



Ekologiska fotavtryck för koldioxidutsläpp för Stockholms län, Norrbottens län och Stockholms läns landsting

En kritisk metodgranskning baserad på kvantitativa data

Bodil Johansson

Miljö och hållbart företagande
Magisteruppsats 2006:1

Centrum för tvärvetenskaplig miljöforskning

Vår välfärd bygger på att samspelet mellan människa, samhälle och natur fungerar. Forskning om hur samhället vårdar basen för sin välfärd, och når hållbar utveckling, kräver kunskap från flera områden. Därför finns Centrum för tvärvetenskaplig miljöforskning, CTM.

CTM är ett fristående centrum vid Stockholms universitet som verkar för samarbete över fakultetsgränserna. Vi samarbetar med alla institutioner vid Stockholms universitet som bedriver miljörelaterad forskning.

CTM utvecklar tvärvetenskapliga utbildningar, samordnar större forskningsprojekt och informerar omvärlden om universitetets miljöforskning.

Centrum för tvärvetenskaplig miljöforskning hette tidigare Centrum för naturresurs- och miljöforskning, CNM, och har funnits vid Stockholms universitet sedan 1990.

Hemsida: www.ctm.su.se

STOCKHOLMS UNIVERSITET
CTM – Centrum för Tvärvetenskaplig Miljöforskning
Magisterkurs Miljö och Hållbart företagande

Ekologiska fotavtryck för koldioxidutsläpp för Stockholms län, Norrbottens län och Stockholms läns landsting

En kritisk metodgranskning baserad på kvantitativa data

av

Bodil Johansson

Handledare: Åsa Jansson, PhD, Stockholms universitet, Beijerinstitutet

Uppdragsgivare: Stockholms läns landsting

Magisteruppsats 2006: 1 (20 poäng), höstterminen 2006

Förord

I magisterkursen Miljö och Hållbart företagande vid Stockholms universitet ingår ett praktiskt moment på 20 poäng vilket utgörs av en magisteruppsats. På uppdrag av Stockholms läns landsting har jag skrivit min magisteruppsats om ekologiska fotavtryck för koldioxidutsläpp och arbetet genomfördes under höstterminen 2006. Denna del av min utbildning har varit väldigt givande och intressant eftersom mina tidigare studier har kommit till användning genom en mer praktisk tillämpning. Uppsatsskrivandet blev därför en väldigt bra avslutning på mina studier.

Det finns flera personer som jag särskilt vill tacka och som har varit till stor hjälp under hela arbetet. Jag vill främst tacka min handledare, Åsa Jansson. En helt exemplarisk handledare som engagerar sig, som är bra att diskutera med och som alltid går att få kontakt med, vilket jag uppskattat mycket. Jag vill även tacka all personal på Landstingsstyrelsens förvaltnings miljöavdelning som under hela terminen har bistått mig med en arbetsplats och trevligt sällskap. Elisabet Åman på Stockholms läns landsting var initiativtagare till projektet och därför vill jag särskilt tacka henne. Även ett stort tack till Roland Pool som under uppsatsskrivandet, frivilligt och ofrivilligt, lyssnat på mina funderingar och utlägg. Slutligen vill jag tacka kursledningen och min uppsatsgrupp som alltid finns där för frågor och stöd.

Tack!

Stockholm i december 2006

Bodil Johansson

Abstract

Human existence and welfare depend on functional ecosystems. Ecosystems are critical to sustain life-support services for human well-being. One method that visualizes that humanity requires ecosystem services for resource consumption and assimilation of produced waste is ecological footprints. This study focuses on the ecosystem service carbon sequestering. A quantification of this ecosystem service showed the potential for accumulation of carbon in different ecosystems in Stockholm and Norrbotten County for the years of 1995 and 2004. This study also provides an estimate of the ecosystem area that is appropriated to accumulate all carbon from total carbon dioxide emissions in Stockholm and Norrbotten County respectively. The appropriated ecosystem area represents the ecological footprint. The ecological footprint is also calculated for Stockholms läns landsting's total carbon dioxide emissions in 2004. The total potential for accumulation of carbon is lower in the ecosystems in Stockholm County in 2004 than in 1995 and the corresponding figure for Norrbotten County has increased. The results indicate that the total potential for carbon accumulation in Stockholm County was approximately 427 kton C year⁻¹ in 1995 and 352 kton C year⁻¹ in 2004. In 1995 the ecosystems in Stockholm County could assimilate 26% of the county's total emissions whereas the figure for 2004 was 21%. In Norrbotten County, the total potential for accumulation was approximately 2 824 kton C year⁻¹ in 1995 and 2 983 kton C year⁻¹ in 2004. The ecosystem area that is appropriated to assimilate total emissions of carbon dioxide was smaller in 2004 than in 1995 in Stockholm County and larger in Norrbotten County. The ecological footprint for total carbon dioxide emissions in Stockholm County was 12 696 km² in 1995 and 12 506 km² in 2004. The corresponding estimate for Norrbotten County indicate that the ecological footprint for total carbon sequestering was 14 457 km² in 1995 and 32 146 km² in 2004. The result shows that both regions require large areas of ecosystem to absorb total emissions of carbon dioxide. Stockholms läns landsting's ecological footprint was 409 km², which corresponds to 3.3 % of the County's total ecological footprint. Stockholm County depends on ecosystem areas outside the region for assimilation of the region's total emissions of carbon dioxide. According to the results Norrbotten County is self-sufficient with regard to the ecosystem service carbon accumulation. This study also includes a discussion of the advantages and limitations of the ecological footprint as a methodology. The received results serve as the starting point for this discussion. Ecological footprints are pedagogic and communicative indicators and can therefore reach out to a broad audience which is a great advantage with the method. It is a static measure and is therefore incapable of giving any presages. Ecological footprints do not take the dynamics and complexity of ecosystems into account and can therefore not provide any information about the possibilities for ecosystems to deliver ecosystem services at the same quality and quantity in the future. The method does not take socio-economic factors into consideration. For these reasons, ecological footprint should not be used as an indicator for sustainability. On the other hand, ecological footprint can illustrate why an ecologically sustainable development is necessary by visualizing that human welfare and existence rely on functional ecosystems.

Keywords: Ecosystem area; Ecosystem service; Carbon sink; Indicator; Carbon sequestering

Sammanfattning

Människan är beroende av funktionella ekosystem för sin existens och välfärd. Ekosystemen bistår människan med en mängd ekosystemtjänster som klimatreglering, rening av luft, matproduktion, rening av vatten, cirkulation av näringsämnen, kolackumulering och råmaterial. Ekologiska fotavtryck är en metod som kan kommunicera människans beroende av ekosystemtjänster. Ett ekologiskt fotavtryck anger den biologiskt produktiva yta som krävs för att generera de ekosystemtjänster en person, en region, en organisation, ett land eller hela jorden är beroende av för resurskonsumtion och för omhändertagande av avfall. Det går även att beräkna det ekologiska fotavtrycket för en ekosystemtjänst, till exempel ackumulering av kol. Syftet med denna studie är att genom användning av ekologiska fotavtryck för koldioxidutsläpp visa på människans beroende av ekosystemtjänster. Det ekologiska fotavtrycket för koldioxidutsläpp beräknas för Stockholms respektive Norrbottens län för 1995 och 2004, samt för Stockholms läns landsting 2004. För att kunna beräkna det ekologiska fotavtrycket för koldioxidutsläpp måste ekosystemens potential för ackumulering av kol uppskattas. Resultaten visar att potentialen för att ackumulera kol i Stockholms län var $427 \text{ kton C år}^{-1}$ 1995 och $352 \text{ kton C år}^{-1}$ 2004. Ekosystemen inom Stockholms län kunde därmed bistå med ekosystemtjänsten ackumulering av kol i en mindre utsträckning 2004. Ekosystemen inom Stockholms län hade potential för att ta upp 26 % av länets totala koldioxidutsläpp 1995 och 21 % 2004. Potentiell ackumulering av kol i ekosystemen inom Norrbottens län var högre 2004 än 1995 och uppgick till $2\,824 \text{ kton C år}^{-1}$ 1995 och $2\,983 \text{ kton C år}^{-1}$ 2004. Stockholms läns ekologiska fotavtryck uppskattades till $12\,969 \text{ km}^2$ 1995 och $12\,506 \text{ km}^2$ 2004 och har således minskat. Det ekologiska fotavtrycket för Stockholms läns landstings koldioxidutsläpp 2004 var 409 km^2 vilket utgör 3.3 % av länets totala ekologiska fotavtryck. Norrbottens län ekologiska fotavtryck för koldioxidutsläpp var $14\,457 \text{ km}^2$ 1995 och $32\,146 \text{ km}^2$ 2004, vilket innebär en dryg fördubbling av fotavtrycket. Att det ekologiska fotavtrycket har minskat i Stockholms län beror på reducerade koldioxidutsläpp samt på en högre tillväxt per arealenhet i skogsmark. Det ekologiska fotavtrycket för Norrbottens län har ökat betydligt vilket främst beror på de högre koldioxidutsläppen från industrin. Stockholms län är beroende av ekosystem utanför regionen om länets totala koldioxidutsläpp skall absorberas i ekosystemen. Ekosystemen inom Norrbottens län har däremot potential för att absorbera regionens totala koldioxidutsläpp och är således självförsörjande med avseende på ekosystemtjänsten ackumulering av kol.

Vad denna studie synliggör är att dessa regioner kräver stora ytor ekosystem för assimilering av respektive regions totala koldioxidutsläpp. Båda länen är således i stor utsträckning beroende av ekosystemens funktion som kolsänka. Utifrån erhållna resultat diskuteras vilka möjligheter och begränsningar som finns med metoden ekologiska fotavtryck. Ekologiska fotavtryck är en pedagogisk och kommunikativ indikator som belyser människans beroende av funktionella ekosystem på ett sätt som många förstår och kan ta till sig, vilket utgör metodens stora styrka. Det är en statisk metod, som därmed inte kan bistå med några förutsägelser om utvecklingen vid olika handlingsalternativ. Ekologiska fotavtryck inkluderar inte socioekonomiska faktorer eller ekosystemens komplexitet och dynamik och är därför oförmögen att säga något om ekosystemens förmåga att leverera ekosystemtjänster i framtiden. Av dessa anledningar skall ekologiska fotavtryck inte tillämpas som hållbarhetsindikatorer. Däremot kan ekologiska fotavtryck belysa varför en ekologiskt hållbar utveckling är viktig att uppnå genom att synliggöra människans beroende av ekosystemtjänster och därav vara av betydelse även ur ett hållbarhetsperspektiv.

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

1. INLEDNING	5
1.1 BAKGRUND	5
1.2 PROBLEMFÖRMULERING	9
1.3 SYFTE	9
1.4 STUDIEOMRÅDE	10
1.5 AVGRÄNSNINGAR	11
2. METOD	12
2.1 DATAINSAMLING	12
2.2 KALKYLERINGSMETOD	13
2.2.1 BERÄKNING AV POTENTIAL FÖR ACKUMULERING AV KOL	13
2.2.2 BERÄKNING AV DET EKOLOGISKA FOTAVTRYCKET FÖR KOLDIOXIDUTSLÄPP	15
2.3 METODKRITIK	16
3. RESULTAT	18
3.1 RESULTATREDOVISNING	18
3.1.1 POTENTIAL FÖR ACKUMULERING AV KOL	18
3.1.2 EKOLOGISKA FOTAVTRYCK	20
3.1.2.1 STOCKHOLMS OCH NORRBOTTENS LÄN	20
3.1.2.2 STOCKHOLMS LÄNS LANDSTING	24
4. DISKUSSION	25
4.1 RESULTATDISKUSSION	25
4.2 AVSLUTANDE DISKUSSION	28
4.2.1 KLIMATFÖRÄNDRING	29
4.2.2 HÅLLBARHET OCH KOMPLEXA DYNAMISKA SYSTEM	29
4.2.3 URBAN KONTRA RURAL REGION	31
4.2.3.1 REGIONALA FÖRUTSÄTTNINGAR	31
4.2.4 SOCIOEKONOMISKA FAKTORER	32
4.2.5 RÄTTVISA	33
4.2.6 HANDEL	33
4.2.7 EKOLOGISKA FOTAVTRYCK PÅ ORGANISATIONSNIVÅ	34
4.3 FÖRSLAG TILL FRAMTIDA FORSKNING	34
5. SLUTSATSER	366
REFERENSER	37
BILAGOR	411
BILAGA 1. BERÄKNINGAR	

1. Inledning

Människan är beroende av naturen och de tjänster som ekosystemen levererar för att bibehålla den standard och välfärd som utmärker det mänskliga levnadssättet (Folke et al., 2002). Matproduktion, råmaterial, klimatreglering, tillgång på vatten, cirkulation av näringsämnen, erosionskontroll, rening av luft och pollinering är endast ett fåtal av de tjänster som ekosystemen tillhandahåller, varav flertalet är livsavgörande för såväl människa som allt annat liv på jorden (Costanza et al., 1997; Daily, 1997; Baskin 1997). Många av dessa ekosystemtjänster är dock ofta osynliga för människan. Dessa tjänster har sällan ett pris i ekonomin vilket bidrar till att tjänsten tas för givet samtidigt som dess värde förbises (Daily, 1997). Att ekosystemtjänster saknar ett pris på den ekonomiska marknaden medför att de vanligtvis inte inkluderas i beslutsfattande (Jansson et al., 1999).

Människan utnyttjar en betydande del av naturresurserna på ett ohållbart sätt och alla världens ekosystem är idag påverkade av mänskliga aktiviteter (Millennium Ecosystem Assessment, 2005a; Vitousek, 1997). Mänskliga aktiviteter kan inverka på dynamiken i ekosystemen och reducera ekosystemens kapacitet att leverera ekosystemtjänster (Folke et al., 2002). För att människan skall prioritera att värna om det naturliga kapitalet måste det först tydliggöras att ekosystemens tjänster är en grundförutsättning för människans levnadsförhållande och för samhällsutvecklingen (Jansson et al., 1999). Det finns olika indikatorer för att kommunicera den mänskliga välfärdens beroende av ekosystemtjänster. En metod för att uppmärksamma att naturligt kapital tas i anspråk av människan är ekologiska fotavtryck (Deutsch et al., 2000). Ett ekologiskt fotavtryck anger den totala biologiskt produktiva yta som krävs för att generera de ekosystemtjänster en person, en region, en organisation, ett land eller hela jorden är beroende av för att upprätthålla dess existens och livsstil, vilket inkluderar resursförbrukning och assimilering av producerat avfall (Wackernagel och Rees, 1996).

1.1 Bakgrund

Ekosystem är komplexa adaptiva system som karaktäriseras av ickelinjära samband och dynamiska interaktioner mellan dess beståndsdelar (Levin, 1998). Mänsklig påverkan kan leda till regimskiften i ekosystemen, vilket kan reducera ekosystemets resiliens, det vill säga återhämtningsförmåga vid störning, och därigenom förändra ekosystemens essentiella funktioner (Folke et al., 2002; Deutsch et al., 2003). Denna transformation av ekosystemens uppbyggnad och funktion är en begränsande faktor för samhällsutvecklingen eftersom det innebär en förlust av resiliens och ekosystemtjänster (Jansson et al., 1994). Människan kan således påverka ekosystem till att hamna i mindre önskvärda tillstånd och därmed begränsa tillgången på de ekosystemtjänster som vi förlitar oss på. Efterfrågan på ekosystemtjänster ökar i och med att befolkningen och krav på högre levnadsstandard och tillväxt ökar (Millennium Ecosystem Assessment, 2005a). Att inte bruka ekosystemen på ett ekologiskt hållbart sätt innebär därmed att människan äventyrar sitt eget välmående.

De senaste 50 åren har människan förändrat ekosystemen i en större utsträckning än vad som någonsin har gjorts under någon tidsperiod i människans historia (Millennium Ecosystem Assessment, 2005b). 60 % av ekosystemtjänsterna på jorden är degenererade eller brukas på ett ohållbart sätt (Millennium Ecosystem Assessment, 2005b). Människans globala fotavtryck har uppskattats i en undersökning, vilket innebär att människans

påverkan på jordens landyta har kartlagts (Sanderson et al., 2002). Denna studie visar att majoriteten av jordens områden utnyttjas av människan och att orörd vildmark är en raritet. Utbredningen av människans fotavtryck ökar kraftigt och 83 % av jordens landområden är tydligt påverkade av mänsklig aktivitet (Sanderson et al., 2002).

Mellan 1960 och 2000 fördubblades antalet människor på jorden från 3 miljarder till 6 miljarder (Millennium Ecosystem Assessment, 2005c). Jordens hastigt växande befolkning ställer allt högre krav på det naturliga kapitalet och bidrar till olika globala förändringar som klimatförändring (Steffen et al., 2004). Den ökande befolkningstätheten bidrar till större och fler urbana regioner. 3 % av jordens landyta är täckt av städer och den urbana populationen ökade med en faktor 13 under 1900-talet (McNeill, 2000). Tillväxtberäkningar tyder på att 60 % av den totala globala befolkningen kommer att bo i urbana miljöer år 2030 (UN, 1997). Mänskligheten urbaniseras, men är trots det fortfarande beroende av naturen för sin överlevnad (Bolund och Hunhammar, 1999). När storstadsregionerna bli större och fler omvandlas natur till antropogena system vilket inverkar på ekosystemens i och utanför regionen (Jansson and Nohrstedt, 2001). Befolkningen i städerna är beroende av betydligt mer ekosystemtjänster för sin välfärd och utveckling, än de som ekosystemen inom regionen kan tillhandahålla. Att det urbana livet upprätthålls beror på att varor och tjänster från ekosystemen importeras från andra regioner (Folke et al., 1997). Hur stor areal biologiskt produktiv yta som krävs för att bistå den urbana regionen med de ekosystemtjänster som regionen är beroende av, kallas regionens ekologiska fotavtryck. Ekologiska fotavtryck kan därmed kommunicera den mänskliga välfärdens beroende av ekosystemtjänster och uppmärksamma att naturligt kapital tas i anspråk av människan (Deutsch et al., 2000).

Stadsinvånarens beroende av ekosystem utanför dess geografiska gräns har analyserats för städer i Östersjöregionen (Folke et al., 1997). De 29 största städerna i Östersjöregionen behöver en area av skogsmark, jordbruksmark, våtmark och marina ekosystem som är mellan 565-1130 gånger större än städernas sammanlagda area, för sin resurskonsumtion och för omhändertagande av avfall. Dessa städer har således ett ekologiskt fotavtryck som är större än städernas egen yta och är beroende av ekosystemtjänster levererade av ekosystem utanför regionen för att upprätthålla sin standard och välfärd. Ytterligare en studie har gjorts över det ekologiska fotavtrycket i Östersjöregionen men den studien inkluderar alla 85 miljoner invånarna i Östersjöns avrinningsområde, inte bara städernas invånare (Jansson et al., 1999). Denna studie visar att det ekologiska fotavtrycket för att tillgodose invånarnas konsumtion av mat- och träprodukter samt assimileringen av kol, kväve och fosfor genererat i regionen är 8.5-9.5 gånger större än den totala ytan av Östersjöns avrinningsområde inklusive Östersjön. Det ekologiska fotavtrycket från denna analys åskådliggör att det är en stor area ekosystem som krävs för att generera de ekosystemtjänster som regionens invånare är beroende av och att naturen har en essentiell roll för att upprätthålla den sociala och ekonomiska utvecklingen.

