

Kolet, klimatet och skogen



Så funkar det

ETT MISTRAFINASIERAT
FORSKNINGSPROGRAM

LUSTRA är ett forskningsprogram som är inriktat mot problemet med ökningen av växthusgaser i atmosfären. Syftet är att ta fram ett vetenskapligt underlag som stöd, dels för beslut om markanvändning och skogsskötsel och dels för Sveriges internationella rapportering av kolsänkor.

LUSTRA finansieras av MISTRA – Stiftelsen för miljöstrategisk forskning. MISTRA, finansierar breda, långsiktiga forskningsprogram som bryter disciplingränser. Forskningsresultaten ska komma till praktisk användning inom företag, förvaltningar och frivilligorganisationer för att bidra till att lösa centrala miljöproblem.

Grundform, original: Ann-Sofie Morén, SLU

Redaktion: De resultat som redovisas i den här broschyren har publicerats vetenskapligt av LUSTRA:s forskare. En fullständig sammanställning av dessa publikationer finns på LUSTRA:s hemsida: www.mistra.org/lustra. Texterna i den här broschyren har sammanställts och redigerats av Ann-Sofie Morén. De har faktagranskats av Mats Olsson (alla texter), Michael Freeman, SLU (sidorna 8-9), Dan Berggren Kleja (sidorna 10-13), Stefan Andersson (sidorna 17-18), Tryggve Persson (sidan 19), samt Göran Ågren och Per-Erik Jansson (sidorna 20-21).

Foton: Mats Olsson och Ann-Sofie Morén samt Niklas Lindberg markdjur på sidan 9, Hooshang Majdi minirhizotron och rötter på sidan 16, och Bo Bergkvist trenching på sidan 17.

Illustrationer: Ann-Sofie Morén

Tryck: SLU/Repro 2007 Upplaga: 200 ex.

Papper: FSC-märkt papper från Color Copy, 120 gram.

ISBN: 978-91-85911-15-8

Forskare och doktorander som deltagit i LUSTRA:s fas två

SLU, programvärd

(hemsida: www.slu.se, telefon: 018-67 10 00)

Bertil Andersson
Stefan Andersson
Dan Berggren Kleja
Erik Ericsson, Energimyndigheten
Mats Fröberg
Achim Grelle
Riitta Hyvönen
Maj-Britt Johansson
Tord Johansson
Erik Karlton
Ola Langvall
Lars Lundin
Hooshang Majdi
Torbjörn Nilsson
Jan-Erik Nylund
Mats Olsson
Tryggve Persson
Lars Rosenqvist
Johan Stendahl
Göran Ågren

Göteborgs universitet

(hemsida: www.gu.se, telefon: 031-773 10 00)

Maria Ernfors
Leif Klemedtsson
Josefine Norman
Per Weslien

KTH

(hemsida: www.kth.se, telefon: 08-790 60 00)

Per-Erik Jansson
Magnus Svensson

Linköpings universitet

(hemsida: www.liu.se, telefon: 013-28 10 00)

Karin von Arnold, Skogsstyrelsen

Lunds universitet

(hemsida: www.lu.se, telefon: 046-222 00 00)

Bo Bergkvist
Anders Lindroth

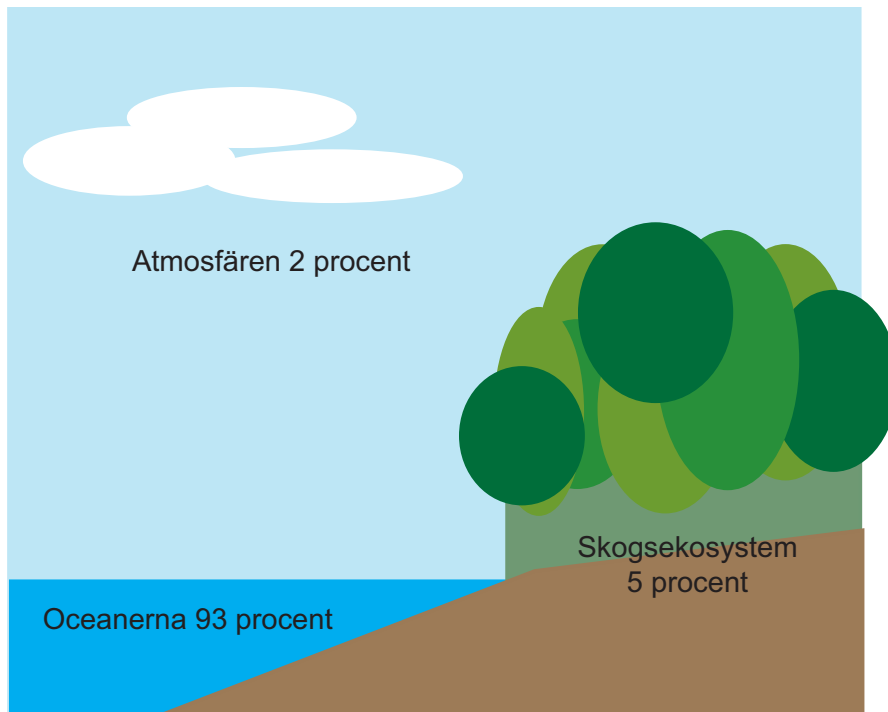
Mittuniversitetet

(hemsida: www.miun.se, telefon: 0771-97 50 00)

Leif Gustavsson

Skogen och skogsmarken har en nyckelroll 4
Kolets kretslopp – från atmosfär till träd och mark 6
Träden motorn i skogens kolkretslopp 8
Stora kolförråd i marken 10
Mätningarna har gett nya kunskaper 12
LUSTRA har lärt oss mer om processerna i marken 16
Kvävedeposition ökar kolförråden i träd och mark 19
Modellerna sammanfattar kunskap och siar om framtiden 20
Så mäts skogens kolförråd för rapportering till FN 22

Skogen och skogsmarken har en nyckelroll



Figur 1. Globalt finns enligt FN:s klimatpanel, IPCC, sammanlagt nästan 42 000 Pg (1 Pg = 10^{15} g) kol i atmosfären, oceanerna, träden och marken. En Pg motsvarar vikten av 670 miljoner bilar, som var och en väger 1,5 ton (exempelvis Volvo 850).

Av de av världens kolförråd, som deltar i kolkretsloppet, återfinns cirka 93 procent i oceanerna, knappt två procent i atmosfären och drygt fem procent i skogsekosystemen (Figur 1). Mängden kol i skogarna är liten jämfört med de mängder som finns i oceanerna. Trots detta kan man inte bortse från skogsekosystemens påverkan på klimatet.

Skogarna har en nyckelroll. Behandlas de felaktigt kan de bidra till att mängden koldioxid i atmosfären ökar. Skogarna är mycket känsliga för förändringar. Stormar och bränder resulterar i snabba minskningar av kolförråd både ovan och i marken. Mänskliga aktiviteter som att man avverkar skog (avskogning) eller omvandlar skog till jordbruksmark (ändrad markanvändning) leder också oftast till att kolförråden minskar. Det innebär

att kol som varit bundet i träd och mark kommer ut i atmosfären där det förstärker växthuseffekten.

Utöver det kol som idag ingår i kolkretsloppet finns kol lagrat i icke förnybara bränslen, som i olja och i trä- och stenkol. När vi förbränner olja och kol frigörs koldioxid som inte varit tillgänglig och tillförs kolkretsloppet, vilket får till följd att mängden kol som deltar i kolkretsloppet ökar. Koncentrationen av koldioxid i atmosfären ökar därmed vilket som vi vet påverkar den globala temperaturen.

När LUSTRA startade 1999 var det för att ta reda på mer om kolet i marken. Klimatfrågan var redan då en het fråga inom forskarvärlden. Nu skriver vi 2007 och klimatet har av media förvandlats till ett hot som finns i allas medvetande. LUSTRA håller på att avslutas. Förutom nya kunskaper om kolet i marken lämnar

vi också efter oss forskningsresultat om hur biomassan från skogen kan användas för att ersätta olja och betong och för att på så sätt minska den mänskliga påverkan på klimatet.

LUSTRA är ett forskningsprogram som under perioden 1999-2006 finansierats av Mistra, den miljöstrategiska forskningsstiftelsen. Syftet har varit att ta fram ett vetenskapligt underlag som stöd, dels för beslut om markanvändning och skogsskötsel och dels för Sveriges internationella rapportering av kolsänkor. Ökar eller minskar kolförråden i marken idag? Hur påverkar klimatet kolförråden? Vad händer med kolförråden i framtiden? Detta är exempel på frågor som LUSTRA arbetat med.

Det här är den första broschyren av tre broschyrer där vi berättar om resultat från vår forskning. För att resultaten ska

ha någon mening sätts de naturligtvis in i sitt sammanhang. Därför innehåller broschyrerna mer kunskaper än bara rena LUSTRA-resultat.

I den här, som är den första broschyren av tre, beskriver vi hur koldioxid cirkulerar från atmosfären via växterna till marken och tillbaka till atmosfären. Vi beskriver också hur man mäter och studerar cirkulationen. Fokus ligger naturligtvis på marken men för att förstå hur kol hamnar i marken måste man känna till hela kretsloppet.

De flesta av resultaten i den här broschyren är hämtade från LUSTRA:s mätningar i 40-årig granskog på tre platser i Sverige: Asa i Småland, Knottåsen i Gästrikland och Flakaliden i Västerbotten. Platserna liknar, bortsett från klimatet, varandra och representerar den vanligaste typen av svensk skogsmark: morän. Årsmedeltemperaturen i Flakaliden är 1,2 °C, i Knottåsen 3,4 °C och i Asa 5,5 °C. På varje plats har vi gjort mätningar på mark med tre olika fuktighetsklasser: torr, frisk respektive fuktig.

