



LUNDS UNIVERSITET  
Ekonomihögskolan

Nationalekonomiska institutionen  
Lunds Universitet

## Tillväxt och miljö

### Ekologiskt fotavtryck och effekten av avfallshantering

Examensarbete Kandidatnivå  
VT2014

Författare:  
Cecilia Renger

Handledare:  
Pontus Hansson

## Sammanfattning

Den här uppsatsen undersöker kopplingen mellan resursanvändning och ekonomisk tillväxt. Den ekonomiska tillväxten innebär användning av naturresurser som medför ökade avfallsmängder och negativ påverkan på människor och miljö. Avfall är den mest synliga och skadliga biprodukten av en resursintensiv, konsumtionsbaserad livsstil som driver många av världens ekonomier. För att skapa en långsiktig hållbarhet är det därför nödvändigt att uppmärksamma avfallets roll i en global kontext och dess sammankoppling med ekonomier och miljöförstöring. Frågeställningen är:

*Hur påverkar faktumet att biokapaciteten är begränsad tillväxten och vad har avfallshantering för effekt på tillväxten?*

För att besvara detta används Solowmodellen med ekologiskt fotavtryck, där biokapacitet är naturresursen. Modellen utvidgas genom att föra in avfallshantering för att undersöka dess påverkan på tillväxt och miljö, och ifall att målkonflikten mellan ökad tillväxt och minskad miljöpåverkan går att minska. En simulering genomförs med olika nivåer av avfallshantering inkluderade i modellen för att undersöka korta och långsiktiga kostnader och vinster, vilket ställs emot vinsterna med bättre miljö. Följaktligen diskuteras den optimala nivån av avfallshantering, vilket innebär en avvägning mellan högre tillväxt och minskad miljöpåverkan samt mellan kostnader och vinster på kort och lång sikt.

Resultatet är att biokapacitet minskar den långsiktiga tillväxttakten i ekonomin och att denna negativa effekt kan minskas genom att göra produktionen mindre beroende av den begränsade biokapaciteten. En avvägning måste göras mellan att använda mycket resurser och få en hög inkomstnivå per capita, eller att använda naturresurserna mer sparsamt med högre tillväxtpotential som följd. Eftersom avfallsmängderna ständigt ökar innebär det en ihållande negativ effekt på BNP-tillväxten. Det vore därför önskvärt med en produktion som inte genererar avfall, men som produktionsfunktionen visar är detta inte möjligt, eftersom om tillväxttakten i avfall sätts till noll kommer även tillväxttakten i BNP att gå mot noll.

## Innehållsförteckning:

1. Inledning.....	4
1.1. Problembeskrivning.....	5
1.2. Avgränsning.....	6
1.3. Disposition.....	7
2. Tillväxtteori.....	8
3. Miljö.....	10
3.1. Ekologiskt fotavtryck och biokapacitet.....	11
3.1.1. Sveriges ekologiska fotavtryck och biokapaciteten.....	13
3.2. Avfall.....	14
4. Solowmodellen med naturresurser.....	15
4.1. Solowmodellen med ekologiskt fotavtryck.....	16
4.2. Produktion av avfall och avfallshantering.....	17
4.3. Modellen i sin helhet.....	
4.3.1. Tillväxt i BNP per capita i jämvikt.....	21
4.3.2. BNP per capita i jämvikt.....	23
5. Metod och materialbeskrivning.....	25
5.1. Material.....	25
5.2. Om simuleringen.....	26
5.3. Situationer och strategier som ska simuleras.....	27
5.4. Beräkning av ingångsvärden.....	27
6. Simuleringen och dess resultat.....	29
6.1. Ekologiskt fotavtryck i produktionen.....	29
6.2. Avfallshantering.....	31
6.2.1. Vinster.....	31
6.2.2. Kostnader.....	33
6.3. Resultatdiskussion.....	34
7. Slutsats.....	35
8. Litteraturförteckning.....	37
9. Annex 1- Den utvidgade modellen i jämvikt	
10. Annex 2 – Ingångsvärden för simuleringen	

# 1 Inledning

Mänsklighetens årliga efterfrågan på jordens tillgångar har sedan 1970-talet överstigit vad jorden kan förnya varje år. Liknande att övertrassera ett bankkonto, överskrider nuvarande förbrukning av naturresurser vad jorden kan förnya dem. År 2007 var detta överskridande, eller efterfrågeöverskott, ungefär 50 % större än jordens förmåga att möta denna efterfråga. Vi lever alltså som att vi har 1,5 planeter till förfogande och om ingenting förändras kommer vid 2030 inte ens två planeter vara tillräckligt (WWF 2012) Detta innebär att resurserna så småningom kommer att utarmas och vissa ekosystem kollapsa redan innan resursen är helt borta. Det relativa bidraget till det totala ökade miljöförstöringarna är olika i olika regioner, de rika länderna förbrukar mest av jordens resurser medan det är de fattigaste länderna som drabbas hårdast av miljökonsekvenserna, vilket även gör det till en fråga om inkomstfördelning och rättvisa.

För mer än 200 år sedan - i början av den industriella revolutionen - skrev Thomas Malthus essän "Principle of Population" (Malthus 1798), där han uttrycker sin oro över att befolkningen ökar mycket snabbare än produktionen av mat- och naturresurser, vilket skulle leda till brist på mat och sedan svält. Många av hans förutsägelser har inte inträffat, till stor del tack vare förbättrad teknik: förmågan att utvinna större rikedom från samma mängd naturresurser.

Dock är det omöjligt att veta om teknologiutvecklingen kommer att fortsätta att kompensera för det ändliga utbudet av naturresurser. Charles Jones hävdar att marknadsmekanismerna gör att priserna på dessa resurser reflekterar den nuvarande och framtida bristen på naturresurser och att både de övergripande trenderna i dessa priser (relativt till löner) och värdet av resursernas andel i produktionen indikerar att, även om det skulle vara bättre om naturresurser var obegränsade, så är det ändliga fysiska utbudet av dessa resurser inte ett stort hinder för ekonomisk tillväxt. (Jones 2002).

## 1.1 Problemformulering

Det har funnits – och finns fortfarande – en stark koppling mellan resursanvändning och ekonomisk tillväxt. Den ekonomiska tillväxten innebär användning av naturresurser som medför ökade avfallsmängder och negativ påverkan på människor och miljö. Under de senaste åren har mycket av diskussionen om ändliga globala resurser fokuserat på utarmning av icke-förnybara resurser, men det har blivit alltmer uppenbart att förnyelsebara resurser och de ekosystemtjänster som de tillhandahåller även är hotade (UNEP 2007, WRI 2007, UNDP 2008, UNEP 2007, Världsbanken 2000, Millennium Ecosystem Assessment 2005).

Globala ekonomier är beroende av biosfären för en stadig tillförsel av de grundläggande kraven för liv: mat, energi, fiber, och andra livsuppehållande naturresurser. Det finns två sätt som mänsklighetens fotavtryck kan överskrida jordens regenerativa kapacitet: att använda resurser snabbare än vad jorden kan förnya dem, eller genom att degradera och upplösa materia – generera avfall – snabbare än naturen kan binda samman och omvandla det tillbaka till resurser.

I alltför många fall är överutnyttjande av resurser och skada eller förstörelse av ekosystem mycket lönsamma för några aktörer på kort sikt, medan de långsiktiga fördelarna med att skydda naturkapital värderas otillräckligt eller inte värderas alls. Omdirigering av finansiella flöden som stödjer bevarande och hållbar hantering av ekosystem är därför centralt för att både bevara naturkapital och för att göra bättre val gällande produktion och konsumtion - och försäkra att bördor inte förs vidare till framtida generationer.

Syftet är att undersöka vad faktumet att biokapaciteten är begränsad har för implikationer på tillväxten, och sedan undersöka vad avfallshantering har för effekt på utfallet. Följaktligen analyseras den optimala nivån av avfallshantering, vilket innebär en avvägning mellan högre tillväxt och minskad miljöpåverkan samt mellan vinster på kort och lång sikt. Frågeställningen är:

*Hur påverkar faktumet att biokapaciteten är begränsad tillväxten och vad har avfallshantering för effekt på utfallet?*

För att besvara detta används Solowmodellen med naturresurser som utgångspunkt, vilken synliggör kostnaderna med resursförbrukning. Naturresursen är i denna modell biokapacitet, vilket är mängden produktivt område som är tillgängligt för att generera naturresurser och absorbera avfall. Modellen utvidgas genom att föra in avfallshantering för att undersöka dess påverkan på tillväxt och miljö, och ifall att målkonflikten mellan ökad tillväxt och minskad miljöpåverkan går att minska. Avfallshantering innebär kostnader men samtidigt, utöver miljövinster, även ekonomiska förtjänster och kostnadsbesparingar. En simulering genomförs med olika nivåer av avfallshantering inkluderade i modellen för att undersöka korta och långsiktiga kostnader och vinster, vilket ställs emot vinsterna med bättre miljö.

## 1.2 Avgränsning

En geografisk avgränsning görs genom att simuleringen är baserad på data över Sveriges ekologiska fotavtryck, biokapacitet och genererade avfallsmängder. Eftersom miljöpåverkan är en global angelägenhet vore det önskvärt att basera simulationen på ett så stort geografiskt område som möjligt, men detta gör data mindre pålitligt då länder har olika definitioner av avfall och hur det kategoriseras, och även hur det rapporteras. På grund av begränsad och bristfällig data gällande genererade avfallsmängder och kostnader för avfallshantering har avfallsstatistiken avgränsats till fast avfall, vilket inte innefattar växthusgaser etc. Detta innebär en underskattning av totala globala mängder avfall och totala kostnader, men ger tillräckligt med information för att kunna göra en analys. Material behandlas mer ingående i kapitel 5.1.

Det finns en avfallshierarki utformad utifrån EU-direktiv som anger i vilken prioriteringsordning olika metoder för att förebygga och behandla avfall bör användas för att minimera miljöpåverkan (EU 2008). Enligt denna hierarki bör avfall i första hand förebyggas, i andra hand förberedas för användning, i tredje hand materialåtervinnas och därefter återvinnas på andra sätt, t.ex. genom energiåtervinning. Bortskaffande bör endast ske om ingen av de föregående metoderna är möjliga. I denna uppsats använder jag begreppet avfallshantering, vilket innefattar alla metoder för att förebygga och behandla avfall.

Slutligen på fokuserar uppsatsen på avfallshantering ur ett makroperspektiv, vilka åtgärder som kan göras utifrån politiskt beslutsfattande. Därmed tas inte enskilda konsumenter och konsumtionsval med i beräkningarna.

## 1.2 Disposition

Nedan följer en genomgång av grundläggande tillväxtteori i syfte att redogöra för var den ekonomiska forskningen står på området. Därefter följer ett avsnitt om miljö som ligger till grund för problemformuleringen och de antaganden som kommer att göras senare i uppsatsen. I kapitel fyra kommer Solowmodellen med naturresurser presenteras närmare, följt av den utvecklade modellen. I det sjätte kapitlet redogörs det kort för den metod och det material som ligger till grund för simuleringen, samt för eventuella implikationer av detta. Slutligen presenteras resultaten av simuleringen, som ska visa vad i slutsatsen kommer implikationerna av dessa resultat av presenteras närmare.

