

BJÖRN BERG • PER GUNDERSEN • VERNON MEENTEMEYER

Kolfastläggning uppskalad till svensk skogsmark – en sänka för koldioxid

- Det är ur miljösynpunkt viktigt att bestämma hur fort humuslagret byggs upp, d.v.s. hur fort kol lagras upp.
- Klimat, trädslag och tid är faktorer som påverkar hur fort humuslagret byggs upp och alltså kol binds i marken.
- Kolfastläggningen varierar över landet. Den är snabbast i södra Sverige.
- Vi kan beräkna de olika hastigheterna för kolfastläggning i humus under olika trädslag.



Förnapåsar inkuberas på marken för att mäta förnans nedbrytning.

Att kunna beräkna fastläggning av kol (eller CO₂) i humuslagret har idag ett stort värde ur miljösynpunkt, liksom att bestämma de faktorer som påverkar upplagringen. Långsiktig humusupplagring, eller fastläggning av kol i mark, kan beräknas med noggrannhet och är i svensk skogsmark ungefär 4,5 megaton kol per år (Akselsson m.fl. 2005). Grundläggande arbeten över förnanedbrytning, utförda vid Jädraås Försökspark har resulterat i att ett internationellt forskarteam nu beräknat hur fort kol läggs fast i skogsmark för hela Sverige.

Denna artikel är en fortsättning av Faktaskog nr 6/1999 och behandlar kolfastläggning för hela Sverige, d.v.s. för både boreal och tempererad skog. Artikeln konstaterar att kolfastläggning är klimatberoende, och att dess hastighet kan bestämmas med hjälp av ett gränsvärde som vi beräknar för förnas nedbrytning. Artikeln redovisar resul-

tat av ett samarbete mellan forskningsinstitutet BITÖK i Bayreuth, Tyskland, Institutet för Skov og Landskab, KVL i Köpenhamn, och Department of Geography, University of Georgia, Athens, USA.

Humus bildas från förna...

Förna i skogsmark bryts ner till ett gränsvärde som anger hur stor del av förnan som är mycket svårnedbrytbar. Denna del kallas ofta för humus, är stabil och bildas relativt snabbt. Vi kan beräkna hur stor del av förnafallet hos olika trädarter som ger stabil humus som sedan lagras upp i humuslagret. Nybildad humus består normalt av ca 50 % kol, och humuslagrets tillväxt blir därför ett mått på bindningen av kol.

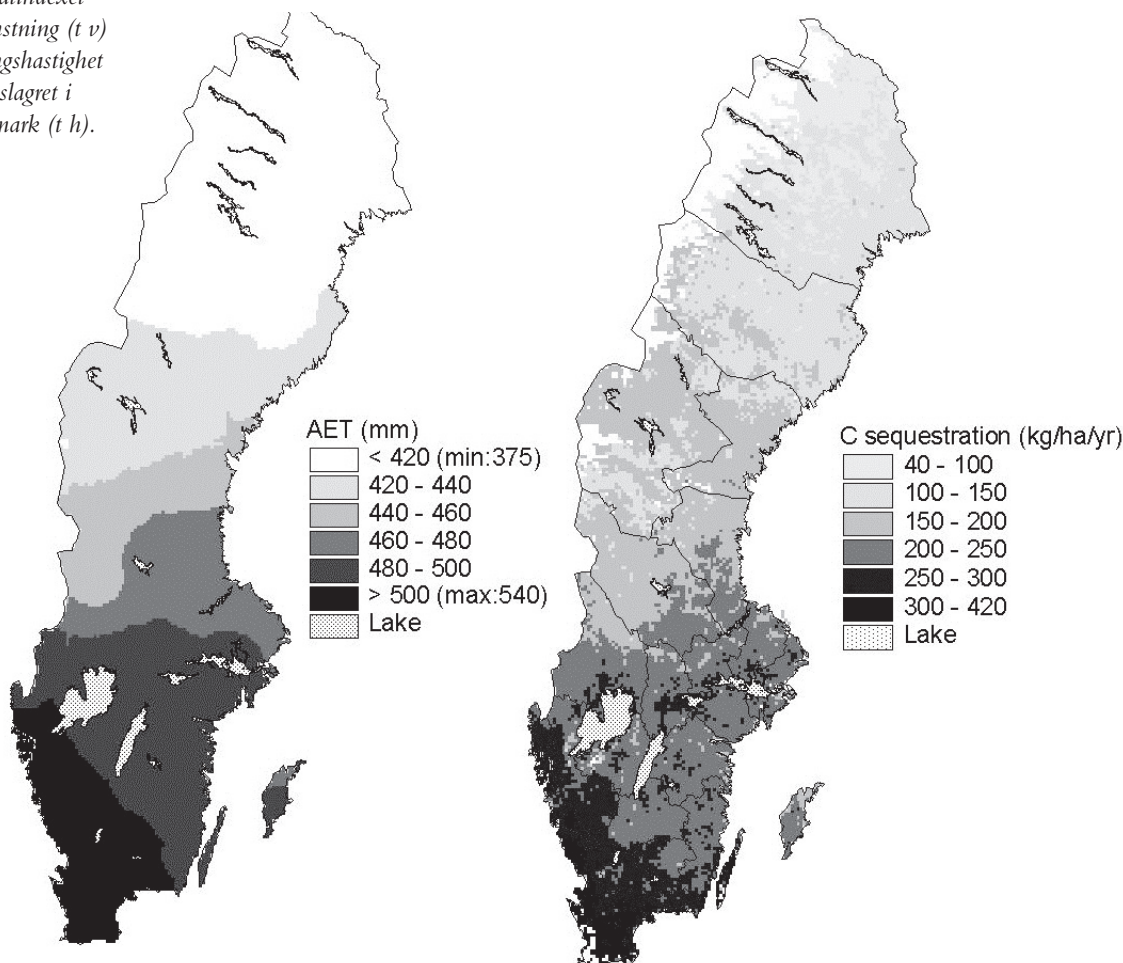
Nedbrytning av organiskt material i boreal skog utförs huvudsakligen av mikroorganismer och sammansättningen av markens mikroflora styrs av bl. a. tillgången på näringsämnen som N,

