



PROJEKTRAPPORT

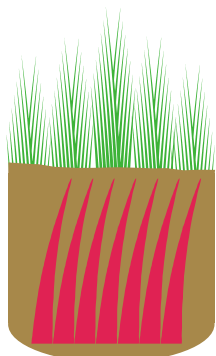
NR 3

Kol- och kväveförråd i mark och vegetation
vid beskogning av en avslutad torvtäkt

Carbon and nitrogen pools in soil and vegetation
at afforestation of a cutover peatland

Torbjörn Nilsson

Lars Lundin



TorvForsk
Stiftelsen Svensk Torvforskning

En rapport framtagen av Institutionen skoglig marklära, SLU
med stöd av TorvForsk



Kol- och kväveförråd i mark och vegetation vid beskogning av en avslutad torvtäkt

*Carbon and nitrogen pools in soil and
vegetation at afforestation of a cutover peatland*

Torbjörn Nilsson

Lars Lundin

Februari 2006

Institutionen för skoglig marklära

Sveriges lantbruksuniversitet

Förord

Energifrågor röner just nu stort intresse och hithörande problem inkluderar omställning av bränslen från de med stor miljömässig inverkan, bl.a. kol, olja och kärnenergi. Alternativa energikällor såsom biobränslen förordas men med dessa följer bl.a. kvittblivningsproblem med aska. Aska, å andra sidan, kan nyttjas som markförbättrare med koppling till biomassa-produktion som i sin tur medverkar i kollagring och i att lösa växthusgasproblematiken. Ett biobränsle med särställning är torv, som dels kan nyttjas till energiproduktion, dels utgör gynnsam mark för produktion av träbränsle. Kombinationseffekten av först torvutvinning och sedan skogsproduktion på torvmarksåterstoden med tillförsel av torvaska ger trippel vinstverkan.

På torvmark och särskilt i de djupa lagren efter torvutvinning är bristen på en del växtnäringsämnen påtaglig och välkänd. Tillförsel av aska från förbränning av biobränslen förbättrar skogens tillväxtpotential på torvmark. Ur kretsloppssynpunkt kan torvaska anses som den mest lämpliga att återföra till skog på utbruten torvmark.

Problem med odling på torv finns dock. Kvarlämnad torv bryts ner och detta ger emissioner av CO₂. Positivt är dock att samtidigt bidrar skogstillväxten till inbindning av kol i såväl träd-biomassa som markkol. Hur balansen blir belyses i denna unika rapport. I ett första skede om 20 år förefaller torvutvinning med efterföljande beskogning som fördelaktig ur kolbalanssynpunkt.

Undersökningen har möjliggjorts genom välvilligt stöd från såväl NUTEK, STEM och SLU som i det senare skedet av TorvForsk.

Uppsala

Maj-Britt Johansson

Innehållsförteckning

	sida
Sammanfattning	7
Summary	8
Inledning	10
Områdesbeskrivning	11
Geografiskt läge	11
Klimat	11
Geologi	12
Torvtäktsytan	12
Den kvarvarande torvens egenskaper	13
Markbehandlingsåtgärder	14
Konventionella tallskogsytan	14
Intensivodlingsytan	16
Dikning	16
Gödsling och fräsning	16
Plantering	18
Röjning och gallring	20
Material och metoder	21
Torvdjup och marknivå	21
Torvens volymvikt, samt kol och kväveinnehåll	21
Biomassabestämning	23
Resultat	24
Markförhållande före markbehandling och beskogning (1983)	24
Torvens volymvikt	24
Halter och mängder av kol och kväve i torven	24
Markförhållanden 2003, 20 år efter markbehandling och beskogning	25
Torvdjup	25
Torvens volymvikt	27
Halter och mängder av kol och kväve i humuslager och torv	28
Kol	28
Kväve	31
CN-kvot	34
Antal träd per hektar och brösthöjdsdiameter	35
Trädbiomassan samt dess kol- och kvävemängd hösten 2003	36
Konventionella tallskogsytan	36
Intensivodlingsytan	37
Ändring i kolförråd mellan 1983 och 2003	38
Kolförråd i torv	38
Kolförråd totalt i mark och trädbiomassa	39
Ändring i kväveförråd mellan 1983 och 2003	40
Kväveförråd i mark, trädbiomassa och totalt	40

Diskussion	41
Referenser	44

Sammanfattning

Efter avslutad torvproduktion kan torvtäkten nyttjas på olika sätt. Ett alternativ är att beskoga den avslutade torvtäkten. I denna undersökning har vi studerat hur dikning, markbehandling och därefter plantering av en torvtäkt påverkar kolbalansen under 20 år.

Undersökningsområdet, Flakmossen, är beläget i södra Värmland. På 34 hektar av myren bedrevs torvtäktverksamhet fram till 1945. Därefter låg större delen av täktytan orörd fram till början av 1980-talet. Den kvarvarande torvens mäktighet varierade mellan några decimeter upp till cirka två meter. Sommaren 1983 inventerades torvdjupet ingående inom 14 hektar av täktytan. Dessutom gjordes provtagning av torven på 1-4 olika nivåer ner till 70 cm djup inom 18 punkter på torvtäktsytan. Torvproven analyserades bl.a. på volymvikt, kol- och kvävehalter, så att kol- och kväveförrådet i torven kunde beräknas. Ett mycket gott samband observerades mellan torvdjup och kolförråd från markyta ner till mineraljord.

I början på 1980-talet startade två olika skogsodlingsprojekt på den avslutade torvtäktsytan. Det ena projektet var en konventionell tallskogsodling där effekten av olika tegbredder och PK-givor (fosfor och kalium) på skogsproduktionen studerades inom 19 hektar av den gamla täktytan. Det andra projektet var en s.k. intensivodling, där försöksområdet (14 hektar) först dikades och därefter tillfördes i genomsnitt 23 ton vedaska, samt 0.4 ton råfosfat och 0.25 ton superfosfat per hektar. Därefter frästes försöksytorna med en specialfräs i en meter breda spår ner till ca 30-40 cm djup. Plantor eller sticklingar från sex olika trädslag sattes i de frästa spårren.

Tjugo år senare, hösten 2003, inventerades torvdjupet på sammanlagt 49 parceller inom de två skogsodlingarna på täktytan. Torv från upp till sex nivåer insamlades i sammanlagt 30 parceller och trädbiomassan uppskattades genom mätningar av brösthöjdsdiametern på träden inom ca 100 m² stora provytor på totalt 48 parceller. Torvproven analyserades på volymvikt, kol- och kväveinnehåll. Kolhalten i de olika träddelarna antogs vara 50 % av torrsubstanshalten, medan kvävehalten antogs variera mellan 0.2-0.8 % av torrsubstanshalten, beroende på träd- del och trädslag.

Torvmäktigheten inom intensivodlingsytan var hösten 2003 i genomsnitt 8 cm mindre än motsvarande mäktighet sommaren 1983. Inräknas humuslagret (i medeltal 4.6 cm) var skillnaden bara drygt 3 cm. Kolförrådet i torven hade minskat med i genomsnitt 2.4 kg C m⁻². Om humuslagret räknas med var dock skillnaden bara 0.5 kg C m⁻². Den totala trädbiomassan (över och under jord) innehöll, 20 år efter planteringen, i medeltal 5.4 kg C m⁻². Totalt sett hade kolförrådet inom intensivodlingsytan ökat med i genomsnitt 10 % eller 4.9 kg C m⁻² under de 20 åren. Variationen var dock stor. Några parceller hade negativ kolbalans, men de flesta visade nettoackumulering av kol. Värdena för kväveförråden i torv och biomassa är mer osäkra, men totalt sett (d.v.s. om humuslager och trädbiomassa inräknas) verkar kväveförrådet ha ökat något 20 år efter planteringen.

Undersökningen visar att skogsodling på torvtäkt med intensiv markbehandling genom dikning, fräsning och gödsling kan ge en positiv kolbalans. Beskogning av torvtäkt kan således redan efter 20 år visa sig vara en åtgärd för att på sikt bidra till nettoinbindning av kol i mark och vegetation.

Summary

There are a number of land-use alternatives for cutover peat areas after finished peat cutting. One land-use alternative is afforestation. In this investigation it was studied how drainage, soil treatments including fertilization, and plantation affected the carbon storage 20 years later.

The studied area is located on the mire Flakmossen in the county of Värmland, SW Sweden. Peat was harvested on 34 hectare of this mire up to 1945. The major part of the cutover area was abandoned until 1982 when after-use activities started. The depth of the remaining peat varied between a few decimeters up to about two meters. Prior to any soil measures, determination of peatland conditions was carried out. Important to this investigation was, *a priori*, the carbon store, i.e. remaining peat thickness was crucial. Therefore, peat depth was thoroughly investigated on 14 hectares of the cutover area in summer 1983. The remaining peat was also sampled at different depths within 18 plots of the whole cutover peat area. These samples were analyzed on i.a. concentrations of carbon and nitrogen. As bulk density also was determined, the amounts of carbon and nitrogen in the remaining peat could be estimated. A very good correlation was found between peat depth and the carbon pool in the peat.