Även det ekologiska fotavtrycket för Europeiska Unionen har tagits fram, ett initiativ som Europa kommissionen anser vara betydelsefullt för unionens miljö- och hållbarhetsarbete (Wackernagel, 2005; Wackernagel, 2006). Studien visar att Europeiska unionens ekologiska fotavtryck per capita har ökat med 70 % sedan 1961 medan det globala ekologiska fotavtrycket har ökat med 30 % per capita. Jordens befolkning behöver i genomsnitt 2.2 ha biologiskt produktiv area per capita för att upprätthålla sin livsstil medan genomsnittet för Europeiska unionen ligger på 4.9 ha produktiv yta per person. På jorden finns det dock bara 1.8 ha produktiv area att tillgå per person. Enligt denna studie har

Sverige med 7.0 ha per capita det högsta ekologiska fotavtrycket inom Europeiska unionen. Den senaste rapporten som behandlar ekologiska fotavtryck utgavs i oktober 2006 (Living Planet Report, 2006). Rapportens huvudsakliga budskap är att jordens tillgängliga biologiskt produktiva areal och mänsklighetens ekologiska fotavtryck inte får skilja sig åt för att möjliggöra en hållbar utveckling och således används ekologiska fotavtryck som en indikator på hållbarhet. Enligt denna rapport intar Sverige en åttondeplats med avseende på storleken på det ekologiska fotavtrycket per invånare med 6.1 ha per capita.

Det vanligaste antagandet är att det ekologiska fotavtrycket blir större i och med att människans konsumtion och avfallsproducering ökar. Det finns däremot studier som visar på att den areal ekosystem som krävs för att upprätthålla människans ökande konsumtion har minskat. Den totala yta ekosystem som krävs för att bistå svensk konsumtion med jordbruksprodukter har reducerats med nästan en tredjedel sedan 60-talet (Deutsch och Folke, 2005). Minskningen beror på intensifiering av jordbruket samt på förändringar i konsumtionsmönster. Denna studie tydliggör att ett mindre ekologiskt fotavtryck inte behöver vara ett föredra framför ett större på grund av olika ekologiska konsekvenser, som förlust av habitat och reducerad biodiversitet, vilket ökar ekosystemens sårbarhet.

Att i areal uttrycka att människan tar ekosystem i anspråk är inte en ny idé. Redan i slutet på 1700-talet uppmärksammades problematiken att en växande mänsklig population kräver att allt större ytor natur finns tillgängliga för människan vilket kan leda till att jordens bärkraft överskrids (Malthus, 1798). Under 1960-talet utvecklades konceptet ”spökareal” för att beskriva den area som krävs för att tillgodose en definierad population med jordbruksprodukter (Borgström, 1967). En annan term för att påvisa den yta av ekosystem som tas i anspråk av en viss population i en region är ”skuggareal”, vilket beskriver den ytterligare areal ekosystem som krävs utöver de som finns inom regionen (Odum, 1989). Däremot är det först under 1990-talet som denna arealbaserade kvantifiering började kallas för ett ekologiskt fotavtryck (Rees, 1992; Wackernagel and Rees, 1996). Efter det att begreppet ekologiska fotavtryck myntades i början på 1990-talet och metoden för beräkningarna utvecklades har användningen av ekologiska fotavtryck varit vanligt förekommande. Ekologiska fotavtryck har rönt berömmelse för sin pedagogiska och kommunikativa förmåga, som de allra flesta kan förstå och ta till sig (Costanza, 2000). Inom forskarvärlden finns olika åsikter om i vilket syfte ekologiska fotavtryck är användbara (Costanza, 2000). Delar av forskarvärlden anser att ekologiska fotavtryck kan användas som indikator för hållbarhet (Wackernagel and Rees, 1996). Användningen av ekologiska fotavtryck som en hållbarhetsindikator har kritiserats och ifrågasatts (van den Bergh and Verbruggen 1999; Deutsch et al., 2000; Costanza, 2000; Ayres, 2000; Mofatt, 2000). Vissa kritiker anser att beslutsfattande där ekologiska fotavtryck är avgörande kan leda fram till ohållbara, ineffektiva och även omoraliska beslut (van den Bergh and Verbruggen, 1999). Denna oenighet gällande tillämpningsområdet för ekologiska fotavtryck har bidragit till att metoden används för skilda ändamål. Olika användning av ekologiska fotavtryck har skapat viss förvirring om vad som kan anses som hållbart (Deutsch et al., 2000). För att en indikator skall kunna mäta och påvisa vad som är förenligt med en hållbar utveckling måste den uppfylla ett antal kriterier. Indikatorn måste vara objektiv, vetenskaplig, begriplig för människor utanför forskarvärlden, i helhet täcka ett systems funktion, tydlig att tolka och vara baserade på parametrar som är långsiktigt stabila (van den Bergh and Verbruggen 1999). Ekologiska fotavtryck lever dock inte upp till alla dessa kriterier och lämpar sig därmed inte som hållbarhetsindikator. Även om metoden kan anses vara tydlig att tolka och begriplig för människor utanför forskarvärlden så täcker ekologiska fotavtryck inte ett systems funktion i helhet. Ekologiska fotavtryck är en statisk

metod som därmed inte behöver vara baserad på långsiktigt stabila parametrar. Däremot fungerar ekologiska fotavtryck som en indikator för att påvisa människans beroende av funktionella ekosystem (Deutsch et al, 2000). Ekologiska indikatorer används för att förmedla information om ekosystemen och den påverkan mänsklig aktivitet har på ekosystemen (Wikipedia, 2006). Indikatorer är viktiga för att utvärdera ekosystemens funktionalitet och produktivitet (Jessel, 2006). I detta sammanhang fyller ekologiska fotavtryck ett syfte eftersom metoden kvantifierar människans resursutnyttjande och uttrycker det i motsvarande yta ekosystem som krävs för att bistå med dessa resurser.

Det är möjligt att beräkna det ekologiska fotavtrycket för en ekosystemtjänst till exempel ackumulering av kol (Jansson and Nohrstedt, 2001). Ekosystem som våtmarker, sjöar och skogsmarker tar via fotosyntesen upp koldioxid från atmosfären vilket sedan lagras (Eliasson, 1994; Eliasson 1996). Inlagring sker huvudsakligen genom biomassans tillväxt i skogsmark och genom sedimentering i vattendrag, skogsmarksjord och torvbildande våtmarker. Ungefär 50 % av det totala ekologiska fotavtrycket för industriländer utgörs av kolsänkor, som krävs för att assimilera koldioxid (van den Bergh and Verbruggen, 1999; van Kooten och Bulte, 2000). Utan denna ekosystemtjänst skulle koncentrationen av koldioxid i atmosfären vara ännu högre och det antropogena bidraget till klimatförändringen genom växthuseffekten skulle bli ännu tydligare. Det är numera konstaterat att klimatförändringen kommer att ha stor påverkan på såväl naturliga som mänskliga system och ju större förändring desto större påverkan (IPCC, 2001). Koldioxidhalten i atmosfären är idag ca 30 % högre än mitten på 1700-talet (Steffan et al., 2004). Ökningen var mest markant under 1900-talet då koldioxidutsläppen ökade med en faktor 17 (McNeill, 2000). Den globala genomsnittliga halten av koldioxid i atmosfären nådde under 2005 den högsta nivån som hittills uppmätts (World Meteorological Organisation, 2006). Halten var 379.1 ppm, vilket innebär en ökning med 0.53% från 2004. Den globala avskogningen tillsammans med förbränning av fossila bränslen har bidragit till ökningen (Eliasson, 1994). Dessa två faktorer inverkar således på det ekologiska fotavtrycket för koldioxidutsläpp eftersom det finns färre kolsänkor samtidigt som koldioxidutsläppen ökar. Jordens skogar minskade med 7.3 miljoner hektar per år från 2000 till 2005 eftersom avverkning till förmån för jordbruksmark överstiger nyplantering (Illustrerad Vetenskap, 2006). Sveriges totala landareal är 41.0 miljoner ha och av detta är 22.9 miljoner ha skogsmark (Skogsstatistisk årsbok, 2006). Den totala ytan skogsmark är idag lika stor som på 1920-talet och variationen i areal skogsmark i Sverige har varit liten under 1900-talet (Riksskogstaxeringen, 1923-1929; 1999-2003). Avverkning innebär att betydande kolsänkor försvinner och att tillgången på ekosystemtjänsten ackumulering av kol reduceras. För att binda in all det kol som genererats av totalt, globalt koldioxidutsläpp, behövs betydligt mer kolsänkor än vad som idag finns på jorden (Folke et al, 1997). Enligt Kyotoprotokollet är ökning av terrestra sänkor för koldioxid en tillåten strategi för att reducera den globala uppvärmningen (UNFCCC, 1997). Kolsänkor kan således, om än begränsat, användas likställt med utsläppsreduktioner för att uppnå åtagandet i Kyoto protokollet (UNFCCC, 2001). Approximativt 40-60 % av de totala årliga koldioxidutsläppen i Sverige assimileras årligen genom tillväxt i biomassa i svenska marker (Eliasson, 1996).

1.2 Problemformulering

Ekosystemen spelar en betydande roll för upprätthållandet av människans välfärd. Människans sociala och ekonomiska utveckling äventyras genom att mänskliga aktiviteter kan öka sårbarheten i ekosystemen och därigenom påverka ekosystemens förmåga att leverera essentiella ekosystemtjänster. För att säkra en framtida generering av ekosystemtjänster måste det först tydliggöras och uppmärksammas att dessa tjänster är en grundförutsättning för människans existens (Deutsch et al, 2000). Väl använda indikatorer kan vara en metod för att kommunicera att människans välfärd upprätthålls genom ekosystemtjänster. Ekologiska fotavtryck är en kommunikativ indikator som belyser att människan tar naturligt kapital i anspråk. Användandet av indikatorer måste göras med försiktighet så att inte felaktiga slutsatser dras och beslut fattas på fel grunder. Det är därför viktigt att klargöra begreppet ekologiska fotavtryck.

Genom att beräkna det ekologiska fotavtrycket för totalt koldioxidutsläpp i en region synliggörs att regionen är beroende av funktionella ekosystem för ackumulering av kol. Beräkningen ger en statisk bild över hur stor total areal biologiskt produktiv yta som krävs för att binda in regionens totala koldioxidutsläpp (Jansson och Nohrstedt, 2001). Beräkningen ger även information om hur mycket kol ekosystemen inom regionen har potential att ta hand om. Jämförelse med ekologiska fotavtryck från tidigare år kommer således att påvisa om ekosystemen inom regionen vid aktuell tidpunkt har förändrad potential för ackumulering av kol samt om det krävs en större eller mindre areal för att absorbera totalt koldioxidutsläpp. Det är vid denna jämförelse viktigt att inse användbarheten och begränsningen med begreppet ekologiskt fotavtryck, så att resultatet inte feltolkas. För att utifrån ett vidgat perspektiv analysera vilka begränsningar och vilka möjligheter ekologiska fotavtryck har beräknas i den här studien det ekologiska fotavtrycket för koldioxidutsläpp för två regioner, som i många avseenden har olika förutsättningar. Valda regioner är Stockholms respektive Norrbottens län. Norrbottens län har större total land- och vattenyta, större areal av kolsänkor, mindre befolkning och betydligt högre koldioxidutsläpp per capita jämfört med Stockholms län (Tabell 1; Tabell 2). Det ekologiska fotavtrycket i en storstadsregion relateras således till det ekologiska fotavtrycket i en glesbygdsregion. Diskussionen kring den potentiella användningen av ekologiska fotavtryck blir genom inkludering av ekologiska fotavtryck för två olikartade regioner och för två årtal mer konkretiserad, vilket kan ge en klarare redogörelse för metodens användningsområde.

1.3 Syfte

Uppsatsens syfte är att genom användning av ekologiska fotavtryck visa på människans beroende av ekosystemtjänster för upprätthållande av sin existens och välfärd. Fokus ligger på ekosystemtjänsten ackumulering av kol. Genom beräkning av det ekologiska fotavtrycket för totalt koldioxidutsläpp i olika regioner undersöks vilken areal biologiskt produktiv yta som krävs för att absorbera det totala koldioxidutsläppet samt hur stor del av koldioxidutsläppen som ekosystemen inom regionerna har potential att ta upp och lagra. Vidare är syftet att utifrån olika beräkningar av det ekologiska fotavtrycket för koldioxidutsläpp analysera, diskutera och tydliggöra möjligheter och begränsningar för ekologiska fotavtryck. Beräkningar görs över totalt koldioxidutsläpp i Stockholms län och Norrbottens län för 1995 och 2004 samt över Stockholms läns landstings totala koldioxidutsläpp 2004.

1.4 Studieområde

Studieområdena utgörs av Stockholms och Norrbotten län. Dessa län skiljer sig åt i flera avseenden. Befolkningsstäthet, avfallsgenerering och markanvändning är exempel på faktorer som inverkar på det ekologiska fotavtrycket och därmed ges en redogörelse över dessa för respektive region.

Eftersom det ekologiska fotavtrycket för koldioxidutsläpp bestäms av totalt koldioxidutsläpp och vilken potential ekosystemen har för att ackumulera kol, beskrivs utsläppsdata och uppgifter om markanvändning för respektive region. Markanvändningen ger en bild över vilka ekosystem som är vanligt förekommande (Tabell 1).

Tabell 1. Land- och vattenareal fördelat på ägoslag, län och år

Markanvändningsklass	Län			
	(km ²)			
	Stockholm 1995	Stockholm 2004	Norrbotten 1995	Norrbotten 2004
Skogsmark ^a	3 030	2 460	35 610	36 160
Våtmark ^{b, c}	110 ^b (40) ^{b, d}	110 ^b (40) ^{b, d}	15 963 ^c	15 963 ^c
Berg ^a	820	620	790	820
Fjällbarrskog ^a	-	-	1 590	760
Fjäll ^a	-	-	22 520	20 780
Naturbete ^a	190	130	30	30
Åkermark ^a	890	930	480	470
Fridlyst och militärt ^a	120	480	21 210	24 150
Bebyggd mark ^a	1 230	1 250	720	480
Annan mark ^a	150	160	740	730
Total landareal ^a	6 500	6 120	97 830	98 610
Vatten ^{e, f, g}	700 ^g	650 ^g	7 763 ^g	7 763 ^g
Total land- och vattenareal	7 240	6 790	107 416	108 106
Total land- och vattenareal ^{e, f}	7 190	7 170	106 673	105 206

^a Riksskogstaxeringen, Skogsstatistisk årsbok 1999 respektive 2006

^b Våtmarksinventering i Stockholms län, 1997

^c Våtmarker i Norrbottens län, 2004

^d Uppgift inom parentes anger areal torvbildande våtmark

^e SCB, Statistiska Centralbyrån, 2004c, land- och vattenarealer

^f Exklusive Östersjön

^g SCB, Statistiska Centralbyrån, 2001a i Jansson och Nohrstedt, 2001

Norrbotten län är glesbefolkat med ca 2.5 invånare per km² medan Stockholms län, som är tätbefolkat, har ett invånarantal på ca 290 personer per km² (Statistiska Centralbyrån, 2006). Befolkningsstätheten i Sverige är i genomsnitt ca 22 invånare per km² (Statistiska Centralbyrån, 1999). Befolkningen i Stockholms län ökar medan befolkningen i Norrbottens län har minskat sedan 1990-talet. Invånarantalet i Stockholm har ökat med ca 150 000 personer från 1.72 miljoner år 1995 till 1.87 miljoner år 2004 mellan 1990-2006 (Tabell 2). I Norrbottens län har befolkningen minskat med drygt 13 000 från 266 011 personer 1995 och 252 585 personer 2004.

Tabell 2. Folkmängd och koldioxidutsläpp per capita uppdelat på län och år

Region	Folkmängd ^a	CO ₂ -utsläpp per capita (ton per capita)
Stockholms län 1995	1 725 756	3.55
Stockholms län 2004	1 872 900	3.25
Norrbottnens län 1995	266 011	12.23
Norrbottnens län 2004	252 585	30.27

Källa: ^a Statistiska Centralbyrån, 1995b; 2004b, befolkningsstatistik

I Stockholms län kommer den största delen av koldioxidutsläppen från transportsektorn medan den dominerande källan till koldioxidutsläpp i Norrbottens län är industrisektorn. Koldioxidutsläpp per sektor, länsvis och årsvis, framgår genom Tabell 3. Koldioxidutsläpp per person är nästan 10 gånger högre för Norrbottens län än för Stockholms län (Tabell 2).

Tabell 3. Koldioxidutsläpp i ton efter region, samhällssektor och tid samt andel av totala utsläpp i procent.

Region och tid	Energi (ton)	Hushåll (ton)	Industri (ton)	Service (ton)	Transporter (ton)	Totalt (ton)
Stockholms län 1995	1 149 353 18.7 %	1 209 755 19.7 %	302 007 4.9 %	650 610 10.6 %	2 821 611 46.0 %	6 131 611
Stockholms län 2004	1 687 483 27.7 %	402 674 6.6 %	262 206 4.3 %	434 513 7.1 %	3 294 431 54.2 %	6 081 306
Norrbottnens län 1995	185 676 5.7 %	71 557 2.2 %	2 101 753 64.6 %	56 926 1.8 %	836 870 25.7 %	3 252 783
Norrbottnens län 2004	492 540 6.4 %	16 418 0.2 %	6 351 502 83.1 %	45 718 0.6 %	738 811 9.7 %	7 644 990

Källa: SCB, Statistiska Centralbyrån 1995a; 2004a, utsläppsstatistik

1.5 Avgränsningar

Uppsatsens är avgränsad till att behandla endast en ekosystemtjänst, vilken är ackumulering av kol. Det ekologiska fotavtrycket som framräknas är för totalt koldioxidutsläpp i Stockholms respektive Norrbottens län vilket innebär en geografisk avgränsning. Även det ekologiska fotavtrycket för Stockholms läns landsting beräknas. Uppsatsen är även avgränsad tidsmässigt eftersom de ekologiska fotavtrycken beräknas för utvalda år, vilka är 1995 och 2004. Potentialen att ackumulera kol uppskattas för skogsmark, våtmark och vattendrag, vilka utgör de huvudsakliga kolsänkorna i de aktuella regionerna. Andra ekosystem inkluderas således inte i beräkningarna.

2. Metod

Om syftet med en studie är att påvisa att människan är beroende av ekosystem för att upprätthålla sin välfärd utgör ekologiska fotavtryck ett pedagogiskt och kommunikativt hjälpmedel. Använd metodik i denna studie grundas på beräkning av ekologiska fotavtryck vilket åskådliggör att naturligt kapital tas i anspråk av människan. Ekologiska fotavtryck är ett kvantitativt, arealbaserat analysredskap med en geografisk koppling som aggregerar och konverterar användningen av naturresurser och avfallsassimilering till en enda siffra, en areal (Söderqvist et al., 2004). Den metod som används måste vara tillförlitlig och valid för att undersökningens resultat skall få ett vetenskapligt värde (Ejvegård, 1996). Att metoden är tillförlitlig kan kontrolleras genom att den baseras på beräkningar och således kan resultaten räknas om ett flertal gånger. Om samma resultat erhålles vid omräkningarna kan metoden anses vara tillförlitlig. Ett annat viktigt antagande är att ekvationerna som används verkligen är korrekta för det som skall uppskattas. Dessa ekvationer har använts i publicerade, vetenskapliga artiklar för liknande syfte (Jansson och Nohrstedt, 2001) och därigenom granskats. Det måste därmed anses att ekvationerna är tillämpbara för beräkningarna i denna studie. Gällande metodens validitet så måste det säkerställas att de ekologiska fotavtrycken som framräknas verkligen speglar det som ska undersökas. I vald metod krävs det för resultatets validitet att de data vi använder är relevanta för beräkningarna. Eftersom det är vetenskapligt uppskattat att kolsänkorna ackumulerar kol och vilken potential olika ekosystem har för att ackumulera kol måste beräkningar baserade på dessa uppgifter anses ha god validitet. I beräkningarna används officiell statistik vilket måste anses vara de mest tillförlitliga och valida uppgifterna som finns att tillgå.

