

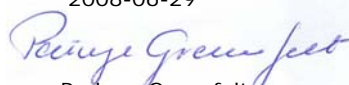
Svenska skogsindustrins emissioner och upptag av växthusgaser

Linus Hagberg, Per-Erik Karlsson, Håkan Stripple, Mats Ek,
Therese Zetterberg

Projektledare: Lars Zetterberg

B1774
Juni 2008

Rapporten godkänd
2008-06-29



Peringe Grennfelt
Forskningsdirektör

<p>Organisation IVL Svenska Miljöinstitutet AB</p>	<p>Rapportsammanfattning</p>
<p>Adress Box 21060 100 31 Stockholm</p>	<p>Projekttitel Svenska skogsindustrins emissioner och upptag av växthusgaser</p>
<p>Telefonnr 08-598 563 00</p>	<p>Anslagsgivare för projektet Stiftelsen Skogsindustriernas Vatten- och Luftvårdsforskning (SSVL) och Stiftelsen Institutet för Vatten och Luftvårdsforskning (SIVL)</p>
<p>Rapportförfattare Linus Hagberg, Per-Erik Karlsson, Håkan Stripple, Mats Ek, Therese Zetterberg, Lars Zetterberg</p>	
<p>Rapporttitel och undertitel Svenska skogsindustrins emissioner och upptag av växthusgaser</p>	
<p>Sammanfattning I denna studie har upptag och emissioner av växthusgaser för aktiviteter förknippade med den svenska skogsindustrins beräknats för åren 2001-2003. Emissioner och upptag i svensk skog och emissioner vid skogsbruk, vid produktion av skogsprodukter och vid transporter inom Sverige har ingått i inventeringen. Studien kommer fram till att nettoresultatet för svenska skogsindustrin är ett årligt upptag på ca 1,6 milj ton CO₂-ekvivalenter. Upptaget i <i>skogsekosystemet</i> beräknades till ca 5,2 milj ton CO₂-ekvivalenter och emissionerna i det <i>skogsiindustriella produktionsystemet</i> beräknades till 3,5 milj ton CO₂-ekvivalenter.</p>	
<p>Nyckelord samt ev. anknytning till geografiskt område eller näringsgren Skogsindustrin, emissioner, växthusgaser, koldioxid, lustgas, metan, klimat</p>	
<p>Bibliografiska uppgifter IVL Rapport B1774</p>	
<p>Rapporten beställs via Hemsida: www.ivl.se, e-post: publicationservice@ivl.se, fax 08-598 563 90, eller via IVL, Box 21060, 100 31 Stockholm</p>	

Sammanfattning

I denna studie har upptag och emissioner av växthusgaser beräknats för aktiviteter förknippade med den svenska skogsindustrin. Studien är tänkt som en uppdatering av en tidigare emissionsinventering från 1994 (Zetterberg & Cooper, 1994). I inventeringen ingår upptag och emissioner av koldioxid (CO₂), lustgas (N₂O) och metan (CH₄) i *skogsekosystemet* (all produktiv skogsmark i Sverige) och i det *skogsindustriella produktionsystemet*, som här innefattar skogsbruk och avverkning, tillverkningsindustrier (massa- och pappersindustri, sågverksindustri och träskiveindustri) samt transporter av skogsråvara och skogsbaserade produkter inom Sverige.

Studien visar att det samlade nettoresultatet av den svenska skogsindustrins aktiviteter blir ett årligt upptag av växthusgaser motsvarande 1,6 milj ton CO₂-ekvivalenter (Tabell S1). Resultatet är dock behäftat med betydande osäkerheter framförallt vad gäller förändringarna av kolförråden i skogsekosystemet. Det samlade resultatet av beräkningarna är också beroende av hur skogsindustrins aktiviteter avgränsas.

Studien visar att emissionerna i det *skogsindustriella produktionsystemet* har minskat med ca 40 % sedan början av 1990-talet från motsvarande 5,8 milj ton CO₂-ekvivalenter till 3,5 milj ton CO₂-ekvivalenter, trots ökad produktion.

Studien visar också att skogsindustrin medverkar till att den svenska skogen som helhet utgör en nettosänka av växthusgaser, vilken vi uppskattat till 5,2 milj ton CO₂-ekvivalenter. Detta beror framförallt på en fortsatt nettotillväxt i svensk skog, vilket är resultatet av ett aktivt och hållbart skogsbruk. Det mesta av skogsmarken utgör en påtaglig sänka för CO₂, medan de organogena jordarna, som står för en mindre andel av skogsarealen, sannolikt står för en betydande emission av CO₂. Framför allt ingår i beräkningarna av gasutbytet i skogsekosystemet en stor emission av CO₂ från dikade beskogade organogena jordar¹ som bör betraktas som mycket osäker och som får stor inverkan på resultatet.

Inventeringen avser moderna produktionsförhållanden och normalt skogsbruk. För att undvika inflytandet av stormen Gudrun gjordes därför studien som ett årsmedelvärde för åren 2001-2003. För att ta hänsyn till moderniseringar inom industrin har dock produktions- och emissionsfaktorer från 2005 och 2006 använts.

Inventeringen har ej innefattat upptag och emissioner i skogsekosystemet förknippade med importerad stamved eller vid slutanvändning av skogsprodukter i konsumentledet. I studien har det biogena kol som finns upptaget i avverkad stamved betraktats som en omedelbar emission av motsvarande mängd CO₂ under avverkningsåret eftersom vi utgått från att det råder en balans mellan nedbrytningen av kol i skogsindustrins produkter och den årliga nya uppbindningen av kol i produkter. Nettobalansen för kol i stamved som går in till tillverkningsindustrierna och som förbränns där eller lagras i skogsprodukter har således satts till noll. För *skogsekosystemet* medräknas endast emissioner och upptag motsvarande den andel av den avverkade stamveden som går till skogsindustrins anläggningar, d v s 91 %.

Resultaten visar att svensk skogsindustri kan tillgodoräkna sig ett nettoupptag av växthusgaser i *skogsekosystemet* på 5,2 milj ton CO₂-ekvivalenter per år, vilket redovisas i Tabell S1 och illustreras i Figur S1. Detta beror framförallt på ett stort årligt nettoupptag i levande biomassa (ca 14,4 milj ton

¹ I denna post ingår emissioner från all produktiv dikad organogen skogsmark i Sverige, där ca 50 % utgörs av torvmark och resten har ett torvlager som är tunnare än 30 cm, totalt ca 1,2 milj ha (von Arnold m fl, 2007).

CO₂-ekvivalenter). Upptaget har dock minskat kontinuerligt sedan början av 1990-talet. Den största källan till växthusgaser är CO₂-emissioner från dikade organogena jordar, uppskattad till ca 9,8 milj ton CO₂-ekvivalenter. Nettoupptaget av växthusgaser i skogen som i 1994 års rapport beräknades med en annan metodik var motsvarande ca 26,7 milj ton CO₂-ekvivalenter. Bland annat beräknades upptaget i levande biomassa vara högre och CO₂-avgången från organogena jordar var då inte känd.

Osäkerheterna i uppskattningarna av kollagerförändringar i *skogsekosystemet* är stora, vilket bland annat visas genom stora mellanårsvariationer i mätningarna. Att det sker ett betydande CO₂-upptag i levande biomassa och ett litet upptag i markkol på mineraljordar får anses väl belagt, men den exakta storleksordningen för ett specifikt år är svårt att bestämma. När det gäller markkol i organogena jordar är osäkerheten särskilt stor. Huvudsakligen har uppgifter från Sveriges rapportering till klimatkonventionen (NIR, 2008) använts för beräkningarna i *skogsekosystemet*, men för organogena jordar har istället resultat från en vetenskaplig studie inom LUSTRA-programmet använts (von Arnold m fl, 2005) eftersom dessa värden bedöms som mer trovärdiga och bygger på emissionsfaktorer från mätningar. Både emissionsfaktorerna och uppskalning till nationell nivå innefattar dock stora osäkerheter och mer forskning behövs på detta område. Den mätmetodik som ligger till grund för klimatrapporteringens värden vad gäller skogsbevuxna organogena jordar har visat sig bristfällig och underskattar sannolikt CO₂-avgången från dessa marker. Om våra beräkningar istället hade baserats på klimatrapporteringens värden för organogena jordar, som anger ett upptag av CO₂ på ca 4 milj ton CO₂, blir det totala årliga upptaget i *skogsekosystemet* 19 milj ton CO₂-ekvivalenter.

Emissionerna i det *skogsindustriella produktionssystemet* uppgår till totalt ca 3,5 milj ton CO₂-ekvivalenter². Emissionerna domineras av CO₂ från fossilbränsleanvändning i massa- och pappersindustrin (Tabell S1 och Figur S1). Det innebär att emissionerna från massa-, pappers- och trävaruindustrin har minskat kraftigt sedan 1991 då emissionerna enligt 1994 års rapport beräknades till ca 5,8 milj ton CO₂-ekvivalenter.

I studien förs också en översiktlig diskussion om vilka externa effekter skogsindustriens verksamhet kan ha på växthusgasemissioner ur ett samhällsperspektiv. Framst diskuteras alternativa sätt att betrakta upplagring av biogent kol i långlivade produkter. Bland annat visar en studie (Berg m fl, 2003) att nettokolinlagringen i använda skogsprodukter inom Sverige under hela 90-talet låg nära noll, vilket sannolikt gäller även för 2000-talet. Ett annat beräkningssätt, där Sverige får inräkna kol i exporterade produkter, ger däremot en betydande årlig kolinlagring enligt studien. Det speglar att svensk skogsindustri är en stor nettoexportör av skogsprodukter, och att ökad träanvändning kan ge upphov till minskad klimatpåverkan. En annan aspekt som diskuteras, men som ej tagits in i beräkningarna, är att en ökad träanvändning i byggkonstruktioner i flera livscykelanalyser visat sig ge lägre emissioner av växthusgaser än om motsvarande konstruktioner byggs i exempelvis stål eller betong. Slutligen är skogsindustrin idag nettoleverantör av värme och biobränslen vilka potentiellt kan ersätta energiproduktion från fossila bränslen. Om denna värme och biobränsle antas ersätta oljebaserad energi ger det undvikna emissioner för Sverige på ca 3,7 milj ton CO₂-ekvivalenter. Hyggesrester från skogsbruket används också i allt större utsträckning för energiproduktion, vilket ytterligare bidrar till minskade emissioner i samhället.

² För att spegla moderna produktionsförhållanden men ändå basera beräkningarna på åren 2001-2003 har följande metodik används i beräkningarna: Baserat på data för produktionen 2006 (och för trävaruindustrin värden även för 2005) har bränsleförbrukning, el- och värme förbrukning mm per producerad enhet (massa, sågade trävaror osv.) beräknats. Dessa "produktionsfaktorer" har sedan multiplicerats med produktionen för 2001-2003 och de totala emissionerna har därefter beräknats med hjälp av emissionsfaktorer. En känslighetsanalys visar att emissionerna i massa- och pappersindustrin blir ca 0,4 milj ton CO₂-ekvivalenter lägre med produktionsfaktorer från 2006 jämfört med 2001-2003 års produktionsfaktorer.

Sammanfattningsvis konstaterar studien att emissionerna från skogsindustrins industriella verksamheter minskat kraftigt sedan början av 1990-talet och att svenskt skogsbruk ger upphov till ett fortsatt nettoupptag i av växthusgaser trots kontinuerligt ökad avverkning.

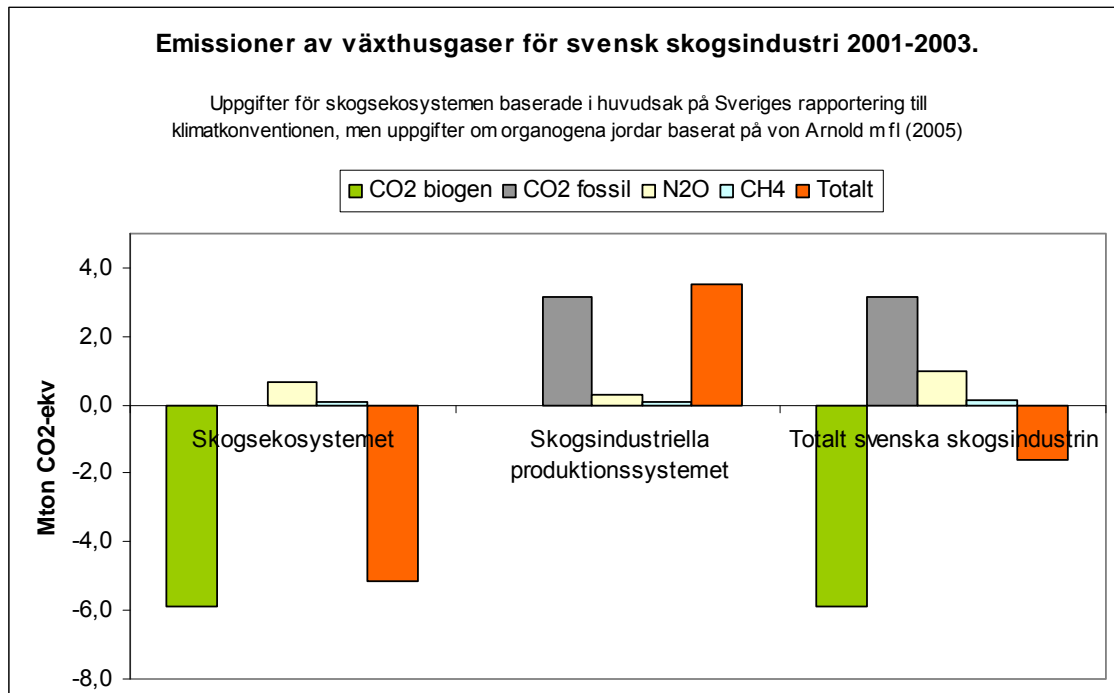
Tabell S1 Upptag och emissioner av växthusgaser för svenska skogsindustrin som årsmedelvärde för åren 2001-2003. Upptag redovisas som negativa värden och emissioner som positiva värden.

Aktivitet	milj ton CO ₂ -ekvivalenter					1994 års studie
	CO ₂ biogen	CO ₂ fossil	N ₂ O	CH ₄	Totalt	
Skogsekosystemet, totalt ¹⁾	-5,9		0,68	0,07	-5,2	-26,7
Däruv:						
Förändring av kolförråd, totalt ¹⁾	-6,0				-6,0	
Däruv:						
i. Levande biomassa	-14,4				-14,4	
ii Död biomassa	-0,36				-0,4	
iii Markkol, mineraljord	-1,04				-1,04	
iv Markkol, organogen jord ¹⁾	9,8				9,8	
	(7,6-12,5) ²⁾					
Övriga flöden av växthusgaser i skogen	0,05		0,68	0,07	0,8	
Skogsindustriella produktionssystemet, totalt ³⁾	0,0	3,16	0,29	0,08	3,52	5,8
Däruv:						
Upptag i avverkad stamved till skogsindustrin (inkl bark)	-52,0					
Upptag i importerad stamved (inkl bark) till skogsindustrin	-7,7					
Skogsbruk och avverkning	0,0	0,35	0,05	0,001	0,40	
Massa- och pappersindustri (förbränning)	20,6	2,05	0,19	0,04	2,3	
Avloppsvattenbehandling	0,0	0,005	0,0001	0,02	0,03	
Sågverksindustrin (förbränning)	1,5	0,12	0,03	0,012	0,16	
Produktion av träbaserade skivor (förbränning)	0,2	0,04	0,004	0,002	0,05	
Transporter	0,0	0,59	0,02	0,001	0,61	
Biogent kol i skogsprodukter och biobränslen till kund (emission)	37,4					
Totalt svenska skogsindustrin ¹⁾	-5,9	3,2	1,0	0,1	-1,6	-20,9

¹⁾ Uppgifter för skogsekosystemen baserade i huvudsak på Sveriges rapportering till klimatkonventionen NIR (2008), men uppgifter om organogena jordar är baserat på emissionsfaktorer (von Arnold m fl, 2005). I NIR (2008) rapporteras istället ett upptag på 4 milj ton CO₂ för markkol på organogena jordar (skogsindustrins andel) vilket skulle ge ett totalt upptag av växthusgaser i skogsekosystemet på 19 milj ton CO₂-ekvivalenter för skogsindustrin (se Bilaga 4). Vi gör dock bedömningen att dessa värden sannolikt är felaktiga och att dikade organogena jordar snarare emitterar CO₂ i storleksordningen som anges i von Arnold m fl (2005).

²⁾ Osäkerhetsintervall för skogsindustrins andel utifrån von Arnold m fl (2005). Det bör dock påpekas att vi bedömer osäkerheten i dessa värden som mycket stor.

³⁾ Produktionsfaktorer från 2005 och 2006 har använts. Se fotnot 2 längst ner på sidan 2.



Figur S1 Sammanställning över svenska skogsindustrins upptag och emissioner av växthusgaser som årsmedelvärde för år 2001-2003. Negativt värde innebär upptag och positivt värde innebär emission. Uppgifter för skogsekosystemen är baserade i huvudsak på Sveriges rapportering till klimatkonventionen, men uppgifter om organogena jordar är baserat på von Arnold m fl (2005).

Innehållsförteckning

Sammanfattning.....	1
1 Inledning.....	7
1.1 Syfte och mål.....	7
1.2 Systemgränser	7
1.2.1 Relevanta upptag och emissioner av växthusgaser förknippade med skogsindustrin ...	7
1.2.2 Emissioner och upptag av växthusgaser som ingår i inventeringen.....	8
2 Upptag/emissioner i skogsekosystemet	13
2.1 Metodik och avgränsningar	13
2.2 Diskussion om flöden av växthusgaser till och från skogsekosystemen.....	15
2.3 Bakgrund till beräkningar av kolförrädsförändringar i skogsekosystemet.....	16
2.3.1 Sveriges nationella rapportering till klimatkonventionen av flöden av växthusgaser till följd av förändrad markanvändning och skogsbruk.....	16
2.3.2 Resultat från Sveriges nationella rapportering	16
2.4 Beräkningar inom uppdraget.....	18
2.4.1 Förändringar i skogsekosystemets kolförråd 2001-2003.....	18
2.4.2 Flöden av övriga växthusgaser till och från dikade skogsbevuxna torvmarker.....	20
2.5 Beräkningar av upptag och avgång av biogen CO ₂ från skogsekosystemen i 1994 års rapport.....	21
2.6 Sammanfattande resultat: skogsekosystemet	22
2.7 Sammanfattande kommentarer och uppskattning av osäkerheter för beräkningar av växthusgasflöden på nationell nivå.....	23
3 Det skogsindustriella produktionssystemet.....	25
3.1 Avgränsningar och metodik	25
3.1.1 Emissionsfaktorer.....	25
3.2 Skogsskötsel och avverkning.....	27
3.3 Massa- och pappersindustrin.....	28
3.3.1 Avloppsvattenbehandling.....	30
3.4 Sågverksindustrin	31
3.5 Produktion av träbaserade skivor	33
3.6 Transporter.....	33
3.7 Känslighetsanalys: Emissioner i massa- och pappersindustrin år 2001-2003 utifrån 2006 års produktionsfaktorer jämfört med produktionsfaktorer för 2001-2003.....	36
3.8 Sammanfattande resultat: Skogsindustriella produktionssystemet.....	37
4 Diskussion om undvikna emissioner och kolinlagring i skogsprodukter.....	40
4.1 Undvikna emissioner av levererad värme och biobränslen.....	40
4.2 Kolinlagring i skogsprodukter.....	41
4.2.1 Alternativa beräkningssätt enligt IPCC.....	41
4.2.2 Kolinlagring i skogsprodukter för Sverige.....	44
4.3 Kolinlagring i byggnader och substitutionseffekter.....	45
5 Skogsindustriens totala klimatpåverkan.....	47
5.1 Hur växthusgaser påverkar strålningsbalansen.....	47
5.1.1 Global warming potentials (GWP).....	47
5.2 Sammanfattande resultat: svenska skogsindustriens totala upptag och emissioner	48
6 Diskussion och slutsatser	51
7 Referenser.....	53

Bilaga 1 Beskrivning av Sveriges nationella rapportering till klimatkonventionen av flöden av växthusgaser till följd av förändrad markanvändning och skogsbruk.....	56
Bilaga 2 Bakgrund till att åren 2001-2003 valts att representera ”normalår” i beräkningarna	60
Bilaga 3 En fördjupad utvärdering av osäkerheter och variationer vad gäller skattningar av förändringar av kolförråden i skogsekosystemen	62
Bilaga 4 Alternativ beräkning av skogsindustrins totala emissioner och upptag av växthusgaser med värden för organogena jordar baserat på klimatrapporeringen NIR (2008)	64

1 Inledning

1.1 Syfte och mål

Syftet med studien är att uppskatta svensk skogsindustris emissioner och upptag av växthusgaser och därigenom bedöma skogsindustrins klimatpåverkan. Detta har gjorts genom att uppdatera studien ”Svensk skogsindustris emissioner och upptag av växthusgaser – En bedömning av skogsindustrins bidrag till växthuseffekten” (Zetterberg & Cooper, 1994). Emissionsinventeringen skall göras för normalår som inte är påverkade av stormen Gudrun.

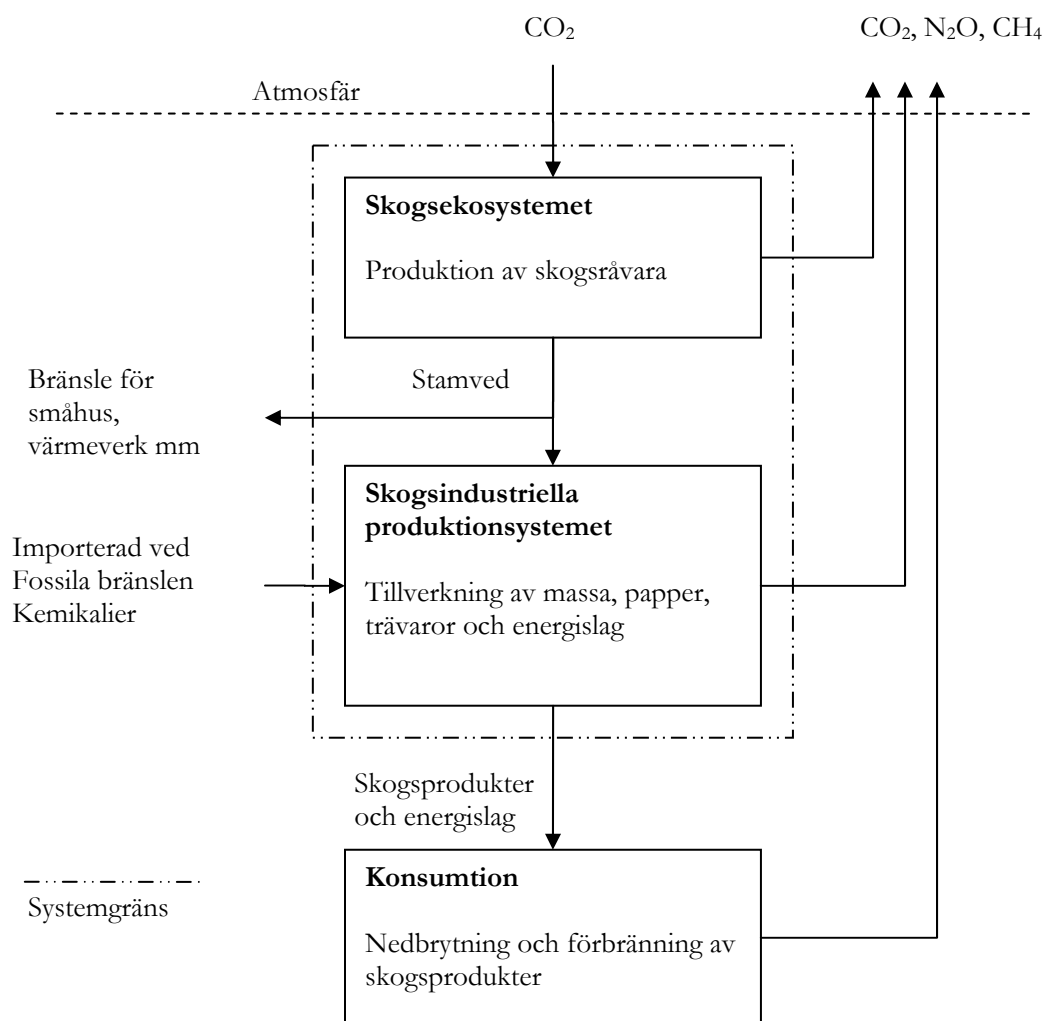
1.2 Systemgränser

I detta avsnitt presenteras de översiktliga systemgränserna och andra avgränsningar för inventeringen. Metodik och avgränsningar för respektive del av produktionssystemet beskrivs utförligt i respektive kapitel.