After-use activities included two afforestation projects that in the beginning of the 1980's were set up on the abandoned peat cutover area. One project was a conventional pine plantation on 19 hectares, where the effects of different drain spacings and PK-fertilizer doses were studied. The other project was an intensively managed forest experiment carried out on 14 hectares. This area was first drained and then fertilized with on average 23 tonnes of wood fly ash, 0.4 tonnes of raw phosphate and 0.25 tonnes of superphosphate per hectares. The applied fertilizers and the uppermost 30-40 cm of the peat were then mixed by a tractor-drawn rotovator in one meter wide strips. In these strips, on the 97 established plots, six different tree species were planted.

In autumn 2003, twenty years after the establishment of the intensively managed forest experiment, peat depth was measured in totally 49 plots on the two afforestation experimental areas. Peat was sampled from up to 6 depths on 30 plots and analyzed on bulk density, and concentrations of carbon and nitrogen. On 48 plots the tree biomass were estimated by measurement of breast height diameter on trees within ca 100 m² sample plots. The carbon concentration in the tree biomass was assumed to be 50 % of dry weight, while nitrogen concentration was assumed to vary between 0.2 and 0.8 % of dry weight, depending on tree compartment and tree species.

At the intense cultivation area, the peat depth was on average 8 cm smaller in autumn 2003 compared to the depth in summer 1983. If the humus layer with an accumulation of on average 4.6 cm during the 20 years until autumn 2003 would be included, the depth of organic material was only 3 cm smaller in 2003. The carbon pool in the peat had decreased by on average 2.4 kg C m⁻². With the humus layer included the decrease was only 0.5 kg C m⁻². The total tree biomass (above and under ground) contained on average 5.4 kg C m⁻². During the 20 years, since the establishment of the intense cultivation area, the total carbon pool (soil + biomass) had increased with, on average, 10 % or 4.9 kg C m⁻². However, the variation was large between the plots within this area. Some plots showed a negative carbon balance, but most plots showed a net accumulation of carbon during these 20 years. The values for the

nitrogen pools in peat and biomass are more uncertain, but the total nitrogen pool (soil + biomass) might have increased somewhat 20 years after the plantation.

This investigation shows that already 20 years after drainage and an extensive soil treatment including fertilization and rotovation, and planting on an abandoned peat cutover area, the carbon balance can be positive, i.e. a net accumulation of carbon was achieved within the area. Thus, afforestation of abandoned peat harvested areas can be one after-use activity to increase the carbon pool in these ecosystems in a long term perspective.

Inledning

I Sverige bedrivs idag torvproduktion (energitorv och odlingstorv) på ca 10 000 ha (SCB, 2004). När produktionen av torv på torvtäkten är avslutad kan marken användas på olika sätt; odling av konventionell skog, energiskog, bär- eller fruktodling, olika jordbruksgrödor eller trädgårdsväxter, betesmarksdrift, rekreationsområde eller omföring till våtmark, vattenreservoar eller fiskevatten (Stenbeck 1985 a,b). Tillsammans med markägarintresset är de lokala dränerings- och jordartsförhållandena avgörande för vilken form av markutnyttjande som skall väljas för varje specifikt objekt. En viktig faktor att ta hänsyn till vid val av markutnyttjande är numera också, i samband med Kyotoavtalet, hur nyttjandet av marken påverkar kolbalansen; d.v.s. om området blir en kolsänka eller kolkälla.

I många fall är det lämpligt att plantera skog på den avslutade torvtäkten. Den kvarvarande torven har dock oftast ett mycket lågt innehåll av kalium och fosfor, samt mindre mängd mikroorganismer, bakterier, svampar och rötter i den kvarvarande torven jämfört med den ytliga torven i en opåverkad eller dränerad torvmark (Dooley & Dickinson, 1970; Croft m.fl., 2001). Ju djupare ner man kommer i torven desto mindre andel lättnedbrytbart organiskt material finns det, eftersom de konsumerats med tiden (Hogg m.fl., 1992; Updegraff m.fl., 1995). Detta tillsammans med de hydrologiska förhållandena och att dessa områden ofta är låglänta och frostbelägna, samt har uppfrysningsbenägenhet, medför att det är svårt att etablera vegetation på avslutade torvtäkter utan att dränera, bereda och/eller gödsla den kvarvarande torven.

För att få igång en god etablering och tillväxt för de träd som planteras på en avslutad torvtäkt krävs således ofta dränering och tillförsel av växtnäringsämnen, främst fosfor och kalium. Om någon form av markberedning dessutom utförs (ex. fräsning), gynnas i regel planetableringen och tillväxten. Genom att fräsa ner de tillförda växtnäringsämnena i den kvarvarande torven och då även eventuellt blanda in lite av den underliggande mineraljorden i torven skapas ett ypperligt växtsubstrat. Dessa åtgärder medför oftast att torvtäkten fortsätter att vara en kolkälla, d.v.s. mer kol (i huvudsak som koldioxid som avges vid mineraliseringen av det organiska materialet) försvinner från systemet än vad som binds in.

Pågående eller avslutade torvtäkter, liksom dränerade torvmarker betraktas ofta som kolkällor, speciellt om de inte beskogas eller återväts (Silvola m.fl., 1985, 1996; Martikainen m.fl., 1995; Nykänen m.fl., 1995; Sundh m.fl., 2000; Waddington m.fl., 2002). Gustafsson (2001) redovisade genomsnittliga kolförluster på 8-813 g C m⁻² och år för fyra glest beskogade torvmarker, i Mellansverige, vilka dikats 10-19 år tidigare.

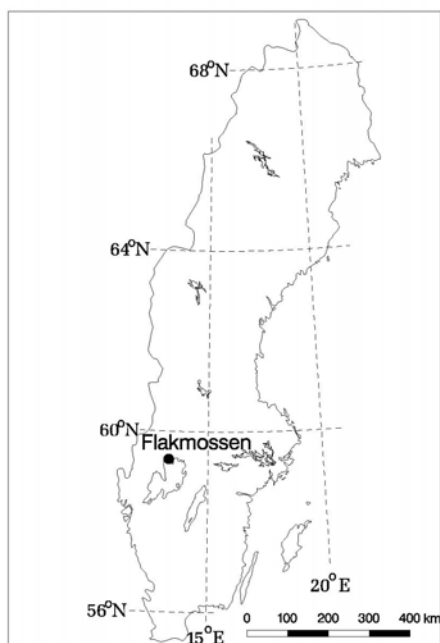
Finska studier av dränerade och beskogade torvmarker har dock visat att dessa ganska snabbt (totalt år) efter dränering återigen blir kolsänkor. Inräknas även kol i trädbiomassan blir systemet en betydande kolsänka (Minkinen et al., 1999, 2002).

I denna för Sverige unika undersökning har effekterna av hur beskogning av en avslutad torvtäkt påverkat kolförrådet bestämts, dels i marken (torv + humuslager), dels totalt (mark + trädbiomassa).

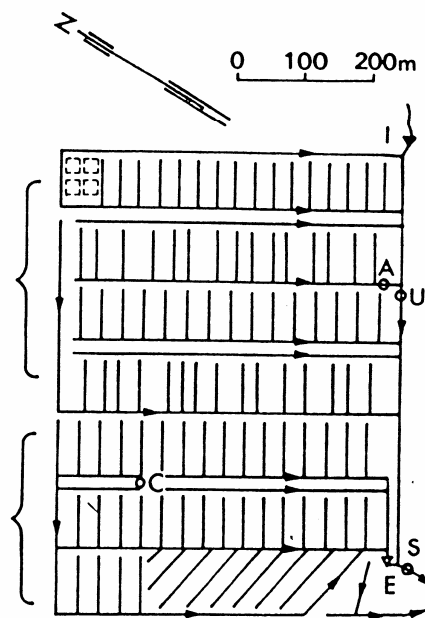
Områdesbeskrivning

Geografiskt läge

Försöksområdet är beläget på Flakmossen (lat. 59°23' N, long. 13°18' E) ca 10 km V Karlstad (Fig. 1). Myrens totala yta, 160 ha, ligger på ca 65 meters höjd över havet och sluttar svagt åt söder.



Figur 1. Flakmossens geografiska läge.
Figure 1. Geographical location of Flakmossen mire.



Figur 2. Karta över odlingsförsöken, med deras dräneringssystem på Flakmossen. C betecknar läge för klimatstation, I och E betecknar lägen för vattenföringsstationer. A, U och S liksom I och E är provtagningsstationer för avrinningsvattnet. Parceller etablerades mellan tegdiken.

Figure 2. Map of the forest treatment areas, with the drainage system at Flakmossen. C = location of climate station. I and E = location of discharge gauging stations. A, U, S, I and E = location of water sampling stations.

Klimat

Områdets klimat påverkas av närheten till Vänern, som har en temperaturutjämnande effekt. Sydvästliga vindar är dominerande under vår, sommar och höst, medan nordliga vindar är förhärskande under vintern. Årsmedelvärden för temperatur och nederbörd vid Karlstads flygplats (10 km OSO Flakmossen) under perioden 1961-1990 var 5.4 °C resp. 635 mm (Alexandersson et al., 1991). Vegetationsperioden (>5°C) varar normalt från 15 april till 7 november, 206 dagar (Perttu et al., 1978). Temperatursumman (>+5°C) under denna period är normalt 1402 °C.

