



Sveriges lantbruksuniversitet

Mark- och miljödagen 2009

Marken och klimatet *Soil and climate*



Red./eds. Gunnar Wiklander & Helena Aronsson

Institutionen för mark och miljö
Department of Soil and Environment

Rapport 1
Report

Swedish University of Agricultural Sciences

Uppsala 2009
ISBN 978-91-86197-57-5



Sveriges lantbruksuniversitet

Mark- och miljödagen 2009

Marken och klimatet *Soil and climate*



Red./eds. Gunnar Wiklander & Helena Aronsson

Institutionen för mark och miljö
Department of Soil and Environment

Rapport 1
Report

Swedish University of Agricultural Sciences

Uppsala 2009
ISBN 978-91-86197-57-5

Innehållsförteckning

| | |
|--|----|
| Förrord..... | 5 |
| Permafrosten tinar i nordsvenska myrar <i>Margareta Johansson, Jonas Åkerman, Torben Christensen och Terry Callaghan.....</i> | 7 |
| Flöden av växthusgaser till och från åkermark – Prognos till år 2030 <i>Olle Andrén och Thomas Kätterer.....</i> | 15 |
| Flöden av växthusgaser till och från skogsmark – Prognos till år 2030 <i>Mattias Lundblad, Erik Karlton och Carina Ortiz.....</i> | 23 |
| Odlade torvjordar läcker växthusgaser <i>Kerstin Berglund och Örjan Berglund.....</i> | 35 |
| Dikade skogsmarker läcker växthusgaser <i>Maria Ernfors.....</i> | 43 |
| Klimatförändringen och avvattningen i landskapet <i>Lennart de Maré.....</i> | 55 |
| Ökade humushalter i ytvatten – en effekt av klimat eller återhämtning från försurning? <i>Stefan Löfgren.....</i> | 63 |
| Klimatet påverkar marken och marken påverkar klimatet – Elever, lärare och forskare i samverkan <i>Monika Strömgren, Lennart Wallstedt och Rune Davidsson.....</i> | 75 |
| Målkonflikter i miljöarbetet <i>Rune Andersson.....</i> | 85 |

Förord

Syftet med Mark- och miljödagen är att på ett populärvetenskapligt sätt ge exempel på det aktuella kunskapsläget inom svensk mark- och miljöforskning.

Vid årets mark- och miljödag är fokus riktat mot marken och klimatet. Ämnet presenteras i nio föredrag. Tre presentationer behandlar förväntad framtida avgång av växthusgaser från torvmark, åkermark respektive skogsmark. Två föredrag uppmärksammar i sammanhanget två problemjordar, nämligen åkermark på bördig torvjord och dikad skogsmark. Förändringar och konsekvenser i landskapets avvattning till följd av klimatförändring liksom inverkan på humusutlakning till våra ytvatten behandlas i två föredrag. Konferensen tar även upp möjligheten att engagera gymnasieelever och öka deras kunskap om marken och klimatet. Slutligen belyses konflikter mellan klimatmål och andra miljömål.

Mark- och miljödagen riktar sig till lärare, markägare, personer anställda vid myndighet eller verksamma inom näringslivet, student eller allmänt naturintresserade personer.

Konferensen Mark- och miljödagen, som arrangeras av institutionen för mark och miljö vid SLU i Uppsala, är från och med i år ett nytt namn för den sedan 1994 etablerade Markdagen.

Denna rapport är en dokumentation av konferensens nio presentationer och har färdigställts till konferensdagen den 18 november 2009. Inledningsanförande hålls av professor Mats Olsson, initiativtagare till Markdagen och moderator är Monika Stridsman, generaldirektör för Skogsstyrelsen. Konferensen hålls på Loftets hörsal, Ultuna SLU, Uppsala.

Vår förhoppning är att årets mark- och miljödag skall bli intressant och lärorik för var och en.

Uppsala i november 2009

Gunnar Wiklander och Helena Aronsson
Redaktörer

Permafrosten tinar i nordsvenska myrar

Margareta Johansson¹, Jonas H. Åkerman¹, Torben R. Christensen¹ och Terry V. Callaghan²

¹ Institutionen för naturgeografi och ekosystemanalys, Lunds universitet

² Abisko naturvetenskapliga station

Sammanfattning

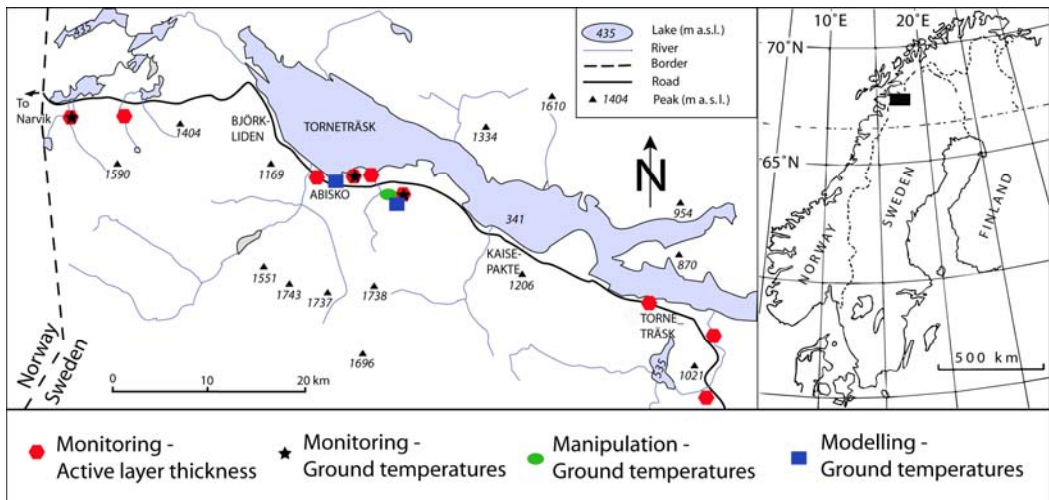
Lufttemperaturen och årsnederbörden har ökat i norra Sverige under det senaste århundradet. Detta har påverkat permafrosten i myrarna som har börjat tina. Under de senaste 30 åren har ett tjockare aktivt lager och ökande permafrosttemperaturer uppmätts i Torneträskområdet i nordligaste Sverige. I några myrar där permafrosten var väldigt tunn från början, har permafrosten försvunnit helt de senaste tio åren. När permafrosten tinar förändras hydrologin, vegetationen och utbytet av växthusgaser. Myrarna har blivit blötare när permafrosten har tinat, risbuskar har ersatts av gräs som till exempel tuvull och växthusgasutsläppen har ökat från myrarna, främst eftersom andelen metanutsläpp har ökat. Experiment som simulerar framtida klimatförändringar i Torneträskområdet visar att permafrosten är väldigt känslig för ökad nederbörd som förutspås för området under detta århundrade. Det är därför väldigt troligt att trenderna i tinande permafrost som vi ser nu kommer fortsätta och att det inte kommer finnas någon permafrost kvar i låglänta områden i Torneträsk vid mitten av detta århundrade.

Introduktion

Under de senaste decennierna har klimatförändringar blivit ett känt begrepp och områden i Arktis har påverkats mer än andra områden på jorden (ACIA, 2005). Klimatförändringarna påverkar olika element av kryosfären och permafrost (mark som är frusen året om minst två år i följd) är ett av dessa. Permafrost är en viktig del av kryosfären eftersom den påverkar hydrologiska processer, infrastruktur, energi- och kolutbytet mellan atmosfären och marken och därför också det globala klimatsystemet. I Sverige återfinns permafrost i fjällkedjan samt i låglänta områden i myrar längst upp i norr (Brown et al., 1998). Utbredningen av permafrost i norra Sverige styrs av många faktorer, men lufttemperatur, snödjup, vegetation och jordmån är de dominerande faktorerna (Johansson et al., 2006).

Övervakning av permafrost i låglänta områden i Torneträskområdet har pågått sedan 1978. Då startade Doc. Jonas Åkerman övervakningen i nio myrar längs en öst-västlig transekt från Katterjokk i väst (nära den norska gränsen) till Bergfors i öst (Figur 1). Transekten präglas av väldigt stora skillnader i nederbörd. I Katterjokk är nederbörden ca 850 mm/år medan i Abisko (i mitten av transekten) är den årliga nederbörden endast 300 mm/år på grund av regnskugga (Alexandersson et al., 1991). 1978 började det aktiva lagret (det lager ovanpå permafrosten som tinar och fryser årligen) mätas årligen (Åkerman & Johansson, 2008). Övervakningen av permafrost breddades 1980 när även permafrosttemperaturer började mätas i tre av myrarna (Johansson et al., 2008). 2005 sattes även ett experiment upp för att simulera framtida klimat och för att undersöka dess påverkan på permafrosten.

Lufttemperaturen och snödjupet har ökat i Abisko området under det senaste århundradet (Callaghan et al., submitted; Kohler et al., 2006). Lufttemperaturen och nederbörden förutspås att fortsätta öka under 2000-talet (Saelthun & Barkved, 2003) och detta förväntas att ha fortsatt stor påverkan på områden med permafrost i norra Sverige.



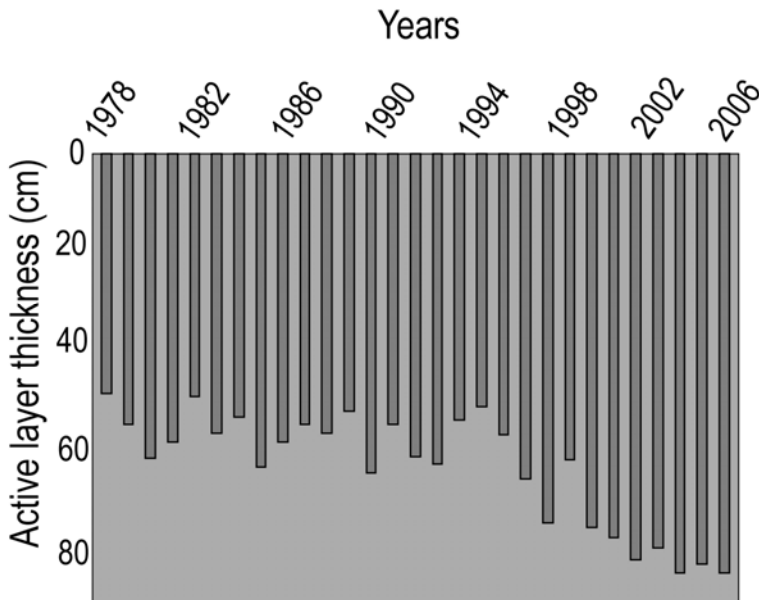
Figur 1. Övervakning av permafrosten i Torneträsk-området i nordligaste Sverige har pågått sedan 1978.

Figure 1. Monitoring of permafrost in the Torneträsk region, northernmost Sweden, has been ongoing since 1978.

Tjockare aktivt lager

Det aktiva lagret har övervakats de senaste 32 åren. Samma trend kan ses i alla nio myrar som övervakats, det aktiva lagret har blivit tjockare, mellan 0.69 till

1.26 cm per år (Figur 2). Detta kan förklaras med en ökande lufttemperatur samt i vissa fall ökande snödjup under vintern (Åkerman & Johansson, 2008).

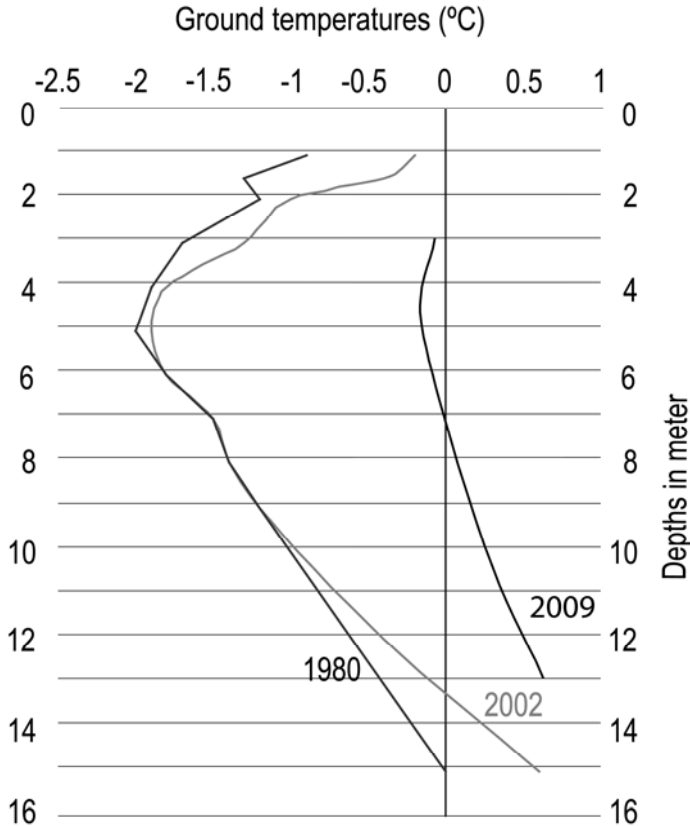


Figur 2. Det aktiva lagret har ökat i alla nio myrar under de senaste tre årtiondena, här ett exempel från Storflaket, 6 km från Abisko (modifierad från Åkerman & Johansson, 2008).

Figure 2. The active layer thickness has increased in all nine mires during the last three decades, here an example from Storflaket, 6 km East of Abisko (modified from Åkerman & Johansson, 2008).

Marktemperaturerna ökar

Övervakningen av marktemperaturerna i tre myrar visar att de har ökat mellan 0.04 till 0.05°C per år i de övre delarna (1 m) av borrhålen, men även i de lägre delarna (12-15 m) har temperaturerna ökat mellan 0.03 till 0.04 °C per år de senaste tre decennierna. Förändringarna i övre delen av permafrosten kan korreleras med en ökning av lufttemperaturen, men varför temperaturerna ökar även underifrån vet vi inte riktigt. En tänkbar förklaring är att det har blivit ett ökat flöde av markvatten och att markvattnet har blivit varmare (Johansson et al., 2008). Sedan 2008 mäts marktemperaturen kontinuerligt i två av myrarna (Christiansen et al., in prep) och mätningarna från en av myrarna "Kursflaket" visar att permafrosten har blivit betydligt tunnare även sedan 2002 när de sista mätningarna i de gamla borrhålen gjordes (Figur 3).

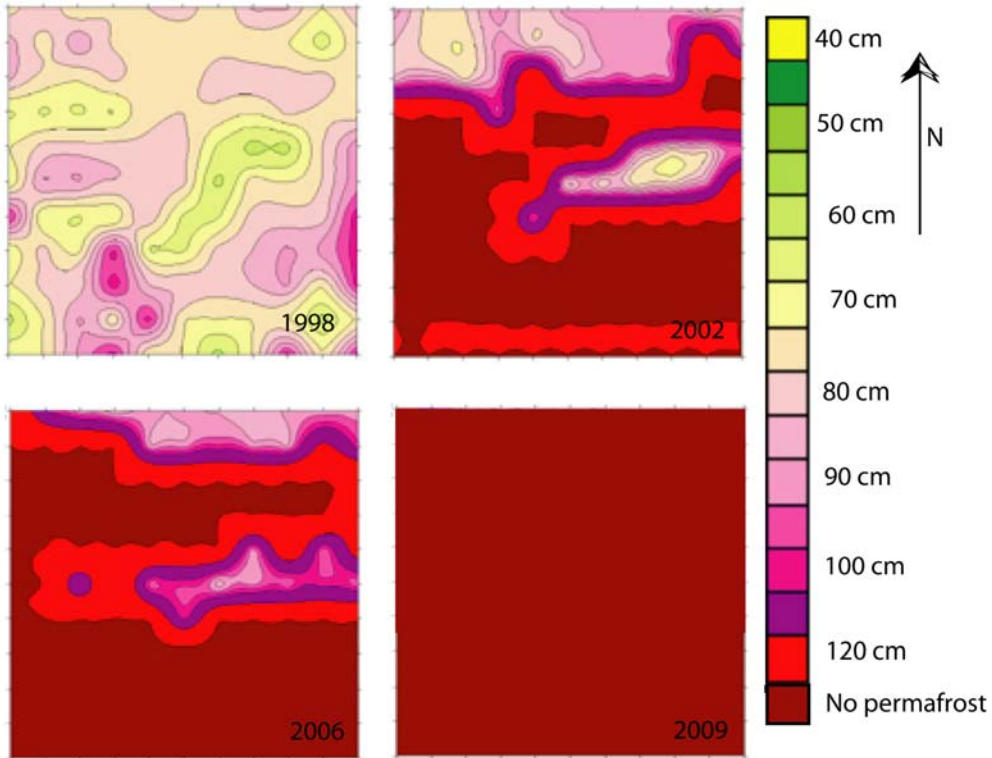


Figur 3. Permafrosten har tinat både från ovan och underifrån och blivit flera meter tunnare de senaste decennierna, notera att mätningarna från 1980 och 2002 är från en vecka i September medan 2009 kurvan baseras på ett års mätningar (Johansson et al., 2008, Christiansen et al., in prep).

Figure 3. The permafrost has thawed from above and below and has become several meters thinner during the last decades, note that the measurements from 1980 and 2002 are from one week in September whereas the 2009 curve is based on a one year record (Johansson et al., 2008; Christiansen et al., in prep.).

Permafrost tinar

Permafrosten har även tinat helt i de två västligaste myrarna samt den längst österut i transekten. I Katterjokk (de västligaste) har permafrosten som från början bara var några meter tjock varit väldigt känslig för uppmätta ökningarna i lufttemperatur och nederbörd. 1998 fanns permafrost under hela myren, 2006 hade permafrosten försvunnit från 81% av myren och i år, 2009, fanns ingen permafrost kvar i hela myren (Figur 4).



Figur 4. Permafrosten har försvunnit helt från myren på bara 10 åren. Observera att permafrost tjockleken endast var ett par meter från början (uppdaterad från Åkerman & Johansson, 2008).

Figure 4. Permafrost has disappeared completely from the mire in only 10 years. Please note that the permafrost thickness from the outset only was a few meters (updated from Åkerman & Johansson, 2008).

Konsekvenser av tinande permafrost

Tinande permafrost har lett till våtare myrar i Abiskoområdet (Christensen *et al.*, 2004; Johansson *et al.*, 2006). Vegetationen har också förändrats från att tidigare domineras av risbuskar (dvärgbjörk, kråkbär etc.) till att nu domineras av tuvull i de våtare partierna (Malmer *et al.*, 2005). Förändringen av hydrologi och vegetation har lett till ett förändrat växthusgasutsläpp från myrarna. När permafrosten tinar frigörs tidigare fruset organiskt material som då kan brytas ned. Under nedbrytning vid syrerika förhållanden bildas koldioxid (CO₂) som släpps ut i luften, under nedbrytning vid syrefattiga förhållanden bildas metan (CH₄) som är en mycket starkare växthusgas än koldioxid (ungefär 25 ggr så stark, IPCC, 2007). Eftersom myrarna i Torneträskområdet generellt har blivit blötare har utsläppen av metan ökat. På Stordalen (som ligger i mitten av tran-

sekten av myrar som undersökts) var ökningen mellan 22 och 66% från 1970 till 2000 (Christensen et al., 2004).



Figur 5. Gräs ersätter risbuskar när permafrosten tinar och marken blir blötare.
Figure 5. Graminoids replace dwarf shrubs when permafrost thaws and the ground become wetter.

Framtidsscenario

Torneträskområdet förutspås att få mer nederbörd och varmare lufttemperaturer i slutet av detta århundrade (Saelthun & Barkved, 2003). Enligt de flesta modeller förutspås snödjupet att fortsätta öka i Torneträskområdet under 2000-talet. Snö isolerar marken och ett ökande snötäcke kan leda till att permafrosten blir varmare och slutligen tinar. Inom projektet har ett experiment satts upp för att simulera ökat snödjup och dess effekt på permafrost och vegetation. Efter fyra års manipulation av snödjupet syntes en klar förändring av det aktiva lagrets tjocklek samt av vegetationen, vilket visar hur känsligt systemet är för klimatförändringar.

Permafrosten i Torneträskområdet tinar inte bara från ovan utan även underifrån, förmodligen på grund av ett ökat flöde av markvatten. Detta gör permafrosten i låglänta områden i Torneträskområdet extra känslig för klimatförändringarna som förutspås för området under 2000-talet och det är troligt att vi inte

kommer ha någon permafrost kvar i låglänta områden i mitten av detta århundrade.

Referenser

- ACIA. 2005. *Arctic Climate Impact Assessment*. Cambridge University Press. 1042 pp.
- Alexandersson H, Karlström C, Larsson-McCann S. 1991. Temperature and precipitation in Sweden 1961-90 Reference Normals. SMHI Meteorologi Klimasektion, No 81.
- Brown J, Ferrians Jr.OJ, Heginbottom JA, Melnikov ES. 1998. Circum-Arctic Map of Permafrost and Ground-Ice Conditions. In: International Permafrost Association Standing Committee on Data Information and Communication (comp.). 2003. Circumpolar Active-Layer Permafrost System, Version 2.0.
- Parsons, M. and Zhang, T. (eds.). Boulder, Colorado, National Snow and Ice Data Center/World Data Center for Glaciology. CD-ROM.
- Callaghan TV, Bergholm F, Christensen TR, Jonasson C, Kokfelt U, Johansson M, *submitted*. A new climate era in the sub-Arctic?: rapid and accelerating climate changes and their multiple consequences. Submitted to *Geophysical Research Letters*.
- Christensen TR, Johansson T, Akerman HJ, Mastepanov M, Malmer N, Friborg T, Crill P, Svensson BH. 2004. Thawing sub-arctic permafrost: Effects on vegetation and methane emissions. *Geophysical Research Letters* **31**: L040501.
- Christiansen, H.H. et al., In prep. The Thermal State of Permafrost in the Atlantic Arctic area during IPY 2007-2009. To be submitted to *Permafrost and Periglacial processes*.
- IPCC, 2007: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 996 pp.

- Johansson M, Akerman HJ, Jonasson C, Christensen TR, Callaghan, TV. 2008. Increasing Permafrost Temperatures in Subarctic Sweden. In: Kane, D.L. & Hinkel, K.M (eds). Ninth International Conference on Permafrost. Institute of Northern Engineering, University of Alaska Fairbanks (Vol. I). pp.851-856.
- Johansson, M., Christensen, T. R., Akerman, H. J. and Callaghan, T. V. 2006. What determines the current presence or absence of permafrost in the Torneträsk region, a subarctic landscape in Northern Sweden? *Ambio*, 35 (4): 190-197.
- Johansson T, Malmer N, Crill PM, Friberg T, Akerman JH, Mastepanov M, Christensen TR. 2006. Decadal vegetation changes in a northern peatland, greenhouse gas fluxes and net radiative forcing. *Global Change Biology* **12**:2352-2369.
- Kohler J, Brandt O, Johansson M, Callaghan TV. 2006. A long term arctic snow depth record from Abisko, northern Sweden, 1913-2004. *Polar Research* **25**: 91-113.
- Malmer N, Johansson T, Olsrud M, Christensen TR, 2005. Vegetation, climatic changes and net carbon sequestration in a North-Scandinavian subarctic mire over 30 years. *Global Change Biology* **11**: 1895-1909.
- Sælthun NR, Barkved L. 2003. Climate change scenarios for the SCANNET region. NIVA Report SNO 4663-2003. 74 pp.
- Åkerman HJ, Johansson M, 2008. Thawing permafrost and thicker active layers in Sub-arctic Sweden. *Permafrost and Periglacial Processes* 19(3): 279-292.

Flöden av växthusgaser till och från åkermark – Prognos till år 2030

Olof Andrén och Thomas Kätterer

Institutionen för mark och miljö, SLU, Uppsala

Sammanfattning

Med växthusgaser menar man vanligen koldioxid, metan och lustgas. Flödena av metan och lustgas från marken är låga, men deras 'värmande' effekt per molekyl är större än för koldioxid, ca 25 respektive 300 gånger större. Eftersom koldioxid tas upp genom grödans fotosyntes och kolhydrater m.m. tillförs marken via rötter och skörderester kan man genom att mäta kolförrådets förändringar i marken studera hur flödena varit under en tidsperiod, ofta 10-20 år. Denna möjlighet har man inte för de andra gaserna, eftersom de avges i små mängder och under vissa specifika förhållanden. Alltså vilar prognoser för dessa gaser på betydligt lösare sand än vad kol/koldioxidbalanser gör, och vi koncentrerar oss här på kolet. För beräkning av kol/koldioxidbalanser krävs naturligtvis också beräkningar av det årliga inflödet av skörderester (vilket vi beräknar från skördestatistik) samt beräkning av hur snabbt växtmaterialet bryts ner och går upp i atmosfären som koldioxid från mikroorganismernas andning i marken (vilket vi beräknar från väderdata och grödans kvalitet).