I den andra broschyren beskriver vi bland annat hur skogsbruket påverkar klimatet och förklarar varför användning av skogens produkter är det bästa sättet att nyttja skogen för att om möjligt bromsa klimatförändringarna.

Den tredje broschyren ägnar vi helt åt dikad mark. Trots att de dikade markerna utgör en liten del, cirka 7 procent, av hela den svenska skogsmarken beräknar vi att de står för 15 procent av de totala utsläppen av växthusgaser från svensk skogsmark. Här berättar vi varför och vad man kan göra åt det.

Vår förhoppning är att broschyrerna kommer till användning i många olika sammanhang: Av tjänstemän och rådgivare vid skogs- och naturvårdsmyndigheter som vill uppdatera sina kunskaper. Av gymnasie- och högskolelärare som söker inspiration till sin undervisning. Av gymnasieelever och högskolestudenter som skriver fördjupnings- och examensarbeten om klimatförändringar.

Ann-Sofie Morén och Mats Olsson,
LUSTRA

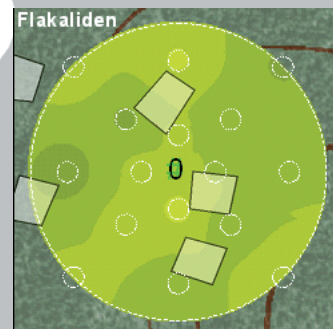
Figur 2. LUSTRA har gjort mätningar på tre olika platser i Sverige. De små gröna cirkelarna/triangeln visar var master placerats, de gulgröna områdena de ytor som setts av mätinstrumenten monterade i masterna (se sidorna 12–15), de små vita cirkelarna platser där biomassa provtagits, de ljusa rektangulära områdena LUSTRA:s provtytor och skuggningen i gult och grönt den årliga tillväxten i gram kol per kvadratmeter enligt skalan nedan:



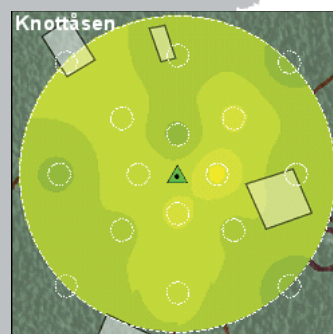
Flakaliden ligger 20 km sydväst om Vindeln (64° 07' N 19° 26' E) på 320 meters höjd över havet. Det är en öppen granskog med ett fältskikt som mestadels består av blåbär och lingon. Träden var år 2002 43 år gamla. Det fanns omkring 2600 träd per hektar och den maximala trädhöjden var 12,7 m.

Knottåsen ligger 30 km nordväst om Ockelbo (61° 00' N 16° 13' E) på 320 meters höjd över havet. Det är en öppen granskog med ett fältskikt som mestadels består av blåbär och lingon. Träden var år 2002 39 år gamla. Det fanns omkring 3460 träd per hektar och den maximala trädhöjden var 16,5 m.

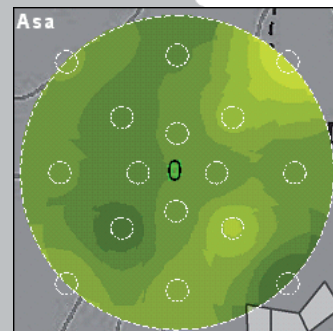
Asa ligger 10 km sydost om Lamnhult (57° 08' N 14° 45' E) på 190 meters höjd över havet. Det är en tät granskog som saknar markvegetation. Träden var år 2002 39 år gamla. Det fanns omkring 2830 träd per hektar och den maximala trädhöjden var 25,1 m.



Flakaliden



Knottåsen



Asa

0 25 50 m

Kolets kretslopp – från atmosfär till träd och mark

Skogens kolförråd ändras normalt mycket långsamt. Det beror inte på att det inte händer något i våra skogar. Här pågår tvärtom en intensiv verksamhet som framför allt styrs av klimat och tillgång till näring, det vill säga hur bördig marken är. Att förändringar av skogens kolförråd går långsamt beror på att aktiviteterna verkar i olika riktningar. Följ med på en tur i kolkretsloppet, så förklarar vi hur det hänger ihop!

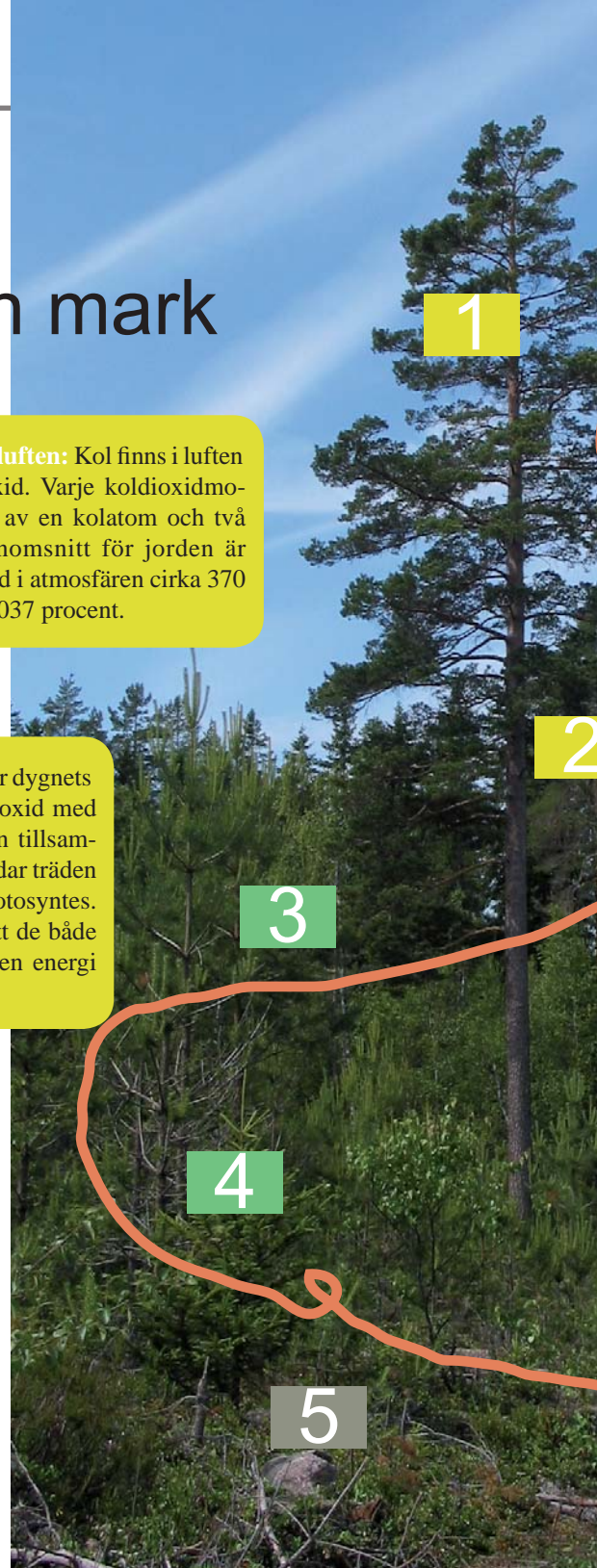
1 Koldioxid i luften: Kol finns i luften som koldioxid. Varje koldioxidmolekyl består av en kolatom och två syreatomer. I genomsnitt för jorden är mängden koldioxid i atmosfären cirka 370 ppm, dvs. cirka 0,037 procent.

2 Koldioxid tas upp av träden: Under dygnets ljusa timmar fångar träden in koldioxid med sina blad eller barr. Av koldioxiden tillsammans med vatten och energi från solen bildar träden energirikt socker. Processen kallar vi för fotosyntes. Genom fotosyntesen har träden sett till att de både har byggstenar (kol) och kemiskt bunden energi (socker) (läs mer på sidorna 8–9).

3 Blir till mera träd: Med hjälp av det energirika sockret bygger träden stammar, grenar, blad, barr, rötter, blommor samt frön.

4 Träden andas: När träden använder energin som finns lagrad i sockret bildas på nytt koldioxid. Man säger att träden andas eller respirerar. Träden avger alltså koldioxid, såväl från bladverk, stammar som rötter (läs mer på sidorna 8–9).

5 Döda träd- och andra växtdelar (förna) bryts ned: Trädens delar har mycket olika livslängd. Blad och tunna rötter förnyas varje år medan stammar och stubbar kan leva i flera hundra år. Döda växtdelar kallar man för förna. På och i marken angrips förnan av allehanda svampar och markdjur. De får energi och näring samtidigt som det vid nedbrytningen bildas koldioxid, som återvänder till atmosfären (läs mer på sidorna 12–18).



Träden motorn i skogens kolkretslopp



Luften vi andas består i huvudsak av kväve (78 procent) och syre (21 procent). Här finns också små mängder av andra gaser, bland annat så kallade växthusgaser. Den allra viktigaste växthusgasen är vattenånga, som sällan diskuteras eftersom vi inte kan påverka hur mycket vattenånga som finns i luften. Mer kända växthusgaser är koldioxid, metan och lustgas. Vår användning av fossila bränslen är den främsta orsaken till att koncentrationen i luften av alla tre gaserna har ökat kraftigt under 1900-talet (Figur 1a). Även avskogning av tidigare beskogade områden är en viktig bidragande orsak. Idag är forskarna eniga om att denna mänskliga påverkan av luftens sammansättning förstärker växthuseffekten så att klimatet på jorden långsamt blir varmare.