Geologi

De bergarter som underlagrar området utgörs främst av salisk (plagioklasrik) järngnejs (Magnusson & Sandegren, 1933). Flakmossen ligger på distalsidan av ett stort randdelta, benämnt Sörmon. Efter isavsmältningen för ca 9800 år sedan utgjorde Sörmon ett åsnätliknande landskap, beläget på 70-80 meters djup under havsytan (Blomqvist, 1969). När området höjdes ur havet, för ca 7 000 - 9 000 år sedan, omformade havsvågorna åsnätet till en plåtåartad avlagring. På Sörmons distalsida omformades ytlagret av vinden till 0.5 - 2 meter höga vallformiga flygsandsdynor i ost-västlig riktning. Under torven på Flakmossen kan liknande mindre bildningar påträffas. Den dominerande kornstorleken i den underlagrande mineraljorden växlar mellan grovmo (0.06-0.2 mm) och mellansand (0.2-0.6 mm).

Flakmossen kan betecknas som ett kärr, eftersom området har ett utströmmande grundvatten. Grundvattnet och torven har därför en relativt god näringsstatus. Myrområdet har ett tämligen tunt lager av främst vasstorf med inslag av starrtorf.

Torven på Flakmossen bildades troligen som en följd av primär torvmarksbildning och försumpning. Under de perioder, efter inlandsisens avsmältning, då klimatet var kallt och nederbördsrikt höjdes grundvattenytan i de sandmassor där Flakmossen nu ligger. Sänkorna mellan flygsandsdynorna försumpades och kärrtorf bredde efter hand ut sig över dynerna och en torvmark bildades. Klimatet möjliggjorde så småningom att en högmosse bildades på den sydvästra delen av myren. Magnusson & Sandegren (1933) betecknade Flakmossen som en starrmosse med starrmosstorf i det översta skiktet (0 - 0.6 m), starrtorf i skiktet 0.6 - 1.0 m och kärrdy med sand i skiktet 1.0 - 1.7 m.

På den västra delen av Flakmossen, där ej någon torvtäktsverksamhet genomförts, gjordes 1940 en undersökning för bränntorfberedning. Av undersökningen framgick att högmosseplanet bestod av följande lagerföljd:

0 - 2.5 m vitmosstorf, humifieringsgrad H2 - H3 enligt von Post's skala (von Post, 1922)

2.5 - 3.5 m vitmosstorf med enstaka *Phragmites*-rester, H8 - H9

3.5 - 4.0 m *Carex-Phragmites*-torf, H4 - H5

4.0 - 4.1 m grov detritusgyttja

4.2 m + sand, grå färg på grund av reducerande förhållanden

I kärrpartierna som omgav högmossen var torvtäcket ca 1.5 - 2.5 m mäktigt och inslaget av starrtorf var mer betydande. Högmosseplanet på Flakmossen är till största delen orört, frånsett en del gamla dräneringsdiken.

Huvuddelen av det utströmmande grundvattnet på Flakmossen härrör från nederbörd som infiltrerat i Sörmons randdelta. En del av grundvattnet härrör dock från konstgjord infiltration på Sörmon. Karlstads kommun anlade nämligen 1953-56 ett markinfiltrationsverk på Sörmon.

Torvtäktskytan

Torvbrytning bedrevs på den östra delen av Flakmossen under första hälften av 1900-talet. Cirka 50 hektar av myren dikades och torvbrytning pågick här på 34 hektar fram till 1945. Större delen av täktytan lämnades obehandlad fram till början av 1980-talet. Vegetationskolo-

nisationen var mycket sparsam under de 40 år som passerat. Den dominerande vegetationen på tåktytan, före markbehandlingarna 1982-1984, karaktäriserades av en artfattig kärrvegetation där större enartsbestånd fanns omväxlande med mer eller mindre öppna torvtytor. Fältskiktet dominerades av bladvass (*Phragmites communis*), vitag (*Rynchospora alba*), ängsull (*Eriophorum angustifolium*), flaskstarr (*Carex rostrata*), ljung (*Calluna vulgaris*) och sileshår (*Drosera* spp.). Bottenskiktet var oftast svagt utbildat och utgjordes nästan enbart av mossor (Eriksson, 1983).

På Flakmossens tåktyta har genom åren tre skogsodlingsförsök startats (Fig. 2):

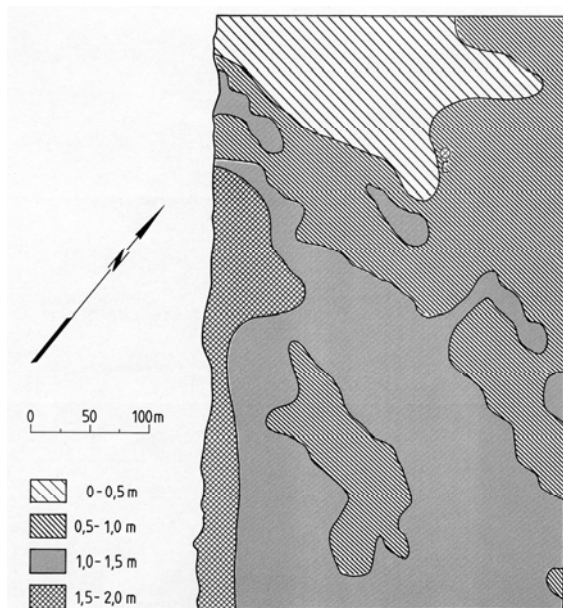
- 1) ett litet s.k. pilotförsök (0.16 ha)
- 2) en konventionell tallskogsodling (19 ha)
- 3) en intensivodling av sex olika trädslag (14 ha)

Det övergripande syftet med skogsodlingsförsöken på Flakmossen är att studera skogsproduktionen på en gammal torvtäkt. Dessutom ingick undersökningar av fördelar av asknyttjande och hur olika trädslag reagerade på detta vid odling på utbruten torvmark.

Den kvarvarande torvens egenskaper

I samband med att försöket med intensiv skogsproduktion startade 1983 undersöktes bl.a. torvdjupet och torvens egenskaper inom torvtäktsytan, främst dock inom den kommande intensivodlingsytan. Torvmäktigheten bestämdes i ett 20 m förband. Torvens humifieringsgrad och kemiska sammansättning bestämdes i 15 markprofiler inom intensivodlingsytan och 3 markprofiler inom tallskogsodlingen. En vegetationskartering utfördes också inom intensivodlingsytan.

Torvlagrets mäktighet varierade kraftigt inom intensivodlingsytan, från 0 - 0.5 m i den nordvästra delen till nästan 2 m i den södra delen (Fig. 3).



Figur 3. Torvdjupskarta över intensivodlingsytan på Flakmossen.

Figure 3. Map over the peat depths for the intense forest production area at the mire Flakmossen.

Torvens förmultningsgrad enligt von Post's skala (von Post, 1922) låg i allmänhet mellan H3 och H5, men i den nordvästra delen var torven mer förmultnad (H4-H7). Förmultningsgraden ökade nedåt i torvlagren. Torvslagsbestämningen visade att i de södra och sydvästra delarna av intensivodlingsytan utgjorde *Phragmites* ofta 80-100 % av torvmaterialet. Vid provtagningspunkterna i den norra och nordöstra delen av intensivodlingsytan bestod torvmaterialet av *Phragmites* (30-85 %), *Sphagnum* (10-70 %) och/eller vedtorv (10-20 %).

Näringsförhållandena visade relativt gynnsamma förhållanden men med låga kalium- och fosforhalter. Kvävehalten i torven före markbehandlingen på intensivodlingsytan var relativt hög (1.4-2.7 % av torrsubstanshalten). Halterna av övriga växtnäringsämnen var dock låga eller mycket låga (Tabell 1).

Utströmningen av järnrikt grundvatten från det intilliggande randdelat, Sörmon, medför att kraftiga järnutfällningar förekommer i torven, inom kvadratmeterstora fläckar, där grundvattenflödet är speciellt stort. Järnutfällningar förekommer även i flertalet diken.

Tabell 1. Halten av växtnäringsämnen, CN-kvot samt pH inom markskiktet 0-15 cm före markbehandlingen på intensivodlingsytan. n = antalet analyserade prov

Table 1. Concentration of nutrients, CN-ratio and pH in the 0-15 cm soil layer before soil treatments at the intense cultivation area. n = number of analyzed samples.