2.1 *Datainsamling*

För att beräkna det ekologiska fotavtrycket för koldioxidutsläpp för en region krävs statistik över regionens koldioxidutsläpp, landarealens fördelning på olika markanvändningsklasser, vattenareal samt över tillväxten i skogens virkesförråd. Uppgifter om emissioner finns framtaget av Stockholms och Uppsala läns luftvårdförbund samt av Statistiska Centralbyrån – SCB. De senaste utsläppsuppgifterna som finns att tillgå är över 2004 och därmed kommer det ekologiska fotavtrycket för koldioxidutsläpp beräknas för detta år. Gällande koldioxidemissioner i Norrbottens län kommer den mest uppdaterade statistiken från SCB och därmed kommer SCB:s statistik att användas till beräkningar över båda länen för att möjliggöra en jämförelse länen emellan (SCB, 1995a; SCB 2004a). Koldioxidutsläpp genererat av Stockholms läns landsting kommer från Stockholms läns landstings miljöredovisning för 2005 samt från Locums miljöredovisning för 2005 (Locum förvaltar landstingets fastigheter). Data över regionernas landareal fördelad på ägoslag samt data över virkesförrådets tillväxt har insamlats ifrån Skogsstyrelsen och Riksskogstaxeringen (Skogsstatistisk årsbok, 1999; Skogsstatistisk årsbok, 2006). Statistik över landarealens fördelning på olika ägoslag sammanställs inte årligen och därför är de mest aktuella uppgifterna ett genomsnitt från åren 1999-2003.

Uppgifter gällande vattenarealer är sammanställda av SCB (SCB, 2004c; SCB, 2001a i Jansson och Nohrstedt, 2001). Sedan år 2000 har SCB en databas med land- och vattenarealer länsvis och dessa uppgifter är framtagna ur källor som inte fanns innan dess. Att märka är att äldre vattenuppgifter kommer från areamätningar på kartor i olika skalor och kan därmed skilja sig något (Ansén, 2006) Förändring i vattenareal beror främst på

igenväxning av sjöar samt landhöjningen och vattenarealen förändras därför inte i någon större utsträckning från år till år. Uppgifter om igenväxningar sammanställs dock inte av SCB (Ansèn, 2006). Använda data över våtmarksarealer härstammar från Våtmarksinventeringen i Stockholms län, 1997 respektive i Norrbottens län, 2004. Detta är de mest aktuella uppgifterna över våtmarker i de två länen och torde korrelera väl till hur andelen våtmarksareal ser ut för de år som beräkningarna görs över. Torvbildning är en långsam process som inte påverkas väsentligt av sjö-, havsvatten eller vatten från vattendrag (Våtmarksinventering i Stockholms län, 1997). Torvbildande våtmarker uppstår när fastmark blivit sumpmark, sjöar vuxit igen eller genom att det finns ytligt grundvatten och arealen torvbildande våtmarker ändrar sig således inte märkbart från år till år. Att tillämpa statistik över våtmarksarealer från 1997 för beräkningar över 2004 kan därmed inte anses vara godtyckligt. För att beräkna det ekologiska fotavtrycket per capita behövs befolkningsstatistik, vilken är tagen från SCB (SCB, 1995b; SCB, 2004b).

2.2 *Kalkyleringsmetod*

2.2.1 **Beräkning av potential för ackumulering av kol**

Kalkyleringsmetoden som används för beräkning av ekosystemens potential att ackumulera kol i tillämpas på Stockholms respektive Norrbottens län.

Beräkning av potential för ackumulering av kol i biomassa i skogsmark:

För att kvantifiera netto ackumuleringen av kol i biomassa ovan jord i skogsmark används den årliga tillväxten i virkesförrådet (TV_s) ($Mm^3sk\text{ år}^{-1}$) i regionen. Omvandling från grön vikt (m^3sk) till torrsvikt ($ton\ m^{-3}$) görs genom faktor 0.43 (Pardé, 1980). Omvandlingsfaktor 0.5 används för att konvertera torrsvikt till kolvikt (Eliasson, 1996).

Årlig potentiell ackumulering av kol i biomassa ovan jord i skogsmark (PAC_s) ($ton\ C\ \text{år}^{-1}$) kalkyleras enligt ekvation 1:

$$PAC_s = TV_s * 0.43 * 0.5 \quad (\text{ton C år}^{-1}) \quad (1)$$

För kalkylering av den årliga potentiella ackumuleringen av kol per kvadratkilometer i biomassa ovan jord i skogsmark ($GPAC_s$) ($ton\ C\ km^2\ \text{år}^{-1}$) divideras PAC_s ($ton\ C\ \text{år}^{-1}$) med total areal skogsmark (A_s) (km^2) i regionen enligt ekvation 2.

$$GPAC_s = PAC_s / A_s \quad (\text{ton C km}^2\ \text{år}^{-1}) \quad (2)$$

Beräkning av årlig potentiell ackumulering av kol i jord i skogsmark:

Gällande potentialen för ackumulering av kol i organisk jordmateria i skogsmark förekommer variationer (de Wit et al., 2006; Janzen, 2006; Peltoniemi et al., 2006). Den genomsnittliga kolackumuleringen i Sverige har genom olika studier uppskattats till $14.7\ ton\ C\ km^{-2}\ \text{år}^{-1}$ i jord i skogsmark (Berg et al., 1995; Wardle et al., 1997). Kalkylering av

årlig potentiell ackumulering av kol i jord i skogsmark (PAC_{sj}) (ton C år^{-1}) görs enligt ekvation 3:

$$PAC_{sj} = GPAC_{sj} * A_s \quad (\text{ton C år}^{-1}) \quad (3)$$

$GPAC_{sj}$ = Genomsnittlig potential för kolackumulering i skogsmarksjord ($\text{ton C km}^2\text{år}^{-1}$)

A_s = Area skogsmark i regionen (km^2)

Beräkning av årlig potentiell ackumulering av kol i vattendrag:

Sedimentationen av organiskt kol i svenska vattendrag har beräknats till $1.5 \text{ Mton C år}^{-1}$. Den genomsnittliga potentialen för ackumulering av kol i vattendrag i Sverige är därmed uppskattad till $38.0 \text{ ton C km}^{-2} \text{ år}^{-1}$ (Eriksson, 1991). Vattenarealen som används i beräkningarna inkluderar inte Östersjön eller vattendrag mindre än 0.1 ha. Kalkylering av årlig potentiell ackumulering av kol i vattendrag (PAC_v) (ton C år^{-1}) i regionen görs enligt ekvation 4.

$$PAC_v = GPAC_v * A_v \quad (\text{ton C år}^{-1}) \quad (4)$$

$GPAC_v$ = Genomsnittlig potential för kolackumulering i vattendrag ($\text{ton C km}^2 \text{år}^{-1}$)

A_v = Area vattendrag i regionen (km^2)

Beräkning av årlig potentiell ackumulering av kol i våtmarker:

Det är endast torvbildande våtmarker som ackumulerar kol vilket inkluderar mossar och kärr. Genomsnittlig ackumulering av kol i torvbildande våtmarker i den tempererade zonen har uppskattats till $21.4 \text{ ton C km}^{-2} \text{ år}^{-1}$ (Franzén, 1994) vilket motsvarar torvtillväxt. Övriga våtmarkstyper ackumulerar inte kol långsiktigt och kan därmed inte anses utgöra kolsänkor. Årlig potentiell ackumulering av kol i våtmarker i regionen (PAC_{tv}) (ton C år^{-1}) beräknas enligt ekvation 5:

$$PAC_{tv} = GPAC_{tv} * A_{tv} \quad (\text{ton C år}^{-1}) \quad (5)$$

$GPAC_{tv}$ = Genomsnittlig potential för kolackumulering i våtmark ($\text{ton C km}^2\text{år}^{-1}$)

A_{tv} = Area torvbildande våtmark i regionen (km^2)

Total potential för ackumulering av kol:

Total potential för ackumulering av kol skogsmark, vattendrag och våtmarker i (PAC_t) beräknas enligt ekvation 6:

$$PAC_t = PAC_s + PAC_{sj} + PAC_v + PAC_{tv} \quad (\text{ton C år}^{-1}) \quad (6)$$

Total potential för assimilering av CO_2 i skogsmark, vattendrag och våtmarker beräknas via atommassa utifrån PAC_t .

2.2.2 Beräkning av det ekologiska fotavtrycket för koldioxidutsläpp

Om alla ekosystem i regionen tillsammans inte har potential att ackumulera all den mängd kol som genererats av totalt koldioxidutsläpp från regionens population kan det beräknas vilken ytterligare area som krävs för att ackumulera total mängd kol. Den area som krävs för att ackumulera totalt antropogent koldioxidutsläpp från en region eller organisation kallas i denna studie för det ekologiska fotavtrycket för koldioxidutsläpp i aktuell region eller organisation. Eftersom skogsmark utgör det ekosystem som ackumulerar kol mest effektivt uttrycks det ekologiska fotavtrycket i areal skogsmark, på så sätt undviks en överskattning av den areal ekosystem som krävs. Total mängd kol genererat av totalt koldioxidutsläpp i regionen beräknas genom atommassa. Den totala area skogsmark ($EF_{CO_2}^{(1)}$) som krävs för att ackumulera all kol från antropogent koldioxidutsläpp i en region beräknas enligt ekvation 7. Våtmarker och sjöar inom regionen ackumulerar kol och därför subtraheras ackumuleringspotentialen som dessa ekosystem har.

$$EF_{CO_2}^{(1)} = (CU_t - PAC_{tv} - PAC_v) / (GPAC_s + GPAC_{sj}) \quad (\text{km}^2) \quad (7)$$

CU_t = Total mängd kol från totalt koldioxidutsläpp i regionen (ton)

Eftersom ekosystemen inom Norrbotten har potential att ackumulera all kol från länets totala koldioxidutsläpp beräknas länets ekologiska fotavtryck för koldioxidutsläpp genom en alternativ kalkylering. Den area skogsmark som krävs för att ackumulera total mängd kol från totalt antropogent koldioxidutsläpp uppskattas. Däremot subtraheras inte ackumuleringspotentialen som finns i regionens våtmarker och vattendrag eftersom denna potential överstiger total mängd kol som koldioxidutsläppen har genererat. Genom användning av ekvation 7 skulle således det ekologiska fotavtrycket för koldioxidutsläpp i Norrbottens län få ett negativt värde och en jämförelse länen emellan skulle bli missvisande. Det ekologiska fotavtrycket beräknas därför genom att total mängd kol från totalt koldioxidutsläpp divideras med skogsmarkens totala potential för att ackumulera kol. Samma beräkningsmetod tillämpas även på Stockholms län i jämförande syfte. Resultatet blir således två olika ekologiska fotavtryck för Stockholms län, beräknat enligt ekvation 7 och 8, och ett för Norrbottens län, beräknat genom ekvation 8. Det ekologiska fotavtrycket för Stockholms läns landstings koldioxidutsläpp beräknas av samma skäl som för Norrbottens län genom ekvation 8. Detta eftersom ekosystemen inom Stockholms län har potential att ackumulera total mängd kol genererat av organisationens koldioxidutsläpp. Skulle ackumuleringspotentialen i sjöar och våtmarker subtraheras skulle ett negativt tal erhållas vilket omöjliggör en fotavtrycksberäkning. Det ekologiska fotavtrycket för koldioxidutsläpp för Stockholms läns landsting beräknas utifrån organisationens totala koldioxidutsläpp från trafik- och transportsektorn samt från produktionen av el och värme som använts inom fastigheterna.

Den totala area skogsmark ($EF_{CO_2}^{(2)}$) som krävs för att ackumulera all kol från antropogent koldioxidutsläpp i en region eller för en organisation beräknas enligt ekvation 8.

$$EF_{CO_2}^{(2)} = CU_t / (GPAC_s + GPAC_{sj}) \quad (\text{km}^2) \quad (8)$$

CU_t = Total mängd kol från totalt koldioxidutsläpp (ton)

De ekologiska fotavtrycken för länen divideras med respektive regions invånarantal enligt ekvation 9 och således erhålles det ekologiska fotavtrycket per capita. Befolkningsstatistik återfinns i introduktionen i Tabell 3.

$$EF_{CO_2}^{(capita)} = EF_{CO_2} / F \quad (\text{km}^2 \text{ per capita}) \quad (9)$$

$$EF_{CO_2}^{(capita)} = \text{Ekologiskt fotavtryck per capita} \quad (\text{km}^2 \text{ per capita})$$

$$EF_{CO_2} = \text{Ekologiskt fotavtryck beräknat enligt ekvation 7 eller ekvation 8} \quad (\text{km}^2)$$

$$F = \text{Folkmängd inom regionen} \quad (\text{antal invånare})$$

Samtliga beräkningar finns sammanställda i Bilaga 1.

2.3 *Metodkritik*

Det finns huvudsakligen två olika kategorier av kritik som kan riktas mot vald metod. Ekologiska fotavtryck som själva analysmetoden kan kritiseras men kritik kan även riktas mer i detalj hur beräkningarna är utförda och vilka data som använts som underlag till beräkningarna. Ekologiska fotavtryck är en analysmetod som, uttryckt i areal, visar på att människan är beroende av naturligt kapital och ekosystemtjänster för att upprätthålla sin livskvalité och välfärd. Om syftet är att visa att människan tar naturligt kapital i anspråk är ekologiska fotavtryck ett hjälpmedel. En fördel med metoden är att ekologiska fotavtryck bygger på enkla beräkningar (Moffatt, 2000). Det krävs ingen avancerad matematik. Detta bidrar till att fler kan tillämpa metoden samtidigt som fler kan förstå resultatet.

Beräkningen av ekologiska fotavtryck ger en statisk bild över konsumtion, avfallsgenerering och ekosystemens förmåga att leverera tjänster, vid en viss tidpunkt, och följd effekter över tiden beaktas inte. Motsatsen till den statiska analysen är en dynamisk analys som visar hänsyn till vad som händer längre fram i tiden och kan därmed spegla samverkan mellan människa och natur under andra förhållanden (Söderqvist et al, 2004). Ekologiska fotavtryck har således en begränsad förmåga att förutsäga något om systemets framtida utveckling vid olika handlingsalternativ.

I denna studie behandlas endast en ekosystemtjänst vilken är kolackumulering. Ekosystem är multifunktionella vilket innebär att flera tjänster genereras av varje system. Att fokusera på en enda ekosystemtjänst kan därmed anses ge en otillräcklig bild över människans beroende av funktionella ekosystem. Det är dock inte studiens syfte att ge en fullständig redogörelse över människans utnyttjande av ekosystemtjänster. Syftet är att belysa att människan är beroende av ekosystem, vilket även vald metod som inkluderar en ekosystemtjänst kan tillhandahålla, trots ekosystemens multifunktionella karaktär. Ekosystemtjänsten ackumulering av kol utgör en mycket betydande ekosystemtjänst på grund av kopplingen till växthuseffekten och klimatförändringar. Av den anledningen är denna ekosystemtjänst av särskilt intresse att studera. Det är däremot viktigt att i tolkningen av studiens resultat ha i åtanke att ekosystem är komplexa multifunktionella.

Det finns även mer detaljmässig kritik som främst riktas mot den statistik som använts i beräkningarna och som samtidigt belyser vilka uppgifter som, om än i begränsad utsträckning, kan vara relevanta i sammanhanget, men som trots det exkluderats i

uträkningarna. Vad som inkluderats i beräkningarna och varför är dock baserat på en avvägning vilken kommer att förklaras. Storleken på det ekologiska fotavtrycket styrs av vilka uppgifter som inkluderas och används för beräkningen och är därmed beroende av vilken data som finns att tillgå. Utsläppsstatistik finns att tillgå från både SCB och Stockholms och Uppsala läns luftvårdsförbund. Uppgifterna från dessa två källor skiljer sig åt på grund av olika metoder för att ta fram statistiken. För att rättfärdiga en jämförelse mellan olika tidpunkter och län måste statistik vara insamlat från samma källor. Därför baseras beräkningarna på utsläppsstatistik från SCB, eftersom det ger information om utsläpp i både Norrbottens- och Stockholms län. Valet av statistikälla kommer att inverka på storleken av de ekologiska fotavtrycken. Statistik över koldioxidutsläpp från Stockholms och Uppsala läns Luftvårdsförbund visar att emissioner av koldioxid har minskat med ca 10 % mellan 1995 och 2004. Motsvarande statistik från SCB visar däremot på en minskning på endast ca 1 %. Att dessa statistikällor skiljer sig åt beror på vad som inkluderats i statistiken och hur statistiken tagits fram. Kalkyleringar baserade på Stockholms och Uppsala läns luftvårdsförbunds utsläppsstatistik skulle ge ett mindre ekologiskt fotavtryck och en större reducering av det ekologiska fotavtrycket jämfört med statistik från SCB. Beräkningarna i denna studie använder sig av SCB:s uppgifter för att möjliggöra jämförelse länen emellan samtidigt som valet att använda SCB:s högre utsläppsuppgifter minskar risken för att överskatta människans prestationer gällande utsläppsreduceringar. Detta belyser problematiken gällande osäkerheter i analysen och hur väsentligt det är att beakta dessa osäkerheter vid tolkning av studiens resultat, vilket kräver källgranskning och källkritik.

I uppskattningen av ekosystemens potential att ackumulera kol har ekosystemen skogsmark, våtmark och vattendrag inkluderats. Det finns ekosystem utöver dessa tre som också har potential att ackumulera kol men som inte har beaktats. I till exempel bebyggda miljöer, fjällbarrskog och naturbetesmark sker tillväxt i biomassa. Då det saknas uppgifter om ackumuleringspotential i dessa miljöer har dessa system inte beaktats. Alternativet skulle vara att utifrån tillväxten i alla ägoslag, vilket innefattar tillväxt i samtliga trädslag i samtliga miljöer, beräkna den totala ackumuleringsförmågan av kol i träd. Detta skulle dock inte bistå med någon information gällande olika ekosystems ackumuleringspotential och inte heller möjliggöra beräkning av ekologiskt fotavtryck eftersom det kräver uppgifter om potential att ackumulera kol per area enhet. Däremot används tillväxten i skogsmark för att uppskatta potentialen att ta upp och lagra kol i skogsmark. Tillväxten i skogsmark utgör 90 % av den totala tillväxten i alla ägoslag och är därmed mest betydelsefull att inkludera (Skogsstatistisk årsbok, 2006). Inte heller naturreservatens förmåga att ackumulera kol har inkluderats i analysen. Anledningen till det är att det är oklart vilka typer av ekosystem som utgör dessa naturreservat och därmed vilken ackumuleringspotential naturreservaten har. En annan kolsänka som har bortsetts ifrån vid beräkningarna är mindre vattendrag. Vattendrag mindre än 0.1 ha inräknas ej vilket medför att viss ackumuleringspotential, om än nästintill obetydlig i sammanhanget, har exkluderats i studien. Östersjön har inte heller tagits med i beräkningarna eftersom ackumuleringspotentialen av kol är obetydlig (Folke et al., 1997).

Uppgifter gällande tillväxt i skogsmark inräknar även tillväxt som skett på träd som sedan avverkat. Det kan diskuteras om tillväxt på avverkat träd innebär att kol bundits upp eller om det har bundits upp men sedan frigjorts. Det som kan konstateras är att en stor del av avverkat träd används för produktion av olika träprodukter som hus och möbler och kol som ackumulerats i den biomassan förblir uppbunden (Rohde et al., 1995). Vad som händer med resterande mängd kol som ackumulerats i avverkat träd råder det viss osäkerhet om.

Det kan därmed varken anses som rätt eller fel att inkludera resterande tillväxt vid beräkning av ackumuleringspotential, eftersom det handlar om en liten andel av den totala tillväxten och påverkar således inte resultat i någon stor utsträckning.