Mätningarna på Maona Loa i Västindien är kända världen över för att det är de första mätningar där man ser hur

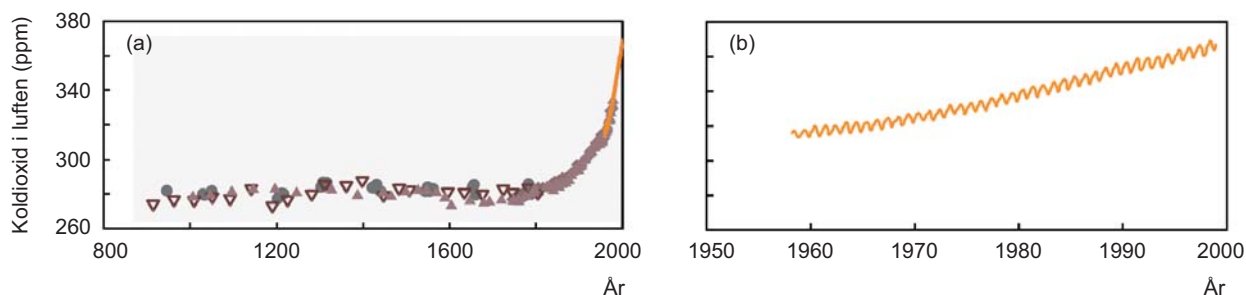
mängden koldioxid förändrats (Figur 1b). Genom kurvans sicksackmönster ser man också vegetationens betydelse för koldioxidhalten i luften (Figur 1b). Under det norra halvklotets sommar tar skogarna upp mycket koldioxid, vilket syns som tillfälliga minskningar i koldioxidkoncentrationen. Hade det funnits mera skog på södra halvklotet hade variationen i koldioxidkoncentration under året varit mindre.

Världens skogar är alltså viktiga för klimatet eftersom alla växter har förmåga att ta upp luftens koldioxid. Träden i sin tur använder kolet från koldioxiden som byggstenar till stammar, grenar, blad, barr, rötter, blommor och frön. För att

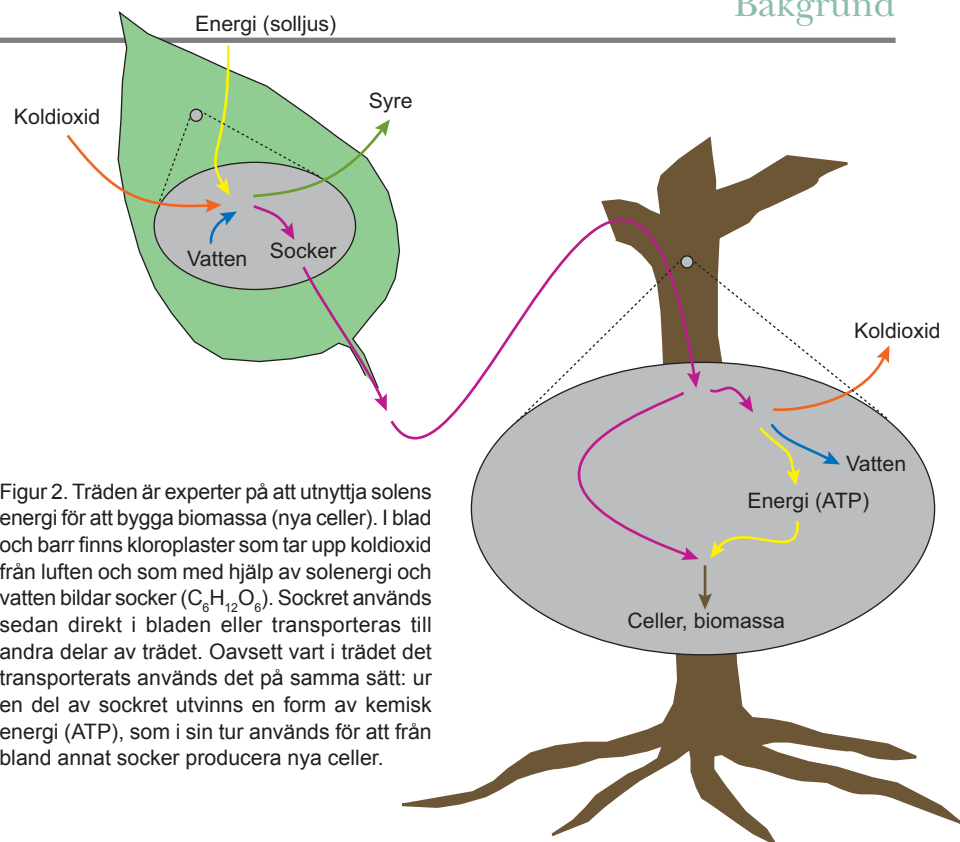
använda kolet i koldioxiden går det åt stora mängder solenergi. Trots att träden är effektiva solfångare är verkningsgraden endast cirka en procent.

Kol från luften blir trädens biomassa

Fotosyntesen är den process där träden med solens hjälp omvandlar koldioxid och vatten till socker och syre (Figur 2, bladet). Sockret är för träden, precis som för människan, en mycket energirik produkt. Det produceras i bladen och transporteras härifrån till resten av trädet där det bland annat används för att bygga ny biomassa, det vill säga nya celler. Ur en del av sockret utvinns en kemisk form av energi (ATP) (Figur 2, stammen), som



Figur 1. Mängden koldioxid i luften har ökat drastiskt under 1900-talet. Framför allt beror det på ökande utsläpp av koldioxid samt avskogning av tidigare beskogade områden. (a) Ända fram till 1800-talet var mängden koldioxid i luften omkring 280 ppm, det vill säga den utgjorde 0,028 procent av gaserna i luften. Informationen kommer från ett antal borrhärdar från is i Antarktis. (b) Vid slutet av 1950-talet började man mäta koncentrationen av koldioxid i luften på Maona Loa, Hawaii (orange i figurerna). Idag är koncentrationen nära 380 ppm, en ökning med 36 procent.



Figur 2. Träden är experter på att utnyttja solens energi för att bygga biomassa (nya celler). I blad och barr finns kloroplaster som tar upp koldioxid från luften och som med hjälp av solenergi och vatten bildar socker ($C_6H_{12}O_6$). Sockret används sedan direkt i bladen eller transporteras till andra delar av trädet. Oavsett vart i trädet det transporterats används det på samma sätt: ur en del av sockret utvinns en form av kemisk energi (ATP), som i sin tur används för att från bland annat socker producera nya celler.

i sin tur används för att från bland annat socker producera nya celler.

Som framgår av Figur 2 (stammen) bildas koldioxid och vatten när trädet utvinns energi ur sockermolekylerna. Processen kallas för respiration eller andning. Det innebär att trädet både tar upp koldioxid (genom fotosyntesen) och ger ifrån sig koldioxid (genom respirationen). Så länge träden växer är dock upptaget av koldioxid större än förlusten. När trädet dör bryts biomissan långsamt ned och då frigörs det kol som trädet bundit i sina celler, samtidigt som det bildas koldioxid och vatten (Figur 3). Detsamma händer med de blad, barr och rottdelar som dör under trädets levnadstid. Svampar och mikroorganismer, som hämtar energi och näring från de döda växtdelarna svarar för nästan all nedbrytning. Som regel bryts barr, blad och finrötter ned snabbast. De innehåller mest energi och näringsämnen och är också mest lättillgängliga.

Andra växthusgaser

I skog på torvmark som dikats, kan det även bildas lustgas och metan när döda växtdelar bryts ned. Som växthusgas är lustgas 296 och metan 23 gånger mer effektiv än koldioxid. Därför är det en fördel för klimatet om man kan undvika att det bildas allt för mycket lustgas och metan inom skogsbruket.

Figur 3. Många av de organismer som lever i marken får energi och näring genom att bryta ned dött organiskt material. Samtidigt som organismerna får det de behöver frigörs koldioxid. Den återvänder till atmosfären och kretsloppet sluts. De tre markdjuren nedan tillhör släktet hoppstjärter och är i verkligheten 0,5-1 mm. Längst ned till vänster förna och till höger rester av en rotvålta.



Stora kolförråd i marken

Podsolen är den vanligaste typen av svensk skogsmark. De lager, horisonter som syns i bilden är uppifrån ett mosskikt och därunder förna, humus (mörkbrun), blekjord (ljusgrå), rostjord (ljus brun till rostfärgad) och underst opåverkad grå morän.

Det totala förrådet av kol i den svenska skogsmarken uppgår till cirka 1,9 Pg, vilket motsvarar vikten av närmare 1,5 miljoner personbilar som vardera väger 1,5 ton (exempelvis Volvo 850). Det är nära dubbelt så mycket som det kol som är bundet i träden och motsvarar ett medelförråd för hela sveriges skogsmark på cirka 8 kg kol per m². Variationen är naturligtvis stor mellan olika marker. Förråden av kol i marken är större i södra än i norra Sverige. En sannolik huvudorsak till denna skillnad mellan södra och norra Sverige är att det finns mer kväve i söder. Kväve ökar inte bara trädens tillväxt och därmed tillförseln av kol till marken utan minskar också nedbrytningshastigheten för organiskt material. Därigenom går nedbrytningen i norra Sverige minst lika fort som i södra Sverige trots lägre marktemperaturer.

Omkring 70 procent av skogsmarkens

kolförråd finns i mineraljorden och cirka 30 procent i humuslagret på mineraljordsytan (Figur 1 och Fakta). En typisk fördelning kan vara 6 kg kol per m² i mineraljorden ned till ett djup av 1 m och 3 kg kol per m² i det vanligen 5-10 cm tjocka humuslagret.

En förklaring till denna fördelning är att humuslagret innehåller en större andel ungt, lättnedbrytbart organiskt material än mineraljorden. En annan förklaring är att det ytliga humuslagret alltid, nu och historiskt, blivit utsatt för störningar av olika slag, till exempel bränder, täkt som strö i ladugårdar eller som täckning för kolmilor och tjärdalar, odling och markberedning. Det kol som finns i mineraljorden är mer skyddat mot störningar och man kan anta att nära jämviktstillstånd, en balans mellan inflöde och förlust av kol, har byggts upp under årtusenden.

