

OSKAR FRANKLIN

# Gödslad skog bidrar till minskad växthuseffekt

– kvävetillförsel ökar kollagren i skogsmark



foto: oskar franklin

- Kvävegödsling medför att mer kol lagras i skogsmarken. Detta på grund av att mer kväve försvårar nedbrytningen av döda växtdelar till koldioxid.
- Kvävet förändrar ämnesomsättningen hos de mikroorganismer som sköter nedbrytningen av organiskt material i marken. Under nedbrytningsprocessen blir därför det organiska materialet alltmer svårnedbrytbart och processen bromsas upp.
- Upplagringen av kol förstärks även genom att gödslingen ger ökad produktion av växtmaterial, en effekt som förväntas öka med höjd koldioxidhalt i atmosfären.
- Skogar kan bidra till minskad växthuseffekt genom ökad kolupplagring i träd och mark till följd av gödsling eller kvävenedfall.

För att bygga upp växternas fotosyntes och tillväxtmaskineri behövs näringsämnen som tas upp ur marken. Tillgången på näring, särskilt kväve (N), är ofta begränsande för tillväxten. Det växer därför bättre om kväve tillförs genom exempelvis gödsling. Men det är inte bara växterna som påverkas av näringsgödsling. I experiment där man har försökt optimera näringstillförseln för maximal tillväxt har man sett att även marken påverkas på olika sätt. En effekt är att mängden organiskt material i marken har ökat kraftigt i gödslad skog.

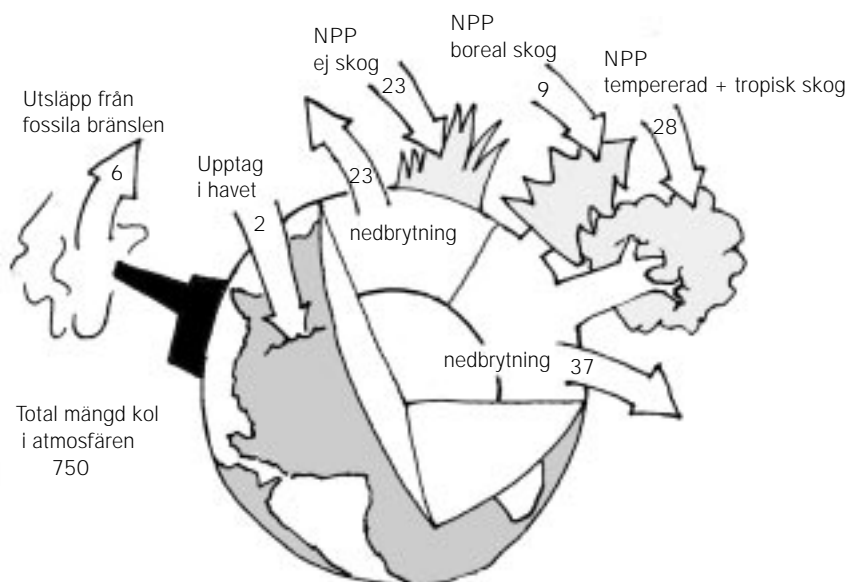
Kvävetts effekter på skog och mark blir än mer viktiga att förstå med tanke på att de inte är begränsade till experiment och odlingar. Via nedfall av luftföroreningar pågår en oavsiktlig kvävegödsling i industrialiserade områden som till exempel Centraleuropa. Detta kan påverka trädens tillväxt men är även intressant utifrån ett annat perspektiv – koldioxiden och växthuseffekten.

I det här numret av Fakta Skog presenteras hur näringstillförsel påverkar upplagringen av kol i skogsmark och vilka konsekvenser detta kan få för växthuseffekten.

### Kväve påverkar skog, mark och koldioxid

Levande och döda växter består till stor del av kol som fixerats från luften i form av koldioxid. Döda växtdelar bryts ner av mikroorganismer som ger tillbaka koldioxid till atmosfären. Koldioxid cirkulerar därför hela tiden mellan atmosfären och skogen. En stor del av atmosfärens koldioxid omsätts varje år i detta kretslopp, ett koldioxidflöde som är tio gånger större än de globala utsläppen från fossila bränslen (Figur 1). En tio procents nettoökning av ekosystemens kolupptag skulle därför kunna kompensera för koldioxidutsläppen, roten till den ökande växthuseffekten. En metod för detta är att öka skogens tillväxt och kolupptag genom gödsling.

