

Kolet, klimatet och skogen



*Så kan skogsbruket
påverka*

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 disciplin gränser. Forskningsresultaten ska komma till praktisk användning inom företag, förvaltningar och frivilligorganisationer för att bidra till att lösa centrala miljöproblem.

Grundform, original: Bo Bergkvist, LU

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 Bo Bergkvist. De har faktagranskats av Mats Olsson (alla texter).

Foton: Mats Olsson, Ann-Sofie Morén, Bo Bergkvist, Ola Langvall, Erik Ericsson, Åke Nilsson, Sara Grelle och Anders Lindroth.

Illustrationer: Ann-Sofie Morén, Anna Hamilton.

Tryck: SLU/Repro 2008 Upplaga: 200 ex.

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

ISBN: 978-91-85911-16-5

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

Så kan skogsbruket motverka klimatförändringar4
Skogen är en kolsänka.....6
Så kan sänkan påverkas.....11
Omloppsperiod och skötsel	
Trädslagsval	
Risker med torvmark	
Kvävegödsling	
Skogen känslig för störningar20
Framtidens skog måste tåla vind och torka	
Gudrun - En kolbomb	
Klok användning av skog26
Bibränslen	
Bygg med trä	

Så kan skogsbruket motverka klimatförändringar



Fakta - Kolsänkor

Processer eller aktiviteter som avlägsnar växthusgaser från atmosfären, till exempel upptag i skogsbiomassa och upplagring av kol i marken. Detta sker till exempel genom plantering av skog, kvävegödsling och andra åtgärder som stimulerar skogsproduktionen.

Enligt FN:s expertpanel i klimatfrågor (IPCC) står vi inför enoundviklig klimatförändring som påverkar såväl miljön som ekonomiska och sociala värden. Under 1900-talet har jordytans medeltemperatur stigit med 0,6°C. De två senaste decennierna har varit de varmaste under 1900-talet. Även nederbördsmonstret förändras. Temperaturökningen kan fullt ut endast förklaras om de ökande utsläppen av växthusgaser beaktas. Men det betyder också att vi kan påverka klimatändringens takt och omfattning. Här kommer LUSTRA in.

Problemet

Problemet är de ökande utsläppen av växthusgaser till atmosfären. Av de växthusgaser som människan direkt påverkar, är koldioxiden den dominerande. Sedan kommer bland annat metan och lustgas.

Utsläppen beräknas leda till en global uppvärmning och andra klimatändringar, vilka i sin tur påverkar ekologiska processer inklusive de levande organismerna och ytterst oss själva. FN:s klimatpanel IPCC har nyligen i sin tredje sammanställningsrapport påpekat att den globala uppvärmningen kan komma att ha ökat med 1,4–5,8 °C vid slutet av detta århundrade.

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.

Lösningen

Skogen är en viktig grundpelare i lösningen av klimathotet. LUSTRA-programmets vision är att man genom anpassning av markanvändning och skötsel inom svenskt skogsbruk avsevärt kan reducera Sveriges utsläpp av växthusgaserna koldioxid (CO₂), lustgas (N₂O) och metan (CH₄). Skogen har stor betydelse för växthusgaserna dels genom produktion av biobränslen som kan ersätta fossila bränslen, dels genom inbindning och upplagring av koldioxid i biomassa och mark. Sverige är det land i Europa som har den största arealen skogsmark. Av Sveriges totala landyta på ungefär 411 000 km² är cirka 233 000 km² (57 procent) skogsmark. Med en befolkning

på cirka 9 miljoner kommer Sverige tvåa efter Finland i Europa avseende skogsmarksareal per invånare. Med den stora arealen skogsmark, är det möjligt att genom åtgärder inom skogsbruket påverka utsläppen av växthusgaser.

Markanvändning – avgörande för kolbalansen

Markanvändningen kan i huvudsak bidra till att reducera utsläpp av växthusgaser på tre sätt. Det första är att producera biomassa som ersätter andra produkter (substitution) – fossila bränslen, och olika typer av byggnadsmaterial, till exempel plast och cement. Det andra tillvägagångssättet är att binda in koldioxid i biomassa och humus eller torv (lagring). Den tredje möjligheten är att tillämpa en markanvändning som minimerar avgången av växthusgaser från marken. Metoderna motverkar ibland varandra. Ett exempel på detta är att om vi vill lagra maximalt med kol i mark och träd, kan en senareläggning av avverkningar vara en bra åtgärd. Men detta innebär å andra sidan att den totala tillväxten kan minska och att tillgången på till exempel biobränslen minskar. Väljer vi att maximera tillväxten för att bland annat kunna utnyttja avverkningsrester så bör skogen skördas vid en lägre ålder.

Viktiga mål för skogsbruket för att motverka klimatförändringen är att vidmakthålla en hög uthållig produktion, samt att utnyttja skogsråvaran klokt. Detta innebär att öka tillväxten för att maximera ersättningen av fossila bränslen och fossilbränslebaserade produkter. Detta ger ett permanent minskat utsläpp av koldioxid eftersom användningen av fossila bränslen då minskar. Lagerökningar i skog och mark är mer eller mindre tidsbegränsade och kopplade till olika risker. Exempel på risker är ofrivillig avgång av koldioxid från skogar på grund av insektsskador eller bränder.

Helhetsperspektiv viktigt

Vi måste bedöma effekterna utifrån ett helhetsperspektiv. Det betyder att vi måste väga in konsekvenserna av en viss

åtgärd och väga detta gentemot andra miljövärden. Ett exempel är våtmarkerna, som innebär en särskild utmaning. Efter som dessa är påverkade av dikning kommer torv att brytas ned till bland annat koldioxid som återgår till atmosfären. Samtidigt förloras biologiska värden. Å andra sidan sker en inlagring av kol i stående skog som i sin tur kan ersätta fossila bränslen.

Till en början var forskningsprogrammet LUSTRA inriktat på att studera vilken roll så kallade kolsänkor (se faktaruta) skulle kunna spela för Sveriges mål om sänkning av utsläpp av växthusgaser. Men ganska tidigt konstaterades att kolsänkor ur ett nationellt perspektiv långsiktigt spelade en ganska marginell roll för att uppfylla Sveriges åtagande vad gäller minskade utsläpp av växthusgaser.

– Det finns inte några enkla, generella lösningar. På så vis har problembilden kring hur vi använder marken för att få ner växthusgaser blivit större och komplexare. Vi trodde att marken skulle kunna betyda mycket mer när det gäller att binda kol. Men då är frågan om hur vi använder skogen mycket mer avgörande. Detta visas t ex i figur 1 under avsnittet "Klok användning av skog". En klok användning av skogsråvara från traditionellt skogsbruk ger 4 gånger högre utsläppsreduktion än om skogen får stå kvar som kollager.

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 2008 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.

Det här är en broschyr av tre 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 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.

I en annan broschyr (Kolet, klimatet och skogen - Så funkar det) 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 och vart det tar vägen när det lämnar marken måste man känna till hela kretsloppet.

Ytterligare en broschyr ägnar vi helt åt dikad mark (Kolet, klimatet och skogen - Skogsklädda torvtäckta marker). Trots att de dikade markerna utgör en liten del, cirka 7 procent, av hela den svenska skogsmarken står de för nära 15 procent av de totala utsläppen av växthusgaser från svensk skogsmark. Här berättar vi varför och vad man kan göra åt det.

De flesta av resultaten i de här broschyrerna 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 (se Kolet, klimatet och skogen - Så funkar 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.

Bo Bergkvist och Mats Olsson, LUSTRA

Skogen är en kolsänka

Eftersom Sverige är ett land med stora skogsarealer kommer skogsbruket att få en nyckelroll i arbetet för att motverka klimatförändringar. Varje år under perioden 1990–2000 tillförde Sverige atmosfären cirka 16 miljoner ton kol (som koldioxid) från förbränning av fossila bränslen. Samtidigt skedde det under samma period en årlig upplagring av nära 9 miljoner ton kol som trädbiomassa (baserat på en förrådsökning av skog på ca 25 miljoner m³ per år enligt Skogsstatistisk årsbok) i landets skogar. Genom att fungera som kolsänka reglerar skogarna och skogsbruket därför redan i dag utsläppen av växthusgaser kraftigt. Hur mycket kol som skogarna binder beror på hur vi sköter och utnyttjar dem.

Forskare och politiker diskuterar kolsänkor som en möjlighet att minska utsläppen av växthusgaser till atmosfären. Sveriges bidrag kan vara att lagra kol i våra skogar. Att lagra kol i skog och mark föreslås som ett sätt att minska avgången av koldioxid till atmosfären, men metoden har sina begränsningar och risker. Det går inte att lagra hur mycket kol som helst i träd och mark – det finns



Sveriges vanligaste jordmån är järnpodsolen. Merparten av allt kol i marken ligger i den röda rostjorden.

helt enkelt en övre gräns. Klimatet och näringstillgången begränsar var skogar kan växa och hur stora träden kan bli. En stor del av jordens yta täcks dessutom av vatten och stora landarealer måste användas för att producera mat, till bostäder och industrier samt till vägar och andra kommunikationer.

Skog som kolsänka

Det man menar med skog som kolsänka är att man för att minska växthuseffekten lagrar koldioxid, som är en av de viktigaste växthusgaserna, i form av kol i träd och mark. Kollagringen sker i marken och i trädbiomassan (stammar, grenar, rötter, blad och barr). Beräkningar visar att det finns nära två miljarder ton kol (85 ton kol per hektar) i fastmarken i svenska skogar. Till detta kommer uppskattningsvis 0.6 miljarder ton kol i dikad torvmark med produktiv skog. I trädens rötter och i trädbiomassan ovan jord finns det cirka en miljard ton kol (45 ton kol per hektar). Marken innehåller alltså mer än dubbelt så mycket kol som träden. Virkesförrådet i svenska skogar har enligt Skogsstatistisk årsbok ökat med ca 23 miljoner m³ per år under perioden 1990-2005. Detta svarar mot en uppbyggnad av ungefär 8 miljoner ton kol per år (kol i grenar, barr och rötter är inräknat). Hur detta fördelar sig inom landet åskådliggörs i figur 2. Det är

svårare att uppskatta hur mycket kol som varje år lagras i marken. Studier indikerar att kollagren i mark i södra Sverige ökar, medan kollagren i mark i norra Sverige är närmast konstanta eller möjligen minskar något. Lustras resultat indikerar att 100 - 200 kg kol per ha ansamlas i fastmarken årligen i södra Sverige, och att norra Sverige tappar ca.50 kg kol per ha. Sammantaget betyder detta att sänkan i skogens fastmark är nära 0 miljoner ton per år. Dikadskogsmark är däremot en betydande källa för växthusgaser och utsläppen från dessa motsvarar ungefär 4 miljoner ton kol per ha. Som helhet, fastmark och dikad torvmark, är således den svenska skogsmarken en källa. Detta kompenseras av sänkan i trädbiomassan så att skogen som helhet, mark och träd, är en betydande sänka.