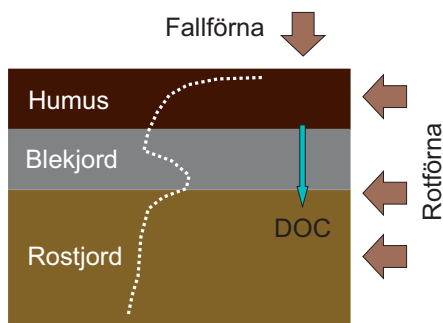
I de flesta skogsmarker har en bety-

dande del av mineraljordens kol tillförts genom att vatten transporterat organiskt material, DOC, djupare ned i marken. Det organiska materialet har lakats ut från förna och humuslager och sedan fällt ut tillsammans med järn- och aluminiumföreningar i markens rostjord (Figur 1, 2). Ett undantag från detta är mycket bördiga marker där dagmaskar och andra markdjur kan dra ned förna, som till exempel blad, till mineraljorden. Men i skogsmark i Sverige är djupgrävande dagmaskar ovanliga. Ett annat undantag är gamla uppodlade marker, där humuslager med plogens eller hackans hjälp fördelats ned till mineraljorden.

Den mängd kol som tillförs som DOC och kvarhålls i rostjorden är avsevärt lägre än den mängd som tillförs från finrötter. Men forskningen visar att detta organiska material bryts ner betydligt långsammare än finrötterna. De lösta organiska fören-

Tabell 1. Kolförråd i träd och mark (0-50 cm) i de 40 år gamla skogarna på LUSTRA:s fälttytor i Asa, Knottåsen och Flakaliden, samt årlig träd tillväxt.

	Asa	Knottåsen	Flakaliden	Enhet
Mark	8,82	5,23	5,26	kg per m ²
Träd	7,95	4,60	4,63	kg per m ²
Träd tillväxt	0,41	0,20	0,22	kg per m ² och år



Figur 1. Markprofil: podsol. Den vita streckade linjen visar hur mängden kol i olika delar av markprofilen varierar med djupet. Mest kol finns i de övre delarna av humusskiktet och avtar därefter, med ett undantag av en liten ökning i blekjorden, med djupet. Den högra delen av figuren illustrerar tillflödet av kol som förråd till marken samt hur vatten transporterar organiskt kol, DOC, nedåt i marken. DOC kommer från engelskans Dissolved Organic Carbon (löst organiskt kol).



Figur 2. Mikroskopbild av partiklar i rostjorden. Partiklarna är cirka 0,1 mm i diameter och de är belagda med utfällningar från DOC tillsammans med järn- och aluminiumhydroxider.

ingarna som fastläggs är genom sin kemiska sammansättning svårnedbrytbara. Dessutom blir de stabiliserade genom att binda till järn- och aluminiumjoner och olika järn och aluminiumfällningar (Figur 2). DOC kan därför, trots den årliga låga tillförseln, stå för en betydande andel av kolförrådet i rostjorden.

I Sverige är podsolen den allra vanligaste jordmånen. Den påverkas av klimat, vegetation och djurliv och återspeglar markens bördighet och uthålliga produktionsförmåga. Beroende på hur en jordmån bildats innehåller den olika mycket kol. På de torra och friska podsolorna vi undersökt i LUSTRA är kolinnehållet i marken ned till 50 cm djup i Asa 8,8, i Knottåsen 5,2 och i Flakaliden 5,3 kg kol per kvadratmeter. Ned till ett djup av 1 m är motsvarande siffror 10,0, 5,9 respektive 7,2 kg kol per kvadratmeter. Det stämmer väl överens med medelförråden

för svensk skogsmark. I ett globalt perspektiv har dock de svenska podsolorna ett lågt kolinnehåll: i snitt är kolinnehållet globalt sett ned till ett djup av 50 cm 17,3 och ned till ett djup av 1 m 24,2 kg kol per kvadratmeter. Orsaken till de svenska jordarnas låga kolförråd kan vara liten tillförsel av förråd.

Här har vi endast nämnt de torra och friska markerna. Blöta och fuktiga marker (fakta) utgör ett specialfall. Eftersom grundvattenytan står högt är tillgången på syre i marken mycket begränsad och nedbrytningen av organiskt material går långsamt. Det innebär att det byggs upp stora kolförråd, ofta i form av torv. Ur klimatsynpunkt uppstår ett problem när man dikar dessa marker. Tillgången på syre ökar och nedbrytningen ökar, vilket leder till att avgången av växthusgaser öker.

För landet som helhet har vi genom

Fakta – Fastmark och torvmark

Det finns två typer av skogsmark i Sverige: fastmark och torvmark. Hela 90 procent av skogsmarken är fastmark medan cirka tio procent är torvmark.

Fastmarken skiljer sig framför allt från torvmarken genom att den också innehåller mineraljord (oorganiskt material) och att vattenhalten normalt är betydligt lägre. Tillgången på syre är god. I fastmarken bildas mer eller mindre avgränsade skikt, horisonter i markprofilen. I Sverige är podsolen den vanligaste typen av fastmark, **XX procent** av skogsmarken.

Hos en torvjord utgörs hela 85-95 procent av volymen av vattenfyllda porer medan resten är döda växtrester (organiskt material). Torvjordar har en hög vattenhalt och tillgången till syre är dålig. Därför går nedbrytningen av det organiska materialet mycket långsamt och det bildas förutom koldioxid även lustgas och metan. På torvmark som inte dikats växer skogen dåligt. Dikas den minskar vattenhalten medan både nedbrytning och produktion ökar.

forskningen inte kunnat påvisa några signifikanta förändringar av kolförrådet i fastmark (fakta). Däremot finns regionala förändringar (se sidorna 19-21). Kolförrådet i fastmark ökar svagt i södra Sverige med cirka 9 g per m² och år men minskar svagt i norr med 8 g per m² och år. Preliminära data från den nationella Markinventeringen ger ungefär samma resultat. Förändringarna i södra Sverige har enligt våra modellberäkningar åtminstone pågått sedan 1920. Modellberäkningarna visar också att med stigande temperaturer ökar kolförråden i skogsekosystemen. Ökningen beror på ökad träd tillväxt medan kolförråden i marken endast påverkas marginellt.

Mätningarna har gett nya kunskaper

Skogens andning avslöjar om skogsekosystemet är en källa eller en sänka för koldioxid.

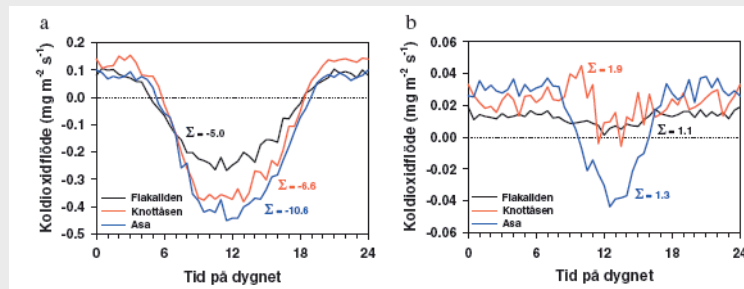
LUSTRA har inneburit en unik möjlighet att under en relativt lång period och på flera platser, Asa, Knottåsen och Flakaliden, samla och tolka data om kolförråd och kolförändringar i skog.

Vi har använt två olika kompletterande metoder för att studera kolfödena. Den ena metoden innebär att man mäter skogens andning, den andra att man antingen mäter eller beräknar bidragen från de olika komponenterna som ingår i skogsekosystemen.

Skogen andas ständigt. Den tar upp koldioxid som den bygger in i biomassa. Samtidigt frigörs koldioxid vid nedbrytning av biomassa och underhåll av celler. Man kan följa hur skogen andas genom så kallade fluxmätningar (Fotot samt figur 1). Mätinstrument placeras ovanför trädkronorna. En gasanalysator analyserar luftens innehåll av koldioxid och en vindmätare ger information om luftens temperatur och rörelse (hastighet, riktning). Eftersom luften aldrig är stilla måste man registrera rörelserna ofta, flera gånger per sekund, för att få en rättvisande bild av hur koldioxiden transporteras till och från skogen.

När data summeras över längre tidsperioder får man ett mått på om skogseko-





Figur 1. Nettoflödena av koldioxid från LUSTRA:s fälttytor för ett medeldygn i juli (a) och februari (b). Värden angivna efter summatecknet (Σ) anger nettoflödet av koldioxid för ett dygn (gram koldioxid per kvadratmeter och dygn). Observera att diagrammen har olika skalor och att negativa värden innebär att skogen tar upp koldioxid.

Under växtsäsongen visar mätningarna hur skogen under den ljusa delen av dygnet tar upp koldioxid från atmosfären. Under den mörka tiden av dygnet ser man däremot hur skogen ger ifrån sig koldioxid (a). Naturligtvis pågår respirationen också under dagen på sommaren, men då är fotosyntesen så stor att den dominerar flödena. Under vintern visar mätningarna att skogen i stort sett bara respirerar (b). Soliga dagar kan man även under vintern se hur träden fotosyntetiserar, som i det här fallet i Asa och i någon mån också i Knottåsen och Flakaliden. Det är möjligt eftersom det är barrskogar.

systemet tar upp eller avger kol. På det här sättet får man en helhetsbild av hur skogen tar upp och ger ifrån sig koldioxid. Trots att mätningarna bara görs i en punkt, gör luftens ständiga omblandning att de ändå är representativa för skogen som omger fluxsystemet.

För Flakaliden och Knottåsen har vi kunnat sammanställa mätdata från både 2001 och 2002. Fältytan i Flakaliden var båda åren en sänka för kol på omkring 100 gram kol per kvadratmeter. År 2001 var fältytan i Knottåsen en källa på omkring 80 gram kol per kvadratmeter och år 2002 en sänka på omkring 20 gram kol per kvadratmeter. För Asa har vi sammanställt data för 2002. De visar ett upptag på omkring 300 gram kol per kvadratmeter.