Viss kritik finns även mot den genomsnittliga ackumuleringspotential som uppskattats genom tidigare studier och som används i beräkningarna. Eftersom det är ett genomsnitt kan mycket lokala variationer förekomma. Väder och lokala tillväxtförhållanden är exempel på faktorer som kan bidra med lokal variation från genomsnittsvärdet. Det kan innebära att ackumuleringspotentialen i ett ekosystem, såsom torvbildande våtmark, i en region är betydligt högre än i torvbildande våtmarker i en annan region. Trots det används samma omvandlingsfaktor för att få fram den totala ackumuleringspotentialen i de olika regionerna.

Det sker kontinuerligt ett läckage av koldioxid från mark och vatten vilket påverkar ekosystemens potential att binda kol (Eriksson, 1991). Från exempelvis jordbruksmark emitteras koldioxid till atmosfären och det utsläppet har inte tagits med i beräkningarna. Anledningen till det är att vald metod fokuserar på kolsänkor och inte på kolkällor. Det har även konstaterats genom studier att skogsbäckar kan påverka kolets kretslopp i en större utsträckning än vad tidigare uppskattningar visar (Richey, 2002). Mängden koldioxid som läcker ut från marken in i vattendrag och sedan avges till luften kan ha underskattats och skogens förmåga att ta upp koldioxid från atmosfären skulle därmed vara lägre än vad som antagits tidigare. Detta påverkar således beskrivningen av skogsmarken som långsiktig kolsänka och som kolkälla. Skulle marken ha en lägre förmåga att ackumulera kol innebär det att det ekologiska fotavtrycket för koldioxidutsläpp skulle bli större. När forskning inom området tagit fram nya uppgifter gällande ackumuleringspotential av kol i ekosystemen bör de nya uppgifterna användas vid beräkning av ekologiska fotavtryck för koldioxidutsläpp

3. Resultat

I resultatavsnittet kommer först erhållna resultat över potential för kolackumulering att redovisas följt av en presentation av de ekologiska fotavtryck som kalkylerats. De ekologiska fotavtrycken för Stockholms och Norrbottens län redovisas först och sedan relateras Stockholms läns landsting ekologiska fotavtryck till Stockholms läns ekologiska fotavtryck. Resultatavsnittet avslutas med en analys av erhållna resultat.

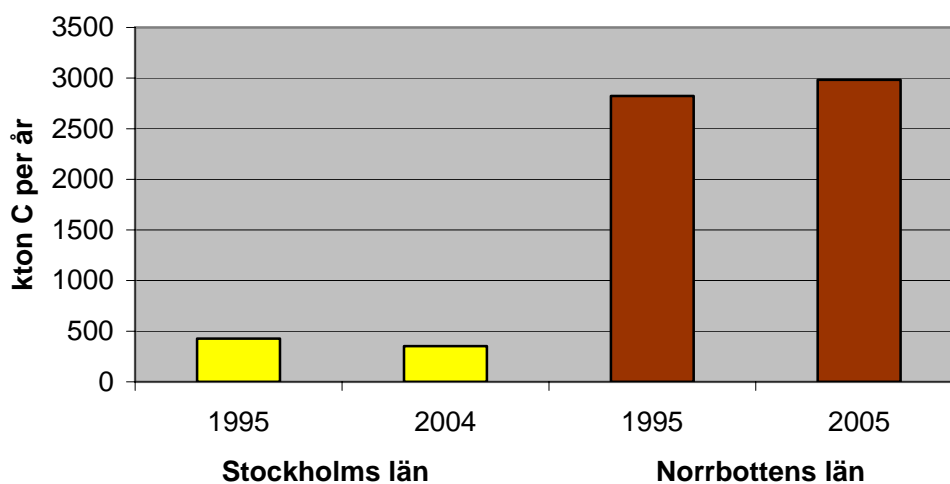
3.1 Resultatredovisning

3.1.1 Potential för ackumulering av kol

Uppskattningen av ackumuleringspotential för kol visas i Tabell 4 och illustreras i Figur 1.

Tabell 4. Potentiell ackumulering av kol uppdelat på ekosystem, län och årtal.

Ekosystem:	Potentiell C-ackumulering (ton C km ⁻² år ⁻¹)		Potentiell C-ackumulering (ton C år ⁻¹)		Potentiell C-ackumulering (ton C km ⁻² år ⁻¹)		Potentiell C-ackumulering (ton C år ⁻¹)	
	Stockholms län		Stockholms län		Norrbottens län		Norrbottens län	
	1995	2004	1995	2004	1995	2004	1995	2004
Skogsmark (biomassa ovan jord)	117.1	118.0	354 750	290 250	46.7	50.2	1 664 100	1 814 600
Skogsmark (jord)	14.7	14.7	44 541	36 162	14.7	14.7	523 67	531 552
Vattendrag (inlandsvatten)	38.0	38.0	26 600	24 700	38.0	38.0	294 975	294 975
Våtmark (torvbildande)	21.4	21.4	847	847	21.4	21.4	341 608	341 608
Totalt:	-	-	426 738	351 959	-	-	2 824 150	2 982 735

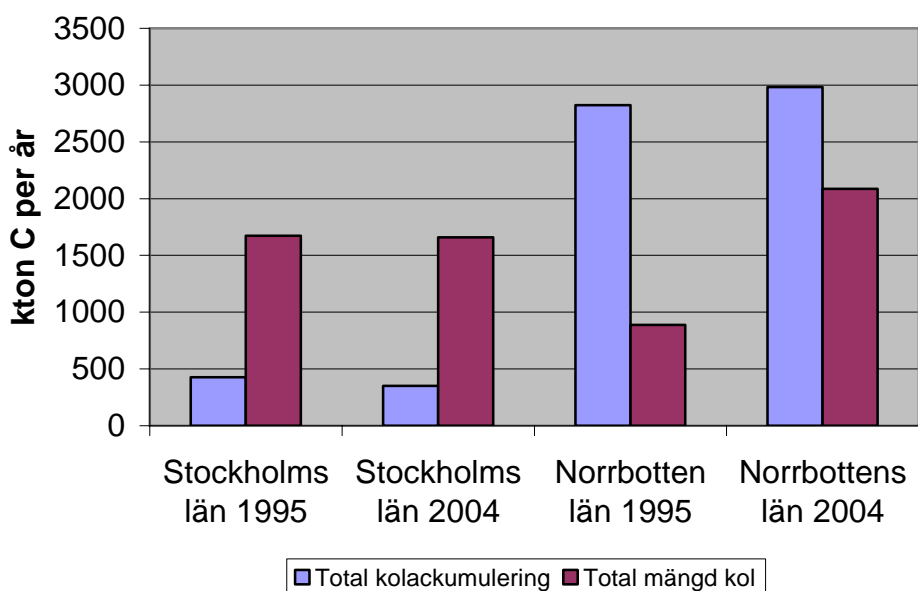


Figur 1. Total potential för ackumulering av kol per län och år

Totalt koldioxidutsläpp och total mängd kol genererat av dessa koldioxidutsläpp presenteras i Tabell 5. I Figur 2 relateras total potential för kolackumulering årsvis till total mängd kol som härstammar från totalt koldioxidutsläpp.

Tabell 5. Totalt koldioxidutsläpp, mängd kol genererat av totalt koldioxidutsläpp samt potentiell assimilering av CO₂ fördelat på år och län

Region	CO ₂ -utsläpp	Mängd kol genererat av totalt CO ₂ -utsläpp	Potentiell assimilering av CO ₂
	Mton	Mton	Mton
Stockholms län 1995	6.13	1.67	1.56
Stockholms län 2004	6.08	1.66	1.29
Norrbottnen län 1995	3.25	0.89	10.35
Norrbottnens län 2004	7.64	2.09	10.93



Figur 2. Total mängd kol genererat av totalt koldioxidutsläpp och total kolackumulering per år och län

3.1.2 Ekologiska fotavtryck

3.1.2.1 Stockholms och Norrbottens län

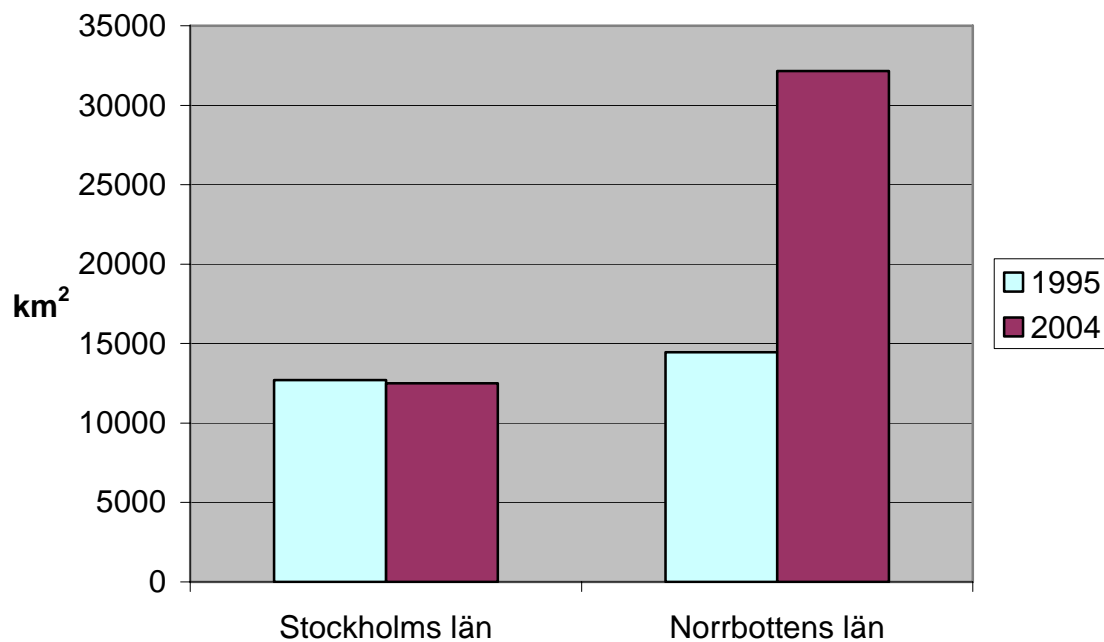
De ekologiska fotavtrycken för koldioxidutsläpp som framräknats presenteras i Tabell 6 och illustreras i Figur 3 och Figur 4. I Figur 4 ges en bild över i vilken utsträckning olika sektorer bidragit till det ekologiska fotavtrycket för koldioxidutsläpp. Det ekologiska fotavtrycket per capita framgår av Tabell 6 och Figur 5.

Tabell 6. Ekologiskt fotavtryck och ekologiskt fotavtryck per capita uppdelat på län och år

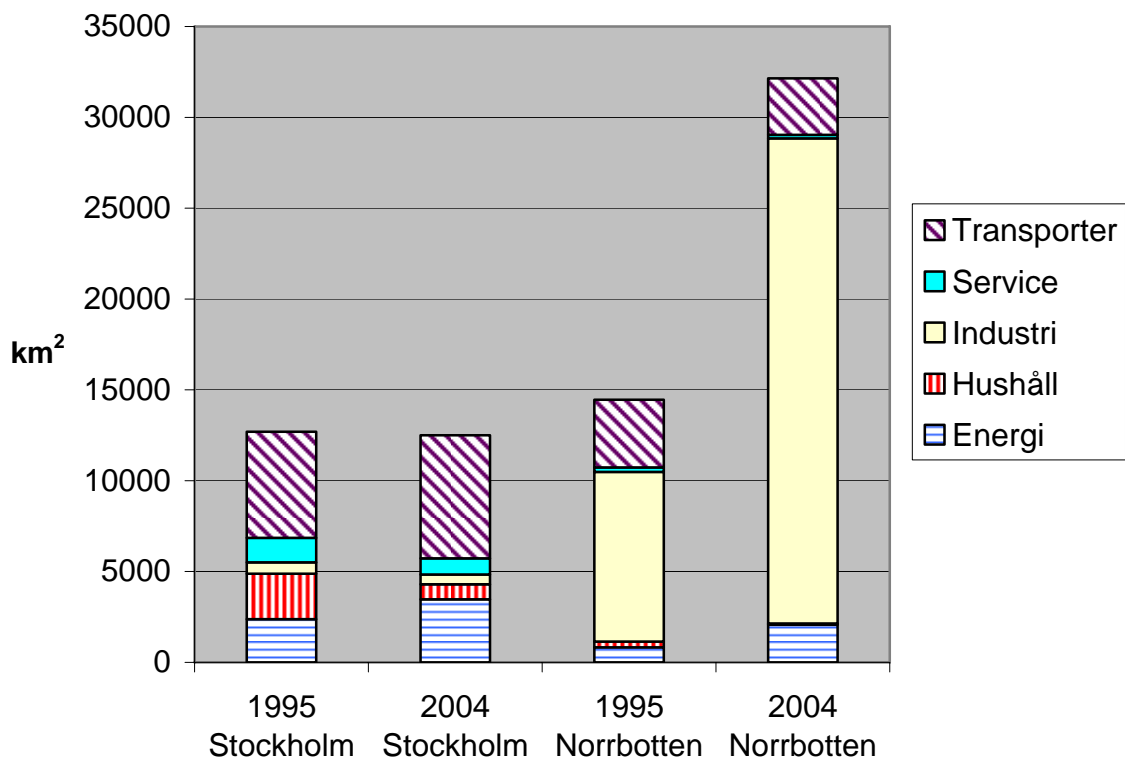
Region	Ekologiskt fotavtryck (Beräknat genom ekv. 7) km ²	Ekologiskt fotavtryck (beräknat genom ekv. 8) km ²	Ekologiskt fotavtryck per capita ha per capita
Stockholms län 1995	12 487	12 696	0.72 ¹ 0.74 ²
Stockholms län 2004	12 313	12 506	0.66 ¹ 0.67 ²
Norrbottnen län 1995	–	14 457	5.43
Norrbottnens län 2004	–	32 146	12.73

¹ Beräknat via ekvation 7

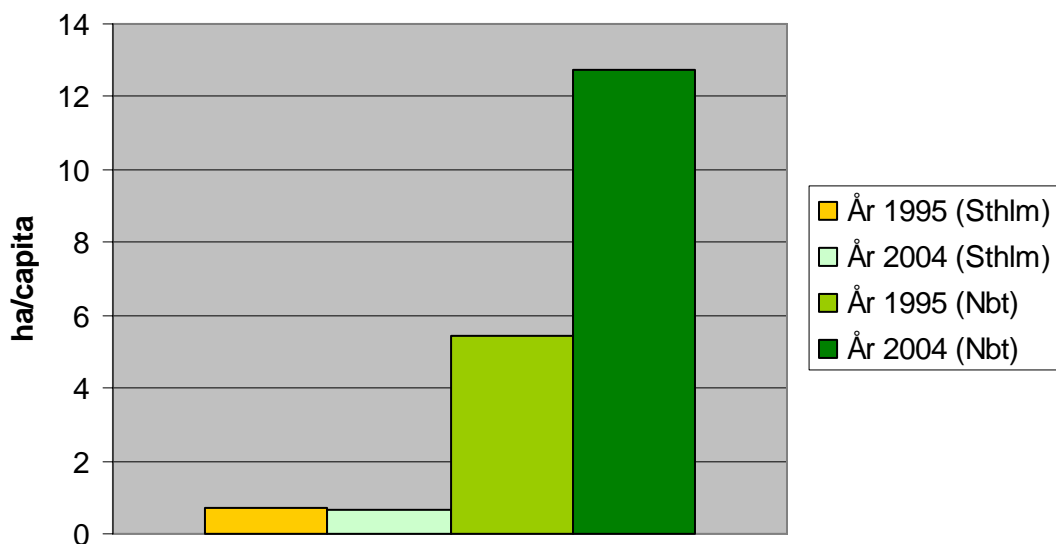
² Beräknat via ekvation 8



Figur 3. Ekologiskt fotavtryck för totalt koldioxidutsläpp per län och år (enligt ekvation 8)

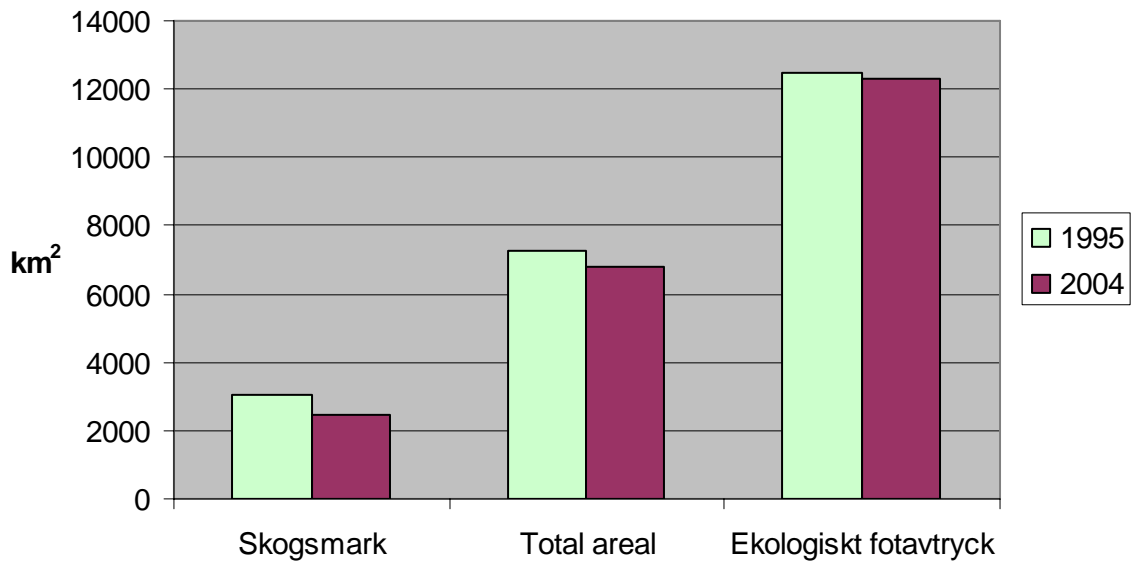


Figur 4. Ekologiskt fotavtryck för koldioxidutsläpp uppdelat på sektor, år och län (enligt ekvation 8)

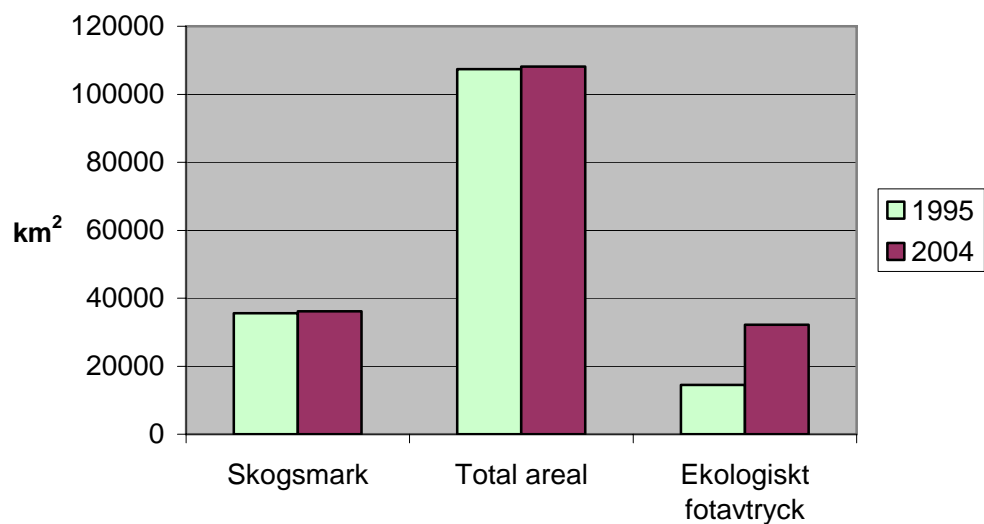


Figur 5. Ekologiskt fotavtryck för koldioxidutsläpp per capita uppdelat årsvis och länsvis (enligt ekvation 8)

I Figur 6 och Figur 7 visas det ekologiska fotavtrycket för totalt koldioxidutsläpp, total areal skogsmark, samt total land- och vattenareal för Stockholms respektive Norrbottens län.



