0409	57,8337	43,8607
2044	506063	500653	494084	481092	85,6309	64,0010	58,7295	44,5892
2045	509580	504107	497462	484324	87,6582	64,9715	59,6352	45,3260
2046	513164	507627	500906	487623	89,7279	65,9527	60,5511	46,0712
2047	516812	511213	504416	490988	91,8411	66,9449	61,4773	46,8250
2048	520526	514864	507991	494418	93,9985	67,9484	62,4142	47,5877
2049	524304	518579	511631	497914	96,2009	68,9633	63,3619	48,3595
2050	528147	522359	515335	501474	98,4493	69,9901	64,3207	49,1405
2051	532053	526203	519103	505099	100,7445	71,0288	65,2908	49,9309
2052	536022	530110	522935	508787	103,0875	72,0798	66,2725	50,7309
2053	540055	534081	526829	512538	105,4791	73,1433	67,2660	51,5406
2054	544150	538113	530787	516352	107,9203	74,2195	68,2714	52,3603
2055	548308	542209	534806	520228	110,4120	75,3086	69,2890	53,1901
2056	552528	546366	538888	524166	112,9552	76,4109	70,3190	54,0302
2057	556809	550585	543031	528165	115,5508	77,5266	71,3616	54,8807
2058	561152	554865	547235	532226	118,1999	78,6558	72,4170	55,7417
2059	565556	559207	551501	536348	120,9035	79,7989	73,4854	56,6136
2060	570022	563609	555827	540530	123,6626	80,9560	74,5669	57,4963

C.6. Data - Simulering 3

År	BNP per capita SEK				Årligt koldioxidutsläpp Mt			
	Gamma=0,005	Gamma=0,01	Gamma=0,02	Gamma=0,04	Gamma=0,005	Gamma=0,01	Gamma=0,02	Gamma=0,04
2017	436455	433665	430143	420555	42,7108	40,6340	36,5240	28,4785
2018	437171	434975	430582	421795	43,7219	41,6116	37,4353	29,2602
2019	438925	436679	432188	423211	44,9042	42,7483	38,4828	30,1377
2020	440730	438435	433849	424686	46,1060	43,9040	39,5485	31,0314
2021	442591	440249	435569	426224	47,3285	45,0799	40,6332	31,9422
2022	444510	442123	437351	427826	48,5726	46,2769	41,7380	32,8706
2023	446492	444059	439197	429495	49,8393	47,4959	42,8636	33,8175
2024	448538	446059	441108	431232	51,1297	48,7379	44,0110	34,7834
2025	450649	448126	443088	433039	52,4446	50,0038	45,1809	35,7691
2026	452827	450261	445136	434917	53,7850	51,2945	46,3740	36,7751
2027	455074	452464	447253	436867	55,1518	52,6108	47,5912	37,8021
2028	457389	454737	449442	438890	56,5457	53,9534	48,8333	38,8507
2029	459774	457080	451701	440984	57,9678	55,3233	50,1009	39,9215
2030	462230	459493	454032	443152	59,4187	56,7213	51,3948	41,0152
2031	464756	461978	456434	445393	60,8994	58,1480	52,7157	42,1322
2032	467352	464533	458908	447707	62,4106	59,6044	54,0643	43,2733
2033	470019	467160	461454	450094	63,9531	61,0911	55,4414	44,4390
2034	472757	469857	464071	452554	65,5277	62,6089	56,8476	45,6298
2035	475565	472625	466760	455086	67,1353	64,1586	58,2836	46,8464
2036	478444	475464	469520	457690	68,7765	65,7409	59,7501	48,0894
2037	481392	478373	472350	460366	70,4522	67,3566	61,2479	49,3593
2038	484410	481351	475251	463112	72,1632	69,0065	62,7775	50,6567
2039	487497	484399	478221	465930	73,9102	70,6912	64,3398	51,9822

2040	490653	487516	481261	468817	75,6940	72,4116	65,9353	53,3364
2041	493877	490702	484370	471774	77,5154	74,1683	67,5648	54,7198
2042	497169	493956	487547	474800	79,3752	75,9622	69,2290	56,1332
2043	500528	497277	490792	477895	81,2742	77,7940	70,9287	57,5769
2044	503955	500665	494104	481057	83,2131	79,6645	72,6644	59,0518
2045	507447	504120	497483	484287	85,1929	81,5745	74,4369	60,5582
2046	511006	507641	500929	487583	87,2142	83,5246	76,2470	62,0970
2047	514631	511227	504440	490946	89,2780	85,5158	78,0954	63,6686
2048	518320	514879	508017	494374	91,3850	87,5489	79,9828	65,2738
2049	522075	518596	511658	497868	93,5361	89,6246	81,9099	66,9131
2050	525893	522376	515364	501426	95,7321	91,7437	83,8776	68,5873
2051	529775	526221	519134	505048	97,9740	93,9071	85,8866	70,2968
2052	533721	530129	522968	508733	100,2625	96,1157	87,9376	72,0425
2053	537729	534100	526864	512482	102,5986	98,3703	90,0315	73,8249
2054	541801	538134	530823	516293	104,9832	100,6717	92,1692	75,6449
2055	545935	542230	534844	520167	107,4172	103,0209	94,3513	77,5029
2056	550130	546388	538928	524102	109,9015	105,4187	96,5787	79,3999
2057	554388	550608	543073	528099	112,4371	107,8661	98,8524	81,3364
2058	558707	554889	547279	532157	115,0250	110,3640	101,1731	83,3133
2059	563087	559232	551546	536276	117,6661	112,9134	103,5417	85,3312
2060	567528	563635	555874	540455	120,3615	115,5152	105,9592	87,3910