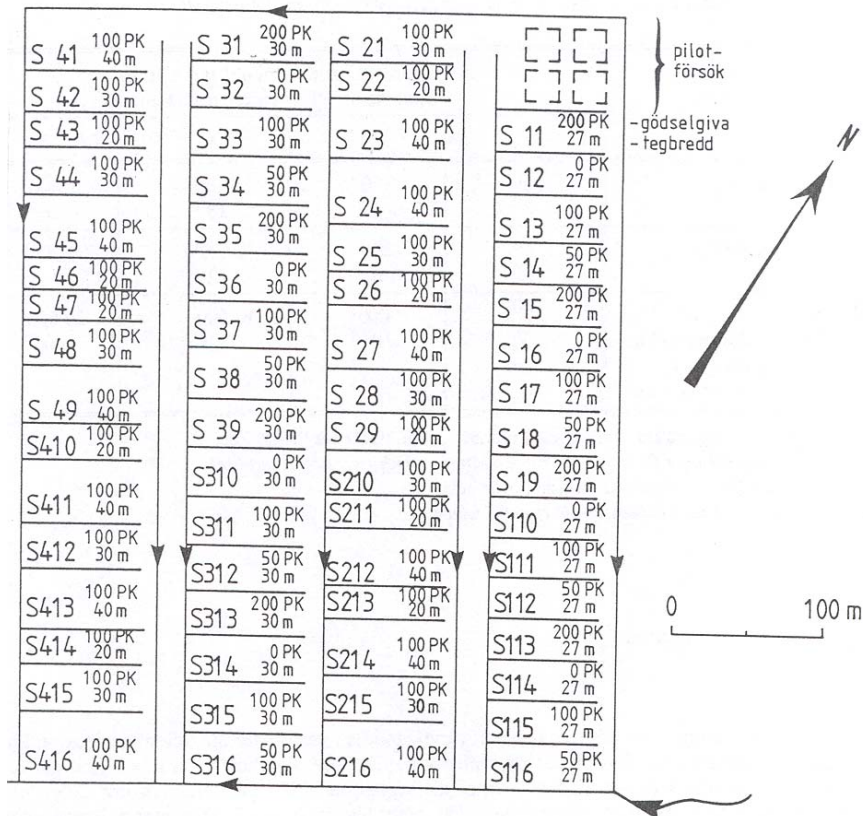
Element	n	Medelvärde Mean value
pH-H ₂ O	18	4.5
C/N	18	26
Tot-N (%)	18	2.1
Tot-P (mg/kg)	18	320
P-AL (mg/kg)	18	9.5
P-HCl (mg/kg)	18	20
Tot-K (mg/kg)	18	130
K-AL (mg/kg)	18	8.3
K-HCl (mg/kg)	18	33
Tot-Ca (mg/kg)	18	3800
Tot-Mg (mg/kg)	18	730
Tot-Fe (mg/kg)	3	10700
Tot-Al (mg/kg)	3	1900
Tot-Mn (mg/kg)	18	26
Tot-S (mg/kg)	3	6200
Tot-Cu (mg/kg)	3	3.5
Tot-Zn (mg/kg)	3	6.3
Tot-B (mg/kg)	3	<1.0

Markbehandlingsåtgärder

Konventionella tallskogsytan

I den nordöstra delen av torvtäkten anlades 1982 ett 19 ha stort konventionellt skogsodlingsförsök med tall (Fig. 2). Försöket startades av skogsvårdsstyrelsen i Värmlands län, tillsammans med markvärden, Lilleruds lantbruksskola (Värmlands landsting) och under ledning av Sveriges lantbruksuniversitet. De 19 ha indelades i fyra fält bestående av vardera 16 tegar (Fig. 4). På två

av fälten är tegbredden 30 m, medan tegbredden varierar på de två övriga fälten (20 m, 30 m, 40 m). Våren 1983 planterades täckrotsplantor av tall (ca 2 000 plantor per hektar), som våren 1984 gödslades individuellt med PK-gödsel (Tabell 2). På de fält där parcellerna hade olika tegbredd spreds 100 g PK-gödselmedel (9 % P, 16 % K) per planta. På fält där parcellerna hade fast tegbredd (30 m) varierades gödselgivan (0, 50, 100 och 200 g PK-gödselmedel per planta).



Figur 4. Parcellindelning på den konventionella tallskogsytan. Tegbredd och gödselgiva anges vid varje parcell.

Figure 4. The conventional pine plantation with plot number, ditch spacing and doses of PK-fertilizer.

Redan efter några år kunde man se bristsymptom på de tallplantor som bara erhöll 50 g PK per planta. Därför beslöts att genomföra en bredgödsling med PK-gödselmedel på de parceller där tallplantorna PK-gödslats tidigare. Denna bredgödsling genomfördes våren 1992. De parceller som tidigare fått 50 g PK-gödsel per planta fick 185 kg PK (13 % P, 13 % K) per hektar. Motsvarande givor för de parceller som våren 1984 fick 100 resp. 200 g PK per planta var 370 resp. 740 kg PK per hektar.

Tabell 2. Gödslingsgivor vid tallskogsodlingen på Flakmossen. Vid den individuella gödslingen spreds PK-gödslet inom 0.1 m² runt varje planta. Då planttätheten var ca 2 000 plantor per ha, täckte gödslingen ca 2 % av den totala odlingsytan.

Table 2. Doses of PK-fertilizer on the pine plantation at Flakmossen. The PK-fertilizer were spread within 0.1 m² around each seedling. As the plant density was about 2 000 per ha, the fertilization covered about 2% of the total area within the pine plantation.

Gram PK-gödselmedel per planta <i>Grammes of PK-fertilizer per seedling</i>	Gödslingsgivor i g/planta och motsvarande i kg/ha			
	0	50	100	200
Kg P per hektar	0 ¹⁾ 0 ²⁾	450 ¹⁾ 9 ²⁾	900 ¹⁾ 18 ²⁾	1 800 ¹⁾ 36 ²⁾
Kg K per hektar	0 ¹⁾ 0 ²⁾	800 ¹⁾ 16 ²⁾	1 600 ¹⁾ 32 ²⁾	3 200 ¹⁾ 64 ²⁾
Total mängd (kg) PK-gödselmedel per hektar <i>Total amount (kg) of PK-fertilizer per hectares</i>	0 ¹⁾ 0 ²⁾	5 000 ¹⁾ 100 ²⁾	10 000 ¹⁾ 200 ²⁾	20 000 ¹⁾ 400 ²⁾

¹⁾ Omräknat till kg/ha för den yta runt plantorna som tillfördes PK-gödsel

¹⁾ *Converted to kg/ha for the area around the seedlings, which received PK-fertilizer*

²⁾ Omräknat till att givan hade spridits över hela ytan

²⁾ *Dose if the fertilizer had been spread over the total area*

Intensivodlingsytan

Dikning

De öppna diken som fanns kvar på myren sedan torvtäktstiden, var till största delen igenvuxna sommaren 1983. Det fanns också täckdiken med en fyrkantskonstruktion gjorda i trä. En omfattande dikning av den planerade ytan (14 ha) för intensiv skogsproduktion fick därför göras. Denna dikning påbörjades i slutet av september 1983 på den sydöstra delen av torvtäkten. Dikningen utfördes så att sammanlagt 45 tegar om vardera ca 90 x 30 m bildades (Fig. 2). I oktober 1983 kunde dikningen avslutas och dikningsmassorna jämnades ut. En mindre kompletteringsdikning gjordes sommaren 1984 i den sydöstra delen av intensivodlingsytan, som gränsar mot den naturliga mosseytan.

Gödsling och fräsning

De bestämningar av pH, katjonutbyte och basmättnadsgrad som gjordes sommaren 1983 på torven från Flakmossen, visade att ca 30 ton torr aska/ha erfordrades för att höja torvens pH från 4.7 till 5.5 ner till ett djup av 50 cm. Detta pH-värde krävdes för att de Salix-kloner som senare planterades skulle kunna etablera sig.

Vedflygaskan erhöles från Stora Skogs anläggningar i Skoghall och är en restprodukt vid förbränning av spillved. Kolhalten i denna flygaska varierade kraftigt, men var generellt relativt

hög; ca 35 vikts-%. Askan hade ett relativt lågt innehåll av de viktiga växtnäringsämnena Ca, K, Mg och P (Tabell 3). Tungmetallhalterna låg under de värden som Skogsstyrelsen angett som maximala halter för aska som skall återföras till skogsmark.

Hösten 1983 spreds vedflygaskan (i medeltal ca 23 ton/ha) och fosforit (400 kg/ha) på 10 ha av ytan. På grund av maskinfel, dröjde det till juli 1984 innan ytterligare 3 ha av de resterande 4 ha kunde gödslas med samma givor av vedflygaska och fosforit, som hösten 1983.

Tabell 3. Halter av makroelement och spårelement i vedflygaskan från spillvedsförbränning vid Skoghallsverken. Analyserna har utförts med röntgenfluorescens eller med uppslutning i salpetersyra och analyserat med ¹⁾ plasmaspektrometer eller ²⁾ atomabsorptionsspektrometer med grafitugn. Litteraturvärdena kommer från Nilsson (2001). I de två kolumnerna längst till höger redovisas de av Skogsstyrelsen lägsta resp. högsta rekommenderade halterna av vissa ämnen i vedaska som skall återföras till skogen (Samuelsson, 2001).

Table 3. Analyses of wood fly ash from burning of forest biomass at the Skoghall timber processing industry. Analyses made with XRF or with digestion in HNO₃ and analysed with ¹⁾ plasma emission spectrometer or ²⁾ AAS with graphite furnace. Literature values from Nilsson (2001). The values in the two columns at the extreme right are recommended minimum and maximum contents of elements in ashes intended for ash recycling to forest land, according to the Swedish National Board of Forestry (Samuelsson, 2001).