Osäkerheter med kolsänkor

Det är svårt att med säkerhet säga hur mycket kol som kan lagras i träd och skogsmark, eftersom det är många faktorer som påverkar kollagren, inte minst skogsskötsel. Växande träd binder kol, men vid avverkning tar man bort de levande träden som fångar in koldioxid från atmosfären. Dessutom markbereder man ofta före nyplanteringar och rör då om i de översta, kolrika lagren i marken. Detta stimulerar nedbrytningen av orga-

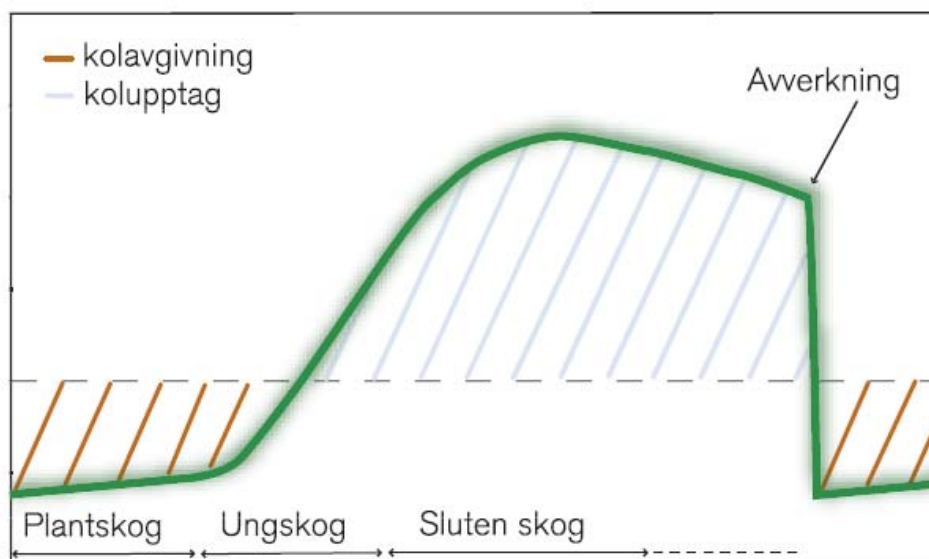
niskt material i marken och kol i form av koldioxid frigörs till luften. Efter en avverkning fungerar skogen därför som en källa för koldioxid och det tar några år innan ny vegetation balanserar förlusten från nedbrytningen i marken och skogen återigen fungerar som en sänka (Figur 1). Till osäkerheterna hör också vissa klimatfaktorer. Mängden koldioxid i atmosfären och varmare klimat stimulerar trädens tillväxt. För helheten har också grundvattnivån stor betydelse – både för trädens tillväxt och för nedbrytningen i marken. Mycket vatten hämmar nedbrytningen i marken, vilket gör att en högre grundvattnivå ger ett större kollager i marken. För att gynna trädens tillväxt dikades skogsmark tidigare. Forskning har visat att dikade skogar avger koldioxid under en lång tid.

En annan fara är att ett förändrat klimat kan ge extremare väder, bland annat ökar risken för stormar. Stormfällning i stor skala ökar skogsmarkens koldioxidutsläpp (jämför avverkning ovan). Storskaliga bränder och allvarliga insektsangrepp med traddöd som följd leder naturligtvis också till att skogen under en kortare eller längre tid fungerar som källa.

Kolsänkornas möjligheter är begränsade

För att veta hur man bäst utnyttjar kol-

Figur 1: Principskiss på hur ett skogsekosystem tar upp och avger kol. Det blåstreckade området indikerar att skogen tar upp mer kol än den avger. I det röstreckade området är förhållandena de motsatta. Figuren är bearbetad efter Miljötrender nr. 3, 2003, och FaktaSkog Nr 15 2000.



sänkan måste man alltså förstå hur olika förändringar påverkar förråden. Vad händer om temperaturen, grundvattennivån eller nederbörds mängden förändras? Och hur påverkas markens kolförråd vid avverkning?

En bättre lösning än att förlita sig på sänkor är sannolikt att kombinera skogs-skötselmetoder som främjar kollagring i träd och mark med en ökad användning av biobränslen från skogen, som ersättning för fossila bränslen. Biobränslen, t ex avverkningsrester från skogen,

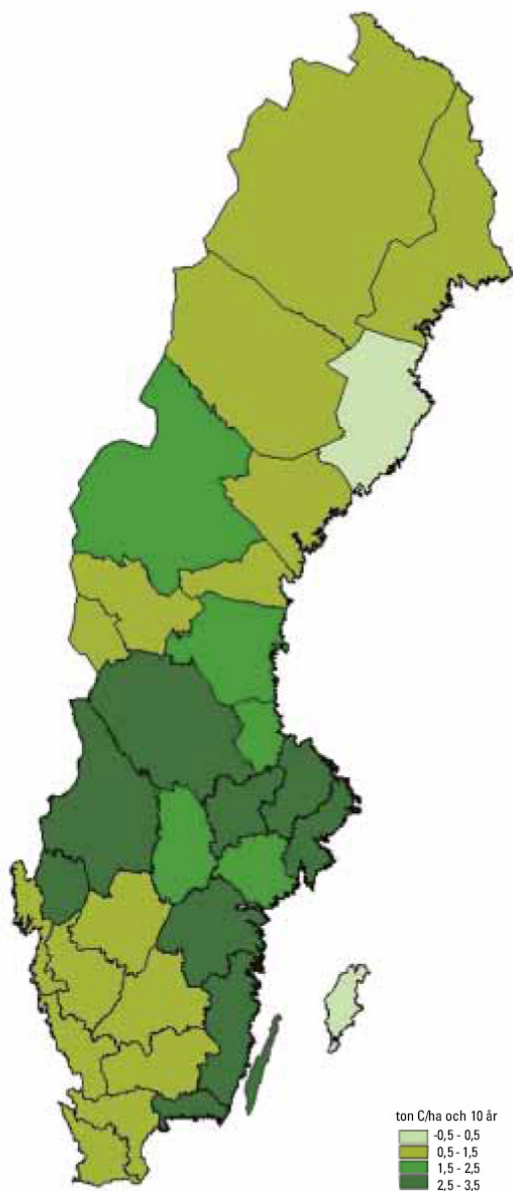
anses vara koldioxidneutrala. Med det menar vi att den koldioxid som uppstår vid förbränningen ändå skulle återgå till atmosfären om resterna lämnas i skogen till nedbrytande organismer. Att utnyttja avverkningsresterna som bränsle ger därför inget tillskott av koldioxid jämfört med om avverkningsresterna lämnas kvar. Ett annat exempel på biobränslen är energiskog. Denna anses också vara koldioxidneutral eftersom ny skog växer upp igen efter skörden och då tar upp samma mängd koldioxid som förbrän-

ningen alstrar. Dock är biobränslen från skogen eller energiskog inte fullständigt koldioxidneutrala eftersom koldioxid från fossilbränslen i samband med bl. a. avverkning måste medräknas. Uttag av biobränslen kan också leda till lägre kolförråd i marken. Modellberäkningar visar att Sverige inom 40 år skulle kunna minska koldioxidutsläppen med cirka fem procent på detta vis. Ökad ersättning av betong med trä till långlivade produkter, exempelvis hus och broar, är en annan möjlighet att och minska avgången av koldioxid från betongtillverkningen (se avsnittet ”Klok användning av skog”).

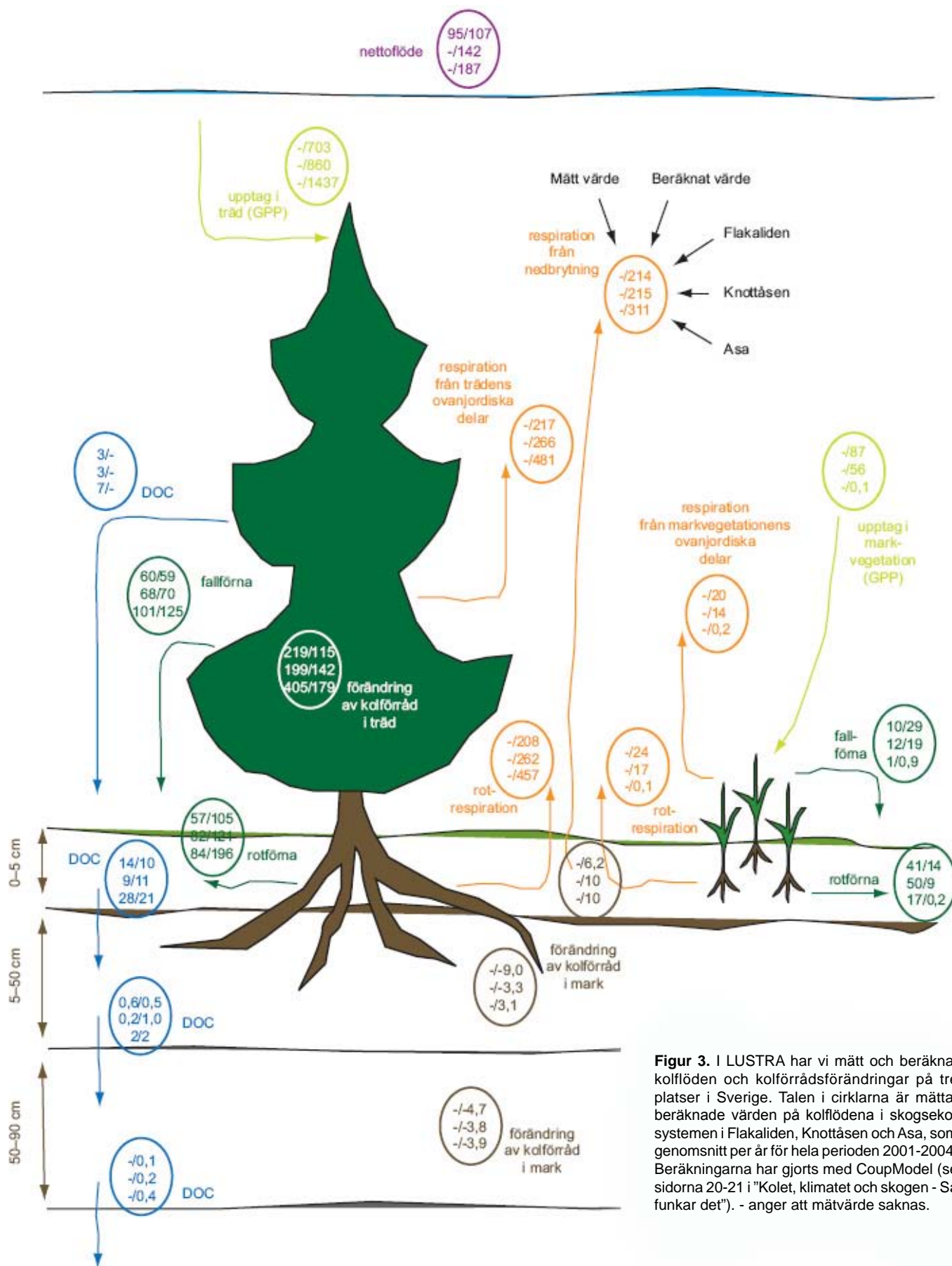
Skogen har fått en ny roll. Därför är det viktigt att samhället aktivt tar ställning till hur den nya rollen ska regisseras och skapar förutsättningar för detta. Här är det nödvändigt att hitta en bra balans mellan olika samhällsintressen.

LUSTRA förklarar kolflöden

En viktig del av den forskning som bedrivs inom LUSTRA syftar till att skapa bättre förståelse kring de processer som styr kolinlagringen i svenska skogsmarker. För att uppnå detta syfte så har vi förlagt huvuddelen av våra mätningar till tre gemensamma fältlokaler: Asa i Småland, Knottåsen i Gästrikland och Flakaliden i Västerbotten. Tillsammans representerar de några av Sveriges olika temperaturklimat. Mätdata från fältlokalerna används bland annat för att testa och utveckla den matematiska modellen COUP. En modell som kvantitativt kan beskriva omsättningen av kol i hela skogsekosystemet; det vill säga både i vegetationen och i marken. I sökandet efter generella egenskaper hos så komplicerade studieobjekt som skogsekosystem är matematiska modeller helt oundgängliga.



Figur 2: Inbindningen av kol i trädbiomassan. Beräknad mängd ackumulerad kol i trädbiomassa (stam, kvistar, barr och rötter mm) under åren 2000 – 2010, ton kol ha⁻¹ 10 år⁻¹. Uppgifter från Riksinventeringen av skog (RIS) indikerar att träden i den svenska skogen har varit och fortfarande är en betydande kolsänka under kommande år. Den årliga inbindningen av koldioxid kan uppgå till 25–35 procent av utsläppen från användningen av fossila bränslen. Ur: LUSTRAS Utvärderingsrapport.



Figur 3. I LUSTRA har vi mätt och beräknat kolflöden och kolförrädsförändringar på tre platser i Sverige. Talen i cirkelarna 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 i "Kolet, klimatet och skogen - Så funkar det"). - anger att mätvärde saknas.