Kolbalanserna i marken beräknas sedan med hjälp av en modell, ICBM, som vi anpassar till väder- mark- och skördedata från 1990 fram till nutid för olika produktionsområden m.m. Utgående från denna kunskap kan vi göra prognoser in i framtiden. Prognosen fram till 2030 är: Nu är våra mineraljordar (icke f.d. torvmarker) i stort sett i balans – dvs de varken ökar eller minskar kolförråden. Förråden av kol i jordbruksmarken är stora i ett internationellt perspektiv, ca 100 ton per hektar i matjorden. Detta innebär att vi har ett stort kapital att förvalta – med andra ord krävs ett effektivt jordbruk med effektiv fotosyntes där vi anpassar oss till ett eventuellt förändrat klimat. Ett varmare och fuktigare klimat skulle leda till en snabbare nedbrytning och koldioxidavgång. Dock kan man troligen kompensera för den ökade nedbrytningen genom att växtproduktionen också gynnas av klimatförändringen – om man får använda sig av moderna jordbruksmetoder. Om man däremot skulle införa s.k. 'ekologisk' odling så skulle detta medföra allvarliga konsekvenser – redan vid dagens klimat skulle en omläggning av stråsädesodlingen till 'eko' medföra en årlig kolförlust från jordbruksmarken motsvarande koldioxidutsläppen från 675 000 personbi-

lar, eftersom förbudet mot handelsgödsel skulle innebära halverad fotosyntes och halverad skörd (Andrén och Kirchmann 2008).

Vad gäller metan har man uppskattat att avgången från kons matsmältning och stallgödseln globalt har ungefär samma växthuseffekt som koldioxidavgången från organogena jordar. Den beräknade lustgasavgången från jordbruksmarken är något högre, men värdena är mycket osäkra, särskilt vad gäller Asien.

Definitioner

I miljösammanhang används ofta synnerligen diffusa begrepp som om de vore väldefinierade. För att undvika förvirring definierar vi här de begrepp vi använder och ger en liten bakgrund.

Fotosyntes och koltillförsel

Denna centrala syntes i alla växter är basen för all grön biomassaproduktion, inklusive jordbruk. Växten tar upp koldioxid, CO_2 och vatten och bildar syre och kolhydrater (cellulosa, socker, stärkelse). Här sker alltså själva reduktionen av CO_2 -halten i atmosfären. En frisk gröda av rätt sort med god tillgång på växtnäring och vatten ger det högsta CO_2 -upptaget per hektar. Den del av växten som inte tas bort från fältet bryts så småningom ned av markens organismer och blir åter CO_2 . Inflödet av kol till marken sker via skörderester och rötter. Ju högre biomassaproduktion, desto större koltillförsel till marken.

Kolfastläggning

Växthusgasen koldioxid, CO_2 , består till 27% av kol. Alltså motsvarar 1 kg kol 3,7 kg CO_2 . Kolfastläggning går ut på att man försöker öka mängden kol i marken för att därigenom reducera CO_2 -halten i atmosfären. Både förna och humus i marken innehåller ungefär hälften kol, men förnan som består av nyligen dött växtmaterial bryts snabbare ner till CO_2 av markens organismer än äldre humus. Tyvärr omvandlas bara ungefär 10% av förnan till humus – resten avgår som CO_2 under de första åren. Vid kolfastläggning vill man helst öka det mer resistent materialet, såsom humus eller till och med svart kol.

Produktivitet

Odlingens produktivitet är mängd producerad växtbiomassa per yta och tidsenhet, exempelvis kilo per hektar och år. Eftersom jordbruk bedrivs för att få ut en viss mängd produkt (exempelvis 10 ton höstvetete per hektar), så innebär en lägre produktivitet att mer areal måste tas i anspråk. Högre produktivitet i odlingen innebär att mer areal kan avsättas till naturreservat, naturmark, biobränsleproduktion etc.

Modernt jordbruk

Kallas ofta något nedsättande för ”konventionellt” jordbruk. Karakteriseras av en praktisk syn på tillvaron: - Hur försörjer vi jordens befolkning, lantbrukaren och hennes familj och bevarar och förbättrar miljön? Karakteriseras även av en odogmatisk syn; nya åtgärder prövas och utfallet avgör om de rekommenderas. Man kan ändra sig, och i ljuset av nya rön eller en ny situation (exempelvis höjda livsmedelspriser eller nytt miljölarm) kan tidigare icke rekommenderade åtgärder lyftas fram eller hittills rekommenderade åtgärder (som kvicksilverbetning) till och med förbjudas.

Ekologisk odling

Ordet ekologi betyder ungefär ”läran om samspelet mellan organismer och mellan organismer och deras miljö”. På senare år har det också fått betydelsen ”allmänt sunt och säkert bra för miljön”, och det är nog i den betydelsen det används inom ekologisk odling, som också kallas för alternativodling (åtminstone förr) eller organisk odling (mest internationellt). Ekologisk odling definieras av att man ”inte använder syntetiska bekämpningsmedel eller lättlöslig handelsgödsel”. Utgör alltså en delmängd av ”Modernt jordbruk” ovan men med ett par förbud. Förbudens motivering har varierat med åren, men produktkvalitet, ’överproduktion’ och olika miljöskäl, nu senast ”hållbarhet” och ”näroproducerat” har angivits. Ekologisk odling uppfattas som en garant för miljövänlighet, inklusive hög kolfastläggning och liten klimatpåverkan, men förbudet kommer från antroposofin och biodynamiken, ej miljöhänsyn. Antroposofins upphovsman, österrikaren Rudolf Steiner, föreläste 1924 om hur konstgödsel medför att ”jordbruksprodukter degenereras och kan på sikt inte användas som människoföda”. Genom att i stället använda preparat framställda av växter och djurorgan (exempelvis rölleklavblommor i urinblåsor från kronhjort) skulle i stället ”kosmiska krafter” infångas, som utgör en viktig del av den ockulta antroposofiska läran. Se exempelvis Rudolf Steinerhögskolan:

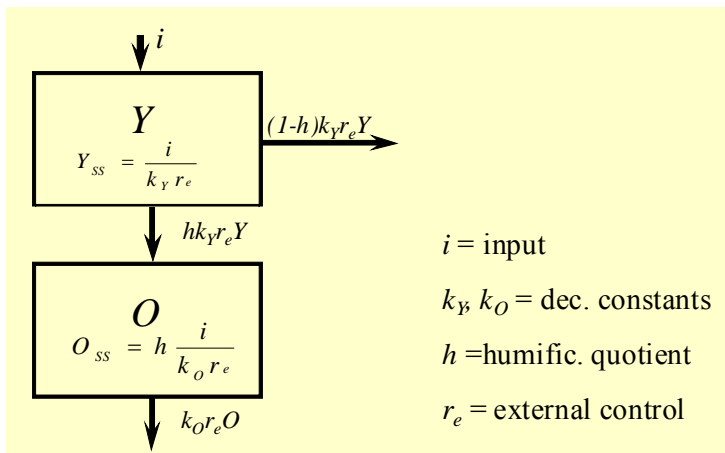
<http://www.steinerhogskolan.se>. I ekologisk odling använder man inte preparaten, men man har tagit över förbuden. Vi hänvisar till Kirchmann och Bergström (2008) för en djupgående analys.

Hållbar (eller uthållig)

Brukade betyda ungefär ”något som tål omild behandling och håller länge”. I miljöpolitiska sammanhang betyder hållbar numera någonting snävare och begreppet används ibland i motsats till dess ursprungliga betydelse. Förmodligen är ”lågteknologisk” en dold komponent, eftersom en ogödslad gröda som sakta men säkert utarmar jorden och ger ringa matproduktion ibland anses hållbar, medan det välskötta och gödslade fältet inte anses vara hållbart. Ett förvirrande begrepp, som ofta är frikopplat från fakta, men trots detta är en hörnsten inom miljöpolitiken, eftersom det låter bra.

Beräkningar, resultat och slutsatser

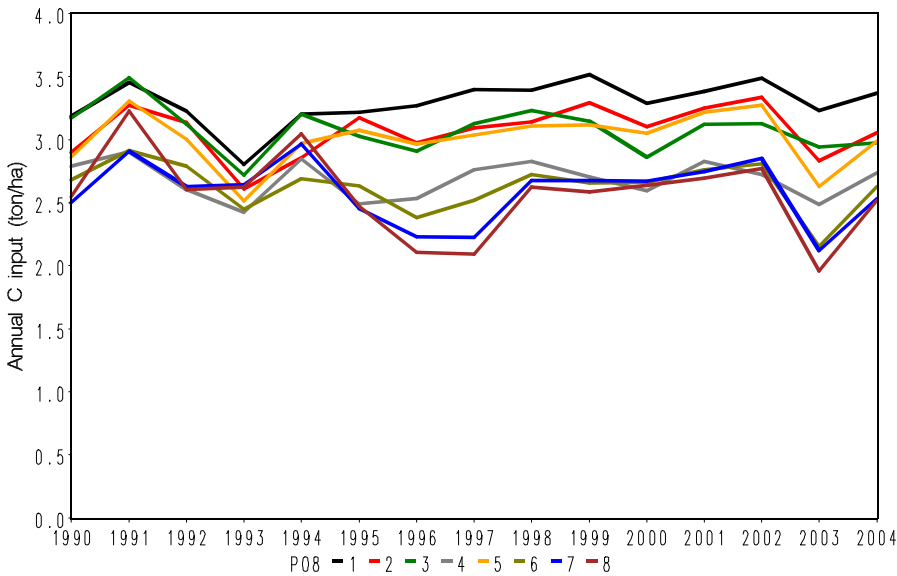
Inom detta begränsade utrymme kan vi inte fullt ut beskriva hur våra beräkningar utförs. Dock kan vi översiktligt beskriva tankarna bakom. För det första behöver man en beräkningsmodell för att kunna räkna på kolbalanserna i marken. Vi har valt att utforma en enkel modell med bara fem parametrar (figur 1, Naturvårdsverket 1999).



Figur 1. Introductory Carbon Balance Model, ICBM – den enkla kolbalansmodell vi använder oss av. Se texten för förklaring.

Figure 1. ICBM-the carbon balance model we use (see also Andrén et al. 2008)

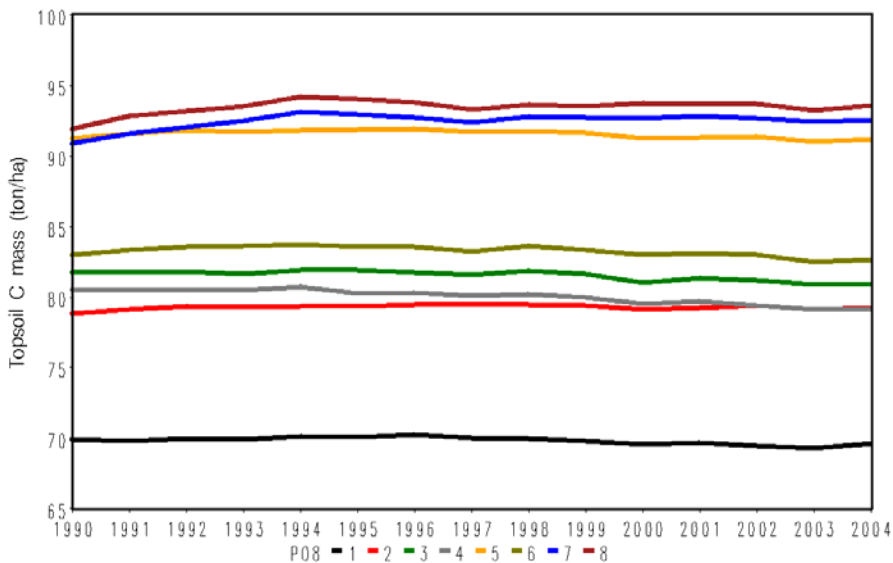
Det årliga inflödet, i , beräknas som andel av skörden, med olika parametervärden för olika grödor. Klimatparametern, r_e , beräknas utifrån dagliga väderdata, markens vattenhållande förmåga och funktioner för sambandet mellan temperatur, vattenhalt och mikrobiell nedbrytningsaktivitet. Parameter h , humifieringskoefficienten avgör hur stor andel av det färska växtmaterialet som stabiliseras som humus. För halm ligger h lite över 10%, och stallgödsel vanligen kring 35%. Det låga värdet för halm innebär att efter 5 år har uppemot 90% av halmens kol avgått som koldioxid. Parametrarna k_Y och k_O avgör hur snabbt det färska växtmaterialet, Y , respektive det äldre, O , bryts ner. Pilarna som går ut från lådorna representerar koldioxidavgång från mikroorganismernas andning. Vi har matat modellen med årliga skördevärden, väderdata etc. sedan 1990 för olika regioner och kommit fram till att de årliga variationerna är små – i relation till den stora mängd kol våra cirka 3 miljoner hektar åkermark innehåller, ca 300 miljoner ton (Andrén et al. 2008).



Figur 2. Beräknat årligt kolinflöde från grödan 1990 -2004. De olika kurvorna representerar de 8 produktionsområdena, mer eller mindre från söder till norr.
Figure 2. Annual carbon input from crops 1990-2004. 1- 8 represent agricultural production areas. (From Andrén et al.2008).

Som framgår av figur 2 är den årliga tillförseln av kol (inklusive stallgödseltillförsel) tämligen jämnt fördelad över tiden, och ingen särskild trend kan skönjas.

Om vi försöker skåda in i framtiden vad gäller kolförrådet i marken bör vi först begrunda nutiden (figur 3). Notera att Y-axeln är kapad vid 65 ton/ha, och att dynamiken därför är överdriven. Som synes förefaller trots detta kolförrådet vara tämligen konstant, men högre i norr, lägre i Mellansverige och markant lägre i Skånes kustnära områden (PO8=1). Noteras bör att variationen mellan år i väderlek är större än vad som genomsnittligt kan förväntas i klimatprognoserna, och ändå är skillnaden mellan år i kolförråd tämligen liten. Det förefaller därför rimligt att anta att vi med normal anpassning till ett möjligen förändrat klimat ska kunna bibehålla våra stora kolförråd i ett perspektiv fram till 2030.



Figur 3. Beräknat årligt kolförråd i matjorden (organogena jordar undantagna) 1990 - 2004. De olika kurvorna representerar de 8 produktionsområdena, mer eller mindre från söder till norr.

Figure 3. Annual carbon pools 1990-2004. 1- 8 represent agricultural production areas. (From Andrén et al. 2008).

De jordar som kallas organogena, och är utdikade torvmossar o dyl, har under årtusenden ansamlat växtmaterial som sakta omvandlas till torv under vattenytan. När man dränerat mossen så syret kommer åt bryts torven ner och levererar näringsämnen till grödan – men koldioxid avgår också. Preliminära beräkningar visar på att ungefär 1 miljon ton kol per år årligen förloras från svensk organogen åkermark. Möjligen är denna beräkning i överkant, och forskning pågår för att minska dessa förluster. En intressant idé är att på dessa jordar odla

högproducerande grödor som åtminstone delvis kan ta upp och kompensera för den avgivna koldioxiden.

En rimlig klimatförändring bör vi kunna bemöta och till och med kanske dra nytta av ur kolbalanssynpunkt, eftersom med modernt jordbruk bör vi kunna öka produktiviteten i en grad som motsvarar den ökade nedbrytningshastigheten om temperaturen eventuellt skulle öka. Vad vi möjligen bör oroa oss mer för inför 2030 är de mer slumpartade extremerna som kanske blir vanligare – exempelvis skulle vissa kombinationer av varmt och fuktigt väder kunna ge svåra svampangrepp på grödan etc. Slutligen vill vi påpeka att de åtgärder vi vidtar måste vara grundade i sund vetenskap – vi kan inte producera mat genom slagordsproduktion och önsketänkande.

Referenser

- Andrén, O. och Kirchmann, H. 2008. Ekologiskt jordbruk ger mera koldioxid i atmosfären. I: Klimatfrågan på bordet, pp. 299-312. Formas Fokuserar, Stockholm.
- Andrén, O., Kätterer, T., Karlsson, T. and Eriksson, J. 2008. *Soil C balances in Swedish agricultural soils 1990-2004, with preliminary projections*. Nutrient Cycling in Agroecosystems 81:129-144.
- Kirchmann H. and Bergström L (Red.). 2008. Organic Crop Production – Ambitions and Limitations, 240 pp, Springer, Dordrecht, The Netherlands, ISBN: 978-1-4020-9315-9
- Gesslein, S. 2001. *Odlingssystem, växtnäring och markbördighet – 18 års resultat från en tidigare utarmad jord*. KSLA tidskrift 140:3-77.
- Naturvårdsverket. 1999. *Kolbalanser i jordbruksmark – modellberäkningar*. Temafakta, Naturvårdsverkets förlag, 8 sid. Naturvårdsverket, Stockholm.

Flöden av växthusgaser till och från skogsmark - Prognos till 2030

Mattias Lundblad, Erik Karlton och Carina Ortiz

Institutionen för mark och miljö, SLU, Uppsala

Sammanfattning

Vi beräknar flöden av koldioxid till och från skogsmark för den rapportering som Sverige varje år gör enligt FN:s konvention om klimatförändringar (UNFCCC). Utgångspunkten är mätningar av markens kolförråd på markinventeringens permanenta provytor. Resultaten visar på små relativa förändringar i förhållande till markens kolförråd (mindre än 1 promille). Förändringarna i absoluta tal blir dock ansevära och den genomsnittliga inlagringen av kol i skogsmark på mineraljord är 7 M ton CO₂ per år och inlagringen i dött organiskt material (består av förna och död ved) är 4 M ton CO₂ per år. Emissionerna från dikade organogena jordar är större per arealenhet än inlagringen i mineraljorden och trots att arealen är liten (ca 1 M ha) så blir emissionerna i absoluta tal ganska stora och uppgår i snitt till 10 M ton CO₂ per år. Förändringarna i markkol på mineraljord har verifierats med två olika matematiska modeller. Modellerna simulerade både förråd och förändring i samstämmighet med uppmätta värden.

Vad gäller projektioner visar preliminära resultat att inlagringen blir oförändrad under förutsättning att skogsbruket inte förändras medan effekten av att öka uttaget av avverkningsrester (grot) ger en tydlig minskning i inlagringshastighet (ca 15 %)

Variationerna mellan åren är stora i skattningarna av markkolförrådet. Detta leder till stora osäkerheter i skattningar av förändringar. Förändringarna i markkol på mineraljord har verifierats med de två olika mekanistiska markmodellerna Q och Yasso07. Modellerna simulerade både förråd och förändring i samstämmighet med uppmätta värden, dvs. små förändringar och stora förråd. Verifieringen visar på att även modeller omfattas av osäkerheter.

I ett framtida scenario där klimatet förändras och den mänskliga påverkan på växthuseffekten ska minskas visar prognoser med Q-modellen preliminärt att den årliga inlagringen minskar med 2,5 % och 4,5 % när uttaget av avverkningsrester (grot) ökar från 8 till 15,5 respektive 25 TWh under de närmsta 20 åren. I norra Sverige där potentialen att öka grot-uttaget är störst kan minsk-

ningen på inlagringen uppgå till 8,7 % vilket motsvarar ca 0,6 M ton CO₂ per år.

Introduktion

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 humuskol (DOC).

Cirka 80 % av skogsmarkens kolförråd finns i mineraljorden och kring 20 % 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 mårhorisonten redan efter tio år medan det kanske tar hundra år innan kolförrådet i mineraljorden påverkas mätbart.

Det totala förrådet av kol i den svenska skogsmarken uppgår till cirka 1900 M ton. Det är nära dubbelt så mycket som det kol som är bundet i träden och motsvarar ett medelförråd för hela Sveriges skogsmark på cirka 8 kg kol per m². Variationen är naturligtvis stor mellan olika marker. Förråden av kol i marken är större i södra än i norra Sverige. En sannolik huvudorsak till denna skillnad mellan södra och norra Sverige är att det finns mer kväve i söder. Kväve ökar inte bara trädens tillväxt och därmed tillförseln av kol till marken utan minskar också nedbrytningshastigheten för organiskt material. Därigenom går nedbrytningen i norra Sverige minst lika fort som i södra Sverige trots lägre marktemperaturer. Omkring 70 % av skogsmarkens kolförråd finns i mineraljorden och cirka 30 % i humuslagret på mineraljordsytan. En typisk fördelning kan vara 6 kg kol per m² i mineraljorden ned till ett djup av 1 m och 3 kg kol per m² i det vanligen 5-10 cm tjocka humuslagret.

För att kvantifiera den totala förrådsupbyggnaden i mineraljord i Sverige kan man utnyttja den riksomfattande markinventeringen. Markinventeringen (MI) samlar in data om markens kolinnehåll på ca 6000 av riksskogstaxeringens (RTs) permanenta provytor. Den första tillståndsbeskrivningen pågick mellan 1983-1987. Den första återinventeringen av provytorna gjordes mellan 1993 och 2002 och för närvarande (från 2003) pågår den tredje återinventeringen. RT och MI utgör tillsammans Sveriges enda objektiva, nationella inventering av skogsmark och vegetation och är en viktig del av miljöövervakningen av landekosystemen.

Data från markinventeringen ligger till grund för beräkningarna av kolpoolsförändringar inom markanvändningssektorn som SLU ansvarar för och som ingår i den rapportering Sverige varje år gör under Klimatkonventionen (UNFCCC). Från och med 2010 rapporteras även kolpoolsförändringar under Kyotoprotokollet där förändringar skall bokföras för åtagandeperioden (2008-2012). Rapporteringen för skogsmark bygger på data från markinventeringens andra (1993 – 2002) respektive tredje (2003 – 2012) omdrev och målsättningen är att vid åtagandeperiodens slut kunna leverera en rapportering baserad på en fullt genomförd återinventering. Eftersom nya data kommer in varje år så har också beräkningsmetodiken förfinats de senaste åren.

För organogena jordar är det inte möjligt att bestämma kolinnehållet baserat på markinventeringens data. Vi har därför valt att använda emissionsfaktorer för dikad torvmark som tagits fram inom ramen för LUSTRA-programmet.

Beräkning av förna- och markkolsförändringar för den internationella rapporteringen

I den internationella rapporteringen till klimatkonventionen rapporterar man förändringar i tre kolpooler: levande biomassa, dött organiskt material och markkol (NIR 2009). Enligt de riktlinjer som finns för rapporteringen (IPCC 2003) ingår humuslagret i förnapoolen som tillsammans död ved utgör kolpoolen dött organiskt material (DOM). I det följande redogör vi enbart för förnapoolen och markkolspoolen även om även död ved ingår i vissa av de resultat som redovisas.

Förnapoolen delas in i årsförna, grovförna och humuslager. Årsförna definieras som dött organiskt material som kvantitativt endast är marginellt nedbrutet och har sin ursprungliga struktur kvar, i huvudsak härstammande från det innevarande årets växtsäsong. Den utgörs till allra största delen av barr eller löv och finrötter, och till mindre del av grövre material som grova rötter, kvistar etc. Grovförna utgörs av dött organiskt material mellan 10 och 100 mm i diameter. Grövre material än 100 mm betecknas som död ved, och finare än 10 mm som årsförna. Med humuslager menas här ansamlingen av huvudsakligen organiskt material under nedbrytning i ett särskilt lager på mineraljordsytan, dvs. i humusformerna mår, moder och torvartad mår (obs – ej mull eller mullliknande moder i detta sammanhang).

Organiskt markkol i skogsmark och betesmark avser organiskt kol i finjorden (kornstorlekar <2 mm) i mineraljord samt i histosoler (organiska jordar, torv-

jordar med en mäktighet >40 cm alternativt >10 cm direkt på berggrund). Rapporteringsdjupet för mineraljordar (dvs utan humuslager) är 50 cm i Sverige. Om mineraljordslagret är tunnare än 50 cm rapporteras kolmängden i hela mineraljordslagret. I histosoler rapporteras emissioner från hela markprofilen. Observera att humuslager definieras som förna. För åkermark beräknas kolbalansen för de översta 25 cm för mineraljord medan kolbalansen för organogen åkermark baseras på bortodlinghastigheten.

Förna

Kolmängden i årsförna skattas med utgångspunkt från beståndsegenskaper. Grovförna skattas med hjälp av data från RIS medan humuslagerkol mäts genom MI. Vid provtagningen av humuslager tas således årsförnan bort för att undvika dubbelräkning. Årsförnan utgör en liten andel av det totala kolförrådet och skattas med hjälp av funktioner baserade på latitud, grundyta, ålder och brösthöjdsdiameter, som är ordinarie parametrar i RIS. Flera olika funktioner för trädslagen gran respektive tall används där årsfallförnan (barrförnan) beräknas utifrån bestånds- och ståndortsegenskaper. Grov förna utgörs av dött organiskt material mellan 10 och 100 mm i diameter. Mängden grov förna antas vara ca 15 % av mängden död ved.

Skattningar av kolmängden och kolmängdsförändringar i humuslagret baseras på mätningar och provtagning som görs på permanenta provytor som ingår i RIS-MI. Humuslager definieras här som det översta skiktet i markprofilen som består av minst 75 vikts-% organiskt material och uppfyller de kriterier som gäller för humusformsklasserna mår1, mår2, moder, torvartad mår och torv inom RIS-MI och som inte uppfyller de kriterier som gäller för jordmånen histosol. Om jordmånen är en histosol räknas kolet i humuslagret till till markkolspoolen. Bestämningarna av kolpoolen i humuslagret begränsas av kolet i fraktionen som har en diameter ≤ 2 mm.