Ämne <i>Element</i>	Enhet <i>Unit</i>	Vedflygaska – <i>Wood fly ash</i>			
		Skoghallsverken <i>Skoghall timber processing factory</i>	Litteraturvärden <i>Literature values</i>	Rekommenderade halter <i>Recommended contents</i>	
				Minimum	Maximum
P	%	0.6	0.03 - 2.80	1.0	
K	%	2.9	0.11 – 16.2	3.0	
Ca	%	13.2	0.58 – 54.9	12.5	
Mg	%	1.5	0 – 11.7	2.0	
Na	%	0.6	0 – 13.4		
S	%	1.38			
Si	%	7.6	0 – 31		
Fe	%	1.3	0 – 12.6		
Al	%	1.5	0 – 12.2		
Mn	%	1.6	0 – 2.3		
As	mg/kg	<10	0 – 110		30
Ba	mg/kg	1 950			
Cd	mg/kg	20 ¹⁾	0 – 30		30
Co	mg/kg	<10			
Cr	mg/kg	51	3.4 – 250		100
Cu	mg/kg	126	1 – 600		400
Hg	mg/kg	0.44 ²⁾	0 – 1		3
Mo	mg/kg	22	<0.25 – 3		
Ni	mg/kg	28	0 – 250		70
Pb	mg/kg	107	1.2 – 500		300
Rb	mg/kg	116			
Sn	mg/kg	131			
Sr	mg/kg	528			
Th	mg/kg	91			
Ti	mg/kg	700			
Zn	mg/kg	2 170	15 – 5 000	1 000	7 000
Zr	mg/kg	68			
U	mg/kg	68			
V	mg/kg	52	3.4 - 120		70
W	mg/kg	16			
Y	mg/kg	62			

Spridningen av flygaskan utfördes med hjälp av en stallgödselspridare (JS 65) kopplad till en jordbrukstraktor (MB-Trac 700). Både traktorn och spridaren var försedda med dubbla däckmontage. För att minimera markskadorna och inte riskera fastkörning spreds askan i små lass om 1-2 ton. Sammanlagt spreds 1983 ca 350 ton aska och 1984 ca 100 ton aska. Den tillförda mängden aska på varje parcell kontrollerades genom utställda uppsamlingskärl.

Fräsningen av torven utfördes med en av Jordbrukstekniska institutet konstruerad fräs (Danfors et al., 1985). Fräsningen påbörjades i oktober 1983, men på grund av maskinskada fick fräsningen avbrytas i november samma år. Då hade 5 ha (=18 tegar) frästs färdigt. Resterande 9 ha frästes under juli/augusti 1984. Vid fräsningen tillsattes under fräsens gång 250 kg superfosfat per hektar i de frästa spåren. Torven frästes i en meter breda spår ned till ett djup av 30-40 cm. Mellanrummet mellan frässpåren var 1.2 m, vilket medförde att 10-13 frässpår gjordes på varje teg. Då frässpåren täcker ungefär 40-45 % av ytan inom tegarna var superfosfatgivan således ca 100-110 kg/ha.

Den stora askgivan, medförde att avsevärda mängder växtnäringsämnen tillfördes intensivodlingsytan. Bland annat tillfördes ca 3 200 kg kalcium och 670 kg kalium per hektar (Tabell 4).

Tabell 4. Tillförd mängd växtnäringsämnen vid gödningen med vedflygaska (23 ton/ha), råfosfat (0.4 ton/ha) och superfosfat (0.25 ton/ha) på intensivodlingsytan på Flakmossen.

Table 4. Applied amounts of plant nutrients by the fertilization of wood fly ash (23 tonnes/ha), raw phosphate (0.4 tonnes/ha) and superphosphate (0.25 tonnes/ha).

Element	Tillförd mängd <i>Applied amount</i> (kg/ha)
Kalcium (Ca)	3 200
Kalium (K)	670
Mangan (Mn)	360
Svavel (S)	350
Magnesium (Mg)	350
Järn (Fe)	300
Fosfor (P)	210
Natrium (Na)	130
Zink (Zn)	50
Klor (Cl)	43
Koppar (Cu)	3

Plantering

De 45 tegarna på intensivodlingsytan indelades i 97 parceller (Fig. 5). Dessa parceller planterades med olika trädslag i två omgångar våren 1984 och våren 1985. Följande plantmaterial användes:

Tall 2/1 (*Pinus sylvestris* L.), plantor av plantagefrön från 30 kloner insamlade från Dals-Ed i nordvästra Dalsland upp till Nås i sydvästra Dalarna, benämnd 089 Ugglom.

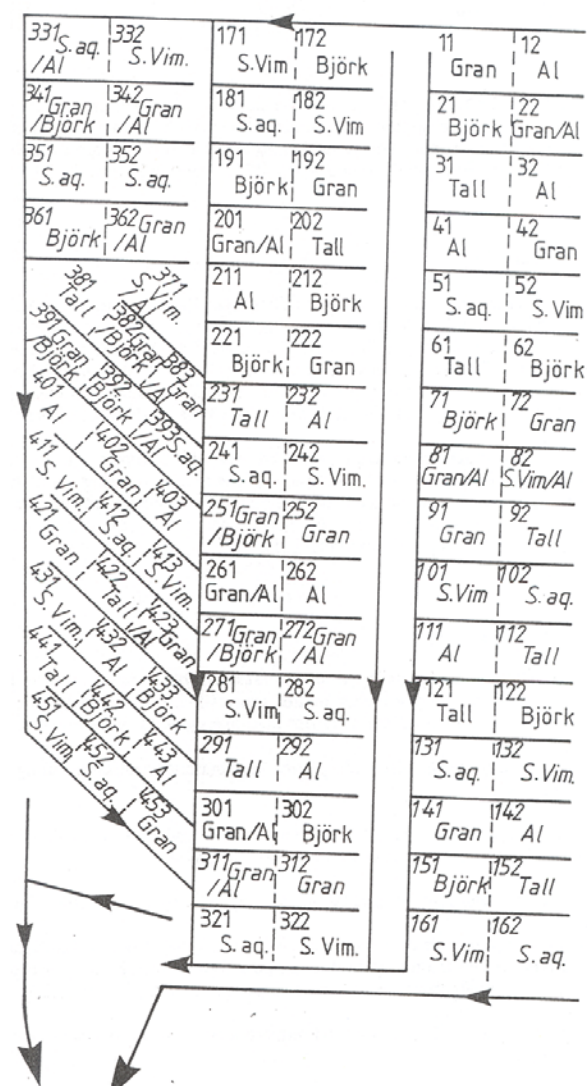
Gran 2/2 (*Picea abies* Karst.), från breddgrad 59 30' N och 100 m.ö.h., respektive plantor från Sunne 100-200 m.ö.h.

Björk 1/1 (*Betula pubescens* Ehrh.), från Finnmossen, Surahammar i sydöstra Västmanland. (40-60 cm höga plantor).

Al 1/1 (*Alnus incana* (L.) Moench), från Friesenborg i Danmark. Gråal skulle ha erhållits, men tyvärr visade det sig att plantmaterialet 1984 innehöll ca 10-30 % klubbalsplantor och 1985 till mer än 80 % av klubbalsplantor (60-100 cm, resp. 40-100 cm höga plantor).

Sticklingar från två olika *Salix*-kloner:

S. viminalis (L.) klon 77683 (=korgpil) och *S. dasyclados* (Wimm.) 79052 (=vattenpil).



Figur 5. Parcillindelningen på intensivodlingsytan.

Figure 5. Plots at the intense cultivation area at Flakmossen mire.

Tall- och granplantorna sattes i 1.2 meters förband, vilket betyder 8 000 plantor per hektar. Al- och björkplantorna sattes i 0.7 meters förband eller 14 000 plantor per hektar. *Salix*sticklingarna sattes också i 0.7 meters förband (14 000 sticklingar per hektar), men sticklingarna sattes mitt emot varandra i två parallella rader i varje frässpår. Al-, björk- och granplantor i blandparceller-

na sattes i 1.2 meters förband, med varannan planta gran och varannan al eller björk. Inom dessa blandparceller står det således 4 000 gran och 4000 al- eller björkplantor per hektar.

Röjning och gallring

Inom speciellt intensivodlingsytan, men även den konventionella tallskogsodlingen kom det upp lövsly genom att frön från omgivande skog spridit sig. Under perioden 1984-1991 genomfördes, på intensivodlingsytan, ogräsröjning och lövslyröjning nästan varje sommar. Hösten 1991 genomfördes dessutom en gallring av 10 parceller med björk, gråal eller gran/gråal.

På den konventionella tallskogsodlingen har lövslyröjningen skett främst på de parceller som ligger på det östligaste fältet. På grund av resursbrist har i stort sett ingen lövslyröjning eller gallring skett på någon yta sedan 1996.



Foto 1. Flakmossen, 1983, fyrtio år efter avslutad torvtäkt.

Photo 1. Flakmossen mire, 1983, 40 years after termination of peat harvesting.



Foto 2. Flakmossen, 1996, 13 år efter markbehandling och plantering. Parcell med gråal, där självgallring skett.

Photo 2. Flakmossen mire, 1996, 13 years after soil treatment and plantation. Plot with grey alder, self-thinning have occurred.

Material och metoder

Torvdjup och marknivå

Den noggranna torvdjupsbestämningen på intensivodlingsytan sommaren 1983 omfattade ca 200 punkter (Fig. 3). Utifrån dessa mätningar kunde ett genomsnittligt torvdjup ansättas för varje parcell som anlades på intensivodlingsytan hösten 1983. Detta gav en god grund för uppföljningen av torvdjupsändringar. Inom ytan för den konventionella tallskogsodlingen har ett betydligt mindre antal punkter inventerats för torvdjup. Dessa kommer dels från torvprovtagning, dels vid installation av grundvattenrör.