1.2.1 Relevanta upptag och emissioner av växthusgaser förknippade med skogsindustrin

Vedråvarans väg från det att den bildas i trädet till det att den bryts ned till koldioxid och vatten illustreras i Figur 1. I skogsekosystemet sker upptaget av koldioxid från atmosfären genom fotosyntesen och produktionen av cellulosa, lignin mm. Större delen av den avverkade stamveden går till industrianläggningar för tillverkning av massa, papper, sågade trävaror och olika energislag. En mindre del av stamveden går till annan användning såsom biobränsle i bostäder och värmeverk. Skogsprodukterna går slutligen till kund, där konsumtionen av skogsprodukterna och den slutliga nedbrytningen av cellulosan och emissionen av den en gång bundna koldioxiden till atmosfären sker.

I en bedömning av skogsindustrins bidrag till växthuseffekten blir valet av systemgränser avgörande för vilka emissioner och upptag som tillskrivs skogsindustrin. Man kan definiera vilka upptag och emissioner som skall tillskrivas skogsindustrin på flera olika sätt och dessa emissioner/upptag kan i sin tur beräknas på olika sätt. I avsnitt 1.2.2 beskrivs vilka avgränsningar som använts i denna studie.



Figur 1 Processer och materialflöden av relevans för skogsindustrins emissioner och upptag av växthusgaser. Figuren illustrerar cellulosa-fibers väg genom skogsekosystemet, tillverkningen av skogsprodukter och till konsumtionen där cellulosan slutligen bryts ned till koldioxid och vatten.

1.2.2 Emissioner och upptag av växthusgaser som ingår i inventeringen

Emissioner och upptag av växthusgaserna koldioxid (CO_2), lustgas (N_2O) och metan (CH_4) förknippade med svensk skogsindustri ingår i inventeringen. I denna studie väljer vi att tillskriva skogsindustrin de emissioner och upptag som sker i skogsekosystemet, vid skogsbruk och avverkning, vid tillverkningen av skogsprodukter och energislag samt alla transporter av skogsråvara och produkter inom Sverige. Emissioner förknippade med hanteringen av skogsprodukterna i konsumentledet tillskrivs inte skogsindustrin. Vi följer de rekommendationer som IPCC ger i 1996 års reviderade upplaga av Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories (Houghton m fl, 1997). Emissionerna från avverkad skog betraktas som om de genast avges till atmosfären. Det betyder att emissionerna från avverkad skog

tillskrivs dels produktionsåret, dels det land där denna avverkas; med andra ord tas ingen hänsyn till fördröjd emission från skogsprodukter med livslängd längre än ett år. Dock diskuteras kolinlagring i långlivade produkter i avsnitt 4.2.

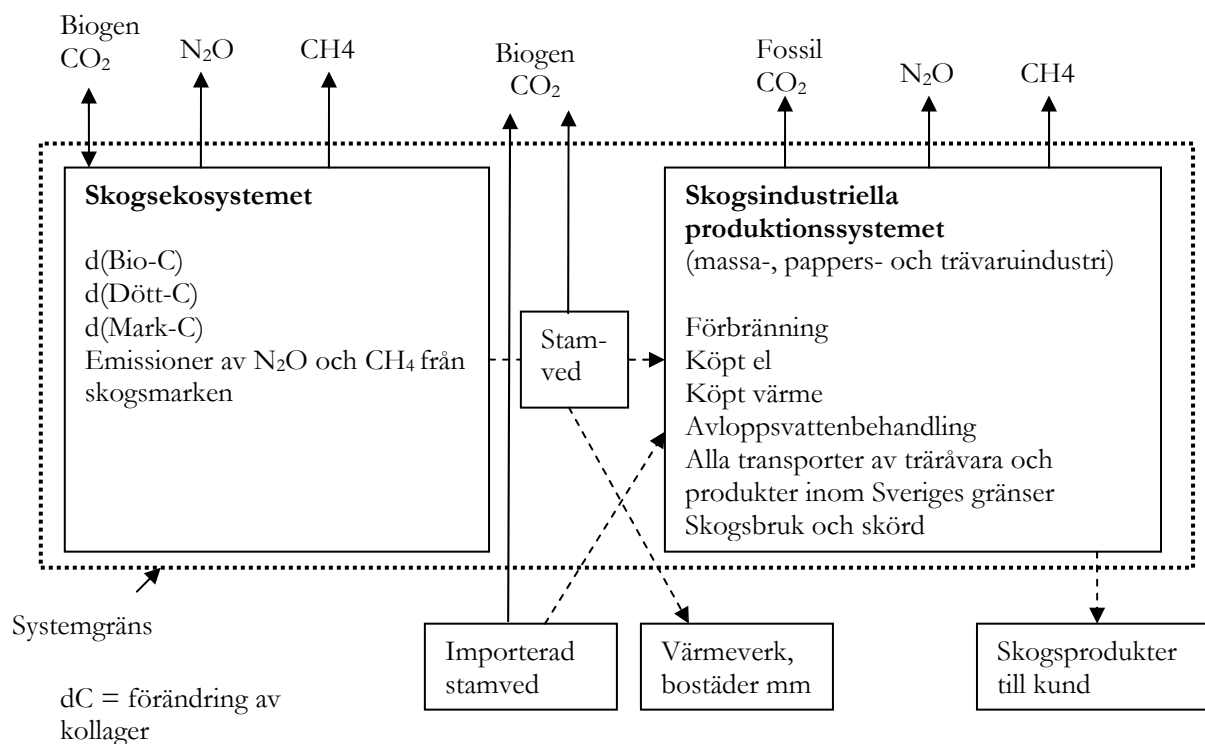
I studien redovisas emissioner och upptag av växthusgaser i två delsystem:

1. Skogsekosystemet
2. Skogsindustriella produktionssystemet
 - a. Arbetsmaskiner vid skogsbruk och skörd
 - b. Stationära anläggningar
 - c. Transporter

Vi vill understryka att avsikten inte är att göra en livscykelanalys för skogsprodukter. Det innebär att vi inte har inräknat emissioner och upptag av koldioxid för importerad cellulosa och inte heller emissioner (eller eventuella upptag) av koldioxid i konsument- eller avfallsledet av produkternas livscykel. Avsikten har varit att göra en inventering av emissioner och upptag för svensk skogsindustri, d v s inom det svenska skogsekosystemet och vid anläggningarna för produktion av skogsprodukter, i huvudsak massa, papper och sågade trävaror.

I skogsekosystemet sker ett upptag av atmosfärisk CO₂ genom fotosyntesen och emissioner av CO₂ genom bl a nedbrytning, respiration mm. Man kan visa att nettoemissionerna kan beräknas som kollagerförändringarna under ett givet år (Zetterberg & Cooper, 1996).

Emissionsinventeringen ska gälla för normalår, d v s år som inte är påverkade av stormen Gudrun. På grund av det sätt som riksskogstaxeringens inventeringar av provytor och beräkningar av kolförråd i skogsekosystemet är upplagt görs inventeringen därför för åren 2001-2003. Det är de senaste åren med tillräckligt många återinventerade provytor och med värden som inte är alltför påverkade av stormen Gudrun i januari 2005. Detta förklaras närmare i avsnitt 2.1 och Figur 2. I Figur 2 visas en schematisk bild över de processer och flöden som ingår i emissionsinventeringen.



Figur 2 Processer och flöden som ingår i emissionsinventeringen av växthusgaser för svenska skogsindustrin.

1. Skogsekosystemet

I skogsekosystemet ingår alla biogena processer som sker på svensk skogsmark.¹

Emissioner/upptag som ingår i inventeringen:

- Kollagerförändringar i levande biomassa
- Kollagerförändringar i dött organiskt material
- Kollagerförändringar i marken
- Emissioner av N₂O och CH₄ från skogsmarken

Avverkad skog betraktas och redovisas som en omedelbar emission av samma mängd koldioxid som den tagit upp. Det samma gäller importerad stamved.

Emissioner/upptag som inte ingår:

- Kollagerförändringar i utländsk skog associerat med importerad skogsråvara.
- Markemissioner av N₂O och CH₄ i utländsk skog associerat med importerad skogsråvara.

Importerad stamved ger på samma sätt som för svensk stamved upphov till emissioner/upptag av växthusgaser i skogsekosystemet. Om dessa tillskrivs svensk skogsindustri kan de utgöra en

¹ Skogsindustrin är inte den enda användaren av stamved. Stamved används även till uppvärmning av småhus och bostäder, samt som bränsle till värmeverk. Därmed bör inte alla av skogsekosystemets emissioner/upptag av växthusgaser tillskrivas skogsindustrin.

betydande del av de totala emissionerna/upptagen av växthusgaser. I denna studie ingår dock inte dessa flöden.

2. Skogsindustriella produktionssystemet

I det skogsindustriella produktionssystemet ingår emissioner av fossil CO₂ samt N₂O och CH₄ från industriella aktiviteter från skogsbruk och avverkning, tillverkning av produkter och transporter. Beräkningarna görs för produktionen åren 2001-2003, men moderna produktions- och energidata från 2005-2006 för industrianläggningarna har använts för att spegla så moderna förhållanden som möjligt¹.

Emissioner av biogen CO₂ genom förbränning av biobränslen redovisas separat men endast emissioner av fossil CO₂ inräknas i den totala emissionsbalansen.

Emissioner/upptag som ingår i inventeringen:

- Skogsmaskiner:
 - Emissioner av CO₂, N₂O och CH₄ vid skogsbruk och avverkning²
- Vid industrianläggningar. Hit räknas svensk massa- och pappersindustri, sågverksindustri och träskiveindustri.
 - Emissioner av fossil CO₂ samt alla emissioner av N₂O och CH₄ från:
 - Förbränningsprocesser.
 - Elkonsumtion (netto köpt el)
 - Värmeconsumtion (netto köpt värme)
 - Avloppsvattenbehandling
- Vid transporter:
 - Alla emissioner av CO₂, N₂O och CH₄ för transporter inom Sveriges gränser:
 - Transport av skogsråvara till förädlingsindustri
 - Transport av skogsprodukter och bränsleslag till kund
 - Transport av importerade och exporterade råvaror och produkter ingår också

Övriga emissioner/upptag som behandlas i rapporten men som ligger utanför systemgränsen:

- Kolinlagring i använda skogsprodukter. Betydelsen och storleksordningen av kolinlagring i använda skogsprodukter med lång livslängd diskuteras i ett separat kapitel, men några nya beräkningar rymms inte inom ramen för denna studie. I totala emissionsbalansen betraktas i denna studie den avverkade skogen som en omedelbar emission av den upptagna koldioxiden.
- Undvikna emissioner
 - En scenarioberäkning av undvikna emissioner från levererad värme och biobränslen från skogsindustrin görs också i samband med inventeringen. I beräkningarna antas levererad värme och biobränslen ersätta fossila bränslen. Undvikna emissioner tillskrivs dock inte skogsindustrin i den totala

¹ Processdata för 2006 och 2005 från industrianläggningarna har använts för att beräkna bränsle- och energiåtgång i produktionen. Dessa data har sedan applicerats på produktionen 2001-2003 och emissionerna av växthusgaser har sedan beräknats med hjälp av emissionsfaktorer. Detta för att få så moderna emissionsdata från industrierna som möjligt då stora förändringar skett de senaste åren. Detta beskrivs närmare i kapitel 3.

² Emissioner från arbetsmaskiner vid skogsbruk och transport till förädlingsindustrier ligger geografiskt sett i skogsekosystemet, men vi väljer att placera dessa emissioner i det skogsindustriella produktionssystemet.

emissionsbalansen, utan diskuteras endast i ett separat kapitel.

- Undvikna emissioner genom substitution: trä i byggnader och konstruktioner som ersätter andra material som stål och betong kan ge upphov till lägre emissioner av växthusgaser. Substitutionseffekter diskuteras kortfattat men ingår inte i emissionsbalansen.

Emissioner/upptag som inte ingår:

- Emissioner till följd av hantering av skogsprodukter i konsumentledet (t ex N₂O och CH₄ emissioner vid förbränning, CH₄ emissioner vid deponi)
- Emissioner vid produktion och transport av icke skogsbaserade råvaror som används inom skogsindustrin (t ex kemikalier, fossila bränslen)

2 Upptag/emissioner i skogsekosystemet

2.1 Metodik och avgränsningar

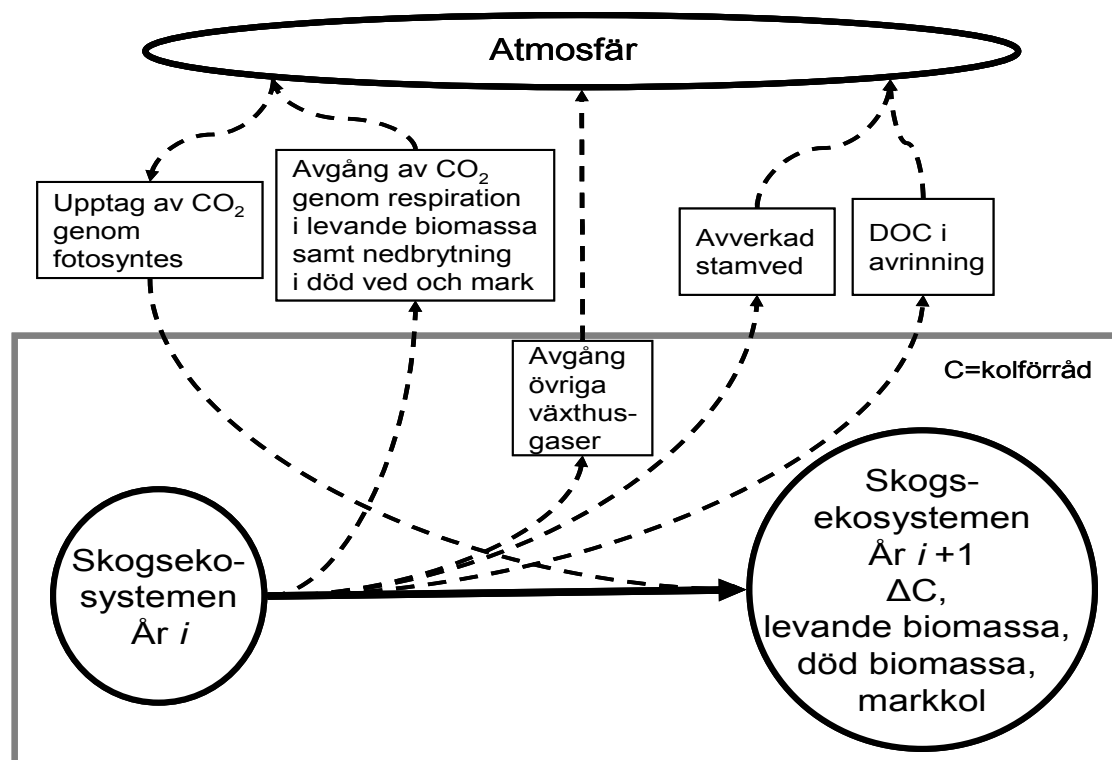
Med skogsekosystemet menas all produktiv skogsmark i Sverige. Upptag och emissioner av växthusgaserna koldioxid (CO₂), lustgas (N₂O) och metan (CH₄) i skogsekosystemet ingår i inventeringen. Upptag och emissioner av biogen koldioxid beräknas genom förändringar i kolförråden i levande biomassa, död biomassa och i marken. För organogena marker används beräkningar baserade på emissionsfaktorer.

Den mest avancerade metodiken för att beräkna förändringar av kolförråden i skogsekosystemen över tiden är den som används inom Sveriges internationella rapportering av växthusgaser till klimatkonventionen (National Inventory Report, NIR), inom området "Land-Use, Land-Use Change & Forestry" (LULUCF). Denna metodik är under ständig utveckling och den är förankrad i IPCC:s "Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry" (Penman m fl, 2003) och får därmed även betraktas som den mest accepterade metodiken.

Metodikerna bygger i huvudsak på upprepade inventeringar av Riksskogstaxeringens (RT) provtyper över tiden samt inventeringar av skogsmarken utförda inom ramen för Markinventeringen (MI). Utifrån dessa inventeringar beräknas årliga förändringar av de olika kolförråden genom interpolation och extrapolation. Vi har därför, inom uppdraget att bedöma skogsindustrins bidrag till växthuseffekten, valt att bygga våra beräkningar av flöden av växthusgaser till och från skogsekosystemen på dessa nationella beräkningar av förändringar av kolförråd över tiden, se Figur 3. Detta skiljer sig från 1994 års rapport där man baserade beräkningarna på processer, såsom beräknat upptag av CO₂ genom fotosyntesen och avgång genom nedbrytning av organiskt material.

För organogena jordar (dikade beskogade torvmarker) har dock Markinventeringens metodik visat sig ge osäkra och eventuellt missvisande resultat, varför beräkningarna för dessa marker istället baseras på emissionsfaktorer enligt von Arnold m fl (2005).

Avgången av övriga växthusgaser baseras på metodik som beskrivs i von Arnold m fl (2005).



Figur 3 En illustration av avgränsningarna för beräkningar av förändringar i kolförråden hos skogsekosystemen över tiden som ett resultat av ett aktivt skogsbruk. Förändringar av kolförråd beräknas som skillnader mellan år $i+1$ och år i . Flöden av övriga växthusgaser beräknas för samma tid. Avgränsningarna illustreras med en kraftig grå linje. Med DOC menas lösta organiska ämnen i avrinningen från skogsekosystemen.

För beräkningarna av årliga, nationella förändringar och flöden för ett ”normalskogsbruk” används data för åren 2001-2003. Detta har vi valt för att undvika effekter av stormen Gudrun, som inträffade i januari 2005 samt för att optimera säkerheten i skattningarna utifrån antalet inventerade provtytor inom RT. Genomgående används i beräkningarna tidssteget 1 år och flöden och ändringar i förråd uttrycks som miljoner ton CO₂-ekvivalenter. I sammanräkningen av totala upptag och emissioner av växthusgaser i skogsekosystemet (avsnitt 2.6) tillskrivs skogsindustrin de emissioner motsvarande den andel av den årliga avverkningen som går till skogsindustrin. En mindre del av avverkningen går till extern användning i bostäder och värmeverk i form av brännved, och denna andel av upptagen och emissionerna i skogsekosystemet tillskrivs inte skogsindustrin.

Inom Sveriges internationella rapportering har man ansatt att all produktiv skog i Sverige är brukad. De skogsområden som är avsatta som reservat mm, där ett aktivt skogsbruk ej bedrivs, räknar man med att nettoutbytet av växthusgaser är noll.

2.2 Diskussion om flöden av växthusgaser till och från skogsekosystemen

En översikt av det aktuella kunskapsläget vad gäller omsättningen av växthusgaser till och från skogsekosystemen ges i en artikel av Hyvönen m fl (2007) samt i en nyutkommen sammanfattning från det MISTRA finansierade LUSTRA-programmet (LUSTRA, 2007). Sammanfattningsvis kan man konstatera att den långsiktiga upplagringen av kol är avsevärt större i marken jämfört med ovanjordiska delar. Relationen går från 2:1 för nordliga tempererade skogar till 5:1 för boreala skogar. Det totala upptaget av kol tenderar till att vara högre för tempererade jämfört med boreala skogar. Faktorer som gynnar ett upptag av kol till skogsekosystemen är en lång växtsäsong, höga lufttemperaturer samt en hög humiditet. Under identiska klimatförhållanden tar städsegröna trädslag upp mer kol jämfört med lövfällande. Yngre skogar tar generellt upp mer kol jämfört med äldre bestånd. Upptaget kulminerar vid en beståndsålder mellan 10 och 60 år och minskar därefter.

Mellanårsvariationen vad gäller upptaget/avgången av kol till skogsekosystemen är mycket stor. Ena året har ett visst bestånd ett nettoupptag av kol medan det påföljande år kan ha en nettoavgång, främst beroende på variationen i väder och vattentillgång.

En viktig och kontroversiell fråga är långsiktigheten hos upplagringen av kol till skogsekosystemen. Att förutsäga framtida växthusgasbalans för skogen är svårt eftersom den påverkas av en mängd faktorer såsom koldioxidhalten i luften, kvävenedfallet från luften, nederbörden, temperaturen, skogsbruksmetoder mm. Det är troligt att unga, nyetablerade bestånd alltid kommer att vara kolsänkor (Hyvönen m fl, 2007). Nyckelfrågan är vad som händer med de åldrade bestånden. Ett varmare klimat kommer att öka biomassa- och därmed också förnaproduktionen i skogsekosystemet vilket gynnar kolupplagring. Samtidigt kommer nedbrytarnas aktivitet att öka. Effekten av en uppvärmning på nedbrytarnas aktivitet kan vara större än effekten på förnaproduktionen vilket kan leda till att en uppvärmning resulterar i en minskning av skogsmarkens kolförråd (Ågren, 2006).

En annan viktig fråga är hur produktionsförhållandena för svenskt skogsbruk kommer att se ut på 50 – 100 års sikt. Det är sannolikt att lufttemperaturerna kommer att vara högre och växtsäsongen längre och nederbördsmonstren kommer sannolikt att ändras. Nedfallet av kväve från luften kommer sannolikt att minska långsamt medan halterna av ozon nära marken kommer att öka. Båda dessa faktorer kommer att minska produktionen medan ökande halter av koldioxid i luften sannolikt kommer att öka produktionen. En annan fråga i sammanhanget är hur kommer detta att avspeglar sig i vilka trädslag som kommer att användas i skogsbruket framöver?

En översikt vad gäller framtida skogsbruk ges i Sårbarhetsutredningen 2007 av Hillevi Eriksson, Skogsstyrelsen. Hon föreslår bl a att man inom skogsbruket redan nu bör öka antalet trädslag och provenienser, öka andelen blandbestånd samt variera sina gallringsregimer. Hon föreslår vidare bl a att man ökar andelen tall i torkkänsliga och vindutsatta områden i Götaland och Svealand, medan man kan öka andelen gran i Norrland på marker med god produktionsförmåga. Det är sannolikt att vi kommer få en ökad produktion i Sveriges skogar som en följd av klimatförändringarna. Det finns dock potentiella problem med ökad inverkan av skadegörare. Det kan även bli problem med vattentillgången i sydöstra Sverige.

2.3 Bakgrund till beräkningar av kolförrådsförändringar i skogsekosystemet

2.3.1 Sveriges nationella rapportering till klimatkonventionen av flöden av växthusgaser till följd av förändrad markanvändning och skogsbruk

Metodikerna som används för beräkningar av förändrade kolförråd i skogsekosystemen till grund för Sveriges internationella rapportering inom klimatkonventionen beskrivs i detalj i Bilaga 1, Bilaga 2 och Bilaga 3.

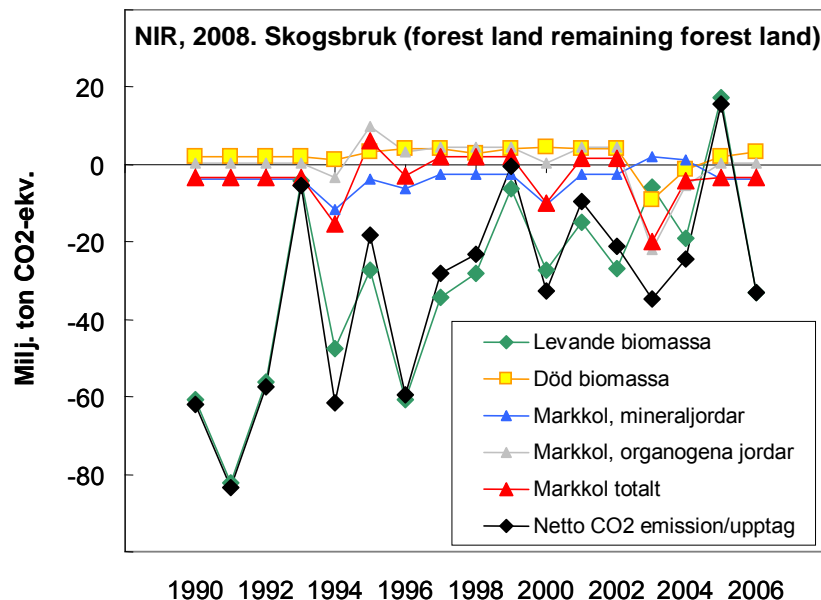
Beräkningarna baseras på Riksskogstaxeringens ca 30 000 permanenta provytor, vilka återinventeras ungefär vart femte år. Förändringen i markanvändning, kolupplagring, biomassa etc. beräknas separat för en viss provyta, gentemot den föregående inventeringen av ytan ifråga. Data för skogsmarken baseras på Markinventeringen (MI).