Figur 6. Ekologiskt fotavtryck för koldioxidutsläpp, total areal skogsmark samt total land- och vattenareal i Stockholms län uppdelat per år



Figur 7. Ekologiskt fotavtryck för koldioxidutsläpp, total areal skogsmark samt total land- och vattenareal i Norrbottens län uppdelat per år

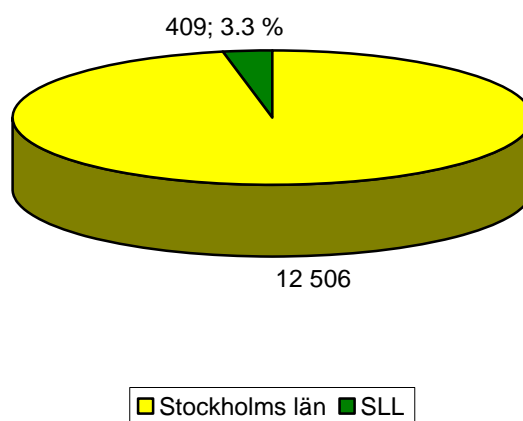
3.1.2.2 Stockholms läns landsting

Stockholms läns landstings ekologiska fotavtryck för koldioxidutsläpp år 2004 redovisas i Tabell 7 och illustreras i Figur 8.

Tabell 7. Stockholms läns landstings koldioxidutsläpp, total mängd kol genererat av organisationens koldioxidutsläpp samt det ekologiska fotavtrycket för koldioxidutsläpp

	CO ₂ -utsläpp ^a ton	Mängd kol genererat av totalt CO ₂ -utsläpp ton	Ekologiskt fotavtryck (beräknat genom ekv. 8) km ²
Stockholms läns landsting	198 869	54 270	409

^a Koldioxidutsläpp från produktion av el och värme som har förbrukats inom fastigheterna samt från trafik- och transportsektorn



Figur 8. Ekologiskt fotavtryck för koldioxidutsläpp för Stockholms län respektive Stockholms läns landsting år 2004 i procent och km²

4. Diskussion

4.1 Resultatdiskussion

Resultatet indikerar att den sammanlagda, totala ackumuleringspotentialen av kol var högre i Norrbottens län och lägre i Stockholms län 2004 jämfört med 1995 (Tabell 4; Figur 1). Potential för ackumulering av kol var nära 7 gånger högre i Norrbottens län 1995 än i Stockholms län samma år. År 2004 var ackumuleringspotentialen i Norrbottens län drygt 8 gånger högre än potentialen för kolackumulering i Stockholms län. Den högre totala ackumuleringspotentialen i Norrbottens län beror på att Norrbottens län har betydligt större ytor av kolackumulerande ekosystem jämfört med Stockholms län. Däremot visar resultaten att potentialen att ackumulera kol i skogsmark per enhet area var högre i Stockholms län än i Norrbottens län för båda de studerade årtalen (Tabell 4). Tillväxten per arealenhet i skogsmark var högre i Stockholms län än i Norrbottens län och därmed ackumulerades mer kol per arealenhet. I Stockholms län ackumulerades mindre kol totalt i skogsmark (biomassa och jord) 2004 jämfört med 1995, vilket kan förklaras av att arealen skogsmark har minskat (Tabell 1; Tabell 4). I Norrbottens skogsmark ackumuleras mer kol totalt i skogsmark 2004 än 1995 eftersom totala arealen skogsmark i länet har ökat (Tabell 1) samtidigt som kolackumuleringspotentialen per arealenhet har ökat (Tabell 4). Vad det gäller ackumulering av kol i vattendrag och våtmark har det förändrats lite eller inte alls i båda länen eftersom arealen av dessa ekosystem, enligt tillgänglig statistik (Tabell 1), inte ändras alls eller i en liten utsträckning under kortare tidsperioder.

Inom Norrbottens län har ekosystemen potential att ackumulera allt kol genererat av länets totala koldioxidutsläpp både 1995 och 2004. År 1995 hade ekosystemen i Norrbotten potential att ackumulera 3 gånger mer kol än vad koldioxidutsläppen i länet gav upphov till. År 2004 var koldioxidutsläppen i Norrbotten betydligt högre än 1995 (Tabell 3). Eftersom arealen kolackumulerande ekosystem är stor inom länet finns det, trots höga utsläpp potential att ackumulera nära 800 000 ton kol utöver mängden kol genererat av länets totala koldioxidutsläpp.

Olika ekosystem har således olika potential för att ackumulera kol per arealenhet och kan därmed leverera den ekosystemtjänsten i olika utsträckning. Skogsmark i Norrbottens län har, som nämnts, en lägre potential för att ackumulera kol per arealenhet än skogsmarken i Stockholms län, på grund av en lägre tillväxt. Detta säger inte att skogsmark i Norrbotten utgör ett mindre betydelsefullt ekosystem för människan än motsvarande ekosystem i Stockholm. Ett ekosystem behöver inte vara mer värdefullt bara för att det kan bistå människan med en högre kvantitet av en ekosystemtjänst. Detta kan utgöra ett problem när endast en ekosystemtjänst har kvantifierats. Viktigt att uppmärksamma är att ekosystemen är multifunktionella vilket innebär att flera tjänster genereras av varje system (Jansson et al. 1999). Att endast fokusera på en ekosystemtjänst kan således medföra att andra ekosystemtjänster förbises och påverkas negativt om resultatet inte analyseras med försiktighet.

Det ekologiska fotavtrycket för koldioxidutsläpp i Stockholms län var ungefär 1.5 % mindre 2004 än 1995, oavsett vilken av ekvationerna som används för uträkningen (Tabell 6). Detta kan anses som positivt i det avseendet att det främst är de reducerade koldioxidutsläppen som är orsaken till det mindre fotavtrycket. Enligt beräkningarna

utifrån ekvation 7 har det ekologiska fotavtrycket för koldioxidutsläpp minskat med 174 km² från 12 487 km² 1995 till 12 313 km². Det ekologiska fotavtrycket utifrån beräkningar med ekvation 8 har minskat med 190 km² från 12 696 km² 1995 till 12 506 km² 2004 (Tabell 6). Resultaten från de olika ekvationerna är således ganska likartade, vilket beror på att våtmarker och vattendrag inom Stockholms län har låg total potential för att ackumulera kol. Subtraktion av dessa faktorer gör därmed ingen stor skillnad. Storleken på fotavtrycket 2004 innebär en dryg procentenhets reduktion jämfört med 1995 (Tabell 6; Figur 3).

I en annan studie över Stockholms läns ekologiska fotavtryck för koldioxidutsläpp 1995 uppgick resultatet till 19 425 km² (Jansson och Nohrstedt, 2001), jämfört med denna studies framräknade ekologiska fotavtryck på 12 487 km². Resultaten från dessa två snarlika studier skiljer sig märkbart åt trots att samma beräkningsmetoder har tillämpats. Skillnaden härstammar från vilka statistikuppgifter som har använts och det blir genom denna jämförelse väldigt uppenbart vilken betydelse använd statistik har för utfallet. Det båda studierna förmedlar tydligt är dock att det krävs stora biologiskt funktionella ytor för att ta upp koldioxidutsläpp, orsakade av människan.

Det ekologiska fotavtrycket för koldioxidutsläpp i Norrbottens län har ökat betydligt och var mer än dubbelt så stort 2004 jämfört med 1995 (Figur 3). Eftersom potentialen för kolackumulering per arealenhet i skogsmark var högre i Norrbottens län 2004 jämfört med 1995 kan den drastiska utvidgningen av det ekologiska fotavtrycket endast härledas till de ökade koldioxidutsläppen i länet. Utifrån uppskattningen där ekvation 8 har använts var det ekologiska fotavtrycket i Norrbottens län 14 % större än det i Stockholms län för år 1995 och nästan 160 % större år 2004 (Figur 3). Att det ekologiska fotavtrycket var mindre i Stockholms län 2004 jämfört med 1995 samt mindre i Stockholms län än i Norrbottens län beror på att utsläppen var lägre samtidigt som tillväxten i skogsmark var högre i Stockholms län. I Norrbottens län var det framförallt de ökade koldioxidutsläppen från industrisektorn som bidrar till högre koldioxidutsläpp (Figur 4). I Stockholms län utgör transportsektorn den största bidragande faktorn till det ekologiska fotavtrycket för koldioxidutsläpp (Figur 4). Införsel av trängselskatter i staden skulle därav kunna inverka på det ekologiska fotavtrycket eftersom koldioxidutsläppen från transporter troligtvis skulle reduceras och transporter står för en stor del av regionens koldioxidutsläpp.

Det ekologiska fotavtrycket per capita för Stockholms län har minskat med nära 10 % medan det ekologiska fotavtrycket per invånare i Norrbottens län har ökat med drygt 130 % (Figur 5). Utifrån uppskattningen där ekvation 8 användes var det ekologiska fotavtrycket i Stockholms län 0.74 ha per capita 1995 och 0.67 ha per capita 2004 (Tabell 6). Motsvarande siffror för Norrbottens län var 5.43 ha per capita 1995 och 12.73 ha per capita 2004 vilket innebär att fotavtrycket per capita är 19 gånger högre i Norrbotten län 2004 jämfört med Stockholms län (Figur 5). För år 1995 var det ekologiska fotavtrycket per capita drygt 7 gånger högre i Norrbottens län jämfört med Stockholms län. Det ekologiska fotavtrycket per capita i Norrbottens län var 2004 mer än 2 gånger högre än motsvarande uppskattning för år 1995. Att det ekologiska fotavtrycket per capita var större i Norrbottens län än i Stockholms län, båda aktuella årtalen, beror på att det ekologiska fotavtrycket var större i Norrbottens län samtidigt som befolkningen i Stockholms län är betydligt högre. Trenden för det ekologiska fotavtrycket för koldioxidutsläpp och befolkningsutvecklingen var den motsatta för de båda länen. I Stockholms län har det ekologiska fotavtrycket minskat medan befolkningen ökat (Tabell 2; Tabell 6). I Norrbottens län har det ekologiska fotavtrycket blivit större samtidigt som befolkningen minskat. En reducerad befolkning borde kunna medföra minskade koldioxidutsläpp men eftersom det var industrin som

orsakat utsläppsökningen i Norrbotten så behöver inte befolkningsmängden utgöra en faktor som påverkar koldioxidutsläppen.

Resultatet indikerar att skogsmarken inom Norrbottens län har potential för att ackumulera total mängd kol genererat från länets totala koldioxidutsläpp (Figur 7). Arealen skogsmark som finns inom Norrbottens län var 1995 ca 2.5 gånger så stor som det ekologiska fotavtrycket för koldioxidutsläpp samma år. År 2004 uppgick arealen skogsmark i Norrbottens län till ca 4 000 km² utöver det ekologiska fotavtrycket, vilket är större än Stockholms läns totala skogsareal. Det ekologiska fotavtrycket var ungefär 1/3 år 2004 och 1/7 år 1995 av länets totala land- och vattenareal, exklusive Östersjön.

För att ackumulera total mängd kol genererat av totalt koldioxidutsläpp i Stockholms län krävdes både 1995 och 2004 en biologiskt produktiv yta som är nästan dubbelt så stor som länets totala land- och vattenareal, exklusive Östersjön (Figur 6). Förutom den skogsmark som finns inom Stockholms län behövdes ytterligare 9 457 km² skogsmark för att ackumulera total mängd kol från länets koldioxidutsläpp 1995 (utifrån resultat från ekvation 7). 1995 var det ekologiska fotavtrycket större samtidigt som det behövdes en mindre ytterligare areal skogsmark för total kolackumulering vilket beror på att arealen skogsmark inom Stockholms län var större 1995 jämfört med 2004 (Tabell 1; Figur 6). För att ackumulera total mängd kol som länets koldioxidutsläpp gett upphov till år 2004 krävdes ytterligare 9 853 km² skogsmark utöver den area skogsmark som finns inom Stockholms län (utifrån resultat från ekvation 7).

I en tidigare studie har det ekologiska fotavtrycket för invånarna i Östersjöområdet uppskattats (Jansson et al., 1999). Enligt den studien krävs 2.4-5.3 gånger så stor areal skogsmark än vad som finns inom regionen för att absorbera totalt koldioxidutsläpp. Erhållna resultat från denna studie visar att det krävs en yta skogsmark som är ungefär 5 gånger så stor som arealen skogsmark inom Stockholms län för att ackumulera total mängd kol från länets koldioxidutsläpp. Båda studiernas resultat är således av samma storleksordning. Det skulle kunna ge en missvisande bild att jämföra dessa två studier eftersom de behandlar olika regioner, olika populationer, olika statistikkällor och olika kvantifieringsmetoder. Det som däremot kan konstateras är att ekosystemen inom aktuella regioner har, oavsett vilken beräkningsmetod som använts, långt ifrån tillräcklig potential för att absorbera totalt koldioxidutsläpp och att det krävs stora biologiskt produktiva ytor för assimilering av mänskligt genererade koldioxidutsläpp. Detta i kombination med att det inte heller globalt sett finns kolsänkor som kan absorbera totala antropogena koldioxidutsläpp (Folke et al, 1997) är en situation som kommer att leda till förhöjd koldioxidkoncentration i atmosfären.

Stockholms läns landstings ekologiska fotavtryck för koldioxidutsläpp var 409 km² 2004, vilket utgör 3.3 % av det ekologiska fotavtrycket för totalt koldioxidutsläpp i Stockholms län (Tabell 7; Figur 8). Stockholm läns landsting är en stor organisation med drygt 42 000 anställda och ansvarar bland annat för länets kollektivtrafik (Stockholms läns landstings årsberättelse, 2005). Därmed kan andelen 3.3 % av det ekologiska fotavtrycket för länets koldioxidutsläpp anses vara skälig. Den största faktorn som bidragit till Stockholms läns landstings ekologiska fotavtryck för koldioxidutsläpp är utsläppen från trafik- och transportsektorn.

4.2 Avslutande diskussion

I denna studie har det huvudsakliga syftet varit att genom användning av ekologiska fotavtryck för koldioxidutsläpp synliggöra människans beroende av ekosystemtjänster. För detta lämpar sig ekologiska fotavtryck mycket väl. Att ignorera ekosystemens support kan leda till sårbarhet och lägre resiliens i ekosystemen och därmed en förlust av ekosystemtjänster. Det krävs en kvantifiering av de ekosystemtjänster som människan är beroende av för att på ett fungerande sätt värna om miljön (Levin, 2006). Ekologiska fotavtryck kvantifierar ekosystemtjänster på ett kommunikativt och pedagogiskt sätt och kopplar det till människans behov. Metoden kan därigenom belysa varför en ekologiskt hållbar utveckling är viktig att uppnå, vilket kan innebära ett första och nödvändigt steg mot hållbarhet. Används metoden för att kommunicera att människan är beroende av funktionella ekosystem för sitt välmående fyller metoden ett viktigt informativt syfte gällande hållbarhet. Ekologiska fotavtryck kan påvisa att människan lever över sina tillgångar, vilket kan fungera alarmerande. För att på ett uthålligt sätt utnyttja de ekosystemtjänster som människan är beroende av för sin välfärd och för sitt välmående måste detta beroendeförhållande först förstås, uppmärksammas och accepteras. Att människan inte är medveten om ekosystemens betydelse för sin existens gör att hon varken uppskattar dess tjänster eller utnyttjar dem på ett hållbart sätt. Ekologiska fotavtryck kan således användas till att öka medvetenheten om varför den ekologiska dimensionen av hållbarhet är av stor betydelse och varför ekologiska faktorer bör visas hänsyn i beslutsfattande. Ekologiska fotavtryck kan därmed ge ett incitament om varför hållbarhetstänkande och agerande för ekologisk hållbarhet är något som måste eftersträvas.

Det ekologiska fotavtrycket för koldioxidutsläpp i Stockholms län är mindre 2004 jämfört med 1995. Däremot har de studerade ekosystemen inom regionen en lägre total förmåga att ackumulera kol och kan därmed bistå med den ekosystemtjänsten i en mindre utsträckning. Ett annat resultat som erhöles var att det 2004 krävs en större ytterligare areal skogsmark utöver den area skogsmark som finns inom Stockholms län för att assimilera totalt koldioxidutsläpp än 1995. Ekosystemen inom Stockholms län har potential för att ackumulera 26 % av total mängd kol som genererats av länets totala koldioxidutsläpp år 1995 och 21 % år 2004 (Figur 2). Det råder således det rakt motsatta förhållandet de två studerade årtalen. Att märka i detta resonemang är att det ekologiska fotavtrycket är mindre trots att ekosystemen inom regionen har lägre total kolackumuleringspotential, vilka därmed kan assimilera en mindre andel av de totala koldioxidutsläppen. Detta kan te sig något motsägelsefullt. Det som tydliggörs genom dessa uppgifter är en svaghet med metoden ekologiska fotavtryck. Vilket förhållande och vilken storlek på det ekologiska fotavtrycket som är att föredra är svårt att avgöra. Om målet för en region är självförsörjning, eller högre kvantitet av ekosystemtjänsten ackumulering av kol, skulle situationen 1995 vara att föredra eftersom ekosystemen inom regionen kan assimilera en större andel av regionens totala koldioxidutsläpp. Om målet är att ha ett litet fotavtryck skulle situationen 2004 vara att föredra. Om målsättningen är hållbarhet ger varken självförsörjning eller ett litet ekologiskt fotavtryck tillräcklig vägledning. Detta visar hur svårtolkade resultat av fotavtrycksberäkningar kan vara. Att det ekologiska fotavtrycket har minskat behöver inte vara fördelaktigt eftersom storleken på fotavtrycken inte avgör om resursutnyttjandet är hållbart eller inte. Det behöver inte heller vara negativt att ekosystemen inom den aktuella regionen sammanlagt kan ta upp och lagra en mindre mängd kol. Det som avgör om utfallet är fördelaktigt beror på bakomliggande faktorer som det ekologiska fotavtrycket i sig inte uppger om. Genom att undersöka vilka faktorer som har använts för att konstruera det ekologiska fotavtrycket fås en mer överskådlig bild över

vad som bidragit till resultatet. En fördel med ekologiska fotavtrycket är att information aggregerats och fås i endast en siffra, i en areal, vilket är en enhet som de flesta lätt kan förstå (Costanza, 2000). Däremot är det viktigt att undersöka underliggande faktorer för att grundligare kunna tolka vad resultatet säger och för att undvika att förlora mer detaljrik information. Det är dock en förtjänst att beräkna det ekologiska fotavtrycket för olika tidpunkter eftersom det ger mer information än om endast fotavtrycket för en tidpunkt tagits fram. Detta möjliggör en jämförelse åren emellan och således fås information om hur berörda faktorer, som areal skogsmark, tillväxt i skogsmark eller mängd koldioxidutsläpp, har utvecklats. Gällande ekologiska fotavtryck för koldioxidutsläpp kan slutsatsen dras att det fotavtryck som innebär lägst och reducerat koldioxidutsläpp är att föredra. Denna prioritering skulle kunna göras genom att jämföra utsläppsstatistik men då belyses inte människans beroende av funktionella ekosystem, vilket är ett viktigt samband som ekologiska fotavtryck tydligt kan påvisa. Eftersom denna studie ämnar belysa detta samband utgör ekologiska fotavtryck en ändamålsenlig studiemetod.