## 2 Tillväxtteori

Det centrala inom ekonomisk tillväxtteori är att undersöka dels hur det kommer sig att vissa länder är rikare än andra och dels vad det är som driver den ekonomiska tillväxten framåt och varför vissa länder har ihållande tillväxt över tid. Svaret på detta är teknologisk utveckling och det finns olika teorier om hur denna uppstår. Vad som gör teknologikutvecklingen till en tillväxtmotor är att den grundar sig på idéer som är icke-rivaliserande, vilket innebär att en individs konsumtion av varan hindrar inte en annan individ att konsumera samma vara. Detta ger upphov till tilltagande skalavkastning i produktionen.

BNP är ett ekonomiskt mått som syftar till att mäta produktionen och inkomster i ett land. Även om BNP inte är ett mått på välfärd så används det alltför ofta som det, eftersom det inte finns något heltäckande välfärdsått för ett land. BNP-måttet har börjat ifrågasättas alltmer, eftersom det utelämnar komponenter som är viktiga både för att mäta den verkliga produktionsnivån i ett land och för att ge en rättvisande bild av ett lands välfärd.

Inom tillväxtteori är det viktigt att särskilja tillväxttakt och inkomstnivå (BNP-nivå). BNP-nivån anger hur stor den totala ekonomiska aktiviteten är i ett land vid en given tidpunkt. Tillväxttakten anger hur mycket BNP förändras under en given tidpunkt. Detta innebär att länder som har hög tillväxt under en period inte nödvändigtvis även har hög BNP i förhållande till andra länder. De flesta tillväxtmodeller syftar till att förklara både tillväxt och inkomstnivå och därmed besvara de två inledande frågorna i detta kapitel: vilka faktorer gör att tillväxten i ett land blir högre eller lägre, och vilka faktorer gör att inkomstnivån i ett land blir högre eller lägre.

Även om tillväxtteori fokuserar på att främja ekonomisk tillväxt, så finns det aspekter som gör att det inte alltid är önskvärt att maximera tillväxttakten. Genom att avstå från produktion och konsumtion idag i syfte att öka produktionsmöjligheterna i framtiden så kan tillväxten höjas. Detta kan ske genom ökat sparande och investeringar i t.ex. utbildning och infrastruktur, vilket innebär kostnader på kort sikt och ger inte avkastning förrän på lång sikt. En avvägning måste därför göras mellan framtida tillväxt och inkomster och välfärd idag.



Tillväxtmodeller består av tre grundläggande byggstenar: parametrar, exogena variabler och endogena variabler. Parametrar är inslag i modellen som är konstanta över tiden och återspeglar faktiska förhållanden i ekonomins struktur. I modellerna i Charles Jones bok antas t.ex. alltid att befolkningen växer med  $n$  procent per år och att allmänheten sparar en konstant andel,  $s$ , av sina inkomster.

Exogena variabler är faktorer som kan ändras över tiden, men som beror på faktorer som verkar utanför modellen. I Solowmodellen antas att teknologin växer med  $g$  procent per år oavsett vilka ekonomisk-politiska beslut som fattas. Därmed blir den teknologiska nivån i landet en exogen variabel som ändras över tiden och ändringstakten beror på något som bestäms utanför modellen. Befolkningens storlek är ett annat exempel, eftersom även befolkningsökningen antas vara konstant och oberoende av vad som sker i ekonomin.

Endogena variabler är faktorer som kan ändras över tiden och där ändringen beror på förutsättningar som anges i modellen, t.ex. mängd realkapital, vars utveckling beror på hur mycket landet sparar och på hur snabbt det befintliga realkapitalet slits, och BNP eftersom den totala produktionen avgörs av faktorer som hur mycket realkapital, arbetskraft och avancerad teknologi som finns att tillgå vid en given tidpunkt.

Målet med tillväxtmodeller är att identifiera modellens jämvikt och ta fram ekonomins långsiktiga BNP-tillväxt, vilket i tillväxtsammanhang kallas *steady state*. Ett *steady state* kännetecknas av att alla variabler, både endogena och exogena, växer med konstant takt varje år och att fortsätter växa med denna konstanta hastighet tills ekonomin påverkas av någon ny händelse eller att någon parameter ändras. Att identifiera ett *steady state* är relevant för att se i vilken riktning ekonomin rör sig i fråga om BNP, realkapital, humankapital etc. även om ekonomin kanske aldrig når dit. Dessa beräkningar kan sedan agera underlag vid politiskt beslutsfattande.

Hur snabb tillväxttakten blir i *steady state* beror på modellens parametrar. Det krävs även att det finns krafter i ekonomin som gör att den går emot jämviktsläge oavsett vilka omständigheter som rådde i ekonomin från början. Vilka dessa krafter är varierar mellan olika tillväxtmodeller och beror på vad det är som vill belysas, en modell kan inte inkludera alla relevanta aspekter samtidigt.

### 3 Miljö

*”Det tycks alltså vara hög tid att den ekonomiska teorins [...] jämviktssystem knyts ihop med det ekologiska jämviktssystemet beträffande den naturliga miljön, liksom med system för människans övriga omgivning.” – Assar Lindbeck, 1970*

Insikten att den mänskliga ekonomin är en del av den omgivande ekologin är centralt för att identifiera ekonomiska kopplingar mellan natur, mänsklig aktivitet och biologisk mångfald. Olika initiativ pågår för att analysera de ekonomiska fördelarna med biologisk mångfald och väga kostnaderna för en effektiv politik mot resulterande minskning av biologisk mångfald.

Ett av de mer ambitiösa projekt är Millennium Ecosystem Assessment, som kategoriserar tre typer av ekosystemtjänster:

- 1) Tillförsel (t.ex. mat, färskvatten, bränsle, trä och fiber)
- 2) Reglering (t.ex. klimatreglering, reglering av översvämning, reglering av sjukdom, vattenrening)
- 3) Kultur (t.ex. estetiska, andliga, utbildning, fritid) (MA 2005)

I detta sammanhang fokuserar indikatorerna för ekologiskt fotavtryck och biokapacitet på biomassabaserade flöden av ekosystems tillhandahållande av resurser och dess förmåga att absorbera genererat avfall och omvandla det tillbaka till resurser. Exempel på de tjänster som kvantifieras i National Footprint Accounts omfattar tillförsel av livsmedel, fibrer och timmer, och upptag av koldioxid från skog och hav.

WWF publicerar vartannat år Living Planet Report (LPR), som dokumenterar planetens tillstånd, det förändrade tillståndet för den biologiska mångfalden, ekosystemen och människans efterfrågan på naturresurser, och undersöker konsekvenserna av den mänskliga aktiviteten på den biologiska mångfalden och mänskligheten.

### 3.1 Ekologiskt fotavtryck och biokapacitet

Global Footprint Network är en organisation som grundades 2003 och som arbetar med att utveckla och tillhandahålla verktyg för att mäta och jämföra utbud och efterfrågan på naturresurser. Detta för att förse beslutsfattare med omfattande resursberäkningar för att övertyga dem och hjälpa ekonomin att verka inom jordens ekologiska gränser. Syftet är att ekologiskt fotavtryck ska fungera som ett komplement till BNP genom för att synliggöra kostnaderna för resursförbrukning. När det naturliga kapitalet blir knappare än det finansiella kapitalet, så kommer det behövas resursberäkningar lika mycket som det i dagsläget beror på BNP och andra finansiella beräkningar.

Resultat av beräkningar av Ekologiskt Fotavtryck och biokapacitet, the National Footprint Accounts, beräknas årligen av Global Footprint Network. Fortsatt utveckling av metoderna övervakas av en formell granskningskommitté. The National Footprint Accounts 2010 Edition kartlägger mänsklighetens efterfrågan på ekologiska resurser i termer av sex omfattande typer av landanvändning: åkermark, betesmark, skogsmark, ekologiskt fotavtryck av koldioxidutsläpp, fiskeområden och bebyggd mark. Denna rapport spårar det ekologiska fotavtrycket för över 700 kategorier av handel med grödor, skog, boskap och fiskprodukter.

Det ekologiska fotavtrycket är alltså ett mått på den mänskliga efterfrågan på biosfären. Mer specifikt mäter det mängden av biologiskt produktiva mark- och vattenområden som behövs för att producera alla resurser en individ, befolkning eller aktivitet konsumerar, och för att absorbera det avfall som de genererar, givet rådande teknologi och metoder för resurshantering. Detta område kan sedan jämföras med biokapaciteten, mängden på produktivt område som är tillgängligt för att generera dessa resurser och absorbera avfall. Mark- och vattenområdet skalas enligt den biologiska produktiviteten, vilket gör det möjligt att jämföra ekosystem med olika bioproduktivitet och i olika delar av världen i samma enhet, en global hektar (gh). En global hektar representerar den världsgenomsnittliga produktiviteten av en hektar.

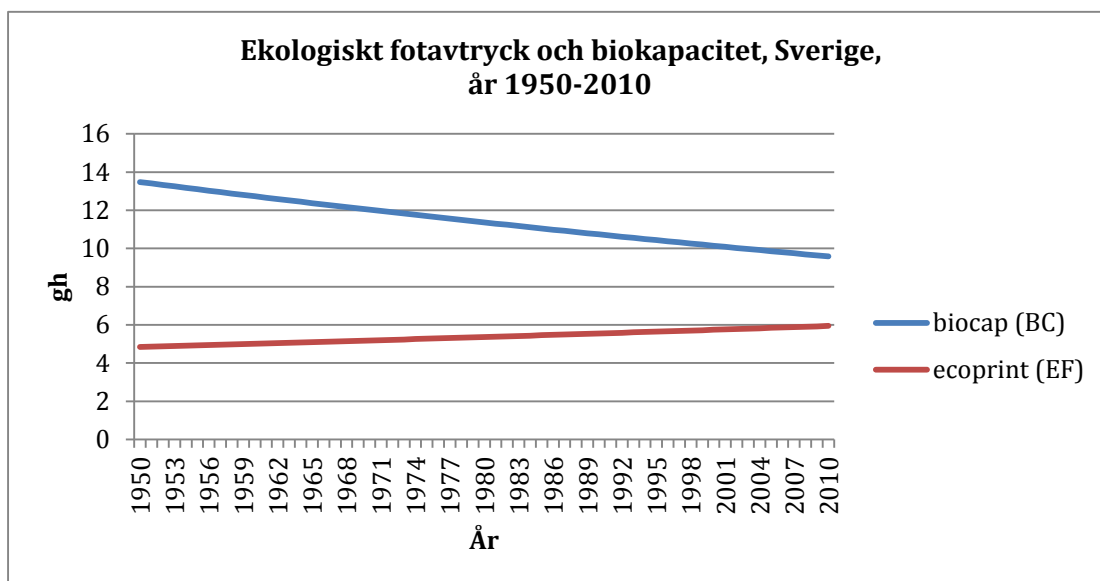
Regioner och länder skiljer sig mycket åt både i deras efterfrågan på biokapacitet och på den tillgängliga biokapacitet de har inom sina gränser. Många länder använder mer biokapacitet än vad som finns tillgängligt inom sina gränser. Detta kommer delvis

från import av resurser, men vanligtvis i högre grad genom användning av det gemensamma utrymmet som dumpningsplats för koldioxidutsläpp. Efterfrågan på tillgängligt utrymme kan överskrida mängden tillgängligt utrymme och om efterfrågan på ett ekosystem överskrider den regenerativa förmågan, minskar de ekologiska tillgångarna och kan på lång sikt innebära att naturresurser utarmas och att det ekologiska systemet slutligen kollapsar.