2.3.2 Resultat från Sveriges nationella rapportering

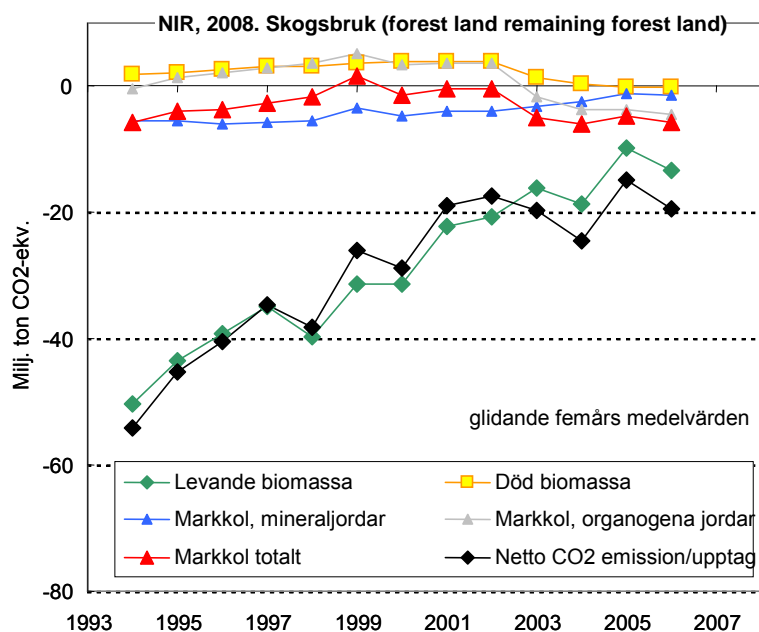
Tidsserierna för förändringar av olika kolförråd inom skogsekosystemen, såsom de redovisas inom Sveriges submission 2008 (NIR, 2008), visas i Figur 4, dels som årliga värden (Figur 4A) dels som glidande femåriga medelvärden (Figur 4B). Glidande femåriga medelvärden innebär att det värde som anges för 2006 är ett medelvärde för perioden 2002-2006, värdet för 2005 är ett medelvärde för 2001-2005 och så vidare.

En stor mängd kol binds in till levande och död biomassa, inklusive humuslager. Emellertid avgår nästan lika mycket kol från mineraljorden samt organiska torvjordar. Nettoförändringen av kollagren i skogsekosystemen blir således relativt liten. Den totala mängden kol i svensk skogsmark, inklusive humusskikt, är beräknad till ca 7 000 miljoner ton CO₂ ekvivalenter (ca 8 kg kol/m²) (LUSTRA, 2007). Den årliga förändringen är således en mycket liten fraktion av allt kol som är upplagrat i skogsekosystemen. En stor andel av CO₂ avgången från markkolförrådet kommer från dikad skogsbevuxen torvmark (Histosoler). Ca 40 % av all torvmark beräknas som påverkad av dikning. Ca en sjättedel av virkesförrådet i Sveriges skogar står på torvmark (Hänell, 2006).

A



B



Figur 4 Årliga nationella värden för förändringar av olika kolförråd i skogsekosystemet så som de rapporteras i 2008 års submission (NIR, 2008), uttryckt som CO₂-ekvivalenter. Värdena omfattar endast skogsbruk (forest land remaining forest land). Positiva värden anger avgång till, negativa värden upptag av växthusgaser från atmosfären. A: Årliga värden. B: Glidande femårsmedelvärden (värdet som anges för 2006 är ett medelvärde för perioden 2002-2006, värdet för 2005 är ett medelvärde för 2001-2005 och så vidare).

2.4 Beräkningar inom uppdraget

2.4.1 Förändringar i skogsekosystemets kolförråd 2001-2003

Beräkningarna av årliga förändringar i skogsekosystemens kolförråd grundar sig på värden för åren 2001-2003 så som de rapporteras i Sveriges internationella rapportering 2008, av skäl som redovisats ovan samt i Bilaga 2. Ett undantag är markkolet, vilket diskuteras vidare nedan. I Figur 4A kan man jämföra värdena för dessa år med beräknade värden för andra år under perioden 1990-2006. Lägg märke till att stormen Gudrun inträffade år 2005.

Nettoförändringen av skogsekosystemens kolförråd domineras av förråden i den levande biomassan (Tabell 3 och Figur 4). Mellanårsvariationen hos de beräknade förändringarna av kolförråden är stor. Detta har i huvudsak metodtekniska orsaker och har inte fullt ut sin motsvarighet i verkligheten. Genomsnittliga värden över längre tidsperioder ligger dock på rätt nivå (Hans Petersson, SLU, personlig kommunikation). Beräkningar över perioden 1999-2003 istället för 2001-2003, förändrade varken medelvärdena eller variationen (Tabell 1). Den årliga upplagringen av kol i den levande biomassan har minskat sedan 1990-talet, vilket kan bero på ett ökat virkesuttag (jämför Figur 15 i Bilaga 3).

Det anges i NIR 2008 att beräkningarna utifrån Markinventeringen nu tyder på att de årliga förändringarna av markkolet är små. Inom LUSTRA programmet (LUSTRA, 2007) har man beräknat förändringarna av kolförråden i mineraljorden för tre olika platser, i södra, mellersta och norra Sverige. Dessa beräkningar ger vid handen att kolförråden i mineraljorden minskar i norra och mellersta Sverige men är relativt oförändrade i södra Sverige. Trots att vi grundar våra beräkningar på vad vi anser vara bästa möjliga kunskapsunderlag måste vi dra slutsatsen att beräkningar av förändringar av kolförråden i mineraljorden fortfarande är osäkra, främst beroende på att förändringarna utgör endast en mycket liten del av ett gigantiskt kolförråd i den svenska skogsmarken.

De skattningar som är mest osäkra är markkolet i organogena jordar. Dessa jordar utgörs i huvudsak av torvmossor som har dikats och därefter planterats med skog. Avgången från dessa marker varierar över tiden med en mycket hög avgång initialt och därefter minskande över tiden. Det är tekniskt mycket svårt att ta prover från torvmarker. Detta gör att skattningar av detta kolförråd blir mycket variabelt och det finns en stor risk för systematiska fel (Erik Karlton, SLU, personlig kommunikation). Detta framträder i Figur 4A t ex genom ett svårmotiverat stort negativt värde 2003. Inom Sveriges internationella rapportering kommer man därför nästa år, 2009, sannolikt att ändra metodiken för att rapportera markkolet i organogena jordar. Man kommer istället att övergå till en metod baserad på emissionsfaktorer för denna typ av marker. Förrådet av markkol inom organogena marker kommer då sannolikt att övergå från att ha varit en sänka till att bli en källa för koldioxid (Erik Karlton, SLU, personlig kommunikation).

På grund de osäkerheter i klimatrapporeringens värden för organogena jordar som diskuteras ovan väljer vi i denna rapport att istället använda de värden som anges i den vetenskapliga artikeln av von Arnold m fl (2005) för de årliga förändringarna av kolförråden i marken i organogena jordar (Tabell 2). I denna artikel uppskattade man förändringen av kolförråd och flöden av övriga växthusgaser utifrån emissionsfaktorer som man sammanfattat från litteraturen. Dessa emissionsfaktorer härrör från olika direkta mätningar av avgången av gaserna ifråga från marken i Sverige och Finland. Detta innefattar all biologisk aktivitet i marken, men genom att använda en faktor har man uteslutit den del som härrör från rötternas aktiviteter. En ytterligare skillnad

gentemot den metodik som används inom Sveriges rapportering till klimatkonventionen är att emissionsfaktorerna innefattar avgången från hela marken, d v s även från förna och humuslager. Inom Sveriges rapportering till klimatkonventionen räknas förna och humuslager till fraktionen dött organiskt material. Emellertid är lagren av förna och humus normalt inte särskilt omfattande för organogena jordar, så felet blir relativt litet. En ytterligare skillnad är att von Arnold m fl (2005) inte räknar med något tillflöde av kol till markkolet från förna och humus. Återigen blir detta fel relativt litet för denna typ av marker (Erik Karlton, SLU, personlig kommunikation). Resultaten från von Arnold m fl (2005) tyder på att organogen skogsmark är en stor källa av CO₂, 10,8 milj ton CO₂ (Tabell 2), till skillnad från klimatrapporeringen där organogen skogsmark som årsmedelvärde för 2001-2003 ger ett upptag på ca 4,4 milj ton CO₂ (Tabell 1).

Osäkerheter kring skattningarna av kollagerförändringarna diskuteras vidare i Bilaga 3.

Tabell 1 Beräknade värden för årliga förändringar av skogsekosystemets kolförråd, som redovisas inom Sveriges internationella rapportering, NIR 2008, för åren 2001-2003. Positiva värden anger avgång till, negativa värden upptag av växthusgaser från atmosfären som ett resultat av skogsbruk.

2008 års rapportering till klimatkonventionen Åren 2001-2003						
[milj ton CO ₂ -ekvivalenter år ⁻¹]						
	Levande biomassa	Dött organiskt material	Markkol mineraljord	Markkol organogena jordar	Markkol, totalt	Skogseko- systemet totalt
Medelvärde	-15,8	-0,4	-1,14	-4,36	-5,5	-21,7
Standard avvikelse mellan åren	10,8	7,4	2,6	15,1	12,5	12,5

Tabell 2 Beräknade värden för årliga förändringar av skogsekosystemets kolförråd som redovisas inom Sveriges internationella rapportering, NIR 2008, för åren 2001-2003, men där värdena för markkolet i organogena jordar härrör från von Arnold m fl (2005). Värdena för markkolet totalt samt skogsekosystemet totalt är beräknade inom innevarande studie. Positiva värden anger avgång till, negativa värden upptag av växthusgaser från atmosfären som ett resultat av skogsbruk. Dessa värden används i beräkningarna i denna studie.

2008 års rapportering till klimatkonventionen Åren 2001-2003 Värden för markkol i organogena jordar från von Arnold m fl (2005) [milj ton CO ₂ -ekvivalenter år ⁻¹]						
	Levande biomassa	Dött organiskt material	Markkol, mineraljord	Markkol, organogena jordar	Markkol, totalt	Skogseko- systemet, totalt
Medelvärde 2001- 2003	-15,8	-0,4	-1,14	10,8	9,7	-6,5
Standard avvikelse mellan åren 2001-2003	10,8	7,4	2,6	8,3-13,7 ¹⁾	-	-

¹⁾ osäkerhetsintervall skattad av von Arnold m fl (2005).

2.4.2 Flöden av övriga växthusgaser till och från dikade skogsbevuxna torvmarker

Rapporteringsen av flöden av växthusgaser till och från dikade skogsmarker är inom klimatkonventionen frivilligt och Sverige rapporterar ännu ej detta. Detta beror på att metodiken ännu ej anses färdigutvecklad, men kan komma att förändras framgent.

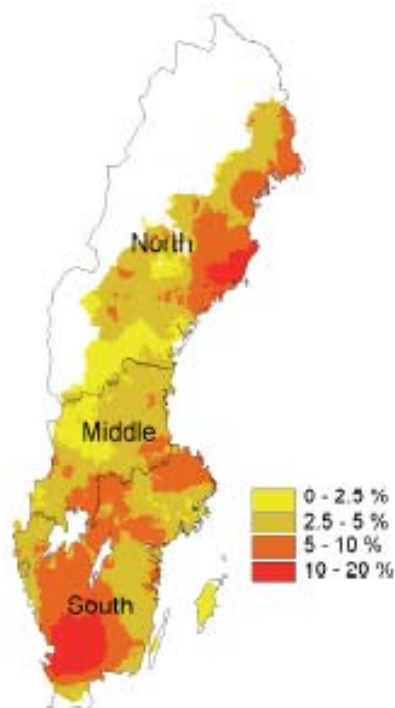
Som tidigare diskuterats utgör upptag och avgång av växthusgaser från skogsbevuxen torvmark en viktig faktor som avgör nettoflödet av växthusgaser för skogsmarken, i synnerhet för södra Sverige och i synnerhet för dikade marker (von Arnold, 2004). Dikad torvmark utgör endast fem procent av den totala skogsmarksarealen i Sverige men står för 15 % av skogsmarkens samlade utsläpp av växthusgaser (Strömberg, 2006). Sveriges totala areal av skogsmark är ca 23 milj ha. Av detta är ca 5 milj ha skogsbevuxen, produktiv torvmark. Ca 1,2 milj ha av den produktiva torvmarken har någon gång dikats. Förekomsten av dikad skogsbevuxen torvmark är särskilt hög i sydvästra Sverige (Figur 5).

Dikning av skogsbevuxen torvmark resulterar generellt i en högre skogsproduktion och följaktligen i en större inbindning av kol till den levande biomassan. Dock ger dikning också en högre nedbrytning av markkolet eftersom syre blir tillgängligt för en aerob nedbrytning. Dikade torvmarker har i de flesta fall befunnits vara nettoavgivare av såväl CO₂ som N₂O. Anaerob (i frånvaro av syre) nedbrytning av torvjordar kan resultera i en avgång av metan, CH₄. Dränerade skogsmarker kan vara antingen en källa eller en sänka för CH₄. Avgången av CH₄ minskar med ökat grundvattendjup. Vidare är avgången av CH₄ beroende av markens näringsstatus, med lägre avgång för näringsrikare marker. Avgången av CH₄ är således störst för näringsfattiga, fuktiga marker.

Lustgas (N₂O) produceras vid nitrifikation och denitrifikation. Avgången av N₂O minskar med ökat grundvattendjup (von Arnold, 2004). Avgången av N₂O från dåligt dränerade jordar är särskilt hög för näringsrika marker (låg C/N kvot) (von Arnold m fl, 2005). Avgången av N₂O är högre från lövskog jämfört med barrskog.

Grundvattennivån har en avgörande betydelse för tecknet på flödena av växthusgaser (von Arnold, 2004). Generellt är väl-dränerade organiska jordar en större källa för växthusgaser jämfört med dåligt dränerade jordar. På nationell nivå är skogsbevuxna dåligt dränerade organiska jordar sannolikt en sänka för växthusgaser (von Arnold, 2004).

Summerat för hela landet har lustgasavgången från dikade torvmarker beräknats till ca 0,7 milj ton CO₂-ekvivalenter (von Arnold m fl, 2005). Den beräknade avgången av CH₄ är 0,07 milj ton CO₂-ekvivalenter.



Figur 5 Andel dikad skogsmark på torv i Sverige av totala skogsmarksarealen. Källa: von Arnold m fl (2005).

2.5 Beräkningar av upptag och avgång av biogen CO₂ från skogsekosystemen i 1994 års rapport

I 1994 års rapport (Zetterberg & Cooper, 1994) beräknades att skogsekosystemen årligen tog upp 100 milj ton kol genom fotosyntesen, medan 76,7 milj ton kol avgick genom nedbrytning av organiskt material. Av detta kolupptag var 9 milj ton C kollagerökning i levande biomassa, stamvedsuttag 13,6 milj ton C och avrinning av kolhaltigt vatten på 0,7 milj ton C. Dessutom inräknades ett upptag på 1,3 milj ton kol genom import av stamved. Det årliga nettoupptaget av kol till skogsekosystemen, inklusive utlandet, beräknades sålunda till 24,6 milj ton kol. Av detta kunde skogsindustrin tillgodogöra sig 86,7 % eftersom biomassa från skogen även går till värmeverk, bostäder samt övrig industri. Sammanfattningsvis beräknades att skogsindustrin kunde tillgodoräkna sig ett årligt bruttoupptag på 21,3 milj ton kol i skogsekosystemet, vilket kan räknas om till 78 milj ton CO₂-ekvivalenter. Kolet i den avverkade stamveden och importerad stamved som användes av skogsindustrin (13 milj ton C) avgick sedan till atmosfären genom förbränning och biologisk nedbrytning i tillverkningsprocesserna och vid konsumtion av skogsprodukterna. Skogsindustrin kunde således tillgodoräkna sig ett nettoupptag av biogent kol motsvarande 8,3 milj ton C/år * 0,867, vilket kan räknas om till 26,7 milj ton CO₂-ekvivalenter.

2.6 Sammanfattande resultat: skogsekosystemet

Övergripande resultat av de nya beräkningarna av förändrade kolförråd samt flöden av växthusgaser till och från skogsekosystemet ges i Tabell 3. Alla värden är beräknade som CO₂-ekvivalenter. Dels redovisas de nationella värdena och dels den andel som tillskrivs skogsindustrin. Vi har valt att tillskriva skogsindustrin de upptag och emissioner som sker i skogsekosystemet motsvarande den andel av den avverkade stamveden som går till skogsindustrin. Som redovisas i avsnitt 3.2 går 91,1 % av den avverkade stamveden för åren 2001-2003 till skogsindustrin, resten är brännved som går till bostäder och kraftvärmeverk. Således tillskrivs skogsindustrin 91,1 % av de upptag och emissioner av växthusgaser som sker på svensk skogsmark. Som jämförelse ges värden för 1991 beräknade från de uppgifter som ges i 1994 års rapport (Zetterberg & Cooper, 1994).

Resultaten av beräkningarna av förändringar av kolförråden och växthusgasflöden i skogsekosystemet på nationell nivå visar på ett årligt upptag av växthusgaser motsvarande 5,7 milj ton CO₂-ekvivalenter. Skogsindustriens andel av detta är ca 5,2 milj ton CO₂-ekvivalenter. Det råder dock mycket stora osäkerheter när det gäller kollagerförändringar i skogsekosystemet, särskilt när det gäller markkol på organogena jordar. Uppskattningen för markkol på organogena jordar bygger på en vetenskaplig artikel av von Arnold m fl (2005), som visar att dessa marker emitterar 9,8 milj ton CO₂ (skogsindustriens andel). Klimatrapporteringens beräkningar (NIR, 2008) visar istället på ett upptag på ca 4 milj ton CO₂, vilket för *skogsekosystemet* som helhet skulle innebära ett betydligt större upptag på ca 19 milj ton CO₂-ekvivalenter. I Bilaga 4 visas beräkningarna baserat på klimatrapporteringens värden för organogena jordar. Vi gör dock bedömningen att det nettoupptag av CO₂ på organogen mark som redovisas i klimatrapporteringen, NIR (2008), snarare är en nettokälla. Vidare forskning behövs för att få säkrare uppskattningar om kolförrådsförändringar i organogen skogsmark.

Avgränsningarna som använts vid beräkningarna är de som visas i Figur 3, d v s inräknat i balansräkningarna är endast förändringar i kolförråden levande och död biomassa samt markkol samt flöden av växthusgaser utöver förändringar av kolförråd. Motsvarande resultat av beräkningar utifrån de värden som angavs i 1994 års rapport blir 26,7 milj ton CO₂-ekvivalenter (skogsindustriens andel). I den tidigare rapporten från 1994 angavs ett värde 74 milj ton CO₂-ekvivalenter för skogsekosystemets bidrag till växthuseffekten. Detta beror på att ett annat beräkningssätt användes som var baserat på nettoeffekterna av processerna fotosyntes och nedbrytning. Denna nettoskillnad inkluderar även avverkad och importerad stamved men detta drogs istället bort i ett annat ställe i beräkningarna.

Tabell 3 Resultat från beräkningar av förändrade kolförråd och övriga flöden av växthusgaser till och från skogsekosystemet. En jämförelse görs också med beräknade värden från 1994 års rapport.

	milj ton CO ₂ -ekvivalenter		
	Nationella årsmedelvärden 2001- 2003	Skogsindustriens andel för 2001- 2003	1994 års rapport
Skogsekosystemet, totalt	-5,7	-5,2	-26,7
Därav:			
a. Förändring av kolförråd, totalt	-6,54	-5,96	-28,6
Därav:			
i. Levande biomassa ¹⁾	-15,8	-14,4	-28,6
ii Död biomassa ¹⁾	-0,40	-0,36	
iii Markkol, mineraljord ¹⁾	-1,14	-1,04	0
iv Markkol, organogena jordar ²⁾	10,8 (8,3-13,7) ⁵⁾	9,83 (7,6-12,5) ⁵⁾	0
b. Flöden av växthusgaser utöver förändringar av kolförråd i skog, totalt	0,87	0,80	4,1
Därav:			
i Kvävegödsling, N ₂ O	0,01	0,009	
ii Dikade marker, N ₂ O	0,7	0,64	4,1
iii Dikade marker, CH ₄	0,07	0,06	0
iv Omvandling till åkermark, N ₂ O	0,04	0,04	0
v Skogsbränder ³⁾	0,055	0,05	
c. DOC i avrinning ⁴⁾	-	-	-2,2

¹⁾ Baserat på NIR (2008)

²⁾ Baserat på von Arnold m fl (2005). I NIR (2008) anges istället ett upptag på 4,4 milj ton CO₂-ekvivalenter men av skäl som beskrivits ovan bedömer vi att det snarare sker en stor avgång av CO₂ från organogena jordar såsom beräknats i von Arnold m fl (2005). Osäkerheten på denna post är dock stor.

³⁾ Emissioner av CO₂, N₂O och CH₄. Av totala emissioner CO₂-ekvivalenter utgör CO₂ 92 %

⁴⁾ Kol i avrinning antas nu som emission, och inräknas därför i kollagerförändringarna

⁵⁾ Osäkerhetsintervall utifrån von Arnold m fl (2005)

2.7 Sammanfattande kommentarer och uppskattning av osäkerheter för beräkningar av växthusgasflöden på nationell nivå

Våra beräkningar baserar sig på den metodik som används för Sveriges nationella rapportering av förändrade kolförråd till klimatkonventionen. Denna metodik får anses vara bland den mest utvecklade som finns tillgänglig, även i en internationell jämförelse. Den period som omfattas av Kyotoprotokollet börjar 1 januari 2008 och när rapporteringen för detta år börjar får den metodik som länderna avser att använda inte ändras. Dock kommer insamlingen av data fortsätta vilket kommer att medföra att skattningarna av de olika kolförrådsförändringarna kommer att bli allt bättre. Särskilt gäller detta markkollaget eftersom Markinventeringens utformning på senare tid optimerats gentemot Kyotoprotokollets period 2008-2012. I den skogsproposition som regeringen presenterade under våren 2008 anges att Sverige avser att driva att upptaget av växthusgaser till skogsekosystemen skall kunna räknas i ländernas rapportering till klimatkonventionen även efter Kyoto-protokollets utgång. Detta innebär att metodikutvecklingen inom detta område kommer att fortsätta.

Det kan inte nog betonas att beräkningarna av årliga förändringar av kolförråden i skogsekosystemen involverar mycket stora osäkerheter, framförallt vad gäller förändringarna av kolförråden i marken, både i organogena jordar och mineraljordar. För de organogena jordarna tyder mycket på att de värden som rapporteras i NIR, 2008 kommer att förändras från ett nettoupptag till en nettokälla av CO₂ i och med att beräkningsmetodik förändras till att bygga på emissionsfaktorer på liknande sätt som gjorts i von Arnold m fl (2005). Forskning pågår på detta område och det är därför svårt att säga hur stora kollagerförändringarna för de organogena jordarna är. I studien redovisar vi därför värden från von Arnold m fl (2005), vilken vi anser är den mest trovärdiga uppskattningen som finns tillgänglig för närvarande. Dock görs också i Bilaga 4 en alternativ beräkning som bygger på klimtrapporteringens värden för organogena jordar, vilket ger ett helt annat resultat för skogsindustrin. Dessa två alternativa siffror ger en indikation på det osäkerhetsintervall som råder just nu. För skogsmarker i allmänhet och för dikade torvmarker i synnerhet är det stora inomårsvariationer liksom stora mellanårsvariationer av emissioner och upptag av växthusgaser, beroende på väderfaktorer. För dikade skogsmarker skiljer sig också emissionerna för bördiga respektive näringsfattiga marker, vilket gör det svårt att skala upp till nationell nivå.

En betydelsefull faktor i detta sammanhang är en eventuell ökande dikning av skogbevuxna torvmarker som kan öka avgången av växthusgaser från dessa marker. Inlagringen av kol i den levande biomassan i de svenska skogsbestånden är relativt klart belagd, även om den förefaller vara i minskande sedan 1990-talet. Den årliga ökningen av detta kolförråd ligger sannolikt inom intervallet 5-25 milj ton CO₂-ekvivalenter. Avgörande för den framtida utvecklingen av detta kolförråd blir den framtida tillväxten i relation till storleken på uttaget av virke och GROT från skogen, vilket i sin tur påverkas av efterfrågan av skogsprodukter i många olika sammanhang i samhället (se t ex Oljekommissionens rapport, 2006). Man kan fråga sig under hur lång tid virkesförrådet kan fortsätta att öka i svensk skogsmark. Framtida tillväxt utvärderas regelbundet av Skogsstyrelsen i s.k. skogliga konsekvensanalyser (SKA). I den senaste konsekvensanalysen (SKA03, Gustavsson & Hägg, 2004) kommer man fram till att virkesförrådet i skogsmark utanför reservat kommer att öka ordentligt under den närmaste 100-årsperioden, från 2 900 till 3 800 milj m³sk. Man förutsäger vidare att lövträdens andel kommer att öka medan andelarna av tall och gran kommer att minska. Även andelen äldre skog förutsägs öka. Således förefaller det som att det finns förutsättningar för att inlagringen av kol i skogens levande biomassa kan komma att fortsätta öka under mycket lång tid framöver.