Hösten 2003 genomfördes nya torvdjupsmätningar inom 28 parceller på intensivodlingsytan och 33 parceller på den konventionella tallskogsodlingen. De utvalda parcellerna representerade dels olika behandlingar (tegbredd och PK-giva på den konventionella tallskogsodlingen, samt träslag och planteringsår på intensivodlingsytan). Dessutom representerar parcellerna också olika delar av den avslutade torvtäkten, med olika torvdjup och torvegenskaper. I nio punkter jämt fördelade inom varje parcell penetrerades torven (inkl. det humuslager som bildats sedan planteringen) med en stålsond (diameter 10 mm) ned till det djup där sand påträffades. Torvdjupet (inkl. humuslager) bestämdes med en noggrannhet av 1 cm. Medelvärdet för de nio punkterna beräknades och ansattes som torvdjup för parcellen. Dessa medelvärden för respektive parcell jämfördes med motsvarande genomsnittliga torvdjup på parcellerna sommaren 1983. I samband med torvdjupsmätningarna hösten 2003 mättes inte humuslagrets mäktighet. Humusmäktigheten mättes dock i tre punkter inom varje parcell i samband med torvprovtagningen.

Marknivån följdes, med varierande intensitet, under perioden 1983-1990 vid 14 stationer på Flakmossen. De 14 stationerna kan indelas i fyra grupper:

- a) Två stationer var belägna på den konventionella tallskogsytan men nära det avskärningsdike, som avskiljer den konventionella tallskogsytan från intensivodlingsytan.
- b) Fyra stationer belägna på tunt torvtäcke (< 50 cm) på intensivodlingsytan.
- c) Fyra stationer på intensivodlingsytan och på torvtäcke som översteg 50 cm.
- d) Fyra stationer belägna på den ”örörda” mossedelen av Flakmossen. Dessa fyra stationer låg 25-40 m från det avskärningsdike, som avskiljer intensivodlingsytan från den mossedel på Flakmossen, där ingen torvtäkt bedrivits, men viss dränering har skett genom diken som förmodligen grävdes i samband med anläggningen av torvtäkten.

Torvens volymvikt, samt kol- och kväveinnehåll

I juli 1983, före dikning och markbehandling, genomfördes den första markprovtagningen. Sammanlagt 48 torvprov insamlades från 18 markprofiler fördelade över hela torvtäksytan. Beroende på torvdjupet togs prov från 2-6 olika markdjup (0-10 cm ned till 65-75 cm djup). Av de 48 torvproven togs 40 prover från 15 profiler inom den blivande ytan för intensiv skogsproduktion. Markprovtagningen gjordes vid detta tillfälle med en humusborr, med diameter 10 cm, horisontellt in i torvprofilen. Längden på proven noterades varigenom den totala provvolymen kunde beräknas för varje nivå och lokal. Proven torkades och med torrsubstansvikten samt provvolymen kunde volymvikten beräknas. Totalkolhalten i proven bestämdes genom vätför-

bränning och titrering av uppsamlad CO₂, medan halten av totalkväve bestämdes med Kjeldahl-metoden.

Efter markbehandlingarna (1983-1984) och planteringen (1984-1985) gjordes ett antal markprovtagningar under åren 1984-1990. Dessa markprov insamlades främst från torven i eller under frässpåren (10-20, 30-40 och 50-60 cm djup). På dessa prov bestämdes volymvikten.

Hösten 2003 provtogs torv och humustäcke på 12 parceller inom den konventionella tallskogsytan och 18 parceller inom intensivodlingsytan. Vid provtagningen avskiljdes det nybildade humuslagret från torven och kom att utgöra separata prov, så att kolupplagringen i humustäcket kunde bestämmas. Följande uppdelning av humus- och torvprov gjordes:

Humustäcke
Torv 0-10
Torv 10-20
Torv 20-40
Torv 40-60
Torv 60-80.

Prov från humuslagret togs i tre punkter i en diagonal tvärs över varje parcell. I punkten mitt på parcellen togs även torvproven. För provdjupen 0-10 cm och 10-20 cm togs tre prov i samma profil. När de översta 20 cm av torven provtagits avlägsnades kvarvarande torvresten till 20 cm djup, så att nästa 20 cm av torven kunde provtas, dvs till 40 cm djup o.s.v. upprepades proceduren succesivt ner till 80 cm djup. För nivåer >20 cm djup togs två prov per nivå i samma profil. Alla prov togs i de frästa spår, där planteringen tidigare skett. Större rötter undveks vid provtagningen. Proven togs även denna gång med en humusborr med 10 cm diameter, men denna gång vertikalt i profilen. Längden på varje prov noterades och jämfördes med djupet i varje provtaget hål. Även det provtagna humuslagrets mäktighet noterades så att volymen för varje prov från de enskilda provnivåerna kunde beräknas. Volymvikten beräknades på samma sätt som vid provtagningen 1983.

Efter torkning och sällning genom en 2 mm sikt analyserades proven på totalkol och totalkväve. Totalhalterna av kol och kväve bestämdes efter torrförbränning av proverna vid 1250 °C med en LECO CNS-1000.

Kol- och kvävemängder beräknades från volymvikt och kol- respektive kvävehalt i varje nivå.

Vid beräkningen av kol-och kvävemängder i torven ner till mineraljorden har vi för torven under de provtagna torvskikten (maximalt 80 cm djup) ansatt värden på volymvikt, kol- och kvävehalter utgående från analyserade värden på det djupaste provtagna torvskiktet på respektive parcell. Kol- och kvävemängder i de olika skikten har summerats för respektive provpunkt/parcell. För 1983 års provtagning finns således 18 värden på kol- och kväveförråd i den kvarvarande torvpacken, medan det för 2003 års provtagning finns värden på kol- och kväveförråd i torv + humuslager från totalt 30 parceller.

På intensivodlingsytan fanns det både 1983 och 2003 torvdjupsmätningar från betydligt fler parceller än de antal parceller där torven provtogs. Regressionssamband har därför tagits fram mellan torvdjupet och förråden av kol och kväve. Dessa samband har använts för att beräkna kol- och kväveförråd på de parceller, inom intensivodlingsytan, där torven inte provtagits.

Beräknade kol- och kväveförråd i torven från 28 parceller inom intensivodlingsytan, där biomassan har uppmätts (se nedan), har sedan jämförts mellan 1983 och 2003 års provtagningar.

Biomassabestämning

Biomassan ovan jord för de träd som fanns kvar hösten 2003 beräknades genom mätningar på 21 parceller inom den konventionella tallskogsodlingen och 28 parceller inom intensivodlingen. Inom dessa parceller lades en provyta ut med en areal av ca 100 m². Antalet stammar inom denna provyta räknades och brösthöjdsdiametern mättes på dessa träd. Vid mätningen noterades också trädslaget.

Biomassans torra vikt för trädens olika komponenter ovan jord (stam, levande grenar, döda grenar) beräknades utgående från brösthöjdsdiameter med hjälp av existerande funktioner för gran, tall och björk (Marklund, 1988) och gråal (Johansson, 2000). För gran och tall användes även de funktioner som framtagits av Marklund (1988) för beräkning av barrens och stubbrottsystemets torra vikt. Några funktioner för beräkning av biomassan i stubbrottsystemet för björk och al finns, så vitt vi vet, inte. Uppskattningen av björkarnas och alarnas biomassa i stubbrottsystemet gick till på följande sätt: Huvuddelen av de mäta träden hade en brösthöjdsdiameter mellan 5-15 cm. I detta intervall utgör (enligt Marklunds funktioner) stubbrottsystemets biomassa ca 25 % av granarnas eller tallarnas ovanjordiska biomassa. För de mäta björk- och alträden har vi därför antagit att biomassan i deras stubbrottsystem är av samma relativa storleksordning som för gran- och tallträden, d.v.s. 25 % av deras ovanjordiska biomassa. Kolhalten i de olika komponenterna har satts till 50 % av torrsbstanshalten (Liski m.fl., 2002). Kvävehalten varierar mer mellan de olika träddelarna och utgående från ett flertal undersökningar (Björkroth & Rosén, 1977; Finér, 1989; Saarsalmi m.fl., 1992; Helmisaari, 1995; Hytönen m.fl., 1995; Eriksson, 1996; Almberg, 1999; Hytönen & Kaunisto, 1999; Nilsson, 2001; Isberg, 2002; Axegård & Backlund, 2003; Hagen-Thorn m.fl., 2004) har vi ansatt olika kvävehalter i olika träddelar (Tabell 5).

Tabell 5. Kvävehalter (% av torrsbstanshalten) i olika träddelar, för beräkning av kväveförrådet i trädbiomassan. De ansatta kvävehalterna är viktade m.a.p den ungefärliga viktsfördelning av biomassa som finns i olika träddelar (barr, grenar, stamved och stubbrottsystem) i 20-30 åriga bestånd (se Marklund, 1988).

Table 5. Applied concentrations of nitrogen (% of dry matter) in different tree compartments to calculate nitrogen pools in tree biomass. The applied nitrogen concentrations are weighted regarding to the approximate distribution of biomass in different compartments (needles, branches, stemwood and stump-root system) in 20-30 year old forest stands (Marklund, 1988).

Trädslag <i>Tree species</i>	Träddel / <i>Tree compartment</i>		
	Ovan jord <i>Above ground</i>	Stubbrottsystem <i>Stump-root system</i>	Totalt <i>Totally</i>
Al / <i>Alder</i>	0.8	0.6	0.7
Björk / <i>Birch</i>	0.4	0.3	0.35
Gran / <i>Norway spruce</i>	0.5	0.2	0.4
Tall / <i>Scots pine</i>	0.4	0.2	0.35

Resultat

Markförhållanden före markbehandling och beskogning (1983)

Torvdjup, torvslag och torvens förmultningsgrad inom intensivodlingsytan inventerades sommaren 1983 och förhållandena finns beskrivit i denna rapport under delkapitlet 'Den kvarvarande torvens egenskaper' i kapitlet Områdesbeskrivning.