Mineraljord

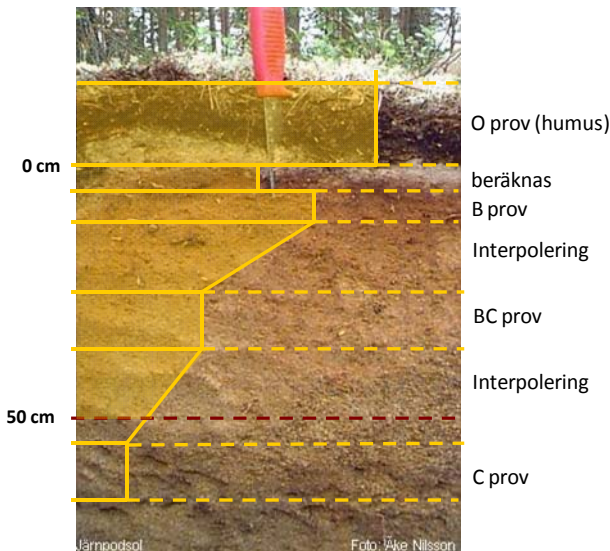
Förändringen i markkolspoolen skattas som nettoförändringen på återinventerade provytor. Den andra markinventeringen (1993 - 2002) och den tredje markinventeringen (2003-2012) används för skattningarna eftersom jämförbarheten mellan dessa inventeringar anses acceptabel. För beräkningarna som redovisas här används data för inventeringsåren 1993-1996 och 2003-2006.

Beräkningarna av kolmängden i mineraljorden sker i flera steg. Först räknas kolmängden i de olika provtagna markhorisonterna ut. Sedan skattas mängden markkol i mellanliggande skikt genom interpolering. Därefter korrigeras den beräknade mängden kol i markprofilen för provytans stenighet.

Beräkningarna skiljer sig åt mellan den andra och den tredje markinventeringen på grund av förändringar i provtagningsmetodik. Vissa förändringar i provtagningsmetodik som genomförts under pågående inventeringsperiod påverkar också beräkningarna. För beräkningar av kolmängden i mineraljordar (utom i A-horisonen, 0-10 cm, där s.k. volymsbestämt prov tas) används variabeln bulkdensitet BD (kg m^{-3}), dvs. mängden finjord per volymsenhet. Bulkdensiteten mäts inte i markinventeringarna utan skattas i beräkningarna med hjälp av en empirisk formel. Interpolering används för att skatta kolmängderna i de markhorisontintervall som inte provtas.

Den totala kolmängden i markprofilen beräknas som summan av de mätta och interpolerade kolmängdsvärdena för de enskilda horisonterna korrigerade för volymen sten i markprofilen (figur 1). Slutligen beräknas kolmängden per areal.

För att beräkna den årliga förändringen för hela landet beräknas först den årliga förändringen för varje provyta genom interpolering av åren mellan provtagningarna (t.ex. 1993 och 2003). Den totala förändringen för hela landet utgörs av medelvärdet för de interpolerade förändringarna varje år multiplicerat med den totala arealen skogsmark på mineraljord.



Figur 1. Bestämning av kolinnehållet i en markprofil baseras på uppmätta kolmängder och interpolering. Humuslagret utgör en del av förnapoolen.

Figure 1. The carbon content of a soil profile is estimated from the measured amount of carbon and interpolation. The organic layer is included in the litter pool.

Histosoler

Emissioner från histosoler beräknas som summan av den heterotrofa respirationen (koldioxidemissioner som beror på nedbrytning av organiskt material) och den årliga tillförseln av förna från rotsystem. För beräkningar av koldioxidemissioner från histosoler klassas dessa i orörda, väl-dränerade samt dåligt dränerade marker enligt markinventeringens definitioner. Totala arealer för histosoler och andelen dränerad mark beräknas baserat på Riksskogstaxeringens databas. Emissionsfaktorer baserade på heterotrof respiration enligt von Arnold et al. (2005) användes för att beräkna emissionerna från dränerade histosoler:

- 3.0 t CO₂-C /ha/år (2.49-3.51) för väl-dränerad mark
- 1.9 t CO₂-C /ha/år (1.45-2.35) dåligt dränerad mark
- Orörda histosoler antas vara i balans vad gäller kolflöden och inga emissioner beräknas för dessa marker.

Årlig förnatillförsel från rotsystem baseras på årlig ovanjordisk förnaproduktion under antagandet att andelen förnaproduktion i marken är densamma som ovanjordisk förnaproduktion. Andelen nedbrutet kol som antas tillföras marken sattes till 40 % av den årliga förnaproduktionen.

Koldioxidemissionerna per provyta beräknas således enligt:

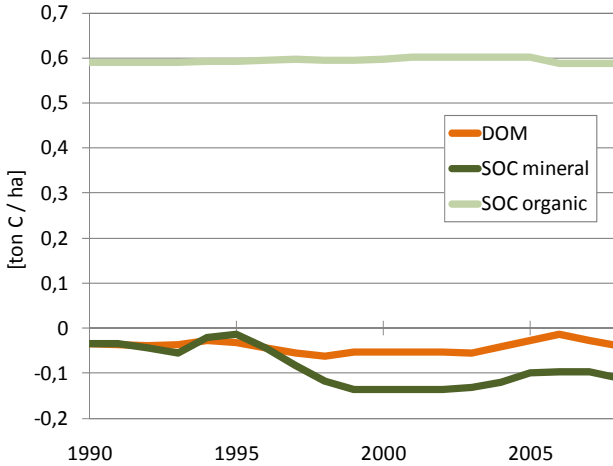
$$\Delta C_{\text{provyta}} = \text{Area}_{\text{provyta}} \cdot EF_{\text{provyta}} + 0.4 \cdot \Delta C_{\text{årsförna, provyta}}$$

där area är provytans area och EF är den ytspecifika emissionsfaktorn. Liksom för mineraljordar räknas förändringen ut per areal och skalas sen upp till nationell nivå med hjälp av den totala arealen av varje marktyp.

Resultat och diskussion

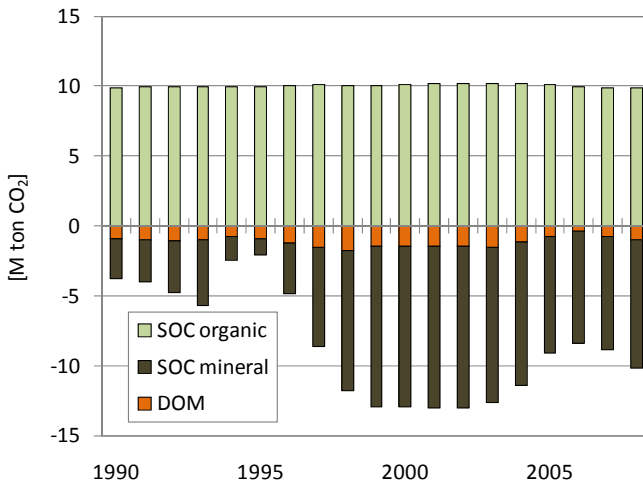
Den stora svårigheten med att skatta förändringar i kolpoolerna förna och markkol är att den förväntade förändringen är liten i förhållande till den totala kolpoolen (figur 2). Även om förändringarna i markkolspoolerna är små mätt per arealenhet får de ett ansenligt genomslag i rapporteringen eftersom arealerna är stora. En förändring av markkolspoolen på en promille per år ger ett årligt utsläpp/sänka på ca 7 M ton CO₂/år. Den trend som kan ses i markkolsförändring på mineraljord är inte säkerställd och skillnaden i nivå mellan år beror till

stor del på om resultaten avser interpolerade eller uppmätta värden. Skillnader mellan år i emissioner från histosoler beror främst på variationer i årlig förnattillförsel.



Figur 2. Förändring i kolpoolerna dött organiskt material (DOM) och markkol (SOC) per areal.

Figure 2. Changes in dead organic matter (DOM) and soil organic carbon (SOC).



Figur 3. Kolinbindning skogsmark (negativt värde betyder alltså att poolen är en sänka). De små och statistiskt ej signifikanta förändringarna per hektar (figur 2) för markkol i mineraljord och i förnappoolen får stort genomslag när de multipliceras med hela skogsmarksarealen (23 M ha) medan de stora utsläppen från dikad skogsmark på torvjord får relativt mindre betydelse trots de höga utsläppen per arealenhet pga. av att arealen är begränsad (1 M ha).

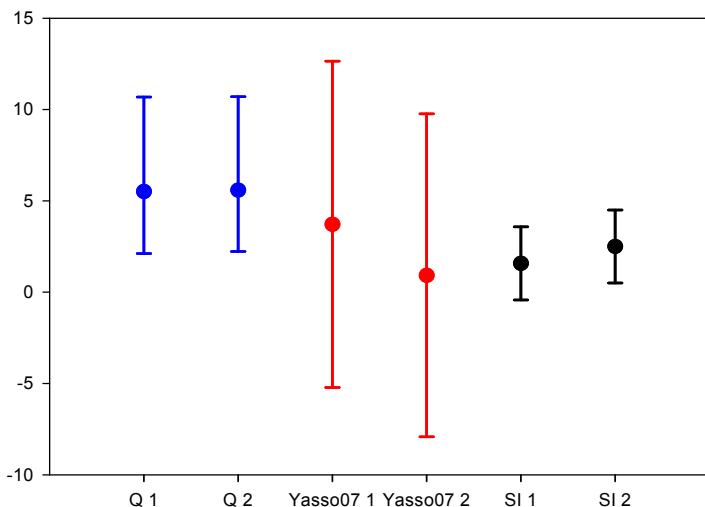
Figure 3. Carbon pool changes in forest land (minus means a removal). Small insignificant changes per hectare will reveal great impact when scaled up to the whole forest area.

Den genomsnittliga inlagringen av kol i mineraljord är ca 7 M ton CO₂ per år och inlagringen i dött organiskt material (består av förna och död ved) är 4 M ton CO₂ per år för perioden 1990-2008 (figur 3). Emissionerna från dikade organogena jordar är större per arealenhet än inlagringen i mineraljorden och trots att arealen är liten (ca 1 M ha) så blir emissionerna i absoluta tal ganska stora och uppgår i snitt till 10 M ton CO₂ per år.

För att minimera riskerna för att stora upptag eller utsläpp som inte beror på en verklig utveckling utan på slumpmässiga variationer i inventeringen och osäkra beräkningar påverkar rapportering till klimatkonventionen och bokföringen under Kyotoprotokollet fortsätter vi utveckla metodiken för markkole. Utvecklingen skall sträva mot att osäkerheterna i beräkningarna, och därmed variationer i rapporterade siffror som inte kan knytas till en verklig utveckling minskas. Om vi tror att det empiriska materialet återspeglar en sann utveckling måste vi också kunna förklara vad utvecklingen beror på.

Framförallt kommer osäkerheterna minska i och med att dataunderlaget ökar för varje år genom att nya data successivt görs tillgängliga från markinventeringens tredje återinventering. För rapporteringen 2009 utnyttjades inventeringsdata från permanenta provytor för inventeringscyklerna 1993-2003, 1994-2004 samt 1995-2005. Totalt handlar det om ca 1500 provytor vilket är ca 30 % av det totala antalet (5000) som kommer ingå när den tredje återinventeringen är slutförd 2012. Med samma berednings- och analysprocess som idag kommer inventeringsdata t.o.m. år 2010, d.v.s. ca 4000 ytor kunna ingå i beräkningarna vid slutrapportering under Kyotoprotokollet (2014). Med mer data ökar möjligheten att identifiera en signifikant förändring eller trend som återspeglar en sann förändring.

För att verifiera de förändringar i markkol som vi rapporterar har vi också jämfört de uppmätta värdena för markkolsförändring med två matematiska markkolsmodeller, den finska Yasso och den svenska Q-modellen (Ortiz et al. 2009). Jämförelsen avser både förändringarnas storlek samt osäkerhetsintervallet för förändringarna. Jämförelsen presenteras nedan (figur 4) för två femårsperioder och visar att nivån och riktningen på förändringen i markkolspoolen är jämförbara. Dock är osäkerheterna mycket stora i alla metoderna.



Figur 4. Figuren visar 5 års medelvärden [T gram C/år] för två perioder 1994-1998(1) och 1996-2000(2) för Q-modellen (Q1, Q2), Yasso-modellen (Yasso07 1, Yasso07 2) och markinventeringen (SI 1, SI 2). Alla tre metoder simulerar små förändringar (en ökning) jämfört med det totala kolkagret. Det är dock bara Q-modellen som simulerar en ökning inom osäkerhetsintervallet.

Figure 4. Changes of SOC in T grams per year. Average of a 5 year period for 1994 - 1998 (1) and 1996 - 2000 (2) together with the uncertainty bounds of the modelled change and the standard error of the repeated measurements. Q (Q1, Q2), Yasso07 (Yasso07 1, Yasso07 2) and (SI 1, SI 2) repeated measurements.

För att förstå varför det är viktigt att kunna redogöra för dessa flöden med bättre noggrannhet kan det vara intressant att jämföra flödena mot Sveriges totala koldioxidutsläpp. Utsläppen från sektorerna energianvändning, industriprocesser, fluorerade växthusgaser, jordbruk och avfall minskade från ca 72 M ton CO₂ till ca 65 M ton CO₂ mellan 1990 och 2007. För att få perspektiv på de årliga variationerna i markkol kan då noteras att skillnaden mellan det lägsta årliga upptaget av koldioxid och den största (närmare 6 M ton CO₂) i markkolspoolen motsvarar nästan hela utsläppsminskningen från övriga sektorer mellan 1990 och 2007. På grund av osäkerheter i beräkningarna inom markanvändningssektorn bokförs flödena i markanvändningssektorn enligt speciella regler och därför påverkar inte dessa osäkra kolpoolsförändringar Sveriges möjligheter att klara sitt internationella åtagande under Kyotoprotokollet. Som vi visat är variationerna i den årliga förändringen i markkolspoolen relativt små i förhållande till poolens storlek. Under ett scenario där man antar samma skogsskötsel som idag förväntas ingen större förändring i inlagringshastigheten i markkolspoolen för de närmaste 20 åren. Om man däremot ändrar någon av de faktorer som styr inlagringen kan man få en direkt effekt på mark-

kolsinlagringen. Preliminära resultat från olika känslighetsanalyser där scenarier för ökad/minskad tillväxt, stubbrytning samt ökat uttag av avverkningsrester (s.k. grot) studerats med Q-modellen (Ågren et al. 2007) visar t.ex. att ett ökat uttag av avverkningsrester till det dubbla (15 TWh) får en effekt på markkolelet som motsvarar en minskad inlagring per år på ca 15 % år 2020. Detta beror på att tillförseln av förna minskar kraftigt när man plockar ut mer grot.

Under ett scenario där man antar samma skogsskötsel som idag förväntas ingen större förändring i inlagringshastigheten i markkolspoolen för de närmaste 20 åren. Om man däremot ändrar någon av de faktorer som styr inlagringen kan man få en direkt effekt på markkolsinlagringen. Det visar preliminära resultat från känslighetsanalyser där scenarier med ökad tillväxt samt ökat uttag av avverkningsrester (s.k. grot) studerats med Q-modellen (Ågren et. al. 2007). Q-modellen beskriver hur organiskt material bryts ned i marken med hjälp av mikroorganismer.

Grundscenariot är att skogens tillväxt kommer att öka enligt alternativ B2, (enligt IPCC:s SRES-scenarier). När skogens tillväxt ökar kommer man att kunna ta ut mer grot för energibruk och på så sätt minska den mänskliga påverkan på växthuseffekterna. Idag används motsvarande grot till att producera 8 TWh i Sverige. Hur mycket skogstillväxten kommer att öka de närmsta 20 åren har skattats av Skogsstyrelsen i rapporten SKA-VB 08 (Anon. 2008). Två scenarier baserat på bedömningar av framtida behov av biobränslen som motsvarar grotuttag på 15,5 och 25 TWh visar att skogsmarkens kolinlagring påverkas olika mycket i norra Sverige jämfört med södra eftersom det finns en större potential att ta ut mer grot i norra Sverige.

Ökar man grot-uttaget från 8 till 15,5 TWh kommer inlagringen av kol att minska med 2,5 % i genomsnitt över hela landet under en 20 års period. Motsvarande för en ökning till 25 TWh är 4,5 %. Det är stora regionala skillnader i minskningen av inlagringen. I norra Sverige kan inlagringen minska med upp till 8,7 % medan det visade sig att i södra Sverige kan en minskning av kolinlagringen bli så liten som 1 %. I Sverige lagras ca 7 M ton CO₂ per år in i marken (genomsnitt 1990-2007). En minskning med i snitt 2,5 %, 4,5 % och 8,7 % under 20 års perioden innebär 0,2, 0,35 respektive 0,65 M ton CO₂ per år under en 20 års period. Anledningen till att kolinlagringen minskar är att när man ökar grot-uttaget minskar samtidigt inflödet av organiskt material till marken och då kan mindre kol lagras in.

Referenser

Anon. 2008. Skogliga konsekvensanalyser 2008 -SKA-VB 08. Rapport 25, Skogsstyrelsen, Jönköping.

Intergovernmental Panel on Climate Change. 2003. Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry. Penman, J., Gytarsky, M., Hiraishi, T., Krug T., Kruger, D., Pipatti, R., Buendia, L., Miwa, K., Ngara, T., Tanabe, K. and Wagner, F. (Eds.). IPCC/OECD/IEA/IGES, Hayama, Japan. ISBN 4-88788-003-0.

Ortiz C., Lundblad M., Liski J., Stendahl J., Karlun E., Lehtonen A., Gärdenäs A., 2009. Measurements and models – a comparison of quantification methods for SOC changes in forest soils. SMED rapport 32 (www.smed.se)

von Arnold K., Hånell B., Stendahl J., Klemedtsson, L., 2005. Greenhouse gas fluxes from drained organic forestland in Sweden. Scandinavian Journal of Forest Research, Volume 20, Number 5.

Ågren, G.I., Hyvönen, R., Nilsson, T., 2007. Are Swedish forest soils sinks or sources for CO₂ - model analyses based on forest inventory data. Biogeochemistry 82, 217-227. NIR 2009. National Inventory Report 2009 Sweden. Naturvårdsverket.

Odlade torvjordar läcker växthusgaser

Kerstin Berglund och Örjan Berglund

Institutionen för mark och miljö, SLU, Uppsala

Sammanfattning

De organogena jordarna, d.v.s. torv- och gyttejordarna, är fortfarande en betydande resurs i det svenska jordbruket. Odlingen av dessa jordar är emellertid inte helt oproblematisk. Odlingsegenskaperna varierar allt ifrån mycket högproduktiva odlingsjordar till närmast sterila marker. Bland fördelarna kan nämnas jordarnas stora vattenhållande förmåga och tillgången på kväve. Till nackdelarna hör att rotdjupet ibland begränsas av lågt pH och syrebrist i marken och att det vid nedbrytningen av det organogena materialet bildas "växthusgaser", som koldioxid och lustgas. Den stora variationen i de organogena jordarnas egenskaper i kombination med varierande dräneringsförhållanden och årsmån gör det extremt svårt att förutsäga speciellt lustgasavgång men även koldioxidavgång

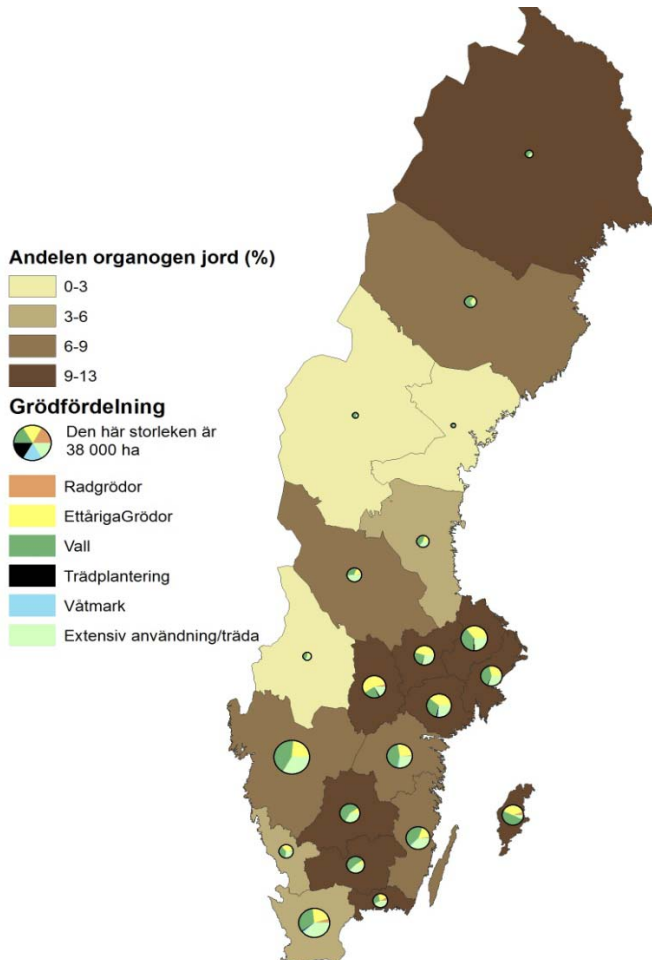
Hur mycket odlade organogena jordar finns det?

De organogena jordarna, det vill säga torv- och gyttejordarna, har utan tvekan varit och är fortfarande en betydande resurs i det svenska jordbruket. Mot slutet av 1800-talet blev dräneringen och uppodlingen av myrmarker ett av de mer framgångsrika sätten att öka jordbruksproduktionen under en tid då det var svårt att få fram tillräckligt med livsmedel för en snabbt växande befolkning. Som mest var ca 700 000 ha uppodlade varav ca en tredjedel odlas idag (Berglund et al., 2009). Störst procentandel odlad organogen jord finns längst i norr, östra Svealand, Småländska höglandet med Blekinge samt på Gotland (figur 1). De största arealerna finns däremot i Västra Götaland och Skåne.

De organogena jordarnas egenskaper

De organogena jordarnas egenskaper beror till stor del på den botaniska sammansättningen av ursprungsmaterialet, inblandningen av mineralmaterial och för torvjordarna förmultningsgraden. Vid jämförelse med mineraljordarna kännetecknas de organogena jordarna av hög porositet och låg skrymdensitet (volymvikt) (Berglund, 1996). Mosstorvjordarna har i regel ett lågt näringsinne-

håll och lågt pH, kärrtorvjordarna hög kvävehalt och lågt fosfor- och kaliuminnehåll och gyttejordarna är ofta både kväve- och kaliumrika men pH varierar inom vida gränser beroende på svavel- och karbonathalt (Hjertstedt, 1946).



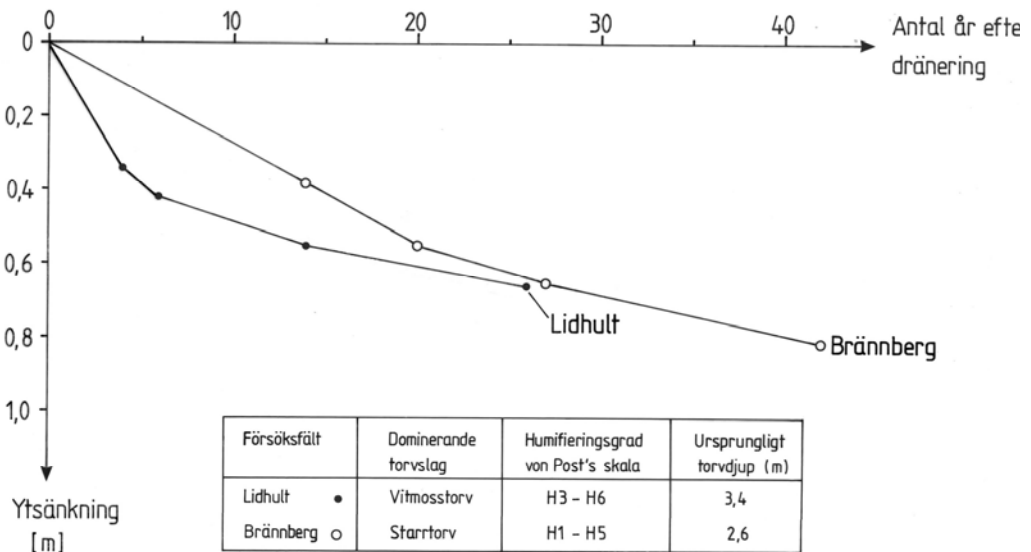
Figur 1. Andel (%) odlad organogen jord 2008 i olika län samt grödfördelning på odlade organogena jordar.

Figure 1. Organic soil on agricultural land (%) and crop distribution (ha) on agricultural organic soils per county in 2008.

Markytesänkning och gasflöden

Myrodlingen visar sig vara långt ifrån oproblematiske. Ett stort problem är den markytesänkning som sker vid dränering och uppodling av organogena jordar (figur 2). Markytesänkningen är i regel begränsad på gyttejord men kan vara mycket stor på torvjord.