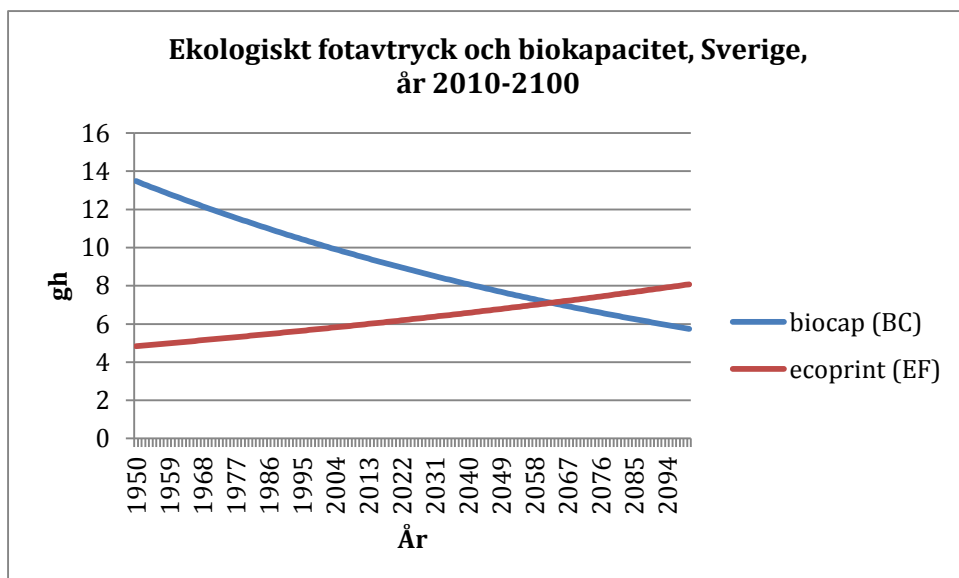
De drivande förändringsfaktorerna i det ekologiska fotavtrycket kan beräknas med IPAT-modellen med totalt åtta faktorer som påverkar graden av globalt överskridande eller ett lands ekologiska underskott (ozon, biologisk mångfald, klimatförändring, energi, befolkning, jordens bördighet, giftiga ämnen och vatten). Ekologiskt fotavtryck bestäms av tre faktorer: befolkningsmängd, konsumtion per capita och teknologi (resurs- och avfallsintensitet).

Ekologiskt fotavtryck mäter ett ekosystems regenerativa kapacitet i termer av historiska flöden av naturresurser snarare än befintliga resurslager, vilket gör att det inte kan specificera när överskridning av ett ekosystems biokapacitet kommer att leda till total utarmning. Resurs- och avfallsflöden som inte kan mätas i termer av biologiskt produktiv yta ingår inte i bedömningen, vilket leder till en systematisk underskattning av den totala efterfrågan på naturresurser. Beräkningar av ekologiskt fotavtryck visar inte heller med vilken intensitet en biologiskt produktiv areal används, och pekar inte heller ut specifika påfrestningar på den biologiska mångfalden. Slutligen så är det ekologiska fotavtrycket ett biofysiskt mått, och värderar inte väsentliga sociala och ekonomiska dimensioner av hållbar utveckling.

### 3.1.1 Sveriges ekologiska fotavtryck och biokapacitet



Sedan mitten av 1900-talet har Sveriges ekologiska fotavtryck ökat i konstant takt samtidigt som biokapaciteten minskat i konstant takt, vilket innebär att det biologiska utrymme som Sveriges ekonomi verkar inom blir allt mindre.



Om Sveriges ekologiska fotavtryck fortsätter att öka i samma takt som den gör idag, kommer efterfrågan runt år 2060 att överskrida Sveriges tillgängliga biokapacitet, vilket på lång sikt kan innebära att naturresurser utarmas och att det ekologiska systemet slutligen kollapsar.

## 3.2 Avfall

Det finns två sätt som mänsklighetens fotavtryck kan överskrida jordens regenerativa kapacitet: att använda resurser snabbare än vad jorden kan regenerera dem, eller genom att degradera och upplösa materia – generera avfall – snabbare än naturen kan binda samman och omvandla det tillbaka till resurser. När förnyelseförmågan överskrids genom exploatering av naturresurser blir ekosystem utarmade, och om denna utarmning fortsätter för länge kollapsar de, ibland med en permanent förlust av produktivitet. När material utvinns från jordskorpan och upplöses snabbare än den kan fångas upp och koncentreras genom levande system, börjar avfall ackumuleras. Förbränning av fossila bränslen, till exempel, orsakar koldioxiden att ackumuleras i atmosfären och haven.

Avfall är den mest synliga och skadliga biprodukten av en resursintensiv, konsumtionsbaserad livsstil som driver många av världens ekonomier. Utsläpp av växthusgaser, föroreningar och hormonstörande ämnen är liknande biprodukter av vår nuvarande livsstil. I nuläget genereras uppskattningsvis 1,3 biljoner ton av fast avfall globalt varje år, och förväntas öka till ungefär 2,2 biljoner till 2025 (World Bank 2012) De faktiska per capita nivåerna är dock varierande, eftersom det är avsevärda skillnader i avfallsmängder mellan länder och städer. Avfallsmängderna påverkas av ekonomisk utveckling, graden av industrialisering, levnadsvanor och lokalt klimat. Generellt så innebär högre ekonomisk utveckling att större mängder avfall genereras.

För att skapa en långsiktig hållbarhet är det nödvändigt att uppmärksamma avfallens roll i en global kontext och dess sammankoppling med ekonomier och miljöförstöring. Den snabbaste vägen att minska avfallsmängder är att minska ekonomisk aktivitet, vilket generellt inte är ett attraktivt alternativ. Vi står alltså inför en enorm uppgift: att hantera och få bort avfall och göra det på ett så optimalt sätt som möjligt både ekonomiskt, socialt och miljömässigt.

## 4 Solowmodellen med naturresurser

*”Land is a resource in fixed supply, but it can be used every period without suffering depletion. In contrast, many natural resources are in finite supply and are depleted when they are used in production.” (Jones 2002)*

Modellen i denna uppsats bygger på Solowmodellen med naturresurser, så som den beskrivs i Charles I. Jones ”Introduction to Economic Growth” (2002: Kapitel 9). Denna modell undersöker hur ekonomisk tillväxt påverkas av jordens ändliga utbud av odlingsbart land och icke-förnyelsebara naturresurser. Genom att inkludera dessa två naturresurser i Solowmodellen synliggörs att naturresurser i produktionen minskar den långsiktiga tillväxttakten i ekonomin. Det är en grundläggande kapplöpning mellan teknologisk utveckling och den negativa effekten begränsade och icke-förnyelsebara resurser har på tillväxten. Denna effekt har två komponenter, att befolkningstryck på det begränsade utbudet av dessa resurser minskar tillväxten i proportion till befolkningstillväxten, och att deprecieringstakten på icke-förnyelsebara resurser minskar tillväxten i proportion till andelen av dessa resurser i produktionen.

Enligt Solow-modellen med naturresurser sker ett lands produktion med hjälp av teknologi, realkapital, arbetskraft och naturresurser. Produktionsfunktionen är av Cobb-Douglas form och exponenterna representerar faktorprissättningen till varje variabel, dvs. variabelns del av total output. Output produceras enligt följande produktionsfunktion

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

där parametern  $b$  är den totala faktorprissättningen till naturresurser som en andel av BNP och antas vara ett värde mellan noll och ett och  $a + b < 1$ .  $A$  är index för exogen teknologisk utveckling, vilken multiplicerar hela produktionsfunktionen. Variablerna realkapital,  $K$ , naturresurser,  $B$ , och arbetskraft,  $L$ , uppvisar tillsammans konstant skalkastning, och tillsammans med  $A$  tilltagande skalavkastning.

## 4.1 Solowmodellen med ekologiskt fotavtryck

Biokapacitet förs in i denna modell som en begränsad naturresurs, vilken antas finnas tillgängligt för produktion i en fast mängd varje tidsperiod. Biologiskt utrymme är skillnaden mellan biokapacitet och ekologiskt fotavtryck och förändras beroende på hur dessa två variabler utvecklar sig

$$B = \frac{BC}{EF}$$

Biokapaciteten antas minska i konstant takt och det ekologiska fotavtrycket antas växa i konstant takt, vilket innebär att även det biologiska utrymmets förändringstakt är konstant. Grafiskt symboliserar pricknen över variabeln förändringen i denna och tillväxttakten är den prickade variabeln dividerat med samma oprickade variabel, vilket även kan förkortas g

$$\frac{\dot{BC}}{BC} = g_{BC} \quad (4.1)$$

$$\frac{\dot{EF}}{EF} = g_{EF} \quad (4.2)$$

$$\dot{B} = \dot{BC} - \dot{EF} \rightarrow g_{BC} = g_{EF} \quad (4.3)$$

där tillväxttakten i biokapaciteten antas vara negativ ( $g_{BC} < 0$ ). Som i den grundläggande Solowmodellen är teknologin,  $A$ , och arbetskraften,  $L$ , exogena variabler, vilket innebär att de inte kan påverkas inom modellen, och även kapitalackumulationsfunktionen är densamma

$$\frac{\dot{A}}{A} = g_A \quad (4.4)$$

$$\frac{\dot{L}}{L} = n \quad (4.5)$$

$$\dot{K} = sY - d_K K \rightarrow \frac{\dot{K}}{K} = \frac{sY - d_K K}{K} \rightarrow g_K = s \frac{Y}{K} - d_K \quad (4.6)$$



där  $s$  är en konstant andel investeringar och  $d_K$  är en konstant deprecieringstakt i realkapital. Om förslitningen överstiger nyinvesteringarna kommer kapitalstocken att minska vilket innebär minskad produktion. Ifall att nyinvesteringarna är större än deprecieringen i realkapital så ökar istället landets produktion. Ekvationen för biologiskt utrymme, tillsammans med standardevkvationerna för realkapitalackumulation, exogen teknologitvveckling och befolkningstillväxt utgör basen för Solow-modellen med ekologiskt fotavtryck och bildar produktionsfunktionen

$$Y = AK^\alpha B^\beta L^{1-\alpha-\beta} \quad (4.7)$$

Denna funktion visar att biologiskt utrymme är ett ofrånkomligt krav för att möjliggöra produktion, eftersom om  $B$  sätts till noll kommer även produktionen att bli noll. Detta synliggör biokapaciteten som den restriktion den ekonomiska aktiviteten måste hålla sig inom för att bibehålla en konstant tillväxttakt i BNP.