Torvens volymvikt

I de sammanlagt 48 torvprov som analyserades på volymvikt var den genomsnittliga volymvikten 0.109 g cm^{-3} . Volymvikten avtog från i medel 0.129 g cm^{-3} i de översta 20 cm till i medeltal 0.074 g cm^{-3} på 60-80 cm djup.

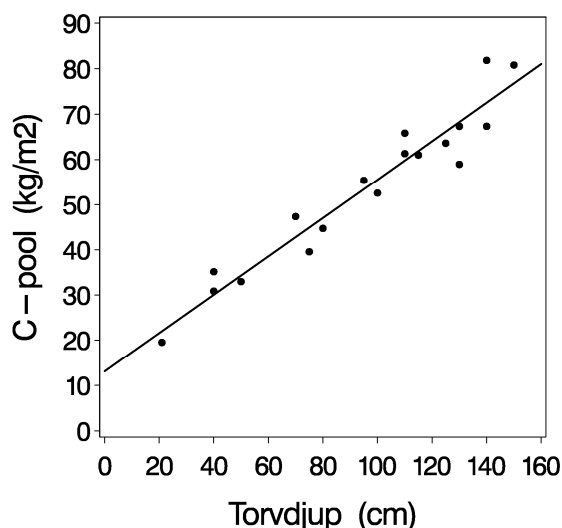
De provtagningar som gjordes de första åren efter markbehandling och plantering (1984-1990) visade att volymvikten i de översta 15 cm ökat till ca 0.25 g cm^{-3} . Volymvikten hade också ökat ca 20-100 % i torvskikten från 15 cm djup ner till ca 40 cm djup. Därunder var volymvikten i stort sett opåverkad.

Halter och mängder av kol och kväve i torven

Kolhalterna i torven varierade från 53.3 % ts till 62.8 % ts. med ett medelvärde på 58.5 % ts. (% ts. betyder mängd kol i relation till jordprovets torrsubstanshalt (ts.)). Någon tydlig variation med provdjupet fanns inte. Kvävehalten i torven var i genomsnitt 2.13 % ts., med en relativt stor variation (1.23-2.92 % ts.). Inte heller för kvävehalten fanns någon samvariation med provdjupet. CN-kvoten varierade mellan 20.0-45.8 och medelvärdet var 28.7.

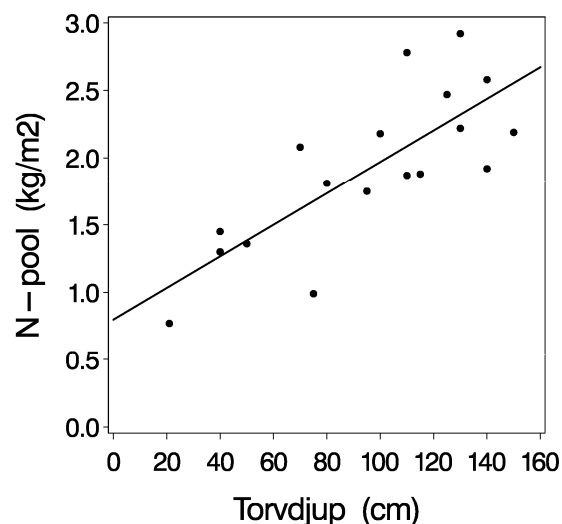
Baserat på volymvikter, kol- och kvävehalter beräknades, för de 18 torvprofilerna, de totala kol- respektive kvävemängderna i torven ner till mineraljorden. Relaterades mängderna till torvdjup så kunde samband upprättas. Dessa visade att en god uppskattning av kolmängden i torven kunde göras utgående enbart från torvdjupsmätningarna (Fig. 6). Även för kväve kunde mängden i torven skattas utgående från torvdjupet (Fig. 7). För kvävemängden var dock sambandet med torvdjupet inte lika starkt som för kolmängden.

Utgående från ovanstående samband mellan torvdjup och kol- respektive kvävemängd kunde mängden kol och kväve i torven även skattas på de parceller som ej provtogs sommaren 1983, men där det fanns torvdjupsmätningar. På så sätt kunde jämförelser göras av kol- och kvävemängder i torven på de parceller som sedan provtogs hösten 2003. På de parceller, som provtogs hösten 2003, var torvdjupet sommaren 1983 i medeltal 88 cm och kol- samt kvävemängden i torven på dessa parceller beräknades då till i genomsnitt 49.6 respektive 1.87 kg m^{-2} . Den stora variationen i torvdjup inom intensivodlingsytan medför att standardavvikelsen för kol- och kvävemängderna i torven var hög; 15.2 resp. 0.46 kg m^{-2} .



Figur 6. Sambandet mellan torvdjup (cm) och kolmängd (kg m^{-2}) i torven. Flakmossen 1983, d.v.s. före markbehandling och plantering. Kolmängd = $13.0 + 0.425 \cdot \text{torvdjup}$, $R^2 = 0.928$, $n=18$.

Figure 6. Relationship between peat depth (cm) and carbon pool (kg m^{-2}) in the remaining peat, Flakmossen mire 1983, before soil treatments and planting. Carbon pool = $13.0 + 0.425 \cdot \text{peat depth}$, $R^2 = 0.928$, $n=18$.



Figur 7. Sambandet mellan torvdjup (cm) och kvävemängd (kg m^{-2}) i torven. Flakmossen 1983, d.v.s. före markbehandling och plantering. Kvävemängd = $0.80 + 0.012 \cdot \text{torvdjup}$, $R^2 = 0.609$, $n=18$.

Figure 7. Relationship between peat depth (cm) and nitrogen pool (kg m^{-2}) in the remaining peat, Flakmossen mire 1983, before soil treatments and planting. Nitrogen pool = $0.80 + 0.012 \cdot \text{peat depth}$, $R^2 = 0.609$, $n=18$.

Markförhållanden 2003, 20 år efter markbehandling och beskogning

Torvdjup

Torvdjupet (inkl. humuslager) inom de ytor som inventerades hösten 2003 var mellan 23 och 210 cm (Tabell 6). Medeldjupet inom intensivodlingsytan och tallskogsytan var 84 cm resp. 106 cm.

Den torvdjupinventering som gjordes inom intensivodlingsytan 1983 möjliggör en jämförelse av detta djup med det torvdjup (inkl. humuslager) som inventerades hösten 2003. Denna jämförelse visar att torvdjup inklusive humuslager hösten 2003 var i medeltal nästan lika mäktigt som torvdjupet var sommaren 1983, d.v.s. före markbehandling och plantering. För enskilda parceller förekom dock skillnader, vilket sammanhänger med att färre punkter (per parcell) inventerades sommaren 1983 (Fig. 8).

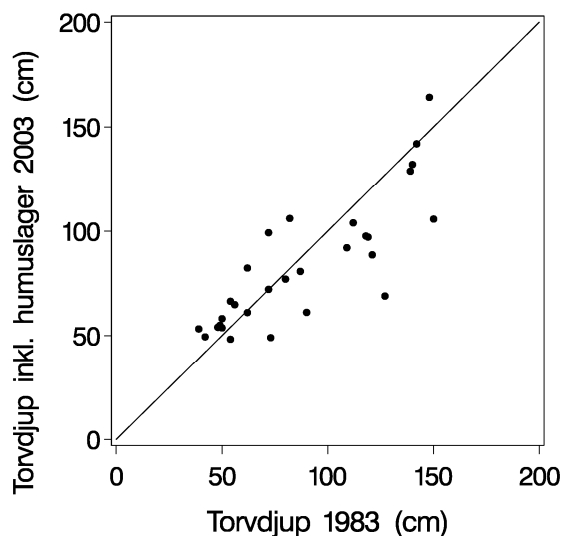
Torvdjupet varierade kraftigt inom en del av parcellerna (Tabell 6). Detta berodde främst på att den ursprungliga glaciofluviala sanden under torven omformats av vinden (innan torvbildningen), så att flygsandsdyner löper i ost-västlig riktning under torven.

Tabell 6. Medel-, minimi- och maximivärden för torvdjup (inkl. humuslager) inom de parceller där torvdjupet mättes hösten 2003. Nio torvdjupsbestämningar utfördes per parcell.

Table 6. Mean, minimum and maximum values of peat depth (incl. humus layer) at plots, where peat depth were measured in autumn 2003. Nine measurement were made at each plot were performed.