Som ett medelvärde över flera år sker det sannolikt ett nettoupptag av växthusgaser till skogsekosystemen som helhet motsvarande mellan ca 5 milj ton CO₂-ekvivalenter årligen, men detta upptag kan med tanke på osäkerheterna vara både större och mindre.

3 Det skogsindustriella produktionssystemet

3.1 Avgränsningar och metodik

I detta avsnitt behandlas alla de aktiviteter som sammanhänger med den industriella användningen av skogen från skogsbruk och avverkning fram till de färdiga skogsprodukterna. Skogsindustrin definieras i detta fall som primärproducenterna av skogsprodukter d v s produktion av massa och papper, sågade trävaror, plywood och faner, spånskivor samt träfiberskivor. Studien omfattar den svenska skogsindustrin d v s produktionsanläggningar belägna i Sverige. Skogsskötsel och avverkning omfattar på motsvarande sätt skogar belägna i Sverige. För transporter ingår de transporter som sker inom Sverige.

Studien avser att spegla den moderna svenska skogsindustrin under normala driftsförhållanden. För att spegla så moderna miljö- och driftsdata som möjligt har därför produktionsdata för åren 2005-2006 använts i så stor utsträckning som möjligt. Som beskrivits tidigare har dock de svåra stormarna Gudrun (januari 2005) och Per (januari 2007) allvarligt påverkat det svenska skogsbruket så att produktionsdata för skogsbruket och därmed också produktionsdata för skogsindustrin har valts på ett sådant sätt att det inte skall ha påverkats av stormarna utan i stället spegla normala driftsförhållanden. Av dessa skäl och för att också i någon mån stabilisera årsvariationerna har därför ett medelvärde av åren 2001-2003 valts som utgångspunkt för beräkningarna i både *skogsekosystemet* och det *skogsindustriella produktionssystemet*. Ingen hänsyn har dock tagits till variationer i konjunkturcyklerna.

Tillvägagångssättet vid emissionsberäkningarna har därför varit att data över förbrukning av bränsle, el och värme etc. för produktionen åren 2005 och 2006 har använts och sedan multiplicerats med produktionen för åren 2001-2003. Därefter har emissionerna av växthusgaser beräknats med hjälp av emissionsfaktorer (som beskrivs i avsnitt 3.1.1). Emissionsberäkningarna gäller alltså för 2001-2003 men har beräknats med hjälp av moderna drifts- och produktionsdata från 2005-2006.

3.1.1 Emissionsfaktorer

De tre klimatgaserna koldioxid, lustgas och metan emitteras alla i olika utsträckning vid förbränning av olika bränsletyper i industrianläggningarna och vid transporter. Emissionerna beror bl a på bränsleslag och förbränningsbetingelser. Detsamma gäller för produktionen av använd el. Vid emissionsberäkningarna i det *skogsindustriella produktionssystemet* har således olika emissionsfaktorer använts, vilka redovisas i Tabell 4. Nedan ges en bakgrund till de använda emissionsfaktorerna. En viss emission av dessa växthusgaser sker också i samband med avloppsvattenbehandling vid massa- och pappersbruken, vilket beskrivs i kapitel 3.3.1.

Koldioxid, CO_2 bildas genom att kolinnehållet i t.ex. att bränsle oxideras. Kol som finns bundet i bränslet övergår nästan fullständigt till CO_2 vid förbränning. En viss mängd av oförbränt kolväte och kolmonoxid, CO , kan också bildas men detta övergår förr eller senare till CO_2 i atmosfären. Emissionerna av koldioxid från förbränning kan därför beräknas relativt exakt ur kolinnehållet för respektive bränsle. För koldioxidemissioner från förmultnande material eller från reningsanläggningar kan emellertid situationen vara mera komplex.

Dikväveoxid, N₂O, (lustgas) bildas främst i mikrobiologiska processer samt vid förbränningsprocesser. För Sverige som helhet är det de mikrobiologiska processerna i åkermark, skogsmark, våtmarker och sjöar som svarar för ca 90 % av dikväveoxidemissionerna (Cooper m fl, 1991). Dikväveoxid från förbränning bildas enligt vad man idag känner till från bränslets kväveinnehåll. En låg förbränningstemperatur (t.ex. i fluidiserade bäddar) gynnar uppkomsten av N₂O. Vissa avgaskatalysatorer (t.ex. 3-vägs-katalysatorer i bilar) kan också gynna bildningen av N₂O. Två viktiga faktorer kan således urskiljas – bränslets sammansättning och förbränningsbetingelserna inklusive reningsutrustningar. Det är mycket svårt att på teoretisk väg beräkna N₂O-emissionen utan man är helt hänvisad till mätdata för olika anläggningar. Ett visst mätdataunderlag finns för N₂O-emissionerna från skogsindustrins förbränningsanläggningar men dataunderlaget är relativt begränsat. I studien har vi därför valt att i största möjliga utsträckning använda de emissionsfaktorer som används vid den internationella rapporteringen av växthusgaser. En god samstämmighet finns dock mellan de officiella emissionsfaktorerna och mätvärden från skogsindustrin. En uppskattning om N₂O emissioner i samband med avloppsvattenbehandling görs också i studien.

Metan, CH₄ bildas huvudsakligen i biologiska processer genom ett antal olika anaeroba (syrefria) processer, ofta under inverkan av bakterier (Houghton m fl, 1990). Våtmarker, kustområden, sjöar och avfallsupplag utgör de i särklass största källorna av metan i Sverige (Svensson, 1991). För industrisektorn är det dock andra källor som svarar för de största emissionerna. Metan kan emitteras vid ofullständig förbränning av olika energislag, i synnerhet vid förbränningen av biobränslen. Hantering av metanhaltiga ämnen som t ex petroleumprodukter, och naturgas kan även leda till diffust läckage av metan. Avgörande för emissionen av metan vid förbränning är driftsbetingelserna. Dålig förbränning eller låg tillgång på syre leder till ökade metanemissioner. Vid uppstart eller övriga ostabila driftsförhållanden kan emissionen öka. Data rörande utsläpp av metan från förbränningsanläggningar i skogsindustrin är mycket begränsade. Driftsbetingelsernas inverkan gör också data betydligt osäkrare. Samma emissionsfaktorer som används vid Sveriges internationella rapportering har också använts för emissionsfaktorerna för metan vid förbränning i skogsindustrins förbränningsanläggningar i den mån data har funnits tillgängliga.

Inköpt el. I olika delar av skogsindustrin används elkraft. För att på ett korrekt sätt spegla effekterna av denna användning med avseende på klimatgaserna så har vi valt att i studien redovisa de emissioner av klimatgaser som uppkommer vid produktionen av den använda elenergin. Ett systemperspektiv har här använts för elproduktionen vilket innebär att hela produktionskedjan för elenergin har tagits med i studien från råvaruuttag till elleverans till kund. Eftersom skogsindustrins produktion är belägen i Sverige så har en svensk elproduktion antagits. I Sverige produceras elenergi främst genom vattenkraft och kärnkraft. Dessa båda produktionslag ger mycket låga utsläpp av växthusgaser. Därtill används också en viss mängd fossila bränslen och biobränslen. En svensk elproduktionsmix för år 2005 har använts vid elproduktionsberäkningarna.

Tabell 4 Emissionsfaktorer för olika typer av bränslen i traditionella förbränningsanläggningar ¹⁾.

Energislag	Typ av anläggning	CO ₂		N ₂ O	CH ₄
		biogen	fossil		
Biobränslen i pannor (kg/GJ tillfört bränsle)	Stationär förbränning	96		0,005	0,03
Eldningsolja 1 (kg/GJ tillfört bränsle)	Stationär förbränning		74,3	0,002	0,001
Eldningsolja 2-5 (kg/GJ tillfört bränsle)	Stationär förbränning		76,2	0,005	0,002
Gasol, LPG (kg/GJ tillfört bränsle)	Stationär förbränning		65,1	0,002	0,001
Biogas (kg/GJ tillfört bränsle)	Stationär förbränning	56,5		0,002	0,001
Naturgas (kg/GJ tillfört bränsle)	Stationär förbränning		56,5	0,002	0,001
Kol (kg/GJ tillfört bränsle)	Stationär förbränning		93	0,02	0,002
Returlutar (kg/GJ tillfört bränsle) ²⁾	Stationär förbränning	110		32 g/t ₉₀	32 g/t ₉₀
Diesel, motoranvändning (kg/GJ tillfört bränsle)	Mobil förbränning		74,3	0,001	0,0006
Gasol, LPG, motoranvändning (kg/GJ tillfört bränsle)	Mobil förbränning		65,1	0,001	0,0006
Elproduktion, svensk genomsnitt 2005 (kg/GJ el)	Elproduktion	3,51	6,05	0,00098	0,00123

¹⁾ Sweden's National Inventory Report 2008

²⁾ Kindbom & Stripple, 2006

3.2 Skogsskötsel och avverkning

För skogsskötsel och avverkning ingår alla de aktiviteter som sammanhänger med att få fram en skogsråvara till skogsindustrin. Här ingår t ex framtagning av plantor, plantering, skogsskötsel och röjning/gallring samt slutligen avverkning och transport av timmer ut ur skogen och fram till närmaste landsväg.

Någon samlad kartering av det svenska skogsbruket med avseende på energianvändning och emissioner av växthusgaser har inte gjorts men data har tagits fram i några forskningsstudier bl a av Skogforsk och produktionsdata finns också hos skogsbolagen. I detta fall har energidata hämtats från en vetenskaplig artikel publicerad av Skogforsk (Berg & Lindholm, 2005). Energiåtgången är i medeltal för Sverige 82 MJ/m³ fub (m³ avverkat virke fast under bark). Emissionerna från processerna härrör till övervägande del från drift av olika typer av arbetsmaskiner med vanligtvis dieselmotorer. Ur emissionsfaktorer för arbetsmaskiner och den svenska virkesproduktionen kan sedan emissionerna av växthusgaser beräknas för skogsskötsel och avverkning. Ett medelvärde för Sverige har beräknats till 5,93 kg fossilbaserad CO₂/m³ fub för denna produktionsenhet.

I Tabell 5 nedan visas den totala svenska skogsavverkningen under perioden 2001-2003 samt den andel av avverkningen som går till skogsindustrin (virke till t ex energiproduktion är således borträknad). Som framgår går alltså ca 91 % av avverkningen till skogsindustrin. I tabellen visas också de beräknade emissionerna av fossilbaserad CO₂, N₂O och CH₄ vid skogsskötsel och avverkning motsvarande den andel av skogsråvaran som går till den svenska skogsindustrin.

Tabell 5 Skogsavverkningen i Sverige under 2001-2003 samt korresponderande emissioner av klimatgaser från skogsskötseln och avverkningen.

År	Summa netto-avverkning totalt i Sverige (m ³ fub) ¹⁾	Summa netto-avverkning till skogsindustrin (m ³ fub) ¹⁾	Andel av Sveriges totala netto-avverkningen som går till skogsindustrin (%)	Fossil CO ₂ från skogsarbetet med virke till skogsindustrin (ton) ²⁾	Fossil N ₂ O från skogsarbetet med virke till skogsindustrin (ton) ²⁾	Fossil CH ₄ från skogsarbetet med virke till skogsindustrin (ton) ²⁾
2001	63 000 000	57 300 000	91,0	340 000	146	21,0
2002	66 600 000	60 700 000	91,1	360 000	155	22,3
2003	67 300 000	61 300 000	91,1	364 000	157	22,5
Medelvärde	65 600 000	59 800 000	91,1	354 000	153	22,0

¹⁾ Skogsstyrelsen statistikdatabas 2001-2003

²⁾ Berg & Lindholm (2005) och Sweden's National Inventory Report 2008

3.3 Massa- och pappersindustrin

Emissioner av växthusgaser från massa- och pappersindustrin härrör främst från olika typer av förbränningsanläggningar men andra källor som t ex reningsanläggningar och förmultningsprocesser kan också ge ett visst bidrag. Inom industrin används en mängd olika bränslen från interngenererade och externt inköpta bibränslen till fossila bränslen. Därtill används också el i produktionen. I Tabell 6 visas energisituationen som ett årsmedelvärde för 2001-2003 års produktion men med moderna energidata för år 2006. Tabellen visar energimängd av förbrukade bränslen samt köpt och såld el och värme. Både elkraft och värmeenergi köps, säljs och genereras inom industrin. För de vidare beräkningarna har här valts att räkna med nettobalanserna för dessa energislag. Skogsindustrin tillskrivs därmed emissionerna förknippade med netto köpt el (köpt-såld). Eftersom skogsindustrin är nettoleverantör av värme tillskrivs inte skogsindustrin några ytterligare emissioner för inköpt värme. Nettobalanserna framgår av de två sista raderna i Tabell 6.

Energivärdena från Tabell 6 har sedan använts för att beräkna emissionerna av växthusgaser. För detta har emissionsfaktorer använts som finns presenterade i kapitel 3.1.1 med kommentarer. Resultaten av emissionsberäkningarna framgår av Tabell 7. I tabellen visas emissionerna från respektive bränsleslag samt massa- och pappersindustrins totala emissioner av växthusgaser.

Tabell 6 Energivärden för massa- och pappersindustrin som medelvärde för åren 2001-2003 men med produktionsfaktorer för år 2006 representerande ett modernt normalår för industrin.

Energislag	Årsmedelvärden för 2001-2003 med faktorer från 2006 (TJ)
Biobränsle, externt	17 300
Biobränsle, intern bark	22 000
Biobränsle, internt övrigt	5 330
Biobränsle, biogas för energiproduktion	360
Biobränsle, returlutar inom skogsindustrin	147 000
Kol	804
Naturgas	924
Eldningsolja, lätt (EO 1)	175
Eldningsolja, tung (EO 2-5)	14 400
WRD (Shell), Ultra (Preem) eller motsvarande	4 200
Gasol för energiproduktion	81
Gasol för torkning	1 990
Såld värmeenergi	6 760
Köpt värmeenergi	3 920
Elektrisk energi, köpt	60 800
Elektrisk energi, interngenererad	16 800
Elektrisk energi, såld	612
Elektrisk energi, netto inköpt från nätet	60 100
Värmeenergi, såld netto (såld-köpt)	2 840

Tabell 7 Årsemissioner av växthusgaser från massa- och pappersindustrin. Emissionerna avser ett medelvärde för produktionsåren 2001-2003 med moderna produktions- och emissionsfaktorer från 2006.

Energislag	CO₂ biogen (ton)	CO₂ fossil (ton)	N₂O (ton)	CH₄ (ton)
Biobränsle, externt	1 660 000		86,3	518
Biobränsle, intern bark	2 110 000		110	660
Biobränsle, internt övrigt	512 000		26,7	160
Biobränsle, biogas för energiproduktion	20 300		0,720	0,360
Biobränsle, returlutar inom skogsindustrin	16 100 000		264	264
Kol		74 800	16,1	1,61
Naturgas		52 200	1,85	0,924
Eldningsolja, lätt (EO 1)		13 000	0,350	0,175
Eldningsolja, tung (EO 2-5)		1 100 000	72,2	28,9
WRD (Shell), Ultra (Preem) eller motsvarande		312 000	8,39	4,20
Gasol för energiproduktion		5 300	0,163	0,081
Gasol för torkning		129 000	3,97	1,99
Elektrisk energi, netto inköpt från nätet	211 000	364 000	58,9	74,0
Summa emissioner från processerna	20 600 000	2 050 000	649	1 710

3.3.1 Avloppsvattenbehandling

Vid externrening av avloppsvatten från skogsindustrins massa- och pappersbruk sker först en separation av partiklar, fibrer och suspenderat oorganiskt material. Därefter kommer normalt en biologisk rening där en stor del av det lösta organiska materialet oxideras till koldioxid och vatten, eller binds i organiskt slam. Resten går ut i recipienten och kommer där i ett långt perspektiv att oxideras till koldioxid. Eftersom det är ligninrester kommer de som allt humusmaterial att brytas ner olika snabbt beroende främst på syretillgång i recipienten. Den frigjorda koldioxiden i reningen och recipienten kommer till största delen från veden, och är alltså biogen. Annat organiskt material som kommer till reningen från vissa pappersbruk är stärkelse, men den har också biologiskt ursprung.

Vid biologisk rening kan också både metan och lustgas bildas, men det är inte sannolikt att det sker i skogsindustrins reningsanläggningar. Bildning av metan förutsätter helt anaeroba (syrefria) delar av reningen. I den mån man har anaeroba reningssteg i skogsindustrin så tar man hand om bildad metan och bränner den. Resultatet blir alltså ändå biogen koldioxid. Sannolikheten att det i de normala aeroba (luftade) reningarna av misstag ska bildas metan (som då inte skulle förbrännas) är mycket liten. Dels skulle anaeroba zoner störa reningen, dels innehåller många skogsindustriella vatten både hartssyror och sulfat som stör metanbildningen.

Lustgas kan bildas i all omvandling av kväve mellan olika oxidationsstadier. Det kan vara vid ofullständig nitrifikation av ammonium, eller ofullständig denitrifikation av nitrat till kvävgas. I kommunal avloppsvattenrening har man mycket högre halt av ammonium, och en aktiv nitrifikation och denitrifikation. Där kan upp till 0,2 % av det avlägsnade kvävet avgå i form av lustgas. I skogsindustrin har man inga system som strävar efter nitrifikation och denitrifikation, tvärtom tillsätter man ofta en kvävekälla. I en del anläggningar får man dock spontan nitrifikation. Det kan sedan förekomma anoxiska förhållanden där man kan få denitrifikation. Det kan vara i eftersedimentering med lång uppehållstid, i kloratsteg med slamrecirkulation eller i anoxiska selektorer. Vi har inte funnit några rapporter om lustgasbildning i skogsindustriella reningsanläggningar, men flera faktorer talar mot en sådan bildning. Ett högt förhållande mellan COD och N i ett anoxiskt steg minskar risken för lustgas (Hwang m fl, 2006), och det har man i skogsindustrins vatten. Vid reningen ligger pH oftast över 7. Lustgasbildningen är störst vid pH mellan 5 och 6, men avtar helt vid pH över 6,8 (Thörn and Sörensson 1996). Riskfaktorer för extra lustgasbildning kan vara salthalter över 1 % (Isuneda m fl, 2005), men det är knappast aktuellt. Att redan låga halter av svavelväte i anoxiska steg hämmar den vidare reduktionen av lustgas till kvävgas (Schönharting m fl, 1998) kan eventuellt vara aktuellt i något fall i skogsindustrin.

De flesta skogsindustrier har inga värden på nitratbildning i sina anläggningar. För att se storleksordningen kan vi anta att det totalt i svenska skogsindustrier bildas 100 ton nitratkväve/år via nitrifikation. Om 0,1 % stannar vid lustgas skulle det innebära ca 160 kg lustgas/år och det motsvarar ca 48 ton CO₂-ekvivalenter. Vi antar vidare att ca 25 % av bildad nitrat reduceras i något steg, och att 0,1 % av den mängden stannar vid lustgas, skulle det innebära ytterligare 40 kg lustgas. **Det betyder totalt 200 kg lustgas, motsvarande 60 ton CO₂-ekvivalenter.** Jämfört med bidraget från skogsmark är det så lite att det knappast är motiverat att försöka göra bättre uppskattningar eller mätningar.

Växthusgaser kan också frigöras vid den fortsatta behandlingen av uttaget slam. Då slammet förbränns internt eller externt frigörs bara den biogena koldioxiden igen. Den lustgasbildning som kan uppstå i samband med förbränningen redovisas på annan plats. Slam som används för markförbättring kommer i ett långt tidsperspektiv också att släppa ifrån sig biogen koldioxid. Slam

som fortfarande hamnar i deponier och anaeroba betingelser kan ge upphov till metangas. Om deponin inte har en bra uppsamling och förbränning av den bildade gasen kan det ge ett utsläpp. 2004 deponerades totalt ca 330 000 ton avfall (våtvikt, www.skogsindustrierna.org). Av det var minst 220 000 ton grönslutslam, en hel del aska och lite mesa. Om vi antar att 60 000 ton våtvikt var bioslam, kemiskt slam och avsvärtnings slam med en genomsnittlig torrhalt på 25 % skulle det vara 15 000 ton TS. Om 80 % är organiskt material skulle det utgöra 12 000 ton organiskt material med högst 50 % kol, alltså 6 000 ton kol. Det mesta antas hamna på skogsindustriens egna deponier, där man normalt inte har någon insamling av metangas. Det beror i sin tur på att man sällan kan mäta någon metanbildning från de här deponierna. Det i sin tur beror både på att lignin inte kan brytas ner anaerobt och på att pH i skogsindustriens deponier ofta är högt på grund av deponerade askor, mesa och grönslutslam. Högt räknat kan man tänka sig att 10 % av kolet omvandlas till metan, det skulle bli **ca 800 ton metan/år, eller ca 20 000 ton CO₂-ekvivalenter/år**. Det är fortfarande en liten mängd i förhållande till andra, betydligt säkrare flöden.

Vid förbränning av slam (ca 4,7 milj ton våtvikt 2004) frigörs som sagt främst biogen koldioxid, men en liten del kommer från oljebaserade polyelektrolyter som används vid avvattningen. Om vi antar att slammet håller ca 30 % TS betyder det ca 1,4 milj ton TS 2004. Med en högt räknad polymerdos på 2 kg/ton slam betyder det 2 800 ton polyelektrolyt år 2004. Om vi antar att huvuddelen är polyakrylamid med ca 50 % kol skulle det innebära **1 400 ton kol och alltså potentiellt ca 5 100 ton CO₂ år 2004**. Detta skulle alltså vara fossilt CO₂, men fortfarande så lite att det inte påverkar helhetsbilden.

Utsläpp kopplade till energianvändningen i samband med reningen (främst för luftning) redovisas tillsammans med övrig energianvändning i bruken.

Sammantaget uppskattas emissionerna av fossil CO₂, N₂O och CH₄ från avloppsvattenbehandling inom skogsindustrin till maximalt ca **25 200 ton CO₂-ekvivalenter** (beräknat för år 2004).

3.4 Sågverksindustrin

Någon enhetlig produktionsdata för den svenska sågverksindustrin finns inte att tillgå för dessa beräkningar. För beräkning av klimatgaser från sågverksindustrin har produktionsdata och emissionsfaktorer för 15 sågverk i södra Sverige analyserats. Utifrån dessa emissionsfaktorer och Sveriges totala produktion av sågade trävaror har emissionerna av klimatgaser för sågverksindustrin kunnat beräknas. Produktionen av sågade trävaror är baserad på åren 2001-2003 medan produktions- och emissionsfaktorerna är baserade på åren 2005-2006. Den totala produktionen av sågade trävaror framgår av Tabell 8 medan produktionsfaktorerna och emissionerna av klimatgaser visas i Tabell 9.

Tabell 8 Produktion av sågade varor i Sverige under åren 2001-2003¹⁾.

	Produktion av sågad vara (m ³)
2001	15 800 000
2002	16 100 000
2003	16 700 000
Medelvärde	16 200 000

¹⁾ Skogsstyrelsens statistikdatabas 2001-2003

Tabell 9 Klimatgasemissioner från sågverksindustrin, årsmedelvärde för åren 2001-2003 med 2005 och 2006 års produktions- och emissionsfaktorer. Producerade biprodukter och värmeenergi redovisas också.

	Förbrukning och biprod. per m ³ sv (sågad vara) ¹⁾		Produktion årsmedelvärde 2001-2003 ²⁾		CO ₂ biogen (ton)	CO ₂ fossil (ton)	N ₂ O (ton)	CH ₄ (ton)
Inköpt el	0,07	MWh/m ³ sv	4 090	TJ	14 300	24 700	4,00	5,03
Diesel	1,86	liter/m ³ sv	1 080	TJ		80 200	1,08	0,65
Eldningsolja EO1+EO5	14,3	MJ/m ³ sv	232	TJ		17 700	1,16	0,46
Tillförd bioenergi till pannor	963,2	MJ/m ³ sv	15 600	TJ	1 500 000		78,1	469
<u>Biprodukter</u>								
Flis till massaproduktion	572,3	kg/m ³ sv	158 000	TJ				
Spån till träskivor	300,2	kg/m ³ sv	82 700	TJ				
Värmeenergi	27,2	MJ/m ³ sv	441	TJ				
Biobränsle	2772,6	MJ/m ³ sv	45 000	TJ				
Totala emissioner från sågverksproduktionen. Årsmedelvärde för 2001-2003 (kg)					1 510 000	123 000	84,3	475

¹⁾ Produktionsdata från Södra Timber.