4.2.1 Klimatförändring

Problemet med förhöjd halt koldioxid i atmosfären måste lösas genom att utsläppsemissioner reduceras. För att ackumulera total mängd kol, genererat av totalt, globalt koldioxidutsläpp, behövs betydligt mer kolsänkor än vad som idag finns på jorden (Folke et al, 1997). Det är således inte rimligt att vi förlitar oss på kolsänkornas kapacitet för att stabilisera koldioxidkoncentrationen i atmosfären. Att öka den totala arealen skogsmark för att få större kolsänkor utgör inte ett allena rådande alternativ eftersom det skulle påverka övrig markanvändning som jordbruksmark och bevarande av olika naturtyper, vilket kan leda till andra ogynnsamma ekologiska konsekvenser (Jansson et al., 1999). Kolackumulering i ekosystemen kan därmed ej anses som en ensam lösning men som ett komplement till utsläppsreduktioner för att begränsa den globala uppvärmningen.

Den senaste tiden har klimatförändringen fått mycket uppmärksamhet i media och i samhället. Ekologiska fotavtryck för koldioxidutsläpp kan bidra till den debatten med att det inte bara är antropogena koldioxidutsläpp som inverkar på den globala uppvärmningen utan att även olika ekologiska faktorer påverkar. Genom ekologiska fotavtryck för koldioxidutsläpp kan kolsänkornas funktion belysas och förmedla varför existerande kolsänkor bör bevaras och vårdas väl. En reduktion av potentialen att ackumulera kol i ekosystemen skulle inverka på koldioxidkoncentrationen i atmosfären. En förlust av ekosystemtjänsten ackumulering av kol skulle således bidra till klimatförändringen. Ekologiska fotavtryck kan därmed hjälpa människan att inse kopplingen mellan antropogena koldioxidutsläpp, funktionella ekosystem, ekosystemtjänsten ackumulering av kol samt klimatförändringar. Skapas en förståelse för denna koppling är en stabilisering av klimatförändringen betydligt närmare och rimligare att uppnå.

4.2.2 Hållbarhet och komplexa dynamiska system

Förespråkare till att ekologiska fotavtryck lämpar sig som hållbarhetsindikatorer menar att det ekologiska fotavtrycket inte får överstiga den biologiskt produktiva yta som finns tillgänglig för att vara hållbart (Costanza, 2000). Regional hållbarhet skulle således uppnås om regionen inte är i behov av ekosystemtjänster utanför regionen (Wackernagel och Yount, 1998). Global hållbarhet nås genom att mänsklighetens totala ekologiska fotavtryck

inte överstiger den totala biologiskt produktiva areal som finns tillgänglig globalt sett (Wackernagel och Yount, 2000). Självförsörjning inom en region behöver dock inte vara ett eftertraktat tillstånd. Detta beror på att även om en regions eller hela jordens befolkning ur ett statiskt perspektiv håller sig inom ramen för vilka resurser som finns tillgängliga, så ger det ingen information om ekosystemens tillstånd och förmåga att leverera dessa ekosystemtjänster i samma kvalitet och kvantitet i framtiden. Att använda en indikator för hållbarhet som saknar uppgifter om komplexa samband och förändringar över tiden innebär en risk att ohållbara beslut fattas. Detta kan tydliggöras med en studie över konsumtion av jordbruksprodukter i Sverige från 1962 till 1994 (Deutsch och Folke, 2005). Den areal biologiskt produktiv yta som krävs för att tillgodose svensk konsumtion med jordbruksprodukter har minskat med nästan en tredjedel under denna tidsperiod trots att konsumtionen inte har minskat. Reduceringen beror däremot på produktions- och handelsförändringar vilket innebär bland annat intensifiering inom jordbruket. Intensifieringen innebär en ökad användning av exempel fossila bränslen, pesticider och konstgödsel vilket kan resultera i olika negativa ekologiska konsekvenser (Deutsch och Folke, 2005; van den Bergh and Verbruggen, 1999). Vad som genom denna studie blir uppenbart är att ett mindre ekologiskt fotavtryck inte behöver vara att föredra eftersom det mindre fotavtrycket kan ha uppnåtts genom ett utnyttjande av ekosystemtjänster som inte är hållbart.

När det är konstaterat att ytor av funktionella ekosystem krävs för upprätthållande av människans välmående måste det tydliggöras hur den yta som tagits i anspråk responderar på dessa nivåer av utnyttjande (Levin, 1998). Globalt är 60 % av ekosystemtjänsterna degenererade eller brukas på ett ohållbart sätt (Millennium Ecosystem Assessment, 2005b). Det syns dock inte i det ekologiska fotavtrycket att ekosystemtjänster som beräkningarna behandlar brukas ohållbart och att det kan leda till en förlust av dessa ekosystemtjänster. Det fotavtrycket bistår med är en statisk bild över människans utnyttjande av ekosystemtjänster men det visar ej vilken biodiversitet och resiliens ekosystemen besitter, hur ekosystemen kan komma att förändras med tiden eller hur nära ett tröskelvärde, det vill säga hur nära ett regimskifte ett ekosystem är. Termer som biodiversitet, resiliens och regimskifte är väsentliga inom ekologin men kan med svårighet förmedlas till människor utan djupare ekologiskunskaper, vilket däremot ekologiska fotavtryck kan.

Genom att beräkna det ekologiska fotavtrycket för koldioxidutsläpp fås ingen information om kolsänkans hållbarhet. Hur länge systemet kommer att kunna ackumulera kol och med vilken inbindningskapacitet ger det ekologiska fotavtrycket inga uppgifter om. Risken finns att potentialen för ackumulering av kol kommer att reduceras på grund av förändrade ekologiska villkor, men ögonblicksbilden som fotavtrycksberäkningarna tillhandahåller innehåller inga förutsägelser. Det skulle inte heller synas i det ekologiska fotavtrycket om total yta skogsmark inom en region har minskat, vilket kan innebära en negativ förändring, om exempelvis habitat gått förlorade och den biologiska mångfalden reducerats. Det som däremot ger ytterligare information är att undersöka vilka faktorer som inkluderats i beräkningarna som är orsaken till den förändrade storleken av det ekologiska fotavtrycket. En underliggande faktor kan vara förändrad tillväxt i biomassa. Det ekologiska fotavtrycket för koldioxidutsläpp blir mindre om tillväxten per arealenhet i skogsmark är högre. En snabbare tillväxt i biomassa i skogsmark behöver dock inte vara positivt och för att avgöra det krävs en djupare insikt i ekologiska och ekonomiska konsekvenser av hög tillväxt i skogsmark. En sak som bör klargöras är varför skogen har en högre tillväxt. En faktor som bidrar till att det växer snabbare är kvävetillgången, eftersom kväve är ett begränsande näringsämne (Eliasson, 1994; Andersson et al, 2000). En högre kvävetillgång skulle

således leda till högre tillväxt i skogen och mer kol skulle ackumuleras i skogsbiomassa. Detta skulle temporärt reducera det ekologiska fotavtrycket för koldioxidutsläpp om inte koldioxidutsläppen ökade markant. Problemet med detta resonemang är att det reducerade fotavtrycket erhålls genom en möjlig ohållbar tillväxt i skogsmarken då förändrad kvävetillgång kan leda till annan negativ ekologisk påverkan. En hållbar utveckling gällande skogsmark innebär att skogen kan ge kommande generationer samma fördelar av skogsmarken som nuvarande generationer får av den (Andersson et al, 2000). En kraftig tillväxt i skogsmark kan riskera skogens framtida kvalitet, vilket således inte är förenligt med en hållbar utveckling.

4.2.3 Urban kontra rural region

Att sätta en storstadsregion i förhållande till en glesbygdsregion gällande regionernas ekologiska fotavtryck innebär inte att det går att avgöra vilken situation som är att föredra och vilken region som utnyttjar ekosystemen på det minst ohållbara sättet. Norrbottens län har ett betydligt större ekologiskt fotavtryck än Stockholms län, såväl totalt som per capita, men samtidigt har ekosystemen inom Norrbottens län potential att ackumulera allt kol som länets koldioxidutsläpp har genererat. Om regional hållbarhet uppnås genom att regionen inte är i behov av ekosystemtjänster utanför regionen skulle Norrbotten i hänseende till länets koldioxidutsläpp anses som hållbart. Detta trots att Norrbotten har ökat koldioxidutsläppen och har det absolut högsta koldioxidutsläppet per capita i Sverige (Statistiska Centralbyrån, 2004a). Höga koldioxidutsläpp, och definitivt inte kraftigt ökande, kan inte anses som förenligt med en hållbar utveckling. Även om regionen är självförsörjande gällande ekosystemtjänsten ackumulering av kol så bidrar länet med stora koldioxidutsläpp, vilket måste anses som en försvårande omständighet för att uppnå hållbarhet. Norrbotten har ett betydligt större totalt ekologiskt fotavtryck för koldioxidutsläpp än Stockholms län, trots att befolkningen är mer än 7 gånger högre i Stockholms län. Ekosystemen inom Stockholms län har däremot inte potential att absorbera länets totala koldioxidutsläpp. En avvägning mellan ett mindre ekologiskt fotavtryck, totalt eller per capita, eller för självförsörjning inom länet skulle antagligen inte kunna avgöra vilket förhållande som är att föredra. Konsensus är dock att inget av dessa alternativ kan bistå med tillräcklig information för att avgöra vad som är det mest hållbara. Ekologiska fotavtryck är en för simplificerad metod för det syftet.

4.2.3.1 Regionala förutsättningar

Det är viktigt att uppmärksamma att det finns vissa hinder för att rakt av jämföra olika regioners ekologiska fotavtryck. Vad det gäller ekologiska fotavtryck för koldioxidutsläpp så går det att konstatera vilken region som har det största fotavtrycket och i någon mån vad det beror på, det vill säga vilka faktorer i beräkningarna som har lett fram till storleken på fotavtrycket. Däremot är det svårt att utifrån dessa uppgifter avgöra vilken regions fotavtryck som utgör det mest fördelaktiga. Olika områden präglas av olika lokala och regionala förutsättningar, vilket blir tydligt då urbana respektive rurala regioner relateras till varandra. Såväl ekologiska, ekonomiska och sociala faktorer skiljer sig åt regioner emellan vilket kan påverka det ekologiska fotavtrycket, men som metoden inte synliggörs. En betydande faktor är vad en region livnär sig på. I Norrbotten är av naturliga skäl gruvnäringen, skogsindustrin och stålindustrin stora arbetsgivare som för in pengar till regionen. Dessa verksamheter är även de största bidragarna till det ekologiska fotavtrycket

för koldioxidutsläpp i regionen (Tabell 3; Figur 4). Minskar dessa industrier sina koldioxidutsläpp så minskar det ekologiska fotavtrycket för koldioxidutsläpp, om andra förhållanden inte förändras i någon stor utsträckning. Eftersom det ekologiska fotavtrycket inkluderar de direkta koldioxidutsläppen lastas Norrbotten för industrins totala utsläpp trots att produkterna till stor del används utanför regionen, vilket kan anses som en delvis orättvis belastning. På grund av sociala och ekonomiska faktorer kan de stora koldioxidemissionerna från Norrbottens industrier möjligtvis anses som skäliga. Dessa tunga industrier kan bidra med arbetstillfällen, högre levnadsstandard och högre livskvalitet, vilket det ekologiska fotavtrycket inte inkluderar. Regionen är beroende av en viss typ av näringsliv och sett ifrån det perspektivet kan högre koldioxidutsläpp per capita till viss del rättfärdigas. Vad detta innebär är att det finns svårigheter med att jämföra olika regioners ekologiska fotavtryck eftersom det finns så många bakomliggande faktorer som påverkar och som det ekologiska fotavtrycket inte beaktar. Därav är det omöjligt att avgöra om någon av regionerna har ett berättigat ekologiskt fotavtryck. Det som däremot kan konstateras är att koldioxidutsläppen måste minska eftersom det numera är allmänt vedertaget att de antropogena utsläppen av växthusgaser bidrar till klimatförändringen. Att Norrbotten trots denna problematik har ökat sina totala koldioxidutsläpp, trots att nya tekniker möjliggör utsläppsreduktioner, måste därmed ifrågasättas och åtgärdas för att begränsa den globala uppvärmningen. Utvecklingen av Norrbottens läns ekologiska fotavtryck för koldioxidutsläpp för de aktuella årtalen borde därmed fungera som en väckarklocka att trenden inte går åt ett önskvärt håll. Även det ekologiska fotavtrycket för koldioxidutsläpp i Stockholms län borde fungera som en väckarklocka. Trots att fotavtrycket har minskat mellan de studerade årtalen så krävs båda åren en yta ungefär dubbelt så stor som länet för att assimilera totalt koldioxidutsläpp. Eftersom det globalt sett inte finns tillräckligt med kolsänkor för att assimilera totalt, globalt koldioxidutsläpp bidrar dessa höga utsläppsnivåer till klimatförändringen. Utsläppsnivåerna måste därmed reduceras. Den neråtgående trenden gällande det ekologiska fotavtrycket i Stockholms län måste därmed anses som mer positiv än den kraftigt stigande trenden i Norrbottens län eftersom dessa trender till stor del beror på utsläppsnivåerna. Ekologiska fotavtryck kan genom att uppskatta vilken potential för att ackumulera kol som finns och vilken potential som skulle krävas för totalt upptag av koldioxidutsläpp informera om att människan orsakar för höga koldioxidutsläpp. Förhoppningsvis kan detta fungera alarmerande och få människan att vidta åtgärder för att begränsa denna problematik. Även om det i dagsläget finns ett flertal metoder för att påvisa klimatförändringen så kan ekologiska fotavtryck möjligtvis nå ut till ännu fler människor på grund av dess illustrativa och kommunikativa karaktär.

4.2.4 Socioekonomiska faktorer

Ett talande exempel på att det ekologiska fotavtrycket inte lämpar sig som indikator för hållbarhet är Kuba. Kuba har ett genomsnittligt ekologiskt fotavtryck på 1.5 ha biologiskt produktiv yta per person och det finns 1.8 ha tillgängligt per person på jorden (Living Planet Report, 2006). Om ekologiska fotavtryck skall vara vägledande för vad som är hållbart så får inte mänsklighetens ekologiska fotavtryck överstiga den biologiskt produktiva yta som finns att tillgå. Det skulle innebära att Kuba, med dess ekologiska fotavtryck som utgångspunkt, skulle kunna anses som hållbart. Det anmärkningsvärda i detta resonemang är att den sociala faktorn helt förbises. Ingen ekonomisk faktor inkluderas samtidigt som det ekologiska sammanhanget representeras på ett alltför simplificerat sätt. De sociala livsvillkoren på Kuba kan kritiseras, men nationen har ändå ett

ekologiskt fotavtryck som faller inom ramen för vad som är rimligt för att kunna nå hållbarhet, om den definitionen för hållbarhet skulle accepteras. Social rättvisa och demokrati är viktiga etiska faktorer inom den sociala dimensionen av hållbar utveckling och dessa faktorer kan inte anses vara tillräckligt prioriterade på Kuba (Heredia, 2002). Det blir således uppenbart med Kuba som exempel, att ekologiska fotavtryck är en missvisande indikator för hållbarhet. För att tjäna det syftet krävs en kombination av indikatorer som tillsammans ger en mer heltäckande bild och som inkluderar alla faktorer som påverkar en hållbar utveckling. Kunskap från andra discipliner, som ekonomi, sociologi, statsvetenskap och juridik, måste användas som komplement till ekologiska analyser för att få det helhetsperspektiv som krävs för att uppnå en hållbar utveckling.

4.2.5 Rättvisa

Ekologiska fotavtryck kan dock i viss mån antyda vad som är ett rättvist ekologiskt fotavtryck och inte (Costanza, 2000). Om det finns 1.8 ha biologiskt produktiv yta tillgänglig per person på jorden innebär det att när vissa personer tar större ytor i anspråk för att upprätthålla sin livsstil så måste någon annans tillgängliga yta reduceras. Beror det större ekologiska fotavtrycket på en överkonsumtion och oberättigad avfallsgenerering måste det anses som orättvist gentemot de människor som bara har en liten areal att tillgå. Det finns dock en begränsning med att kommunicera orättvisor genom ekologiska fotavtryck som bör uppmärksammas. Eftersom det ekologiska fotavtrycket inte skiljer på hållbart och ohållbart resursutnyttjande kan ett litet ekologiskt fotavtryck baseras på en intensiv och ohållbar markanvändning. Detta kan leda till att det i framtiden finns en mindre total, global biologiskt produktiv areal för jordens befolkning att dela på eftersom överutnyttjande har försämrat ekosystemens tillstånd och förmåga att leverera ekosystemtjänster. Det måste då anses som orättvist att vissa människors levnadssätt i ett långsiktigt perspektiv kommer att medföra negativa effekter som påverkar alla på jorden, trots att det ekologiska fotavtrycket för dessa människor stundtals har varit litet.

4.2.6 Handel

Att vara beroende av ekosystemtjänster levererade av ekosystem utanför den egna regionen behöver inte tyda på ohållbarhet. En storstad som inte är beroende av arealer utanför den egna regionen för sitt upprätthållande har aldrig existerat (Folke, 1997). Detta behöver inte betyda att städer är ohållbara samhällsstrukturer. Att urbana regioner uppkommer beror bland annat på olika allokeringsfaktorer, möjligheter till specialisering samt på ekonomiska fördelar som tätbefolkade områden kan möjliggöra (van den Bergh and Verbruggen, 1999). Urbanisering har därmed en ekonomisk och social betydelse, vilket måste beaktas för att uppnå hållbarhet. Ett område med lokala och ekologiska begränsningar kan frigöra sig från detta med hjälp av import. En fördel med det ekologiska fotavtrycket är att det kan inkludera handel mellan regioner. Det som det ekologiska fotavtrycket däremot inte upplyser om är om handeln är hållbar. Handel kan bidra positivt eller negativt till en hållbar utveckling (van den Bergh and Verbruggen, 1999). Hållbar handel är möjlig att uppnå (Costanza et al., 1995). Global, hållbar handel möjliggör att de ekosystem som är mest lämpade och resilienta för att bistå med en ekosystemtjänst kan göra det (van den Bergh and Verbruggen, 1999), vilket måste anses vara förenligt med en hållbar utveckling.

Stockholms län är beroende av ekosystem utanför den egna regionen om totalt koldioxidutsläpp skall assimileras. En regiongräns utgörs inte av en ekologisk gräns och är därmed ej betydande i ekologiska resonemang. Assimilering av koldioxid i ekosystemen är en fråga av global karaktär eftersom koldioxidutsläppen sprids globalt i atmosfären. Det finns dock ett viktigt psykologiskt värde med att använda regionala och politiska gränser, trots att de inte har någon stor ekologisk relevans. Genom att koppla kvantifieringen av en eller flera ekosystemtjänster till en viss region kan människorna i aktuell region lättare ta till sig budskapet att regionens invånare är beroende av stora ytor ekosystem för sin existens. Om en studie behandlar en region i den direkta närheten kan informationen få större betydelse för mottagaren eftersom känslan av tillhörighet skapar intresse och reaktioner. För att öka medvetenheten om människans beroende av funktionella ekosystem kan det därmed vara en genväg att gå via regionala studier även om problematiken är global.