Man kan från fluxmätningarna göra beräkningar på hur kolflödena fördelas mellan mark och träd. Men för att få en kompletterande, oberoende bild av kolflöden har vi också mätt och/eller beräknat trädens tillväxt, produktionen av förna och flödena av löst organiskt material (DOC). Här har vi arbetat på en större tidsskala än med fluxmätningarna eftersom bland annat tillväxten jämfört med luftens omblandning går mycket långsammare.

I figur 2 på nästa uppslag finns en

summering av resultaten. Pilarna i figuren visar de flöden som vi tagit hänsyn till i våra beräkningar. Vi har också använt CoupModel (se sidorna 20-21) för att simulera flöden och förråd. Med den här metoden där vi kombinerat mätningar och modellering kommer vi fram till att LUSTRA:s fälttytor i genomsnitt över fyra år är sänkor för kol. Störst är sänkan i Asa, minst i Flakaliden.

Man kan konstatera att de två metoderna inte ger entydiga resultat. Felet i själva mätmetoderna bedömer vi är mycket mindre än denna skillnad, vilket innebär att man måste hitta andra förklaringar till varför vi får olika resultat. När vi letat efter möjliga förklaringar till skillnaderna har det visat sig att respirationen från gamla stubbar och gamla rötter har mycket större betydelse för kolflödena än vad vi tidigare trott. Därför bör dessa också inkluderas när man beräknar skogens kolbalans. Men även om man tar hänsyn till stubbar och grova rötter finns det skillnader mellan resultaten som vi ännu inte lyckats förklara.

Ytterligare ett viktigt resultat är att vi har kunnat visa hur betydelsefull markvegetationen är för uppbyggnaden av kolförråd i skog på mindre bördig mark. Skog på bördig mark är oftast tät och

markvegetationen är då mycket sparsam. På mindre bördig mark släpper träden igenom mera ljus och förutsättningarna för markvegetationen är därmed bättre. Den kan stå för en betydande del, upp till 30 procent, av kolflödena.

Bilden av samspelet mellan skogs ekosystemen och atmosfären kommer förhoppningsvis att klarna ytterligare. Vi har fortfarande mycket data som vi samlat in inom LUSTRA men som vi inte hunnit bearbeta och analysera ännu. Det gäller speciellt fluxmätningarna där både datainsamling och -bearbetning tar mycket tid. Det beror bland annat på att strömavbrott periodvis är ganska vanliga utanför tätbebyggda områden och att det därför kan vara svårt att hålla mätningarna igång. Även om det finns bra metoder som man kan använda för att fylla luckorna i datamaterialet tar det tid. Eftersom det här är så viktiga och unika data är vår ambition att arbeta vidare med datamaterialet även om det här programmet är slut.

Flakaliden



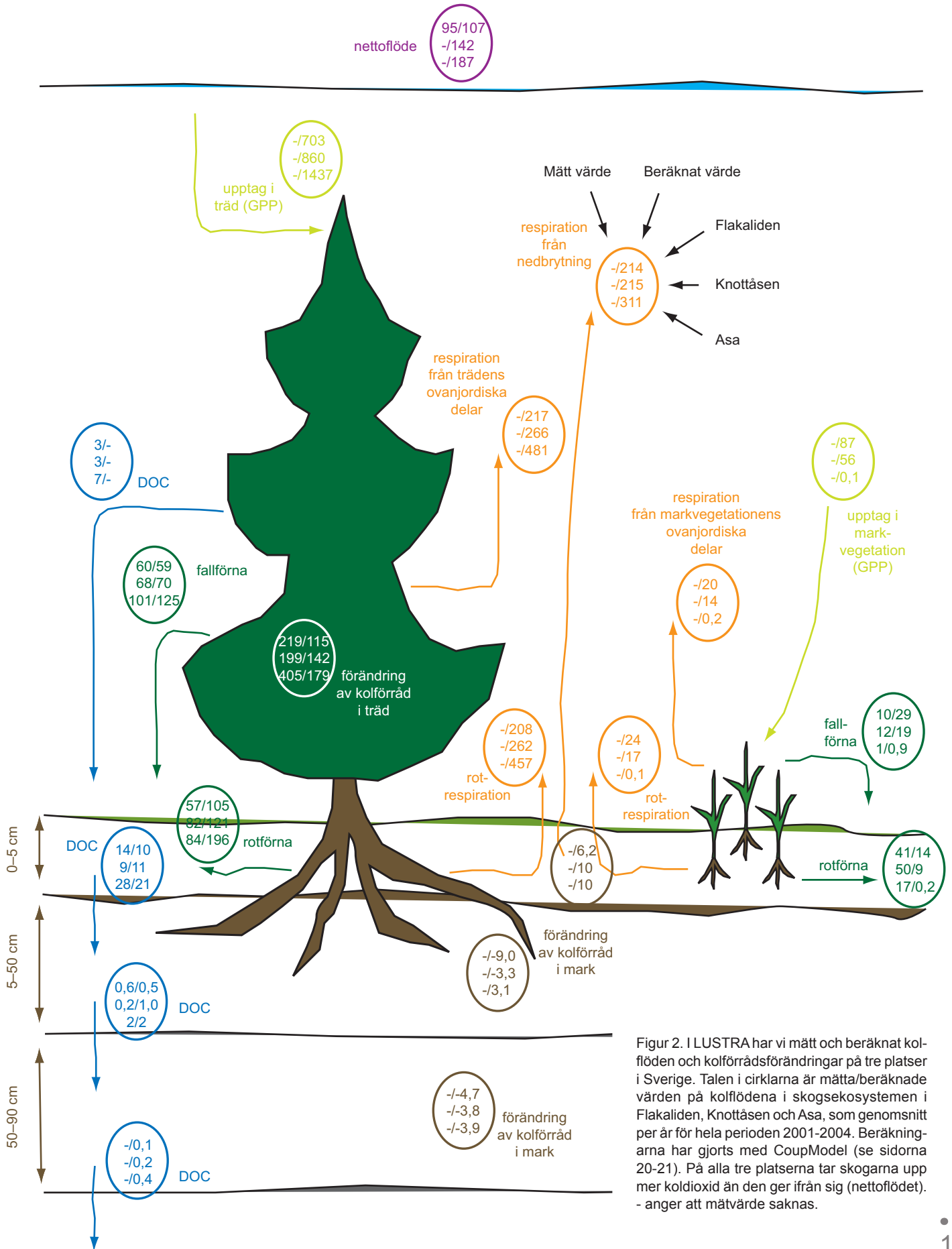
Knottåsen



Asa



Skogarna på LUSTRA:s fältytor utgörs av gran på moränmark. Skogarna i Flakaliden och Knottåsen är ganska öppna och har ett så kallat fältskikt som i huvudsak består av blåbär och lingon. I Asa är skogen så tät att träden tar allt ljus så därför finns inget fältskikt här.



Figur 2. I LUSTRA har vi mätt och beräknat kolflöden och kolförrädsförändringar på tre platser i Sverige. Talen i cirklarna är mätta/beräknade värden på kolflödena i skogsekosystemen i Flakaliden, Knottåsen och Asa, som genomsnitt per år för hela perioden 2001-2004. Beräkningarna har gjorts med CoupModel (se sidorna 20-21). På alla tre platserna tar skogarna upp mer koldioxid än den ger ifrån sig (nettoflödet). - anger att mätvärde saknas.

LUSTRA har lärt oss mer om processerna i marken

Kolet som ligger dolt i marken är svårt att studera. Man ser det inte. Att kolet dels finns i levande rötter och dels som dött organiskt material gör att man måste kunna studera grupperna var för sig för att se hur de påverkas av förändringar i temperatur och fuktighet. Ytterligare en komplikation är att det efter inlandsisens framfart finns mycket sten i den svenska skogsmarken.

På våra fältytor har vi undersökt hur mycket döda barr och grenar som faller ned från träden, hur mycket rötter som produceras och hur länge de lever samt uppskattat nedbrytningshastigheten för det döda organiska materialet i marken.

Våra mätningar har framför allt gett säkrare uppskattningar av rotförnäproduktionen men också bättre kunskaper om hur kolet binds in i marken och hur mycket kol som respireras bort.

Resultaten har använts och kommer

att användas för att förbättra modeller, vilket på sikt innebär att våra kunskaper om vad som händer med kolförråden i ett varmare klimat blir allt bättre.

Höstens lövhögar är ju det sätt som vi bäst känner igen förnan på. Med förna menar man döda växtdelar. Barr, blad och grenar som faller ned från träden kallas fallförna. En mycket stor del av förnan ser vi dock aldrig – de döda rötterna eller rotförnan som den kallas.

Rotförna kommer främst från finrötterna i marken, rötter som har en tvärsnittsdiаметer mindre än 1mm, och i någon mån från rötter i storleksklassen 1–2 millimeter. Grövre rötter är däremot mer långlivade. Visserligen är den befintliga mängden av levande grova rötter mycket större än levande fina rötter. Men genom att de grova lever längre så blir det årliga tillflödet av förna rätt lågt. Det kan jämföras med trädets ovanjordiska delar.



Förnafälla



Minirhizotron



Videoutrustning för filmning av rötter



Finrötter

Sept 92



Fotot ovan: I den mörka granskogen i på LUSTRA:s fälttyta i Asa genomfördes ett försök där vi skar av rötterna på träden inom ett område för att mäta respirationen från markorganismerna. Det första fotot visar förberedelserna av försöket, det andra fotot den iordningställda mätplatsen.



Fotona till vänster: Blad, barr och ibland också grenar från träden fångas i förnafällor. Det ger ett mått på hur mycket kol som når marken från trädens övre delar. Hur mycket förna som kommer från rötterna och hur länge de lever studerar man bland annat med rotproppar och minirhizotroner.