Mn och Ca. Dessa ämnen påverkar de ligninbrytande mikroorganismerna, och eftersom lignin och dess omvandlingsprodukter är viktiga för storleken av den svårnedbrytbara (eller stabila) delen av förnan kommer tillgången på dem att påverka humusuppbbyggnaden.

...och binder kol

Vi kan även beräkna olika upplagringshastigheter hos humus i skogsmark. Skillnaderna beror av bl. a. trädslag. Tjocka humuslager kan bildas och utgör en stor sänka för stabilt kol. Mer än metertjocka humuslager med upp till 200 ton C per hektar finns i Skandinavien, i Italien, Spanien, och Alpområdet, och en av deras gemensamma nämnare är att de bildas i skogsbestånd där marken inte störs. Att skogsskötselåtgärder som dikning och markberedning ger nedbrytning och koldioxidavgång, liksom att bränning minskar humuslagren, är redan välkänt.

Bild 1. Klimatindexet faktisk avdunstning (t v) och upplagringshastighet av C i humuslagret i svensk skogsmark (t h).



Vi kan beräkna hur fort kol fastläggs i hela Sverige...

Med kännedom om förnas kemi och förnafallet kan vi beräkna mängden av den svårnedbrytbara förnarest som bildas varje år och alltså den humus som skall bildas från varje års förnafall. Den årliga uppbindningen av C (eller av växthusgasen koldioxid) i humus kan således beräknas, och detta har gjorts för olika boreala tall- och granskogar i Sverige samt för tempererade skogar i mellersta Tyskland. Den beräknade upplagringshastigheten stämde med den direkt uppmätta upplagringen, och skillnaden var mindre än 11 % (Berg och Dise 2004).

För uppskalning till hela Sverige använde vi ett rutnät som indelade Sverige i ca 17 000 kvadrater om 5 x 5 km. För varje sådan kvadrat kände vi andelen tall, gran och lövträd. Vi beräknade en klimatfaktor, den årliga avdunstningen (AET, bild 1). Detta är ett klimatindex som vi använde för att beräkna mängden fallförna för varje trädslag i varje kvadrat. Vi använde två helt olika beräkningsmetoder, ”gränsvärdesmetoden” och ”N-balansmetoden”.

Vi ser den årliga avdunstningen över landet (bild 1). Vi kan också se att fastläggningen av kol i stort visar ett likartat mönster. Genomsnittssiffran för Sverige är 180 kg kol per hektar och år. I genomsnitt hade tall och björk en fastläggning om ca 150 kg kol per hektar och år, och gran ca 200 kg. Trädslag som bok och ek fastlägger ca 400 kg per hektar och år.

...att upplagringens hastighet är större i söder...

Kolfastläggningen varierar över landet från ca 40 kg längst upp i norr till ca 410 kg i Halland och Skåne och är klimatberoende. Exempelvis varierar den för tall från 60 kg i norr till ca 260 kg i söder, medan de höga värdena från ek och bok är begränsade till sydligaste Sverige.

...är olika för olika trädslag...