## 4.2 Produktion av avfall och avfallshantering

Syftet med att lyfta in fler aspekter i Solowmodellen med naturresurser är att få modellen att bättre spegla de förhållanden man tror råder i verkligheten, och innebär en avvägning att göra mellan hög resursanvändning nu eller i framtiden. Inkomsterna påverkas positivt av ett högt resursutnyttjande, medan tillväxttakten i inkomsterna påverkas negativt eftersom det återstående resurslagret som kan användas vid varje period kommer att vara lägre. Att resurserna finns i begränsad mängd, innebär alltså att det finns en avvägning att göra, mellan att använda mycket resurser och få en hög BNP per capita-nivå, eller att använda naturresurserna mer sparsamt med högre tillväxtpotential som följd.

Avfall i den utvidgade modellen växer i takt med produktionen och av modelltekniska skäl antas förändringstakten i avfallsackumulationen vara lika med förändringstakten i det ekologiska fotavtrycket. Detta antagande påverkar inte utfallet i större utsträckning då det är relationen mellan variablerna som modellen syftar till att undersöka och inte absoluta värden.

$$B = \frac{BC}{EF} = \frac{BC}{W}$$

Biokapaciteten antas minska i konstant takt och avfallsmängd antas växa i konstant takt, vilket innebär att även det biologiska utrymmets förändringstakt är konstant

$$\dot{B} = \dot{BC} - \dot{W} \rightarrow \frac{\dot{B}}{B} = g_{BC} - g_W \quad (4.8)$$

där tillväxttakten i biokapaciteten antas vara negativ ( $g_{BC} < 0$ ) och exogen, dvs. oberoende av hur BNP utvecklar sig. Nivån på, samt förändringen och tillväxttakten i, mängden avfall utgörs av följande funktion

$$\dot{W} = \lambda Y - d_W W \rightarrow \frac{\dot{W}}{W} = \lambda \frac{Y}{W} - d_W = g_W \quad (4.9)$$

där  $\lambda$  är andelen av produktionen som genererar avfall (ton avfall per dollar i produktion) och  $d_W$  en konstant deprecieringstakt i avfall, alltså hur snabbt naturen kan binda samman degraderad och upplöst materia och omvandla det tillbaka till resurser.

I jämvikt måste högerledet och vänsterledet i funktionen växa i samma konstanta tillväxttakt. Eftersom andelen avfall i produktionen och deprecieringstakten i avfall antas vara konstanta i jämvikt, måste även tillväxttakterna i avfallsgenerering och BNP växa i samma konstanta takt längs en balanserad tillväxtbana ( $g_W = g_Y$ ). Detta innebär att avfallsgenereringen ständigt ökar, vilket i sin tur innebär en ihållande negativ effekt på BNP-tillväxten. Det vore därför önskvärt med en produktion som inte genererar avfall, men som produktionsfunktionen (1) visar är detta inte möjligt, eftersom om tillväxttakten i avfall sätts till noll kommer även tillväxttakten i BNP att gå mot noll. I jämvikt går det inte att bestämma tillväxttakten i biokapacitet ( $g_{BC}$ ) eftersom den är oberoende av hur BNP utvecklar sig, vilket gör att tillväxttakten kan vara både högre eller lägre. Tillväxttakten i det biologiska utrymmet beror på tillväxttakten i biokapaciteten och avfallsgenereringen

$$g_B = g_{BC} - g_W \quad (4.10)$$

Genom att ersätta tillväxttakten i avfall med tillväxttakten i BNP i uttrycket för det biologiska utrymmets tillväxttakt, synliggörs resursförbrukningens negativa påverkan på den begränsade biokapacitet som produktionen är beroende av

$$g_B = g_{BC} - g_Y \quad (4.11)$$

Denna visar att eftersom det biologiska utrymmet ständigt minskar (då biokapaciteten minskar exogent och avfallsgenereringen fortsätter att öka i takt med produktionen), måste andelen genererat avfall i produktionen ständigt minska för att bibehålla en konstant tillväxttakt. Detta innebär att på lång sikt är en frikoppling mellan tillväxt och miljö nödvändig, alltså att produktionen inte ska vara beroende av den begränsade biokapaciteten.

Den negativa effekten som minskad biokapacitet och ökad avfallsgenerering har på tillväxten kan dock vägas upp av kapitalackumulation, teknologitveckling och avfallshantering. Även om biokapaciteten antas minska oberoende av hur BNP utvecklar sig, kan den indirekt utvidgas genom innovation och ekonomisk-politiska åtgärder som syftar till en mer hållbar utveckling.<sup>1</sup> Teknologitveckling ökar produktiviteten och gör därmed att naturresurserna kan utnyttjas på ett effektivare sätt. Investeringar i mer resurs- och avfallsintensiv teknologi och realkapital ger på lång sikt högre tillväxt. Samtidigt gör avfallshantering att produktionen tar mindre landyta i anspråk genom att avfallsmängderna minskar, miljöpåverkan minskar och naturresurserna räcker längre då de återanvänds istället för att förbrukas och sparar därmed på biokapaciteten. En mindre andel genererat avfall i produktionen kan ses som en sparkvot av resurslagret, eftersom det är likvärdigt med en investeringstakt (eller snarare icke-investeringstakt). Denna beskriver den långsiktiga tillväxttakten i BNP per capita och ändringar i investeringstakt påverkar vanligtvis nivån på BNP i jämvikt snarare än tillväxttakten.

---

<sup>1</sup> "En utveckling som tillfredsställer dagens behov utan att äventyra kommande generationers möjligheter att tillfredsställa sina behov" - *Brundtlandrapporten* 1987

Genom att flytta om termerna i avfallsackumulationsfunktionen 4.9 erhålls uttrycket för nivån på mängden avfall i förhållande till BNP

$$\frac{W}{Y} = \frac{\lambda}{g_Y + d_W} \quad (4.12)$$

Detta visar att mängden avfall i förhållande till BNP ökar med en hög andel avfall i produktionen och minskar om deprecieringstakten är hög. Eftersom deprecieringstakten i denna uppsats antas vara konstant så är det avfallets produktionsandel som måste minska för att förhindra avtagande tillväxttakt i BNP.

### 4.3 Modellen i sin helhet: Solowmodellen med ekologiskt fotavtryck och avfallshantering

Solowmodellen med ekologiskt fotavtryck utvidgas genom att föra in variabeln avfall,  $W$ , vilket bildar följande produktionsfunktion

$$Y = AK^\alpha \left( \frac{BC}{W} \right)^\beta L^{1-\alpha-\beta} \rightarrow Y = AK^\alpha (BC)^\beta W^{-\beta} L^{1-\alpha-\beta} \quad (4.13)$$

där parametern  $b$  antas vara ett värde mellan noll och ett och  $a+b < 1$ . Avfallsvariabelns negativa exponent kan liknas vid en negativ teknologitillväxt. Förändringen i biologiskt utrymme, funktion 4.3, tillsammans med exogen teknologitillväxt och befolkningstillväxt, funktion 4.4 och 4.5, är densamma som i den ursprungliga modellen. Funktionen för kapitalackumulation är däremot annorlunda, eftersom kostnader för avfallshantering minskar den disponibla inkomsten,  $YD$ , och därmed även mängd realkapital. Nivån på, samt förändringen och tillväxttakten i realkapital blir därmed

$$\dot{K} = sYD - d_K K \rightarrow \frac{\dot{K}}{K} = s \left[ \frac{Y}{K} - \varepsilon \frac{W}{K} \right] - d_K = g_K \rightarrow \frac{K}{Y} = \left( \frac{s - \frac{\varepsilon \lambda}{(g_Y - d_W)}}{(g_Y + d_K)} \right) \quad (4.14)$$

Förändringen i realkapital sker på samma sätt som tidigare genom att en konstant andel,  $s_k$ , av inkomsterna sparas och investeras, medan en konstant andel förslits varje period. I denna utvidgade modell har avfallets deprecieringstakt en positiv effekt på realkapitalet, samtidigt som ökade kostnader för avfallshantering innebär mindre realkapital och därmed minskar den disponibla inkomsten. Parametern  $e$  är en konstant kostnadsandel för genererat avfall (dollar som behövs för avfallshantering per ton avfall). Mängd avfall i sin tur bestäms av hur stor andel av produktionen,  $f$ , som genererar avfall och hur mycket av avfallet som deprecierar,  $d_w$  (se funktion 4.12). Att en låg andel av produktionen genererar avfall påverkar BNP positivt, eftersom minskade kostnader för avfallshantering innebär mer realkapital samtidigt som en låg deprecieringstakt i avfall gör att mängden avfall och därmed kostnaderna för avfallshantering ökar. Kostnaderna för avfallshantering måste vara mindre än sparandet

$$\varepsilon < \frac{s(g_Y + d_w)}{\lambda} \rightarrow s(g_Y + d_w) > \varepsilon\lambda \quad (4.15)$$

Detta beror på att realkapitalet annars skulle kunna bli negativt, vilket inte är möjligt.

### 4.3.1 Tillväxttakt i BNP per capita i jämvikt

Genom att dividera produktionsfunktionen 4.13 med  $Y^\alpha$  och flyttar om termerna får man fram ett uttryck för BNP

$$Y = A^{\frac{1}{1-\alpha-\beta}} \left(\frac{K}{Y}\right)^{\frac{\alpha}{1-\alpha-\beta}} (BC)^{\frac{\beta}{1-\alpha-\beta}} \left(\frac{W}{Y}\right)^{\frac{\beta}{1-\alpha-\beta}} L^{\frac{1-\alpha-\beta}{1-\alpha-\beta}} \quad (4.16)$$

Omarrangering av termerna ger kvoten

$$\frac{Y}{\left( A^{\frac{1}{1-\alpha-\beta}} \left(\frac{K}{Y}\right)^{\frac{\alpha}{1-\alpha-\beta}} (BC)^{\frac{\beta}{1-\alpha-\beta}} \left(\frac{W}{Y}\right)^{\frac{\beta}{1-\alpha-\beta}} L^{\frac{1-\alpha-\beta}{1-\alpha-\beta}} \right)} \quad (4.17)$$

Både kvoten  $K/Y$  och  $W/Y$  är konstant i jämvikt, eftersom realkapitalet och avfallsmängden då växer i samma takt som BNP

$$g_Y = g_K = g_W$$

vilket gör att även kvoten 4.17 måste växa konstant i jämvikt. Tillväxttakten i BNP längs den balanserade tillväxtbanan får man genom att logaritmera och derivera produktionsfunktionen 4.13 med avseende på tiden, vilket ger följande funktion

$$g_Y = \frac{g_A}{1-\alpha-\beta} + \frac{\beta}{1-\alpha-\beta} g_{BC} + \frac{1-\alpha-\beta}{1-\alpha-\beta} n \quad (4.18)$$

Tillväxttakten för BNP per capita i jämvikt är lika med tillväxttakten i BNP minus befolkningstillväxten

$$g_y = g + \bar{\beta}(g_{BC} - 2n) \quad (4.19)$$

där uttrycket sammansatts genom att definiera  $g = \frac{g_A}{1-\alpha-\beta}$  och  $\bar{\beta} = \frac{\beta}{1-\alpha-\beta}$

Detta visar att tillväxttakten i BNP per capita påverkas positivt av en snabb teknologiutveckling och en ökad biokapacitet, medan befolkningstillväxten har en negativ påverkan på tillväxttakten då både inkomster och biokapacitet måste fördelas mellan fler människor. Resurserna används snabbare och lämnar ett mindre resurslager och därför lägre output för varje period. Hur stor befolkningstillväxtens negativa effekt är på tillväxttakten i BNP påverkas av storleken på faktorprissättningen till biokapaciteten (dvs. hur viktig biokapaciteten är i produktionen).