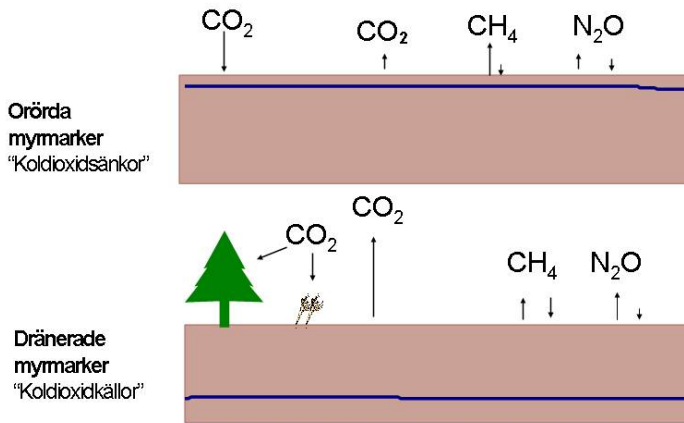
Markytesänkning på torvjord beror i huvudsak på fyra processer: sättning, konsolidering, krympning samt nedbrytning av det organiska materialet, även kallad bortodling. I naturligt tillstånd sker en anhopning av organiskt material i våra torvmarker vilket gör att de binder stora mängder kol. Vid dränering och uppodling av en torvmark ökar genomluftningen av jorden, vilket i sin tur medför att det organogena materialet bryts ned snabbare än om marken lämnats orörd. Vid nedbrytningen av det organogena materialet frigörs växthusgaser som till exempel koldioxid (CO₂), lustgas (N₂O) och metan (CH₄) (figur 3). Koldioxid dominerar vid god syretillgång medan metan främst bildas under anaeroba förhållanden. Processens hastighet bestäms av bland annat klimat, torvkvalitet, och syretillgång (vattenhalt). Beräkningar har gjorts att koldioxidavgången från de odlade torvjordarna kan uppgå till 6-8 % av den totala koldioxidavgången i Sverige (2003) (Berglund & Berglund, 2008) trots att torvjordarnas andel av den totala jordbruksarealen idag är mindre än 6 % (Berglund et al., 2009).



Figur 2. Markytesänkning som följd av dränering och uppodling vid Lidhult i Småland (Berglund, 1989, s. 8, tab. 1) och Statens försöksgård Brännberg i Norrbotten (Agerberg, 1956, s.25, tab. 3). Humifieringsgrad (nedbrytningsgrad H1-H10) enligt von Post (1922).

Figure 2. Subsidence due to drainage and cultivation at Lidhult (moss peat) and Brännberg (fen peat). Humification degree (Humifieringsgrad) according to von Post (1922). Initial peat depth (Ursprungligt torvdjup) in meters.

Gasflöden i myrmarker (CO₂ CH₄ N₂O)



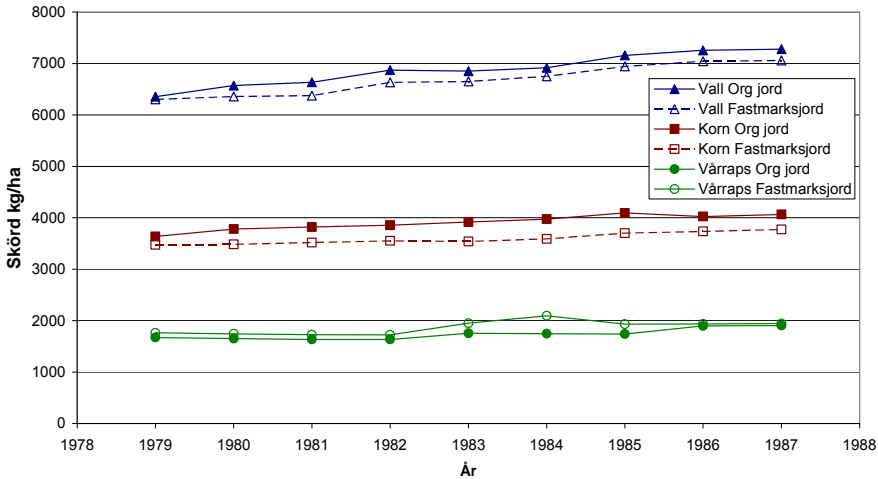
Figur 3. Schematisk figur visande flöden av tre olika växthusgaser, koldioxid (CO₂), metan (CH₄) och lustgas (N₂O) i en orörd respektive dränerad myrmark. Storleken på flödena kan variera mycket i både tid och rum, men i princip så är de orörda torvmarkerna kolsänkor d.v.s. inlagrar mer koldioxid än de avger och de dränerade markerna koldioxidkällor d.v.s. avger mer koldioxid än de binder.

Figure 3. A schematic figure of the flow of greenhouse gases (CO₂, CH₄ and N₂O) in undisturbed (Orörda myrmarker) and drained peatlands (Dränerade myrmarker). Undisturbed peatlands are in most cases carbon sinks and drained peatlands carbon sources.

Odlingsintensitet och skördenivåer

Även om de odlade organogena jordarna har minskat i betydelse sedan storhetstiden på mitten av 1900-talet så talar mycket för att de även fortsatt kommer att ha stor betydelse på enskilda gårdar och för odling av speciella grödor som till exempel potatis och morötter. Odlingsintensiteten på de organogena jordarna är i allmänhet lägre jämfört med genomsnittet för all jordbruksmark även om såväl skördeutveckling som skördenivå på väl-dränerade och näringsrika organogena jordar mycket väl kan mäta sig med fastmarksjordarna (figurerna 4 och 5). Inom de organogena jordarna är torvjordarna i allmänhet mindre intensivt odlade än gyttejordarna vars egenskaper påminner mer om mineraljordarna. På de organogena jordarna var 2008 vallandelen ca 40 %, betesmark ca 22 % och träda ca 7 % av totalarealen (Berglund et al., 2009). Ungefär 16 % av arealen ligger i permanent vall (10 år av 10). Intensiv odling av radgrödor som potatis och morötter (radgrödor minst 5 år av 10) sker på en liten areal i framför allt Skåne och i viss mån Blekinge.

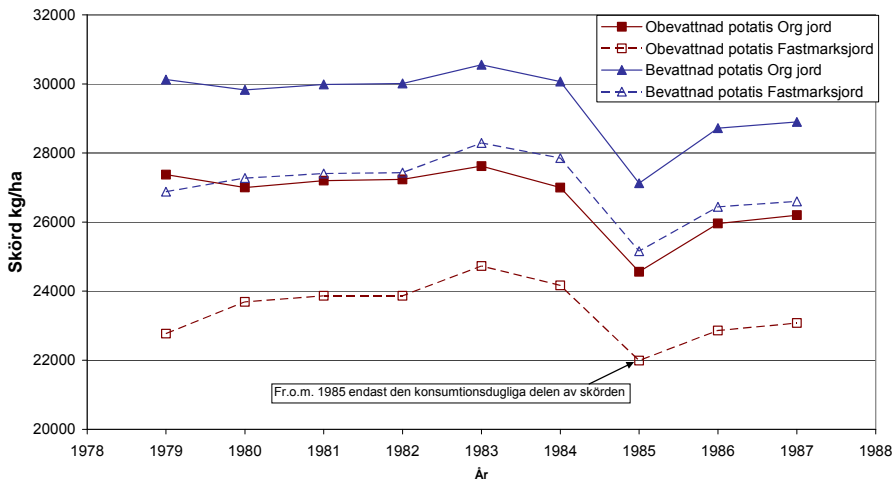
Skördeutveckling på organogen jord respektive fastmarksjord



Figur 4. Skördeutveckling (normskörd) på organogen jord (SCB skördeområde nr 801) jämfört med fastmarksjord (SCB skördeområde 802) för perioden 1979 till 1987 för grödorna vall (totalskörd, vattenhalt 16,5 %), korn (vattenhalt 15 %) och vårraps (vattenhalt 18 %) (Statistiska centralbyrån, SCB, 1979-1987).

Figure 4. Yield development (standard yield) on organic soils (Org jord) compared to mineral soils (Fastmarksjord) for the period 1979 to 1987 for the crops lay (vall), barley (korn) and rape seed (vårrens).

Skördeutveckling i potatis



Figur 5. Skördeutveckling (normskörd) i potatis på organogen jord (SCB skördeområde nr 801) jämfört med fastmarksjord (SCB skördeområde 802) för perioden 1979 till 1987 (Statistiska centralbyrån, SCB, 1979-1987).

Figure 5. Yield development (standard yield) on organic soils (Org jord) compared to mineral soils (Fastmarksjord) for the period 1979 to 1987 for non-irrigated potatoes (obevattnad potatis) and irrigated potatoes (bevattnad potatis).

Växthusgasavgång

De organogena jordarna har många positiva egenskaper som till exempel god tillgång på kväve och god vattenhållande förmåga som gör att de kan vara ett bra komplement till fastmarksjordarna. Trenden är emellertid att man under senare år tagit många av dessa jordar ur produktion både av miljöskäl och på grund av ekonomiska skäl, eftersom det kan vara mycket dyrt att förnya dräneringen. Det stora orosmolnet är emellertid torvjordarnas bidrag till växthusgasavgången, som gör att odlingen av dem kan komma att regleras i framtiden. Att överge markerna är ingen lösning eftersom växthusgasavgången fortsätter så länge det finns tillgång till syre i marken.

Flera sammanställningar av emissionsfaktorer för olika markanvändning på torvjord har gjorts (Laine, 2007; ClimSoil, 2008; Couwenberg, 2009; Maljanen et al., 2009). Sammanfattningsvis kan sägas att osäkerheterna i emissionsfaktorerna är mycket stora. För lustgasavgång från odlad torvjord uppger tex Couwenberg (2009) 6,8 (-0,8-37) kg N₂O-N ha⁻¹yr⁻¹ och för koldioxid 6,8 (2,1-11,2) för åkermark och 2,6 (-0,7-7,5) för permanent vall. Osäkerheterna är med andra ord mycket stora och beror i grunden på att variationen i torvjordarnas egenskaper är extremt stor och att det i kombination med olika dräneringsförhållanden och årsmån blir det extremt svårt att förutsäga speciellt lustgasavgång men även koldioxidavgång. Det finns mycket få försök där man jämfört gasavgången från olika grödor i ett och samma försök eller på samma fält där man med säkerhet kan säga att jordtyp, dräneringsförhållanden och årsmån var densamma. Preliminära resultat från koldioxidmätningar i olika grödor på samma fält (ej publicerat) talar inte för att man får mindre gasavgång om man övergår från t.ex. potatisodling till flerårig vall utan snarare tvärtom. Resultaten stöds av andra undersökningar som t.ex. Maljanen et al (2001) och Lohila et al (2003).

Något entydigt svar på hur vi skall hantera dessa jordar framöver har vi inte idag. Skall målet vara att minimera markytesänkning och gasavgång eller att producera så stor mängd biomassa som möjligt per koldioxidekvivalent?

Referenser

- Agerberg, L.S. 1956. Brännbergsmýrens sättning. Kungl. Lantbrukshögskolan och Statens lantbruksförsök, Stockholm. Jordbruksförsök, meddelande nr 77, 36 s.
- Berglund, K. 1989. Ytsänkning på mosstorvjord. Sveriges Lantbruksuniversitet, Uppsala. Avd f lantbrukets hydroteknik. Avdelningsmeddelande 89:3. 18 s.

- Berglund, K. 1996. Cultivated organic soils in Sweden: Properties and amelioration. PhD Thesis. Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala. Department of Soil Sciences, Reports and Dissertations 28.
- Berglund, Ö. & Berglund, K. 2008. Distribution and cultivation intensity of agricultural organic soils in Sweden and an estimation of greenhouse gas emissions from cultivated peat soils. *Geoderma* (2008), doi:10.1016/j.geoderma.2008.11.035
- Berglund, Ö., Berglund, K. & Sohlenius, G. 2009. Organogen jordbruksmark i Sverige 1999-2008. Rapport (Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för markvetenskap, Avdelningen för hydroteknik), nr 12, 29 s.
- ClimSoil. 2008. Review of existing information on the interrelationships between soil and climate change. Thematic Strategy for soil protection: Service contract.: 070307/2007/486157/SER/B1.Final report, 208 p.
http://ec.europa.eu/environment/soil/pdf/climsoil_report_dec_2008.pdf
- Couwenberg, J. 2009. Emission factors for managed peat soils. An analysis of IPCC default values. Wetlands International:
<http://www.wetlands.org/LinkClick.aspx?fileticket=THqbOnM2hW4%3d&abid=56>
- Hjertstedt, H. 1946. De organogena odlingsjordarnas beskaffenhet i olika län med avseende på torvslag, förmultningsgrad och reaktion samt innehåll av kalk och kväve, kali och fosforsyra organisk substans, seskvioxider och svavelsyra. Svenska Vall- och Mosskulturforeningens Kvartalsskrift 8, 255-277.
- Laine, J. (ed.). 2007. Greenhouse impacts of the use of peat and peatlands in Finland. Publications of Ministry of Agriculture and Forestry, Finland, 11a/2007. 70 p.
- Lohila, A., Aurela, M., Regina, K. & Laurila, T. 2003. Soil and total ecosystem respiration in agricultural fields: effect of soil and crop type. *Plant and Soil* 251: 303–317.
- Maljanen, M., Martikainen P. J., Walden, J. & Silvola, J. 2001. CO₂ exchange in an organic field growing barley or grass in eastern Finland. *Global Change Biology* 7, 679-692.

Maljanen, M. Sigurdsson, B. D. Guðmundsson, J. O' skarsson, H. Huttunen, J. T. & Martikainen P. J.. 2009. Land-use and greenhouse gas balances of peatlands in the Nordic countries – present knowledge and gaps. Biogeosciences Discuss., 6, 6271–6338. <http://www.biogeosciences-discuss.net/6/6271/2009/bgd-6-6271-2009-print.pdf>

SCB. 1979-1987. Normskördar för skördeområden.... Statistiska centralbyrån. Statistiska meddelanden. Serie J –Jordbruk, skogsbruk och fiske.

von Post, L. 1922. Sveriges Geologiska Undersöknings torvinventering och några av dess hitills vunna resultat. Svenska Mosskulturforeningens tidskrift Årg 36: 1-27.

Dikade skogsmarker läcker växthusgaser

Maria Ernfors

Institutionen för växt- och miljövetenskaper, Göteborgs universitet

Sammanfattning

Kunskapen om hur växthusgasbalansen ser ut för dikad skogsmark växer, men är fortfarande långt ifrån komplett. Här ges en beskrivning av vad vi vet idag och, speciellt, vilken kunskap som har tillkommit under de allra senaste åren. I nuläget finns förslag till enkla modeller för att grovt uppskatta utsläpp av lustgas (N_2O) respektive metan (CH_4) från dikad skogsmark, men nettoutsläpp/nettoupptag av koldioxid (CO_2) är fortfarande mycket svåra att förutsäga. Totalt sett verkar det som att näringsfattiga dikade skogsmarker kan ha ett nettoupptag av växthusgaser, i vuxna bestånd, medan mer näringsrika marker ofta har nettoutsläpp, p.g.a. större produktion av CO_2 och N_2O . Förutom markens näringsstatus spelar dock grundvattenytan, dvs. hur väldikad marken är, en stor roll för växthusgasbalansen i dikad skogsmark.

Det har länge varit känt att tillförsel av aska från biobränslen ger en tillväxtökning på dikade skogsmarker, men kunskap om effekterna på växthusgasbalansen har saknats. Dessa effekter har nu studerats i tre försök i södra Sverige, två på näringsfattig mark och ett på näringsrik mark. Under ett respektive fem år efter asktillförseln kunde ingen påverkan på markens växthusgasflöden urskiljas, på de näringsfattiga försöksytorna. Detta är positivt ur växthusgassynpunkt, eftersom oförändrade markflöden tillsammans med en ökad inbindning av CO_2 i träden totalt sett ger en minskad klimatpåverkan. På den näringsrika ytan minskade utsläppen av både CO_2 och N_2O under de två första åren efter askspridningen. Det återstår att se vad som händer på längre sikt, både på näringsrik och näringsfattig mark.

Undersökningar har också gjorts, i Finland, av hur växthusgasflöden påverkas vid beskogning av torvmark som tidigare använts för jordbruk. Under den första skogsgenerationen minskar koldioxidutsläppen, på grund av dels den ökade inbindningen av kol i trädens biomassa och dels den minskade nedbrytning som följer av att störningar av marken (t.ex. plöjning) uteblir. Det fanns förhoppningar om att även N_2O -flödet från marken skulle minska vid beskogning, men tyvärr verkar detta förbli oförändrat under åtminstone de närmast följande decennierna.

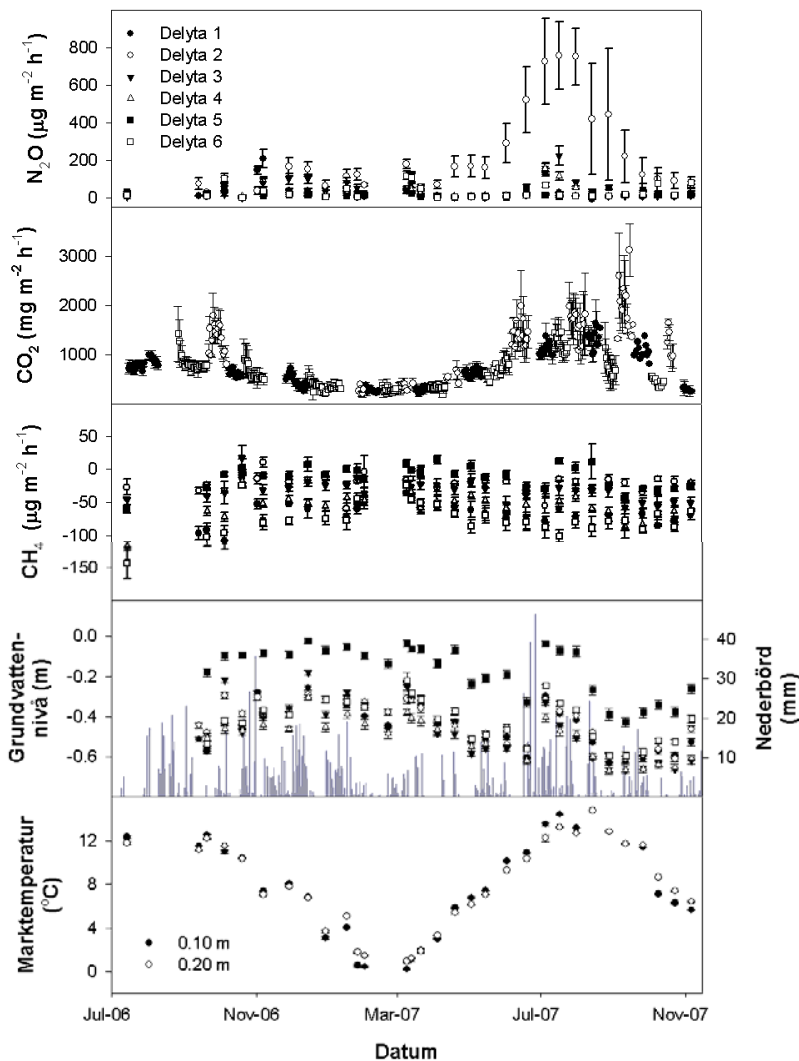
Introduktion

Den samlade kunskapen om dikade skogsmarkers klimatpåverkan har vuxit väsentligt under de senaste åren. Flera studier har genomförts i Sverige och vi kan dessutom dra nytta av finska resultat från ett forskningsprogram som avslutades 2005. De tre klimatpåverkande gaser som kan tas upp eller avges av dikad skogsmark är koldioxid (CO_2), lustgas (N_2O) och metan (CH_4). De dikade skogsmarkerna i Sverige består till största delen torvmarker, dvs. de har ett torvtäckte på minst 30 cm, men det finns också marker som har ett tunnare torvtäckte eller som bara har ett högt innehåll av organiskt material, blandat med mineralmaterial (Ernfors m.fl., 2007). Organiskt material ansamlas i blöt mark, där nedbrytningen hindras av syrebrist. Det kan, teoretiskt sett, finnas dikade marker utan ett stort innehåll av organiskt material, t.ex. längs vägdiken, där det inte varit särskilt blött före dikningen. Här definieras emellertid dikad mark som ”dikad organogen mark”, dvs. mark som varit blöt före dikningen och därmed innehåller mycket organiskt material.

Nettoflöden av CO_2 , N_2O och CH_4

CO_2

Nettobalansen för CO_2 är svårast att bestämma och förutsäga, för dikad skogsmark, eftersom inbindning av CO_2 genom fotosyntes måste vägas mot utsläpp från nedbrytning av både torv och olika typer av föna. De preliminära slutsatserna från försöksverksamheten i Finland är att näringsfattig dikad skogsmark (torvmark) kan ha ett nettoupptag av CO_2 , medan näringsrik och måttligt näringsrik dikad skogsmark generellt har nettoutsläpp av CO_2 (Alm m.fl., 2007; Saarnio m.fl., 2008). Slutsatserna bygger på (1) mätningar av förändringar i mängden lagrat kol i mark och vegetation över tid, (2) beräkningar där olika delflöden av CO_2 lagts ihop och (3) mätningar med så kallad mikrometeorologisk teknik, dvs. ekosystemets totala utbyte av koldioxid med atmosfären mäts från ett torn eller en mast, en bit ovanför trädtopparna.



Figur 1. Växthusgasflöden, grundvattennivåer, nederbörd och marktemperaturer på en näringsrik och väldikad skogsmark i södra Sverige (Skogaryd NO), under perioden 060715-071106.

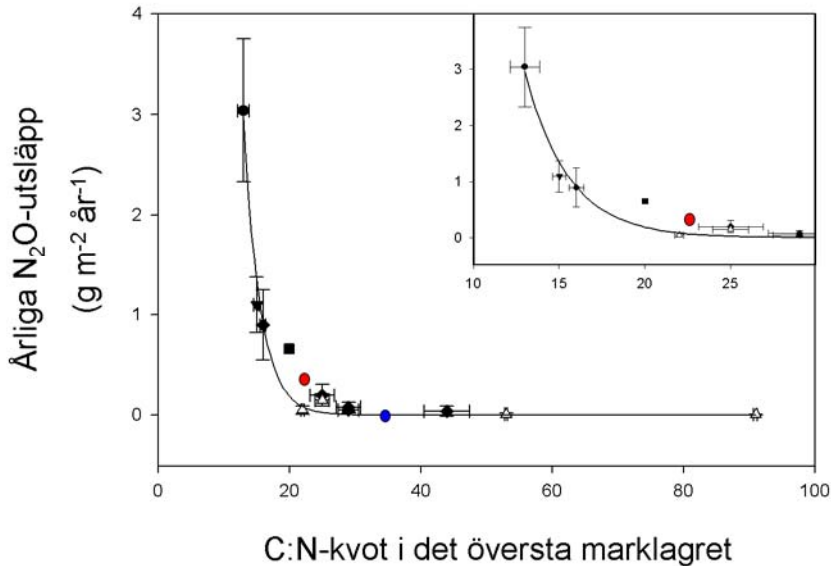
Figure 1. Greenhouse gas fluxes, groundwater levels, precipitation and soil temperature at a nutrient rich and well drained forest in southern Sweden (Skogaryd NO), over the period 15 July 2006 - 06 November 2007.

De finska slutsatserna stämmer emellertid inte helt med resultaten från mindre väldikade skogsmarker i Sverige (årlig medelgrundvattenytta högre än 30 cm), där de mer produktiva markerna hade ett nettoupptag av CO₂, medan de med

lägre biomassaproduktion varken hade tydliga nettoutsläpp eller nettoupptag utan balanserade kring noll (von Arnold, 2004). Det var framförallt träd tillväxten som avgjorde nettobalansen för CO₂ i dessa försök och det fanns ingen tydlig koppling till näringsstatus. Enligt en sammanställning av finska och svenska data från dikad skogsmark är CO₂-utsläppen från marken framför allt kopplade till grundvattennivån, med lägre utsläpp där grundvattenytan är hög (von Arnold m.fl., 2005). I ett pågående svenskt försök, på näringsrik och väldikad skogsmark, har mycket höga CO₂-utsläpp från marken mätts upp (Ernfors, 2009) (Figur 1), men hur mycket av CO₂-flödet som kommer från nedbrytning och hur mycket som kommer från rötternas andning håller för närvarande på att undersökas. Sammanfattningsvis ser det ut som att nettobalansen för CO₂ på dikad skogsmark påverkas av både näringsstatus och grundvattennivå och att samspelet mellan dessa behöver undersökas närmare. Några anledningar till att osäkerheterna fortfarande är stora, i uppskattningarna av CO₂-balansen för dikad skogsmark, är att mätningar bara utförts på några få platser och att variationerna mellan olika år är betydande. Det är också viktigt att påpeka att de flesta beräkningar har gjorts på medelåldriga bestånd och att balansen troligen förskjuts mot större utsläpp eller mindre upptag om hela rotationsperioden räknas med, inklusive hyggesfasen, då inbindningen av CO₂ är mycket låg.