Kol binds in av vegetationen

Det kol som så småningom hamnar i marken tas först upp av vegetationen genom fotosyntesen. Det rör sig om stora mängder kol som varje år i huvudsak binds in i träden. Figur 3 visar kolflödena för de fyrtioåriga granbestånden i Flakaliden, Knottåsen och Asa. Beräkningar med COUP-modellen visar att vegetationen årligen binder cirka 700-1400 g kol per kvadratmeter. Kolet används för tillväxt och för så kallad underhållsrespiration. Kol i döda växtdelar (blad, barr och rötter) når marken som förna. Det är viktigt att påpeka att den mängd kol som binds in genom trädens tillväxt varierar med beståndets ålder. Den är som högst i samband med att krontaket sluter sig, för att sedan avta igen. Mer kol kan bindas in i ett växande bestånd i södra Sverige än i ett i norra Sverige. På alla tre platserna tar skogarna upp mer koldioxid än den ger ifrån sig (nettoflödet).

Markens kolbalans – exempel från LUSTRA-ytorna

Markens kolbalans är skillnaden mellan flödet av kol in till marken som dött organiskt material och flödet ut ur marken som koldioxid bildad vid nedbrytningen av organiskt material, och som läckage och avrinning av vattenlösligt humus-kol (DOC, eng. dissolved organic carbon). På LUSTRA:s fältlokaler mäter vi samtliga flöden av kol till marken: (1) kol i lösta organiska föreningar (DOC) som tvättas ut ur trädkronan, (2) döda barr, grenar, kvistar etcetera som faller ner på marken

(så kallad fallförna), och (3) döda rötter som tillförs marken på olika markdjup (så kallad rotförna).

Rotförrådet bidrar med ungefär lika mycket kol som fallförrådet, med den stora skillnaden att mer än hälften av rotförrådet tillförs mineraljorden där nedbrytningshastigheten är långsammare än i mårn, markens översta organiska skikt. Det är intressant att notera att modellens beräknade flöde av kol (koldioxid) ut från marken är mindre än kolflödet till marken (förna) i Knottåsen och Asa, men inte i Flakaliden. Det betyder att marken i Flakaliden för närvarande förlorar cirka 7 g kol per kvadratmeter och år, medan marken i Knottåsen och Asa ackumulerar cirka 4 respektive 21 g kol per kvadratmeter och år.

Markens kolförråd

Till grund för modellens beräknade koldioxidavgivning från marken ligger laboratoriestudier av nedbrytningshastigheten av organiskt material i olika markskikt. Vår bedömning är att den beräknade förrådsförändringen är fullt realistisk. Tidigare undersökningar har visat att det i samband med en avverkning och återplantering försvinner en hel del kol från marken (Figur 1) - och då framför allt från mårnskiktet. Sett över en beståndsgeneration torde markens förmåga att lagra kol vara relativt begränsad - under förutsättning att inga drastiska förändringar görs vad gäller skogsskötsel (t ex gallring, gödslning, ändring av trädslag) eller markanvändning.

Cirka 80 procent av markens kolförråd finns i mineraljorden och 20 procent i humuslagret. Kolet i mineraljorden omsätts betydligt långsammare än kolet i det överliggande humuslagret. Detta innebär att förändringar i mineraljordens förråd kommer att ta mycket längre tid än förändringar i humuslagrets förråd; en viss skogsskötselåtgärd kanske påverkar kolförrådet i mårnhorisonten redan efter tio år medan det kanske tar hundra år innan kolförrådet i mineraljorden påverkas märkbart. Eftersom förråden i mineraljorden är stora är det dock av stor vikt att förstå de processer som styr omsättning av kol i denna. Flödet av kol in till mineraljorden kommer dels som DOC, det vill säga lösta organiska föreningar som lakas ut från humuslagret, dels som rotförna. Mätningarna i de tre LUSTRA-ytorna visar att rotförrådet kvantitativt sett dominerar kolinflödet till mineraljorden (se fakta - markprofilen). Lösta organiska föreningar som fastnar i mineraljorden bryts dock ner långsammare än rotförna. Preliminära beräkningar visar att DOC och rötter bidrar ungefär lika mycket till koluppsamlingen i mineraljorden.

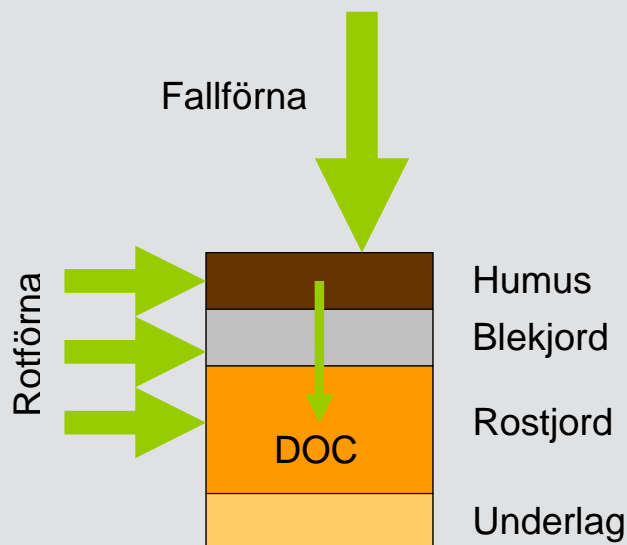
Interaktioner mellan klimat och kolomsättning i skog

Vid studier av kolflöden i en skog är det viktigt att förstå de faktorer som reglerar både in- och utflöden. Viktigt är också att förstå återkopplingen mellan olika delar av systemet på ett korrekt sätt.

- Solstrålning, lufttemperatur och nederbörd styr tillväxten hos träden dels direkt genom fotosyntes men också indirekt genom de förhållanden som råder i marken.
- Markens klimat styr indirekt tillväxten hos träden eftersom trädets vatten- och näringsupptag regleras av markens temperatur och fuktighet.
- Markens klimat reglerar dessutom mikroorganismerna som bryter ner markens organiska material. Därigenom påverkas dels kolflöden från systemet (som koldioxid från mark till atmosfär) samt flödet av kol till systemet eftersom näring frigörs som stimulerar tillväxten.

Fakta - Markprofilen

Markprofilen på fastmark kan grovt delas in i ett humuslager (O-horisont), ofta 5-10 cm tjockt, och därunder ett mineraljordslager som sträcker sig ned till berggrunden. Mineraljorden kan i sin tur delas upp i flera horisonter, till exempel blekjord (E-horisont) och rostjord (B-horisont). Underlaget är det opåverkade modermaterialet. Figuren till höger visar tillflödet av kol som förna (döda rötter, barr och grenar) till marken och hur kol från förnan transporteras som löst organiskt material, DOC, i markprofilen. Det vattentransporterade kolet kallas DOC efter engelskans Dissolved Organic Carbon.



Provtagning av markvatten - ett led i undersökningarna av kolflöden.

Bilden illustrerar hur det vattentransporterade kolet (DOC) produceras i humuslagret och fastläggs i rostjorden. Markvatten uppsamlat efter passage genom olika marklager; längst till vänster har markvattnet passerat övre halvan av humuslagret, vattnet i mitten har passerat hela humuslagret, och till höger även rostjorden.





Så kan sänkan påverkas

I arbetet med att minska koldioxidhalten i atmosfären har skogen en nyckelroll. Olika skogs-skötselmetoder påverkar både inbindningen av kol och produktion av trä som kan ersätta fossila bränslen.

Aven om skogsbruket genom skogsskötselåtgärder har stora möjligheter att minska Sveriges nettoutsläpp av växthusgaser är det inte självklart att detta helt ut ska utnyttjas. Åtgärderna måste bedömas utifrån ett helhetsperspektiv, där effekter på ekonomi, sysselsättning, rekreation, biologisk mångfald och grund- och ytvatten måste ingå. Samhällets val av styrmedel kommer att spela en avgörande roll. Övriga miljöfrågor väger också tungt och här krävs en politisk bedömning där behov och åtgärder balanseras. Klart är att vissa skogliga åtgärder kan öka kolsänkan i skogen, men detta till priset av exempelvis minskad biologisk mångfald. Det finns dock åtgärder inom skogsbruket som samtidigt kan gagna både minskade växthusgasutsläpp och ökad mångfald. Sådana åtgärder bör det gå lätt att nå enighet om. Detta gäller exempelvis igenläggning av diken i skogsmark.

Omloppsperiod och skötsel

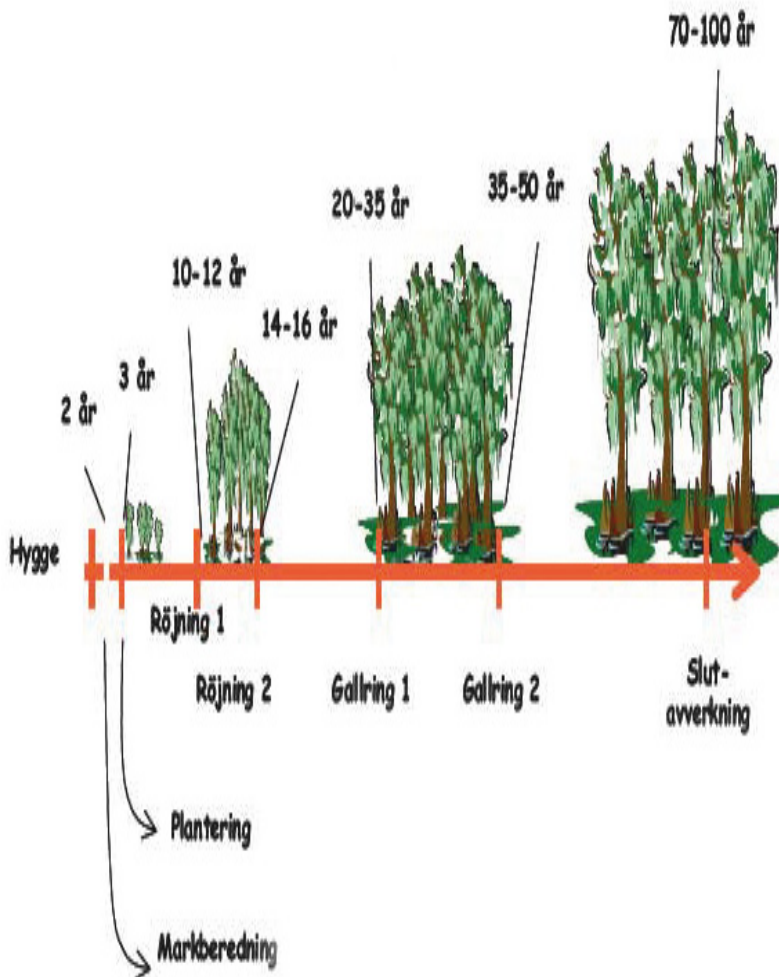
Omloppsperiod och gallringar påverkar förråd och upptag

Under en omloppstid genomgår skogen olika faser som alla påverkar kolet i systemet. Förändringarna är delvis naturligt betingade och hänger samman med plantornas tillväxt och trädens åldrande men människan utövar via skogsskötseln en kraftig påverkan. Genom valet av skogsskötselmetoder kan skogsbruket påverka inbindningen och upplagringen av koldioxid i skogsekosystemet. Det är viktigt att skilja mellan inbindning av kol och upplagring av kol. Inbindningen bestäms i stor utsträckning av tillväxten så att en hög årlig skogsproduktion innebär en hög årlig inbindning. Åtgärder som gynnar skogsproduktionen gynnar därmed inbindningen. Upplagringen eller förrådet är inte bara beroende av

inbindningen utan även av uttagen. Om avverkningsintensiteten ökar behöver inbindningen inte sjunka, men däremot minskar förrådet.