Att biokapaciteten är begränsad ger avtagande avkastning i realkapital och arbetskraft, vilket innebär att när ekonomin blir större så blir den mindre produktiv på marginalen. Utan teknologiutveckling kommer ekonomin i jämvikt uppvisa negativ per capita tillväxt i output per arbetare, med en hastighet som är proportionell mot

befolkningstillväxttakten. Nivån på BNP i en sådan ekonomi minskar till noll. Teknologitveckling har potentialen att kompensera för dessa effekter, då en ökning i teknologinivån  $A$  gör både arbetskraft, biokapacitet och kapital mer produktivt. Om ökningarna är tillräckligt stora kan de kompensera för befolkningstillväxtrycket på den begränsade resursen och leda till en ihållande tillväxt i per capita inkomst. Realkapitalets tillväxttakt i jämvikt blir densamma som tillväxttakten i BNP, eftersom realkapitalets förändring är en funktion av hur stor andel av BNP som investeras. Detta gäller även om det är tillväxttakten i variablerna per capita som avses.

#### 4.3.2 BNP per capita i jämvikt

Nivån på BNP per capita längs den balanserade tillväxttakten fås fram genom att använda kvoten 4.17 som vi ovan fann skulle växa konstant i jämvikt. Kvoten bildar ett uttryck för realkapitalet per teknologi-, biokapacitets-, avfalls- och arbetskraftsenhet. Förändringen i detta uttryck ska i jämvikt vara lika med noll. Utifrån detta kan ett uttryck härledas för vad BNP per viktad teknologi-, biokapacitets-, avfalls- och arbetskraftsenhet ska vara i jämvikt

$$Y = A^{\frac{1}{1-\alpha+\beta}} \left( \frac{s - \frac{\varepsilon\lambda}{(g_Y - d_W)}}{(g_Y + d_K)} \right)^{\frac{\alpha}{1-\alpha+\beta}} (BC)^{\frac{\beta}{1-\alpha+\beta}} \left( \frac{\lambda}{g_Y + d_W} \right)^{\frac{\beta}{1-\alpha+\beta}} L^{\frac{1-\alpha-\beta}{1-\alpha+\beta}} \quad (4.20)$$

Nivån på BNP per capita i jämvikt blir i sin tur

$$y^* = \left( A \left( \frac{s - \frac{\varepsilon\lambda}{(g_Y - d_W)}}{(g_Y + d_K)} \right)^{\alpha} B^B \left( \frac{(g_Y - d_W)}{\lambda} \right)^{\beta} L^{-2\beta} \right)^{\frac{1}{1-\alpha+\beta}} \quad (4.21)$$

Funktionen visar att teknologin och biologiskt utrymme bidrar till skapandet av BNP precis som produktionsfunktionen anger, medan befolkning har en negativ inverkan precis som i den ursprungliga modellen. Detta eftersom inkomster och biokapacitet måste delas mellan fler ju större befolkningen är, samtidigt som mer avfall genereras.

Uttrycket inom den första parentesen motsvarar realkapitalet per teknologi-, naturresurs-, avfalls- och befolkningsenhet, och visar att realkapitalet påverkas positivt av ett stort sparande men negativt av en hög deprecieringstakt i realkapital. Att en hög andel av produktionen genererar avfall påverkar BNP negativt, eftersom kostnaderna för avfallshantering innebär mindre realkapital, samtidigt som en hög deprecieringstakt i avfall gör att mängd avfall och därmed kostnader för avfallshantering minskar.

En hög tillväxttakt i teknologi, naturresurser och befolkning påverkar också realkapitalet per dessa enheter negativt. Att arbetskraften är upphöjt till ett negativt tal visar att även nivån på BNP per capita påverkas negativt av att inkomsterna måste delas mellan fler, ju större befolkningen är.



## 5 Metod och materialbeskrivning

### 5.1 Material

Uppgifter om BNP per capita, befolkningsstorlek och sparkvot är hämtade ur officiell statistik från Penn World Tables (Heston, 2002). Utifrån dessa har realkapital, storlek på BNP och befolkningstillväxt kunnat härledas.

Beräkningar av Sveriges totala biokapacitet och ekologiska fotavtryck går att finna i National Footprint Accounts via Global Footprint Network (NFA Edition Learning License 2011). Eftersom ekologiskt fotavtryck är ett relativt nytt begrepp<sup>2</sup> och nationalräkenskaperna påbörjades då Global Footprint Network grundades 2003 så är tillgänglig data begränsad. En licensversion i undervisningssyfte finns att tillgå, där nivåer på biokapacitet och ekologiskt fotavtryck finns angivet för 1961 och 2007. Utifrån dessa årtal har genomsnittlig tillväxttakt beräknats och används sedan för att göra prognoser för framtida utveckling, vilket förutsätter en konstant tillväxttakt. En simulering baserad på två årtal kan ifrågasättas, men antagandet att biokapaciteten kommer fortsätta att minska och det ekologiska fotavtrycket att öka i samma genomsnittliga takt som det gjort mellan 1961 och 2007 kan anses vara rimligt. Utifrån denna begränsade informationen kan relationer mellan variabler undersökas i undervisningssyfte, men vid undersökning av absoluta värden och analyser som ska agera underlag vid beslutsfattande krävs betydligt mer information och omfattande databaser.

Även data gällande avfall på global skala är begränsat eftersom länder har olika definitioner av avfall och hur det kategoriseras, likaså olika sätt att rapportera det. Baserat på bristfälliga rapporter har Baselkonventionen<sup>3</sup> uppskattat att 338 miljoner ton avfall genererades 2001 (US Environmental Protection Agency, 2009). Samma år uppskattade OECD 4 miljarder ton avfall för sina medlemsländer.<sup>4</sup> (OECD Environmental Program 2006) Eftersom det i OECD:s avfallsstatistik enbart finns data gällande genererade avfallsmängder att tillgå och inte kostnader för

---

<sup>2</sup> Det ekologiska fotavtrycket som begrepp skapades av Mathis Wackernagel och William Rees på University of British Columbia i början av 1990-talet

<sup>3</sup> Ett internationellt avtal som har utformats för att minska transporter av farligt avfall mellan länder, och särskilt för att förhindra överföring av farligt avfall från utvecklade till mindre utvecklade länder

avfallshantering, har jag istället använt mig av data från Världsbanken (WBG) och dess publikation *What A Waste – A Global Review of Solid Waste Management*. Denna rapport ger konsoliderade uppgifter om fast avfall, insamling, sammansättning, och bortskaffande per land och region. Trots rapportens relevans är som nämnt ovan pålitlig global information om avfall vanligtvis inte tillgänglig, men det antas i rapporten nu finnas tillräckligt med information för att uppskatta globala mängder och totalkostnader. Rapporten gör också prognoser om fast avfall och sammansättning för 2025, i syfte att agera underlag för beslutsfattarna att utarbeta planer och budgetar för hantering av avfall under de kommande åren. Global genererad fast avfallsmängd och totalkostnader för avfallshantering har uppskattats för 2010 och utifrån dessa nivåer har prognoser gjorts för 2025.

## 5.2 Om simuleringen

Lösningen av modellen i kapitel 4 har visat hur tillväxtmodellen med ekologiskt fotavtryck och avfallshantering betar sig i jämvikt och vad detta har för implikationer på tillväxttakten i BNP. Vad simuleringen ska försöka visa är hur olika nivåer på avfallshantering påverkar tillväxttakten i BNP och hur förändringen i BNP ser ut på vägen mot det nya jämviktsläget.

Nivån på avfallsmängderna beror på hur stor andel av produktionen som genererar avfall och hur snabbt det deprecierar. Eftersom deprecieringstakten i denna uppsats antas vara konstant så är det avfallsets produktionsandel som måste minska för att förhindra avtagande tillväxttakt i BNP. Både teknologiutveckling och avfallshantering kan göra att andelen genererat avfall i produktionen minskar, men eftersom teknologiutvecklingen antas vara exogen i denna modell så är det avfallshandlingens påverkan på tillväxten som undersöks i denna simulering.

I den utvidgade modellen antas förändringstakten i avfallsgenereringen vara lika med förändringstakten i det ekologiska fotavtrycket, vilket inte antas påverka utfallet i större utsträckning. Detta då det är relationen mellan variablerna som modellen syftar till att undersöka och inte absoluta värden. Grundmodellen för simuleringen är därmed Solowmodellen med ekologiskt fotavtryck, vilket utgörs av biokapacitet och avfallsmängd.

### 5.3 Situationer och strategier som ska simuleras

1. En simulering genomförs med och utan ekologiskt fotavtryck i produktionen för att synliggöra kostnader med resursförbrukning och en strategi där biokapacitetens andel av produktionen halveras för att se vad det har för effekt på utfallet.
2. En simulation genomförs där vinsterna med avfallshantering synliggörs genom att minska andelen av produktionen som genererar avfall (ton avfall per dollar i produktion). Fyra olika strategier simuleras med olika mängd avfallshantering: en strategi där mängden är konstant, en ökning med 20 %, en ökning med 25 % och en med 50 %.
3. En simulation genomförs där kostnaderna för avfallshantering synliggörs genom att öka kostnadsandelen för genererat avfall (kronor som behövs för avfallshantering per ton avfall). Fyra olika strategier simuleras med olika stora kostnadsandelar. En strategi där kostnaden är konstant, en där den multipliceras med 10, en med 25 och en med 50.

### 5.4 Beräkning av ingångsvärden

Inför simuleringen måste antaganden och beräkningar av ingångsvärden och parametrar utifrån materialet göras.

Värden på realkapital, storlek på BNP och befolkningstillväxt har kunnat härledas ur Penn World Tables officiella statistik och med hjälp av produktions- och jämviktsfunktionen har sedan den teknologiska nivån kunnat lösas ut. Eftersom denna uppsats behandlar tre olika versioner av Solow-modellen (utan ekologiskt fotavtryck, med ekologiskt fotavtryck, med ekologiskt fotavtryck och avfallshantering) har därmed tre teknologiska nivåer och tillväxttakter beräknats. För att möjliggöra dessa uträkningar krävs det att parametervärden uppskattas. Realkapitalets andel av inkomsterna antas i Jones bok att vara en tredjedel och realkapitalets deprecieringstakt 5 %. I Nordhaus beräkning antas biokapacitetens parametervärde  $b$  vara lika med 0,1, men eftersom han även har med icke-förnyelsebara naturresurser i sina beräkningar så antar jag ett värde på 0,2. Utifrån data har sparkvoten 20 % och befolkningstillväxten 0,28 % härletts

Uträkningar av ekologiskt fotavtryck och biokapacitet har jag inte gjort då talen finns givna i data. Beräkningar av genomsnittlig tillväxttakt på Sveriges totala biokapacitet och ekologiska fotavtryck har gjorts utifrån tillgänglig data för år 1961 och 2007. Dessa genomsnittliga tillväxttakter har sedan används för att uppskatta hur dessa nivåer kan förväntas utvecklas fram till år 2100. För att möjliggöra detta antas en konstant tillväxttakt. Enligt National Footprint Accounts hade Sverige år 1961 en biokapacitet på ca 13gh (global hektar) och har sedan dess minskat för att år 2007 anta en nivå på mindre än 10gh. Samtidigt har Sveriges ekologiska fotavtryck förändrats från att år 1961 vara 5gh till att år 2007 öka till ungefär 6gh. Detta påvisar en genomsnittlig minskning av det biologiska utrymmet med ca 1 % per år.