N₂O

För N₂O från dikad skogsmark presenterades för några år sedan en modell som kopplade utsläppen till markens C:N-kvot, det vill säga markens kväveinnehåll i förhållande till dess kolinnehåll (Klemedtsson m.fl., 2005). Modellen innebär att N₂O-utsläppen ökar exponentiellt med lägre C:N-kvot (dvs med högre kväveinnehåll). Denna modell har bekräftats av mätningar som gjorts nyligen, på en näringsrik och två näringsfattiga dikade skogliga torvmarker i södra Sverige (Ernfors, 2009) (Figur 2). Ett liknande förhållande mellan C:N-kvot och N₂O-utsläpp har också kunnat identifieras utifrån mätningar i Finland (Alm m.fl., 2007). En modifierad version av den nämnda modellen har använts för att uppskatta de totala svenska utsläppen av N₂O från dikad skogsmark (Ernfors m.fl., 2007). Resultatet blev en siffra på 4700 ton N₂O per år (95 %-igt konfidensintervall: 2610-8600 ton/år), vilket är 3 % av Sveriges totala (mänskligt skapade) växthusgasutsläpp. Man kan också säga att det motsvarar en förbränning av 650 miljoner liter bensin per år (räknat på 2.3 kg CO₂ per liter förbränd bensin; Vägverket, 2009). Utsläppen av N₂O från dikad skogsmark är alltså högst väsentliga. Förutom markens näringsstatus kan flera andra faktorer påverka utsläppen av N₂O, exempelvis grundvattennivån.



Figur 2. De svartvita delarna av figuren visar förhållandet mellan N_2O -utsläpp från marken och C:N-kvoten i det översta marklagret, för dikad organogen skogsmark, enligt Klemedtsson m.fl. (2005). Den röda och den blå punkten representerar nya mätningar som presenterats av Ernfors (2009) (från försöksytorna Skogaryd NO respektive Anderstorp).

Figure 2. The black and white parts of the figure show the relationship between N_2O emissions from the forest floor and the C:N ratio in the upper soil layer, for drained organogenic forest soils, according to Klemedtsson et al. (2005). The red and the blue dots represent new measurements, presented by Ernfors et al. (2009) (from the sites Skogaryd NE and Anderstorp, respectively).

På den näringsrika sydsvenska försöksytan som nämnts ovan, som överlag var väldikad, uppmättes de största N_2O -utsläppen där marken hade en jämn och hög fuktighet i de översta lagren (Figur 1, "Delyta 2"). På övriga delar av försöksytan begränsades troligen utsläppen av torka under sommaren (Ernfors, 2009). För att förbättra uppskattningarna av N_2O -utsläpp från dikad skogsmark behöver reglerande faktorer utöver näringsstatus, som t.ex. markfuktighet, studeras närmare.

CH_4

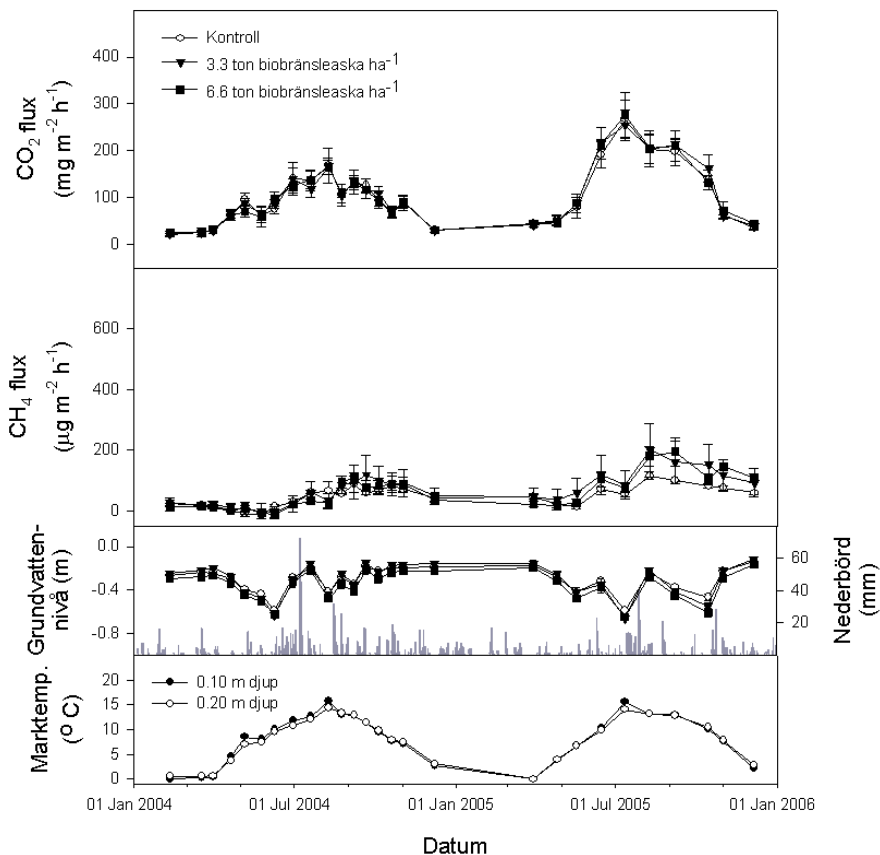
Även för CH_4 har en enkel modell föreslagits, för att kunna uppskatta utsläppen från dikade skogsmarker för t.ex. en region eller ett land (Minkkinen m.fl.,

2007). Denna modell, som tagits fram i Finland, kopplar markens utsläpp/upptag av CH₄ till beståndets stamvolym, med exponentiellt minskande CH₄-utsläpp/ökande upptag med större stamvolym. Svenska mätningar, på en näringsrik och två näringsfattiga dikade skogliga torvmarker i södra Sverige, bekräftar denna modell och kan användas till att utvidga intervallet inom vilket modellen gäller (Ernfors, 2009). Modellen indikerar att dikad skogsmark (torvmark) har ett nettoutsläpp av CH₄ när stamvolymen är under c.a 140 m³/ha och ett nettoupptag när stamvolymen är större (Minkkinen m.fl., 2007). Skälen till att ett större trädbestånd ger minskade CH₄-utsläpp, eller t.o.m. upptag, är bland andra att träden tar upp vatten och gör marken torrare, vilket gynnar de mikroorganismer som konsumerar CH₄, och att markvegetationen förändras efter dikning, så att växter som främjar transport av CH₄ från marken gradvis minskar i antal. Modellen gäller för den första skogsgenerationen efter dikning. CH₄-utsläpp från diken har inte tagits med när modellen konstruerats, och dessa kan i vissa fall vara betydande (Minkkinen och Laine, 2006).

Effekter av spridning av aska på dikad skogsmark

Forskare på Institutionen för växt- och miljövetenskaper, Göteborgs Universitet, har de senaste åren haft försök tillsammans med Skogforsk, där effekten av askgödning på näringsrik respektive näringsfattig dikad skogsmark har undersökts. Det har visats i många försök (se t.ex. Moilanen m.fl., 2004; 2005), varav vissa så tidiga som på 1930-talet (Malmström, 1935), att tillförsel av bio-bränsleaska ökar trädutväxten på dikad skogsmark, men man har inte vetat hur askgödslingen påverkar markens växthusgasbalans.

På en näringsfattig försöksyta i Småland, under de första fem åren efter asktillförsel, sågs ingen som helst påverkan på växthusgasflödena (Ernfors, 2009) (Figur 3 och 4). Däremot kunde en tendens till ökad tillväxt i beståndet urskiljas. Sammanlagt ser det alltså ut som att askning kan ge en positiv effekt på växthusgasbalansen, åtminstone på kort sikt, eftersom inbindningen av kol i träden ökar medan växthusgasutsläppen från marken förblir oförändrade. Nu återstår att se vad som händer på längre sikt - eventuellt återupptas mätningarna på försöksytan igen om några år. Det gjordes också mätningar på en annan försöksyta i Småland, under ett år före och ett år efter askning, utan att några förändringar i växthusgasflödena kunde identifieras (Ernfors, 2009).

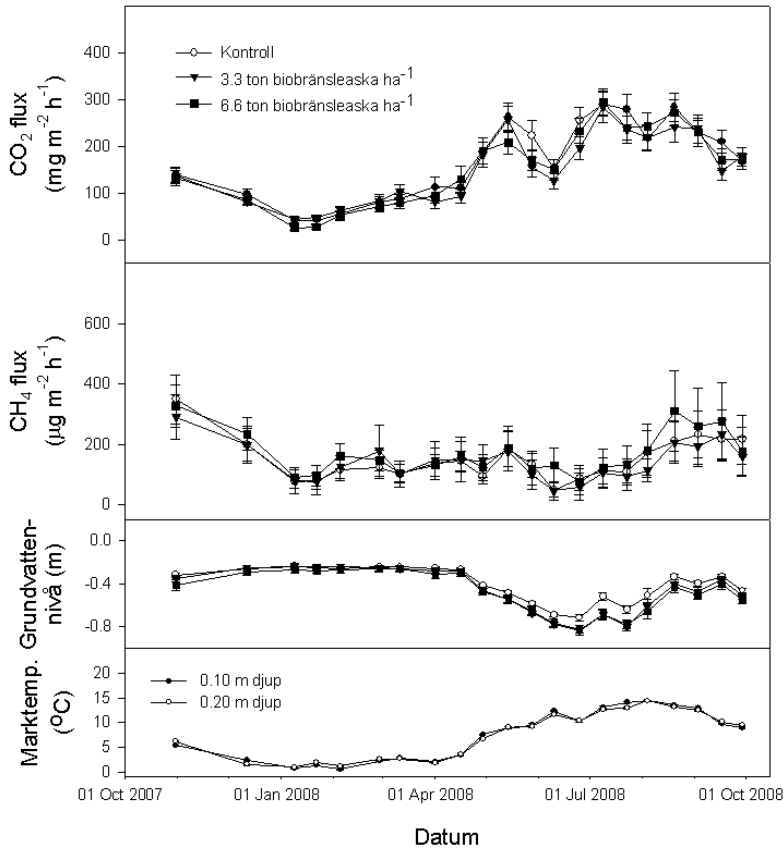


Figur 3. Växthusgasflöden, grundvattennivåer, nederbörd och marktemperaturer på en näringsfattig och väldikad skogsmark i södra Sverige (Anderstorp), under perioden 2004-2005. N_2O -flödena var i stort sett noll och visas inte. Marktemperaturerna är medelvärden för de tre behandlingarna. Aska spreds i september 2003.

Figure 3. Greenhouse gas fluxes, groundwater levels, precipitation and soil temperature at a nutrient poor and well drained forest in southern Sweden (Anderstorp), over the period 2004-2005. The fluxes of N_2O were practically zero and are not shown. The soil temperature values are averages for the three treatments. The ash was applied in September 2003.

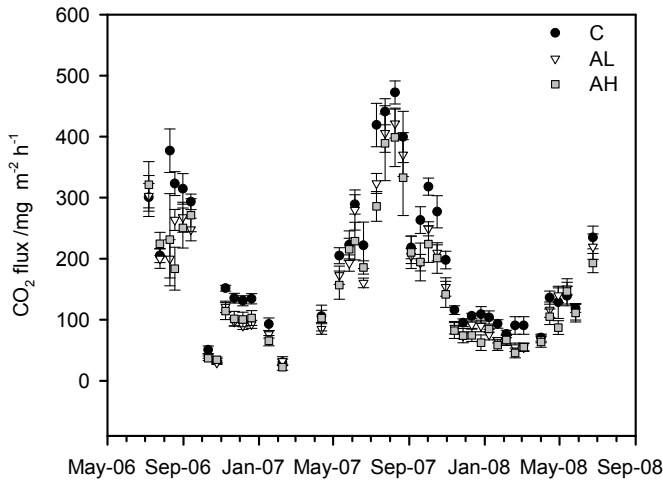
På den mer näringsrika försöksytan, som ligger mellan Uddevalla och Vänersborg, mättes gasflöden i två år efter askning och det visade sig att flödena av både CO_2 och N_2O från marken var mindre där askan spridits (Ernfors, 2009) (Figur 5 och 6). När det gäller CO_2 är det oklart varför flödet minskade, men för N_2O var det troligen det ökade pH-värdet efter askning som ledde till att balansen mellan produktion av N_2O och vanligt luftkväve (N_2) försköts. På den näringsrika försöksytan återupptas mätningarna under hösten 2009, efter ca ett

års avbrott, för att undersöka om effekterna på växthusgasflödena kvarstår på längre sikt.



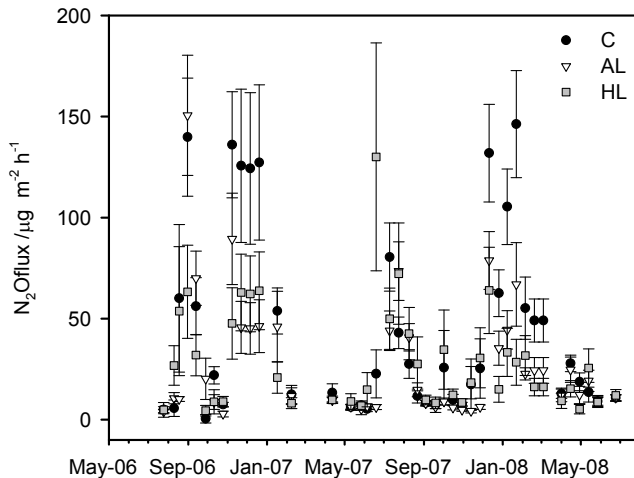
Figur 4. Växthusgasflöden, grundvattennivåer och marktemperaturer på en näringsfattig och väldikad skogsmark i södra Sverige (Anderstorp), under perioden 071001-080930. N₂O-flödena var i stort sett noll och visas inte. Nederbördsdata var inte tillgängligt för denna period. Marktemperaturerna är medelvärden för de tre behandlingarna. Aska spreds i september 2003.

Figure 4. Greenhouse gas fluxes, groundwater levels and soil temperature at a nutrient poor and well drained forest in southern Sweden (Anderstorp), over the period 01 October 2007 - 30 September 2008. The fluxes of N₂O were practically zero and are not shown. Precipitation data were not available for this period. The soil temperature values are averages for the three treatments. The ash was applied in September 2003.



Figur 5. CO₂-utsläpp från en näringsrik och väldikad skogsmark i södra Sverige (Skogaryd SV), under perioden 060707-080624. Aska spreds 060807-060808. C=kontroll, AL=3.3 ton bibränsleaska ha⁻¹, HL=6.6 ton bibränsleaska ha⁻¹.

Figure 5. CO₂ emissions from a nutrient rich and well drained forest in southern Sweden (Skogaryd SW) over the period 07 July 2006 - 24 June 2008. Ash was applied on 07-08 August 2006. C=control, AL=3.3 tonnes wood ash ha⁻¹, HL=6.6 tonnes wood ash ha⁻¹.



Figur 6. N₂O-utsläpp från en näringsrik och väldikad skogsmark i södra Sverige (Skogaryd SV), under perioden 060707-080624. Aska spreds 060807-060808. C=kontroll, AL=3.3 ton bibränsleaska ha⁻¹, HL=6.6 ton bibränsleaska ha⁻¹.

Figure 6. N₂O emissions from a nutrient rich and well drained forest in southern Sweden (Skogaryd SW) over the period 07 July 2006 - 24 June 2008. Ash was applied on 07-08 August 2006. C=control, AL=3.3 tonnes wood ash ha⁻¹, HL=6.6 tonnes wood ash ha⁻¹.

Beskogning av organogena jordbruksmarker

Eftersom utsläppen av CO₂ och N₂O är stora från jordbruk på organogen mark (se t.ex. Maljanen m.fl., 2007) så har det funnits intresse att undersöka om beskogning av dessa marker kan minska utsläppen. Resultatet av sådan beskogning är i allmänhet en dikad skogsmark som tillhör den mest näringsrika kategorin. Övergången från jordbruksmark till skogsmark innebär att gödsling och intensiv jordbearbetning upphör, samtidigt som träden tar upp mycket CO₂, och man har förväntat sig att detta skulle leda till minskningar i CO₂- och N₂O-utsläpp. I en finsk studie på tolv försöksytor med beskogad före detta jordbruksmark (torvmark och mark med ett tunt torvlager), drogs slutsatsen att CO₂-utsläppen från nedbrytningen i marken minskar efter beskogning (Mäkiranta m.fl., 2007). Om trädens upptag inkluderas kan CO₂-utsläppen från en organogen jordbruksmark minska betydligt under de första decennierna efter beskogning (Lohila m.fl., 2007, Alm m.fl., 2007). Utsläppen av N₂O från de beskogade ytorna, i den nämnda finska studien (Mäkiranta m.fl., 2007), var ungefär lika stora som från liknande ytor som inte beskogats och som studerats tidigare (t.ex. Regina m.fl., 2004; Maljanen m.fl., 2007). Beskogning av jordbruksmark med höga halter organiskt material ser alltså tyvärr inte ut att kunna minska utsläppen av N₂O, åtminstone inte under de första decennierna.

Referenser

- Alm J, Shurpali NJ, Minkkinen K, Aro L, Hytonen J, Laurila T. Emission factors and their uncertainty for the exchange of CO₂, CH₄ and N₂O in Finnish managed peatlands. *Boreal Environment Research* 2007, 12, 191–209.
- Ernfors M. Greenhouse gas fluxes between drained forested peatlands and the atmosphere. Influence of nutrient status and wood ash fertilization. PhD thesis. Gothenburg University, Sweden, 2009.
- Ernfors M, von Arnold K, Stendahl J, Olsson M, Klemedtsson L. C:N ratio based estimates of nitrous oxide emissions from Swedish drained organic forest soils. *Biogeochemistry* 2007; 84:219-231.
- Klemedtsson L, von Arnold K, Weslien P, Gundersen P. Soil CN ratio as a scalar parameter to predict nitrous oxide emissions. *Glob Change Biol* 2005; 11: 1142-1147.
- Lohila A, Laurila T, Aro L, Aurela M, Tuovinen J-P, Laine J, Kolari P, Minkkinen K. Carbon dioxide exchange above a 30-year-old Scots pine planta-

- tion established on organic-soil cropland. *Boreal Environment Research* 2007; 12, 141-157.
- Malmström C. 1935. Om näringsförhållandenans betydelse för torvmarkers skogsproduktiva förmåga. *Meddelanden från Statens Skogsförsöksanstalt* 28, 571–650.
- Maljanen M, Hytönen J, Mäkiranta P, Alm J, Minkkinen K, Laine J, Martikainen, P.J. Greenhouse gas emissions from cultivated and abandoned organic croplands in Finland. *Boreal Environment Research* 2007; 12, 133-140.
- Minkkinen K, Laine J. Vegetation heterogeneity and ditches create spatial variability in methane fluxes from peatlands drained for forestry. *Plant and Soil* 2006; 285, 289-304.
- Minkkinen K, Penttilä T, Laine J. Tree stand volume as a scalar for methane fluxes in forestry-drained peatlands in Finland. *Boreal Environment Research* 2007; 12, 127-132.
- Moilanen M, Silfverberg K, Hökkä H, Issakainen J. Comparing effects of wood ash and commercial PK fertilizer on the nutrient status and stand growth of Scots pine on drained mires. *Baltic For* 2004; 10, 1392-1355.
- Moilanen M, Silfverberg K, Hökkä H, Issakainen J. Wood ash as a fertilizer on drained mires – growth and foliar nutrients of Scots pine. *Can J Forest Res* 2005; 35, 2734-2742.
- Mäkiranta P, Hytönen J, Aro L, Maljanen M, Pihlatie M, Potila H, Shurpail NJ, Laine J, Lohila A, Martikainen PJ, Minkkinen K. Soil greenhouse gas emissions from afforested organic soil croplands and cutaway peatlands. *Boreal Environment Research* 2007; 12, 159-175.
- Regina K, Syväsalto E, Hannukkala A, Esala M. Fluxes of N₂O from farmed peat soils in Finland. *European Journal of Soil Science* 2004; 55, 591-599.
- Saarnio S, Minkkinen K, Maljanen M, Laine J. The carbon balance and greenhouse gas exchange in peatlands. In: Korhonen R, Korpela L, Sarkkola S, editors. *Finland-Fenland. Research and sustainable utilisation of mires and peat*. Finnish Peatland Society, Maahenki Ltd, 2008, pp. 56-66.

von Arnold K. Forests and greenhouse gases. Fluxes of CO₂, CH₄ and N₂O from drained forests on organic soil. Linköping Studies in Arts and Science No 302, PhD thesis. Linköping University, Sweden, 2004.

von Arnold K, Hånell B, Stendahl J, Klemedtsson L. Greenhouse gas fluxes from drained organic forestland in Sweden. *Scandinavian Journal of Forest Research* 2005; 20:400-411.

Vägverket. Vinst varje mil – lär dig knepen som får tanken att räckta längre. Vägverket, Borlänge, 2009.

Klimatförändringen och avvattningen i landskapet

Lennart de Maré

F.d. verksam vid Vattenenheten, Jordbruksverket

Sammanfattning

Klimat- och sårbarhetsutredningen har uppmärksammat samhällets sårbarhet när det gäller landskapets avvattning och föreslår särskilda informationsinsatser inför den nödvändiga anpassningen till det framtida klimatet. Jordbruksverkets vattenenhet har genomfört ett sådant projekt riktat till odlingslandskapets aktörer. Ökade flöden kan förväntas under hela året, dock av olika karaktär under sommaren jämfört med övriga årstider. Markavvattningssystemen i landskapet, d.v.s. täckdiken, ledningar, diken, vattendrag och invallningar, behöver anpassas till dessa högre flöden, liksom till högre vattenstånd i vattendrag, sjöar och hav. Anledningen härtill är lika mycket tillkommande samhällsutbyggnad som ursprungligt jordbruk. Till anpassningsproblemen hör några centrala juridiska frågeställningar.

Introduktion

Klimatets förändringar under de närmaste decennierna kommer att påverka förutsättningarna för jordbruk och andra verksamheter i det svenska landskapet. Klimatet blir generellt varmare och nederbörden ökar, särskilt vinter och vår. Sommarsäsongerna blir torrare, men inslagen av häftig nederbörd ökar. Detta innebär för jordbrukets del att odlingszonerna förskjuts norrut och att växtsäsongerna blir längre med brukningstidpunkter utsatta för större nederbörd. Infrastruktur, bebyggelse och andra verksamheter blir också utsatta för större vattenmängder med ökad risk för och större konsekvenser av översvämningar.

Klimat- och sårbarhetsutredningen (SOU 2007:60) uppmärksammade dessa scenarier och påpekade att odlingslandskapets tekniska system måste anpassas till det framtida klimatet. När det gäller avvattningen i landskapet, är det täckdikningar, öppna diken, ledningar och invallningar som står i fokus. Från att tidigare främst ha varit utformade för jordbrukets behov, har systemen alltmer kommit att betjäna andra samhällsbehov, i regel känsligare för översvämningar och i större behov av säkrare avvattning. Markavvattningssystemen ska verka under lång tid, minst 50 år, men ofta mycket längre än så. Det innebär att an-

läggningarna redan nu måste planeras och dimensioneras för klimatsituationer som råder om 50-100 år.

Utredningen föreslår i det sammanhanget bland annat att Jordbruksverket i samarbete med jordbrukets organisationer genomför utökade informationsinsatser till jordbrukare kring klimatförändringen och dess effekter på jordbruket och miljön. I stället för att avvakta regeringens uppdrag, ansökte verkets vattenenhet om medel från landsbygdsprogrammet för att snabbt kunna påbörja ett sådant informationsarbete riktat till alla aktörer i odlingslandskapet. Förhoppningen är att kunna underlätta beslut om åtgärder och investeringar för framtiden.

Projektet, som leddes av författaren, är nu avslutat. Det direkt synliga resultatet är fem informationsdelar som behandlar täckdikningen, dikningsföretaget, invallningen, juridiken och bevattningen.

Detta föredrag gör nedslag i de tre första avrinningsrelaterade delarna och i några juridiska aspekter. Ytterligare material om klimatförändringarnas inverkan på jordbruket och om den omvända frågan – jordbrukets inverkan på klimatet – finns på exempelvis Jordbruksverkets webbplats (www.jordbruksverket.se). De nämnda informationsdelarna kan laddas ner efter klick vidare till >Alla blanketter och trycksaker>Växt, miljö och vatten>Trycksaker>Vatten.

Förändrade avrinningsmönster

Med utgångspunkt från regionaliserade och månadsvisa scenarier för klimatrelaterade variabler kan förändrade mönster i framtida avrinning förutspås. Ett exempel på resultat från sådana scenarier ges i tabell 1 för sju regioner: 1. Sydvästra Götaland, 2. Sydöstra Götaland, 3. Nordvästra Götaland, 19. Vänern och Vättern, 4. Nordöstra Götaland, 7. Östra Svealand och 10. Södra Norrlands kustland.