²⁾ Data över produktion sågade trävaror år 2001-2003 är hämtat från Skogsstyrelsens statistikdatabas 2001-2003

3.5 Produktion av träbaserade skivor

Produktionen av träbaserade skivor innefattar tillverkningen av plywood och lamellträ, spånskivor samt träfiberskivor (t.ex. Masonit och MDF). Typproduktionsdata och emissionsfaktorer har inom ramen för detta projekt tagits fram från ett urval av de största tillverkarna. Tillverkningsvolymerna i Tabell 10 har hämtats från den svenska officiella statistiken. Den totala energianvändningen kan därefter beräknas tillsammans med emissionerna av växthusgaser. Resultaten av beräkningarna återfinns i Tabell 11.

Tabell 10 Produktionen i Sverige av olika träbaserade skivor under åren 2001-2003¹⁾.

År	Träfiberskivor (ton)	Spånskivor (m ³)	Plywood och lamellträ (m ³)
2001	174 000	584 000	106 000
2002	189 000	564 000	87 000
2003	154 000	466 000	75 000
Medelvärde	172 000	538 000	89 300

¹⁾ Skogsstyrelsens statistikdatabas 2001-2003

Tabell 11 Beräknade produktionsdata och emissioner av växthusgaser från den svenska träskiveindustrin som årsmedelvärde för åren 2001-2003 men med produktions- och emissionsfaktorer från år 2006.

Energislag	Totalt (GJ)	CO ₂ biogen (ton)	CO ₂ fossil (ton)	N ₂ O (ton)	CH ₄ (ton)
Elektricitet	752 000	2 640	4 550	0,737	0,925
Eldningsolja EO1	23 600		1 790	0,112	0,045
Eldningsolja WDR eller motsvarande	4 910		365	0,011	0,005
Eldningsolja EO 2-5	416 000		31 700	2,08	0,832
Diesel	15 400		1 150	0,015	0,009
Gasol	9		558	0,000009	0,000005
Biobränsle, trädamm och produktionsspill	2 380 000	229 000		11,9	71,4
Totalt	3 590 000	231 000	39 500	14,8	73,2

3.6 Transporter

Transportarbetet inom skogsindustrin är betydande. Råvaror transporteras från skogen till förädlingsindustrin och produkter transporteras från tillverkningen ut till kunderna. Råvaror i form av skog liksom kunder kan befinna sig i Sverige eller utomlands. Det är här således viktigt att göra en tydlig avgränsning av vad som är att betrakta som den svenska skogsindustrin. För transporter har vi här valt att avgränsa den svenska skogsindustrin till de transporter som sker inom Sverige och då även inkluderat transporter i Sverige av importerat och exporterat gods. Transporter av skogsråvara och produkter ingår, men inte transporter av andra råvaror (t ex kemikalier, olja mm). För skogsindustrin förekommer i huvudsak tre olika transportslag; lastbil, järnväg och fartyg. Ur klimatgassynpunkt har de olika transportslagen något olika karaktär. För att beräkna emissionerna av växthusgaser för de olika transporterna i skogsindustrin har emissionsfaktorer använts baserade på transportarbetet (uttryckt i ton*km). Använda emissionsfaktorer framgår av Tabell 12. Det totala

transportarbetet inom skogsindustrin har hämtats från Sveriges officiella statistik framtagen av SIKA (SIKA [1,2,3,4,5,6,7]). Ur dessa uppgifter kan sedan skogsindustrins totala emissioner av växthusgaser beräknas. Resultatet av beräkningarna visas i Tabell 13. Under rubriken Transportarbete återfinns endast själva transportarbetet av de olika skogsprodukterna d v s transporter med gods. Körningar med tom lastbil t ex returkörningar med virkesbilar till skogen finns således inte med här. Omfattningen av dessa är svåra att uppskatta och data saknas. Dessa indirekta transporter bör tas med i de fall de är direkt kopplade till skogsindustrins verksamhet. I detta fall är det speciellt transport av rundvirke och virkesbilarnas tomma returtransporter som är av betydelse. I detta fall har emissionerna ökats med en faktor 1,8 för rundvirkestransporterna då ett antagande har gjorts att samtliga transporter har en lika lång returtransport men att virkesbilen drar ca 20 % mindre bränsle vid körning utan last. Övriga transportslag och transportgods har ofta returgoods. Omfattningen av detta har inte gått att fastställa, således har ingen eventuell tom returtransport medräknats.

Det har konstaterats i studien att statistiken från SIKA över transporterad mängd rundved med lastbil sannolikt är för låg, då den är betydligt lägre än den årliga avverkningen. Den årliga avverkningen av stamved var för skogsindustrin 2001-2003 ca 60 milj ton (jfr avverkningsstatistik Tabell 5), medan SIKA:s statistik anger ca 44 milj ton. Detta innebär att emissionerna från inrikes lastbilstransporter är något underskattade, men inverkan på transporterens totala utsläpp bedöms dock som små.

Tabell 12 Använda emissionsfaktorer för växthusgaser vid olika transportslag.

Transportslag	CO ₂ biogent	CO ₂ fossilt	N ₂ O	CH ₄
	kg/ton*km	Kg/ton*km	kg/ton*km	kg/ton*km
Lastbil ¹⁾		0,0351	4,48*10 ⁻⁶	2,56*10 ⁻⁶
Inrikes järnväg – el ²⁾	0,00032	0,00054	8,82*10 ⁻⁸	1,10*10 ⁻⁷
Fartyg ³⁾		0,0213	5,00*10 ⁻⁷	7,50*10 ⁻⁷

¹⁾ En 42 tons lastbil har antagits. Data från Löfroth & Rådström (2006) och Zetterberg & Cooper (1994).

²⁾ Beräknad svensk medelelproduktion från 2005. Emissionsfaktorer från (Sweden's National Inventory Report 2008).

³⁾ En lastkapacitet om 5000 ton har antagits. Data från (Zetterberg & Cooper, 1994).

Tabell 13 Transportmängder, transportarbete och emissioner av växthusgaser för den svenska skogsindustrin för ett årsmedelvärde av åren 2001-2003¹⁾.

Transport-sätt	Produkt	Mängd 1000-tal ton	Transport- arbete Miljoner ton*km	CO ₂ biogent ton	CO ₂ fossilt ton	N ₂ O ton	CH ₄ ton
Lastbil ²⁾	Rundvirke ⁵⁾	44 033	3 820		241 000	30,8	17,64
	Sågade och hyvlade trävaror	7 932	1 350		47 400	6,05	3,47
	Pappersmassa och returpapper	5 943	533		18 700	2,39	1,37
	Papper, papp och varor därav	6 102	1 060		37 100	4,73	2,71
	Flis, trä- och sågavfall	15 887	1 290		45 100	5,76	3,30
Järnväg ³⁾	Rundvirke	5 346	1 210	386	652	0,11	0,13
	Sågade och hyvlade trävaror	633	544	174	294	0,05	0,06
	Papper, Pappersmassa och returpapper	1 910	1 010	322	543	0,09	0,11
	Papper, papp och varor därav	4 368	2 470	790	1 330	0,22	0,27
	Flis och träavfall	512	114	37	62	0,01	0,01
Fartyg ⁴⁾	Rundvirke	7 582	1 910		40 600	0,96	1,43
	Sågade och hyvlade trävaror	3 564	1 930		41 000	0,96	1,45
	Pappersmassa och returpapper, pappersavfall	2 539	1 460		31 100	0,73	1,10
	Papper, papp och varor därav	4 210	3 350		71 200	1,68	2,51
	Flis, trä- och sågavfall	2 279	628		13 300	0,31	0,47
Totalt		112 841	22 700	1 710	590 000	54,9	36,0

¹⁾ Transporter av icke träbaserade råvaror ingår inte (t ex kemikalier och fossila bränslen)

²⁾ Lastbilstransporter inom Sverige som årsmedelvärde för åren 2001-2003. För utlandstransporterna har ett antagande gjorts att 50 % av dessa transporter äger rum i Sverige. Ursprungsstatistiken omfattar endast svenskregistrerade lastbilar. För att kompensera för detta har antagits att ca 50 % av de totala transportererna sker med svenskregistrerade bilar och resterande transporter med utländska bilar. Värdena i tabellen avser således de beräknade totala transportererna inom svensk skogsindustri. Data från SIKA [1,2,3].

³⁾ Total frakt med järnväg inom Sverige. Här ingår import och exportgods räknat från respektive till svenska riksgården. Data från SIKA [4].

⁴⁾ Total frakt med fartyg inom Sveriges territorialvattengräns. Data från SIKA [5,6,7].

⁵⁾ Summan över transporterad mängd rundved med lastbil från SIKAs statistik över år sannolikt för låg. Den årliga avverkningen av stamved var för skogsindustrin 2001-2003 ca 60 milj ton (jfr avverkningsstatistik Tabell 5). Detta innebär att emissionerna från inrikes lastbilstransporter är något underskattade, men inverkan på transporterernas totala utsläpp bedöms som små.

3.7 Känslighetsanalys: Emissioner i massa- och pappersindustrin år 2001-2003 utifrån 2006 års produktionsfaktorer jämfört med produktionsfaktorer för 2001-2003.

För att spegla den moderna skogsindustrin har produktionsfaktorer (bränsleförbrukning, köpt och såld värme etc utslaget per producerad enhet massa, sågade trävaror respektive träskivor) för år 2005-2006 använts i emissionsberäkningarna i det skogsindustriella produktionssystemet och sedan applicerats på produktionen för åren 2001-2003. För att visa på hur skogsindustrin har utvecklats sedan 2001-2003 så gjordes en känslighetsanalys för massa- och pappersindustrin där vi här redovisar hur emissionerna var 2001-2003 med de faktiska produktionsfaktorerna som gällde då. Massa- och pappersindustrin står ju för den största produktionen och därmed också för den dominerande delen av skogsindustrins totala emissioner av växthusgaser. Här har också de största förändringarna gjorts på senare år.

I Tabell 14 visas energivärden för 2001-2003 års produktion med produktionsfaktorer från 2006 jämfört med verkliga produktionsfaktorer från 2001-2003. Man kan ur tabellen utläsa att fossilbränsleanvändningen har minskat något och bibränsleanvändningen har ökat kraftigt i de moderna bruken. Netto inköpt el har minskat och netto såld värme har ökat.

Tabell 14 Energivärden för massa- och pappersindustrin som medelvärde för åren 2001-2003 med produktionsfaktorer från år 2006 respektive från år 2001-2003.

	TJ	
	Årsmedelvärden för 2001-2003 med faktorer från 2006	Årsmedelvärden för 2001-2003 med verkliga faktorer från 2001-2003
Energislag		
Biobränsle, externt	17 300	7 210
Biobränsle, intern bark	22 000	18 100
Biobränsle, internt övrigt	5 330	
Biobränsle, biogas för energiproduktion	360	375
Biobränsle, returlutar inom skogsindustrin	147 000	134 000
Kol	804	535
Naturgas	924	1 320
Eldningsolja, lätt (EO 1)	175	385
Eldningsolja, tung (EO 2-5)	14 400	18 800
WRD (Shell), Ultra (Preem) eller motsvarande	4 200	5 460
Gasol	2 070	1 740
Såld värmeenergi	6 760	6 550
Köpt värmeenergi	3 920	4 630
Elektrisk energi, köpt	60 800	63 800
Elektrisk energi, interngenererad	16 800	15 100
Elektrisk energi, såld	612	530
Elektrisk energi, netto inköpt från nätet	60 100	63 300
Värmeenergi, såld netto (såld-köpt)	2 840	1 920

En jämförelse av emissionerna av växthusgaser (inkl biogent kol från förbränning av biobränslen) beräknat med 2006 års produktionsfaktorer respektive med produktionsfaktorer från 2001-2003 visas i Tabell 15 uttryckt i ton för varje gas. Ur Tabell 16 framgår att de totala emissionerna av fossil CO₂, N₂O och CH₄ för produktionen 2001-2003 är lägre med produktionsfaktorer från 2006 än med produktionsfaktorerna för 2001-2003 (2,3 milj ton CO₂-ekv jämfört med 2,7 milj ton CO₂-ekv). Den moderna massa- och pappersindustrin har alltså lägre emissioner per producerad mängd massa än för åren 2001-2003, framförallt p g a en ökad fossilbränsleanvändning.

Tabell 15 Jämförelse av totala emissioner av växthusgaser för massa- och pappersindustrin som medelvärde för åren 2001-2003 med produktionsfaktorer från år 2006 respektive från år 2001-2003.

	CO ₂ biogen (ton)	CO ₂ fossil (ton)	N ₂ O (ton)	CH ₄ (ton)
2001-2003 års produktionsfaktorer	17 400 000	2 490 000	576	1 150
2006 års produktionsfaktorer	20 600 000	2 050 000	649	1 710

Tabell 16 Jämförelse av totala emissioner av växthusgaser för massa- och pappersindustrin som medelvärde för åren 2001-2003 med produktionsfaktorer från år 2006 respektive från år 2001-2003 uttryckt som ton CO₂-ekvivalenter.

	ton CO ₂ -ekvivalenter			
	CO ₂ fossil	N ₂ O	CH ₄	Totalt
2001-2003 års produktionsfaktorer	2 490 000	172 000	28 700	2 690 000
2006 års produktionsfaktorer	2 050 000	194 000	42 800	2 290 000

3.8 Sammanfattande resultat: Skogsindustriella produktionssystemet

I Tabell 17 visas de totala emissionerna av fossil CO₂ samt N₂O och CH₄ för år 2001-2003 uttryckt i ton CO₂-ekvivalenter för de olika aktiviteterna i det skogsindustriella produktionssystemet. För omräkning av N₂O och CH₄ till CO₂-ekvivalenter har de senaste värdena för GWP₁₀₀ används vilket beskrivs i avsnitt 5.1.1. De totala emissionerna för det skogsindustriella produktionssystemet är ca 3,5 milj ton CO₂-ekvivalenter. Motsvarande summa för 1991 var i 1994 års rapport ca 5,8 milj ton CO₂-ekvivalenter (dock med vissa skillnader i beräkningsätt). Emissioner av CO₂ från förbränning av fossila bränslen står för den absolut största delen.

I Tabell 18 redovisas upptag och emissioner av biogen CO₂ för det skogsindustriella produktionssystemet. I tabellen redovisas den mängd biogent kol som går in i skogsindustriella produktionssystemet i form av avverkad stamved och importerad stamved (upptag) samt den mängd som går ut ur delsystemet vid förbränning i industrianläggningarna eller i form av produkter (inkl avfall) (emissioner). Dessa poster tar dock ut varandra. Det biogena kol som tagits upp i avverkad stamved och importerad stamved går in i skogsindustriens tillverkningsindustrier där det åter avgår till atmosfären genom förbränning eller går in i olika typer av skogsprodukter (t ex papper, sågade trävaror och träbaserade skivor). I denna studie betraktas detta kol som en omedelbar emission till atmosfären. Under ett beräkningsår är alltså summan av upptag av biogent kol i stamved och emissioner från förbränning och nedbrytning i produktions- och konsumtionsledet noll.

Tabell 17 Sammanfattning av totala emissioner av fossil CO₂, N₂O och CH₄ för det skogsindustriella produktionssystemet som årsmedelvärde för 2001-2003 uttryckt som ton CO₂-ekvivalenter.

Aktivitet	ton CO ₂ -ekvivalenter				1994 års rapport
	CO ₂ fossil	N ₂ O	CH ₄	Totalt	
Skogsbruk och avverkning ¹⁾	354 000	45 500	549	400 000	
Massa- och pappersindustri ²⁾	2 050 000	194 000	42 800	2 290 000	
Avloppsvattenbehandling ³⁾	5 100	60	20 000	25 200	
Sågverksindustri ⁴⁾	123 000	25 100	11 900	160 000	
Produktion av träbaserade skivor ²⁾	39 500	4 430	1 830	45 800	
Transporter	590 000	16 400	901	607 000	
Totalt	3 160 000	285 000	78 000	3 520 000	5 850 000⁵⁾

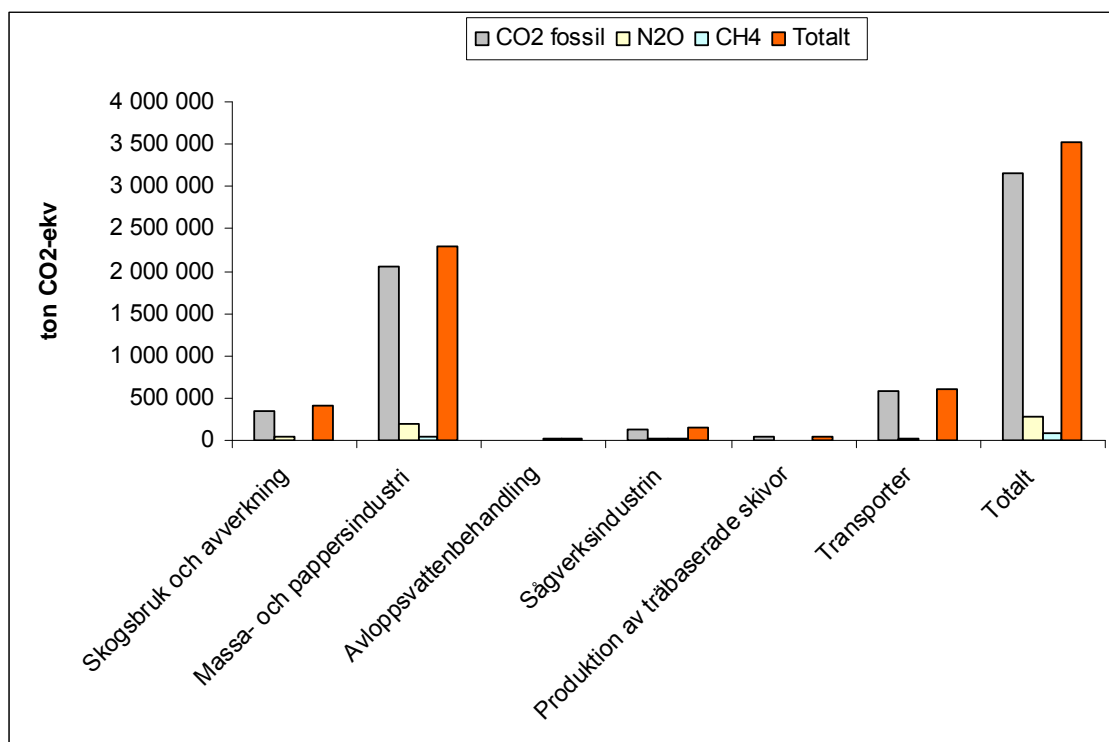
¹⁾ Beräknat för 2001-2003 för den andel av avverkningen som går till skogsindustrin (91,1 %).

²⁾ Beräknat för produktionen 2001-2003 utifrån produktionsfaktorer för år 2006

³⁾ Uppskattade maximala emissioner utifrån data för 2004.

⁴⁾ Beräknat för produktionen 2001-2003 utifrån produktionsfaktorer för år 2005 och 2006

⁵⁾ Fossil CO₂ samt alla emissioner av N₂O och CH₄ vid massa- pappers- och trävaruproduktion (Zetterberg & Cooper, 1994)



Figur 6 Sammanfattning av totala emissioner av fossil CO₂, N₂O och CH₄ för det skogsindustriella produktionssystemet som årsmedelvärde för 2001-2003 uttryckt som ton CO₂-ekvivalenter.

Tabell 18 Upptag och emissioner av biogen CO₂ för det skogsindustriella produktionssystemet som årsmedelvärde för 2001-2003. Upptag (negativa värden) i avverkad och importerad stamved balanseras av emissioner (positiva värden) vid förbränning i tillverkningsindustrierna eller i form av produkter.

Aktivitet	milj ton CO ₂ -ekvivalenter
	CO ₂ biogen
Upptag i avverkad stamved (inkl bark) ¹⁾	-52,0
Upptag i importerad stamved (inkl bark) ²⁾	-7,7
Skogsbruk och avverkning	0
Massa- och pappersindustri	20,6
Avloppsvattenbehandling ³⁾	0
Sågverksindustrin	1,5
Produktion av träbaserade skivor	0,2
Transporter	0
Biogent kol i skogsprodukter och biobränslen till kund (emission) inkl. förluster	37,4
Totalt	0

¹⁾ Beräkningarna har gjorts utgående från en medeldensitet på stamved av 420 kg TS/m³ f (fast) och en kolhalt i veden på 50 %. Vidare har antagits att barken utgör 13 % av veden räknat i vikt. Data bygger på avverkningsstatistik redovisad i avsnitt 3.2.

²⁾ Har beräknats enligt ¹⁾ ovan med data över importerad volym från VMR, SDC, 2001-2006.

³⁾ Avgång av biogen CO₂ har inte uppskattats, utan ingår i summan för förluster i tabellens näst sista rad.

4 Diskussion om undvikna emissioner och kolinlagring i skogsprodukter

4.1 Undvikna emissioner av levererad värme och biobränslen

Skogsindustrin har under många år utvecklats mot en mera diversifierad verksamhet innefattande även t.ex. produktion av biobränslen. Energieffektiviseringar har även frigjort energi till försäljning i form av fjärrvärme. Ur ett samhällsperspektiv är utnyttjande av spillvärme från industriproduktion en viktig del i ett effektivare energiutnyttjande. En ökad biobränsleanvändning är också ett viktigt led i reduktionsarbetet av den fossilbaserade koldioxidemissionen. Det finns ett pedagogiskt värde av att uppskatta vilka emissionsreduktioner utnyttjande av spillvärme och biprodukter från produktionsanläggningarna har för att uppmuntra ett ökat energiutnyttjande och användande av bioenergi. CO₂-effekten på t ex ett massabruk av att inte ta med undvikna emissioner blir att CO₂-emissionerna från produktionen blir lika oavsett om spillvärmerna används till fjärrvärme eller om spillvärmerna kyls bort utan användning.

En scenarioräkning har gjorts där de potentiella externa effekterna av användningen av den levererade fjärrvärmerna och de producerade biobränslena har beräknats för skogsindustrin som helhet. Här har antagits att dessa energikällor används för att ersätta oljeeldning. Beräkningarna av de undvikna emissionerna har gjorts med emissionsfaktorer från Tabell 4. Att uteslutande antaga att värme och biobränslen ersätter olja kan vid första anblicken tyckas vara ett drastiskt scenario då oljeanvändningen i fjärrvärmenät har minskat kraftigt men även om man skulle antaga att fjärrvärmerna ersätter biobränslen innebär detta att biobränslen frigörs och kan användas på andra ställen för att ersätta fossila bränslen. Antagandet om att både fjärrvärme och biobränslen ersätter olja skall dock endast ses som en potentiell emissionsreduktion ur ett samhällsperspektiv. För biobränslen är det fråga om att emissionerna från oljeeldningen ersätts med emissioner från biobränsleeldning. Detta innebär främst en övergång från fossilbaserad CO₂ till biogen CO₂. För emissionerna av N₂O och CH₄ är effekterna mindre påtagliga eftersom dessa gaser också emitteras vid förbränning av biobränslen.

De undvikna emissionerna, sammanhängande med massa- och sågverksindustrin, redovisas i Tabell 19. I tabellen har de externa reduktionerna av fossilbaserad CO₂ räknats som negativa emissioner. Om biobränslen från sågverksindustrin ersätter oljebaserad energi undviks motsvarande 3,4 milj ton fossil CO₂ medan metanutsläppen blir högre. Enligt scenarioräkningarna ger netto såld värme och levererade biobränslen en potentiell emissionsreduktion på 3,65 milj ton CO₂-ekvivalenter. Det är dock viktigt att återigen poängtera att det handlar om ett scenario där man antar att den levererade energin ersätter ren oljebaserad energi. Man bör också i sammanhanget nämna att skogsindustrin har ett nettoinköp av el. Skulle de potentiella emissioner som denna el ger upphov till beräknas på samma sätt som för undvikna emissioner av levererad värme och biobränslen, dvs att skogsindustriens elbehov kräver produktion av kolbaserad marginal, skulle skogsindustriens emissioner på motsvarande sätt vara högre. I inventeringen har dock svensk genomsnittlig elproduktion antagits. Förutom spillvärme och biprodukter från industrianläggningarna så används också hyggesrester från skogsbruket i allt större utsträckning till energiproduktion. Detta medverkar naturligtvis också till att minska fossilbränsleanvändningen i samhället med minskade emissioner som följd.