C.7. Data - Simulering 4

År	BNP per capita SEK				Årligt koldioxidutsläpp Mt			
	Sigma=0,005	Sigma=0,01	Sigma=0,02	Sigma=0,04	Sigma=0,005	Sigma=0,01	Sigma=0,02	Sigma=0,04
2017	437011	434450	429610	419555	44,5429	44,2834	43,7636	42,7209
2018	437186	435003	430637	421904	45,7211	45,4569	44,9276	43,8659
2019	438946	436721	432271	423375	46,9452	46,6701	46,1193	45,0147
2020	440758	438492	433961	424904	48,1893	47,9034	47,3311	46,1839
2021	442626	440319	435708	426495	49,4544	49,1578	48,5642	47,3746
2022	444553	442207	437517	428150	50,7416	50,4344	49,8195	48,5876
2023	446541	444156	439390	429872	52,0521	51,7343	51,0981	49,8239
2024	448594	446171	441329	431663	53,3868	53,0583	52,4009	51,0845
2025	450712	448252	443336	433523	54,7468	54,4076	53,7289	52,3700
2026	452897	450400	445411	435454	56,1328	55,7830	55,0829	53,6815
2027	455151	452617	447556	437457	57,5460	57,1854	56,4638	55,0197
2028	457473	454904	449772	439533	58,9871	58,6157	57,8726	56,3855
2029	459865	457261	452059	441682	60,4571	60,0748	59,3100	57,7797
2030	462328	459689	454417	443903	61,9568	61,5635	60,7769	59,2030
2031	464861	462187	456848	446199	63,4871	63,0828	62,2740	60,6563
2032	467465	464757	459350	448567	65,0487	64,6333	63,8023	62,1403
2033	470139	467398	461925	451010	66,6426	66,2159	65,3626	63,6557
2034	472884	470110	464571	453525	68,2696	67,8316	66,9555	65,2035
2035	475700	472893	467288	456113	69,9304	69,4809	68,5820	66,7843
2036	478586	475747	470078	458774	71,6259	71,1648	70,2427	68,3988
2037	481542	478671	472938	461508	73,3569	72,8841	71,9386	70,0479
2038	484568	481665	475869	464313	75,1242	74,6396	73,6703	71,7323
2039	487663	484729	478870	467190	76,9287	76,4320	75,4387	73,4528

2040	490826	487862	481941	470137	78,7710	78,2621	77,2446	75,2101
2041	494059	491063	485081	473155	80,6521	80,1309	79,0887	77,0050
2042	497359	494333	488291	476243	82,5727	82,0390	80,9718	78,8383
2043	500727	497671	491568	479401	84,5337	83,9873	82,8948	80,7108
2044	504162	501076	494914	482627	86,5359	85,9766	84,8585	82,6231
2045	507663	504548	498327	485922	88,5801	88,0078	86,8636	84,5762
2046	511231	508087	501807	489284	90,6671	90,0817	88,9110	86,5708
2047	514865	511691	505353	492714	92,7979	92,1990	91,0015	88,6078
2048	518563	515361	508965	496211	94,9733	94,3607	93,1360	90,6878
2049	522327	519096	512643	499774	97,1941	96,5677	95,3153	92,8119
2050	526155	522895	516386	503402	99,4612	98,8208	97,5402	94,9807
2051	530047	526759	520193	507096	101,7756	101,1208	99,8117	97,1952
2052	534002	530687	524065	510855	104,1380	103,4688	102,1307	99,4562
2053	538021	534678	528000	514678	106,5495	105,8655	104,4980	101,7645
2054	542102	538732	531999	518565	109,0110	108,3120	106,9145	104,1212
2055	546246	542848	536060	522516	111,5235	110,8092	109,3812	106,5270
2056	550453	547027	540185	526530	114,0878	113,3581	111,8990	108,9830
2057	554721	551269	544371	530607	116,7050	115,9595	114,4690	111,4900
2058	559051	555572	548620	534746	119,3761	118,6146	117,0920	114,0489
2059	563442	559936	552931	538948	122,1022	121,3243	119,7691	116,6609
2060	567895	564362	557303	543211	124,8841	124,0897	122,5013	119,3268