Eftersom fotosyntesen inte bara begränsas av näring utan också av koldioxidhalten i luften, blir effekten av gödsling ännu större vid förhöjd koldioxidhalt. Näringstillgång påver-



figur 1. | Globala kolflöden ( $10^{15}$  gram/år) år 1996 (Schlesinger 1997). Koldioxidhalten ökar i atmosfären på grund av utsläpp från fossila bränslen. Samtidigt sker hela tiden ett upptag av koldioxid (NPP) i växter och ett flöde tillbaka till atmosfären (nedbrytning) som är avsevärt större än utsläppen från fossila bränslen. En rubbning i balansen mellan produktion och nedbrytning skulle kunna ha stor betydelse för den framtida koldioxidhalten i atmosfären.

kar inte bara hur snabbt ett träd växer, utan även hur tillväxten fördelas mellan blad, stam och rötter. Ju mer lättåtkomlig näring som finns, desto mer växer stammen i förhållande till rötterna. Jämfört med rötter och blad lever trädstammar länge och bryts ner väldigt långsamt när trädet dör. Därför blir upplagringen av kol i ekosystemet

större ju mer stammarna växer i förhållande till rötter och blad, något som alltså är beroende av näringstillgången. Näringstillgången är således avgörande för hur växterna samspelar med den ökande koldioxidhalten i luften. Men det har visat sig att näringen kanske spelar en ännu viktigare roll i marken – den bromsar nedbrytningen.

#### FAKTARUTA

##### Experiment, mätningar och modeller

Den skog som undersökts här är en tallskog som planterades 1953 i Norrlliden utanför Umeå och har utsatts för gödsling med kväve (N) och fosfor + kalium (PK) sedan 1971. Man har gjort regelbundna mätningar av skogstillväxt och 1993 utfördes markkolsmätningar.

Resultaten som presenteras här bygger till stor del på mätningar av kol-14 i marken. Detta kol-14 kallas ibland bomb-kol eftersom det härstammar från kärnvapenprovsprängningar i atmosfären på 1950- och 60-talen. Sprängningarna orsakade en kraftig men avtagande topp i atmosfärens kol-14-halt. Denna kol-14-variation kan användas för att datera kol som fixerats i växtmaterial.

I Norrlliden användes kolmängd och kol-14- mätningar från tre olika nivåer i markens organiska skikt för att beräkna nedfall av förna (döda växtdelar), rotproduktion och nedbrytning. Detta gjordes med hjälp av en modell som rekonstruerade hur nedbrytning och förnaproduktion sett ut under skogens utveckling. Genom att jämföra resultaten från de olika gödslade ytorna kunde effekterna av kväve och fosforgödslingen beräknas. Baserat på dessa effekter på nedbrytning och förnaproduktion, beräknades den förväntade kolupplagringen om 100 år i Norrlliden (Figur 2).