Biomassan i barr och löv är jämfört med biomassan i stammar och grenar liten men den omsätts snabbt. Biomassan i stammar och grova grenar omsätts bara en gång per omloppsperiod och bidrar, förutsatt att man inte skördar, i medeltal per år med cirka 100 gram torrsvikt per kvadratmeter skogsmark. Mängden tillförd förna från finrötterna är av samma storleksordning som mängden förna från barr och löv, cirka 300 gram torrsvikt per kvadratmeter skogsmark.

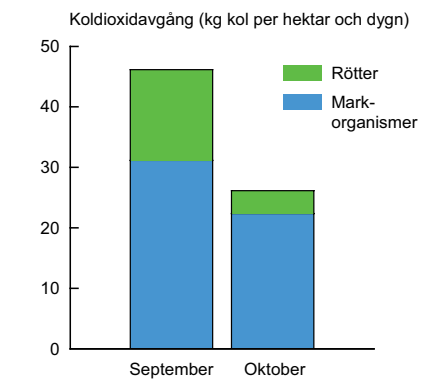
Förna från de synliga delarna av träden samlade vi in genom att sätta ut förnafällor, påsar av olika slag som blad och barr faller ned i. Genom att tömma förnafällorna några gånger under året och väga innehållet fick vi ett mått på hur mycket fallförna som producerats. Att uppskatta omsättningen av rötter är knepigare. Vi har uppskattat mängden finrötter genom att ta rotproppar och

rötternas omsättningstid genom filmning har på så sätt kunnat räkna ut hur mycket finrotsförna som bildas.

Rotproppsmetoden innebär att man skär av och tar bort rötter från marken. Från rotproppen rensar man bort jord och döda växtdelar och kan därefter väga de levande finrötterna. Då metoden är destruktiv kan man inte använda den för att följa rötternas utveckling, men den används fortfarande eftersom den ger en bra uppskattning av mängden finrötter i marken.

Det finns olika tekniker man kan använda för att ta reda på rötternas omsättningstid. Vi valde att filma rötterna eftersom vi har mest erfarenhet av den metoden och även resultat från tidigare projekt i närheten av LUSTRA:s fälttytor. De andra metoderna bygger framför allt på olika isotoptekniker.

Genom filmningen får man ett ganska

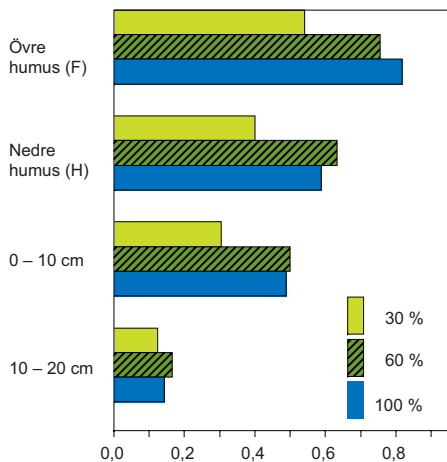


Figur 1. Koldioxidavgången från marken minskar i oktober jämfört med september. Andelen koldioxid som avgår från rötter (grönt) är betydligt mindre än den del som de nedbrytande markorganismerna avger (blått) för både september och oktober 2004.

bra mått på hur länge en rot i genomsnitt lever. Man placerar ett genomskinligt rör i marken. Vid varje mättillfälle, ofta en gång per månad under sommarhalvåret, för man ned en speciell videokamera i röret och tar ett antal bilder vid bestämda positioner. När man senare analyserar bilderna noterar man när en ny rot dyker upp, hur den utvecklas och följer den ända tills den dör och så småningom försvinner.

När förnan, både fall- och rotförna, bryts ned bildas koldioxid. Det innebär att den koldioxid som lämnar marken dels kommer från de nedbrytande markorganismernas andning, dels från rötternas andning. Temperatur och fuktighet påverkar koldioxidavgången olika för de två processerna. Därför är det viktigt att separera dessa processer för att kunna avgöra orsaker till förändringar i markens koldioxidavgång. Eftersom det hela pågår i marken kan man inte samtidigt mäta

Koldioxidavgång (gram koldioxid per kvadratmeter och dygn)



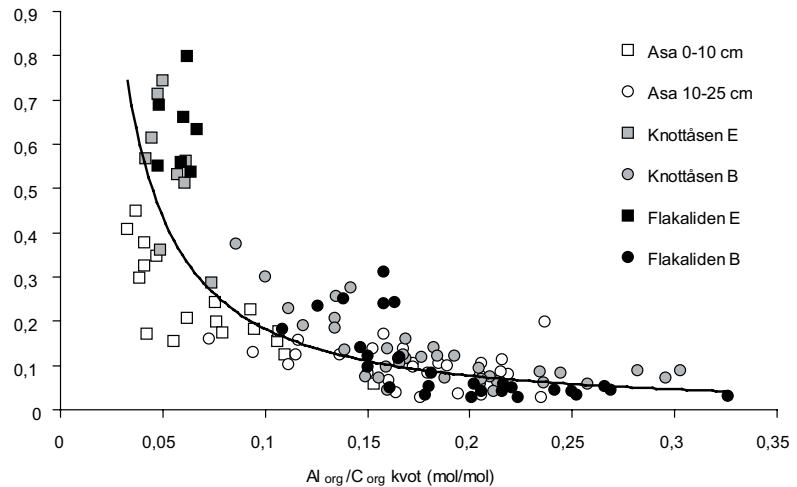
Figur 2. Beräknad koldioxidavgång från olika jordskikt efter 20 dagars laboratoriestudier vid olika vattenhalter. Vattenhalten anges i procent av markens vattenhållande förmåga. Temperaturen hölls konstant till +15 °C. Data är beräknade med hänsyn till tjockleken på humusskikten och skiktens volymvikt.

rötternas andning för sig och mikroorganismernas andning för sig.

Man kan undersöka markorganismernas andning genom att minimera rötternas aktivitet. Det kan man göra på ett större område genom att döda träderna genom ringbarkning eller genom att inom ett mindre område såga av alla rötter. I båda fallen kan man sedan, utan att störa markorganismerna, mäta koldioxidavgången från marken. Resultaten jämförs med motsvarande mätningar på andra ytor där man inte manipulerat växternas verksamhet. Det ger ett mått på hur andningen fördelar sig mellan rötter och markorganismer.

I LUSTRA valde vi att såga av rötter inom mindre områden. Mätningarna av respirationen från marken pågick när stormen Gudrun drabbade sydsverige och vårt mätområde i Asa. Det har inneburit att mätresultaten är mycket svåra att tolka och att vi endast redovisat mätresultat från

Koldioxidavgång (milligram koldioxid per gram organiskt kol och dygn)



Figur 3. Aluminium som fastnat i marken genom att bindas till organiskt material påverkar avgången av koldioxid. När mängden organiskt bundet aluminium (Al_{org}) ökar i förhållande till mängden organiskt kol (C_{org}) minskar avgången av koldioxid. Våra undersökningar visar att koldioxidavgången är större från skikt med låga nivåer av aluminium än från skikt med högre nivåer av aluminium.

perioden före stormen: september och oktober 2004 (Figur 1).

Vi hämtade också markprover från fältytorna. Rötterna plockades bort och vi mätte respirationen i klimatkammare där vi kunde styra temperatur och fuktighet. Dels ville vi undersöka hur markorganismernas aktivitet ser ut vid olika temperatur och fuktighet, dels ville vi undersöka om mätningarna i lab avspeglar verkligheten i fält.

När vi summerade den genomsnittliga koldioxidavgången från de olika jordskikten i laboratorieförsöket motsvarade det den huvudsakliga avgången i hela jordprofilen (Figur 2). Det går alltså att skilja på rötters och nedbrytande markorganismers andning i fält, men vi har också visat att mätningar på labb ger resultat som ligger i samma storleksordning.

Järn och aluminium är två metaller som kan bindas till det organiska mate-

rialet i marken. Vi har undersökt hur det påverkar avgången av koldioxid. Det visar sig att effekten av järn på koldioxidavgången är mycket liten medan det finns ett tydligt samband med aluminium (Figur 3). Figuren visar sambandet mellan koldioxidavgång och kvoten mellan halten organiskt bundet aluminium och organiskt kol på LUSTRA:s försöksytor. Ju högre kvot, alltså ju mer organiskt bundet aluminium det finns i förhållande till det organiska kolet, ju lägre är koldioxidavgången.

Detta sammanfaller med jordskiktetsdjupet. Vi ser tydliga skillnader mellan olika skikt i marken. Koldioxidavgången är betydligt mindre från den så kallade B-horisonten (Asa: 10-25 cm) där mer aluminium har ackumulerats än från den så kallade E-horisonten (Asa: 0-10 cm) där aluminiumhalten är låg.

Kvävedeposition ökar kolförråden i träd och i mark

IKyotoprotokollet står att man skall beräkna den mänskliga påverkan på kolförråden i skogsekosystemen före 1990. Ambitionen när LUSTRA startade var därför att sätta siffror på hur människan påverkar och har påverkat utvecklingen av kolförråden i marken. Hur har ökande temperatur, stigande koncentration av koldioxid i atmosfären, förändrade skötselmetoder samt förändrad kvävedeposition påverkat kolförråden fram till 1990? Forskare världen över har insett att detta är en mycket komplicerad uppgift. Inom LUSTRA har man bland annat ägnat sig åt att undersöka kvävet betydelse för uppbyggnad av kolförråd i träd och mark.

Klimat och bördighet är de två faktorer som har störst betydelse för skogens och därmed kolförrådets utveckling. Klimatet har vi små möjligheter att påverka, men bördigheten kan förbättras genom gödsling. I Skandinavien är det främst kväve som begränsar tillväxten. Gödsel tillförs normalt i bestämda mängder och på bestämda platser, men skogen får också kväve genom torrt och vått nedfall.