Tabell 1. Klimatförändringar per region och säsong till år 2100 baserade på SMHI/Rosby Center regionaliserade klimatmodeller och medelvärde från utsläpps-scenarierna A2 och B2

Table 1. Climate changes per region and season over the next hundred years based on the SMHI/Rosby Center regionalized climate models and mean values of emission scenarios A2 and B2

| <u>Variabel</u> | Regioner, regions | | | | | | |
|--|--------------------------|---------------|---------------|----------------|---------------|---------------|----------------|
| | 1. SVG | 2. SÖG | 3. NVG | 19. VOV | 4. NÖG | 7. ÖSV | 10. SNK |
| Temperatur, ändring grader C <i>Temperature change (°C)</i> | | | | | | | |
| Vår <i>spring</i> | 4,6 | 4,9 | 4,7 | 6,4 | 5,0 | 5,2 | 5,4 |
| Sommar <i>summer</i> | 4,3 | 4,4 | 4,2 | 4,6 | 4,3 | 4,0 | 3,5 |
| Höst <i>autumn</i> | 4,1 | 4,2 | 4,1 | 4,2 | 4,2 | 4,1 | 4,6 |
| Vinter <i>winter</i> | 5,5 | 5,6 | 5,5 | 5,8 | 5,7 | 6,1 | 6,2 |
| Sista vårfrostdatum, ändring dagar, <i>Change of last day with frost in spring (days)</i> | | | | | | | |
| | -41 | -31 | -35 | -60 | -32 | -30 | -26 |
| Vegetationsperiod, ändring dagar medelår, <i>Change of vegetation period (days)</i> | | | | | | | |
| | 60 | 99 | 100 | 115 | 110 | 105 | 66 |
| Nederbörd, ändring % <i>Change of precipitation (%)</i> | | | | | | | |
| Vår <i>spring</i> | 6 | 9 | 11 | 20 | 14 | 15 | 8 |
| Sommar <i>summer</i> | -30 | -22 | -26 | -19 | -23 | -12 | 2 |
| Höst <i>autumn</i> | 16 | 15 | 15 | 17 | 17 | 25 | 30 |
| Vinter <i>winter</i> | 57 | 45 | 62 | 48 | 37 | 39 | 42 |
| Extremnederbörd 7 dygn, ändring %, <i>Change of extreme precipitation 7 days</i> | | | | | | | |
| | 18 | 13 | 17 | 13 | 8 | 8 | 13 |

Förändringen i avrinning följer i stort sett samma mönster som nederbördens. Den förhöjda temperaturen och därmed följande ökade avdunstningen kompenserar inte nederbördens ökning fullt ut. Vi får således räkna med ökad avrinning vår, höst och vinter. Genom tidigare brukningsstart och förlängd växtsäsong kommer avvattningen att behöva förstärkas för odlingsändamål. Även andra samhällsfunktioner beroende av avvattning ställs inför nya problem. Sommarnederbörden minskar totalt sett med minskad avrinning som följd. Genom att de intensiva regnen ökar både till storlek och frekvens, blir avvattning och översvämningsskydd en realitet även sommartid. Förmodligen kommer vi att få de största översvämningssvårigheterna just sommartid. Vi kan också förvänta oss att översvämningar uppträder oftare. Dagens 100-årsflöden kan förväntas uppträda cirka vart 20 år i framtiden.

Avvattningssystemen – påverkan och anpassningsåtgärder

Odlingslandskapets avvattning är ett komplext system med täckdiken på jordbruksmarken, rörledningar och öppna diken, ursprungligen för jordbruksmark men alltmer tjänande andra verksamheter, reglerade vattendrag samt invallningar där de stora värdena numera representeras av översvämningsskydd för viktig samhällsinfrastruktur. Uppemot hälften av landets åkermark är täckdikad och landskapet genomkorsas av storleksordningen 30 000 legaliserade markavvattningsföretag. Därtill kommer ett stort antal företag som inte har legaliserats i formell prövningsprocess. Ökande avrinning och stigande vattennivåer påverkar således stora arealer av vårt landskap.

Täckdiken

De ökade nederbördsmängderna och högre temperaturerna ger effekter framför allt på lerjordar. Markpackningen ökar och jordens genomsläpplighet minskar. I södra Sverige riskerar tjälens luckrande inverkan att helt utebli. I norra Sverige kan tjäle förväntas även fortsättningsvis trots den stora temperaturökningen vintertid. Å andra sidan medför avsaknad av snötäcke att risken för frostsador och isbränna på vallgröda. Alla dessa strukturskador motverkas med en fungerande dränering.

Anpassning till framtida klimatförhållanden kan då vara att minska avstånden mellan grenledningar, t.ex. lägga nya grenledningar mellan de äldre. En viktig åtgärd just på lerjordar är att grusa noggrant över täckdikena så att genomsläppligheten förbättras. Även återfyllningen bör göras noggrant så att matjorden når ända ner till grusningen. Det är också viktigt att minimera jordpackningen. Bearbetning vid torra tillfällen är alltid att föredra. Det är också till fördel, och alltmer vanligt förekommande, att koncentrera jordtrycket till fasta körspår för att spara odlingsytorna från packning.

Dikningsföretag

Ledningar och öppna diken påverkas både av ökad och av minskad avrinning. I kustområdena sker också en påverkan av ökat havsvattenstånd. Den minskade avrinningen medför främst ökad igenväxning i öppna diken och därmed ökat behov av underhåll.

Ökade flöden leder till dämning- och översvämningsskador. De klimatrelaterade ökningarna kommer utöver de ökningarna vi redan nu har erfarenhet av i form av belastning från alltmer utbyggda dagvattensystem. Den dagvattenrelaterade samhällsutbyggnaden är samtidigt mer känslig för återkommande översvämningar. Jordbruksgrödor klarar i stor utsträckning att det står vatten på åkern en kortare tid. Dikningsföretagen var en gång dimensionerade för frekventa, men korta, översvämningar. Det gäller för ledningar och diken i sig, men även för broar och trummor, som med dagens belastning utgör lokala dämningshinder i avvattningssystemen. Dagens infrastruktur och bebyggelse klarar inte dessa dämningar och översvämningar. Kraven på fungerande avvattningssystem är betydligt högre idag.

Inför kommande anpassningsåtgärder är det viktigt att dikningsföretaget uppdateras. Dels behöver företaget, samfälligheten, en verksam och aktiv styrelse, som tar till vara företagets intressen. Ett viktigt intresse är att företaget hålls i stånd genom erforderligt underhåll av diken, ledningar och andra anläggningar. Just underhållet är centralt och ett närmast strikt ansvar gäller för skador, som kan relateras till bristande underhåll. Det är också värdefullt att kartlägga dikningsföretagets fysiska status för att få ett grepp om förändringar i form av mer eller mindre lagliga inkopplingar på systemet. Det är särskilt angeläget när flödesgenererande dagvatten har kopplats på.

Styrelsen har också ett ansvar att bevaka att kommunala och infrastrukturella utbyggnadsplaner beaktar dikningsföretagets existens och lägger in flödesutjämnande och renande anläggningar så att utsläppen inte i onödan påverkar dikningsföretagen. Om påverkan ändå sker, bör dikningsföretaget omprövas med hänsyn till uppkomna förändringar. Då finns en god grund för att även beakta kommande klimatförändringar.

Invallningar

Ett invallningsföretag utgörs av invallad mark med dess avvattningssystem och en vall som skyddar mot högre vattenstånd utanför vallen. Dessutom behövs pumpar för att lyfta ut det tillrinnande dräneringsvattnet. Invallningarna kan sägas vara dimensionerade enligt två principer och påverkas olika av högre vattenstånd beroende på om de skyddar mot vattendrag eller sjö/hav.

Vattenståndsändringarna i ett vattendrag sker relativt snabbt. Variationerna i vattenstånd är stora, men de farliga höga vattenstånden är vanligtvis kortvariga. Invallningarna mot vattendrag är därför inte dimensionerade för att klara de högsta vattenstånden, utan när dessa inträffar tillåts vattnet att flöda över val-

larna och in i invallningsområdet. Översvämningen blir dock i regel kortvarig och inträffar dessutom vanligen utanför den egentliga växtsäsongen. Det är dock till ringa tröst för känsliga samhällsanläggningar beroende av invallningen.

Invallningar mot sjöar är vanligen dimensionerade att stå emot de högsta vattenstånden. Dels är vattenståndsvariationerna inte så stora som vid vattendrag, dels får ett överflöde eller vallgenombrott förödande konsekvenser. Översvämningen sker snabbt och den blir också långvarig, eftersom det tar lång tid för det stora vattenmagasinet att sjunka undan.

Liksom för dikningsföretagen är det viktigt att invallningsföretagen uppdateras med styrelse, kartläggning och erforderligt underhåll av diken, vallar och pumpstationer. Genom att de invallade områdena regelmässigt har byggts ut med ny infrastruktur och bebyggelse, finns grund för omprövning för anpassning till nya förutsättningar och förändrat klimat.

Juridiska aspekter och försäkringsfrågor

En betydande del av informationsprojektet har varit att försöka bena ut några juridiska frågeställningar. Dessa frågeställningar har vi delat in i tre kategorier:

Tillåtlighet – Vad får jag göra för att klara min egen situation, min egen markanvändning? Frågan är berättigad, eftersom vi behandlar markavvattningsföretag, dit också anordningar till skydd mot översvämningar hör, och ny markavvattning är förbjuden i praktiskt taget hela södra Sverige. Den kan tillåtas efter dispens från förbudet och obligatorisk tillståndsprövning.

Ansvar – Vad måste jag göra eller vad kan jag avstå från att göra med hänsyn till andras intressen? Är det jag som ägare till markavvattningsföretaget som måste agera, eller är det den skadelidande grannen eller den externe nyttjaren som ska svara för anpassningen?

Skador och försäkringar – Kan skadeståndsanspråk riktas mot mig som ägare? Kan jag försäkra mig mot skadestånd? Kan jag försäkra mig mot egna skador?

Den fortsatta beskrivningen av de tre kategorierna är hämtad från sammanfattningen av informationsdelen Klimatförändringarna och juridiken.

Tillåtlighet

Anpassning av markavvattningsföretagets anläggningar till nya klimatrelaterade avrinningsförhållanden kan jämföras med det av regeringen införda begreppet kompensationsdikning och avser att bibehålla de ursprungliga markavvattningsbetingelserna. Åtgärderna är därför inte markavvattning i miljöbalkens mening och därmed inte heller förbjudna. De utgör en form av defensiv vattenverksamhet och kan därför inte karaktäriseras som annan tillståndspliktig vattenverksamhet. Det innebär att jag får anpassa mina system till förändrade situationer, men anmälan för samråd kan bli aktuell och åtgärderna ska förstås utföras med den försiktighet som miljöbalkens hänsynsregler uppmanar till.

Ansvar

Underhållsansvaret är det centrala. Skyldigheten att underhålla sitt markavvattningsföretag är i det närmaste strikt. Den gäller även mot utomstående intressen som är beroende av anläggningarnas funktion. Däremot finns ingen skyldighet att med hänsyn till skaderisken uppgradera systemet till de nya avrinningsförhållandena. Det är den befintliga anläggningen som ska underhållas.

Ansvar för skador omfattar all egendom som kan påverkas, vare sig den fanns när företaget utfördes eller har kommit till senare. För nya intressen, som är beroende av längre gående avvattning än systemet är utformat för, finns möjligheten att ompröva det legaliserade företaget eller söka tillståndsprövning av ej legaliserade företag. Markavvattningsföretaget självt kan också ha ett eget intresse av omprövning för att säkerställa funktion och kostnadsdelaktighet till följd av förändrade förutsättningar.

Skador och försäkringar

En vattenverksamhet som drivs och underhålls helt enligt ett givet tillstånd, kan inte råka ut för skadestånd. Det är bara om verksamhetsutövaren inte följer bestämmelser och villkor i tillståndet som skadestånd kan bli aktuellt. Om vattenverksamheten, t.ex markavvattningsföretaget, drivs utan tillstånd, har verksamhetsutövaren hela ansvaret och bevisbördan när det gäller skadestånd.

Styrelseförsäkringar och samfällighetsförsäkringar är ovanliga i markavvattningssamfälligheter. Det hänger främst samman med att försäkringarna förutsätter samfällig egendom, vilket inte är så vanligt förekommande i markavvattningssamfälligheter. Det vanliga är att delägarna i företagen är försäkrade ge-

nom ansvarsmomenten i sina lantbruks- eller hemförsäkringar. Sådana försäkringar täcker inte in vårdslöshet. Om bristande underhåll kan anses vara vårdlöst förfarande, har ännu inte ställts på sin spets när det gäller markavvattningsföretag. Oavsett vilket har ändå den skadelidande ett eget ansvar att förebygga uppenbara skaderisker för att försäkringsersättning ska falla ut.

Referenser

SOU 2007:60. Sverige inför klimatförändringarna – hot och möjligheter. Klimat- och sårbarhetsutredningen.

www.jordbruksverket.se. Information om klimatförändringarnas inverkan på jordbruket och om jordbrukets inverkan på klimatet samt fem informationsdelar om anpassning av odlingslandskapets avvattningssystem till klimatförändringen.

Ökade humushalter i ytvatten - en effekt av klimat eller återhämtning från försurning?

Stefan Löfgren

Institutionen för vatten & miljö, SLU, Uppsala

Sammanfattning

Statistiskt signifikant ökande humushalter (brunare vatten) har konstaterats under de senaste 20 åren i sjöar och vattendrag i Sverige och andra delar av Europa, Kanada och USA. Flera olika processer har föreslagits förklara dessa trender bl.a. ytligare flödesbanor för grundvatten betingade av mer nederbörd, återhämtning från försurning p.g.a. minskad svaveldeposition, ändrad markanvändning, ökad skogsproduktion etc. Ett flertal studier visar att klimatiska faktorer har en avgörande betydelse för humusdynamiken. Nederbördsmängden och grundvattennivån är mycket viktiga faktorer för humusläckaget från marken till sjöar och vattendrag. Svenska ytvatten och skogsjordar uppvisar tydliga signaler på återhämtning från försurning. Studier i ett 70-tal områden i södra Sverige visar dock att humushalterna i markvattnet minskat under de senaste 20 åren, vilket indikerar att återhämtningen från försurning inte har någon påtaglig betydelse för de ökande humushalterna.

Oavsett om klimatförändringarna som vi registrerar är orsakade av människan eller uppstår naturligt, kommer de att få konsekvenser för humushalten i våra sjöar och vattendrag. De flesta modellsimuleringarna av Skandinavien's framtida klimat indikerar ökande temperatur och nederbörd särskilt höst och vinter. Om dessa scenarior är riktiga kommer humushalterna att fortsätta öka. Om även återhämtningen från försurning inverkar på humushalterna, vilket ännu inte är helt klarlagt, kan detta förstärka climateffekterna. Dessutom har man ställt frågan om den ökande skogsproduktionen ökar förråden av organiskt material i marken, vilket skulle kunna bidra till ökat humusläckage till sjöar och vattendrag. Dessa frågor bör fortsätta att följas upp och utvärderas i framtiden.

Humus kommer från marken

Humusämnen, *humus*, är de brunfärgade substanser som kommer ut från en jord om man bevattnar den. Den gula och bruna färgen skapas av stora och komplexa organiska kolföreningar, som i huvudsak härstammar från nedbrytningen av döda växt- och djurdelar. De kan också till viss del härstamma från

utsöndring av organiska ämnen från levande mikroorganismer, växter och djur. Humus är en betydelsefull faktor för sjöarnas och vattendragens ekologi genom att den påverkar transporten och biotillgängligheten av oorganiska och organiska näringsämnen. Humusämnena minskar normalt giftigheten hos tungmetaller och organiska föroreningar i miljön, och deras syra-bas egenskaper är väldigt viktiga för sjöarnas och vattendragens surhetstillstånd. Många ytvatten är naturligt sura ($\text{pH} < 6$) på grund av humus. Humusämnen är svåra att få bort ur råvattnet vid vattenverken och försämrar dricksvattenkvaliteten. I Sverige använder ca 50% av befolkningen dricksvatten där råvattnet utgörs av ytvatten.

Ökande humushalter under 1990-talet

Humushalterna i 344 referenssjöar i Norge, Sverige och Finland övervakades under 1990-talet. Den mänskliga påverkan på vattenkvaliteten i dessa sjöar är begränsad till atmosfäriskt nedfall och skogsbruk. Regionalt statistiskt säkerställt ($p < 0,05$) ökande humushalter återfanns i huvudsak i sjöar i sydöstra Norge och i södra Sverige (Figur 1). Statistiskt signifikant ökande humushalter har även konstaterats i 28 svenska vattendrag sedan 1970-talet (Erlandsson et al. 2008). Liknande humustrender har även rapporterats under de senaste 20 åren i sjöar och vattendrag i andra delar av Europa, Kanada och USA. Flera olika processer har föreslagits förklara dessa trender bl.a. ytligare flödesbanor för grundvatten betingade av mer nederbörd, återhämtning från försurning p.g.a. minskad svaveldeposition, ändrad markanvändning, ökad skogsproduktion etc.

Klart vatten i Norge och färgade vatten i Sverige och Finland

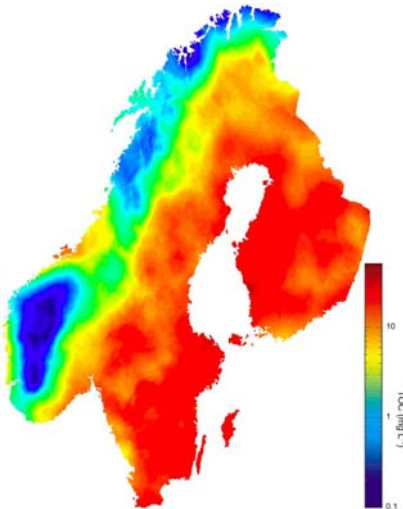
Ytvatten uppvisar stora geografiska och tidsmässiga variationer i humushalt. Studier av små nordiska bäckar i fjäll- och skogsområden visar att det årliga läckaget av organiskt material, mätt som totalt organiskt kol (TOC) varierar mellan 10 och 200 $\text{kg C ha}^{-1} \text{år}^{-1}$.

En nordisk inventering utfördes 1995 i ungefär 4 900 sjöar. Halten organiskt material, mätt som totalt organiskt kol (TOC), analyserades i varje sjö. Extremt låga humushalter återfanns i de alpina delarna av Norge (Figur 2). I dessa klarvattensjöar med en TOC-halt ofta under 1 mg/l, kan siktdjupet ofta vara betydligt över 10 meter. De mest färgade vattnen återfanns i sydöstra Sverige och i Finland, med TOC-halter ofta över 20 mg/l. Siktdjupet i dessa sjöar överskrider sällan 1 meter, och vissa av dem har en färg som påminner om kaffe.



Figur 1. Område med ökande humushalter (TOC) i referenssjöarna under 1990-talet. Figur från Löfgren et al. 2003

Figure 1. Area of Fennoscandia with increasing humus (TOC) concentrations in the reference lakes during the 1990's. Figure from Löfgren et al. 2003.



Figur 2. Humushaltens (mg TOC/L) variation 1995 i ca 4900 sjöar i Norge, Sverige och Finland. Figur från Löfgren et al. 2003

Figure 2. The humus concentration (mg TOC/L) variation 1995 in ca 4900 lakes in Norway, Sweden and Finland. Figure from Löfgren et al. 2003.

Dessa humusgradienter orsakas i huvudsak av olika stor tillförsel av humus från markerna på grund av skillnader i klimat, jordmån och vegetationstyp, men de påverkas även av interna processer i vattensystemen som sedimentation, fotooxidation, mineralisering etc. Höga humushalter förekommer i myr- eller skogklädda områden med få sjöar, d.v.s. i områden med stora kolförråd i marken och korta omsättningstider på vattnet. Låga humushalter återfinns i regioner med sparsam vegetation, svagt utvecklade organiska jordar och stora sjöar (små kolförråd i marken och långa omsättningstider på vattnet). Humushalterna är normalt högre i de övre delarna av vattensystemen jämfört med

längre nedströms. Denna kunskap är inte ny. Redan 1929 konstaterade J.V. Eriksson att “Envar som blott i förbigående ägnat våra skogstrakters bäckar och åar någon uppmärksamhet, har säkerligen observerat följande fakta. De smärre skogsbackarna ha ofta mörkbrunt vatten, särskilt om de avvattnar myrmarker. Då de utfalla i större åar, konstaterar man, att dess vatten är ljusare i färgen. Även om de flesta tilloppen till en sjö ha mörkbrunt vatten, företar avloppet från sjön icke desto mindre ett ljusare vatten, i varje fall icke mörkbrunt, om sjön är av någorlunda stor volym”.

Halten organiskt material som mättes i början på 1900-talet (1916-1925) är i god överrensstämmelse med mätningar från de senaste årtiondena (1965-2001), både i vattendrag i centrala och norra Sverige samt i ett inlopp till Vättern (Domneån, Tabell 1). Dessa data visar att det inte skett några dramatiska förändringar i humusinnhållet det senaste århundradet.

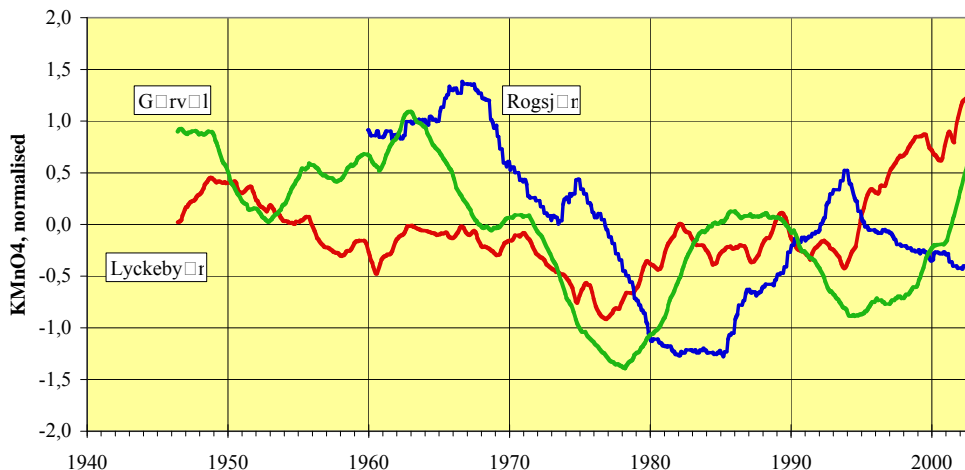
Tabell 1. Uppmätta humushalter (mg KMnO_4/L) i 8 olika vattendrag i början och slutet på 1900-talet. Tabell från Löfgren et al. 2003

Table 1. Humus concentrations measured as KMnO_4 consumption in 8 Swedish rivers during the early and late 20th century. Table from Löfgren et al. 2003.

| Vattendrag | Tidsperiod | Medel KMnO_4 (mg/l) | Sdev KMnO_4 (mg/l) | Antal obs |
|----------------|------------|------------------------------------|-----------------------------------|--------------|
| Domneån | 1916-1925 | 61.3 | 16.2 | 51 |
| | 1966-2001 | 71.4 | 31.2 | 375 |
| Klarälven | 1916-1923 | 23.4 | 7.7 | 37 |
| | 1965-2000 | 28.4 | 9.2 | 426 |
| Ljusnan | 1916-1923 | 30.3 | 7.5 | 37 |
| | 1969-2001 | 36.0 | 13.8 | 356 |
| Ljungan | 1916-1923 | 23.6 | 4.3 | 36 |
| | 1969-2001 | 25.6 | 5.1 | 389 |
| Indalsälven | 1916-1923 | 19.9 | 2.4 | 35 |
| | 1969-2001 | 18.1 | 4.5 | 364 |
| Skellefteälven | 1916-1923 | 16.2 | 10.5 | 31 |
| | 1969-2001 | 17.3 | 8.3 | 382 |
| Piteälven | 1916-1923 | 13.2 | 4.6 | 34 |
| | 1967-2001 | 14.6 | 7.9 | 412 |
| Abiskojoek | 1919-1923 | 6.2 | 2.9 | 19 |
| | 1982-2000 | 5.2 | 5.1 | 226 |

Cykliska långtidsvariationer i vädret påverkar humushalterna

Varje vattensystem uppvisar stora variationer i humushalt både säsongsmässigt och mellan år. Den långsiktiga variationen är långt ifrån enkla linjära trender utan resultaten tyder på mer eller mindre cykliska förlopp (Figur 3). I Lyckebyån ökade humushalterna i början på 1940-talet och var över medel under ett 10-tal år runt 1950, varefter den minskade till ett minima 1976. Därefter ökade humushalten långsamt och nådde 1993 återigen medelnivån. I början på 2000-talet nådde humushalten sitt maxima. Resultaten från Rogsjön och Görväln indikerar också cykliska trender, men med varierande amplitud och periodicitet. Humusfluktuationerna i Görväln ser ut att vara nästan i fas med eller något fördröjd (< 2 år) i förhållande till Lyckebyån, medan Rogsjön förefaller fördröjd med 4-7 år i förhållande till Lyckebyån. Dessa fasförskjutningar indikerar att vattnets uppehållstid är en viktig faktor som påverkar tidpunkten för när humustoppar infaller i olika vattensystem.