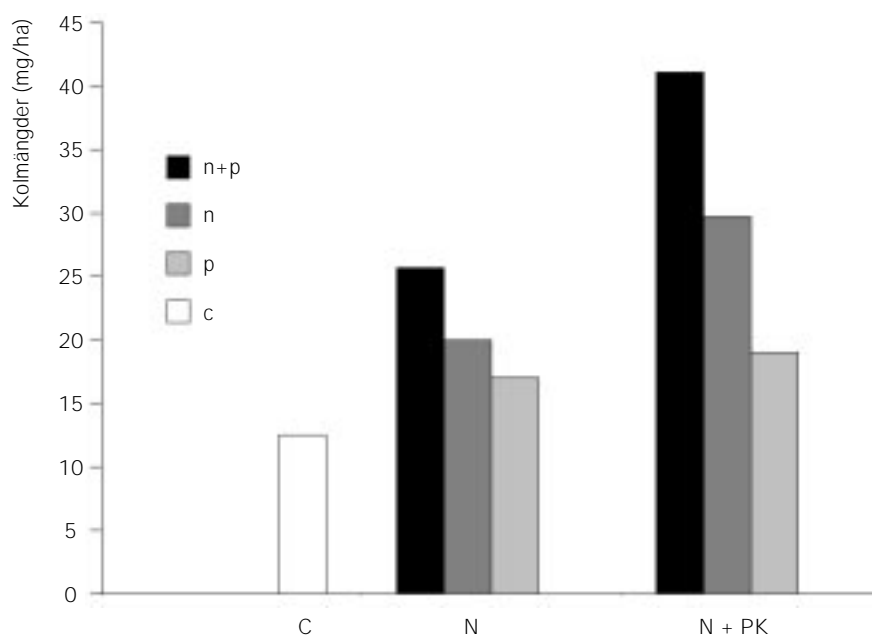
## Mikroorganismerna äter och bryter ner

I marken finns mikroorganismer (nedbrytare), svampar och bakterier, som bryter ned dött organiskt material för att tillgodogöra sig kol och kväve. Kvävet är en viktig byggsten för alla organismers proteiner och enzymer, medan kolet dessutom är en energikälla. Beroende på mikroorganismernas ämnesomsättning återförs (respireras) en andel av kolet tillbaka till luften som koldioxid. När mikroorganismerna dör blir de en del av det organiska materialet som i sin tur konsumeras av nya mikroorganismer. Under nedbrytningen cirkulerar alltså kol och kväve mellan nedbrytare och organiskt material medan koldioxid avges. Hur snabbt nedbrytningen sker beror på materialets kvalitet, som är ett mått på hur lättillgängligt kolet är för nedbrytarna. En hög kvalitet betyder att materialet är lättillgängligt och bryts ned snabbt. Under nedbrytningens gång omvandlas förna (vissna barr och blad på marken) gradvis till humus som har en lägre kvalitet och processen saktas därför ned.

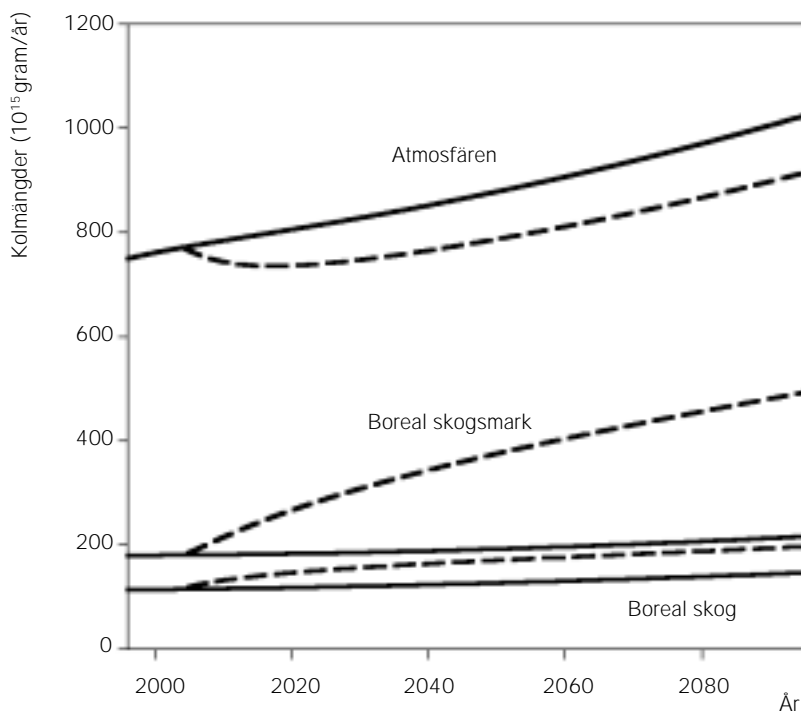
## Kväve påverkar både mikroorganismerna och deras mat

Efter tjugo år av gödsling i en tallskog i Norrliden var de organiska marklagren (humus och förna) minst dubbelt så tjocka på ytor som gödslats med kväve och fosfor jämfört med ogödslade ytor. En del av förklaringen till det är att trädens tillväxt har ökat och därmed har mer barr och annat växtmaterial producerats och fallit ner som förna. Trots detta hade markrespirationen, alltså koldioxidavgivningen minskat. Vad som hade hänt kunde avslöjas genom att kombinera mätningarna av marklager och förnaproduktion med en nedbrytningsmodell (Faktaruta).