Olika trädslag bildar förna med olika halter av kväve, mangan och kalcium, och följaktligen bryts förnan ned olika

Tabell 1. Observerad upplagringshastighet av humus med känd ålder i boreal barrskog. De nordsvenska bestånden är blandskog av tall, gran och björk medan beståndet i Jädraås är tall. Data from Wardle m.fl. återgivna i Berg m.fl. (2001).

	Tre nordsvenska system			Jädraås
Ålder (år)	2 984	2 081	1 106	120
Humusmängd (kg ha ⁻¹)	490 800	346 200	43 300	15 400
Ökningshastighet (kg ha ⁻¹ år ⁻¹)	164	66	130	128

Tabell 2. Mätta och beräknade värden för C-upplagring i mogna skogsbestånd i mellersta Lappland, Gästrikland och mellersta Tyskland. Som förklaringsgrad använder vi procenttalet för beräknad mängd/uppmätt mängd.

Latitud	Årlig upplagring av stabilt kol (kg C ha ⁻¹)		Förklaringsgrad (%)	Trädslag
	Uppmätt ökning	Beräknad ökning		
66°10'N gran, björk (Mell. Lappland)	82,2	79,1	96	Blandskog tall,
	83,1	74,3	89	
	64,8	65,6	101	
60°49'N (Gästrikland)	74,5	75,9	102	Tall
51°31'N (Mell Tyskland)	1 106	649	59	Gran
	422	560	133	Bok

långt och lämnar olika stora, svårnedbrytbara rester som bildar humus. En kväverik förna lämnar mer humus än en kvävefattig. Det borde alltså bildas olika mängder av humus under olika trädslag, inte bara som en följd av olika stora förnafall utan även som en följd av att nedbrytningen går olika långt och ger olika humusmängder, när förnan från olika trädslag har olika kemisk sammansättning. En bekräftelse på detta har man funnit i en jämförelse av humusen i tall- och granskog i likåldriga parvisa bestånd. Granbarrförnan var kväverikare än tallbarrförnan, och trots ett högre förnafall i tallskogen bildas mera humus i marken i granskogen med i medeltal 200 kg kol, mot 150 kg för tallskog.

...och pågår hur länge?

I många resonemang hävdas att storleken på humuslagret avspeglar ett slags ”balans” mellan förnainflödet och ned-

brytningen av humus. Strikt resonerat kan ett begrepp som jämviktstillstånd (engelskt ord steady state) givetvis inte uteslutas, speciellt inte om ett stort antal påverkansfaktorer har ett inflytande på nedbrytningsprocessen. Å andra sidan har man funnit organiskt material i marken av en ålder upp till 10 000 år, en mätning som givetvis inte anger en övre åldersgräns. Även en ålder av ca. 100 000 år för organiskt material har nämnts, givetvis när humusen inte störs.

I norra Sverige påvisade Wardle och medarbetare förekomsten av ca 150 cm tjocka humuslager som lagrats under växande barrskog under en tid av ca 3 000 år. Tillväxthastigheten under denna tid var ungefär lika stor som den för ett betydligt yngre tallbestånd i Gästrikland (tabell 1). Den årliga ökningen för de fyra grupperna är likartad (tabell 1). Om begreppet ”balans” skulle uppnås vid låt oss säga 3 000 år eller inom en

viss tidrymd därefter, borde den årliga ökningen avta med beståndets ålder, vilket alltså inte är fallet. Givetvis kan man tänka sig en situation i vilken så mycket näring blir upplåst i humusen att skogens tillväxt avtar eller blir så låg att förnatillskotten blir försumbara. En sådan "balans" kan givetvis inträffa, men det beror då inte på att humusen skulle vara nedbrytbar utan på att tillskotten uteblir. Med hänsyn till tidsperspektiv av upp till kanske 10 000 år blir begreppet jämviktstillstånd av mindre intresse. Tiden till dess att ett sådant skulle inträffa rymmer en årlig humusupbyggnad enbart i Sverige av storleken 4,5 megaton per år. Detta betyder att inom rimliga tidsperspektiv är skogsmarken en omfattande koldioxidsänka.

Hur vet vi att vi räknat rätt?

Vi har använt gränsvärden för att beräkna kolfastläggning i bestånd där upplagringshastigheten även har mätts direkt. De beräknade värdena skiljer sig från de uppmätta med maximalt 11 %. I två tyska bestånd med en mycket stor N-deposition är den maximala avvikelsen ca 30 %.