Figur 3. Fem års (60 månader) glidande medelvärde för den normaliserade humushalten (mg KMnO_4/L) sedan 1940 i Lyckebyån (Karlskrona), Rogsjön (Falun) och sjön Görväln (Stockholm). Figur från Löfgren et al. 2003

Normaliserat värde = (observerat värde – medelvärde) / standardavvikelse

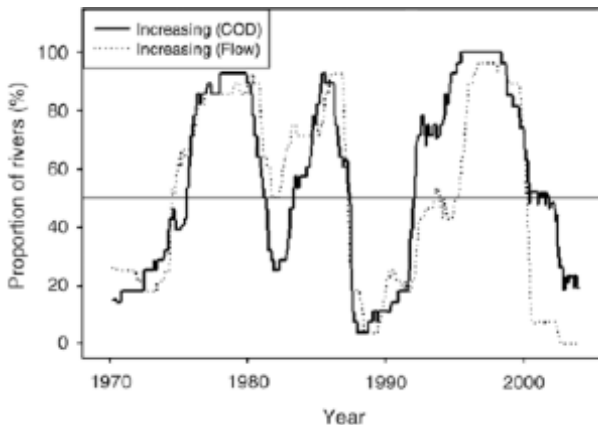
Figure 3. Five years (60 months) moving average on the normalised humus concentrations measured as KMnO_4 consumption, since the 1940's in river Lyckebyån, Lake Rogsjön and Lake Görveln.

Normalised value = (observed value – mean value) / standard deviation.

Humushalten ökade i början på 1940-talet i Lyckebyån (Figur 3). Detta sammanföll med en period med ökande lufttemperatur, ökande nederbörd och kortare perioder med snötäckt mark vintertid. Minskningen under sent 1960-tal och tidigt 1970-tal sammanföll med en period med ökande lufttemperatur,

minska nederbörd och kortare perioder snötäckt mark. Ökningen i humushalt under sent 1970-tal och tidigt 1980-tal sammanföll med en period med lägre lufttemperatur, mer nederbörd och längre perioder med snötäckt mark än normalt. Högre lufttemperatur och kortare perioder med snötäckt mark karakteriserade 1990-talet. I Lyckebyåns avrinningsområde, där humushalterna ökade, var nederbörden högre än normalt. Nederbörden varierade mycket mera och var i medeltal lägre än normalt i mitten på 1990-talet i de andra två områdena.

De storskaliga cykliska mönstren i de tre vattensystemen visar att klimatiska faktorer har en avgörande betydelse för humusdynamiken. Nederbörds mängden är uppenbarligen en mycket viktig faktor för humusläckaget från marken, vilket påverkar humusnivån i vattensystemen. För Lyckebyån är det ett statistiskt signifikant positivt samband mellan årlig genomsnittlig humushalt och årlig nederbörds mängd. Inget sådant samband kunde påvisas i Görvälån och Rogsjön på grund av de längre vattenomsättningstiderna och den därmed förskjutna humusdynamiken. Ett positivt samband mellan vattenflöde och humushalt har dock påvisats för Rogsjön. Det senare har även konstaterats i de 28 vattendrag för vilka det finns 35 års tidsserier över humushalten (Figur 4, Erlandsson et al. 2008). I Lyckebyån återfanns inget samband mellan de årliga medelvärdena för humushalt och lufttemperatur eller längden på perioden med snötäckt mark.



Figur 4. Andelen (%) vattendrag som uppvisat ökande humushalt (COD = KMnO_4) respektive vattenföring. Figur från Erlandsson et al. 2008.

Figure 4. The share (%) of running waters exhibiting increased humus concentrations (COD = KMnO_4) and runoff, respectively. Figure from Erlandsson et al. 2008.

Episodiskt höga humushalter till följd av vädrets årstidsvariationer

Variationen i den maximala humushalten mätt som färgvärde varierade enormt mellan åren. Vintertid uppmättes maxvärdena från 81 till 178 mg Pt l^{-1} och sommartid från 81 till 224 mg Pt l^{-1} i Lyckebyån.

Under perioden 1940-2000 registrerades i Lyckebyån den högsta årliga humushalten (mätt som färg) 26 gånger vintertid (december-mars) och 26 gånger sommartid (juni-augusti). Typiskt för vintertopparna var att de sammanföll med år då klimatet under september-mars var kallare ($<1^{\circ}\text{C}$), torrare ($<25\text{ mm}$) och hade kortare perioder med snöklädd mark ($<15\text{ dagar}$) jämfört med ett normalår. Humustopparna sommartid sammanföll med år då våren och sommaren (april-augusti) var kallare och torrare jämfört med ett normalår.

Mellan 1945 och 1960 inträffade de maximala humushalterna vanligtvis vintertid (16 tillfällen), medan sommartoppar var sällsynta (3 tillfällen). Efter 1966 ändrades detta mönster och sommartoppar dominerade (23 tillfällen) medan vintertoppar blev mer sällsynta (10 tillfällen). Detta indikerar att höst och vinter blivit varmare och våtare, medan vår och somrar blivit kallare och torrare.

Perioder med höga humushalter i vattnen förefaller vara korrelerade med perioder med ökande nederbördsmängder, gärna över en tidsskala på 10 år eller mer. På motsvarande sätt är perioder med låga humushalter väl korrelerat med torrare år. I motsats till denna långsiktiga humusdynamik är de årligt förekommande humustopparna i Lyckebyån kopplade till kallt och torrt väder under de närmast föregående 5-7 månaderna.

En tolkning av de två tidsmässigt olika mönstren på humusdynamiken skulle kunna vara att ökande nederbördsmängder under flera år ökar grundvattennivån så att större mängder vatten kommer i kontakt med organiska jordar, över mer vidsträckta områden. Det mesta organiska materialet (mer än 70%) är ansamlat i den översta delen av mineraljorden förutom i mossar, myrar och kärr där det mesta är samlat i torven. Sommar- och vintertopparna skapas sannolikt när grundvattennivåerna temporärt minskar och då ytvattnet primärt tillförs från myrmarker och andra permanenta utströmningsområden rika på organiskt material. Det finns många studier från norra Sverige som visar betydelsen av utströmningsområdena för de kortsiktiga svängningarna i bäckarnas humushalter. Utströmningsområden är strandnära områden där grundvattnet tränger ut och bildar ytvatten.

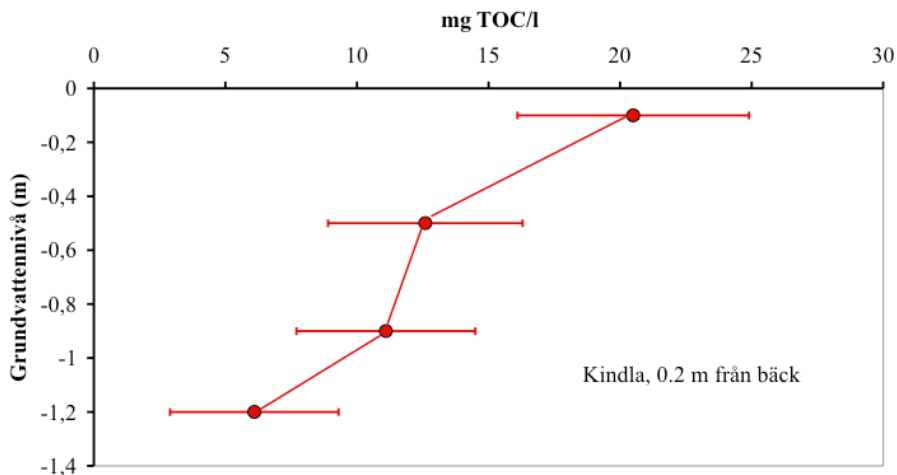
Utströmningsområdena viktiga för humushalterna

I Figur 5 visas humushalten (mg TOC/L) i grundvattnet på olika markdjup vid bäckkanten (0,2m från bäcken) i ett utströmningsområde vid IM-området i Kindla. Resultaten visar att vid hög nederbörd och snösmältning (höga grundvattennivåer) så kommer humushalten i bäcken att öka eftersom det finns mer

humus i de övre delarna av markprofilen som innehåller mycket organiskt material.

Vid sidan om klimatet orsakas skillnaderna i humusdynamik mellan olika områden av att de organiska jordarna är lokaliserade till olika delar i avrinningsområdena. Torvklädda marker är sannolikt mycket viktiga för humusdynamiken vid låg vattenföring. Under flödesepisoder är grundvattnet i hög grad i kontakt med organiska jordar i utströmningsområdena i andra delar av avrinningsområdet, vilket ger upphov till humustoppar. I avrinningsområden med väl utvecklad topografi och liten andel organiska jordar i anslutning till bäcken sker under flödesepisoder en utspädning av grundvatten från mer minerogena jordar i de övre delarna av avrinningsområdet, samt av vatten som rinner ovanpå och i "kanaler" i torven.

Stora avrinningsområden består av ett otal små avrinningsområden. Delavrinningsområdena har olika karaktärer och de är lokaliserade i komplicerade mosaikliknande mönster, ibland innehållande sjöar. Humushalterna i utloppet till stora avrinningsområden ger därför en integrerad bild av medelförhållandena med avseende på hydrologi, topografi och humusdynamik i avrinningsområdets alla små delar.

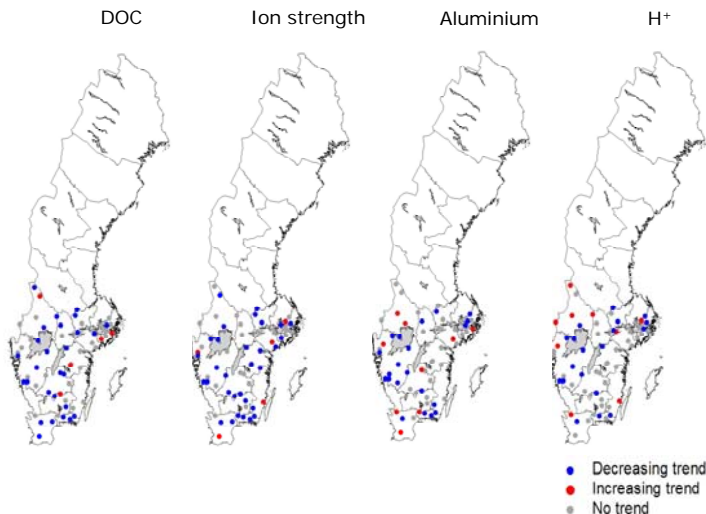


Figur 5. Humushalten (mg TOC/L) i grundvattnet på olika markdjup vid bäckkanten (0,2m från bäcken) i ett utströmningsområde vid IM-området i Kindla. Figur från Löfgren & Laudon 2004.

Figure 5. The humus (TOC) concentrations in groundwater at different soil depths in the stream bank (0.2m from the stream) in a discharge area at the IM site Kindla. Figure from Löfgren & Laudon 2004.

Humustrenderna och kopplingen till återhämtningen från försurning

Svenska ytvatten och skogsjordar uppvisar tydliga signaler på återhämtning från försurning. De ökade humushalterna skulle följaktligen kunna vara en effekt av ökat pH och minskade aluminiumhalter i marklösningen, vilket är faktorer som påverkar stabiliteten av det organiska materialet i marken. Dessutom kan den minskade jonstyrkan orsakad av de minskade sulfathalterna kunna öka exporten av humus från marken. Organiska anjoner (humusämnenas ytor är i huvudsak negativt laddade) kan teoretiskt balansera vittringen av positiva joner som kalcium för att kompensera för de sjunkande sulfathalterna. Om denna hypotes är korrekt, skulle humushalterna öka både i marklösningen och i de omgivande ytvattnen i takt med att pH stiger och tillförseln av joner som t.ex. sulfat minskar. Studier av markvattnet på 50 cm djup i ett 70-tal områden i södra Sverige visar dock minskande TOC-halter under perioden 1986-2008, vilket indikerar ökad fastläggning av TOC i de övre marklagren (Figur 5). Det är därför möjligt att de ökande TOC-halterna i ytvatten är kopplade till processer i utströmningsområden och torvmarker snarare än i de torrare markerna längre upp i sluttningarna. Denna hypotes testades på markvattendata från transekterna i IM-områdena i Aneboda och Kindla från perioden 1996-2007. Markvattnet insamlas med undertryckslosmetrar i E- och B-horisonterna i inströmningsområdet och på 30-40 cm jorddjup i utströmningsområdet.



Figur 6. Trender i humushalt (DOC), jonstyrka (Ion strength), aluminiumhalt och vätejonhalt (H⁺) i markvattnet på 50 cm markdjup under perioden 1986-2008. Zetterberg & Löfgren 2009.

Figur 6. Trends in humus (DOC) concentration, ion strength and aluminium and hydrogen (H⁺) concentrations in soil water at 50 cm soil depth during the period 1986-2008. Zetterberg & Löfgren 2009.

Endast 11 av 28 lysimetrar uppvisade statistiskt signifikanta TOC-trender, med dominans av minskande TOC-halter (Tabell 2). Sulfat, pH och jonstyrka (≈konduktivitet) uppvisade tydliga indikationer på återhämtning från försurning med svagt ökande pH samt minskande sulfat och jonstyrka i de flesta lysimetrarna. Resultaten från de studerade lysimetrarna stöder följaktligen inte hypotesen om *ökande* TOC-halter på grund av återhämtning från försurningen vare sig i inströmnings- eller utströmningsområdena i IM-områdena. Teoretiskt och oberoende av minskande TOC-halter i marklösningen kan de ökande TOC-halterna i ytvatten förklaras av ytligare flödesbanor för grundvattnet i utströmningsområdet dvs. beroende på ökad nederbörd. Att klimatet har stor betydelse för humushalterna i våra ytvatten stöds även av de 35-åriga trendstudierna i de 28 vattendragen (Erlandsson et al. 2008). Resultaten från dem visar att vattenföringen var den viktigaste förklaringsfaktorn och att en kombination av vattenföring och sulfathalt kunde förklara upp till 88% (vattens absorbans vid 420 nm) och 78% (KMnO₄) av den årliga variationen i humushalt. Från deras resultat går det följaktligen inte att utesluta att även den minskande sulfatdepositionen och återhämtningen från försurning har viss betydelse.

Tabell 2. Antalet lysimetrar i E-horisont, B-horisont och utströmningsområdet som uppvisar statistiskt säkerställda ($p < 0,01$) positiva (+) eller negativa (-) trender samt årlig förändring (max- och minvärde på lutningskoefficienten) med avseende på pH, konduktivitet, sulfat och TOC under perioden 1996-2007. Löfgren & Bringmark 2009 *Table 2. The number of lysimeters in the E-horizon, B-horizon and discharge area that exhibits statistically significant ($p < 0.01$) positive (+) or negative (-) trends as well as the annual change (minimum and maximum values on the slope) regarding pH, conductivity, sulphate and TOC during the period 1996-2007. Löfgren & Bringmark 2009*

| | E-horisont | | B- horisont | | Utströmningsområde | |
|-------------------------|------------|-----------------|-------------|-----------------|--------------------|-----------------|
| | +/- trend | min; max slope* | +/- trend | min; max slope* | +/- trend | min; max slope* |
| Kindla | | | | | | |
| n, lysimeter | 4 | | 6 | | 6 | |
| pH | 2/0 | 0.01; 0.02 | 5/0 | 0.01; 0.07 | 5/0 | 0.01; 0.07 |
| Cond, mS/m | 0/4 | -0.19; -0.09 | 0/5 | -0.14; -0.09 | 0/6 | -0.23; -0.08 |
| SO ₄ , µeq/l | 0/4 | -9; -8 | 0/6 | -12; -7 | 0/6 | -12; -5 |
| TOC, mg/l | 0/2 | -0.4; -0.3 | 1/3 | -0.1; 1.9 | 1/2 | -0.4; 0.3 |
| Aneboda | | | | | | |
| n, lysimeter | 0 | | 8 | | 4 | |
| pH | nd | nd | 6/1 | -0.03; 0.06 | 2/0 | 0.03; 0.04 |
| Cond, mS/m | nd | nd | 0/6 | -0.43; -0.11 | no trends | no trends |
| SO ₄ , µeq/l | nd | nd | 0/7 | -37; -4 | 0/3 | -11; -8 |
| TOC, mg/l | nd | nd | 1/3 | -0.5; 0.5 | 0/1 | 0.2 |

*Årlig förändring t.ex. µeq/l, år.

Slutsatser

Oavsett om klimatförändringarna som vi registrerar är orsakade av människan eller uppstår naturligt, kommer de att få konsekvenser för humushalten i våra sjöar och vattendrag. De flesta modellsimuleringarna av Skandinavien framtida klimat indikerar ökande temperatur och nederbörd särskilt höst och vinter. Om dessa scenarior är riktiga kommer humushalterna att fortsätta öka. Om även återhämtningen från försurning inverkar på humushalterna, vilket ännu inte är helt klarlagt, kan detta förstärka climateffekterna. Dessutom har man ställt frågan om den ökande skogsproduktionen ökar förråden av organiskt material i marken, vilket skulle kunna bidra till ökat humusläckage till sjöar och vattendrag. Dessa frågor bör fortsätta att följas upp och utvärderas i framtiden.

Osäkerheter som dessa gör det mycket svårt att förutspå den framtida utvecklingen av humusnivåerna i våra sjöar och vattendrag. En sak är dock säker och det är att vattnens färg och humushalter kommer att variera även i framtiden. Hur mycket bestäms av hur omfattande klimatförändringarna blir, men de kommer med all sannolikhet att vara minst lika stora som de varit tidigare.

Referenser

Erlandsson M. , Buffam I. , Fölster J. , Laudon H. , Temnerud J. , Weyhenmeyer G. , Weyhenmeyer G. 2008. Thirty-five years of synchrony in the organic matter concentrations of Swedish rivers explained by variation in flow and sulphate. *Global Change Biology* 14:1-8.

Löfgren, S. & Bringmark. 2009. Decreasing DOC trends in soil solution along the hill slopes at two IM sites in southern Sweden. *Biogeomon 2009. Proceedings*. Helsingfors, Finland.

(<http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2009/mwp128-en.htm>)

Löfgren, S. & Lundin, L. 2003. Mer humus i svenska vatten – bidrar även skogsbruket? *SkogsFakta* nr 15:2003. (<http://www.slu.se/?id=142>)

Löfgren, S. Forsius, M. & Andersen, T. 2003. Vattnens färg – Klimatbetingad ökning av vattnens färg och humushalt i nordiska sjöar och vattendrag.

Rapport Nordiska Ministerrådet

(<http://www.ma.slu.se/?pubid=P563&pubdetails=true&OID=513&PAGEA CTI-ON=OidSida&PUBLAR=2003&FUNKTIONID=63&PUBOID=513&PUB>)

[TYP=&PUBST=f&SPRAK=Swedish&PUBALLA=false&PAGECONTEN
T2=http%3A%2F%2Fpublikationer%2Eslu%2Ese%2Fnybib%2Ecfm&PUB
V=L%2F6fgren\)](http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2009/mwp128-en.htm)

Zetterberg, T. & Löfgren, S. 2009. Decreasing trends of dissolved organic carbon concentrations in the soil solution in southern Sweden between 1990 and 2003. Biogeomon 2009. Proceedings. Helsingfors, Finland.
(<http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2009/mwp128-en.htm>)

Klimatet påverkar marken och marken påverkar klimatet – Elever, lärare och forskare i samverkan

Monika Strömgren¹, Lennart Wallstedt² och Rune Davidsson²

¹*Institutionen för mark och miljö, SLU, Uppsala*

²*Platengymnasiet, Motala*

Sammanfattning

Tiden som löper från att något nytt upptäcks inom forskningen till att det kommer i läroböcker eller undervisningen i gymnasieskolan är ganska lång. Detta gäller bland annat aktuella miljöproblem som klimatfrågan. Om elever, lärare och forskare börjar samarbeta kan processen påskyndas. Under åren 2006-2009 har ett samarbete växt fram mellan forskare vid SLU och lärare och elever från Platengymnasiet i Motala. Eleverna har fått använda sig av aktuell forskning och forskningstekniker när det gäller att förstå skogens kolbalans och hur denna balans påverkas av klimatet. Genom detta har de fått en större inblick i forskningen och de osäkerheter som finns. I elevernas projektarbeten har de utvecklat metoder för att undersöka koldioxidflöden i naturliga ekosystem. Dessa metoder har lärarna sedan kunnat använda inom andra kursmoment.

Bakgrund

Hur ett förändrat klimat kan påverka människan och miljön, vårt land och världen har blivit en gemensam oro. Vi hör många nyheter om effekterna av ett förändrat klimat, ofta målas hotbilder upp som skrämmer. Forskare kan ge svar, men bland är den information vi får motsägelsefull och det kan vara svårt att veta vad som är ett reellt hot och vem som har rätt. Den kunskap vi har är inte statisk utan något som utvecklas allteftersom nya forskningsresultat kommer fram. I dagens samhälle är det viktigt för en elev att kunna förstå och sälla i den information de får så att de kan få en helhetsbild. Då kan de bli samhällsmedborgare som tar ansvar och gör medvetna val.

Ett sätt att föra in aktuell kunskap inom ett område och göra elever mer medvetna om hur kunskap tas fram är att etablera ett samarbete mellan forskare, gymnasielärare och elever. På detta sätt har elever fått prova på de forskningstekniker som används av forskare idag. De har också fått en större förståelse för de osäkerheter som finns när forskning bedrivs. Gymnasielärare har fått nya idéer på undervisningsmaterial och hur de kan lägga upp sin undervisning och

forskare har fått möjligheten att möta engagerade och entusiastiska lärare och elever från gymnasieskolan. Elever, lärare och forskare har tillsammans utvecklat laborationer under projektarbeten, som lärarna sedan har kunnat använda inom andra kurser.

Vi vill dela med oss av erfarenheter från vårt samarbetsprojekt mellan gymnasielärare och elever från Platengymnasiet i Motala och forskare från Institutionen för mark och miljö vid SLU i Uppsala. Vi har fokuserat på projekt som handlar om skogens och markens roll i balansen av växthusgaser. Samarbetet har skett inom EU-projektet ”Teacher-Scientist-Partnership: a tool for professional development”. Samverkan mellan gymnasieskolor och forskningsinstitut har inom detta projekt även pågått i Tyskland, Nederländerna och Italien. Den svenska delen av projektet finansieras genom Socrates-programmet och Comenius 2.1 (Training of School Education Staff) och SLU. Inom ramen för projektet har bland annat häftet ”Skogen, växthusgaserna och klimatförändringen – elever, lärare och forskare i samverkan” getts ut. Förutom beskrivning av hur ett samarbete kan byggas upp, innehåller det även laborationer, tips om litteratur, filmer, bra länkar och undervisningsmaterial. Häftet finns att laddas ner från hemsidan med adressen www.mark.slu.se/skolprojekt.

Målet för samarbetet mellan gymnasiet och universitet är att eleverna ska...

- ...upptäcka och bättre förstå forskning och dess metoder.
- ...få använda sig av aktuell forskning och forskningstekniker.
- ...få en förståelse för naturens roll i växthusgasbalansen.
- ...bli medvetna individer som kan göra välgrundade val.

SLU och Platengymnasiet – ett pilotprojekt

Intresset att göra något för att lyfta fram klimatfrågan inom gymnasieskolan hade grott under en längre tid. Kontakterna mellan forskarna och lärare knöts under en markdagskonferens som arrangerades av Institutionen för skoglig marklära vid SLU. Sedan har samarbetet mellan SLU och Platengymnasiet i Motala vuxit fram steg för steg. Så här beskriver Rune Davidsson och Lennart Wallstedt, gymnasielärare på Platengymnasiet hur det här samarbetet växte fram:

Skapa kontakt med en samarbetspartner på lämpligt universitet/högskola

I vårt fall tog Monika Strömgren (doktor i ekologi och miljövärd) och Mats Olsson (professor i jordmånslära) vid SLU kontakt med oss på Platengymnasiet. Vi träffades dels i Uppsala och dels på Platengymnasiet för att diskutera och

planera samarbetet.

Skaffa en skolskog i närheten av skolan

Vi utnyttjar ett skogsområde ca 5 km norr om skolan som sedan tidigare använts i biologiundervisningen. Först ordnade vi en träff med markägaren för att tillsammans med Monika och Mats dels förklara projektets innehåll och be om tillåtelse för våra undersökningar, samt se ut lämpliga skogsområden. Med Mats och Monikas hjälp valde vi ut ett blötare skogsparti på torvmark och ett torrare på mer normal barrskogsmark.



Figur 1. Elever och lärare från Platengymnasiet i Motala gör mätningar av markrespiration och tar markprover i Skolskogen.

Figure 1. Pupils and teachers from Platengymnasiet in Motala measure soil respiration and take soil samples in the School forest

Informera elever

I samband med att blivande åk 3–elever skulle välja område inför projektarbetet passade vi på att informera och inspirera elever till att delta i vårt samlarbetsprojekt. Vi lyfte fram möjligheterna till att arbeta praktiskt med mätningar och beräkningar, att samarbeta med forskare kring ett ”riktigt” forskarprojekt och fördjupa sig inom det aktuella området klimatförändringar. Under de två år som elever haft möjlighet att arbeta med detta har totalt 16 elever genomfört sitt projektarbete inom ramen för vårt EU-projekt.