Markberedning främjar kolinbindningen i träd

Ett sätt att gynna inbindningen av koldioxid i biomassa är att se till att snabbt få upp ny skog när den gamla har avverkats. Markberedning gynnar tillväxten och på så vis också kolinbindningen (fakta). En ökad tillväxt ger också en större tillförsel av kol, i form av förna (döda barr, kvistar, rötter mm), till marken. Effekten av markberedning kvarstår åtminstone tills bestånden är 20–30 år gamla. Det visar svenska fältförsök och finska studier. Hyggesplöjning, som inte använts efter 1995, är den markberedningsmetod som



Fakta - Skogen under en omloppstid

Skogen förändras kontinuerligt under en skogsgeneration och genomgår olika faser som alla påverkar kolet i systemet. Förändringen är delvis naturligt betingad och hänger samman med plantornas tillväxt och trädens åldrande men människan utövar via skogsskötseln en kraftig påverkan. Från hyggesfas till slutavverkning utför skogsbruket vanligtvis ett flertal skötselåtgärder som alla påverkar inbindningen och upplagringen av koldioxid i skogsekosystemet samt den potentiella mängden avverkningsrester som kan ersätta fossila bränslen. De skötselmetoder som vanligtvis förekommer under en skogsgeneration illustreras i Figuren. Här anges metoderna utefter en tidsaxel som börjar med hygget och sträcker sig fram till avverkning av det gamla beståndet.

Från hyggesfas till slutavverkning - ett vanligt förlopp under en svensk skogs omloppstid.

tillsammans med plantering av contortatall, ger den största ökningen av kolupptag i trädbiomassa. Plöjning gav tre till sex gånger mer stambiomassa på medelgod respektive mager mark i Norrland 17 år efter plantering jämfört med om ingen markbehandling utförs. Motsvarande ökning av harvning och högläggning är 1,5 till 2 gånger. Men markberedning ökar också nedbrytningen av organiskt material i marken, vilket motverkar kolupplagringen. Nedbrytningen och kolförlusterna varierar beroende på vilken markberedningsmetod som används. Generellt bör metoder som kraftigt rör

om i mineraljorden undvikas eftersom merparten av markkolet finns just där. I försök att uppskatta effekten av harvning har den långsiktiga förlusten av kol från marken angivits till 10–20 ton per hektar. Hyggesplöjning stör marken mest, men orsakar inte någon större omblandning av humus och mineraljord. Fältförsök som provtagits 10–15 år efter hyggesplöjning visar att marken har mindre kol i de ytliga lagren men i vissa fall mer kol djupare ner jämfört med mark som inte behandlats eller fläckmarkberetts. Fläckmarkberedningen orsakar en mycket liten störning av marken. Dagens kunskapsunderlag räcker

inte för att svara på hur skogens kolbalans långsiktigt påverkas av markberedning. För det krävs vidare undersökningar.

Röjning

Vid röjningen glesas det unga skogsbeståndet ut. I regel tas inget virke till vara, utan de unga träden får ligga kvar på marken och brytas ner. Röjning är betydelsefull för att hålla en hög skogsproduktion och en hög virkeskvalitet. Om det är för tätt mellan träden efter en röjning leder det till hård konkurrens om näring, ljus och vatten. Om det däremot är för långt mellan stammarna är det risk för att markens



produktionsförmåga inte optimeras. För att minska koldioxidhalten i luften är en hög tillväxt viktig. Det är därför viktigt att inte röja så hårt att beståndets tillväxt sänks. I röjningsprocessen bestäms även de framtida intäkterna, men det kan vara en svår avvägning hur hård röjningen bör vara och när den ska genomföras. Ur kolfrågesynpunkt behöver tidpunkten för röjningen inte vara lika viktig. En sen röjning kan innebära att biomassa tas tillvara som energiresurs. Dessutom leder en utebliven röjning till högre kolförråd i skogen.

Gallring

Gallring innebär att beståndet glesas ut samtidigt som virket tas tillvara. Tidigare studier visar att ju intensivare gallringen är desto mindre kol inlagras och upplagras i biomassa och mark. Hur gallringen utförs, däremot, verkar inte ha någon betydelse för inbindningen av kol i biomassa. Vi har undersökt hur olika gallringsstrategier påverkar tillväxten i sjuttio tall- och granbestånd i Sverige. Vi

Fakta - Markberedning

Dagens markberedning utförs i huvudsak maskinellt med aggregat som kopplas till en vanlig skogsmaskin. Mineraljorden blottläggs genom att vegetation och humustäcke flås av. Vid fläckmarkberedning och högläggning sker blottläggningen fläckvis. Harvning och plöjning blottlägger mineraljorden i ett sammanhängande spår. Vid harvning blandas humus och mineraljord och läggs åt sidan i en sträng. Spåret som bildas vid hyggesplöjning kan mer liknas vid ett 20–60 cm djupt dike där humusen förts åt sidan och täckts med ett tjockt lager mineraljord. Markberedningen har minskat under de senaste tio åren. År 1990 markbereddes 90 procent av den förnygrade arealen jämfört med 70 procent år 2000. Läs mer på: www.svo.se



Markberedning underlättar för den nya skogen men kan påverka markens kolförråd.



fann ingen tillväxtskillnad mellan låg- och höggallring. För kolinbindningen har det heller ingen betydelse om bestånden gallras tre-fyra gånger under en omloppstid jämfört med om ingen eller enbart en gallring utförs. Om ingen gallring sker blir istället en stor del av det som kunde ha tagits ut i gallring kvar i skogen. Sammanfattningsvis kan sägas att kollagret i skogen är som störst när ingen gallring utförs, men gallring kan däremot ändå vara betydelsefullt för att få fram biobränsle att ersätta fossila bränslen med. Gallring kan medföra att slutavverkning senarelägs och att grövre dimensioner då kan skördas. Detta betyder i sin tur en hög produktion av sågtimmer som kan ersätta andra energiintensiva produkter.

Slutavverkning

Vid slutavverkningen tas merparten av biomassa ut ur skogen och trädens och

markens inlagring av kol upphör under några år. Timmer- och massaveden som avverkas går dock vidare och blir produkter som kan fortsätta lagra kol eller ersätta energiintensiva material. Dessutom finns det stora möjligheter att direkt minska användandet av fossila bränslen genom att ta tillvara de avverkningsrester som faller ut vid en slutavverkning och använda dem i värmeverk eller för etanolframställning. Framtida kolupptag i biomassa kan minska om uttagen av biobränslen är så stora att markens bördighet minskar och därmed sänkt skogsproduktion. För att inte kolförråden i marken och biomassan ska påverkas negativt bör barren alltid lämnas kvar i samband med biomassauttag. Dessutom bör askan återföras om den uthålliga produktionen hotas av uttaget av avverkningsrester.

Beräkningar gjorda för intensivodling av gran visar att produktionen i volym kan

fördubblas i södra Sverige och mer än tredubblas i norr. För att nå dit krävs ett intensivt gödslingsprogram som påbörjas redan då granarna är 2–3 meter höga. Kvävegivor på 50–100 kg per hektar måste tillföras vartannat år fram till beståndet sluter sig, därefter vart femte år.

Omloppstid – effekter på kolupplagring i träd och mark

För att studera effekten av en förlängd respektive förkortad omloppstid användes två modeller som prognosticerar upplagringen av kol i trädbiomassa och mark samt substitutionseffekten. I båda modellerna användes data från Riksinventeringen av skog (RIS). Med den första modellen, HUGIN (<http://www.resgeom.slu.se/stax/projekt/HUGIN/Hugin.htm>), simulerades upplagringen av kol i trädbiomassa och mark samt substitutionseffekten. Med den andra mo-

dellen, Q-STEM (http://www.eom.slu.se/personal/goran/Q/q_model.htm), simulerades upplagringen av kol i mark vid en förändrad skogsskötsel. Dalarna användes som försöksområde och omloppstiden förlängdes respektive förkortades med 20 procent. Simuleringarna visar att under en hundraårsperiod ger en förlängd omloppstid en genomsnittlig upplagring av kol i trädbiomassa som är cirka 13 procent större än vid oförändrad omloppstid. Den kortare omloppstiden gav i genomsnitt 50 procent mindre upplagring av kol i trädbiomassa jämfört med den oförändrade omloppstiden (Figur 1 och 2). I marken ökade respektive minskade kolupplagringen med 10 procent vid en förändring av omloppstiden (Figur 2).

Omloppstid – effekter på biobränslen

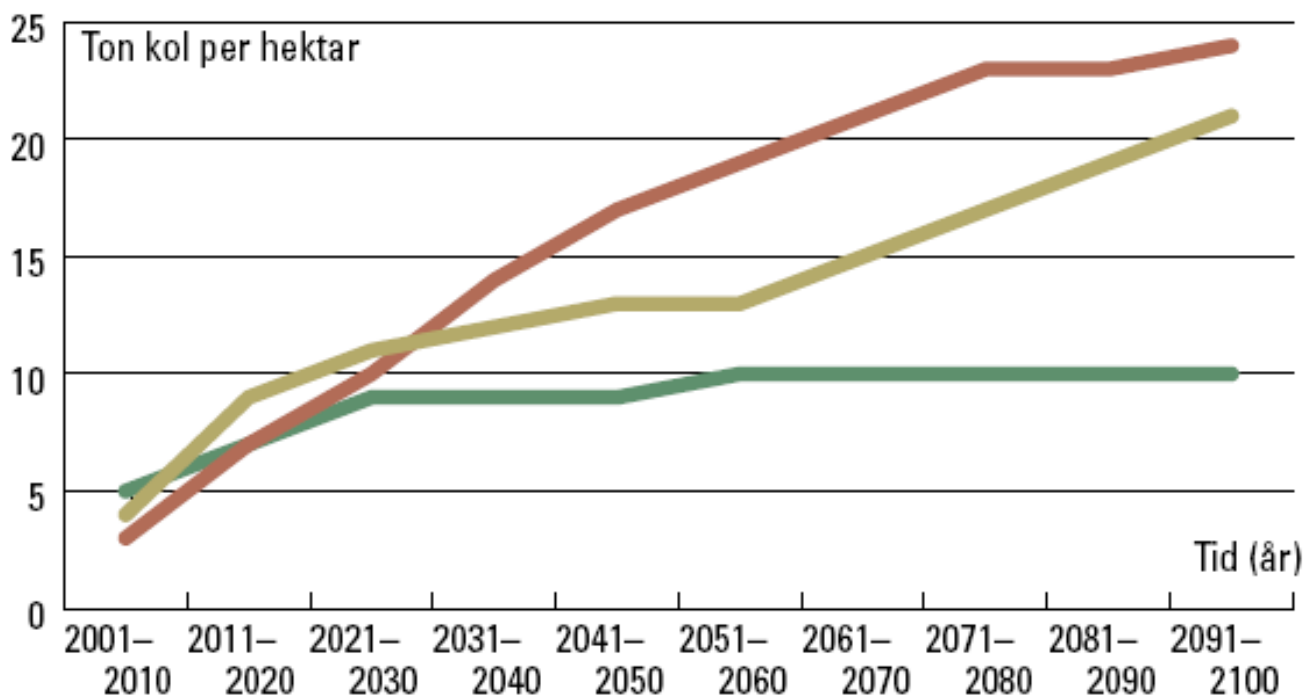
Vid gallring kan man ta ut grenar och toppar (GROT) till biobränsle. För att

vidmakthålla en så bra skogsproduktion som möjligt är det dock viktigt att inte föra bort alltför mycket näringsämnen från skogs- näringsämnen i barren. Därför bör barren lämnas kvar i skogen och endast ett uttag av GROT per omloppstid bör göras. Vi har endast använt GROT från slutavverkningar i våra beräkningar. Den kortare omloppstiden gav i genomsnitt under vår hundraårsperiod cirka 52 procent mer biobränslen som kan ersätta fossila bränslen än under en oförändrad omloppstid. Den längre omloppstiden gav i genomsnitt 24 procent mindre biobränslen (Figur 2).