Gruppen som arbetat med kvävefrågorna har använt data från 15 gödslingförsök i gran- och tallskog i Sverige och Finland. Det sydligast belägna försöket finns i Blekinge och det nordligast belägna några mil norr om Sodankylä i Finland. Resultaten visar att tillgången på kväve har stor betydelse för uppbyggnaden av kolförråden i både träd och mark. Enligt gruppens uppskattningar har kvävedepositionen lett till att skogarna i södra Sverige under de gånga 100 åren per hektar mottagit 1 ton mer kväve än



skogarna i norra Sverige. Detta har resulterat i 20 ± 10 ton mer kol i träd och 13 ± 5 ton mer kol i mark per hektar i södra än i norra Sverige.

Resultaten stämmer väl med de skillnader i kolförråd man ser mellan norra och södra Sverige (se sidorna 14-15) och den ökning av kolförråden man sett i södra Sverige (se sidorna 20-21) och innebär att kvävedepositionen kan förklara upp till 70-80 procent av skillnaderna.

Studien ger också en viss vägledning när det gäller gödsling och uppbyggnad av kolförråd. Kväve är det näringsämne som mest begränsar trädens tillväxt på nordliga breddgrader, men kvävet måste kompletteras med främst fosfor och kalium om man skall få en bra effekt på tillväxt och kolförrådsuppbyggnad på marker med god kvävetillgång.

I försöken, där man tillfört sammanlagt 600-1800 kg kväve per hektar under

perioder av 14-30 år, har detta resulterat i en genomsnittlig ökning av kolförråden i träd på 25 och i mark på 11 kg kol per kg tillfört kväve. Där man också tillförde fosfor och kalium var motsvarande siffror 38 för träd och 11 för mark. Den så kallade kväveeffektiviteten var alltså 3-4 gånger lägre för mark än för träd, och man såg också skillnader mellan gran- och tallbestånd. Kväveeffektiviteten för mark i granbestånd var i snitt 13 och för tallbestånd i snitt 7 kg kol per kg kväve.

Studien indikerar att förhållandet mellan mängden kol och kväve i humusskiktet, den så kallade kol-kväveknoten, kan avslöja om tillförsel av kväve kommer att leda till att träden får en låg eller hög tillväxtökning. På marker med låg kol-kväveknot blir tillväxteffekten låg. Där får man också se upp med avgång av lustgas.

Modellerna sammanfattar kunskap och siar om framtiden

Modeller är oundgängliga hjälpmedel när man arbetar med komplexa och omfattande frågeställningar som klimatfrågan. Man kan sammanfatta kunskaper, testa hypoteser mot verkligheten och se vad som händer i framtiden vid olika förutsättningar.

Q och CoupModel är de modeller som i huvudsak använts i LUSTRA. Q beskriver hur nedbrytningen av förna och uppbyggnaden av kolförråden i marken går till. CoupModel är en mer omfattande modell som beskriver hur klimatet påverkar processer i marken, växten och luften samt samspel där i mellan. Genom LUSTRA har vi haft möjlighet att utveckla båda modellerna. Till exempel kan vi med CoupModel nu även beskriva växthusgasemissioner, såväl för koldioxid, som metan och lustgas. Q har utvecklats så att den kan beskriva transport av DOC (se sidorna 10-11) och uppbyggnad av profiler i marken.

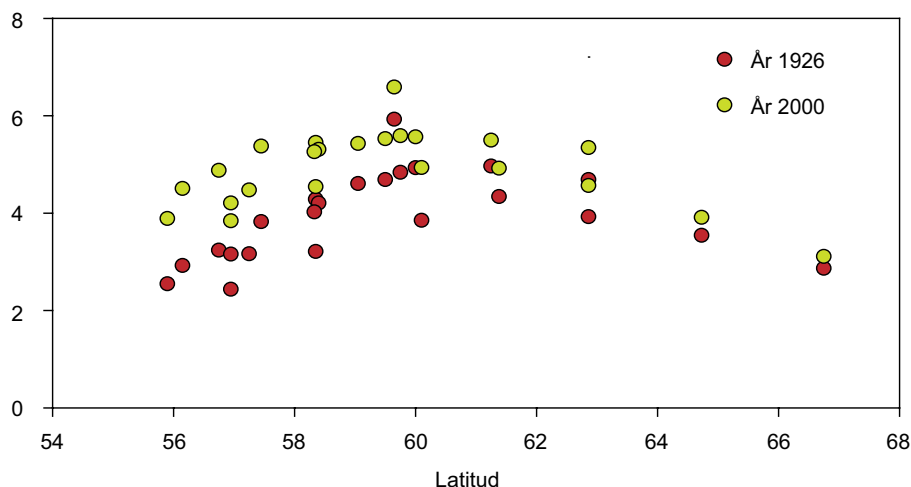
Med Q och data från Riksinventeringen av skog (RIS) har vi undersökt hur de nationella kolförråden utvecklats från år 1926 fram till år 2000. Generellt kan man säga att det i ett långt tidsperspektiv bör råda balans mellan upptag och avgång av kol från marken. För Sveriges del har tiden sedan istiden inte varit så lång att vi nått ett jämviktsläge. Ändringar i klimat och skötsel kan leda till obalans mellan förnproduktion och nedbrytning. Vår undersökning var möjlig tack vare att man redan 1926 börjat samla information om skogens utveckling. För landet som helhet pekar våra resultat på att kolförråden i marken ökat. Ökningen är dock inte jämnt fördelad över landet. I norra Sverige har kolförråden i marken varken ökat eller minskat medan däremot kolförråden i södra Sverige ökat med upp till 10 g kol per kvadratmeter och år. Sannolikt är ökningen av kolförråden nationellt något större än vad som framgår av våra

beräkningar med Q eftersom vi inte har tagit hänsyn till att kvävet som skogarna får genom depositionen bromsar nedbrytningen av markkolelet. Beräkningarna med både Q och CoupModel är osäkra för våta marker, skog som ju lagrar mer kol än skogar på torra och friska marker.

Hur kolförråden i träd och mark utvecklas under olika förutsättningar har vi undersökt med CoupModel. Vi har använt två av SWECLIM:s scenarier för hur klimatet kommer att förändras de närmaste 100 åren. I båda scenarierna ökar temperaturen, i det ena (B2) med cirka 2,5 grader och i det andra (A2) med cirka 3 grader (Tabell 1). Förändringen motsvarar en flytt söderut med cirka 3 respektive 4 breddgrader i de två scenarierna. I båda scenerierna ökar också nederbörden något.

Resultaten från vår modellering visar att kolförråden i träden över en 100-årsperiod ökar med 15–20 procent i hela

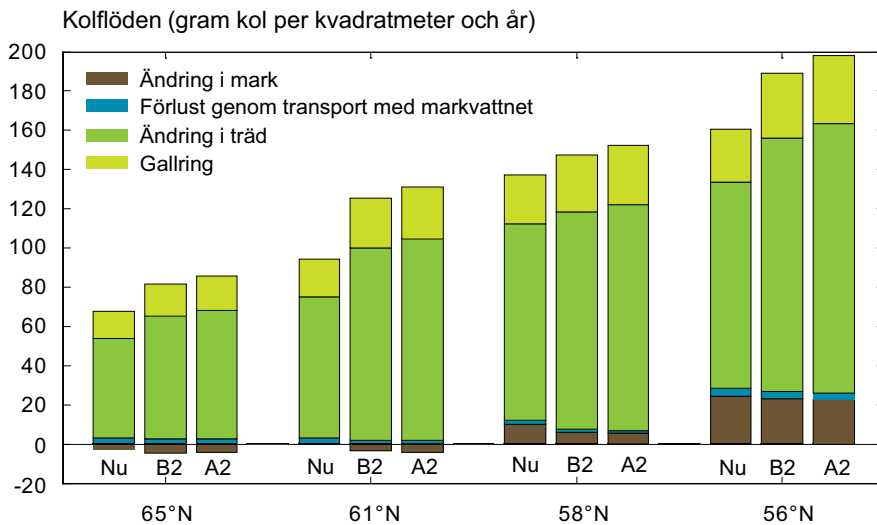
Kolförråd i mark år 1926 samt år 2000 (kilogram kol per kvadratmeter)



Figur 1. Baserat på data från Riksinventeringen av skog har beräkningar gjorts med Q för hur landets kolförråd förändrats under 1900-talet: 1926 och 2000. För Sverige som helhet ökade kolförråden i marken något. Störst var ökningen i södra Sverige. Sannolikt har kolförråden ökat mer eftersom vi inte tagit hänsyn till att kvävet genom kvävedepositionen har en bromsande effekt på nedbrytningen.

Tabell 1. Lufttemperatur (°C) och nederbörd (mm) med oförändrat (Nu) klimat samt med klimat enligt SWECLIM:s¹ två scenarier HadAM3_A2 (A2) samt HadAM3_B2 (B2).