4.2.7 Ekologiska fotavtryck på organisationsnivå

Organisationer kan använda ekologiska fotavtryck som ett nyckeltal inom miljöarbetet och därmed fylla en funktion vid utvärdering av miljöprestanda. Genom att synliggöra att en verksamhet är beroende av funktionella ekosystem för upprätthållande, utveckling och tillväxt kan medvetenheten, förståelsen och acceptansen för miljöarbete öka hos de anställda. Det kan i förlängningen medföra ett högre engagemang hos personalen och att ekologiska faktorer visas mer hänsyn i beslutsfattande. Det är dock viktigt att de som tillämpar ekologiska fotavtryck i en organisation är medvetna om metodens för- och nackdelar så att resultatet inte feltolkas. Gällande ekologiska fotavtryck för koldioxidutsläpp skulle en organisations reducerade koldioxidutsläpp leda till ett mindre fotavtryck om andra faktorer, som tillväxt i skogsmark, i stort är oförändrade. Som nyckeltal skulle därmed det ekologiska fotavtrycket för koldioxidutsläpp ge liknande information som organisationens utsläppsstatistik men på ett mer illustrativt och kommunikativt sätt. Koldioxid i ton kan vara svårare att relatera till än en areal som är något de allra flesta känner till och förstår. Ekologiska fotavtryck framtas genom enkla beräkningar, vilket möjliggör att metoden kan tillämpas och förstås av fler människor och därigenom få stor genomslagskraft. Genom att bygga på en pedagogisk symbolik som visar på att organisationens aktiviteter lämnar avtryck i ekosystemen kan ekologiska fotavtryck lättbegripligt kommunicera att organisationen påverkar naturen som den även är beroende av. Av den anledningen bör det ligga i en organisations intresse att utnyttja ekosystemen på ett hållbart sätt.

4.3 Förslag till framtida forskning

Denna studie har försökt att förtydliga för- och nackdelarna med ekologiska fotavtryck. För framtida forskning ges därmed rekommendationen att fortsätta att använda ekologiska fotavtryck för att kommunicera människans beroende av ekosystemtjänster och således av funktionella ekosystem. För kvantifiering av ekosystemtjänster fungerar ekologiska fotavtryck som metod mycket väl. Det finns däremot möjlighet att kunna beräkna ekologiska fotavtryck med större säkerhet. Gällande ekologiska fotavtryck för koldioxidutsläpp förekommer viss variation gällande vilken potential för att ackumulera kol som finns i olika ekosystem i olika områden. Om ekosystemens potential för att

ackumulera kol uppskattas genom nya studier fås mer uppdaterade uppgifter att använda i beräkningarna. Om studier däremot vill gå in på hållbarhetsfrågor bör ekologiska fotavtryck endast användas för att belysa att ekologin är central att beakta för att uppnå hållbarhet. För andra ändamål inom hållbarhetsområdet bör ekologiska fotavtryck lämna plats åt andra indikatorer som är mer heltäckande eller användas i kombination med andra indikatorer. Tvärvetenskapliga indikatorer som är tillämpbara i hållbarhetsarbete är dock något som framtida forskning behöver fokusera på.

Väl använda indikatorer kan vara en metod för att kommunicera att människans välfärd upprätthålls genom ekosystemtjänster. Ett problem för att öka förståelsen och acceptansen för mänsklighetens beroende av essentiella ekosystemtjänster är dock svårigheten i att värdera naturens kapital. Eftersom ekosystem är komplexa och dynamiska system som karaktäriseras av icke-linjära förhållanden är det svårt att rättfärdigt värdera ekosystemtjänster. I denna studie har ekosystemens potential som kolsänka kvantifieras. Således är ekosystemtjänsten ackumulering av kol inom Stockholms län uppskattad till en viss storlek. För att tydligare visa på människans beroende av ekosystemtjänster och att dessa tjänster har ett värde kan denna analys kompletteras med en monetär värdering av ekosystemtjänsten ackumulering av kol. Ett ekonomiskt perspektiv kan i många sammanhang utgöra det incitament som krävs för att en fråga skall uppmärksammas och prioriteras. Att belysa ekosystemtjänsters betydelse för människan genom en kvantifiering av en ekosystemtjänst relaterad till en regions behov av den ekosystemtjänsten i kombinationen med att denna tjänst dessutom får ett pris i ekonomin ger en bredare bild över problematiken.

Ett område som borde utforskas ytterligare är möjligheten att inkludera ekosystemtjänster i organisationers miljöarbete. Genom att beakta ianspråktaga ekosystemtjänster i miljöutredningar kan medvetenheten och intresse för miljö- och hållbarhetsfrågor i organisationer ökas. Då betydande miljöaspekter fastställs visas oftast hänsyn till en verksamhets aktiviteter, vilken miljöpåverkan detta har och vilka kvantiteter som är aktuella. Däremot saknas i miljöutredningar en redogörelse över de ekosystemtjänster som verksamheten är beroende av och kopplingen mellan den egna miljöpåverkan som kan inverka negativt på de ekosystemtjänster som krävs för att upprätthålla verksamheten. Att påvisa sambandet att aktiviteter inom verksamheten kan ha en negativ inverkan på funktioner som är essentiella för en fungerande verksamhet kan öka förståelsen för miljö- och hållbarhetsarbete.

Det finns många områden inom ekologin som kräver mer forskning. Ekologiska fotavtryck är en uppskattning av ekosystemens "förråd" av ekosystemtjänster. Även om detta är av betydelse att studera så måste även flöden i ekosystemen analyseras, vilket mer fokuserar på ekosystemens dynamik och föränderlighet. En mycket viktig ekologisk faktor är hur nära ett system är ett tröskelvärde och därigenom ett regimskifte som helt kan förändra ekosystemets interaktioner och funktion. Ekosystems dynamik och komplexitet bidrar till att denna typ av kunskap är väldigt komplicerad att ta fram. Inom detta område är mer forskning nödvändig.

5. Slutsatser

Både Stockholms och Norrbottens län är beroende av stora ytor ekosystem för att ackumulera allt kol som respektive regions totala koldioxidutsläpp har gett upphov till. Det ekologiska fotavtrycket för koldioxidutsläpp är mindre för Stockholms län och större för Norrbottens län. Däremot är Norrbottens län självförsörjande med avseende på ekosystemtjänsten ackumulering av kol. Eftersom det globalt sett inte finns tillräckligt med kolsänkor för att ackumulera totalt koldioxidutsläpp på jorden, samtidigt som klimatförändringen är ett av de största problemen vi står inför idag, är dock slutsatsen att det fotavtryck som innebär lägst och reducerat koldioxidutsläpp är att föredra. Den neråtgående trenden gällande det ekologiska fotavtrycket i Stockholms län måste därmed anses som mer positiv än den kraftigt stigande i Norrbottens län eftersom förändringen korrelerar med koldioxidutsläppen. Inbindning av kol i ekosystemen kan inte utgöra en ensam lösning, men ett komplement till utsläppsreduceringar för att begränsa klimatförändringen. Ekologiska fotavtryck för koldioxidutsläpp kan därmed användas för att påvisa att koldioxidutsläppen är för höga samtidigt som kolsänkornas, inte bara utsläppsmängdernas, betydelse uppmärksammas i klimatfrågan.

Det denna studie kommunicerar är att människan är beroende av funktionella ekosystem för att vidmakthålla sitt levnadssätt samt att det krävs stora arealer kolsänkor för upptag av antropogent koldioxidutsläpp. Däremot ger inte resultatet något bidrag till hållbarhetsområdet förutom informationen att den ekologiska faktorn är betydande för människans utveckling och således även betydande för en hållbar utveckling. Ekologiska fotavtryck är ett väl fungerande kommunikativt verktyg som belyser att människan tar naturligt kapital i anspråk. Metoden beskriver vilka resurser som krävs för det människan gör medan fokus för att nå en hållbar utveckling måste vara på vad som händer i ekosystemen på grund av det vi gör. För att nå en hållbar utveckling måste sociala, ekonomiska och ekologiska faktorer beaktas. Ekologiska fotavtryck inkluderar varken sociala eller ekonomiska faktorer och metodens ekologiska innehåll kan kritiserar eftersom ekologiska fotavtryck inte säger något om ekosystemens tillstånd och förmåga att leverera ekosystemtjänster i framtiden. Syftet med denna studie var dock inte att redogöra för ekosystemens dynamik och komplexitet, inte heller att avgöra vad som är hållbart och inte. Syftet var att genom användning av ekologiska fotavtryck visa på människans beroende av ekosystemtjänster för upprätthållande av sin existens och välfärd. Detta beroendeförhållande kan ekologiska fotavtryck och studiens resultat påvisa. Eftersom ekologiska fotavtryck är en pedagogisk och kommunikativ indikator som är enkel att beräkna utgör det en fördelaktig metod att använda sig av för att belysa att människan kräver stora ytor av funktionella ekosystem för sin livsstil. Finns det totalt mindre biologiskt produktiva ytor att tillgå så kommer det att inverka på människans levnadsförhållande och livskvalité. Att uppmärksamma detta beroendeförhållande för människan kan därmed leda till att människan uppskattar och utnyttjar ekosystemen på ett mer hållbart sätt.

En uppskattning av ekologiska fotavtryck inkluderar inte förändringar i ekosystemens dynamik, förändrade teknologiska förutsättningar eller socioekonomiska förändringar. Ekologiska fotavtryck visar inte på utvecklingen vid olika handlingsalternativ eftersom resultatet utgörs av en statisk bild. Metoden kan inte bistå med några uppgifter om hur det ser ut om en vecka, om ett år eller om några decennier, vilket innebär att den är totalt begränsad att förutsäga möjliga framtida scenarier. Om en indikator inte kan tillhandahålla någon information om den framtida utvecklingen vore det paradoxalt om metoden skulle

kunna fungera som en indikator för hållbar utveckling Eftersom hållbar utveckling utgör en mycket komplex problematik med invecklade frågeställningar kan en enda metod inte ge det helhetsperspektiv som är nödvändigt och olika analysmetoder och indikatorer bör därför kombineras. Ekologiska analysmetoder är viktiga men dessa måste kompletteras med ekonomi, sociologi, statsvetenskap och juridik för att kunna komma närmare en hållbar utveckling. Först med sådan kunskap som grund kan beslutsfattare avgöra vilka alternativ som är förenliga med en hållbar utveckling. Genom att vägledas av ekologiska fotavtryck i en beslutsprocess fås endast alternativen att utöka den biologiskt produktiva ytan, använda befintlig biologiskt produktiv areal på ett effektivare sätt eller att reducera konsumtionen och avfallsgenereringen. De två första alternativen kan vara svåra att förena med en hållbar utveckling. Det sista alternativet är att föredra om målsättningen är en hållbar utveckling. Ekologiska fotavtryck kan hjälpa oss att förstå detta.

Referenser

- Andersson, F., Ågren, G., Führer, E., 2000. Sustainable tree biomass production. *Forest Ecology and Management* 132, 51-62.
- Ansén, H., 2006-10-03. Statistiska Centralbyrån, SCB. (Pers.comm.)
- Ayres, R., 2000. Commentary on the utility of the ecological footprint concept. *Ecological Economics* 32, 347-349.
- Baskin, Y. 1997. *The work of nature: how the diversity of life sustains us*. Washington DC, Island Press.
- Berg, B., McClaugherty, C., Virzo De Santo, A., Johansson, M.-B., Ekbohm, G., 1995. Decomposition of forest litter and soli organic matter – a mechanism for soil organic matter buildup? *Scandinavian Journal of Forest Research* 10, 108-199.
- Bolund, P., Hunhammar, S., 1999. Ecological services in urban areas. *Ecological Economics* 29, 293-301.
- Borgström, G., 1967. *The hungry planet*. MacMillan, New York.
- Costanza, R., Audley, J., Borden, R., Ekins, P., Folke, C., Funtowicz, S.O., Harris, J., 1995. Sustainable trade: a new paradigm for world welfare. *Environment* 37, 39-44.
- Costanza, R., d'Arge, R., de Groot, R., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., Limburg, K., Naeem, S., O' Neill, R.V., Paruelo, J., Raskin, R.G., Sutton, P., van den Belt, M., 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature* 387, 253-260.
- Costanza, R., 2000. The dynamics of the ecological footprint concept. *Ecological Economics* 32, 341-345.
- Daily, G. (Ed.), 1997. *Nature's services – Societal dependence on natural ecosystems*. Island Press. Washington DC.
- Deutsch, L., Jansson, Å., Troell, M., Rönnbäck, P., Folke, C., Kautsky, N., 2000. The "ecological footprint": communicating human dependence on nature's work. *Ecological Economics* 32, 351-355.
- Deutsch, L., Folke, C., Skånberg, K., 2003. The critical natural capital of ecosystem performance as insurance for human well-being. *Ecological Economics* 44, 205-217.
- Deutsch, L., Folke, C., 2005. Ecosystems subsidies to Swedish food consumption from 1962 to 1994. *Ecosystems* 8, 512-528.

- de Wit, H.A., Palosuo, T., Hysten, G., Liski, J., 2006. A carbon budget of forest biomass and soils in southeast Norway calculated using a widely applicable method. *Forest Ecology and Management* 225, 15-26.
- Ejvegård, R., 1996. Vetenskaplig metod. Studentlitteratur. Lund.
- Eliasson, P., 1994. Miljöjusterade nationalräkenskaper för den svenska skogen åren 1987 och 1991. Swedish University of Agricultural Sciences, Department of Forest Economics, Report 108, Umeå.
- Eliasson, P., 1996. Evaluation of carbon fixation in the context of national accounts. Swedish University of Agricultural Sciences, Department of Forest Economics, Report 231, Umeå.
- Eriksson, H., 1991. Sources and sinks of carbon dioxide in Sweden. *Ambio* 20, 146-150.
- Franzén, L. G., 1994. Are wetlands the key to the ice-age cycle enigma? *Ambio* 23, 300-308.
- Folke, C., Jansson, Å., Larsson, J., and Costanza, R., 1997. Ecosystem appropriation by cities. *Ambio* 26, 167-172.
- Folke, C., Carpenter, S., Walker, B., Elmqvist, T., Gunderson, L., Holling, C.S., Bengtsson, J., Berkes, F., Colding, J., Danell, K., Falkenmark, M., Gordon, L., Kaspersen, R., Kautsky, N., Kinzig, A., Levis, S., Mäler, K.G., Moberg, F., Ohlsson, L., Ohlsson, P., Ostrom, E., Reid, W., Rockström, J., Savanije, H., Svedin, U., 2002. Resilience and Sustainable Development: Building adaptive capacity in a world of transformations. The International Council for Science. Series on science for Sustainable Development No3.
- Heredia, F.M., 2002. In the Furnace of the Nineties: Identity and Society in Cuba Today. *Boundary 2*, 29.3 137-147.
- Illustrerad Vetenskap. 2006. Vi tär hårt på vårt kapital. Nr 12, s. 69.
- IPCC, 2001. Climate change 2001. Impacts, adaptation and vulnerability. Cambridge University Press.
- Jansson, A-M., Hammer, M., Folke, C., Costanza, R. (Eds), 1994. Investing in Natural Capital: The Ecological Economics Approach to Sustainability. Island Press, Washington DC.
- Jansson, Å., Folke, C., Rockström, J., and Gordon, L., 1999. Linking freshwater flows and ecosystem services appropriated by people: the case of the Baltic Sea drainage basin. *Ecosystems* 2, 351-366.
- Jansson, Å., Nohrstedt, P., 2001. Carbon sinks and human freshwater dependence in Stockholm County. *Ecological Economics* 39, 361-370.
- Janzen, H.H., 2006. The soil carbon dilemma: Shall we hoard it or use it? *Soil Biology & Biochemistry* 38, 419-424.
- Jessel, B., 2006. Elements, characteristics and character – Information functions of landscapes in terms of indicators. *Ecological Indicators* 6, 153-167.
- Levin, S.A., 1998. Ecosystems and the Biosphere as Complex Adaptive Systems. *Ecosystems* 1, 431-436.
- Levin, S.A., 2006. Learning to live in a global commons: socioeconomic challenges for a sustainable development. *Ecol. Res.* 21, 328-333.
- Living Planet Report, 2006. WWF, Global Footprint Network, ZSL.
(http://www.footprintnetwork.org/download.php?id=303&bcsi_scan_02A9BE32A3EE0AB7=Z3P1VC+Oj8+NqZRBMym+8gMAAAAJKVUE:1). 2006-11-22.
- Locum AB, 2005. Miljöredovisning. (<http://www.locum.se/upload/Miljo/2005Miljoredoavisning.pdf>). 2006-11-22.

- Luftföroreningar i Stockholms och Uppsalas län. LVF 2006:9. Utsläppsdata för år 2004.
- Malthus, T., 1798. An Essay on the Principle of Population. J. Johnson, London.
- McNeill, J., 2000. Something new under the sun. An environmental history over the twentieth century. The Penguin Press, London.
- Millennium Ecosystem Assessment, 2005a. Ecosystems and Human Well-being: Synthesis.
- Millennium Ecosystem Assessment, 2005b. Ecosystems and Human Well-being: Opportunities and challenges for Business and Industry.
- Millennium Ecosystem Assessment, 2005c. Living beyond our means: Natural Assets and Human Well-being. Statement from the board.
- Moffatt, I., 2000. Ecological footprint and sustainable development. *Ecological Economics* 32, 359-362.
- Odum, E. P. 1989. Ecology and Our Endangered Life-Support Systems. Sinauer Associates. Sunderland, MA.
- Pardé, J., 1980. Forest biomass. *Forestry abstracts*, Oxford 41:8.
- Peltoniemi, M., Palosuo, T., Monni, S., Mäkipää, R., 2006. factors affecting the uncertainty of sinks and stocks of carbon in Finnish forests soils and vegetation. *Forest Ecology and Management* 232, 75-85.
- Rees, W., 1992. Ecological footprints and appropriated carrying capacity: What urban economies leaves out. *Environ. Urban.* 4, 121-130.
- Richey, J., Melack, J., Aufdenkampe, A., Ballester, V., Hess, L., 2002. Outgassing from Amazonian rivers and wetlands as a large tropical source of atmospheric CO₂. *Nature*, vol 416.
- Riksskogstaxeringen, 1923-1929 1999-2003. Statistikarkiv. Landareal fördelad på ägoslag.
- Rodhe, H., Hedlund, T., Eriksson, H., Jonsson, P., Klemedtsson, L., Nilsson, M., 1995. Sveriges växthusgasbudget. Rapport från klimatdelegationen 1/95.
- Sanderson, E.W., Jaiteh, M., Levy, M.A., Redford, H.K., Wannebo, V.A., Woolmer, G., 2002. The human footprint and the last of the wild. *Bioscience*, vol 52, No 10, 891-904.
- Skogsstatistisk årsbok 1999, Data från 1993-1997. Skogsstyrelsen, Jönköping.
- Skogsstatistisk årsbok, 2006. Data från 1999-2003. Skogsstyrelsen, Jönköping.
- Statistiska Centralbyrån, 1995a, 2004a. Databaser. Utsläppsstatistik. Koldioxidutsläpp per invånare länsvis efter region, sektorssektor och tid. (<http://www.h.scb.se/scb/mr/enbal/nyckel.asp>). 2006-11-22.
- Statistiska Centralbyrån, SCB, 1999. Data från 1998. (www.scb.se/befovalfard/befolkning/befstor/befarlig/befarlighelar99.asp). 2006-11-01.
- Statistiska Centralbyrån, SCB. 1995b, 2004b. Befolkningsstatistik. (http://www.scb.se/templates/Product_12835.asp). 2006-11-01.
- Statistiska Centralbyrån, SCB, 2006. Befolkningsstatistik. (http://www.scb.se/templates/Product_25785.asp). 2006-11-01.
- Statistiska Centralbyrån, SCB, 2004c. Land och vattenarealer. (<http://www.ssd.scb.se/databaser/makro/Produkt.asp?produktid=MI0802>). 2006-11-17.
- Stockholms läns landsting, 2005. Årsberättelse.
- Stockholms läns landsting, 2005. Miljöredovisning.