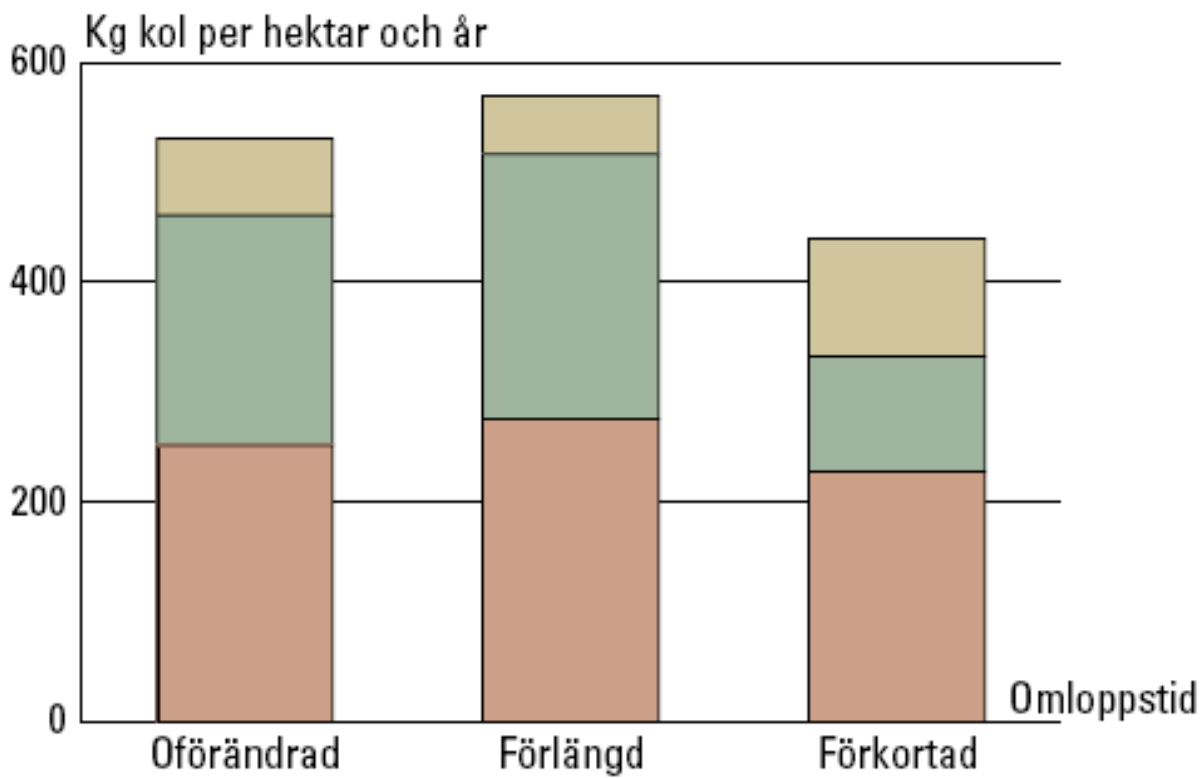
Att lagra kol – en kortsiktig lösning?

På kort sikt (<100 år) gav en förlängd omloppstid en större reduktion av kol-

dioxidutsläpp än en kortare omloppstid (Figur 2). På lång sikt kan dock en kortare omloppstid vara att föredra då den resulterade i en högre uthållig andel biobränsle, vilket leder till en verklig minskning av de fossila bränslena. Dessutom minskade den årliga upplagringen av kol i trädbiomassa när skogen åldrades i samtliga våra simulerade scenarier under den studerade perioden, vilket indikerar att upplagring av kol är en kortsiktig lösning för att minska utsläppen av koldioxid till atmosfären.



Figur 1. Diagrammet visar en simulering av hur mycket kol per ha som totalt lagras in i trädbiomassa i granskog som planterades 2000 i Dalarna. Simuleringarna har gjorts för tre olika omloppstider: oförändrad omloppstid (gul) förlängd omloppstid (+20 %) (röd) och förkortad omloppstid (-20 %) (grön).



Figur 2. Diagrammet visar en simulering av den genomsnittliga upplagringen av kol i mark (röd), i träbiomassa (huvudsakligen stam) (grön) samt i den andel av biomassan (huvudsakligen grenar) som kan ersätta fossila bränslen (gul). Beräknat för perioden 2000-2100 i Dalarna för tre olika omloppstider



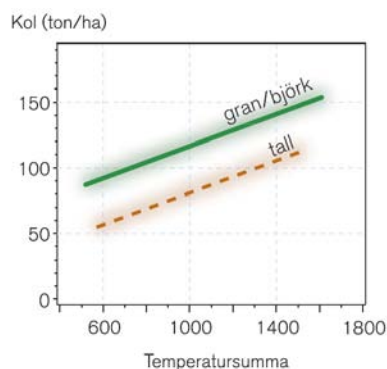
Trädslagsval

Gran och björk ger ökad kolmängd i marken. Trädslagsvalet kan vara ett sätt att öka inbindningen av kol i träd och mark. Önskvärt är då ett trädslag med hög produktion och en förna som bryts ned långsamt. Flera resultat visar att gran och björk kan ge mer kol i marken än tall. Orsaken kan vara att förnan från gran och björk innehåller mer kväve (se kvävegödsling). En bearbetning av ståndortskarteringens resultat visar att marken under rena gran- och björkbestånd innehåller ca 36 ton mer kol per hektar ned till en meters djup jämfört med marken under rena tallbestånd (Figur 4). Detta gäller för landets alla delar. Skillnaden blir dock störst i norr. I norra Sverige är kolinnehållet i marken 65 procent större i gran och björkbestånd än i tallbestånd, och i södra Sverige 33 procent större. Att i framtiden ersätta rena tallbestånd med gran- och/eller björkbestånd i någon större omfattning kan inte ses som realistiskt, bland annat eftersom olika trädslag har olika ståndortskrav. Däremot kan en ökad inblandning av gran och/eller björk i tallbestånd på vissa marktyper vara möjlig. Kartan i figur 5 visar mängden kol med nuvarande trädslagsfördelning på dessa marktyper. Med hjälp av datamodeller kan förändringen i markens kolmängd vid ökad gran- och/eller björkinblandning beräknas. Beräkningen visar att om gran/björkandelen höjs från dagens nivå kommer kolökningens storlek att variera inom landet. Exempel på områden där en förändrad trädslagsfördelning ger ökad kolmängd i marken är östra Götaland, norra Dalarna, Gästrikland, delar av Hälsingland samt Norrbotten. Däremot är ökningen marginell eller ingen i sydvästra Sverige, de kustnära trakterna av Väster- norrland, delar av Jämtland och det inre av Västerbotten.

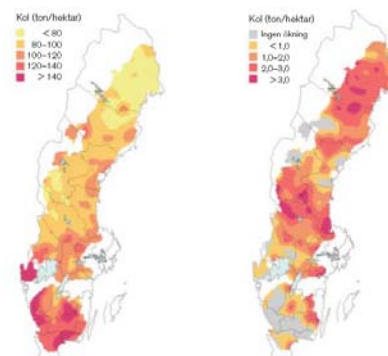
LUSTRA kan visa att gran binder mer kol i marken än vad tall gör. Med det resultatet skulle vi kunna rekommendera att skogsbranschen i högre utsträckning gick över till att odla gran. Men det innebär byte av trädslag och får ekonomiska och andra miljömässiga konsekvenser,

till exempel kan det komma att påverka den biologiska mångfalden negativt. LUSTRA:s kanske viktigaste budskap är att hur vi använder marken och i vilka

syften måste balanseras mot varandra i den framtida diskussionen.



Figur 4. Marken under rena bestånd av gran eller björk lagrar 36 ton mer kol per hektar än marken under rena tallbestånd. Det visar beräkningar av kolmängden i skogsmark ned till 1 m djup (heldraget = gran/björk-bestånd, streckat = tallbestånd). Mängden kol varierar med klimatet (här uttryckt som temperatursumma, vilket är summan av alla dygnsmedeltemperaturer då temperaturen varaktigt överstiger +5 °C dvs. under växtperioden). Ingen statistisk skillnad finns mellan gran och björkbestånd, men däremot mellan gran/björk och tall.



Figur 5. Vänster karta: Kolmängd i skogsmark* ned till 1 m djup med nuvarande trädslagsfördelning. Kartan gäller för sådan mark där det är biologiskt möjligt att byta från tall till gran/björk. Underlag: Ståndortskarteringen (nuvarande MI inom RIS) 1993–2000, SLU. Höger karta: Beräknad ökning av kolmängd i skogsmark* till 1 m djup om gran och/eller björkandelen ökas med 10 procent från dagens nivå. Inom vissa områden beräknas ökningen bli mer än 3 ton per hektar. Ingen eller endast en liten ökning kan väntas där det redan i dag är hög andel av gran/björk.

*Gäller medelålders och äldre skogar, järnpodsol och järnhumusodsol, grovsand/sandig morän och finkornigare samt frisk och frisk-fuktig mark.

Risker med torvmark

Torvmarken har under lång tid ansamlat kol på grund av långsam nedbrytning av växtrester eftersom vattenhalten är hög. Dikning innebär att syre får tillträde och att nedbrytningen ökar, och att marken blir en källa för CO₂ och N₂O. Avgången kan vara från 0,7 till mer än 2,5 kg CO₂-ekvivalenter per m² och år.

Dikade skogklädda torvmarker har idag flera viktiga ekosystemfunktioner t ex produktion av biomassa, torv, mångfald och vatten av god kvalitet. Hanteringen av dessa marker får konsekvenser för flera av Sveriges nationella miljökvalitetsmål, t ex myllrande våtmarker, begränsad klimatpåverkan, levande skogar och grundvatten av god kvalitet. Idag står vi inför valet hur

de dikade markerna fortsättningsvis skall hanteras på bästa sätt. Det finns huvudsakligen tre alternativ, fortsatt produktion av skog med ev. modifiering av dikessystem, återskapande och/eller bevarande av våtmark i naturvårdssyfte samt brytning av torv. Dessa tre alternativ leder till olika miljöeffekter t ex på avgången av växthusgaser och klimatförändringar. Olika miljömål riskerar att hamna i konflikt med varandra, detta gäller t ex mångfald (myllrande våtmarker) och klimatmålen.

Med nuvarande markanvändning sker en negativ påverkan på delar av våra våtmarksmiljöer inom jord- och skogsbruk. Dikesrensning och körskadorna i vattendrag orsakar stora negativa effekter på olika

bottenfauna som i många fall helt slås ut vid erosion i mindre vattendrag. Dessa åtgärder ger också tillsammans med luftföreningar en försämrad vattenkvalitet, med negativa effekter långt nedströms, till och med i kustnära miljöer. Det finns därför behov att återföra produktiv skogsmark på torvklädd mark till mer ostörda system med myr eller sumpskog men också ett återskapande av mer olika mer eller mindre öppna våtmarker och restaurering av mindre vattendrag. Detta får effekter på utsläppen av växthusgaser och skogsproduktionen.

Miljöeffekter

Hantering av de torvtäckta markerna påverkar det avrinnande vattnets flödesmönster och kvalitet, t ex är kvävet och kvicksilvrets mobilitet och förekomst i vattendrag, samt lösta humusämnen starkt beroende av hanteringen av marker med hög grundvattenyta. Nettotillförseln av växthusgaser till atmosfären påverkas dels direkt genom att avgången från marken ändras, dels indirekt genom att producerad skog kan minska utsläppen genom att ersätta t ex fossila bränslen med koldioxidneutrala biobränslen. På sätt och vis ställs här klimatmål och mångfaldsmål mot varandra. En hög grundvattenyta, t ex efter igenlagda diken gynnar mångfalden och leder till ökade utsläpp av växthusgaser. Men det är naturligtvis inte

Fakta – Torvtäckt skogsmark

Arealen torvtäckta marker med skogsproduktion i Sverige uppgår till 5 M ha, vilket utgör inte mindre än 20 procent av Sveriges skogsmark, och hälften av all torvtäckt mark i Sverige (10 M ha). Med torvtäckt mark menas mark med ett täcke av torv utan specifik torvmäktighet. Den del av de torvtäckta markerna som har mer än 30 cm torvmäktighet benämns torvmark och dessas sammanlagda areal utgör drygt 60 procent av arealen torvtäckta marker.

frågan om ett ”antingen eller” utan om en balans i markanvändning så att alla mål kan klaras på ett tillfredsställande sätt. Uppgiften är således att kunna optimera användningen och förvaltningen så att nyttan av ekosystemtjänsterna i ett nationellt- och landskapsperspektiv blir så hög som möjligt med samtidigt en minimal negativ påverkan på miljön. Sätt att nå dit är t ex att differentiera de skogklädda torvtäckta markerna med avseende på betydelse för skogsproduktion, torvtäkt, mångfald och klimat och hantera dessa på olika sätt. Men det kan också vara frågan om att kunna anpassa en grundvattenyta så den samtidigt ger hög skogsproduktion och låga utsläpp av koldioxid från torven, kanske genom grundare diken men ett tätare dikessystem. Den spatiella fördelningen av nyttjandeformer inom ett våtmarksområde kan planeras så att områden med hög buffertförmåga gentemot utlakning av metaller och kväve kan placeras nedströms områden med stor utlakning.