Plats	Nu	B2	A2	
Lycksele	0,7	3,0	3,6	temp.
Mora	3,4	5,6	6,3	
Nässjö	5,3	7,7	8,4	
Lycksele	608	651	665	nbd.
Mora	621	668	680	
Nässjö	713	710	717	

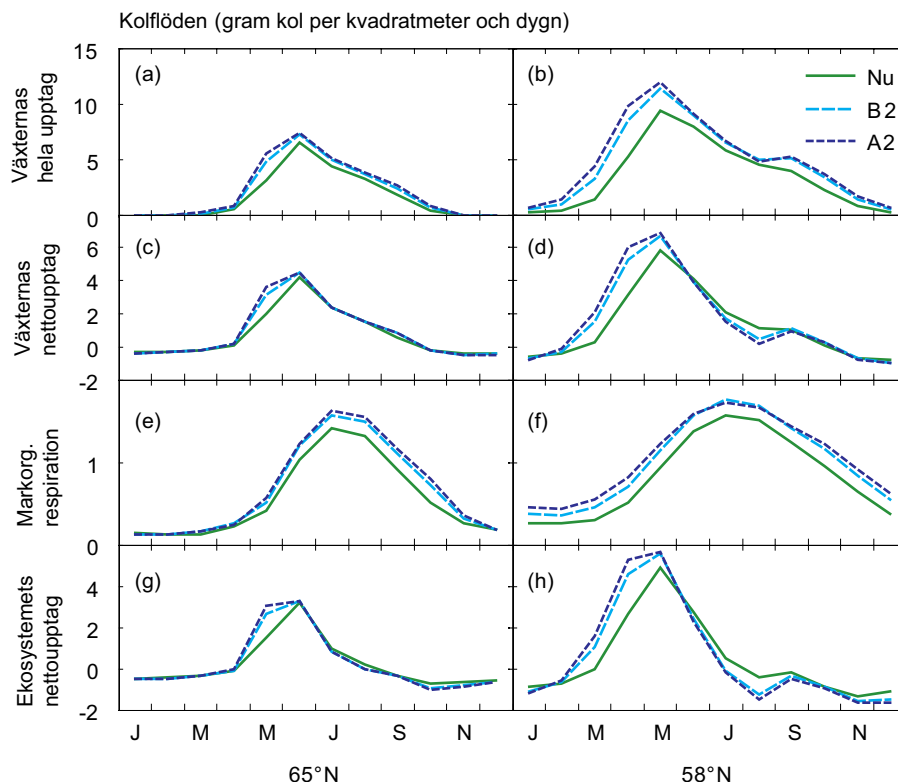


Figur 2. Simulering av förändringen av kolförråden i våra skogsekosystem under en 100-årsperiod visar att ett varmare klimat resulterar i att träden växer bättre. Både stående biomassa och uttaget av biomassa vid gallring ökar. Förändringen av kolförråden i marken är däremot liten.

landet i förhållande till nuvarande klimat. Dessutom ökar mängden biomassa som tas ut vid gallring (Figur 2). Förändringen i mark är relativt liten: enligt modellen fortsätter ökningen i söder och minskningen i norr när klimatet blir varmare. Även om förändringen av markens kolförråd kan vara viktig långsiktigt så är den alltså liten jämfört med ökningen av kolförråden i träden. Små förändringar av kväveomsättningen ger dock en helt annan bild.

Med CoupModel ser man också hur upptag och avgivning av kol förändras under året. Tillväxtökningen är störst under vår och försommar. Det är ett resultat av högre temperatur och förhållandevis god tillgång till vatten (Figur 3a–b). Ökningen blir störst i södra Sverige. Samtidigt som trädens kolupptag ökar leder den högre temperaturen också till att trädens respiration ökar. Nettot, upplagringen av kol i träden blir jämfört med dagens klimat större men ändå mindre än den varit om inte respirationen påverkats (Figur 3c–d). I södra Sverige får man på grund av vattenbrist en minskad upplagring av kol i träden under sensommaren. Även markorganismernas aktiviteter påverkas. Här ser man en tydligt ökad aktivitet hela året i södra Sverige och under den tid i norra Sverige då marken inte är frusen (Figur 3e–f). Ser man till helheten, nettot för hela skogsekosystemet, när man tagit hänsyn till både upptag och förluster blir skillnaderna i flödena störst under vår och försommar för hela landet med den minsta ökningen i norra Sverige (Figur 3g–h).

Också den här studien pekar på hur viktigt kvävet är för kolfödena (jämför sidan 19). Indirekta effekter av temperatur och nederbörd på tillgången på kväve har större betydelse för trädets tillväxt och nedbrytningen av förna än de direkta effekterna av temperatur och nederbörd.



Figur 3. Simulerade kolföden för norra och södra Sverige pekar på att man kan förvänta en ökning för hela landet med de största förändringarna under vår och tidig sommar. I södra Sverige kan sämre tillgång till vatten under sommaren göra att flödena jämfört med nuvarande klimat minskar. (a–b) Totalt upptag i träd, (c–d) nettoupptag i träd, (e–f) markorganismernas respiration och (g–h) ekosystemets nettoupptag av kol vid nuvarande klimat (grön kurva) respektive vid två olika varmare klimat: B2 (ljusblå kurva) och A2 (mörkblå kurva).

Så mäts skogens kolförråd för rapportering till FN



Sverige är världsunikt genom att vi sedan början av 1920-talet noggrant följt trädens och sedan 1960-talet också markens utveckling. Idag sköts detta på uppdrag av Naturvårdsverket genom Riksinventeringen av Skog i Sverige (RIS). Varje sommarhalvår arbetar över 60 personer med att inventera Sveriges skogar. De data som samlas in bearbetas, sammanställs i en databas och rapporteras. Här hämtas också den information om kolförråd i träd och mark som rapporteras till FN. De fem kolpoler som skall rapporteras till FN är: (1) ovanjordisk biomassa, (2) rotbiomassa, (3) död ved, (4) förrnatäcke och (5) organiskt material i marken. Då kravet på rapportering

är relativt nytt utvecklas metoderna att uppskatta kolförråden fortfarande.

I RIS ingår ungefär 12 000 provytor varav cirka 6 000 på skogsmark. De flesta av de ytor som inventeras är permanenta och man återkommer till dem med 5–10 års tidsintervall. Några ytor är tillfälliga och inventeras bara en gång.

Hur mycket kol som finns i den ovanjordiska biomassan (1) och rotbiomassan (2) beräknas med hjälp av matematiska funktioner för träd med höjd över 1,3 m. Markvegetation samt små träd (höjd under 1,3 m) ingår inte i rapporteringen. Volymen av den döda veden uppskattar man på samma sätt som för levande träd, men speciella omräkningsfaktorer

för kolinnehåll måste tillämpas eftersom volymvikt och kolhalt kan avvika från de i levande träd (3). Död ved ingår i inventeringen sedan 1995 och har definierats som stående eller liggande döda träd som är minst 1,3 m höga/långa och som har en diameter som är större än 10 cm.

Förna (4) är allting dött som inte är död ved, som man finner ovanför mineraljorden. Grov förna har en "stamdiameter" på 1–10 cm och kommer från döda träd. Grov förna inventeras inte utan beräknas som 15 procent av den döda veden. Den årliga tillförseln av förna från träden beräknas med olika funktioner. Mängden förna som finns i markens översta skikt från tidigare år och som ännu inte brutits



ned helt (diameter mindre än 2 mm) uppskattas genom provtagning.

Att uppskatta hur mycket kol som döljer sig i marken är mest komplicerat (5). Det beror dels på att halterna av kol ofta är låga och dels på att sten och block försvårar bestämningarna. Det stenrika landskap som inlandsisen lämnade efter sig när den drog sig tillbaka har genom tiderna inte bara ställt till förtret för bönder och skogsägare utan även för markforskare. Av den svenska skogsmarken är cirka 75 procent morän, och innebär att den innehåller 10-40 volymprocent sten och block. Variationen är dock stor och högre volymprocent av sten och block förekommer lokalt.

Stenarna och blocken ställer till olika typer av problem. För det första kan det vara svårt att ta jordprover om det finns mycket sten och block i marken. För det andra måste man känna till volymen sten och block när man bestämmer markens kolförråd. Det tredje och kanske svåraste problemet är provtagningens representativitet. Variationen i sten- och blockighet är stor, inte bara regionalt utan också lokalt. Även om man tar prover inom ett litet, relativt homogent område kan man få olika resultat beroende på var man sätter i spaden.

När man bestämmer kolförråden i marken gör man det på jordprov där mineralpartiklar större än 2 mm sällats bort.

Det man får kvar kallas finjord, medan det man sällar bort kallas grovjord. För en riktig uppskattning av kolförråden måste man därför känna till mängden finjord i förhållande till mängden grovjord.

Det finns olika metoder att uppskatta stenigheten. Inom RIS använder man sedan 2003 en metod som innebär att en järnstång försiktigt slås ned i marken på ett flertal punkter inom en mindre yta. Genom att notera när det tar stopp kan man beräkna det genomsnittliga penetreringsdjupet. Detta värde sätts in i en funktion och man får ett mått på volymen sten och block. På det här sättet skattar man ganska lätt sten- och blockhalten inom de översta 30 cm av mineraljorden.

Viktiga LUSTRA-publikationer

De flesta av de resultat som beskrivs i denna broschyr är hämtade från följande artiklar som ingår i LUSTRA:s specialnummer av den vetenskapliga tidskriften Biogeochemistry.

Berggren Kleja D, Svensson M, Majdi H, Jansson P-E, Langvall O, Bergkvist B, Johansson M-B, Weslien P, Truus L, Lindroth A and Ågren G I. Pools and fluxes of carbon in three Norway spruce ecosystems along a climatic gradient in Sweden.

Hyvönen R, Persson T, Andersson S, Olsson B, Ågren G I and Linder S. Impact of long-term nitrogen addition on carbon stocks in trees and soils in northern Europe.

Jansson P-E, Svensson M, Berggren Kleja D and Gustafsson D. Simulated climate change impacts on fluxes of carbon in Norway spruce ecosystems along a climatic gradient in Sweden.

Lindroth A, Klemetsson L, Grelle A, Weslien P and Langvall O. Measurement of net ecosystem exchange, productivity and respiration in three spruce forests in Sweden shows unexpectedly large soil carbon losses.

Olsson M, Erlandsson M, Nilsson T, Nilsson Å and Stendahl J. Organic carbon in Swedish Podzols and their relation to site properties.

Svensson M, Jansson P-E and Berggren Kleja D. Modelling soil C sequestration in spruce forest ecosystems along a Swedish transect based on current conditions.

Ågren G, Hyvönen R, and Nilsson T. Are Swedish forest soils sinks or sources for CO₂—model analyses based on forest inventory data.

Läs mer om modellering, mätningar och avnämarnas behov av vetenskapliga underlag i LUSTRA:s årsrapporter. De finns i sin helhet på LUSTRA:s hemsida. Här finns också fler både vetenskapliga och populära artiklar.



www.mistra.org/lustra