Tabell 19 Undvikna emissioner genom användning av spillvärme och bibränslen från massa- och sågverksindustrin för åren 2001-2003 under antagandet att oljebaserad energi ersätts. Undvikna emissioner redovisas här som negativa värden och ökade emissioner redovisas som positiva värden.

	milj ton CO ₂ -ekvivalenter			
	CO ₂ fossil	N ₂ O	CH ₄	Totalt
Undvikna emissioner från såld netto värmeenergi inom massaindustrin	-0,22	-0,0042	-0,00014	-0,22
Undvikna emissioner från såld netto värmeenergi inom sågverksindustrin	-0,03	-0,00066	-0,00002	-0,03
Undvikna emissioner p.g.a. användning av bibränsle från sågverksindustrin	-3,4	0	0,031	-3,4
Totalt undvikna emissioner	-3,7	-0,0049	0,031	-3,7

4.2 Kolinlagring i skogsprodukter

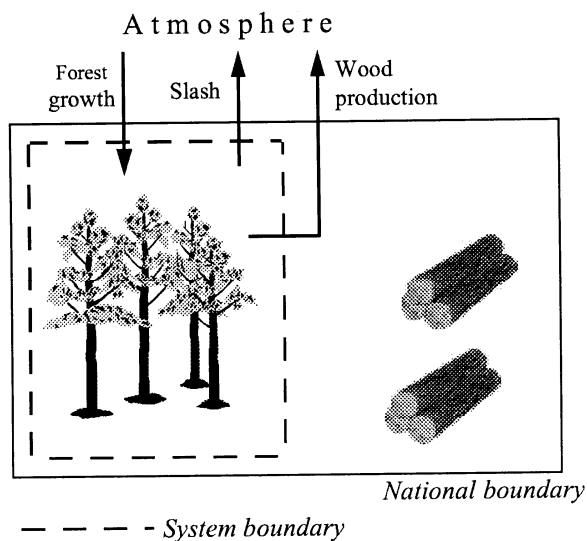
Det kol som en gång tagits upp genom fotosyntesen i den avverkade stamveden återemitteras så småningom till atmosfären. I denna studie har vi valt att betrakta kol som upptagits i avverkad stamved som en omedelbar emission av samma mängd kol då den lämnar skogsekosystemet. Detta motsvarar det beräkningssätt för kolinlagring i skogsprodukter som kallas IPCC default (se nedan) och som anges som standardmetod. Genom att en del av stamveden används för produktion av träprodukter med lång livslängd, sker en förskjutning i tiden för när detta kol åter emitteras till atmosfären. Emellertid kasseras kontinuerligt tidigare träprodukter och kol som funnits lagrade i dessa produkter återgår till atmosfären. För att kunna tala om en kolsänka i produkter, måste det kolförråd som utgörs av använda skogsprodukter öka under det aktuella året. Det måste alltså vara en nettoinlagring av kol i produktpoolen. Det är dock långt ifrån självklart vilka systemgränser som bör användas vid en sådan beräkning och osäkerheterna är stora.

4.2.1 Alternativa beräkningssätt enligt IPCC

IPCC har fört fram fyra alternativa angreppssätt för att beräkna kolinlagring i skogsprodukter som presenteras i Brown m fl (1998).

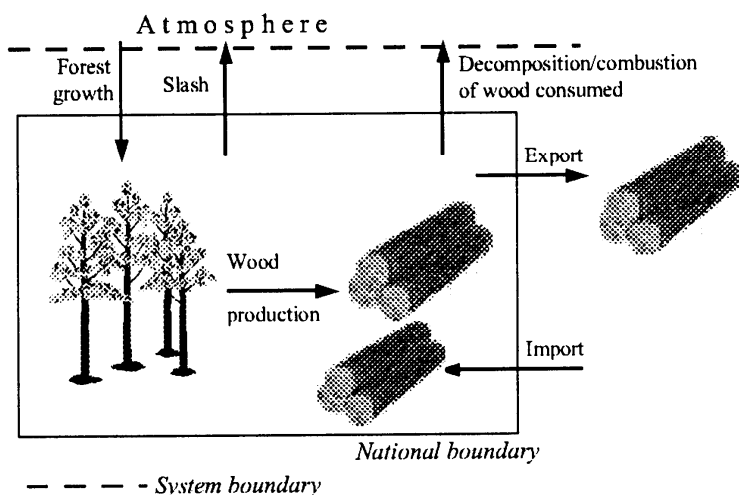
Utifrån Berg m fl (2003) beskrivs nedan de av IPCC fyra angivna alternativa beräkningssätten:

1. **IPCC default.** (Används i denna studie). Kolinlagring i skogen ingår men inte i skogsprodukterna. Därigenom betraktas emissionerna från avverkad skog som om de genast avges till atmosfären (Figur 7). Det betyder att emissionerna från avverkad skog tillskrivs dels produktionsåret, dels det land där skogen avverkas. Ingen hänsyn tas till fördröjd emission från skogsprodukter med livslängd längre än ett år.



Figur 7 Schematisk bild över IPCC default (Berg m fl, 2003).

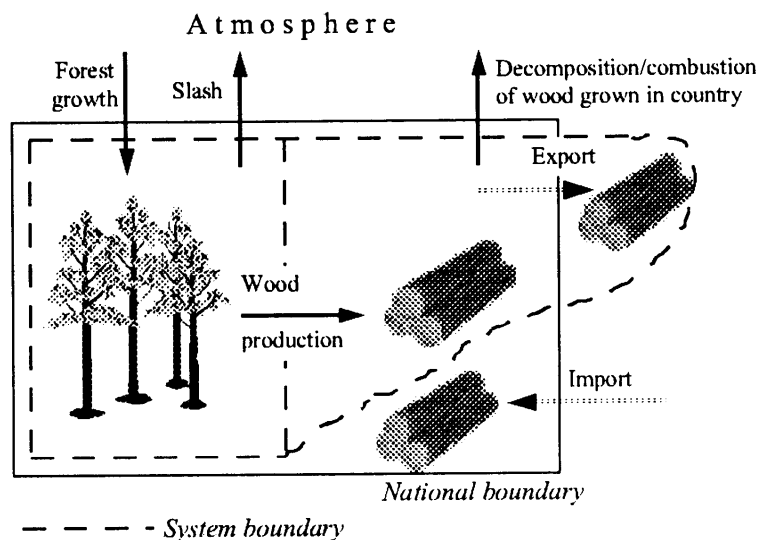
2. **Atmospheric-flow.** I Atmospheric-flow ingår uppskattningar av flöden av CO₂ mellan biosfären och atmosfären. Beräkningssättet tar hänsyn till faktiska emissioner och upptagning inom nationella gränser vid den tid de äger rum (Figur 8). Bruttoemissioner som uppstår vid skörd av rundvirke och från skogsprodukter räknas till konsumentlandet, medan upptaget av CO₂ vid skogens tillväxt räknas det producerande landet tillgodo (Winjum et al. 1998). Alla emissioner som är förknippade med inlagrat kol som korsar en systemgräns överförs från det ena landets räkenskaper till det andra. Om virket skördas och förbrukas i samma land sker ingen förändring i fördelningen av emissionerna.



Figur 8 Schematisk bild över Atmospheric-flow (Berg m fl, 2003).

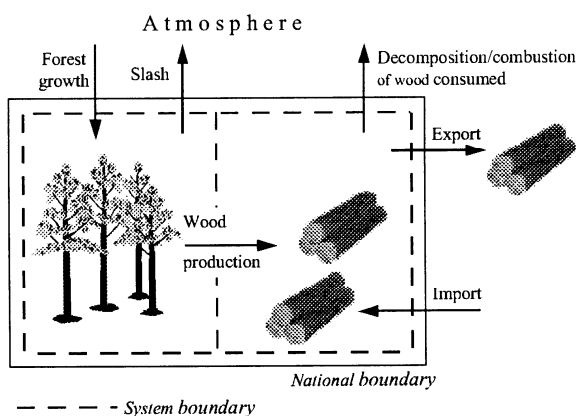
3. **Production.** Beräkningssättet inbegriper förändringar i kolförråden i stående skog och i lagren av skogsprodukter (Figur 9). Förrådsförändringar i skogen tillräknas det producerande landet och kol som är upplagrat i exporterade skogsprodukter räknas likaledes till producentlandets förråd. Kolförråd som transporteras över nationsgränser

flyttas alltså inte mellan ländernas räkenskaper; exporterat kol räknas fortfarande till producentlandet. För kol i biotiska produkter med en ettårig livscykel sker ingen genomsnittlig förändring.



Figur 9 Schematisk bild över Production (Berg m fl, 2003).

4. **Stock-change.** Med Stock-change uppskattas nettoförändringar hos kolförråden i skogen och i skogsprodukter inom nationella gränser (Figur 10). Förrådsförändringar i skog räknas till producentlandet, medan de i skogsprodukter räknas till konsumentlandet (Winjum et al. 1998), d v s att förråden räknas till det land där de fysiskt befinner sig. Kolförråd som transporteras över nationsgränser flyttas också över systemgränser och överförs från ett lands förråd till ett annats. För kol i biotiska produkter med en ettårig livscykel sker ingen genomsnittlig förändring.



Figur 10 Schematisk bild över Stock-change (Berg m fl, 2003).

4.2.2 Kolinlagring i skogsprodukter för Sverige

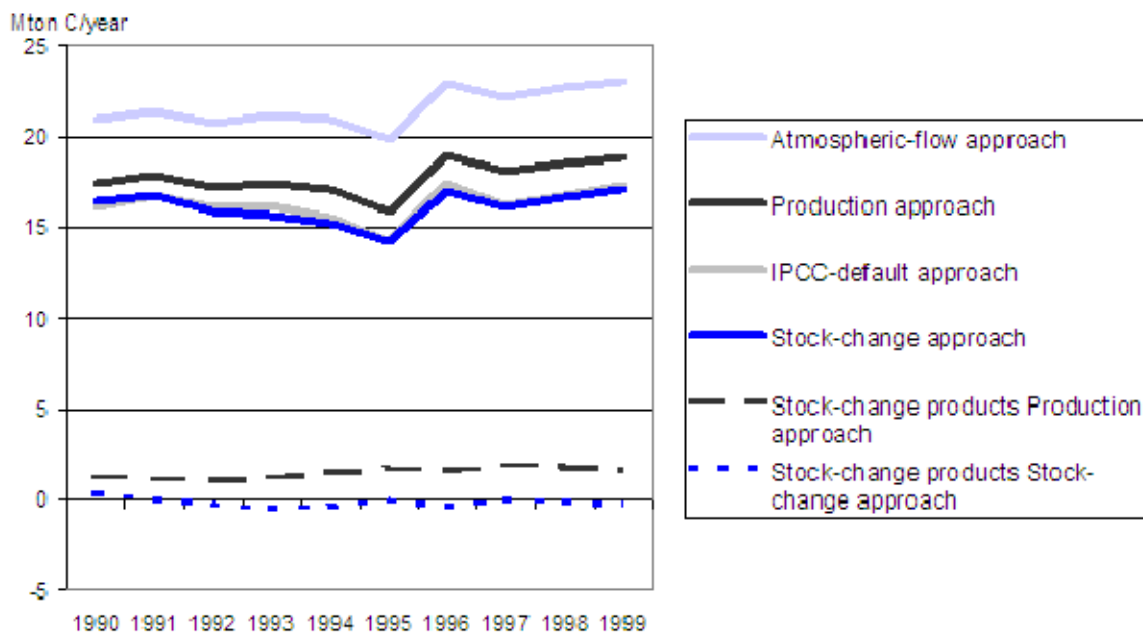
Berg m fl (2003) har beräknat kolinlagring i skog och skogsprodukter för Sverige under åren 1990-1999 och jämfört de fyra olika beräkningssätten ovan. Kolinlagring i skogsprodukter har beräknats genom att relatera den avverkade rundveden i kubikmeter till träfiber i kilogram och följa kolflödet från skogsavverkning till slutfasen av produktkedjorna. Kol i avfall som uppkommer vid tillverkning av varor (returlutar, träavfall från sågverk etc) antas frigöras under produktionsåret. Mängd kol i avfallet beräknas genom differensen mellan kolinnehållet i producerad rundved och det i producerade trävaror. Data över produktion av olika skogsprodukter är hämtade från FAO (2001) och sträcker sig tillbaka till 1961. Man har antagit att en viss andel av de olika produktkategorierna betraktas som långlivade (Tabell 20). En vägd medellivslängd för samtliga långlivade produkter på 50 år användes. Metodiken för beräkningarna och gjorda antaganden beskrivs närmare i Berg m fl (2003).

Tabell 20 Andel långlivade produkter för olika produktkategorier som användes i Berg m fl (2003). För den andel som beaktas som långlivade användes en medellivslängd på 50 år.

Produktkategorier enligt FAO	Andel med lång livslängd
Sawnwood	0,8
Woodbase panels	0,9
Other industrial roundwood	0,7
Paper and paperboard	0,6

För beräkning av kolinlagring i långlivade skogsprodukter är för föreliggande studie det mest relevanta beräkningssättet Stock-Change. Det innebär att nettokolinlagring i produktpoolen beräknas för skogsprodukter som finns inom Sveriges gränser (Sveriges nationella gränser är den systemgräns som används i denna studie i övrigt vad gäller skogsekosystemet, skogsindustriplanläggningar och transporter). Med beräkningssättet Stock-Change beräknades nettokolinlagringen i skogsprodukter till som mest 0,3 Milj. ton kol (ca 1,1 Milj. ton CO₂) år 1990 för att under resten av nittioåret ligga nära noll eller vara svagt negativ och pendla mellan litet upptag och liten avgång av kol.

Berg m fl (2003) visar dock att det har stor betydelse för den beräknade kolinlagringen vilket av beräkningssätten som används. I Figur 11 visas den beräknade nettokolinlagringen för skog och skogsprodukter för de olika beräkningssätten som presenteras ovan samt kolinlagring i enbart skogsprodukter enligt beräkningssätten Stock-Change och Production. Resultaten visar att IPCC default (kolinlagring i skogsprodukter inräknas ej) och Stock-Change (kolinlagring inräknas för skogsprodukter inom Sveriges gränser) ger i stort sätt samma resultat. Det speglar att användningen av skogsprodukter i Sverige har stagnerat under 90-talet. Beräkningssätten Production och Atmospheric-flow, där kol i exporterade skogsprodukter tillräknas produktionslandet, ger däremot en betydande kolinlagring i skogsprodukter för Sveriges del. Detta återspeglar att Sverige är nettoexportör av skogsprodukter.



Figur 11 Årlig nettoinlagring av kol för skog och skogsprodukter i Sverige under 1990-1999 med fyra olika beräkningssätt samt kolinlagring i enbart skogsprodukter enligt Stock-Change och Production (Berg m fl, 2003). Observera att upptaget i skogen har beräknats på ett annat sätt än i denna studie.

Berg m fl (2003) visar också på stora osäkerheter vid beräkning av förändringar av kolförrådet i skogsprodukter och att stora schabloniseringar är nödvändiga. Sammanfattningsvis kan konstateras att kolinlagring i långlivade produkter inom Sveriges gränser (Stock-Change) legat nära noll under hela nittioåret och om ingen dramatisk förändring skett under senare år har kolinlagring i den svenska produktpoolen ringa betydelse för skogsindustrins totala emissioner och upptag av växthusgaser.

4.3 Kolinlagring i byggnader och substitutionseffekter

Berg m fl (2003) har också uppskattat kolförrådet i byggnader och anläggningar i Sverige år 2000 till ca 25,8 milj ton C (94,6 milj ton CO₂), där byggnader svarar för 17,9 milj ton C. Den årliga nettoinlagringen i byggnader beräknades till ca 0,1 milj ton C. Siffran kan jämföras med nettoinlagringen av kol i långlivade produkter i Sverige som i samma studie men med ett annat beräkningssätt (Stock-Change) under hela 1990-talet visades pendla kring noll.

Flera livscykelanalyser visar att om trä ersätter andra material som betong och stål i konstruktioner med motsvarande prestanda ger det upphov till lägre energiförbrukning och lägre emissioner av växthusgaser (NCASI, 2006; Berg m fl, 2003, Gustavsson m fl, 2006, Eriksson m fl, 2007). Genom att öka andelen trä i t ex byggnader kan emissionerna av växthusgaser reduceras. Substitutionseffekten av att trä ersätter andra material är intressant ur ett samhällsperspektiv som ett sätt att minska växthuseffekten. NCASI (2006) har uppskattat undvikna emissioner till följd av träsubstitution i byggnader för Kanadas skogsindustri till 3,7 milj ton CO₂-ekvivalenter år 2005. Då har man räknat med exporterade skogsprodukter till USA. Någon studie över substitutionseffekten för Sverige som helhet har inte gjorts.

I Berg m fl (2003) nämns en norsk studie (Petersen m fl, 2002) som beräknat att för varje m³ sågad trävara som används till limträ i konstruktioner så undviks 0,24-0,31 ton CO₂-ekvivalenter jämfört med motsvarande stålkonstruktion. Om träet dessutom antas användas som biobränsle vid rivning och ersätta fossila bränslen undviks 0,40-0,97 ton CO₂-ekvivalenter. En svensk studie (Norén m fl, 2002) visar att för 1 m³ sågad trävara som används för att tillverka bjälklag som ersätter ett bjälklag av betong undviks 0,65 ton CO₂-ekvivalenter (Berg m fl, 2003). Då antas att träet efter rivning används för energiproduktion och ersätter fossila bränslen. I en svensk-finsk studie från 2006 jämför koldioxidutsläppen för två olika flervåningsbyggnader under deras livscykel om de byggs med trästomme eller betongstomme (Gustavsson m fl, 2006). Studien visar att de undvikna emissionerna för konstruktion med trästomme istället för betong uppgår till 30-130 kg C (0,11-0,48 ton CO₂-ekvivalenter) per m² golvyta beroende på byggnad och vilka antaganden som gjorts (Gustavsson m fl, 2006). I kolberäkningarna ingår emissioner från fossila bränslen från tillverkning av byggmaterial fram t o m rivning av byggnaderna liksom kolförrädsförändringar i byggnader och i skogen. Biprodukter vid sågverken och trämaterial efter rivning antas användas som biobränslen och ersätter fossila bränslen.

Ett grovt räkneexempel har gjorts över vilka undvikna emissioner som trä inbyggt i alla nybyggda lägenheter i småhus och flerbostadshus i Sverige under 2001-2003 ger upphov till om allt trä antas ersätta betong, vilket naturligtvis är högt räknat. Antal nybyggda lägenheter i småhus var under perioden 8 000 per år och i flerbostadshus 12 600 per år (SCB, 2007). Träandelen antas till 23,7 m³ per lägenhet för småhus och 17,5 m³ respektive 1,67 m³ per lägenhet i flerbostadshus med trästomme respektive utan trästomme (Berg m fl, 2003). Andelen flerbostadshus med trästomme antas vara 17 % (Berg m fl, 2003). Om vi antar att varje m³ ersätter betong eller stål och räknar med undvikna emissioner på 0,65 ton CO₂-ekvivalenter per m³ (ligger i intervallet angivet i både Petersen m fl, 2002 och Norén m fl, 2002) så blir de totala undvikna emissionerna för nybyggda lägenheter i Sverige under perioden 2001-2003 ca 0,16 milj ton CO₂-ekvivalenter per år. Räknas även övriga lokaler, anläggningar och fritidshus på motsvarande sätt blir effekten större, uppskattningsvis det dubbla.

För uppskattningar om substitutionseffekter i byggnader är det antagligen lämpligare att räkna per golvyta såsom görs i bland annat Gustafsson m fl (2006). En liknande uppskattning av substitutionseffekten gjord av Leif Gustafsson (personlig kommunikation) visar att då alla flerbostadshus (ca 12 000 nybyggda per år) byter från betongstomme till trästomme skulle emissionerna minska med ca 0,25 milj ton CO₂-ekvivalenter per år. Grova uppskattningar av detta slag ger en indikation på att substitutionseffekterna från ökad träanvändning i samhället kan vara av betydelse för Sveriges totala klimatpåverkan.

Hur stor substitutionseffekten i form av reducerade emissioner av växthusgaser av att trä ersätter andra material i Sverige blir är inte känt och ligger utanför ramen för denna studie. Frågan om systemgränser är i sådana fall mycket viktig och komplicerad. Ökad kolinlagring i långlivade produkter och undvikna emissioner därav kan komma att få större betydelse för skogsnärings bidrag till växthuseffekten i framtiden då jämvikt har nåtts i skogsekosystemet och skogen i Sverige inte längre har ett kraftigt nettoupptag av kol. Det finns anledning att i vidare studier visa på vilken betydelse en ökad användning av trämaterial har för växthuseffekten.

5 Skogsindustrins totala klimatpåverkan

5.1 Hur växthusgaser påverkar strålningsbalansen

Jordens temperatur bestäms av balansen i yttre atmosfären mellan inkommande kortvägig solstrålning och utgående lång-vågig värmestrålning. En förändring i nettostrålning orsakad av antingen en förändring i inkommande solstrålning eller i utgående värmestrålning från jorden definieras som radiative forcing och mäts i $[W/m^2]$. Positivt värde på radiative forcing innebär att energin i systemet ökar vilket ger en uppvärmande effekt medan ett negativt värde innebär en kylande effekt. Strålningsbalansen kan förändras bland annat genom förändrad koncentration av växthusgaser och aerosolpartiklar eller om jordens albedo⁶ förändras.

Växthusgaser har olika förmåga att absorbera den utgående infraröda värmestrålningen. Den absorberade strålningen orsakar en temperaturhöjning i atmosfärens undre lager. Metan är ca 26 gånger effektivare på att absorbera värmestrålningen än koldioxid och lustgas mer än 200 gånger effektivare. En växthusgas påverkan på strålningsbalansen beror också på dess livslängd, ju längre livslängd desto längre kommer gasen att stanna i atmosfären och påverka strålningsbalansen. Livslängden för CO₂ är det svårt att bestämma eftersom den är involverad i många olika processer med olika omsättningstider. Kolcykelmodeller visar att ett hundraårsperspektiv representerar en tidsskala under vilken en betydande del av ett utsläpp av koldioxid har lämnat atmosfären. Ett tidsperspektiv på hundra år inkluderar också trögheten i oceanerna och deras inverkan på den globala medeltemperaturen. Metan har en atmosfärisk livslängd på ca 12 år och lustgas ca 114 år enligt IPCC:s fjärde klimatrapport (Foster m fl, 2007).

5.1.1 Global warming potentials (GWP)

För att på ett enkelt sätt kunna jämföra påverkan på strålningsbalansen för emissioner från olika växthusgaser används konceptet Global Warming Potential (GWP) som presenterades av FN:s klimatpanel (IPCC) 1990. I förenklad mening innebär konceptet om GWP att man räknar om bidraget från ett utsläpp av en godtycklig växthusgas till vilket utsläpp av koldioxid det skulle motsvara, uttryckt i CO₂-ekvivalenter. När detta gjorts för alla gaser kan sedan bidragen från varje gas adderas. GWP är det samlade bidraget till radiative forcing över en specifik tidsperiod från en omedelbar emission av 1 kg gas jämfört med det för 1 kg CO₂. IPCC ger i sin fjärde rapport ingen entydig rekommendation vilken tidshorisont man bör använda när man jämför emissioner från olika växthusgaser med hjälp av GWP. Inom ramen för Kyotoprotokollet har man dock valt ett hundraårsperspektiv, vilket också används i denna studie. Tabell 21 visar IPCC:s uppdaterade GWP (100 år) för CO₂, N₂O och CH₄. Man ser att ett utsläpp av 1 kg lustgas förväntas öka atmosfärens värmeabsorption lika mycket som 298 kg CO₂ sett över de närmaste 100 åren och ett utsläpp av 1 kg metan motsvarar 25 kg CO₂.

⁶ Ett mått på en ytas reflektivitet.

Tabell 21 GWP₁₀₀ för CO₂, CH₄ och N₂O enligt IPCC 4th Assessment Report (Foster m fl, 2007).

Växthusgas	Livslängd (år)	Radiative Efficiency W m ⁻² ppb ⁻¹	GWP ₁₀₀
Koldioxid, CO ₂		1,4*10 ⁻⁵	1
Metan, CH ₄	12	3,7*10 ⁻⁴	25
Lustgas, N ₂ O	114	3,03*10 ⁻³	298

Utsläpp av metan ger också indirekta effekter på strålningsbalansen. I IPCC:s senaste GWP för metan inkluderas även dessa indirekta effekter. Metan förlänger sin egen livstid genom förändringar i OH-koncentrationen, leder till förändringar i troposfäriskt ozon, höjer nivåerna av stratosfäriskt vattenånga samt producerar CO₂. De tre första indirekta effekterna är medräknade vilket gör att GWP för metan har höjts från 23 till 25. CO₂ bildning från metan är inte medräknat då detta kol räknas med i de nationella CO₂ inventeringarna (Foster m fl, 2007).