I en uppskalning för hela Sverige har vi jämfört två ansatser som båda grundas på en stabil rest, nämligen "gränsvärdesmetoden" och "N-balansmetoden". Metoderna att beräkna den stabila resten och upplagringshastigheten för kol är helt olika. Inte desto mindre ger de två metoderna en kolfastläggning med likartat mönster över Sverige och med likartade mängder, nämligen 180 respektive 80 kg kol per hektar och år. Gränsvärdesmetoden ger en inlagringshastighet som varierar från ca 40 kg C per hektar och år i norra Sverige till ca 410 kg C per hektar och år i söder, medan N-balansmetoden ger en viss minskning i norr och en upplagring av upp till ca 350 kg C per hektar och år i söder. De värden vi

beräknat med de två olika metoderna skiljer sig starkt från dem som erhållits i andra beräkningar där de kan vara upp emot 1 000 kg per hektar och år.

Är långsiktig upplagring viktig?

I Kyotoprotokollet regleras inte bara framtida utsläpp av koldioxid utan också de villkor som måste ställas på fastläggning av kol i bl. a. mark. Dagens kunskapsläge räcker till för att visa på de möjligheter och potentialer som vår skogsmark har att lagra stabilt kol. Forskningsproblem som upplagringshastighet och kolets stabilitet och eventuella omsättning under olika miljöbetingelser kräver fortsatt arbete och många problem återstår att lösa. Detta är ett forskningsarbete som kräver inte enbart kompetens och forskningsmedel, utan även en samordning som är mer målmedveten och kompetent än vad våra forskningsråd är vana vid.

Fastläggning av växthusgasen koldioxid är en fråga som inte kan betraktas som ett vanligt forskningsproblem. Vi rör oss här med inte mindre än en av mänsklighetens ödesfrågor.

Litteratur

- Akselsson, C., Berg, B., Meentemeyer, V., och Westling, O. 2005. Carbon sequestration rates in organic layers of boreal and temperate forest soils - Sweden as a case study. *Global Ecology and Biogeography* 14; 77-85.
- Berg, B. och Dise, N. 2004. Calculating the long-term stable nitrogen sink in Northern European forests? *Acta Oecologica* 25;15-21.
- Berg, B., McClaugherty, C., Virzo De Santo, A., och Johnson, D. 2001. Humus buildup in boreal forests - effects of litter fall and its N concentration. *Canadian Journal of Forest Research* 31;988-998.
- Berg, B., och McClaugherty, C. 2003. Plant litter. Decomposition. Humus Formation. Carbon Sequestration. Springer Verlag, Heidelberg, Berlin. 296 pp ISBN 3-540-44329-0.
- Wardle, D.A., Zachrisson, O., Hörnberg, G., och Gallet, C. 1997. The Influence of Island Area on Ecosystem Properties. *Science* 277: 1296-1299.

Ämnesord

Kolfastläggning, kolbalans, humus, förna.

Författarna

Björn Berg är docent i mikrobiologi och skoglig marklära. Han har de senaste 15 åren arbetat med mekanismer och förklaringar till upplagring av kol och kväve i form av humus i skogsmark. Han arbetade åren 1991-1999 vid SLU i



Uppsala. Efter fem års verksamhet vid forskningsinstitutet BITÖK i norra Bayern arbetar han nu vid forskningsinstitutet Skov og Landskab, KVL, Köpenhamn.

E-post: BBE@kvl.dk

Per Gundersen är seniorforsker i ämnet skogsekologi vid forskningsinstitutet Skov og Landskab, KVL, Köpenhamn. Hans arbete har de senaste åren omfattat kvävekretsloppet i skog och samspelet mellan kväve och kol i skogsmark.



Vernon Meentemeyer är professor i geografi vid University of Georgia, USA. Han leder där Climatology Laboratory och har skapat sig en internationellt erkänd forskningsprofil genom sina arbeten över regionala till globala samband mellan klimat och olika biologiska processer.



Ansvarig utgivare:
Redaktör:

Jan-Erik Hällgren, SLU, Fakulteten för skogsvetenskap, 901 83 UMEÅ
Sven-Olov Bylund, SLU, Fakulteten för skogsvetenskap, 901 83 UMEÅ
Telefon: 090-786 82 29 • Telefax: 090-786 82 01
E-post: Sven-Olov.Bylund@adm.slu.se

Webbadress:

www.slu.se/forskning/fakta
SLU Publikationstjänst, Box 7075, 750 07 UPPSALA
Telefon: 018-67 11 00 • Telefax: 018-67 35 00
E-post: Publikationstjanst@slu.se

Prenumeration och lösnummer:

Prenumerationspris:
Tryck:

320 kronor + moms
Elanders Toffers AB, Uppsala 2005
ISSN 1400-7789 © SLU