- Steffen, W., Sanderson, A., Tyson, P.D., Jäger, J., Matson, P.A., Moore, B., Oldfield, F., Richardson, K., Schnellhuber, H.J., Turner, B.L., Wasson, R.J., 2004. Global change and the earth system: A planet under pressure. *IGBP Secretariat*. Kungl. Vetenskapsakademien.
- Söderqvist, T., Hammer, M., Gren, I-M., 2004. Samverkan för människa och natur. Studentlitteratur. Lund.
- UN, 1997. Urban and rural areas 1996. UN, New York United Nations Publications. (ST/ESA/SER.a/166), Sales No. E97.XIII.3.
- UNFCCC, 1997. Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention of Climate Change. (<http://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpeng.pdf>). 2006-11-07.
- UNFCCC, 2001. Matters relating to land use, land use change and forestry. FCCC/CP/2001/L.11/Rev.1. (<http://unfccc.int/resource/docs/cop6secpart/111.pdf>). 2006-11-07.
- van den Bergh, J., Verbruggen, H., 1999. Spatial sustainability, trade and indicators: an evaluation of the ecological footprint. *Ecological Economics* 29, 61-72.
- van Kooten, C., Bulte, E., 2000. The ecological footprint: useful science or politics? *Ecological Economics* 32, 385-389.
- Wikipedia, 2006. Ecological indicator. (http://en.wikipedia.org/wiki/Ecological_indicator). 2006-11-24.
- Vitousek, P.M., Mooney, H.A., Lubchenco, L., Melillo, J.M., 1997. Human domination of earth's ecosystems. *Science* 277, 494-499.
- Våtmarksinventering i Stockholms län, 1997. Miljöförvaltningsenheten, Länsstyrelsen i Stockholms län.
- Våtmarker i Norrbottens län, 2004. Länsstyrelsen i Norrbottens län.
- Wackernagel, M., Rees, W., 1996. Our ecological footprint: Reducing human impact on the earth. New society, Gabriola island, BC.
- Wackernagel, M., Yount, D., 1998. The ecological footprint: An indicator of progress towards regional sustainability. *Environmental Monitoring and Assessment* 51, 511-529.
- Wackernagel, M., Yount, D., 2000. Footprints for sustainability: The next step. *Environment, Development and Sustainability* 2, 21-42.
- Wackernagel, M., Moran, D., Goldfinger, S., Monfreda, C., Welch, A., Murray, M., Burns, S., Königel, C., Peck, J., King, P., Ballesteros, M., 2005. Europe 2005 – The ecological footprint. WWF, Global Footprint Network, NC-IUCN.
- Wackernagel, M., 2006-10-04. Global Footprint Network. Sustainability of the planet. Stockholm. (Pers. Comm)
- Wardle, D.A., Zachrisson, O., Hörnberg, G., Gallet, C., 1997. The influence of island area on ecosystem properties. *Science* 227, 1296-1299.
- World Meteorological Organisation – WMO, 2006. Greenhouse gas bulletin 2005: Atmospheric carbon dioxide levels highest on record. Press release, WMO no 762.

Bilagor

Bilaga 1. Beräkningar.

Årlig potentiell ackumulering av kol i ekosystem i Stockholms län 1995

Årlig potentiell ackumulering av kol i biomassa ovan jord i skogsmark:

För att kvantifiera netto ackumuleringen av kol i biomassa ovan mark i skogsmark används den årliga tillväxten i virkesförrådet vilket är uppskattat till $1.65 \text{ Mm}^3 \text{ sk år}^{-1}$ (Skogsstatistisk årsbok, 1999). Ekvation 1 används för beräkningarna:

$$\text{PAC}_s = \text{TV}_s * 0.43 * 0.5 \quad (\text{ton C år}^{-1}) \quad (1)$$

$$\text{PAC}_s = 1\,650\,000 * 0.43 * 0.5 = 354\,750 \quad (\text{ton C år}^{-1})$$

Årlig potentiell ackumulering av kol per kvadratkilometer i biomassa ovan jord i skogsmark:

$$\text{PAC}_s / \text{km}^2 = 354\,750 / 3030 = 117.1 \quad (\text{ton C km}^{-2} \text{ år}^{-1}) \quad (2)$$

Årlig potentiell ackumulering av kol i jord i skogsmark:

Kalkylering av årlig potentiell ackumulering av kol i jord i skogsmark (PAC_{sj}) görs enligt ekvation 2:

$$\text{PAC}_{sj} = \text{GPAC}_{sj} * A_s \quad (\text{ton C år}^{-1}) \quad (3)$$

$$\text{PAC}_{sj} = 14.7 * 3030 = 44\,541 \quad (\text{ton C år}^{-1})$$

Årlig potentiell ackumulering av kol i vattendrag:

Kalkylering av årlig potentiell ackumulering av kol i vattendrag i regionen görs enligt ekvation 3.

$$\text{PAC}_v = \text{GPAC}_v * A_v \quad (\text{ton C år}^{-1}) \quad (4)$$

$$\text{PAC}_v = 38.0 * 700 = 26\,600 \quad (\text{ton C år}^{-1})$$

Årlig potentiell ackumulering av kol i torvbildande våtmarker:

$$\text{PAC}_{tv} = \text{GPAC}_{tv} * A_{tv} \quad (\text{ton C år}^{-1}) \quad (5)$$

$$\text{PAC}_{tv} = 21.4 * 39.6 = 847.4 \quad (\text{ton C år}^{-1})$$

Total potential för ackumulering av kol skogsmark, vattendrag och våtmarker i Stockholms län (PAC_t) beräknas enligt ekvation 5:

$$\text{PAC}_t = \text{PAC}_s + \text{PAC}_{sj} + \text{PAC}_v + \text{PAC}_{tv} \quad (\text{ton C år}^{-1}) \quad (6)$$

$$PAC_t = 354\,750 + 44\,541 + 26\,600 + 847.4 = 426\,738.4 \text{ ton C år}^{-1}$$

Total potential för assimilering av CO₂ beräknas via atommassa ($426\,738.4 * 44.01/12.01 = 1\,563\,760 \text{ ton CO}_2 \text{ år}^{-1}$).

Årlig potentiell ackumulering av kol i ekosystem i Stockholms län 2004

Årlig potentiell ackumulering av kol i biomassa ovan jord i skogsmark:

För att kvantifiera netto ackumuleringen av kol i biomassa ovan mark i skogsmark används den årliga tillväxten i virkesförrådet vilket är uppskattat till $1.35 \text{ Mm}^3 \text{ sk år}^{-1}$ (Skogsstatistisk årsbok, 2006). Ekvation 1 används för beräkningarna:

$$PAC_s = TV_s * 0.43 * 0.5 \quad (\text{ton C år}^{-1}) \quad (1)$$

$$PAC_s = 1\,350\,000 * 0.43 * 0.5 = 290\,250 \quad (\text{ton C år}^{-1})$$

Årlig potentiell ackumulering av kol per kvadratkilometer i biomassa ovan jord i skogsmark:

$$PAC_s / \text{km}^2 = 290\,250 / 2460 = 118.0 \quad (\text{ton C km}^{-2} \text{ år}^{-1}) \quad (2)$$

Årlig potentiell ackumulering av kol i jord i skogsmark:

Kalkylering av årlig potentiell ackumulering av kol i jord i skogsmark (PAC_{sj}) görs enligt ekvation 2:

$$PAC_{sj} = GPAC_{sj} * A_s \quad (\text{ton C år}^{-1}) \quad (3)$$

$$PAC_{sj} = 14.7 * 2460 = 36\,162 \quad (\text{ton C år}^{-1})$$

Årlig potentiell ackumulering av kol i vattendrag:

Kalkylering av årlig potentiell ackumulering av kol i vattendrag i regionen görs enligt ekvation 3.

$$PAC_v = GPAC_v * A_v \quad (\text{ton C år}^{-1}) \quad (4)$$

$$PAC_v = 38.0 * 650 = 24\,700 \quad (\text{ton C år}^{-1})$$

Årlig potentiell ackumulering av kol i torvbildande våtmarker:

$$PAC_{tv} = GPAC_{tv} * A_{tv} \quad (\text{ton C år}^{-1}) \quad (5)$$

$$PAC_{tv} = 21.4 * 39.6 = 847.4 \quad (\text{ton C år}^{-1})$$

Total potential för ackumulering av kol skogsmark, vattendrag och våtmarker i Stockholms län (PAC_t) beräknas enligt ekvation 5:

$$PAC_t = PAC_s + PAC_{sj} + PAC_v + PAC_{tv} \quad (\text{ton C } \text{år}^{-1}) \quad (6)$$

$$PAC_t = 290\,250 + 36\,162 + 24\,700 + 847.4 = 351\,959.4 \text{ (ton C } \text{år}^{-1})$$

Total potential för assimilering av CO₂ beräknas via atommassa (351 959.4 * 44.01/12.01 = 1 289 736 ton CO₂ år⁻¹).

Beräkning av det ekologiska fotavtrycket för totalt antropogent koldioxidutsläpp i Stockholms län (enligt ekvation 7)

1995:

Totalt koldioxidutsläpp i Stockholms län: 6 131 611 ton CO₂

Total mängd kol generat av totalt koldioxidutsläpp (beräknat via atommassa): (12.01 / 44.01) * 6 131 611 ton CO₂ = 1 673 271 ton C

$$EF_{CO_2}^{(1)} = (CU_t - PAC_{tv} - PAC_v) / (GPAC_s + GPAC_{sj}) \quad (\text{km}^2) \quad (7)$$

$$EF_{CO_2}^{(1)} = (1\,673\,271 - 847.4 - 26\,600) / (117.1 + 14.7) = 12\,487 \text{ km}^2$$

Ekologiskt fotavtryck för totalt antropogent koldioxidutsläpp per capita: 0.72 ha (1 248 700 / 1 725 756)

Ytterligare areal skogsmark som krävs för att ackumulera total mängd kol genererat av totalt koldioxidutsläpp: 12 487 - 3030 km² = 9457 km²

2004:

Totalt koldioxidutsläpp i Stockholms län: 6 081 306 ton CO₂

Total mängd kol generat av totalt koldioxidutsläpp (beräknat via atommassa): (12.01 / 44.01) * 6 081 306 ton CO₂ = 1 659 543 ton C

$$EF_{CO_2}^{(1)} = (CU_t - PAC_{tv} - PAC_v) / (GPAC_s + GPAC_{sj}) \quad (\text{km}^2) \quad (7)$$

$$EF_{CO_2}^{(1)} = (1\,659\,543 - 847.4 - 24\,700) / (118 + 14.7) = 12\,313 \text{ km}^2$$

Ekologiskt fotavtryck för totalt antropogent koldioxidutsläpp per capita: 0.66 ha (1 231 300 / 1 872 900)

Ytterligare areal skogsmark som krävs för att ackumulera total mängd kol genererat av totalt koldioxidutsläpp: 12 313 - 2460 km² = 9853 km²

Beräkning av det ekologiska fotavtrycket för totalt antropogent koldioxidutsläpp i Stockholms län (enligt ekvation 8)

1995:

$$EF_{CO_2}^{(2)} = CU_t / (GPAC_s + GPAC_{sj}) \quad (\text{km}^2) \quad (8)$$

$$EF_{CO_2}^{(2)} = 1\,673\,271 / (117.1 + 14,7) = 12\,696 \text{ km}^2$$

Ekologiskt fotavtryck för totalt antropogent koldioxidutsläpp per capita: 0.74 ha (1 269 600 / 1 725 756)

2004:

$$EF_{CO_2}^{(2)} = CU_t / (GPAC_s + GPAC_{sj}) \quad (\text{km}^2) \quad (8)$$

$$EF_{CO_2}^{(2)} = 1\,659\,543 / (118 + 14,7) = 12\,506 \text{ km}^2$$

Ekologiskt fotavtryck för totalt antropogent koldioxidutsläpp per capita: 0.67 ha (1 250 600 / 1 872 900)

Årlig potentiell ackumulering av kol i ekosystem i Norrbottens län 1995

Årlig potentiell ackumulering av kol i biomassa ovan jord i skogsmark:

För att kvantifiera netto ackumuleringen av kol i biomassa ovan mark i skogsmark används den årliga tillväxten i virkesförrådet vilket är uppskattat till $7.74 \text{ Mm}^3 \text{ sk år}^{-1}$ (Skogsstatistisk årsbok, 2006). Ekvation 1 används för beräkningarna:

$$PAC_s = TV_s * 0.43 * 0.5 \quad (\text{ton C år}^{-1}) \quad (1)$$

$$PAC_s = 7\,740\,000 * 0.43 * 0.5 = 1\,664\,100 \quad (\text{ton C år}^{-1})$$

Årlig potentiell ackumulering av kol per kvadratkilometer i biomassa ovan jord i skogsmark:

$$PAC_s / \text{km}^2 = 1\,664\,100 / 35\,610 = 46.7 \quad (\text{ton C km}^{-2} \text{ år}^{-1}) \quad (2)$$

Årlig potentiell ackumulering av kol i jord i skogsmark:

Kalkylering av årlig potentiell ackumulering av kol i jord i skogsmark (PAC_{sj}) görs enligt ekvation 2:

$$PAC_{sj} = GPAC_{sj} * A_s \quad (\text{ton C år}^{-1}) \quad (3)$$

$$PAC_{sj} = 14.7 * 35\,610 = 523\,467 \quad (\text{ton C år}^{-1})$$

Årlig potentiell ackumulering av kol i vattendrag:

Kalkylering av årlig potentiell ackumulering av kol i vattendrag i regionen görs enligt ekvation 3.

$$PAC_v = GPAC_v * A_v \quad (\text{ton C år}^{-1}) \quad (4)$$

$$PAC_v = 38.0 * 7\,762.5 = 294\,975 \quad (\text{ton C år}^{-1})$$

Årlig potentiell ackumulering av kol i torvbildande våtmarker:

$$PAC_{tv} = GPAC_{tv} * A_{tv} \quad (\text{ton C år}^{-1}) \quad (5)$$

$$PAC_{tv} = 21.4 * 15\,963 = 341\,608 \quad (\text{ton C år}^{-1})$$

Total potential för ackumulering av kol skogsmark, vattendrag och våtmarker i Norrbottens län (PAC_t) beräknas enligt ekvation 5:

$$PAC_t = PAC_s + PAC_{sj} + PAC_v + PAC_{tv} \quad (\text{ton C år}^{-1}) \quad (6)$$

$$PAC_t = 1\,664\,100 + 523\,467 + 294\,975 + 341\,608 = 2\,824\,150 \text{ ton C år}^{-1}$$

Total potential för assimilering av CO_2 beräknas via atommassa ($2\,824\,150 * 44.01/12.01 = 10\,348\,949 \text{ ton } CO_2 \text{ år}^{-1}$).

Årlig potentiell ackumulering av kol i ekosystem i Norrbottens län 2004

Årlig potentiell ackumulering av kol i biomassa ovan jord i skogsmark:

För att kvantifiera netto ackumuleringen av kol i biomassa ovan mark i skogsmark används den årliga tillväxten i virkesförrådet vilket är uppskattat till $8.44 \text{ Mm}^3 \text{sk år}^{-1}$ (Skogsstatistisk årsbok, 2006). Ekvation 1 används för beräkningarna:

$$PAC_s = TV_s * 0.43 * 0.5 \quad (\text{ton C år}^{-1}) \quad (1)$$

$$PAC_s = 8\,440\,000 * 0.43 * 0.5 = 1\,814\,600 \quad (\text{ton C år}^{-1})$$

Årlig potentiell ackumulering av kol per kvadratkilometer i biomassa ovan jord i skogsmark:

$$PAC_s / \text{km}^2 = 1\,814\,600 / 36\,160 = 50.2 \quad (\text{ton C km}^{-2} \text{ år}^{-1}) \quad (2)$$

Årlig potentiell ackumulering av kol i jord i skogsmark:

Kalkylering av årlig potentiell ackumulering av kol i jord i skogsmark (PAC_{sj}) görs enligt ekvation 2.

$$PAC_{sj} = GPAC_{sj} * A_s \quad (\text{ton C år}^{-1}) \quad (3)$$

$$PAC_{sj} = 14.7 * 36\,160 = 531\,552 \quad (\text{ton C år}^{-1})$$

Årlig potentiell ackumulering av kol i vattendrag:

Kalkylering av årlig potentiell ackumulering av kol i vattendrag i regionen görs enligt ekvation 3.

$$PAC_v = GPAC_v * A_v \quad (\text{ton C } \text{år}^{-1}) \quad (4)$$

$$PAC_v = 38.0 * 7\,762.5 = 294\,975 \quad (\text{ton C } \text{år}^{-1})$$

Årlig potentiell ackumulering av kol i torvbildande våtmarker:

$$PAC_{tv} = GPAC_{tv} * A_{tv} \quad (\text{ton C } \text{år}^{-1}) \quad (5)$$

$$PAC_{tv} = 21.4 * 15\,963 = 341\,608 \quad (\text{ton C } \text{år}^{-1})$$

Total potential för ackumulering av kol skogsmark, vattendrag och våtmarker i Norrbottens län (PAC_t) beräknas enligt ekvation 5:

$$PAC_t = PAC_s + PAC_{sj} + PAC_v + PAC_{tv} \quad (\text{ton C } \text{år}^{-1}) \quad (6)$$

$$PAC_t = 1\,814\,600 + 531\,552 + 294\,975 + 341\,608 = 2\,982\,735 \text{ ton C } \text{år}^{-1}$$

Total potential för assimilering av CO_2 beräknas via atommassa ($2\,982\,735 * 44.01/12.01 = 10\,930\,072 \text{ ton } CO_2 \text{ } \text{år}^{-1}$).

Beräkning av det ekologiska fotavtrycket för totalt antropogent koldioxidutsläpp i Norrbottens län (enligt ekvation 8)

1995:

Totalt koldioxidutsläpp i Norrbottens län: 3 252 783 ton CO_2

Total mängd kol generat av totalt koldioxidutsläpp (beräknat via atommassa): $(12.01 / 44.01) * 3\,252\,783 \text{ ton } CO_2 = 887\,660 \text{ ton C}$

$$EF_{CO_2}^{(2)} = CU_t / (GPAC_s + GPAC_{sj}) \quad (\text{km}^2) \quad (8)$$

$$EF_{CO_2}^{(2)} = 887\,660 / (46.7 + 14.7) = 14\,457 \text{ km}^2$$

Ekologiskt fotavtryck för totalt antropogent koldioxidutsläpp per capita: 5.43 ha (1 445 700 / 266 011)

2004:

Totalt koldioxidutsläpp i Norrbottens län: 7 644 990 ton CO_2

Total mängd kol generat av totalt koldioxidutsläpp (beräknat via atommassa): $(12.01 / 44.01) * 7\,644\,990 \text{ ton } CO_2 = 2\,086\,261 \text{ ton C}$

$$EF_{CO_2}^{(2)} = CU_t / (GPAC_s + GPAC_{sj}) \quad (\text{km}^2) \quad (8)$$

$$EF_{CO_2}^{(2)} = 2\,086\,261 / (50.2 + 14.7) = 32\,146 \text{ km}^2$$

Ekologiskt fotavtryck för totalt antropogent koldioxidutsläpp per capita: 12.73 ha (3 214 600 / 252 585)

Stockholms läns landstings ekologiska fotavtryck för koldioxidutsläpp 2004 (enligt ekvation 8)

Utsläpp från produktion av el och värme som använts inom fastigheterna: 22 472 ton CO₂ (Locums miljöredovisning, 2005)

Utsläpp från trafik- och transportsektorn (SLL totalt inkl WÅABs entreprenörer): 176 397 ton CO₂ (Stockholms läns landstings miljöredovisning, 2005)

Totalt koldioxidutsläpp från Stockholms läns landsting 2004: 198 869 ton CO₂

Total mängd kol generat av totalt koldioxidutsläpp (beräknat via atommassa): (12.01 / 44.01) * 198 869 ton = 54 270 ton C

Beräkning av det ekologiska fotavtrycket för Stockholms läns landstings totala koldioxidutsläpp beräknas genom ekvation 8.

$$EF_{CO_2}^{(2)} (SLL) = CU_{t(SLL)} / (GPAC_s + GPAC_{sj}) \quad (km^2) \quad (8)$$

$$EF_{CO_2} (SLL) = 54\,270 / (118.0 + 14.7) = 409.0 \text{ km}^2$$