Ytterligare en relevant fråga är hur klimatförändringarna kommer att påverka de skogklädda och torvtäckta markerna. Det handlar här om samspelseffekter mellan klimat och markanvändning.

Balanseringen av olika miljökvalitetsmål inom en region försvåras av att dessa hanteras av olika problemägare med sinsemellan olika värderingar och utgångspunkter. Balanseringen försvåras också av brist på kunskap om hur förväntade klimatändringar påverkar de olika funktionerna. Kunskap om klimateffekterna på dessa marker är nödvändiga för att kunna fatta riktiga beslut om deras förvaltning. För att kunna hantera förvaltningen av skogklädda torvtäckta marker krävs att konflikterna mellan miljökvalitetsmål tydliggörs, att en plattform för dialog mellan olika aktörer/problemägare skapas och att verktyg till balanserat nyttjande skapas, t ex med ekonomiska modeller.

En annan broschyr ägnar vi helt åt dikad mark (Kolet, klimatet och skogen - Skogklädda torvtäckta marker). Där berättar vi varför de dikade markerna står

för 15 procent av de totala utsläppen av växthusgaser från svensk skogsmark, trots att de utgör en liten del, cirka 7 procent, av hela den svenska skogsmarken, och vad man kan göra åt det.



Kvävegödsling

Kvävegödsling leder till att skogsproduktionen ökar och att marken binder mer kol, vilket är bra ur ett växthusgasperspektiv, men det kan också öka försurning och övergödning, och minska den biologiska mångfalden. Det gäller att hitta en bra balans mellan olika miljömål.

Kvävets dubbla roll i skogen

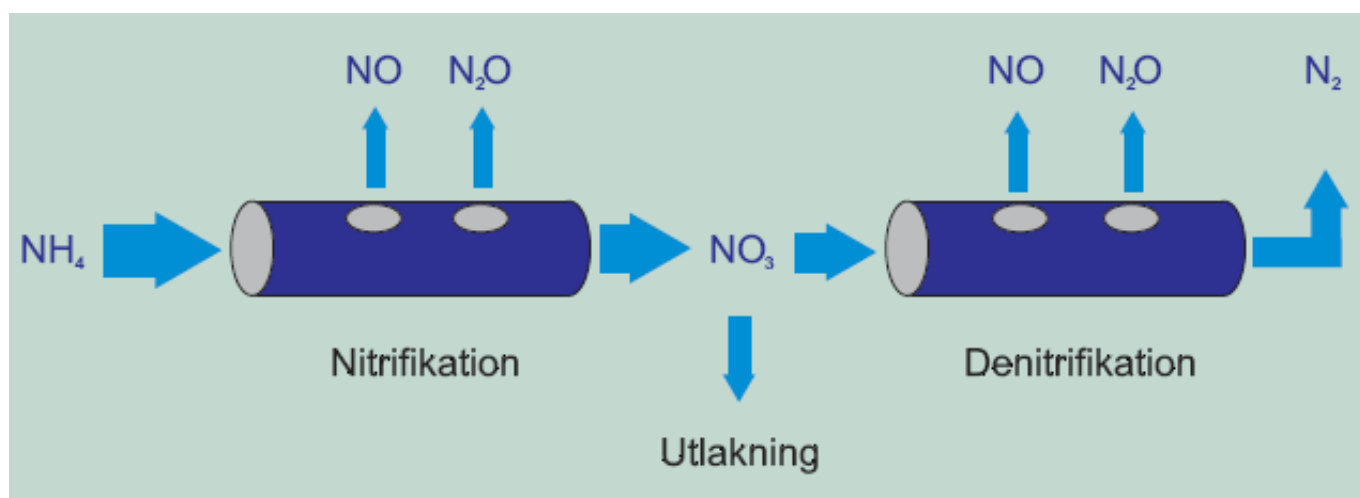
Ökad tillgång till kväve leder till att mer kol ansamlas i marken. Detta beror på att trädens tillväxt ökar och att mer kol därmed tillförs marken som förna. Men det beror också på att nedbrytningshastigheten i marken minskar och att kolförlusterna därmed blir lägre. Kvävet har alltså en dubbel roll för ansamlingen av kol i marken. Ökad kvävetillförsel innebär att kol-kväverelationerna i marken ändras. Dessa kan uttryckas som C/N-kvot, dvs kvoten mellan kol- och kvävehalt. En lägre C/N-kvot innebär lägre nedbrytningsförluster av kol. C/N-kvoten minskar dock inte direkt när man kvävegödslar, utan först när kväverik förna når marken. Eftersom det finns 8-10 årgångar av barr i en gran, tar det tid innan kvävet från en eller flera kvävegödslingar har anrikats i barrårgång efter barrårgång. Därmed tar det också tid innan det når marken med barrförrådet. Denna fördröjning mellan behandling och effekt gör att sambanden mellan

markens C/N-kvot, kväveminerialisering, trädttillväxt och markens kolförråd efter kvävetillförsel inte blir så tydliga.

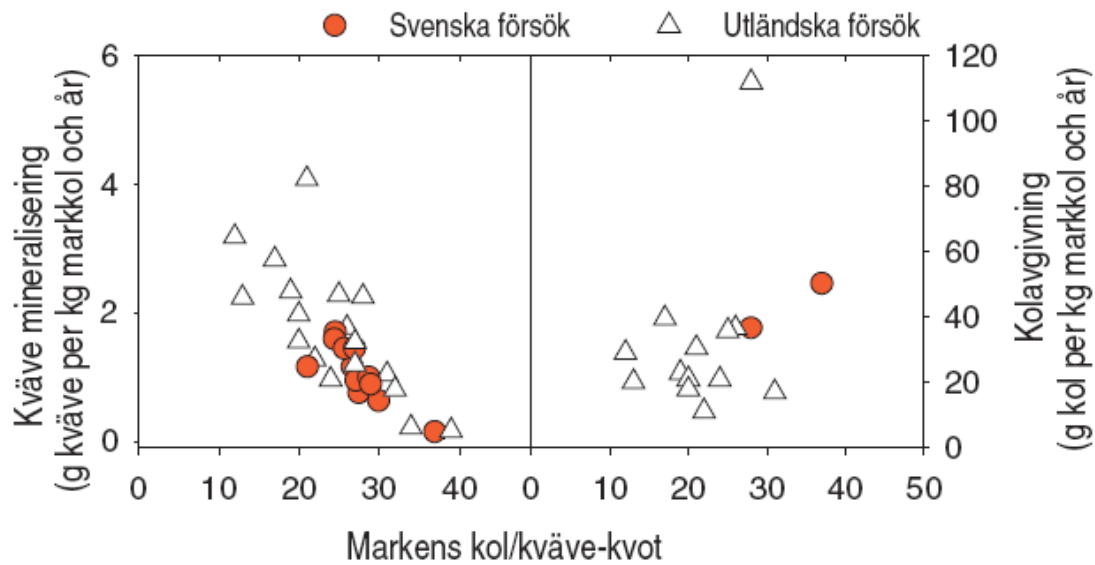
Kvävegödslingsförsök har visat att det finns ett positivt samband mellan markens C/N-kvot och markens koldioxidavgivning. När det finns mycket kol jämfört med kväve (hög C/N-kvot) i marken, är kolförlusterna större än vid låg C/N-kvot. Kvävegödslingsförsöken visar alltså att kvävetillförsel i många fall leder till ökad kolinbindning i både trädbiomassa och mark. Dessa positiva effekter skall vägas mot kvävet väl kända negativa effekter. Det är en svår uppgift som väntar både forskare och administratörer att för olika ståndorter och regioner finna en balanspunkt mellan kvävetillförselns negativa effekter på försurning, övergödning och utarmad biologisk mångfald och positiva effekter på trädproduktion och kollagring. Vi kan förutse att de långsiktiga skogliga kvävegödslingsförsöken har en nyckelroll att spela för kunskapsutvecklingen.

Vi har generellt goda kunskaper om hur kväve påverkar trädens tillväxt. Med ökad kvävetillgång ökar tillväxten till en viss nivå. Ökar tillförseln ytterligare avmattas tillväxtökningen och kan till och med övergå i en minskad tillväxt. Både kvävegödsling och kvävenedfall kan leda till ökad utlakning av kväve. Det finns

en risk för kväveutlakning när skogens behov av kväve är mindre än tillgången. När kväve tillförs till skogen genom skogsgödsling kan man på sikt förvänta sig att avgången av lustgas (dikväveoxid) från skogsmark ökar. Idag vet vi att lustgas avgår från framför allt dikad skogsmark. Dessa har ofta ett högt innehåll av organiska ämnen. När det organiska materialet bryts ned, mineraliseras, frigörs ammonium. När ammonium oxideras (nitrifikation) bildas nitrat. Nitratet kan i sin tur reduceras genom denitrifikation. Vid båda processerna bildas lustgas (Figur 6). Lustgasbildningen gynnas speciellt på de marker där grundvattennivån är relativt hög och varierande. När grundvattennivån tillfälligt sjunker gynnas nitrifikationen medan denitrifikation gynnas under de perioder grundvattenytan ligger lite högre. Idag kommer 80–90 procent av lustgasutsläppen i Sverige från jordbruket där man bland annat gödslar med kväve för att maximera produktionen. Med skogsgödsling kommer man på samma sätt att tillföra mera kväve till skogsekosystemen. Med en ökad kvävetillförsel till skogsekosystem kommer C/N-kvoten i det organiska materialet att minska (Figur 7). Det leder till en ökad sannolikhet för nitrifikation och därmed avgång av lustgas. Risken är störst under



Figur 6. Lustgas, N_2O , bildas vid både nitrifikation och denitrifikation när ammoniumjoner, NH_4^+ , oxideras och nitratjoner, NO_3^- , reduceras. De bakterier som är aktiva vid nitrifikation gynnas av god syretillgång och högt pH medan bakterierna som är aktiva vid denitrifikation verkar i syrefattiga miljöer.



Figur 7. Samband mellan markens C/N-kvot och kväve mineralisering (vänster) och kolavgivningen (höger).

vinterperioden då växternas upptag av kväve är lågt i Sverige. I framtiden, med ett varmare klimat kommer växternas upptag att vara begränsat främst av ljuset, medan nedbrytningen av det organiska materialet stimuleras genom den ökade marktemperaturen.

Kvävedepositionen förklarar kolförrådets storlek

Gruppen som arbetat med kvävefrågorna har använt data från 15 gödslingsförsök 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 och den ökning av kolförråden man sett i södra Sverige 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 siff-

ror 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 C/N-kvoten, kan avslöja om tillförsel av kväve kommer att leda till att träden får en låg eller hög tillväxtökning. På marker med låg C/N-kvot blir tillväxteffekten låg. Där får man också se upp med avgång av lustgas.



Skogen känslig för störningar

Skogen spelar en viktig roll som kolsänka för Sverige eftersom upptaget i skogen i stort sett balanserar de emissioner som förorsakas av förbränning av fossilt kol. Vi har i dag ganska mycket kunskap om hur mycket kol som normala skogar tar upp, men vi saknar viktig kunskap om hur störningar av ekosystemen påverkar kolbalansen. I Sverige är det bränder, insektsangrepp och stormar som är de viktigaste naturliga störningarna. Finns det några samband mellan växthusgaser och stormskador? Klimatändringarna innebär mer starka vindar, men också att vintern blir varmare och blötare. Skogen blir känsligare för nedblåsning när den står på mjuk, blöt otjälad mark. Samtidigt kan stormfällningen öka avgången av växthusgaser till atmosfären. Frågan är om och hur skogen kan anpassas till klimatförändringarna. Det framtida skogsbruket måste därför utformas så att historien inte upprepas.