Sverige producerade ca 12 ton avfall per dag år 2010, vilket innebär ca 4500 ton per år (World Bank, 2012).. Fortsätter utvecklingen enligt prognosens antaganden kommer denna mängd genererat avfall år 2025 öka till ca 16 ton per dag, vilket innebär totalt uppemot 6000 ton per år. Gällande kostnader för avfallshantering är data inte landspecifikt, utan uppdelat enligt kategorierna låginkomstland (LI), lägre medelinkomstland (LMI), övre medelinkomstland (UMI) och höginkomstland (HIC). Sverige är ett höginkomstland och uppskattas därmed år 2010 ha en total avfallshanteringskostnad på ca 160 miljarder dollar, och enligt prognosen förväntas denna kostnad år 2025 vara över 220 miljarder dollar, vilket innebär en ökning på mer än 60 miljarder dollar. Detta kan jämföras med de totala globala kostnaderna för avfallshantering som år 2010 uppskattas vara ca 200 miljarder dollar och förväntas år 2025 fördubblats till nära 400 miljarder dollar.

Avfallets tillväxttakt beror på hur stor andel av produktionen som genererar avfall, samt hur mycket av avfallet som deprecierar. Utifrån data har avfallets andel i produktionen beräknats enligt följande

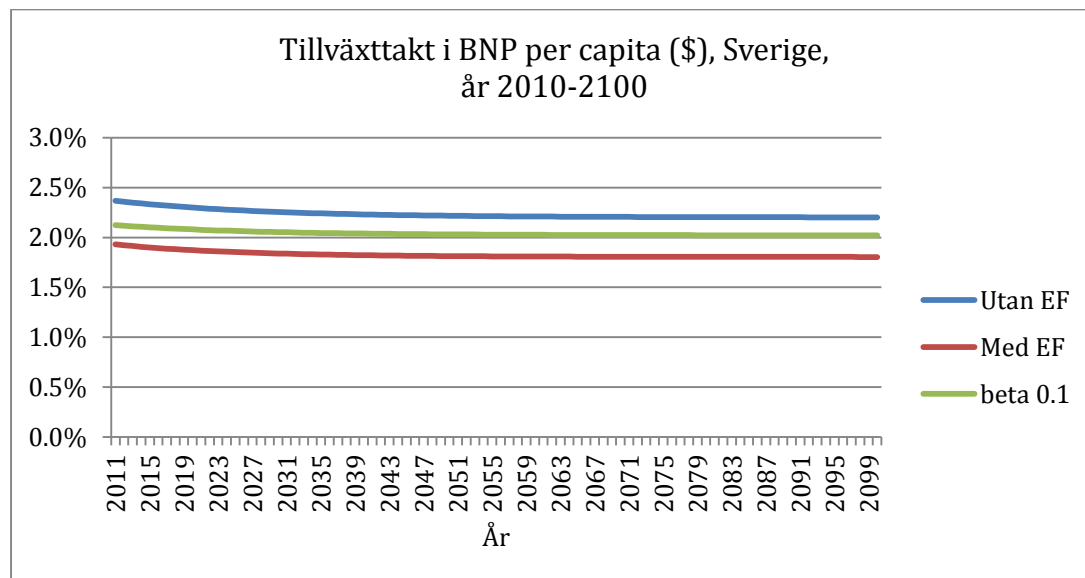
$$\lambda = \frac{\text{mängd avfall} * 365}{BNP}$$

vilket efter avrundning ger parametervärdet 0,000001 (ton avfall per dollar i produktion). Kostnadsandelen är satt till 264 (dollar per ton) och avfallets deprecieringstakt antas som realkapitalets deprecieringstakt vara 0,05.

## 6 Simuleringen och dess resultat

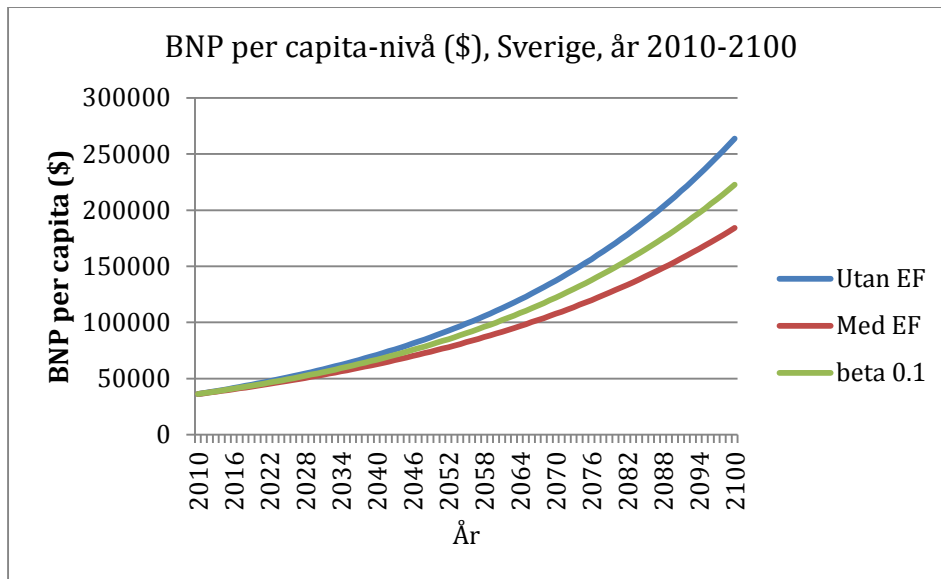
### 6.1 Ekologiskt fotavtryck i produktionen

Simuleringen genomförs med och utan ekologiskt fotavtryck i produktionen för att undersöka hur den begränsade biokapaciteten påverkar tillväxttakten i BNP och inkomstnivån.



Figur 1: Tillväxttakter i BNP per capita (\$) beroende på biokapacitetens andel i produktionen ( $\beta$ )

Figur 1 visar Sveriges tillväxttakt i BNP per capita år 2010-2100 med och utan ekologiskt fotavtryck i produktionen. Genom att inkludera biokapacitet i produktionsfunktionen sänks tillväxttakten med ca 0,5 %, vilket kan låta lite men även små skillnader i tillväxttakt kan ha stor påverkan på inkomstnivån på lång sikt. Figuren visar även att genom att halvera biokapacitetens andel av produktionen ( $\beta$ ) minskar beroendet vilket innebär en högre långsiktig tillväxttakt.



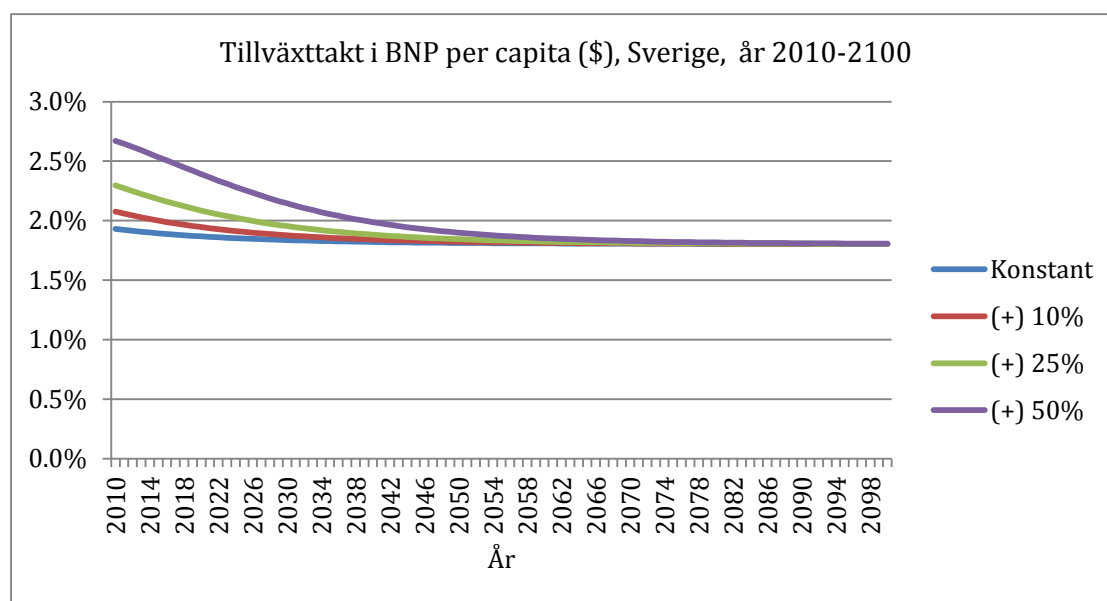
Figur 2: BNP per capita-nivå utan ekologiskt fotavtryck, med ekologiskt fotavtryck och med en halverad andel biokapacitet i produktionen ( $\beta$ ).

Figur 2 bekräftar det ovan nämnda att små skillnader i tillväxttakter kan ge stora utslag på lång sikt. Fram till år 2050 är kostnaderna för vår resursförbrukning knappt märkbara, men därefter blir det allt tydligare att biokapaciteten har en negativ påverkan på tillväxten. Ju knappare naturresurserna blir, desto kostsammare kommer vår förbrukning av dem att vara. Givet rådande produktionsförhållanden och resursförbrukning kan inkomstnivån år 2100 sjunkit med nästan \$80000, dvs en minskning med nästan 30%. Figur 1 visar även att att en halvering av biokapacitetens andel ger en proportionerlig ökning av tillväxten, då resurserna används i långsammare takt och lämnar ett större resurslager och därför högre output för varje period.

## 6.2 Avfallshantering

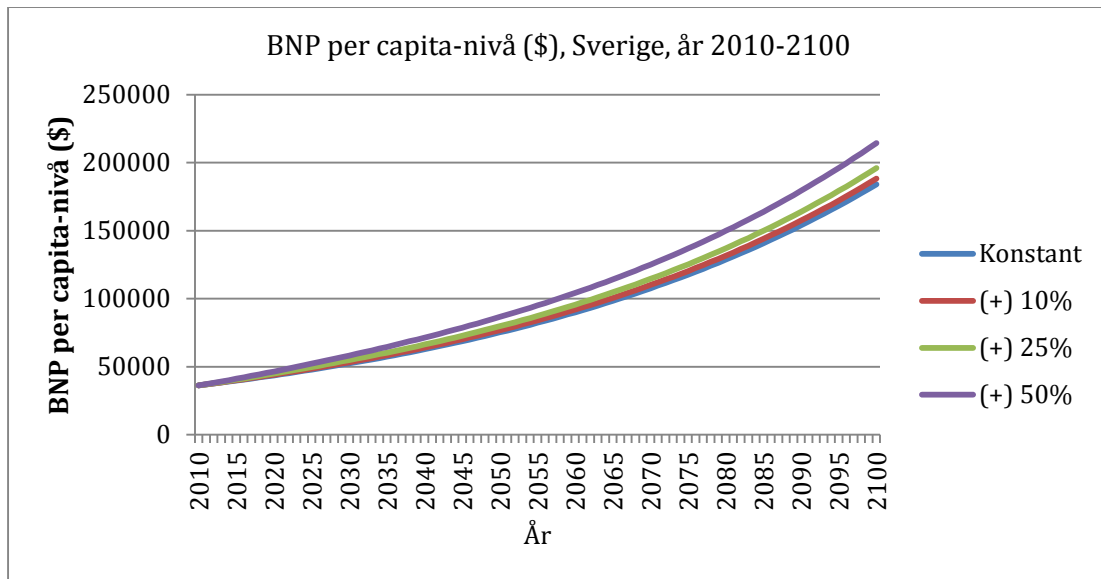
### 6.2.1 Vinster med minskad avfallsgenerering

En simulation genomförs där vinsterna med avfallshantering synliggörs genom att minska andelen av produktionen som genererar avfall (ton avfall per dollar i produktion).