Studieresor till SLU i Uppsala

Våra projektarbetande elever har haft tät kontakt med Monika och Mats för att lösa problem och ställa frågor som vi lärare inte klarat av. Vi har genomfört en studieresa per år med våra projektarbetande elever till Institutionen för mark

och miljö på SLU där eleverna bl a har fått hjälp med kolanalys av markprover och fått en inblick i hur forskare arbetar med koldioxid-mätningar. De har också fått möjlighet att diskutera sina projektarbeten med Monika och Mats och det är framför allt efter denna resa som eleverna på egen hand haft telefon- och mail-kontakt med dem, en kontakt som har ökat i intensitet i takt med att inlämningsdatumet för projektarbetena har närmat sig.

Lärofortbildning

Samarbetet med SLU har varit mycket lärorikt för oss lärare. Genom elevernas arbeten har vi fått fördjupade kunskaper i mätmetoder, beräkningsmodeller och markens/skogens roll i kolets kretslopp. Monika och Mats har bidragit med kunskap och aspekter som annars är svåra att få tag på. Vi lärare har också deltagit i utbildningsdagar, såsom Markdagen på SLU i Uppsala, för att fördjupa och bredda vår kunskap inom området.

Integrering i andra kurser

Flera av de projektarbetande eleverna har ägnat mycket tid åt att utveckla metoder för koldioxidmätningar, biomassaberäkningar och kolförrådsberäkningar. Detta arbete utnyttjar vi till undervisningsmoment i andra kurser t ex till fält- och laborationsuppgifter. I kurserna Naturkunskap A och Biologi A utnyttjar vi vår koldioxidutrustning för att på olika sätt demonstrera fotosyntes och respiration. I den valbara kursen Miljökunskap får eleverna genomföra fältarbete för att sedan beräkna skogens upptag respektive avgivande av koldioxid för att få ett mått på skogens nettoupptag.

På Platengymnasiet har vi också en lokal kurs under det individuella valet, Miljökemi, där vi jämför blöt och torr skog med fält- och beräkningsarbete för att ta reda på om skogarna är en fälla eller källa av koldioxid. I denna kurs fokuserar vi mer på metoderna än i Miljökunskap, och har dessutom mer tid, och gör dem därför med större noggrannhet. Kursen kommer vi eventuellt göra om till en eller två kurser i Kemi C. I alla kurser utgör demonstrationer, fält- och beräkningsarbete en utmärkt grund till analys och diskussion av metoder och resultat som går att koppla till växthuseffekten och klimatförändringar.

Utvärdering

Ett viktigt redskap till att förbättra t ex projektarbeten och samarbeten är regelbunden utvärdering. Framför har eleverna bidragit till många nya idéer och förbättringsförslag.

Kontakt med utländska samarbetspartner

Tyskland, Italien och Nederländerna genomför liknande samarbetsprojekt inom detta EU-projekt. Detta har inneburit att vi har haft möjlighet att träffa lärare

och forskare från dessa länder vid några tillfällen. Det har varit inspirerande att ta del av forskning inom klimatförändringar och exempel på hur andra skolor utomlands arbetar med dessa frågor. Detta har också gett några av våra elever möjlighet att aktivt delta under EU-projektets slutkonferens i Italien.

Fortsättningen...

När EU-projektet med dess ekonomiska bidrag avslutats, är vår förhoppning och ambition att vårt samarbete med framför allt Monika och Mats på SLU ska fortsätta. Det är oerhört värdefullt att ha en kontakt som vi lärare kan utnyttja när vår egen förmåga och kunskap inte räcker till.

Idébank – att engagera gymnasieelever i klimatiforskning

Det är inte lätt för en forskare att veta vad som passar in i undervisningen i gymnasiet och vad som är möjligt att genomföra, samtidigt som det som lärare är svårt att veta vad och vilka tekniker som forskare använder just nu. Som uppstart och för att ge eleverna idéer på vilka projektarbeten som kunde genomföras träffades forskare och lärare för en ”brain-storming”, vilket resulterade i en idébank med olika projekt. Idébanken gav inspiration när eleverna skulle välja projekt, och projekten kunde ändra inriktning efter elevernas intresse. Eleverna kunde också komma med helt egna idéer. Här finns några exempel på olika projekt ur idébanken:

Är din skog en koldioxidfälla?

Hur mycket koldioxid tar en skog upp under ett år? Hur mycket koldioxid avger marken? Träden tar upp koldioxid och binder in den i sin biomassa. Hur mycket det är kan man uppskatta genom att mäta trädens tillväxt. Emissionen av koldioxid från marken kan mätas med en markrespirationskyvett och en gasanalysator.

Skogen år 2100

Hur ser skogen i din region ut år 2100? Hur förväntas klimatet ha förändrats? Hur skulle förändringen påverka det som växer i skogen såsom bär, trädarter, djurarter, tillväxt eller skogens kolbalans? Projektet kan göras som en litteraturstudie eller experimentellt där man studerar hur temperatur och vattentillgång påverkar fotosyntes och respiration.

Mäta kolförråd i levande biomassa och mark

Hur stort är kolförrådet i mark och i levande biomassa? Gör en jämförelse mellan olika ekosystem. Gör gärna jämförelse mellan olika ekosystem och brukad mark som har olika skötsel.

Markens koldioxidavgång

Finns det någon skillnad i mikrobiell aktivitet (respiration) mellan olika ekosystem eller behandlingar (gödsling, plöjning, kalkning, askgödsling)? Hur varierar markrespirationen (rötter-jord) under en säsong? Hur påverkar temperatur och fuktighet? Skiljer det sig mellan olika behandlingar? Vad är orsaken till skillnaderna (tillväxtperiodens längd, mängden rötter, humushalt, temperatur, fuktighet)?

Andra frågeställningar

Man kan givetvis komplettera projekten med andra frågeställningar för att få en vidare syn på klimatfrågan:

- Hur förändras klimatet i Sverige och i övriga världen?
- Vilka effekter får ett förändrat klimat på olika ekosystem, livsmedelsproduktion och samhälle?
- Vad kan vi göra för att minska den förstärkta växthuseffekten?
- Vad innebär Kyotoavtalet och hur pågår klimatförhandlingarna mellan olika länder?

Att mäta koldioxid

Biologi-, ekologi- och miljöundervisningen innehåller många teoretiska begrepp och modeller. Eleverna behöver ofta hjälp att förstå både de enkla och de mera komplexa sambanden. Enkla försök och demonstrationer kan ge en ökad förståelse och stimulera eleven att ställa egna frågor som bidrar till elevens kunskapsbyggande.

Genom att mäta koldioxidhalten kan flera olika biologiska grundbegrepp och miljöfrågor visualiseras på ett enkelt och påtagligt sätt.

Exempel på grundgrepp som kan demonstreras: Fotosyntes, respiration, kompensationspunkt, kolkälla, kolfälla, markrespiration, nedbrytning, kretslopp

Exempel på frågeställningar som kan undersökas:

- Fotosyntesens beroende av: ljusintensitet, temperatur, växtmaterial
- Respirationens beroende av: vattenhalt, temperatur, substrat

Försöken är lämpliga att utföra som demonstrationsförsök. Fördjupningar och utvidgningar av försöken kan göras som elevlaborationer eller som projektarbeten.

För att kunna mäta koldioxidkoncentrationen i luften behövs en koldioxidanalysator. Med den som bas kan man sedan själv göra tillbehör för att mäta respiration eller fotosyntes. Det finns flera typer av analysatorer i olika prisklasser (Se Davidsson m fl 2009). I det här samarbetsprojektet användes en gasanalysator från PPSystems, som är relativt lättanvänd och med litet underhåll. Koldioxidanalysatorn användes på olika sätt inom elevernas projektarbeten och i olika moment i andra kurser.



Figur 1. Genom att mäta koldioxidhalten kan flera olika biologiska grundbegrepp och miljöfrågor visualiseras på ett enkelt och påtagligt sätt.

Figure 1. Measurements of carbon dioxide is one way to visualize biological and environmental concepts

"Jag är jättenöjd med min insats. Jag har gjort mitt allra bästa och så har jag lärt mig oerhört mycket. Jag har lagt ner hjärta och själ i detta.."

Elev från Platengymnasiet, 2008

Röster från elever

Under åren som samarbetsprojektet pågått har elever gjort olika arbeten, allt ifrån hur "skolskogen" eller deras egen skog är sänka eller källa för kol till att se hur markrespirationen påverkas av plöjning (åker jämfört med betsemark). Projektarbetena utvärderades varje år. Här finns en sammanställning av elevernas svar.

Vad har varit bra?

Det har varit mycket intressant och givande med ett aktuellt ämnesområde och en bra kombination mellan ett praktiskt och teoretiskt arbetssätt. Bra och roligt med samarbetet med SLU, bra att ha tillgång till forskare och deras material. Mycket givande att besöka SLU och få inblick i forskning. Roligt och spännande att utifrån mätningar dra slutsatser och lösa problem. Kul att ha fått testa på naturvetenskap ”på riktigt”. Härligt att vara ute mycket i naturen. Bra kontakt med lärarna och positivt med ett nära samarbete i grupp. Roligt att lära sig något nytt.

Hur tycker du att projektarbetet har påverkats av samarbetet med forskare från SLU?

Endast positivt. Det har blivit roligare och mer spännande. Det upplevs mer verklighetsförankrat och vetenskapligt. Vi skulle inte ha klarat oss så långt annars. De kunde hjälpa oss mer med metoden än våra lärare. Det har gett många uppslag som annars kanske inte kommit på tal. Bra att ha några att fråga då litteratur och lärare inte räckt till.

Skulle du kunna rekommendera någon annan elev att göra ett liknande projektarbete?

Absolut. Självklart. Det är roligt och en chans som är dumt att missa. Man får delta i ett riktigt projekt. Det är både praktiskt och teoretiskt. Samarbetet med forskare var givande. Får lära sig mycket nytt. Insats för forskningen. Problemlösning. Aktuellt med klimatfrågor. Man bör dock vara intresserad av miljön.

Har projektarbetet om skogen och klimatfrågan påverkat din syn på...

a) ...den förstärkta växthuseffekten och klimatförändringen?

Har gett mer insikt om skogens roll och skogsbrukets påverkan. Att skogen påverkar så pass mycket och markens roll. Om kolsänkor. Fått mer ingående och praktisk kunskap. Hur viktigt det är att hitta framtida metoder som kan stoppa uppvärmningen. Jag tänker mer på miljön nu, åker t ex mycket mindre bil.

b) ...forskning?

Att forskning inte alltid är så tungt utan lite roligare. Att det skulle behöva gå snabbare och att det behövs mer pengar. Har blivit mer intresserad av forskning. Att den faktiskt ger svar på frågor om hur skogen fungerar. Att det finns så mycket att forska om. Bättre insyn i forskning, på hög nivå. Hur det faktiskt går till. Vilken djuplodad kunskap som krävs. Att man måste vara väldigt noggrann och arbeta fram en bra metod.

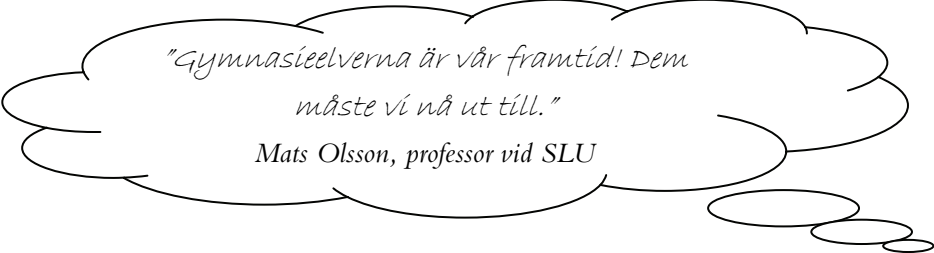
Är du nöjd med din insats i projektarbetet och blev resultatet det du tänkt dig?
Jag är nöjd med sin insats. Jag är jättenöjd. Resultatet blev inte riktigt vad jag hade tänkt mig. Det var lite svårare och mer tidskrävande än jag trodde. Det blev till slut bättre än förväntat. Resultatet blev som man anat men mer djuplodat. En elev skriver till sist: ”Jag är jättenöjd med min insats. Jag har gjort mitt allra bästa och så har jag lärt mig oerhört mycket. Jag har lagt ner hjärta och själ i detta ...”

Lärare och forskare i samverkan

Det kan vara svårt att komma igång med ett samarbete, men när det väl är igång kan det fortsätta att flyta på. I ”Teacher – Scientist Partnership guide” finns tips om vad man bör tänka på för att projektet verkligen ska komma igång. Guiden har skrivits av lärare och forskare i Europa med erfarenhet av liknande samverkansprojekt. Där finns bland annat tolv små steg för ett lyckat samarbete, bland annat att...

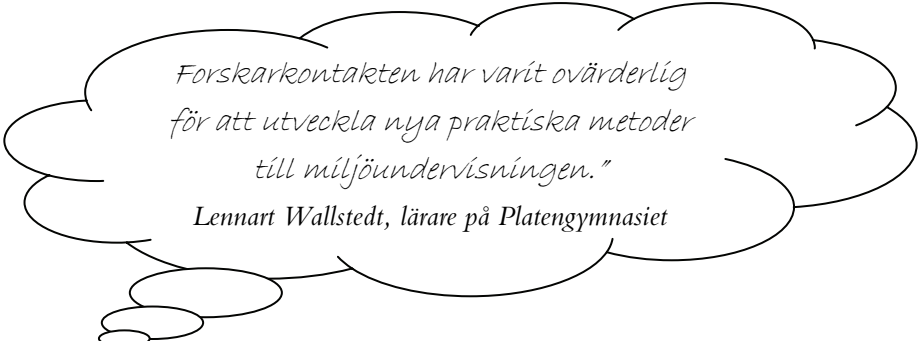
- ”Teachers & Scientists need to have commitment & desire to make the project work”
- ”Activities should be driven by teacher needs”
- ”Expect teacher to make first contact”
- ”Plan activities jointly, ahead of working with pupils, ideally within informal settings (eg. over coffee or in the pub)”
- ”Try to make frequent contact (direct/indirect), particularly initially”
- ”Grow into your partnership: small goals, smart experiences”

SLU:s informationsavdelning kan hjälpa till i kontakten med att hitta en forskare inom det område som man skulle vilja etablera ett samarbete i. Förutom att arbeta inom frågor som rör skogen, klimatet och växthusgaser, som i det samarbetsprojektet som beskrivits här, bedrivs forskning inom ett brett område inom SLU och många berör våra svenska miljömål. SLU:s informationsavdelning kan nås genom e-post: rekrytering@slu.se eller genom SLU:s växel 018-67 10 00.



”Gymnasieeleverna är vår framtid! Dem måste vi nå ut till.”

Mats Olsson, professor vid SLU



*Forskarkontakten har varit ovärderlig
för att utveckla nya praktiska metoder
till miljöundervisningen."*

Lennart Wallstedt, lärare på Platengymnasiet

Referenser

Teacher – Scientist Partnership guide. Häfte som kan laddas ned från Carbo-Schools hemsida: <http://www.carboschools.org>.

Davidsson, R., Strömgren, M., Wallstedt, L. 2009. Skogen, växthusgaserna och klimatförändringen – elever, lärare och forskare i samverkan. SLU/Repro. ISBN 978-91-86197-51-3

Målkonflikter i miljöarbetet

Rune Andersson

Institutionen för livsmedelsvetenskap, SLU, Uppsala

Konflikter mellan olika miljömål

I det svenska miljöarbetets inledningsskede i början på 70-talet sökte vi finna åtgärder för varje identifierat miljöproblem, ett i taget. I huvudsak arbetar vi så även idag men har uppnått insikten att många miljöproblem är länkade till varandra. Med andra ord; en åtgärd för att rätta till ett miljöproblem kan ge såväl vinster som nackdelar för andra miljöproblem. Några exempel;

För att värna den biologiska mångfalden i våra naturbetesmarker behöver vi ta hjälp av betande djur som hävdar markerna och håller undan uppslag av sly. Men idisslarna är för jordbrukets del en viktig källa till utsläpp av växthusgaser. Ju fler idisslare ju mer växthusgaser bidrar således jordbruket med.



Figur 1. För att värna den biologiska mångfalden i våra naturbetesmarker behöver vi ta hjälp av betande djur som hävdar markerna och håller undan uppslag av sly. Men idisslarna är för jordbrukets del en viktig källa till utsläpp av växthusgaser.

Figure 1. Ruminants are needed to maintain biodiversity in the agricultural landscape. These animals are on the other hand a powerful source for greenhouse gases.

Väljer lantbrukaren att ha en mer extensiv uppfödning baserad på endast grovfoder och låter han dessutom djuren beta på magra marker leder det till längre uppfödningstider och till lägre mjölkavkastning om det gäller mjölkkor. Per producerad enhet blir då klimatbidraget högre men samtidigt ger produktionsformen fördelar för djurens välbefinnande och landskapets biologiska mångfald. Det finns de som hävdar att betesmarkerna successivt binder in mer kol i marken och att detta skall inräknas i beräkningen av produktionens växthusgasbidrag. Detta är slutsatser som främst dras från betesstudier utförda på åkermark som överförs till permanent bete. Men resultaten är knappast överförbara till att gälla förhållandena i äldre naturliga betesmarker. Svaret finns rimligen att hämta i iakttagelser som att inga betesmarker på fastmark övergått till torvmark.



Figur 2. Plöjning och annan jordbearbetning minskar ogräsproblemen i åkern men leder till mer växthusgaser genom de fossila drivmedel som används och mobiliseringen av organsikt bundet kol i marken.

Figure 2. Ploughing and other types of soil cultivation are efficient means to control weeds but increase the emissions of greenhouse gases compared to non-tillage systems.

Ett annat exempel är att samtidigt som plöjning och annan jordbearbetning minskar ogräsproblemen i åkern och därmed behovet av kemiska medel medför detta ökad förbrukning av fossil energi med åtföljande klimatpåverkan. Därtill kommer en ökad avgång av koldioxid till följd av den ökade mineralisering som följer av plöjningens ”luftande” effekt på jorden.

Inom skogsbruket kan pekas på målkonflikter relaterade till olika ståndortsförbättrande åtgärder. Ett tydligt sådant exempel är dikning av permanent våta marker, en åtgärd som avsevärt förbättrar områdets skogsbruksvärde. Samtidigt går oftast en del biologiska värden förlorade och åtgärden leder inte minst till en mobilisering av de kolförråd som byggts upp under kanske århundraden och för exempelvis högmossar tusentals år.



Figur 3. Många hävdar att det moderna skogsbruket mer eller mindre permanent står i konflikt med de flesta miljömål genom ensartade skogsbestånd, kalavverkning, markberedning, stubbrytning och skogsgödslingsåtgärder.

Figure 3. Modern forestry is in many ways in conflict with the national environmental objectives.

Många hävdar att det moderna skogsbruket mer eller mindre permanent står i konflikt med de flesta miljömål genom ensartade skogsbestånd, kalavverkning, markberedning, stubbrytning och skogsgödslingsåtgärder. Men i den andra vågskålen ligger då vinster som ökad produktion av biomassa och därmed inbindning av mer kol. Mer biomassa ger ökade möjligheter att ersätta fossil energi.

Målkonflikter kan undvikas eller mildras

Är man riktigt lyckosam hittar man dock åtgärder som ger flerfaldig miljönytta; åtgärden ger fördel för fler än ett miljöproblem. Ett bra sådant exempel är om man ökar andelen vall i växtodlingen.



Figur 4. Vallen är något av en optimal gröda i vårt klimat och tillgodoser flera miljömål. Den sanerar marken på ogräs, behöver inga kemiska bekämpningsinsatser, gynnar markens fysikaliska egenskaper och binder in mer kol i marken jämfört med de ettåriga grödorna. Den är också bra för odlingslandskapets vilda djur och växter.
Figure 4. Grass production is in many ways an optimal land use in our part of the world. Weeds are controlled, soil structure and soil production capacity is enhanced, carbon dioxide is captured and the flora and fauna is favoured.

Vallen behöver inga kemiska bekämpningsinsatser för att ge god skörd och läcker lite växtnäring. Vallen ger i jämförelse med spannmålsdominerade växtföljder högre tillskott av mullbildande ämnen som i sin tur främjar såväl jordens struktur som det markbiologiska livet. En ökad total vallodling i lantbruket leder vidare till ökad kolinbindning och kompenserar därmed för andra utsläpp av växthusgaser. Detta beskrivs närmare av Andrén och Kätterer i deras anförande.

Inom skogsbruket har de negativa effekterna på skogens biologiska mångfaldsvärden kunnat reduceras genom ett mer skonsamt brukande och i viss omfattning även genom att helt undanta särskilt värdefulla områden från aktivt skogsbruk. En förväntad framtida brist på mark, beroende på en fortsatt ökande global befolkning samt konsekvenser av klimatförändringar, kommer dock sannolikt att inskränka möjligheten att i framtiden helt avstå från produktivt utnyttjande av mark med sådana möjligheter.

Mer generellt visar beräkningar att högavkastande system i såväl jordbruks- som skogsbrukssammanhang är mer klimatvänliga jämfört med extensivt drivna system. I denna del sammanfaller således såväl den enskildes som samhällets avkastningsmål med det nationella miljömålet ”Begränsad klimatpåverkan”.

Konflikter respektive samverkan mellan miljömål och andra samhällsmål

Det finns även exempel på målkonflikter i miljöarbetet relativt såväl andra samhällsmål som den enskildes företagets mål med sin verksamhet.

Det kanske vanligaste är att många miljöåtgärder kostar att genomföra antingen i form av kostnader för direkta investeringar som att anlägga våtmarker eller andra typer av reningsfilter eller i form av uteblivna intäkter genom t ex en reducerad skörd på grund av etablering av kantzoner, odling av fånggrödor inom jordbruket eller avställning av skogsmark till naturvård.

Miljöåtgärderna kan åtminstone kortsiktigt oftast inte räknas hem på företagsnivån. Detta är också det huvudsakliga motivet för att staten skall erbjuda lantbruket, skogsbruket och landsbygdsföretagandet i övrigt olika typer av miljö- och företagsstöd. Tanken är att minskad miljöbelastning och bibehållen biologisk mångfald generellt sett är bra för hela samhället. Likaså är idén med landsbygdsstöden, till hästgårdar, turistprojekt, spa-anläggningar eller vad det kan vara, att detta generellt sett skall stärka landsbygdens livskraft inte minst genom att skapa arbetstillfällen.

Kostnaderna för olika typer av miljöåtgärder kan dock hållas nere genom att välja att ge stöd till bara de mest kostnadseffektiva åtgärdstyperna. Generellt gäller då att stöd till mer riktade och problemorienterade åtgärder som till fånggrödor för att minska jordbrukets kväveläckage eller till hävden av betesmarker för att värna den biologiska mångfalden ger en tydligare nytta jämfört med mer brett verkande stöd till vallodling och till ekologiska produktionsformer.

Forskningen kan bidra med kunskap om miljöeffekterna av såväl produktionen som av olika typer av åtgärder vars syfte är att minska de negativa miljöeffekterna. Det blir sedan upp till näringarna att omsätta forskningens landvinningar i praktiken och för politiker och myndigheter att forma styrmedlen. Man kan idag inte heller borträkna den marknadsföringskraft som ligger i förmågan hos den enskilde producenten att kunna visa på miljövänliga produktionsformer. Detta kan praktiskt göras genom att man certifierar sin verksamhet och produktion.

Miljöarbetet kan effektivt vägledas av forskning och praktisk erfarenhet men ger sämre hjälp att avväga målkonflikter. I denna del finns betydande inslag av olika aktörers särintressen som kan leda till helt skilda prioriteringar mellan olika miljömåls uppfyllande. På samma sätt som man gör i andra samhällsfrågor där motstående intressen finns är då den bästa vägen att göra dessa prioriteringar i folkvalda församlingar och där besluta om den avvägning som skall gälla mellan de olika miljömålen när åtgärderna står i konflikt med varandra. Intressant är dock de ansatser som nu görs att överlåta till intressenterna inom t ex ett vattenavrinningsområde att komma överens om hur miljöarbetet skall bedrivas mer lokalt. Sådant arbete koordineras av de nya Vattenmyndigheterna och regleras av de olika EU-direktiven.

Med hjälp av miljöövervakningsdata kan vi följa förändringarna i mark, luft och vatten men dessa data borde kunna användas bättre för att avläsa effekterna av de miljöåtgärder som genomförs. Som motargument kan möjligen hävdas att detta skulle kräva alltför stor mättäthet i rummet och därmed bli alltför kostsamt. Faktum är dock att vi saknar bra metoder och data för att kunna uttolka åtgärdsarbetet i kvantitativ miljönytta.

Rapporter från institutionen för mark och miljö

- 1 2009 Wiklander, G. & Aronsson, H. (Red.) Mark- och miljödagen 2009. Marken och klimatet. *Soil and Climate*.

I denna serie publiceras forskningsresultat från institutionen för mark och miljö vid Sveriges lantbruksuniversitet. I serien behandlas markegenskaper och markanvändning ur ett kemiskt, fysikaliskt och biologiskt perspektiv.

In this series research results from the department of Soil and Environment at the Swedish University of Agricultural Sciences are reported. Soil properties, soil use, and soil management are reported from a chemical, physical and biological perspective.

Distribution:

SLU
Institutionen för mark och miljö
Box 7014
SE-750 07 UPPSALA