Kvävegödsling påverkar nedbrytningen på två olika sätt; dels indirekt via de döda växtdelarnas (förnans) sammansättning, dels som en direkt kvävekälla för mikroorganismerna. Gödsling gör att den nedfallna förnan, till exempel vissna barr och blad, får en högre kvalitet och till en början blir mer lättnedbrytbara. Mensamtidigt ger gödsling nedbrytarna en direkt tillgång till lättåtkomligt kväve och de behöver inte



figur 2. | Beräknade kolmängder i markens förna och humusskikt i Norrliden år 2093 för olika gödslade ytor i Norrliden-försöket. Både kväve (N) och fosfor+kalium (PK) bidrar till ökad kolmängd i marken genom ökad förnaproduktion och minskad nedbrytning. Den ogödslade ytans kolmängd är ungefär densamma som den var 1993. Behandlingar: C=ingen gödsling, N=gödsling med 30 kg kväve/hektar/år, PK=gödsling med 13 kg fosfor/hektar/år och 25 kg kalium/hektar/år. Inkluderade effekter: p=endast ökad produktion, n=endast minskad nedbrytning, n+p=både ökad produktion och minskad nedbrytning.



figur 3. | Kolförrådets utveckling i den boreala skogen (nordliga skogar) och atmosfärens koldioxidmängd 100 år framåt i tiden. De streckade linjerna visar effekten av gödsling av hela den boreala skogen från och med 2004, medan heldragna linjer är ett förväntat scenario utan gödsling. Upptaget i den boreala skogen orsakar till en början en nedgång i atmosfärens koldioxidmängd och därmed en minskad växthuseffekt. Koldioxidhalten i atmosfären vänder sedan uppåt igen på grund av fortsatt ökande utsläpp.

bryta ner lika mycket organiskt material för att komma åt en viss mängd kväve. Materialets kvalitet sjunker också mer för varje steg i nedbrytningsprocessen i gödslad mark. Sammantaget ger gödningen initialt en snabbare nedbrytning medan den avstannar på längre sikt. Den avstannade effekten på nedbrytningen är den viktigaste orsaken till att mängden organiskt kol i marken byggs upp till följd av kväve- och fosforgödning. I Norrliden-försöket beräknas kolmängderna i marken ha tredubbats om hundra år, främst beroende på minskad nedbrytning (Figur 2).

Varför nedbrytarnas funktion förändras på detta sätt är inte helt klarlagt. En tänkbar förklaring är att de ursprungliga mikroorganismerna konkurreras ut av nya kväve- och fosforgynnade mikroorganismer som har en annan ämnesomsättning. Andra obesvarade frågor är hur bestående dessa förändringar är och vad som händer på riktigt lång sikt några hundra år framåt? Stoppas nedbrytningen helt eller kommer nya mikroorganismer eller andra processer att ta över jobbet?

### Skogen kan bromsa växthuseffekten

Den boreala skogen, det vill säga de nordliga barrskogarna, har en viktig funktion i balansen mellan bundet kol och luftens koldioxid (Figur 1). Tillväxten i dessa skogar är ofta begränsad av näringstillgång och man kan därför förvänta sig att de påverkas av gödning eller kvävedeposition på liknande sätt som i Norrliden-försöket. För att bedöma den potentiella effekten av kolupplagring i skogen har jag gjort ett teoretiskt experiment där jag antagit att all boreal skog gödslas. Nedbrytningen antogs minska lika mycket som i Norrliden samtidigt som trädens tillväxt

antogs öka både till följd av gödning och till följd av den ökande koldioxidhalten som förväntas enligt IPCC (International Panel of Climate Change).