5.2 Sammanfattande resultat: svenska skogsindustrins totala upptag och emissioner

I Tabell 22 visas de sammantagna emissionerna av växthusgaserna koldioxid (CO₂), lustgas (N₂O) och metan (CH₄) för svenska skogsindustrin som årsmedelvärden för åren 2001-2003 uttryckt som CO₂-ekvivalenter. Som jämförelse visas också omräknade motsvarande värden för 1991 från 1994 års rapport (Zetterberg & Cooper, 1994). Resultaten illustreras också i Figur 12.

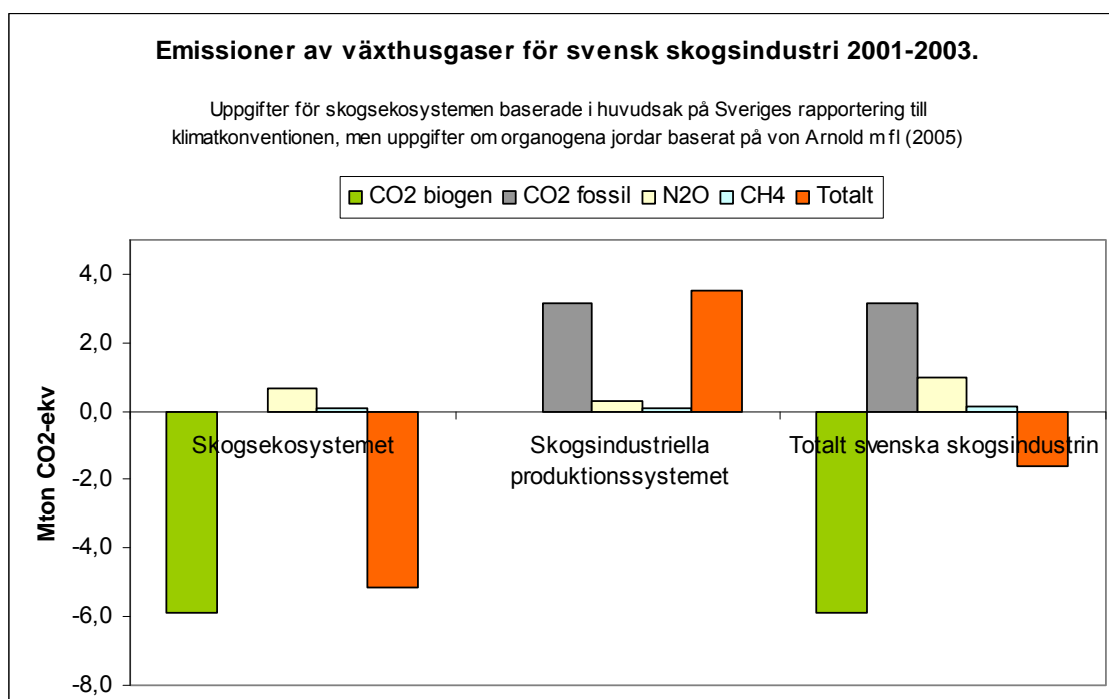
Observera att för skogsekosystemet medräknas endast emissioner och upptag motsvarande den andel av den avvertrade stamveden som går till skogsindustrins anläggningar, dvs 91 %. Det bör poängteras att uppskattningarna av årliga kolförräfsförändringar i skogsekosystemet inbegriper stora osäkerheter. Särskilt när det gäller markkol i organogena jordar är det med dagens kunskapsnivå svårt att få säkra värden. Klimatrapporteringens siffror, som bygger på Markinventeringen, visar på ett upptag av CO₂ för dessa marker (ca 4 milj ton CO₂), vilket med största sannolikhet är felaktigt. Forskningen tyder istället på att dessa marker emitterar betydande mängder CO₂. Därför används i denna studie värden från en vetenskaplig inventering av dikade organogena jordar som gjorts av von Arnold m fl (2005) som uppskattar en avgång på ca 10 milj ton CO₂ för dessa marker. Detta får stor betydelse för skogsekosystemets totala växthusgasbalans, men det kan konstateras att skogsekosystemen som helhet är en nettosänka av växthusgaser oavsett vilka värden som används för de organogena jordarna.

Resultaten visar att det i *skogsekosystemet* årligen sannolikt sker ett nettoupptag av växthusgaser. Upptaget i den levande biomassen är ca 14 milj ton CO₂-ekvivalenter per år och upptaget i marken i mineraljordar är ca 1 milj ton CO₂-ekvivalenter, vilket är resultatet av ett hållbart skogsbruk. Dessa upptag får anses relativt väl belagda, även om mätningarna visar stora skillnader mellan åren. När det gäller CO₂-avgången från organogena jordar är det som sagt betydligt osäkrare men forskningen tyder på en avgång på ca 10 milj ton CO₂-ekvivalenter. Avgången av lustgas och metan från *skogsekosystemet* är förhållandevis små. Detta ger att *skogsekosystemet* totalt har ett upptag på ca 5 milj ton CO₂-ekvivalenter.

Emissionerna i det *skogsindustriella produktionsystemet* uppgår till totalt ca 3,5 milj ton CO₂-ekvivalenter. Detta är en avsevärd minskning av emissionerna jämfört med vad som beräknades för året 1991 inom 1994 års rapport. Det största bidraget kommer från CO₂-emissioner vid förbränning av fossila bränslen (ca 3,16 milj ton CO₂-ekvivalenter) där massa- och pappersindustrin står för den dominerande delen. Emissionerna av lustgas och metan är relativt sett små (ca 0,3 respektive ca 0,1 milj ton CO₂-ekvivalenter).

Totalt visar emissionsinventeringen på att skogsindustrin står för ett nettoupptag av växthusgaser på ca 1,6 milj ton CO₂-ekvivalenter. Detta kan jämföras med 1991 då upptaget i skogsekosystemet beräknades till motsvarande 26,7 milj ton CO₂-ekvivalenter och emissionerna i industrin till ca 5,8 milj ton CO₂-ekvivalenter. Metodiken för beräkningarna i skogsekosystemet var dock en annan i 1994 års rapport, dessutom var inte CO₂-avgången från organogena jordar känd. Även för industridelen finns vissa mindre skillnader.

I Tabell 22 redovisas också den mängd biogent kol som går in i skogsindustriella produktionssystemet i form av avverkad stamved och importerad stamved (upptag) samt den mängd som går ut ur delsystemet vid förbränning i industrianläggningarna eller i form av produkter (inkl. avfall) (emissioner). Dessa poster tar dock ut varandra. Det biogena kol som tagits upp i avverkad stamved och importerad stamved går in i skogsindustriernas tillverkningsindustrier där det åter avgår till atmosfären genom förbränning eller går in i olika typer av skogsprodukter (t ex papper, sågade trävaror och träbaserade skivor). I denna studie betraktas detta kol som en omedelbar emission till atmosfären. Under ett beräkningsår är alltså summan av upptag av biogent kol i stamved och emissioner från förbränning och nedbrytning i produktions- och konsumtionsledet noll.



Figur 12 Sammanställning över svenska skogsindustrins upptag och emissioner av växthusgaser som årsmedelvärde för år 2001-2003. Negativt värde innebär upptag och positivt värde innebär emission. Uppgifter för skogsekosystemet är baserade i huvudsak på Sveriges rapportering till klimatkonventionen NIR (2008), men uppgifterna om organogena jordar är baserade på von Arnold m fl (2005).

Tabell 22 Sammanställning över växthusgasemissioner för svenska skogsindustrin som årsmedelvärde för 2001-2003. Negativt värde innebär upptag och positivt värde innebär emission.

Aktivitet	milj ton CO ₂ -ekvivalenter					1994 års studie
	CO ₂ biogen	CO ₂ fossil	N ₂ O	CH ₄	Totalt	
Skogsekosystemet, totalt ¹⁾	-5,9		0,68	0,07	-5,2	-26,7
Därav:						
Förändring av kolförråd, totalt ¹⁾	-6,0				-6,0	
Därav:						
i. Levande biomassa	-14,4				-14,4	
ii Död biomassa	-0,36				-0,4	
iii Markkol, mineraljord	-1,04				-1,04	
iv Markkol, organogen jord ¹⁾	9,8				9,8	
	(7,6-12,5) ²⁾					
Övriga flöden av växthusgaser i skogen	0,05		0,68	0,07	0,8	
Skogsindustriella produktionssystemet, totalt	0,0	3,16	0,29	0,08	3,52	5,8 ⁹⁾
Därav:						
Upptag i avverkad stamved till skogsindustrin (inkl bark) ³⁾	-52,0					
Upptag i importerad stamved till skogsindustrin(inkl bark) ³⁾	-7,7					
Skogsbruk och avverkning	0,0	0,35	0,05	0,001	0,40	
Massa- och pappersindustri ⁴⁾ (förbränning)	20,6	2,05	0,19	0,04	2,3	
Avloppsvattenbehandling ⁵⁾	0,0	0,005	0,0001	0,02	0,03	
Sågverksindustrin ⁶⁾ (förbränning)	1,5	0,12	0,03	0,012	0,16	
Produktion av träbaserade skivor ⁴⁾ (förbränning)	0,2	0,04	0,004	0,002	0,05	
Transporter ⁷⁾	0,0	0,59	0,02	0,001	0,61	
Biogent kol i skogsprodukter och biobränslen till kund (emission) ⁸⁾	37,4					
Totalt svenska skogsindustrin ¹⁾	-5,9	3,2	1,0	0,1	-1,6	-20,9

¹⁾ Uppgifter för skogsekosystemen baserade i huvudsak på Sveriges rapportering till klimatkonventionen NIR (2008), men uppgifter om organogena jordar är baserat på emissionsfaktorer (von Arnold m fl, 2005). I NIR (2008) rapporteras istället ett upptag på 4 milj ton CO₂ för markkol på organogena jordar (skogsindustrins andel) vilket skulle ge ett totalt upptag av CO₂ i skogsekosystemet på 19,7 milj ton CO₂ för skogsindustrin. Vi gör dock bedömningen att dessa värden sannolikt är felaktiga och att dikade organogena jordar snarare emitterar CO₂ i storleksordningen som anges i von Arnold m fl (2005).

²⁾ Osäkerhetsintervall angivet i von Arnold m fl (2005)

³⁾ Beräkningarna har gjorts utgående från en medeldensitet på stamved av 420 kg TS/m³ f (fast) och en kolhalt i veden på 50 %. Vidare har antagits att barken utgör 13 % av veden räknat i vikt.

⁴⁾ Beräknat för produktionen 2001-2003 utifrån produktionsfaktorer för år 2006.

⁵⁾ Uppskattade maximala emissioner utifrån data för 2004.

⁶⁾ Beräknat för produktionen 2001-2003 utifrån produktionsfaktorer för år 2005 och 2006

⁷⁾ Beräkningarna har baserats i huvudsak på statistik från SIKA. Värdena är sannolikt något underskattade då SIKAs statistik över inrikes lastbilstransporter med rundved inte motsvarar den årliga avverkningen.

⁸⁾ Innefattar även ev spill och avfall. Värdet är framtaget så att summan av biogent kol som går in i det skogsindustriella produktionssystemet (avverkad stamved + importerad stamved) minus summan av biogent kol som går ut ur systemet (emissioner vid produktionen + kol i produkter till kund) blir noll. I studien antas som redovisats tidigare att upptag av kol i stamved betraktas som en omedelbar emission.

⁹⁾ Fossil CO₂ samt alla emissioner av N₂O och CH₄ vid massa- pappers- och trävaruproduktion (Zetterberg & Cooper, 1994).

6 Diskussion och slutsatser

I denna studie har upptag och emissioner av växthusgaser för aktiviteter förknippade med den svenska skogsindustrin beräknats. Inventeringen gäller för ”normalskogsbruk” som inte är påverkat av de kraftiga stormarna Gudrun och Per. Därför valdes åren 2001-2003 som utgångspunkt för beräkningarna. Däremot har moderna produktions- och emissionsfaktorer används i det *skogsindustriella produktionsystemet* för att spegla hur produktionsförhållandena ser ut nu i skogsindustrin. Det finns en viss risk att beräkningarna blir aningen missvisande på detta sätt. Om nettoupptaget i skogsekosystemet år 2001-2003 var större än vad det var 2006 och att fossilbränsleanvändningen inom industrianläggningarna 2006 (och 2005) var onormalt liten till följd av en tillfälligt ökad användning av biobränslen i energiproduktionen (t ex p g a ökat utbud till följd av stormen Gudrun) så kan beräkningarna underskatta skogsindustriens klimatpåverkan något. Har däremot nettoupptaget i skogsekosystemet varit större år 2006 än 2001-2003 är skogsindustriens klimatpåverkan istället något överskattad. Ur känslighetsanalysen framgår emellertid att skogsindustrin (åtminstone massa- och pappersindustrin) klart har minskat sina emissioner av växthusgaser i produktionen de senaste åren. Med moderna produktionsfaktorer från 2006 är emissionerna för massa- och pappersindustrin ca 0,4 milj ton CO₂-ekvivalenter lägre än om produktionsfaktorer från 2001-2003 används. För skogsindustrin som helhet tyder beräkningarna i denna studie på att skogsindustriens emissioner vid industrianläggningarna har minskat markant sedan 1991 (för vilket 1994 års studie gäller, Zetterberg & Cooper, 1994), från 5,8 milj ton till 3,5 milj ton CO₂-ekvivalenter. Det finns dock vissa skillnader i beräkningarna i de två studierna och i vilka aktiviteter som ingår.

Vid en emissionsinventering som denna blir systemgränserna som används, vilka flöden som tas med och vilka aktiviteter som ingår avgörande för utfallet. Vi vill poängtera att avsikten inte har varit att göra en livscykelanalys över skogsprodukter. Det innebär att emissioner och upptag av koldioxid för importerad cellulosa och inte heller emissioner (eller eventuella upptag) av koldioxid i konsument- eller avfallsledet av produkternas livscykel har ingått i studien. Inte heller ingår emissioner i samband med produktion och transport av övriga råvaror som används i skogsindustrin (t ex fossila bränslen och kemikalier). Avsikten har varit att göra en inventering av emissioner och upptag för svensk skogsindustri, d v s inom det svenska skogsekosystemet, vid anläggningarna för produktion av skogsprodukter (massa, papper, sågade trävaror och träbaserade skivor) samt transporter av skogsråvara och produkter inom Sveriges gränser.

I studien har också antagits att biogent kol som tagits upp via fotosyntesen i den stamved som används inom skogsindustrin för energiproduktion eller produktion av skogsprodukter omedelbart avgår till atmosfären. Eventuell årlig upplagring av kol i ett växande kolförråd i form av långlivade produkter har inte ingått i beräkningarna. Beräkningar gjorda av Berg m fl (2003) för åren 1990-1999 tyder dock på att den årliga nettoinlagringen av kol i använda produkter inom Sveriges gränser är mycket liten (eller t o m negativ). Det är möjligt att träanvändningen har ökat i Sverige sedan dess och att det kan finnas ett litet årligt nettoupptag av kol i produktpoolen, men produktpoolen kan lika gärna minska. Det får dock stor betydelse om även kolinlagring i exporterade produkter medräknas eftersom Sverige är en stor nettoexportör av skogsprodukter. Då visar beräkningarna på nettoupptag på omkring 2 milj ton årligen under 90-talet. Det kan dock vara intressant att titta närmare på kolinlagring i skogsprodukter i en framtida studie. Denna studie har inte heller mer än berört och diskuterat vilka effekter ett ökat användande av skogsprodukter i konstruktioner har på de totala emissionerna av växthusgaser ur ett samhällsperspektiv, men livscykelstudier som har

gjorts visar att trä som ersätter stål- och betongkonstruktioner i allmänhet leder till reducerade emissioner. Detta kan också vara intressant att fördjupa sig i vidare studier.

Denna studie har inte heller inräknat eventuella undvikna emissioner som potentiellt är effekten av levererad el, värme och biobränslen från skogsindustrin, även om en scenarioräkning gjorts i kapitel 4. Med antagandet att netto såld värme och levererade biobränslen från skogsindustrin ersätter oljebaserad energi visar scenarioräkningarna på potentiella externa emissionsreduktioner på ca 3,7 milj ton CO₂-ekvivalenter. Att skogsindustrin har ökat sina leveranser av fjärrvärme och biobränslen till samhället är positivt ur klimatsynpunkt då det kan ersätta annan energiproduktion som ger upphov till högre emissioner av växthusgaser. Skogsbruket levererar också allt mer biobränslen från hyggesrester. Ett sådant vidgat systemtänkande är naturligtvis viktigt för att se effekterna av och uppmuntra ett bättre resursutnyttjande, men beräkning av undvikna emissioner är alltid beroende av de antaganden som görs och skall tolkas därefter.

I denna studie har upptag och emissioner i det svenska skogsekosystemet ingått. Trots att beräkningarna gjorts utifrån bästa nuvarande kunskapsläge finns det fortfarande stora osäkerheter när det gäller kolförrädsförändringar i skogsekosystemet, främst när det gäller markkol. Särskilt stor är osäkerheten för de organogena jordarna, där mycket tyder på att de värden som beräknats i NIR 2008 genom markinventeringen underskattar avgången av CO₂ från dessa skogsmarker. En undersökning av von Arnold (2005) visar på att dessa marker är en stor nettokälla av CO₂. Fortsatt forskning behövs för att öka säkerheten i uppskattningarna av kollagerförändringar för dessa marker. Markinventeringen kommer sannolikt att ändra metodik för mätning av emissioner från organogena jordar, eftersom den nuvarande är opålitlig. Vid riksskogstaxeringen menar man dock att de senast omräknade värdena (NIR 2008) när det gäller upptag i levande och död biomassa liksom markkol i mineraljordar är nära verkligheten och att det sker ett nettoupptag av kol till dessa kolförråd. Emissionerna av övriga växthusgaser från skogen, som sker främst från dikade skogsmarker, är även de svåra att uppskatta och rymmer därför stora osäkerheter. Man kan konstatera att emissionerna av lustgas i 1994 års rapport uppskattades till hela 4,1 milj ton CO₂-ekvivalenter medan de i denna studie uppskattades till ca 0,7 milj ton CO₂-ekvivalenter utifrån en nationell inventering gjord av von Arnold m fl (2005).

Sammanfattningsvis visar beräkningarna i denna studie att svenska skogsindustrin som helhet står för ett nettoupptag av växthusgaser. Detta beror framförallt på en fortsatt nettotillväxt i svensk skog, vilket är resultatet av ett aktivt och hållbart skogsbruk. Den dominerande andelen skogsmark utgör fortfarande en påtaglig sänka för CO₂, även om organogena jordar, som står för en mindre andel av skogsarealen, står för en påtaglig emission av CO₂. Nettoupptaget av växthusgaser i *skogsekosystemet* beräknades till totalt 5,2 milj ton CO₂-ekvivalenter. Skogsindustrins emissioner i produktionsledet (*skogsindustriella produktionsystemet*) beräknades till totalt ca 3,5 milj ton CO₂-ekvivalenter. Det innebär att skogsindustrin som helhet står för ett nettoupptag av växthusgaser på ca 1,6 milj ton CO₂-ekvivalenter.

7 Referenser

- Berg, S., Englund, F., Jarnehammar, A., Johansson, R., Lindholm, E.-L., 2003. Kolinlagring i den skogsindustriella sektorn i Sverige – Beräkningar för sektorn som helhet och i byggnader, Träteknik, Rapport P 0302007.
- Berg, S., Lindholm, E.-L. 2005. Energy use and environmental impacts of forest operations in Sweden. *Journal of Cleaner Production* 13 (2005) 33-42;327.
- Brown S., Lim, B., Schlamadinger, B., 1998. Evaluating Approaches for Estimating Net Emissions of Carbon Dioxide from Forest Harvesting and Wood Products, IPCC/OECD/IEA Programme on National Greenhouse Gas Inventories. Meeting Report.
- Cooper, D. A., Grennfelt, P.-I., Klemmedtsson, L., Samuelsson, M.-O., Zetterberg, L., 1991. Emissioner och miljökonsekvenser av dikväveoxid med särskild hänsyn till de svenska utsläppen, 1991, Bilindustriföreningen, Stockholm.
- Eriksson, E., Gillespie, A. R., Gustavsson, L., Langvall, O., Olsson, M., Sathre, R., Stendahl, J., 2007. Integrated carbon analysis of forest management practices and wood substitution. *Can. J. For. Res.* 37:671-681 (2007).
- Forster, P., V. Ramaswamy, P. Artaxo, T. Berntsen, R. Betts, D.W. Fahey, J. Haywood, J. Lean, D.C. Lowe, G. Myhre, J. Nganga, R. Prinn, G. Raga, M. Schulz and R. Van Dorland, 2007. Changes in Atmospheric Constituents and in Radiative Forcing. In: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Gustavsson, K., Hägg, S., 2004. Skogliga konsekvensanalyser 2003, SKA 03. Skogsstyrelsen Rapport 2 2004. ISSN 1100-0295.
- Gustavsson, L., Pingoud, K., Sathre, R., 2006. Carbon dioxide balance of wood substitution: Comparing concrete- and wood-framed buildings. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* (2006) 11: 667–691.
- Houghton, J T, Jenkins, G J, Ephraums, J J: Eds., 1990. *Climate Change: The IPCC Scientific Assessment*, Cambridge University Press; Cambridge, England.
- Hyvönen m fl, 2007. The likely impact of elevated [CO₂], nitrogen deposition, increased temperature and management on carbon sequestration in temperate and boreal forest ecosystems: a literature review. *New Phytologist* 173, 463-480.
- Houghton J.T., Meira Filho L.G., Lim B., Treanton K., Mamaty I., Bonduki Y., Griggs D.J. and Callander B.A. (eds.), 1997. Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, IPCC (Intergovernmental Panel of Climate Change).
- Hwang, S., Jang, K., Jang, H., Song, J. and Bae, W., 2006. Factors affecting nitrous oxide production: a comparison of biological nitrogen removal process with partial and complete nitrification, *Biodegradation* 17 2006 19-29.
- Kindbom K., Stripple H., 2006. Sammanställning av resultat från enkät avseende emissionsfaktorer för utsläpp till luft, IVL-rapport, U 1957.

- LUSTRA, 2007. Kolet, klimatet och skogen. Så funkar det. ISBN 978-85911-15-8.
- Löfroth C., Rådström L., 2006. Bränsleförbrukning och miljöpåverkan vid drivning och vidaretransport. SKOGFORSK.
- NIR, 2008. Sweden's National Inventory Report 2008. Submitted under the United Nations Framework Convention on Climate Change. Naturvårdsverket.
- Norén, J., Jarnehammar, A., 2001. Miljöbedömning av Trähus 2001- bakgrundsfakta. Trätek-rapport P0105010.
- Penman, J., Gytarsky, M., Hiraishi, T., Kryg, T., Kruger, D., Pipatti, R., Buendia, L., Miwa, K., Ngara, T., Tanabe, K., Wagner, F. 2003. Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry. Published by the Institute for Global Environmental Strategies (IGES) for the IPCC. ISBN 4-88788-003-0.
- Petersen, A. K., Solberg, B. , 2002. Limtre eller stål? En analys av energiförbruk, klimatutslipp og kostnadseffektivitet. Rapport fra skogforskningen 1/01. Norsk institut for Skogfag 2002.
- SCB, 2007. 11 jan. Bostads- och byggnadsstatistisk årsbok 2005.
- Schönharting, B., Rehner, R., Metzger, J.W., Krauth, K. and Rizzi, M., 1998. Release of nitrous oxide (N₂O) from denitrifying activated sludge caused by H₂S-containing wastewater: Quantification and application of a new mathematical model, Water Science and Technology 38(1 part 1) 1998 237-246.
- SIKA [1] Inrikes och utrikes trafik med svenska lastbilar, 2001, Statistiska meddelanden SIKA, SSM 005:0204.
- SIKA [2] Inrikes och utrikes trafik med svenska lastbilar, 2002, Statistiska meddelanden SIKA, SSM 005:0304, Reviderad 2004-06-08, Tabell 5, 11, 14-17.
- SIKA [3] Inrikes och utrikes trafik med svenska lastbilar, 2003, Statistiska meddelanden SIKA, SSM 005:0404.
- SIKA [4] Bantrafik 2002-2003, SIKA och Banverket, ISBN 91-89586-51-4.
- SIKA [5] Utrikes och inrikes trafik med fartyg, 2001, Statistiska meddelanden SIKA, SSM 021:0204.
- SIKA [6] Utrikes och inrikes trafik med fartyg, 2002, Statistiska meddelanden SIKA, SSM 021:0304.
- SIKA [7] Utrikes och inrikes trafik med fartyg, 2003, Statistiska meddelanden SIKA, SSM 021:0404.
- Skogsstyrelsens statistikdatabas 2001-2003. (Sveriges officiella skogsstatistik).
- Strömberg, 2006. Växthuseffekt och skogsproduktion: Hur skall vi hantera våra dikade skogsmarker? Dokumentation från seminarium och workshop i Stockholm 24 aug 2005. Rapporter i skogsekologi och skoglig marklära, Sveriges Lantbruksuniversitet. Rapport 90. ISSN 0348-3398.
- Svensson B H, Lantsheer, J C och Rodhe, H: Ambio 20 (1991) 155.
- Sweden's National Inventory Report 2008, Submitted under the United Nations Framework Convention on Climate Change, Appendix 18 Thermal values and Emission factors, energy, GWP, conversion factors.
- Sårbarhetsutredningen, 2007. Statens Offentliga Utredningar, SOU 2007:60.
- Thörn, M. and Sörensson, F., 1996. Variation of nitrous oxide formation in the denitrification basin in a wastewater treatment plant with nitrogen removal, Water Research 30(6) 1996 1543-1547.