När orkanen Gudrun drog fram den 8 januari 2005 drabbades Halland, Småland och norra Skåne årsavverkning för Sverige. Bilden är från Asa försökspark nära Växjö, som ligger inom det område

Framtidens skog måste tåla vind och torka

Lokala miljökonsekvenser

När orkanen Gudrun drog fram den 8 januari 2005 drabbades Halland, Småland och norra Skåne värst. Under loppet av ett dygn föllades 50 miljoner kubikmeter skog. Det motsvarade nästan en årsavverkning för Sverige. Ur nationellt perspektiv kanske en årsavverkning inte förefaller så dramatiskt - men detta skedde på en liten del av Sveriges yta. En stor del av Sveriges årsavverkning med hyggesupptagning koncentrerades till några få län, under några timmar och utan någon form av miljöhänsyn. Samtidigt blev markerna ofrivilligt markberedda, eftersom uppdragna rotsystem och uppfläkt mark kan liknas vid markberedning. Alltför kraftig

markberedning kan orsaka oönskade miljöeffekter på mark och vatten. Det finns därför restriktioner mot markberedning - restriktioner som naturligtvis inte stormen brydde sig om. Denna urskillningslösa hyggesupptagning med markberedning kommer få stora miljöeffekter. Mark och vatten skadas. Granskogen är illa ute, likaså fuktiga och blöta marker. Hyggesupptagning och uppfläkt rotsystem med brutet marktäckle leder till ökad nedbrytning av organiskt material och avgång av växthusgasen koldioxid till atmosfären. Organiskt material, nitrat och andra ämnen utlakas till vattendragen, med ökad risk för övergödning och försämrad vattenkvalitet. Detta förstärks av att marken

är otjälad och vattenrik. Till detta kommer stora körskador i samband med tillvaratagandet av den stormfällade skogen. Detta beror på att virke måste fraktas ut från sådana marker och under årstider som ger särskilt känsliga förhållanden.

Komplicerade sumpskogar

Stormens påverkan i blöta och näringsrika marker, som sumpskogar är komplicerad. När träden fälls och inte längre förbrukar vatten stiger grundvattennivån. Vattennivån i sumpskogar spelar en viktig roll för hur mycket och vilka växthusgaser som avgår. Generellt kan sägas att ju högre grundvattennivån är desto högre är metanavgången. Detta motverkas av att avgången av koldioxid minskar med förhöjd grundvattennivå. Men eftersom metan är en tjugo gånger starkare växthusgas kan en vattennivåhöjning ändå



värst. Under loppet av ett dygn föll 50 miljoner kubikmeter skog. Det motsvarade nästan en miljon hektar skog som drabbades värst av stormen.

ge stora effekter. Förutom metan förekommer även lustgas som är mer än 300 gånger så effektiv som koldioxid. När det gäller dessa ekosystem måste därför hänsyn tas till hela ekosystemets balans av växthusgaser. Forskning visar att minst växthusgaser släpps ut från torvmarksskogar när grundvattennivån varken är hög eller mycket låg. Hur skall då den framtida skogen utformas för att än mer ge det uthålliga skogsbruk som vi strävar efter. Alla tidigare erfarenheter kan inte självklart extrapoleras framåt. Vi vet att den framtida skogen kommer att växa i ett annat klimat än dagens. Detta innebär bland annat högre temperatur, mer vinternederbörd, otjälad mark och högre vindstyrka. (Läs mer om framtidens klimat på www.smhi.se) Vi är bara i början på klimatförändringarna som kommer att ställa helt andra krav på alternativa

trädslag och skogsskötsel än vad vi nu är vana vid. Det gör att användningen och skötseln av vissa marktyper kan omprioriteras.

Hur ska torvmarkerna skötas?

Hur skall vi hantera torvmarker med stormfälld skog? Ett villkor för skogsproduktion på torvmarker är att de är dränerade. När träden är borta, som efter en stormfällning, stiger grundvattnet och marken blir mycket blöt. Om man vill ha ny skog måste igenvuxna diken rensas. Sedan kan man återplantera. Eftersom gran är ett stormkänsligt trädslag, kan det många gånger vara klokt att välja ett mer stormtåligt trädslag. Risken för nya stormfällningar kvarstår ju och kan till och med öka på grund av klimatändringar. Återplantering ger framtida ekonomiska värden, vilket kan vara betydelsefullt för

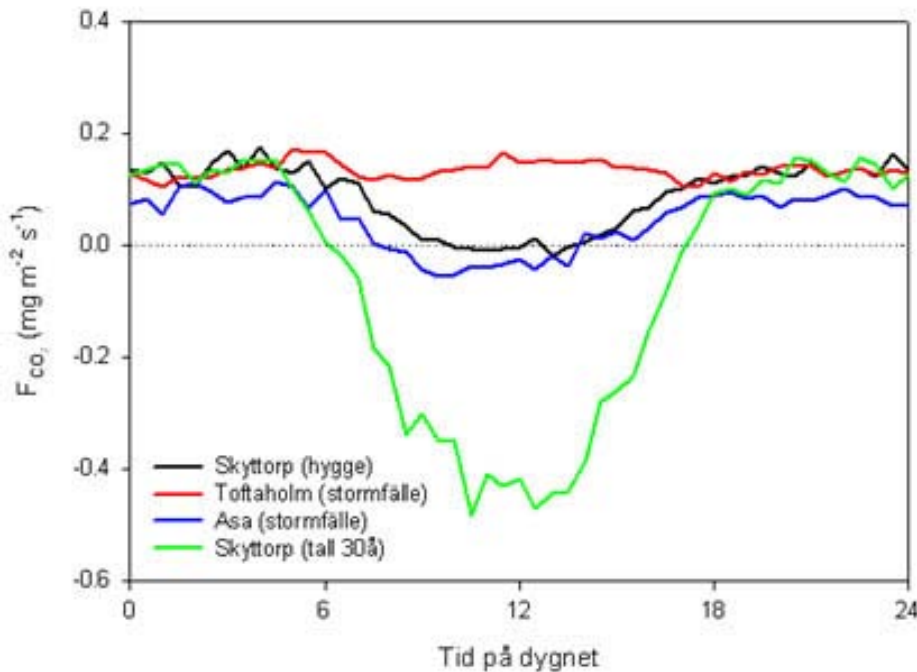
markägaren. Mot detta står kunskapen om att många av dessa blöta marker, även de med växande skog, är stora källor för växthusgaser. Finns det då några andra handlingsalternativ? Ett radikalt handlingsalternativ kan vara att först utvinna torven och använda den som bränsle för att ersätta och därmed minska förbränningen av olja. Först därefter skulle marken återplanteras med lämpligt trädslag. Enligt torvutredningen (Uthållig användning av torv. SOU 2002:100.)

Kan detta vara ett fördelaktigt alternativ ur växthusgassynpunkt. Ett annat alternativ skulle vara att inte återbeskoga denna typ av mark alls, utan låta dikena förbli orensade. Eventuellt skulle dikena kunna täppas till, så att vattnet stannar kvar. Detta skulle ge stora värden för biologisk mångfald då markerna förändras till våtmarker. Hur det påverkar avgången av växthusgaser är däremot komplicerat eftersom förlust av skogsproduktion betyder förlust av biobränslen och konstruktionsvirke. Därigenom minskar möjligheterna att ersätta olja och byggnadsmaterial med mer koldioxidneutrala produkter.

Skogen måste tåla vind och torka

Men mycket skog har också blåst ned på frisk eller torr mark. Frågan är hur dessa marker skall beskogas för att anpassas till ett ändrat klimat. Modellerna säger oss att det framtida klimatet i södra Sverige blir varmare och torrare på somrarna. Det innebär att tallen blir mer intressant på många marker. Tall är inte heller lika känslig för storm som gran. Å andra sidan verkar tall vara sämre, än både gran och björk, på att reducera växthuseffekten genom att binda in mindre koldioxid från atmosfären och lagra den som kol i marken. Detta borde också vägas in när vi väljer trädslag i framtidens skogar. Andra möjligheter är att byta ut gran mot björk och andra lövträd som till följd av sitt djupare rotsystem är mer stormtåliga och kanske även bidrar till ett bättre marktillstånd. Det är väsentligt att etablera en skog som är uthållig, särskilt med hänsyn till marktillstånd och klimatändringar, och att handla långsiktigt med ett storskaligt landskapsperspektiv för ögonen!

Gudrun – en kolbomb



Figur 1. Nettoutbytet av koldioxid för två stormfällda ytor, Asa och Toftaholm, ett hygge, Skyttorp och en typisk stående skog, Skyttorp (tall 30 år) (Medeldygn för september). Positiva värden betyder ett flöde från marken till atmosfären och ett negativt tvärt om, dvs. upptag av koldioxid.

Stormen Gudruns påverkan på koldioxidutsläppen från den stormfällda skogen studeras i två av Formas stödda projekt (Anders Lindroth, Lunds universitet respektive Achim Grelle, SLU) som kom igång alldeles efter stormen. De första resultaten visar att mycket stora mängder kol pysar ut från de stormfällda ytorna.

Koldioxidflödet mäts

Stormen Gudrun, som orsakade stor förödelse med ca 50 miljoner m³ omkullvräkt skog, är ett exempel på en osedvanligt omfattande störning. En så radikal påverkan på kolbindande och kolavgivande processer som en sådan storm orsakar måste rimligtvis få stora konsekvenser för kolbalansen. Men hur stora?

Ett sätt att relativt snabbt få svar på den frågan är att gå ut och mäta flödet av koldioxid mellan stormfällda ytor och atmosfären. Med modern avancerad teknik är det numera möjligt att göra sådana mätningar.

Tekniken bygger på att samtidigt

mäta luftens koncentration av koldioxid och dess vertikala hastighet i luftrummet en bit ovanför marken. Beroende på hur högt ovanför marken som instrumenten placeras "ser" man olika stora områden runt mätpunkten, vanligtvis 2-3 ha i storlek. Sådana mätinstrument har placerats i två olika av Gudrun stormfällda områden i Småland, ett vid Toftaholm (foto 1) och ett i närheten av Asa (foto 2). Mätningarna kunde inte påbörjas förrän områdena var röjda, därför finns mätdata från mitten av sommaren 2005 i Asa och senare delen av sommaren i Toftaholm. Mätningarna kommer att fortsätta i några år för att följa skogens återuppväxt i området.

De första resultaten

De första resultaten visar en dramatisk förändring av kolflödena från de stormfällda ytorna jämfört med de från en typisk yta med skogen stående kvar (Figur 1). Under nattetid är det ingen större skillnad mellan de olika ytorna, men på dagen, när skogen visar ett kraftigt nettoupptag, är upptaget starkt reducerat i Asa med bara

ett litet nettoupptag mitt på dagen medan det i Toftaholm fortsätter att pysa ut koldioxid hela dagen. I figuren finns också en jämförelse med ett " normalt " färskt hygge (Skyttorp hygge i Fig.1, data från år 2001) som visar att det faktiskt inte är så stor skillnad mellan detta och de stormfällda ytorna, speciellt stormfället i Asa. Den stora skillnaden mellan ett " normalt " hygge och en rensad stormfälld yta är att den senare har utsatts för betydligt mera omfattande störningar i mark-rotsystemet på grund av alla rotvältor.

I Asa har gräs och hallonsris snabbt växt till, vilket gör att här finns ett litet nettoupptag mitt på dagen. Toftaholm, som röjdes senare, har ännu inte fått någon gräsinvasion och därför finns inget upptag ens mitt på dagen. Om kurvorna över hela dygnet integreras blir resultatet nettoemission från stormfällena (och hygget) medan det blir ett stort nettoupptag i den stående skogen.

Exemplet ovan gäller förhållandena under september månad och det måste påpekas att värdena inte är direkt jäm-

förbara. Det beror på att de olika ytorna har haft olika temperatur-, ljus och fuktighetsförhållanden eftersom de ligger på geografiskt skilda lokaler och de fysikaliska förhållandena påverkar hastigheten på flödena. Generellt ger dock figuren en rättvisande bild av förhållandena mellan de olika ytorna.