Resultatet blir en ökning av kolupplagringen i skogen och framför allt skogsmarken som är så kraftig att den bromsar upp koldioxidökningen i atmosfären (Figur 3). Eftersom utsläppen förutspås fortsätta öka samtidigt som upptaget av koldioxid i vegetationen så småningom mätas, vänder luftens koldioxidhalt långsamt uppåt igen efter cirka 10–20 år. Men även om koldioxidökningen i atmosfären enligt denna modell bara tillfälligt kan stoppas, blir ökningen avsevärt försenad och förväntade klimatteffekter fördröjs med flera decennier.

Det är förstås inte ett särskilt realistiskt scenario att hela den boreala skogen skulle gödstras eller utsättas för kvävedeposition. Men resultaten visar ändå på en stor potential att lagra kol i skogen och att minskad nedbrytning i marken kan vara den viktigaste effekten av gödning och kvävedeposition på skogens kolbalans.

Innan man ger sig ut och togödslar bör man ta hänsyn till att näringstillförsel har effekter även på annat än trädutväxt och kol i marken. Biodiversitet påverkas genom att konkurrensförhållanden ändras, exempelvis missgynnas blåbär och ersätts av gräs. En annan faktor som inte tagits med är den temperaturökning som växthuseffekten förväntas orsaka. Ökad temperatur ger ökad skogstillväxt i nordliga områden och eventuellt även en snabbare nedbrytning.

### Ämnesord

Gödslad skog, växthuseffekt, kvävetillförsel, kollager, produktion, nedbrytning, markrespiration

### Läs mer

- Ågren G I, Bosatta E. 1998. Theoretical Ecosystem Ecology- Understanding Element Cycles. Cambridge University Press, Cambridge.
- Ågren G I, Bosatta E, Magill A H. 2001. Combining theory and experiment to understand effects of inorganic nitrogen on litter decomposition. *Oecologia* 128, 94-98.
- Franklin O, Höglberg P, Ekblad A, Ågren G I. 2003. Pine forest floor carbon accumulation in response to N and PK additions – Bomb 14C modelling and respiration studies. *Ecosystems* 6: 644-658.
- IPCC 2003. Scenarios for future CO<sub>2</sub> emissions and atmospheric CO<sub>2</sub> concentration. IPCC website <http://www.ipcc.ch/>.
- Schlesinger W H. 1997. Biogeochemistry - An analysis of global change. Academic press.
- Tamm C O, Aronsson A, Popovic B, Flower-Ellis J K G. 1999. Optimum nutrition and nitrogen saturation in Scots pine stands. *Studia Forestalia Suecia* 266.
- Strengbom, J, Walheim, M. 2002. Kvävet effekt på förekomsten av blåbär, lingon och krustätel. *Fakta Skog Nr13, 2002 SLU*.

### Författare



Oskar Franklin är forskare vid institutionen för ekologi och miljövård, SLU och arbetar med teorier och modeller för hur skogar påverkas av näring och koldioxid.  
Box 7072  
750 70 Uppsala  
E-post: Oskar.Franklin@eom.slu.se



**Ansvarig utgivare:** Jan-Erik Hällgren, SLU, Fakulteten för skogsvetenskap, 901 83 Umeå  
**Redaktör:** Kristina Sundbaum, SLU, Informationsavdelningen, Box 7077, 750 07 Uppsala  
Telefon: 018-67 15 23 • Telefax: 018-67 35 20  
E-post: Kristina.Sundbaum@adm.slu.se

**Webbadress:** [www.slu.se/forskning/fakta](http://www.slu.se/forskning/fakta)

**Prenumeration och lösnnummer:** SLU Publikationstjänst, Box 7075, 750 07 Uppsala  
Telefon: 018-67 11 00 • Telefax: 018-67 35 00  
E-post: Publikationstjanst@slu.se

**Prenumerationspris:** 320 kr + moms

**Tryck:** Elanders Tofters AB, Uppsala 2004  
ISSN 1400-7789 © SLU