- Tsuneda, S., Mikami, M., Kimochi, Y. and Hirata, A., 2005. Effect of salinity on nitrous oxide emission in the biological nitrogen removal process for industrial wastewater, *Journal of Hazardous Materials* 119(1-3) 2005 93-98.
- Virkesmättningsrådet och Skogsindustrins DataCentral (VMR, SDC) 2001-2006
- von Arnold, K. 2004. Forests and Greenhouse Gases, Avhandling, Linköping Studies in Arts and Science No 302, Linköpings Universitet.
- von Arnold, K., Hånell, B., Stendahl, J., Klemedtsson, L. 2005. Greenhouse gas fluxes from drained organic forestland in Sweden, *Scandinavian Journal of Forest Research*, 20, 400 – 411.
- Winjum J.K., Brown S., Schlamadinger B., 1998. Forest Harvest and Wood Products: Sources and Sinks of Atmospheric Carbon Dioxide, *Forest Science* 44(2) 1998.
- Zetterberg, L. och Cooper, D., 1996. Emissioner och upptag av koldioxid för aktiviteter förknippade med SÖDRAs verksamhet. IVL-rapport för SÖDRA Skogsägarna.
- Zetterberg, L. och Cooper, D., 1994. Svensk skogsindustris emissioner och upptag av växthusgaser – En bedömning av skogsindustrins bidrag till växthuseffekten, IVL-rapport B1130s.
- Ågren, G., 2006. Ändrat klimat och ökat uttag av biomassa – vad händer med markens kolförråd på lång sikt? I: Skogen – mot oljeberoendet för klimatmålen, Skogskonferensen 28-29 november 2006, s. 29. ISBN 91-576-7185-0.

Bilaga 1 Beskrivning av Sveriges nationella rapportering till klimatkonventionen av flöden av växthusgaser till följd av förändrad markanvändning och skogsbruk

Sverige har anslutit sig till FN:s ramkonvention kring klimatförhandlingar (UNFCCC) som trädde i kraft 1994. Vidare har Sverige skrivit på Kyotoprotokollet. Kyotoprotokollet innebär bindande åtaganden att de samlade utsläppen av växthusgaser under perioden 2008-2012 i medeltal skall vara minst 5 % lägre jämfört med basåret 1990.

Enligt UNFCCC måste medlemsstaterna årligen rapportera sina utsläpp från källor och upptag i sänkor för alla växthusgaser utom de som omfattas av Montrealprotokollet (freoner mm). Rapporten omfattar värden för utsläpp i ett visst format (Common Reporting Format, CRF) och en nationell inventeringsrapport (National Inventory Report, NIR).

Rapporteringen av skogsmarkens upptag och utsläpp av växthusgaser enligt Kyotoprotokollet är uppdelad i en obligatorisk och en frivillig del.

- obligatorisk del, upptag och utsläpp grundat på förändrad markanvändning till och från mark som blivit beskogad respektive avskogad sedan 1990 ("beskogning och avskogning").
- frivillig del, upptag och utsläpp till och från mark som var skogsmark 1990 och som är fortsatt beskogad ("skogsbruk").

Sverige har valt att räkna in både "beskogning/avskogning" och "skogsbruk" (Land Use, Land Use Change, Forestry, LULUCF). Om en nation valt att räkna in skogsbruk i sin rapportering måste man fortsätta med det även framgent.

Sveriges rapportering av upplagrat kol grundar sig på en nationellt utvecklad metodik, s.k. Tier 3. För att rapportera utsläpp av växthusgaser inom LULUCF sektorn har Sverige gått över till en ny metodik, s.k. "stock change method", från den tidigare IPCC:s standard metodik baserat på konsumtionsberäkningar. "Stock change method" innebär att beräkningarna baseras på återinventerade provytor. Förändringen i markanvändning, kolupplagring, biomassa etc. beräknas separat för en viss provyta, gentemot den föregående inventeringen av ytan ifråga. Förändringar skattas som förrådets nettoförändring mellan två följande år. Data baseras på RT:s ca 30 000 permanenta provytor (Figur 13). Varje år inventeras ca 6 000 permanenta provytor. Inom RT är målsättningen att provytorna skall återinventeras vart 5:e år, medan MI har målsättningen var 10:e år. Fram till 2006 års inventering, vilket rapporteras i 2008 års submission, har 80 % av alla tillgängliga provytor inom Riksskogstaxeringen återinventerats. Efter ytterligare ett år, 2007, har alla provytor återinventerats och rapporterade värden fram till och med 2003 kommer att vara slutliga. Vad gäller Markinventeringen kommer provytorerna inte vara färdiginventerade förrän 2012.

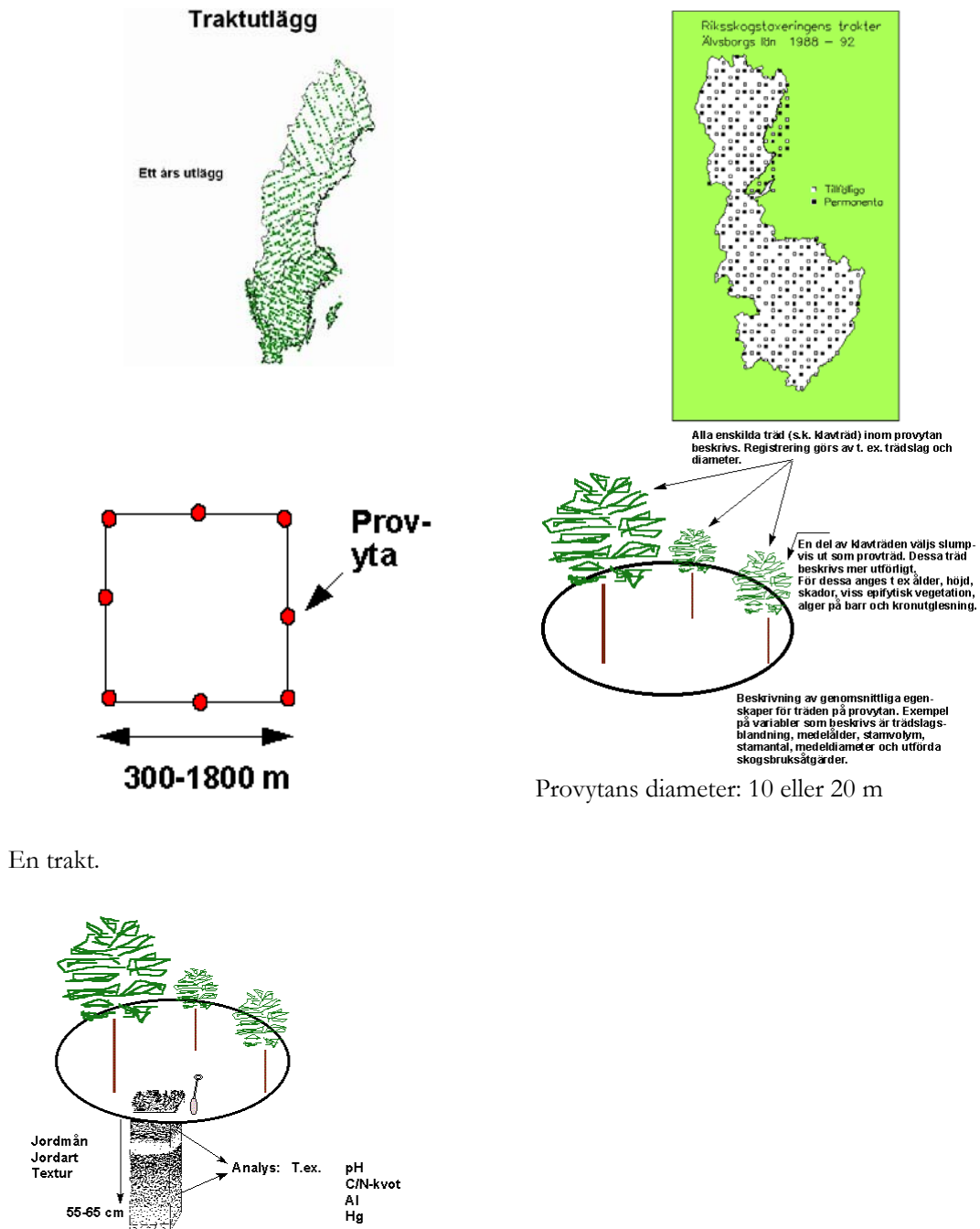
Riksskogstaxeringen bedrivs som en stickprovsinventering (Figur 13). Ett urval av träden väljs slumpvis ut och används sedan för att skatta den totala volymen av alla träd. Inventeringen utförs på avgränsade, cirkulära provytor. Provytorerna ligger av arbetstekniska skäl samlade i s.k. taxeringstrakter. Trakterna har kvadratisk eller rektangulär form och varierande storlek i olika delar

av landet. Trakterna är utlagda i ett regelbundet nät över landet. Avståndet mellan trakterna är kortare i södra Sverige än i norra.

Trakten utgör basen för de yttäckande beräkningarna. Det som en enskild inventerad trakt, j, kommer att representera vid en yttäckande beräkning för ett län, i, beräknas utifrån en statistisk metodik, utarbetad av Horwitz-Thompson (Thompson, 1992).

Inom 2008 års rapportering (NIR, 2008) grundar sig uppgifterna om den levande biomassan under perioden 1990-2003 på 24 000 provytor inom RT. Uppgifter om åren 2004, 2005 and 2006 grundar sig på 18 000, 12 000 and 6 000 provytor. Uppgifter om förna, inklusive humusskikt, baserar sig på mätningar mellan 1993-2004. Uppgifterna för 1990-1992 och 2005-2006 är extrapolerade, eftersom det inte finns fältmätningar för dessa år. Även uppgifterna om markkol grundar sig på mätningar mellan 1993 och 2004 och uppgifterna för 1990-1992 och 2005-2006 är extrapolerade. Uppgifterna om markkol är dock helt omräknade jämfört med föregående års rapporteringar.

Metodikerna för att beräkna förändringar av upplagrat kol samt utsläpp och upptag av övriga växthusgaser beskrivs i ”Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry” (<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gpplulucf/gpplulucf.htm>). Vidare ges en beskrivning i Sveriges ”National Inventory Report 2007” (http://www.naturvardsverket.se/upload/02_tillstandet_i_miljon/utslappsdata/vaxthusgaser/NIR_2007.pdf). Det finns även interna arbetsbeskrivningar inom SMED-konsortiet (SMED, Svenska MiljöEmissions Data).



Figur 13 Illustration av den metodik som tillämpas inom Riksskogstaxeringen och Markinventeringen för stickprovtagning. Källa: Riksskogstaxeringens hemsida.

Tabell 23 Översikt över Sveriges rapportering för Skogmark (Forest land) och Skogsbruk (Forest Management)

	UNFCCC	Kyoto- protokollet	Tidsperiod
Aktivitetsdata			
Areal	JA	JA	1990-
Upptag av CO₂ i kolpooler			
Levande biomassa ovan mark	JA	JA	1990-
Levande biomassa under mark		JA	1990-
Död ved	JA	JA	1990-
Förna		JA	1990-
Markkol	JA	JA	1990-
N₂O-emissioner från kvävegödsling	JA	JA	1990-
CO₂ emissioner från kalkning	NEJ	JA	1990-
N₂O, CH₄, CO₂ emissioner från biomassaförbränning	JA	JA	1990-
N₂O emissioner vid dikning	NEJ	NEJ	

Bilaga 2 Bakgrund till att åren 2001-2003 valts att representera "normalår" i beräkningarna

Emissionsinventeringen i denna studie ska gälla för normalår, d v s representativa år som inte är påverkade av stormen Gudrun i januari 2005. I studien har vi valt att basera våra beräkningar av förändringar av kolförråden inom skogsekosystemet på värden för de tre åren 2001-2003 så som de rapporteras i 2008 års submission av följande skäl:

1. En optimerad avvägning mellan antalet provytor som skattningarna baserar sig på gentemot ett minimalt inflytande av stormen Gudrun. Värdena vad gäller levande biomassa och dött organiskt material baserar sig på 80 % av Riksskogstaxeringens totalt 30 000 provytor, d v s 24 000 provytor. Värdena kommer från 4 olika inventeringsomgångar (Figur 14); första inventering 1993/1994 återinventerat 2003; första inventering 1995/1999 återinventerat 2004; första inventering 1996/2000 återinventerat 2005; första inventering 1997/2001 återinventerat 2006. Således är det enligt ovanstående resonemang häften av provytorna som kan i viss mån ha varit påverkade av stormen Gudrun. Detta gäller dock givetvis endast del andel av dessa provytor som ligger i områden som påverkades av stormen, vilket är en mindre del av dessa ytor. Hur liten är dock svår att avgöra.
2. Markinventeringen grundar sig nu på så många provytor att värdena börjar stabilisera sig. Metodiken har även utvecklats och förfinats jämfört med tidigare års rapporteringar (Erik Karlton, personlig kommunikation). Värdena för markkol har inte påverkats av stormen Gudrun eftersom inga provtagningar skett 2005 och 2006.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1983	1983	-	-	-	-	-	-	-	-
1984	1984	1984	1984	-	-	-	-	-	-
1985	1985	1985	1985	1985	1985	-	-	-	-
1986	1986	1986	1986	1986	1986	1986	1986	-	-
1987	1987	1987	1987	1987	1987	1987	1987	1987	1987
1988	1988	1988	1988	1988	1988	1988	1988	1988	1988
1989	1989	1989	1989	1989	1989	1989	1989	1989	1989
1990	1990	1990	1990	1990	1990	1990	1990	1990	1990
1991	1991	1991	1991	1991	1991	1991	1991	1991	1991
1992	1992	1992	1992	1992	1992	1992	1992	1992	1992
1993	1993	1993	1993	1993	1993	1993	1993	1993	1993
1994	1994	1994	1994	1994	1994	1994	1994	1994	1994
1995	1995	1995	1995	1995	1995	1995	1995	1995	1995
1996	1996	1996	1996	1996	1996	1996	1996	1996	1996
1997	1997	1997	1997	1997	1997	1997	1997	1997	1997
1998	1998	1998	1998	1998	1998	1998	1998	1998	1998
1999	1999	1999	1999	1999	1999	1999	1999	1999	1999
2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000
2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001
2002	2002	2002	2002	2002	2002	2002	2002	2002	2002
2003	2003	2003	2003	2003	2003	2003	2003	2003	2003
2004	2004	2004	2004	2004	2004	2004	2004	2004	2004
2005	2005	2005	2005	2005	2005	2005	2005	2005	2005
2006	2006	2006	2006	2006	2006	2006	2006	2006	2006
2007	2007	2007	2007	2007	2007	2007	2007	2007	2007
2008	2008	2008	2008	2008	2008	2008	2008	2008	2008
2009	2009	2009	2009	2009	2009	2009	2009	2009	2009
2010	2010	2010	2010	2010	2010	2010	2010	2010	2010
2011	2011	2011	2011	2011	2011	2011	2011	2011	2011
2012	2012	2012	2012	2012	2012	2012	2012	2012	2012
2013	2013	2013	2013	2013	2013	2013	2013	2013	2013
2014	2014	2014	2014	2014	2014	2014	2014	2014	2014

Figur 14 En illustration av hur olika omgångar provtytor inventerats under årens lopp. Riksskogstaxeringens totalt 30 000 provtytor är indelade i 10 st olika omgångar med ca 3 000 provtytor i varje. I figuren indikeras årtalen genomförda och planerade inventeringar för varje omgång med blått. De inventeringsomgångar som används för beräkningar inom förevarande uppdrag för åren 2001-2003 har illustrerats med röd rektangel. Ungefär hälften av dessa data kan alltså vara påverkade av stormen Gudrun som inträffade i januari 2005. Detta gäller dock givetvis endast del andel av dessa provtytor som ligger i områden som påverkades av stormen. Observera att definitionen av skogsmark ändrade sig 1998. För att kunna medräknas måste därför provtytorna ha återinventerats minst en gång sedan 1998.

Bilaga 3 En fördjupad utvärdering av osäkerheter och variationer vad gäller skattningar av förändringar av kolförråden i skogsekosystemen

Våra skattningar av årliga förändringar av kolförråden i skogsekosystemen i ett svenskt normalskogbruk innehåller såväl osäkerheter i skattningen av de årliga värdena som verkliga mellanårsvariationer för den treårsperiod som vi använt för våra beräkningar, 2001-2003.

Osäkerheter i skattade årliga värden.

Den årliga stamtillväxten i den svenska skogen låg under åren 2001-2003 runt 120 milj m³ sk. Detta skall jämföras med det totala virkesförrådet i Sverige på ca 3200 milj m³ sk. Den beräknade årliga tillväxten utgör således endast ca 3 % av virkesförrådet. Eftersom återinventeringarna av RT i de flesta fall sker vart femte år är det en förändring av den levande biomassan på i storleksordningen 15 % mellan återinventeringarna som man avser att uppskatta. Det är lätt att inse att det kan bli betydande osäkerheter när man skall mäta och beräkna en såpass liten förändring i ett så komplext system som skogen utgör.

Inom Sveriges rapportering till klimatkonventionen görs utvärderingar av osäkerheterna vad gäller de rapporterade, skattade värdena. För levande och död biomassa samt markkol anger man att den osäkerhet som finns i huvudsak beror på slumpvis variation. För årliga förändringar av den levande biomassan anger man en osäkerhet på ca 20 %, för död biomassa 70 % och för markkol 35 %.

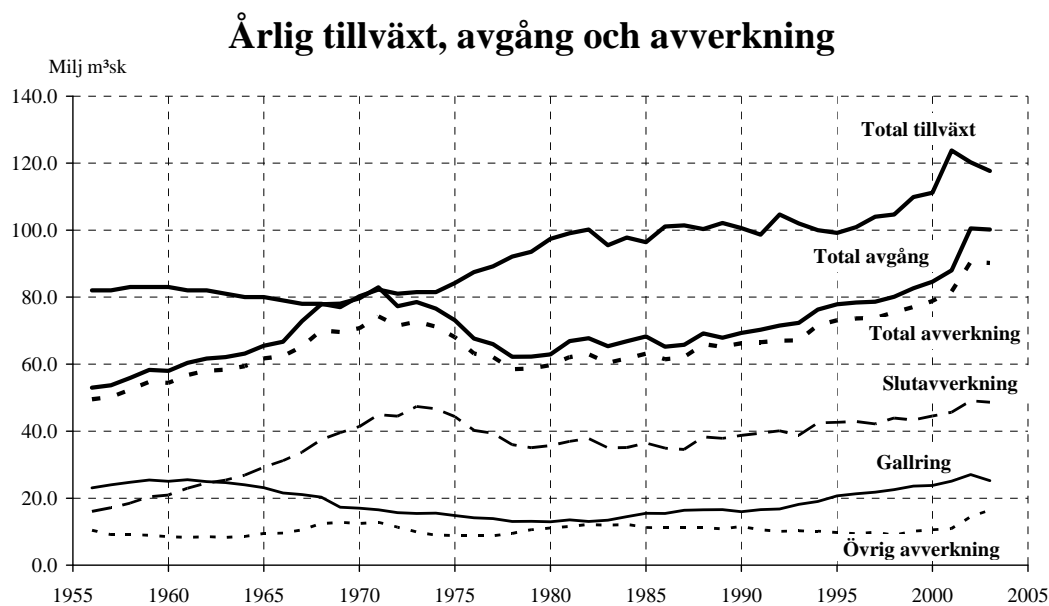
Det finns en mycket stor mellanårsvariation vad gäller den levande biomassan i NIR, 2008. Denna stora variation motsvarar troligen inte verkligheten, utan orsakas av tekniska skäl, av de olika beräkningar som genomförs. Bland annat måste överföringen av provtytor mellan olika typer av markanvändning skattas, t ex när åkermark planteras med skog. Detta görs antingen genom att tillfället för denna förändring slumpas mellan de olika inventeringstillfällena eller att året uppskattas av inventeraren. Detta tillvägagångssätt kan ligga bakom mycket av mellanårsvariationen (Hans Petersson, SLU, personlig kommunikation). Den genomsnittliga nivån över en längre tidsperiod antas dock vara riktig.

Som nämnts tidigare i denna rapport grundar sig de skattade värdena av levande biomassa för åren 2001-2003 på ca 24 000 provtytor. Till nästa års rapport (NIR, 2009) kommer antalet provtytor för dessa år öka med 20 % till 30 000. Eventuella förändringar av skattade värden kommer att ge en god indikation på betydelsen av antalet provtytor och således den slumpvisa variationen.

Verklig mellanårsvariation.

Mellanårsvariationen av skattade värden på stamtillväxt, avverkning etc. utgör ett betydande problem vilket gör att i stort sett all skoglig statistik, t ex inom Riksskogstaxeringen och från skogsstyrelsen, redovisas som glidande femårsmedelvärden (se t ex Figur 15). Det är därför svårt att komma åt hur stor den verkliga mellanårsvariationen egentligen är vad gäller t ex ökningen av kolförråden i den levande biomassan.

Riksskogstaxeringen anger en korrigering av inventerade värden för skogens tillväxt under en femårsperiod i relation till ett "normalväder" under perioden. Denna korrigering är vanligtvis <10%. Även om detta gäller femårsperioder och inte en mellanårsvariation, antyder det att den verkliga variationen orsakade av skillnader i väder inte är särskilt stor.



Figur 15 Årlig avsatt tillväxt (inkl tillväxt på avverkade träd), årlig total avgång och årlig avverkning perioden 1956-2003. Fr.o.m. 1994 är avverkningen uppjusterad med Skogsstyrelsens beräknade bruttoavverkning Glidande femårsmedelvärde. Alla ägoslag. Källa: Riksskogstaxeringen (2008-02-21).

Bilaga 4 Alternativ beräkning av skogsindustrins totala emissioner och upptag av växthusgaser med värden för organogena jordar baserat på klimatrapporeringen NIR (2008)

Tabell 24 Alternativ beräkning av skogsindustrins totala emissioner och upptag av växthusgaser med värden för organogena jordar baserat på klimatrapporeringens uppskattningar (NIR, 2008). Årsmedelvärden för åren 2001-2003. Negativa värden innebär upptag och positiva värden innebär emission.

Aktivitet	milj ton CO ₂ -ekvivalenter					1994 års studie
	CO ₂ biogen	CO ₂ fossil	N ₂ O	CH ₄	Totalt	
Skogsekosystemet, totalt	-19,7		0,68	0,07	-19,0	-26,7
Därav:						
Förändring av kolförråd, totalt	-19,8				-19,8	
Därav:						
i. Levande biomassa	-14,4				-14,4	
ii Död biomassa	-0,36				-0,4	
iii Markkol, mineraljord	-1,04				-1,04	
iv Markkol, organogen jord	-4,0				-4,0	
Övriga flöden av växthusgaser i skogen	0,05		0,68	0,07	0,8	
Skogsindustriella produktionssystemet, totalt	0,0	3,16	0,29	0,08	3,52	5,8
Därav:						
Upptag i avverkad stamved (inkl bark) till skogsindustrin	-52,0					
Upptag i importerad stamved (inkl bark) till skogsindustrin	-7,7					
Skogsbruk och avverkning	0,0	0,35	0,05	0,001	0,40	
Massa- och pappersindustri (förbränning)	20,6	2,05	0,19	0,04	2,3	
Avloppsvattenbehandling	0,0	0,005	0,0001	0,02	0,03	
Sågverksindustrin (förbränning)	1,5	0,12	0,03	0,012	0,16	
Produktion av träbaserade skivor (förbränning)	0,2	0,04	0,004	0,002	0,05	
Transporter	0,0	0,59	0,02	0,001	0,61	
Biogent kol i skogsprodukter och biobränslen till kund (emission)	37,4					
Totalt svenska skogsindustrin	-19,7	3,2	1,0	0,1	-15,4	-20,9