Figur 3: Tillväxttakt i BNP per capita (\$) beroende på andelen genererat avfall i produktionen ( $\lambda$ )

Figur 3 visar hur minskningen av andelen avfall i produktionen tillfälligt ökar tillväxttakten i BNP per capita medan ekonomin ställer om till ett nytt högre *steady state* som inträffar runt år 2060.



Figur 4: BNP per capita-nivå (\$) beroende på andelen mängd genererat avfall i produktionen ( $\lambda$ )

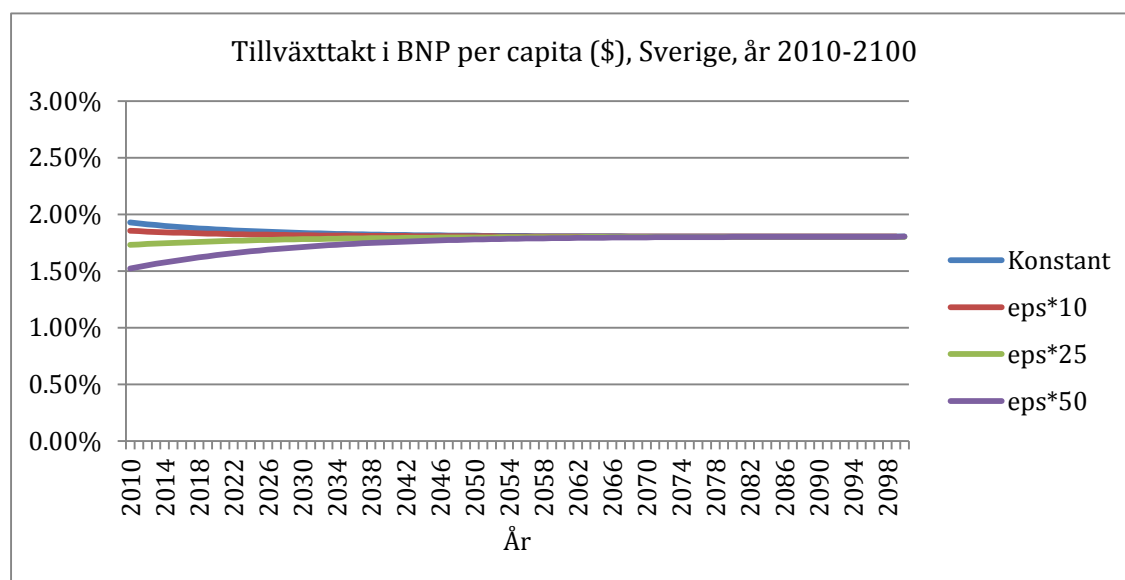
Figur 4 visar att en låg andel av produktionen som genererar avfall påverkar BNP positivt då detta innebär minskade kostnader för avfallshantering och därmed mer realkapital.

Simuleringen undersöker endast vinsterna med minskad avfallsgenerering och inte kostnaderna för avfallshanteringen, vilket innebär att mindre avfallsmängder alltid kommer att vara önskvärt i denna situation. Det skulle alltid vara önskvärt om inte de finansiella tillgångarna precis som naturresurser är begränsade och utgör därmed en restriktion på hur mycket investeringar som är möjliga för att minimera och hantera avfall. Kostnaderna för avfallshantering måste vara mindre än sparandet, eftersom realkapitalet annars kan bli negativt vilket inte är möjligt.



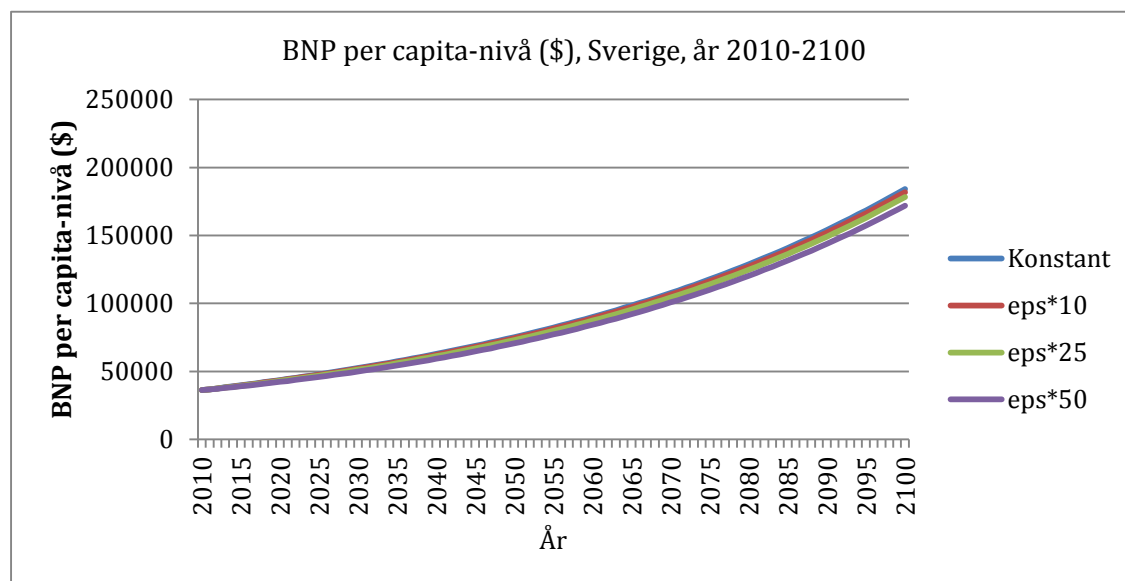
## 6.2.2 Kostnader med ökad avfallshantering

Simuleringen undersöker hur ökade kostnader för avfallshantering påverkar tillväxttakten i BNP per capita.



Figur 5: Tillväxttakt i BNP per capita (\$) beroende på kostnadsandelens storlek i produktionen ( $\epsilon$ )

Kostnaderna minskar mängden realkapital och därmed även den disponibla inkomsten, vilket gör att tillväxttakten i BNP per capita tillfälligt minskar medan ekonomin ställer om till ett nytt lägre *steady state*.



Figur 6: BNP per capita-nivå (\$) beroende på kostnadsandelens storlek i produktionen ( $\epsilon$ )

Figur 4 visar att ju mindre kostnader för avfallshantering desto bättre, vilket det skulle vara om inte biokapaciteten precis som finansiella tillgångar är begränsad och utgör därmed den restriktion som den ekonomiska aktiviteten måste hålla sig inom för att bibehålla en konstant tillväxttakt i BNP. Efterfrågan på biokapacitet kan överskrida mängden tillgängligt biokapacitet, men kan på lång sikt innebära att naturresurser utarmas och att det ekologiska systemet slutligen kollapsar.

### 6.3 Resultatdiskussion

Optimal mängd avfallshantering utifrån föregående resultat innebär en avvägning mellan:

- Tillväxt och miljö
- Kostnader och vinster
- Kort och lång sikt

Den första simuleringen visar att minskade avfallsmängder ger miljövinster som tillfälligt kan höja tillväxttakten, men för att effekten ska vara ihållande krävs en frikoppling mellan tillväxt och miljö. Eftersom avfallsgenereringen antas öka i takt med produktionen så kommer det biologiska utrymmet ständigt att minska, vilket innebär att andelen genererat avfall måste minska i samma takt för att tillväxttakten ska vara konstant på lång sikt. Detta innebär att en frikoppling mellan tillväxt och miljö är nödvändig, alltså att produktionen inte ska vara beroende av den begränsade biokapaciteten, vilket kan tänkas ske genom teknologiutveckling.

Den andra simuleringen visar att ökade kostnader för avfallshantering hindrar andra investeringar i ekonomin och minskar därmed den disponibla inkomsten. Att en låg andel av produktionen genererar avfall påverkar BNP positivt, eftersom minskade kostnader för avfallshantering innebär mer realkapital samtidigt som en låg deprecieringstakt i avfall gör att mängden avfall och därmed kostnaderna för avfallshantering ökar.

Mindre avfallsmängder ger utöver miljövinster även en positiv effekt på tillväxten på lång sikt, eftersom en mindre andel genererat avfall i produktionen kan ses som en ökad sparkvot av biokapaciteten som gör att resurserna räcker längre. Genom

investeringar i ökad avfallshantering går det att minska mängden avfall som genereras vid produktion, vilket skapar en mer kretsloppsorienterad ekonomi där resurser återanvänds istället för att förbrukas. Naturresurserna räcker längre och miljöpåverkan minskar, vilket kan ses som en indirekt utvidgning av biokapaciteten som ekonomin är beroende av. Den avtagande avkastningen som biokapaciteten ger upphov till minskar, vilket gör att vi kan få en högre långsiktig ekonomisk tillväxt. Samtidigt innebär det höga omställningskostnader som hindrar andra investeringar i samhället, t.ex. skola och infrastruktur, vilket skapar målkonflikter.

## 6 Slutsats

Syftet med uppsatsen är att undersöka vad faktumet att biokapaciteten är begränsad har för implikationer på tillväxten, och sedan undersöka vad avfallshantering har för effekt på utfallet. För att undersöka detta används Solowmodellen med naturresurser som utgångspunkt, vilken synliggör kostnaderna med resursförbrukning. Naturresursen är i denna modell biokapacitet, vilket är mängden produktivt område som är tillgängligt för att generera naturresurser och absorbera avfall. Modellen utvidgas genom att föra in avfallshantering för att undersöka dess påverkan på tillväxt och miljö, och ifall att målkonflikten mellan ökad tillväxt och minskad miljöpåverkan går att minska. En simulering genomförs med olika nivåer av avfallshantering inkluderade i modellen för att undersöka korta och långsiktiga kostnader och vinster, vilket ställs emot vinsterna med bättre miljö.

Genom att inkludera ekologiskt fotavtryck i Solowmodellen synliggörs att biokapacitet minskar den långsiktiga tillväxttakten i ekonomin och att denna negativa effekt kan minskas genom att göra produktionen mindre beroende av den begränsade biokapaciteten. En avvägning måste göras mellan att använda mycket resurser och få en hög inkomstnivå per capita, eller att använda naturresurserna mer sparsamt med högre tillväxtpotential som följd. Eftersom avfallsmängderna ständigt ökar innebär det en ihållande negativ effekt på BNP-tillväxten. Det vore därför önskvärt med en produktion som inte genererar avfall, men som produktionsfunktionen visar är detta inte möjligt, eftersom om tillväxttakten i avfall sätts till noll kommer även tillväxttakten i BNP att gå mot noll. Den negativa effekten som minskad biokapacitet och ökad avfallsgenerering har på tillväxten kan dock vägas upp av

kapitalackumulation, teknologiutveckling och avfallshantering. Även om biokapaciteten antas minska oberoende av hur BNP utvecklar sig, kan den indirekt utvidgas genom innovation och ekonomisk-politiska åtgärder som syftar till en mer hållbar utveckling.