Förfärande hög siffra på kolemissionen

En första uppskalning av flödena till att motsvara flödet från hela den av Gudrun stormfällda ytan har också gjorts. Då har använts en etablerad datamodell, BIOME-BGC, som kalibrerats mot data från bägge ytorna. Med hjälp av klimatdata från SLUs skogliga forskningsstation i Asa har flödena simulerats över ett helt år och då framgår att emissionen i Gudruns fotspår uppgår till ca 3 miljoner ton kol på årsbasis. Det är en förfärande hög siffra som vi kan ställa i relation dels till det "normala" nettupptaget (dvs exkl avverkningar) och det är av storleksordningen 30 miljoner ton kol, dels till de antropogena emissionerna som är ca 16 miljoner ton per år. Om vi dessutom räknar med att det normala upptaget har uteblivit i den stormfällda skogen blir skillnaden mellan "före" Gudrun och "efter" Gudrun ca 3,5 miljoner ton kol mindre i Sveriges kolbalans under 2005. Alltså har Gudrun resulterat i en avsevärd försvagning av balansen.

Gudrun en kolbomb

En viktig följdfråga är hur länge denna försämring kvarstår, d.v.s. hur snabbt kan området återbeskogas? Andra viktiga frågor är om stormfrekvensen blir högre i ett framtida förändrat klimat, hur detta då påverkar Sveriges kolbalans och vad vi kan göra åt det? Slutsatsen är att vi, efter Gudruns härjningar som ibland har liknats vid ett bombnedslag, nu får lägga till epitetet "kol" framför "bomben", dvs Gudrun var inget mindre än en kolbomb!

Detta är ett utdrag av resultat som presenterades i Miljöforskning Nr 4 2007 sid. 30-31.



Foto 1. Toftaholm i augusti 2005. Notera den kraftigt störda marken i jämförelse med den relativt väl bevarade marken i Asa (foto 2).



Foto 2. Asa, augusti 2005. Notera den relativt ostörda marken och att gräs och hallonris redan utvecklats kraftigt.

Klok användning av skog

Skogen har en nyckelroll i arbetet med att minska koldioxidhalten i atmosfären och det finns i huvudsak två sätt som skogsbruket kan bidra på: lagring av kol och ersättning av fossila bränslen eller material som vid sin produktion alstrar koldioxid. Båda metoderna kan leda till att andelen koldioxid i atmosfären blir lägre. Lagring av kol kan ske i trädbiomassa, mark och i träprodukter. Det är dock en relativt kortsiktig lösning med begränsad kapacitet och risker. Biobränslen från skogen kan ersätta fossila bränslen och träprodukter kan ersätta energiintensiva material såsom cement, stål och plast. Dessa användningar leder till en direkt minskning av utsläppen av växthusgaser och är på lång sikt att föredra framför lagring av kol. Hög skogsproduktion och substitution är bäst för klimatet.

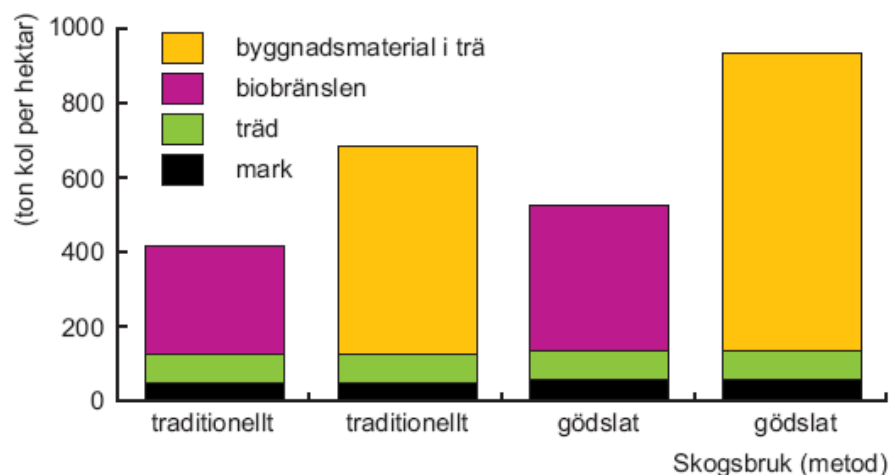
Biobränslen

När biobränslen ersätter fossila bränslen i energiproduktionen genererar de visserligen koldioxid men den koldioxid som frigörs skulle ändå ha avgetts till atmosfären när trädet dör och biomassan bryts ned. Om skogen återplanteras efter avverkningen så upptar den växande biomassan samma mängd koldioxid som avgavs vid förbränningen. För biobränslen kan man därför tala om koldioxidneutralitet eller klimatneutralitet. Men i själva verket finns det knappast några biobränslen som är helt neutrala i den meningen att de resulterar i nettoemissioner som är noll. Under produktion och transport av biobränslen sker utsläpp men dessa är förhållandevis låga. Biobränslen ger därmed bara en marginell nettoökning av atmosfärens innehåll av koldioxid och är dessutom en inhemsk energikälla. Redan idag svarar biobränslen för 28 procent av vår energianvändning (113 TWh år 2004). Till nackdelarna med biobränslen hör att biobränsleuttag kan stå i konflikt med naturvården eftersom stora uttag av bioenergi från skogen kräver höga avverkningsnivåer. Det kan påverka markens försurningsstatus och de rödlistade arter som kräver långa omloppstider och färre avverkningar. Ökat biobränsleuttag skulle också kunna leda till att mängden död ved minskar. Enligt Svenska Naturskyddsföreningen kan dock uttaget av biobränsle från skogen öka med cirka 30-40 TWh, jämfört med dagens uttag, utan att den biologiska mångfalden hotas. Det skulle

kunna minska utsläppen med ytterligare 8-10 miljoner ton koldioxid i jämförelse med användning av fossila bränslen. Biobränsleuttag kan också stå i konflikt med kollagringen i skog och mark. En minskad inlagring av kol i biomassan kan bli följden om helträdsuttag leder till sänkt produktion. Dessutom bortförs kol från ståndorten när avverkningsrester tillvaratas. Om avverkningsresterna i stället får ligga kvar och brytas ned på plats blir alltid en liten svärnedbrytbar rest kvar som ökar kollagret i marken. Dessa negativa effekter på kollagren kan dock sannolikt motverkas genom att lämna kvar de gröna barren i skogen eller genom gödning. En kraftigare reducering av kollagringen

kan bli följden om vi väljer att maximera biobränsleproduktionen genom att övergå till kortare omloppstider.

Utsläppen av växthusgaser varierar för olika bränslekedjor beroende på bränsle och hur systemgränserna är satta i olika studier. Följande faktorer kan bidra signifikant till de totala utsläppen av växthusgaser i produktions- och användningskedjorna för olika biobränslen; produktionssystemets påverkan på markkolet, markskötselmetoder (särskilt på dränerad torvmark), användning av gödselmedel (både direkt och indirekt påverkan på växthusgasemissioner), förbränningstekniken, förädling av bränslet (t.ex. pelletstillverkning) och lagring



Figur 1. Effekt av substitution och lagring på utsläpp av koldioxid efter 280 år, räknat per areal skog i hektar. Trä som ersättning för betong i byggnadstillämpningar och trä som enbart bioenergi reducerar utsläppen av koldioxid till atmosfären. Staplarna visar resultaten av en analys över 280 år. De gula och violetta delarna av staplarna representerar den samlade effekten av substitution för trä som byggnadsmaterial respektive enbart biobränslen. De gröna och bruna delarna av staplarna visar den mängd kol som finns lagrad i skogens träd respektive

(särskilt för finfördelade bränslen). Andra källor som också bidrar till utsläppen under en produktions- och användningskedja är: skördemaskiner, transporter och avfallshantering.

Bygg med trä

Ett annat effektivt sätt att minska utsläppen av växthusgaser är användningen av konstruktionsvirke som ersättning för t ex betong eller andra sådana material som vid sin framställning avger växthusgaser. Detta visar vi en studie inom LUSTRA där vi analyserat skogen och skogsmarken såväl som användningen av träprodukter. Träprodukter kan ersätta mer energikrävande material och fossila bränslen. I träprodukter binds också kol under en längre eller kortare tid främst beroende på produktens livslängd. Vi har studerat två användningsområden: byggnadsmaterial av trä samt bioenergi. Dessutom har vi jämfört ett intensivt skogbruk där skogen gödslas, med dagens skogsbruk (traditionellt). Skogsskötseln påverkar inlagring av kol i träd och mark.

Effektiv användning av träet

Trä kan till exempel ersätta betong i byggnadstillämpningar. Vi har jämfört hur koldioxidutsläppen påverkas om vi använder trästommar i stället för betongstommar i byggnader. Vi jämförde två flerbostadshus med samma storlek och boendekomfort men uppförda med betong- respektive trästomme. I beräkningarna tog vi bland annat hänsyn till hur byggnadsmaterialen producerats och betydelsen av att hyggesrester, sågspån och andra restprodukter från träindustrin, som bildas när byggnadsmaterialet produceras, kan användas för att ersätta fossila bränslen. Det innebär ett kombinerat nyttjande av skogen för både konstruktionsvirke och bioenergi. Vi har också tagit hänsyn till att rivningsvirket när huset har rivits kan användas för energiändamål. Koldioxidutsläppen från uppvärmning och underhåll är däremot ungefär desamma för både betong- och träbyggnaden och in-

går därför inte i jämförelsen. Det är alltså materialet i husstommarna som skiljer byggnaderna åt och de följdförändringar som valet av stommaterial medför. Såväl trä som betong används i båda byggnaderna, till exempel används betong för grundläggning och trä som golvmaterial i båda byggnaderna. Bioenergi kan ersätta olika typer av energislag. Vi har beräknat effekten av att bioenergi ersätter kol eller naturgas.

Betydande fördel för klimatet

Våra analyser visar att trästommar som ersätter betongstommar i byggnader ger en större reduktion av koldioxid till atmosfären än att nyttja trä enbart för biobränslen (Figur 1, traditionellt). Reduktionen av kol till atmosfären blev i det första fallet 560 ton kol per hektar och i det andra fallet knappt 300 ton kol per hektar. Att vi har valt 280 år för våra jämförelser beror på att den intensivt brukade skogen då avverkats fyra gånger och den traditionellt brukade tre gånger. Produktionen av huset med betong medför ett nettoutsläpp av ungefär 81 kg koldioxid per m² byggyta. Bygger vi med trästomme blir det inget nettoutsläpp utan i stället ett upptag av

126 koldioxid per kvadratmeter byggyta. Byggsystem är komplexa och variationsmöjligheterna är många, men analys av ingående osäkerheter visar ändå att trähus har lägre nettoutsläpp av koldioxid än betonghus. Vad betyder då detta för Sverige? Om vi brukar skogen intensivt, tillverkar största möjliga mängd konstruktionsvirke och använder avverkningsrester för el- och värmeproduktion, blir minskningen av koldioxidutsläppen väsentligt större och ökande över tiden än om skogen bara får stå som ett kollager. En sådan användning av skogsråvaran skulle kunna minska utsläppen med mellan 1,4 och 2,0 ton koldioxid per kubikmeter skogsproduktion, mätt som stamved, beroende på om vi ersätter fossil gas eller fossilt kol. Med den nuvarande skogsproduktionen i Sverige, cirka 100 miljoner kubikmeter per år, skulle vi således teoretiskt kunna minska utsläppen med 140 till 200 miljoner ton koldioxid – mer än dubbelt så mycket som Sveriges totala utsläpp är idag. Men detta är ett teoretiskt exempel. Med olika ekonomiska, tekniska och ekologiska restriktioner blir naturligtvis minskningen av koldioxid mycket mindre.



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.

Ernfors, M., von Arnold, K., Stendahl, J., Olsson, M. and Klemedtsson, L.. Nitrous oxide emissions from drained organic forest soils—an up-scaling based on C:N ratios.

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, Klemedtsson 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. Introduction to the LUSTRA special issue of Biogeochemistry.

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