C.8. Data - Simulering 5

År	BNP per capita SEK					Årligt koldioxidutsläpp Mt				
	Grundscenario	Eta=0,01	Gamma=0,02	Sigma=0,02	Ny kombination	Grundscenario	Eta=0,01	Gamma=0,02	Sigma=0,02	Ny kombination
2017	419355	412321	406555	409405	404545	39,5152	36,6714	35,4756	39,0282	32,3808
2018	429819	426216	425425	425453	417456	40,6017	37,7060	36,4883	40,1058	33,3371
2019	431422	428858	426932	426973	418806	41,7098	39,1478	37,5092	41,1939	34,2819
2020	433080	430470	428497	428552	420217	42,8369	40,2259	38,5482	42,3011	35,2443
2021	434797	432143	430122	430190	421691	43,9840	41,3233	39,6062	43,4284	36,2252
2022	436576	433877	431810	431892	423232	45,1521	42,4409	40,6840	44,5768	37,2252
2023	438419	435677	433565	433660	424840	46,3421	43,5795	41,7826	45,7470	38,2452
2024	440328	437543	435386	435495	426518	47,5549	44,7401	42,9026	46,9400	39,2858
2025	442306	439477	437277	437399	428267	48,7912	45,9235	44,0449	48,1566	40,3477
2026	444352	441481	439237	439373	430087	50,0521	47,1304	45,2102	49,3975	41,4316
2027	446468	443555	441269	441418	431981	51,3382	48,3616	46,3993	50,6637	42,5382
2028	448655	445701	443372	443535	433947	52,6504	49,6179	47,6129	51,9558	43,6681
2029	450913	447918	445548	445724	435987	53,9895	50,9000	48,8517	53,2747	44,8220
2030	453242	450206	447795	447985	438100	55,3562	52,2087	50,1164	54,6210	46,0006
2031	455644	452567	450116	450320	440288	56,7513	53,5447	51,4078	55,9956	47,2044
2032	458118	455001	452509	452726	442549	58,1755	54,9087	52,7264	57,3992	48,4342
2033	460663	457506	454974	455206	444884	59,6297	56,3015	54,0731	58,8324	49,6905
2034	463280	460083	457512	457758	447292	61,1145	57,7237	55,4484	60,2961	50,9741
2035	465969	462732	460122	460382	449774	62,6307	59,1760	56,8531	61,7909	52,2854
2036	468729	465453	462803	463078	452328	64,1790	60,6592	58,2878	63,3176	53,6251
2037	471560	468244	465557	465846	454954	65,7602	62,1740	59,7532	64,8769	54,9940
2038	474462	471106	468381	468685	457652	67,3749	63,7210	61,2500	66,4695	56,3925
2039	477433	474039	471275	471595	460422	69,0240	65,3009	62,7789	68,0962	57,8213

2040	480475	477041	474240	474575	463262	70,7081	66,9145	64,3405	69,7576	59,2811
2041	483585	480112	477274	477624	466173	72,4280	68,5625	65,9355	71,4545	60,7725
2042	486764	483253	480377	480743	469153	74,1844	70,2456	67,5647	73,1876	62,2961
2043	490012	486461	483549	483931	472203	75,9781	71,9644	69,2286	74,9577	63,8525
2044	493327	489738	486788	487186	475321	77,8098	73,7197	70,9280	76,7654	65,4425
2045	496709	493081	490095	490510	478507	79,6803	75,5123	72,6636	78,6116	67,0666
2046	500158	496491	493468	493900	481760	81,5904	77,3428	74,4361	80,4969	68,7255
2047	503673	499967	496908	497357	485080	83,5407	79,2121	76,2462	82,4222	70,4199
2048	507254	503509	500414	500881	488467	85,5322	81,1207	78,0947	84,3882	72,1505
2049	510899	507117	503985	504469	491919	87,5656	83,0696	79,9822	86,3957	73,9179
2050	514610	510788	507621	508123	495436	89,6416	85,0595	81,9095	88,4455	75,7229
2051	518385	514524	511321	511842	499018	91,7612	87,0911	83,8774	90,5384	77,5661
2052	522223	518324	515085	515624	502664	93,9251	89,1653	85,8867	92,6752	79,4482
2053	526125	522187	518912	519471	506374	96,1342	91,2828	87,9380	94,8568	81,3700
2054	530090	526113	522803	523380	510147	98,3893	93,4445	90,0322	97,0839	83,3323
2055	534118	530102	526756	527353	513983	100,6913	95,6512	92,1702	99,3574	85,3357
2056	538208	534153	530771	531388	517881	103,0411	97,9037	94,3526	101,6782	87,3810
2057	542360	538266	534848	535486	521841	105,4395	100,2030	96,5804	104,0472	89,4691
2058	546574	542440	538987	539645	525864	107,8876	102,5498	98,8544	106,4653	91,6006
2059	550849	546676	543187	543866	529947	110,3862	104,9451	101,1754	108,9335	93,7765
2060	555185	550972	547448	548149	534091	112,9362	107,3898	103,5444	111,4525	95,9974