Det centrala problemet i denna uppsats har varit att identifiera den faktiska kopplingen mellan resursförbrukning och avfallshanteringskostnader, att vinsterna och kostnaderna på ett tydligt sätt ska gå att väga mot varandra. Nu gjordes en simulering över vinster med minskad andel genererat avfall i produktionen och annan med kostnaderna över avfallshantering. Att sedan vikta dessa mot varandra är svårt och det visade sig att utfallet hade stor betydelse för viken enhet som sattes. Det visar sig att även att kostnadsandelen är betydligt mindre känslig för värdejusteringar än avfallsandelens parametervärde, vilket visar svagheter med simuleringen som beror på bristfällig och icke sammanhållen data och svårigheter att skatta parametervärdena så att de återspeglar rådande förhållanden i ekonomin.

Tillgång till data och tidigare forskning har även varit begränsat, både ekologiskt fotavtryck och beräkningar av avfallskostnader är relativt nya initiativ, vilket gör att det har varit svårt att få en bredd i materialet som ligger till underlag för simuleringen. Överlag är nationalekonomiska studier av förhållandet mellan tillväxten och miljö sällsynta. Utifrån detta ser jag det som att det centrala syftet med den här uppsatsen är att belysa bristerna i tillgång till data och forskning gällande sambandet mellan tillväxt och miljö, i synnerhet gällande kopplingen mellan resursförbrukning och avfallshanteringskostnader, och samtidigt uppmärksamma några av de goda initiativ som finns i dagsläget, t.ex. National Footprint Accounts, Material Flow Cost Accounting och Millenium Ecosystem Assessment.

*"Bruttonationalprodukt bör inte längre vara det enda stora måttet på hur bra det går för en nation. Det är inte bara den uppenbara divergensen mellan livskvalitet och BNP som rättfärdigar den slutsatsen. Politik påverkas av vad man mäter och om man bara mäter pengar så kommer all politik handla om hur man får mer pengar*

## 7 Litteraturförteckning

Bergman, Karin, 2006, *Ekonomisk tillväxt och ren natur, Är det möjligt?* Lund: Lunds Universitet

Ewing B., D. Moore, S. Goldfinger, A. Oursler, A. Reed, and M. Wackernackel, 2010, *The Ecological Footprint Atlas 2010*. Oakland: Global Footprint Network.

Europaparlamentets och rådets avfallsdirektiv 2008/98/EG

Global Footprint Network, 2011, *NFA Edition Learning License*. Oakland: Global Footprint Network.

Hansson, Pontus, 2013, *Kompletterande kompendium, Ekonomisk Tillväxt*. Lund: Lunds Universitet.

Heston, Alan, Summers, Robert and Aten, Bettina, 2002, *Penn World Table Version 6.1*. Center for International Comparisons of Production, Income and Prices at the University of Pennsylvania (CICUP), USA. Tillgänglig via: [http://pwt.econ.upenn.edu/php\\_site/pwt\\_index.php](http://pwt.econ.upenn.edu/php_site/pwt_index.php) (2007/09/20)

Jones, Charles I., 2002, *Introduction to economic growth*. Second ed. New York: W.W Norton & Company Inc.

Kjellgren, Stina, 2007, *Energi, ekonomi och kostnader – En uppsats som tar hänsyn till klimatet*. Lund: Lunds Universitet.

Millenium Ecosystem Assessment (MA), 2003, *Ecosystems and Human Well-Being: A Framework for Assessment Ecosystems and Human Well-Being: A Framework for Assessment*. US: Millenium Ecosystem Assessment (MA)

The World Bank, 2012, *What a Waste – A Global Review of Solid Waste Management*. No. 15. Washington: Urban Development & Local Government Unit.

WWF, 2012, *Living Planet Report 2012. Biodiversity, biocapacity and better choices*. Gland, Switzerland: WWF.

U.S. Environmental Protection Agency, 12 Oct 2009, *International Waste Activities*, 2003.

OECD Environment Program, 2006, *Improving Recycling Markets*. Paris: OECD

## Annex 1 - Jämviktsformler

### Tillväxttakten i BNP per capita längs den balanserade tillväxtbanan

Genom att dividera produktionsfunktionen  $Y = AK^a B^b W^{-b} L^{1-a-b}$  med  $Y^a$  får man fram följande uttryck

$$Y = A^{\frac{1}{1-\alpha-\beta}} \left(\frac{K}{Y}\right)^{\frac{\alpha}{1-\alpha-\beta}} (BC)^{\frac{\beta}{1-\alpha-\beta}} \left(\frac{W}{Y}\right)^{\frac{\beta}{1-\alpha-\beta}} L^{\frac{1-\alpha-\beta}{1-\alpha-\beta}}$$

Kvoten  $K/Y$  kommer att växa konstant i jämvikt, eftersom realkapitalet längs den balanserade tillväxtbanan växer i samma takt som BNP, och därför måste även följande kvot växa konstant i jämvikt

$$\frac{Y}{\left( A^{\frac{1}{1-\alpha-\beta}} \left(\frac{K}{Y}\right)^{\frac{\alpha}{1-\alpha-\beta}} (BC)^{\frac{\beta}{1-\alpha-\beta}} \left(\frac{W}{Y}\right)^{\frac{\beta}{1-\alpha-\beta}} L^{\frac{1-\alpha-\beta}{1-\alpha-\beta}} \right)}$$

Denna kvot kommer att användas när jämviktsnivån på BNP ska räknas ut. För att beräkna tillväxttakten i BNP logaritmeras och deriveras båda sidorna av funktionen

$$\ln Y = \frac{1}{1-\alpha+\beta} \ln A + \frac{\alpha}{1-\alpha+\beta} \ln\left(\frac{K}{Y}\right) + \frac{\beta}{1-\alpha+\beta} \ln B + \frac{\beta}{1-\alpha+\beta} \ln\left(\frac{Y}{W}\right) + \frac{1-\alpha-\beta}{1-\alpha+\beta} \ln L \rightarrow$$

$$\frac{\partial \ln Y}{\partial t} = \frac{1}{1-\alpha+\beta} \frac{\partial \ln A}{\partial t} + \frac{\alpha}{1-\alpha+\beta} \frac{\partial \ln\left(\frac{K}{Y}\right)}{\partial t} + \frac{\beta}{1-\alpha+\beta} \frac{\partial \ln B}{\partial t} + \frac{\beta}{1-\alpha+\beta} \frac{\partial \ln\left(\frac{Y}{W}\right)}{\partial t} + \frac{1-\alpha-\beta}{1-\alpha+\beta} \frac{\partial \ln L}{\partial t} \rightarrow$$

$$g_Y = \frac{1}{1-\alpha+\beta} g_A + \frac{\alpha}{1-\alpha+\beta} g_{\frac{K}{Y}} + \frac{\beta}{1-\alpha+\beta} g_B + \frac{\beta}{1-\alpha+\beta} g_{\frac{Y}{W}} + \frac{1-\alpha-\beta}{1-\alpha+\beta} n \rightarrow$$

$$g_Y = \frac{g_A}{1-\alpha+\beta} + 0 + \frac{\beta}{1-\alpha+\beta} g_B + 0 + \frac{1-\alpha-\beta}{1-\alpha+\beta} n$$

I jämvikt växer BNP, realkapital och avfallsmängd konstant

$$g_Y = g_K = g_W$$

vilket innebär att både kvoten  $K/Y$  och  $Y/W$  blir lika med noll och dessa termer försvinner. Tillväxttakten i BNP per capita kan härledas genom att ta bort befolkningstillväxten från tillväxttakten i BNP

$$\begin{aligned}
 g_y = g_Y - n &= \frac{g_A}{1-\alpha+\beta} + \frac{\beta}{1-\alpha+\beta} g_B + \left[ \frac{1-\alpha-\beta}{1-\alpha+\beta} - \frac{1-\alpha+\beta}{1-\alpha+\beta} \right] n \rightarrow \\
 &= \frac{g_A}{1-\alpha+\beta} + \frac{\beta}{1-\alpha+\beta} g_B - \frac{2\beta}{1-\alpha+\beta} n \rightarrow \\
 g_y &= \frac{1}{1-\alpha+\beta} (g_A + \beta(g_B - 2n))
 \end{aligned}$$

### BNP per capita i jämvikt

Nivån på BNP per capita längs den balanserade tillväxttakten fås fram genom att använda kvoten 4.17 som vi ovan fann skulle växa konstant i jämvikt. Förändringen i detta uttryck ska i jämvikt vara lika med noll, vilket kan härledas till följande uttryck

$$Y = A^{\frac{1}{1-\alpha+\beta}} \left( \frac{s - \frac{\varepsilon\lambda}{(g_Y - d_W)}}{(g_Y + d_K)} \right)^{\frac{\alpha}{1-\alpha+\beta}} (BC)^{\frac{\beta}{1-\alpha+\beta}} \left( \frac{\lambda}{g_Y + d_W} \right)^{\frac{\beta}{1-\alpha+\beta}} L^{\frac{1-\alpha-\beta}{1-\alpha+\beta}}$$

Nivån på BNP per capita i jämvikt blir i sin tur

$$y^* = \left( A \left( \frac{s - \frac{\varepsilon\lambda}{(g_Y - d_W)}}{(g_Y + d_K)} \right)^\alpha B^B \left( \frac{(g_Y - d_W)}{\lambda} \right)^\beta L^{-2\beta} \right)^{\frac{1}{1-\alpha+\beta}}$$

Funktionen visar att teknologin och biologiskt utrymme bidrar till skapandet av BNP precis som produktionsfunktionen anger, medan befolkning har en negativ inverkan precis som i den ursprungliga modellen.



## Annex 2 - Ingångsvärden för simuleringen

### Penn World Tables

Y2010: 327868824,2

Y2000: 267621366,2

L2010: 9074,055

L2000: 8923,569

gy: 0,017

n: 0,0028

s: 0,202062911

### National Footprint Accounts

BC1961: 12,66233766

BC2007: 9,75

BC2010: 9,585214547

EF1961: 5,025641026

EF2007: 5,88

gBC: -0,005665732

gEC: 0,003418956

### Global Waste Management

W2010: 4500,085

w2010: 12,329

w2025: 15,771

Tot MSW (ton): 602000000

Tot kostn MSW (miljard \$): 159,3

Tot MSW (ton/år)2010: 4500,085

Tot MSW (ton/år) 2025: 5756,415

Gw: 0,016550033

Antagna parametervärden

d: 0,05

alfa: 0,3

beta: 0,2

lambda: 0,000001

epsilon: 264

Övriga startvärden

K2010: 863565686

A2010: 7176,468888

AB2010: 6521,616922

A(BC)W2010: 24560,35174

gA: 0,017108654

gAB: 0,016083588

gA(BC)W: 0,018507749