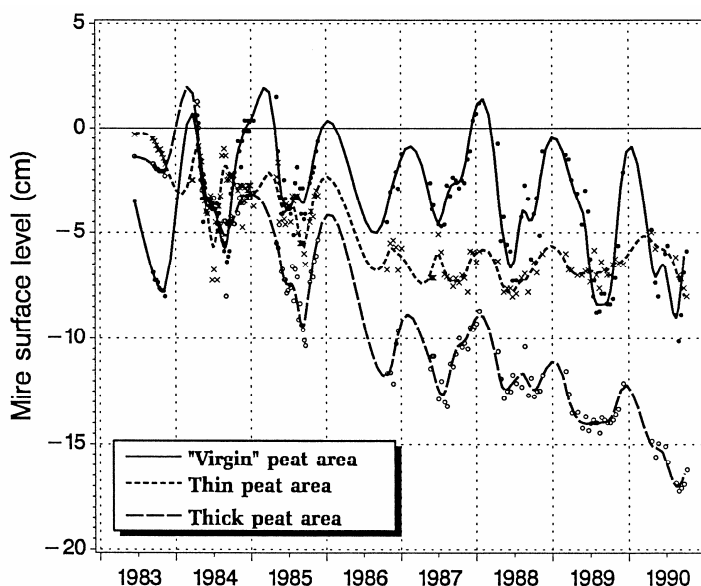
Intensivodlingsytan – Intense cultivation area				Konv. tallskogsytan - Conventional pine plantation			
Parcell Plot	Torvdjup (cm) - Peat depth (cm)			Parcell Plot	Torvdjup (cm) - Peat depth (cm)		
	Medel - Mean	Minimum	Maximum		Medel - Mean	Minimum	Maximum
21	66	50	82	S13	112	80	165
22	49	32	73	S14	100	80	141
31	48	30	68	S15	131	104	165
32	65	55	89	S111	160	107	199
42	61	46	80	S112	134	99	165
71	53	35	78	S113	121	85	155
91	77	32	99	S22	89	68	98
121	104	63	125	S23	88	55	118
141	129	112	153	S25	103	82	145
151	132	103	169	S26	119	80	161
192	49	31	71	S28	98	68	130
201	54	34	84	S212	151	118	165
202	58	40	70	S213	144	121	181
211	82	45	102	S214	143	84	171
221	55	35	80	S215	156	114	176
222	81	46	105	S32	89	75	105
231	99	70	120	S33	118	82	147
251	97	87	106	S34	116	85	145
261	98	89	108	S35	98	87	122
262	89	75	100	S37	85	47	110
291	72	51	101	S38	90	69	115
302	106	84	137	S39	96	84	116
312	92	78	106	S310	103	71	148
341	54	40	71	S312	103	64	136
361	61	40	76	S313	99	79	124
381	106	23	140	S314	101	70	132
382	142	119	170	S315	101	74	125
402	164	105	210	S43	99	73	131
422	99	81	110	S48	45	24	60
				S49	42	28	55
				S410	75	47	112
				S413	76	38	153
				S415	115	80	153

Humuslagrets mäktighet inom de inventerade parcellerna på intensivodlingsytan var i medeltal var 4.6 cm. Mäktigheten av enbart torv inom de inventerade parcellerna på intensivodlingsytan var i genomsnitt 80 cm hösten 2003, jämfört med 88 cm sommaren 1983. Ändringen, 8 cm, kan jämföras med de värden på marknivåförändringar som uppmättes på Flakmossen 1983-1990 (Nilsson, 2001). Inom områden på intensivodlingsytan med en torvmäktighet understigande 1 m observerades att tre år efter dikning så hade marknivån stabiliserats 6-7 cm under den marknivå som rådde sommaren 1983, d.v.s. före dikning. Inom områden med mäktigare torv (1-2 m) fortsatte marknivån att avsänkas (Fig. 9). De flesta parceller med ett torvdjup > 1 m sommaren 1983 hade ett lägre torvdjup hösten 2003 (Fig. 8). Orsaker till den mindre torvmäktigheten 1983-1990 och 2003 kan stå att finna i flera förhållanden och då främst sammanpackning på grund av avvattning men även nedbrytning av torven kan ha förekommit.



Figur 8. Jämförelse av torvdjup 1983 och 2003 (inkl. humuslager) inom 28 parceller. Linjen markerar 1:1 förhållandet.

Figure 8. Comparison of peat depth at 28 plots 1983 and 2003 (including humus layer). The solid line indicates the 1:1 relationship (no change in peat depth).



Figur 9. Medelvärden för marknivån på den "örörda" myr delen (●), områden på intensivodlingsytan med tunt torvtäcke (x) och "mäktigt" torvtäcke (○). Kurvorna är spline-funktioner för marknivån inom resp. område.

Figure 9. Mean values of mire surface level on "natural" peat area (●), parts on the intense cultivation area with thin peat layers (x) and thick peat layers (○). The curves are spline functions adapted to the observed values.

Torvens volymvikt

Hösten 2003 provtogs humuslager och torv på 12 parceller inom den konventionella tallskogsytan. Volymvikten i humuslagret var i medeltal 0.094 g cm^{-3} . I torvskikten därunder var volymvikten i de översta 0-10 cm i genomsnitt 0.18 g cm^{-3} och minskade sedan med torvdjupet till 0.08 g cm^{-3} på 60-80 cm djup (Tabell 7).

De ytliga torvskikten på de ogödslade parcellerna (OPK) hade högre volymvikt än de gödslade parcellerna. Det fanns dessutom en svag tendens till att volymvikten i de ytliga torvskikten minskade med ökad PK-giva.

Tabell 7. Volymvikt (g/cm^3) i humuslager och i olika torvskikt ned till 80 cm djup under humuslagret inom behandlingarna på Flakmossen hösten 2003.

Table 7. Bulk density (g/cm^3) in humus layer and at different depths in the peat for the treatments at Flakmossen cutover area, autumn 2003. (medel = mean, spann = range).

Yta och behandling <i>Experimental area and treatment</i>	Provdjup / <i>Sample depth</i>					
	Humus-lager	0-10 cm	10-20 cm	20-40 cm	40-60 cm	60-80 cm
Konventionella tallskogsytan <i>Conv. pine plant.</i>	n: 12 medel: 0.094 spann: 0.073-0.146	12 0.180 0.127-0.253	12 0.148 0.125-0.178	12 0.116 0.091-0.186	7 0.095 0.082-0.120	5 0.079 0.067-0.090
- " - OPK	n: 2 medel: 0.139	2 0.249	2 0.152	2 0.110	1 0.082	0
- " - 50PK	n: 2 medel: 0.095	2 0.168	2 0.144	2 0.103	2 0.090	0
- " - 100PK	n: 2 medel: 0.094	2 0.165	2 0.140	2 0.103	1 0.084	1 0.067
- " - 200PK	n: 2 medel: 0.078	2 0.155	2 0.136	2 0.124	2 0.106	2 0.083
- " - 20 m	n: 2 medel: 0.082	2 0.173	2 0.178	2 0.148	1 0.086	1 0.073
- " - 30 m	n: 2 medel: 0.094	2 0.165	2 0.140	2 0.103	1 0.084	1 0.067
- " - 40 m	n: 2 medel: 0.073	2 0.167	2 0.135	2 0.108	2 0.099	1 0.089
Intensivodlingsytan <i>Intense cultivation area</i>	n: 18 medel: 0.089 spann: 0.059-0.144	18 0.198 0.134-0.375	18 0.244 0.145-0.512	17 0.226 0.102-0.681	12 0.159 0.080-0.676	5 0.093 0.070-0.120
- " - Gråal <i>Grey alder</i>	n: 2 medel: 0.100	2 0.163	2 0.198	2 0.120	2 0.385	0
- " - Björk <i>Birch</i>	n: 4 medel: 0.103	4 0.197	4 0.257	3 0.170	2 0.140	0
- " - Tall <i>Pine</i>	n: 4 medel: 0.079	4 0.169	4 0.270	4 0.303	2 0.092	2 0.097
- " - Gran <i>Spruce</i>	n: 4 medel: 0.069	4 0.252	4 0.252	4 0.244	2 0.137	2 0.070
- " - Gran/al <i>Spruce/alder</i>	n: 2 medel: 0.098	2 0.170	2 0.154	2 0.141	2 0.090	2 0.099
- " - Gran/björk <i>Spruce/birch</i>	n: 2 medel: 0.098	2 0.213	2 0.290	2 0.316	1 0.087	0

På den intensivodlade ytan provtogs 18 parceller. Eftersom provtagningen skedde i de frästa spår där planteringen skett varierade sandinblandningen kraftigt beroende på torvmäktigheten. Någon jämförelse av torvens volymvikt mellan de olika trädslagparcellerna kan därför inte göras på intensivodlingsytan. Däremot kan volymvikten i humuslagret jämföras mellan trädslag. Parceller med barrträd hade genomgående lägre volymvikt i humuslagret jämfört med parceller med lövträd (Tabell 7).

Halter och mängder av kol och kväve i humuslager och torv

Kol

Den totala kolhalten i humuslagret varierade mellan 37.1 – 52.3 % och var i medeltal 48.9 % av torrsubstanshalten. Inom den konventionella tallskogsytan var kolhalten i humuslagret i

genomsnitt något högre än inom intensivodlingsytan med 50.2 % respektive 48.1 % (Tabell 8). Kolhalten i humuslagret inom de PK-gödslade ytorna var i samma storleksordning, medan de ogödslade ytornas humuslager visade lägre kolhalt. På fyra parceller inom intensivodlingsytan noterades kolhalter om cirka 40 % i humuslagret. Dessa relativt låga värden beror på att dessa parceller har tunt torvtäcke, vilket medfört att sand blandats in i torven vid fräsningen. Således har dessa fyra parceller förhållandevis låga kolhalter i det torvlager som ligger närmast under humuslagret. Daggmaskar och andra större markdjur har på dessa parceller blandat in lite sand från det underliggande sandinblandade torvlagret i humuslagret. På grund av denna sandinblandning är det svårt att se någon klar effekt av trädslagen på kolhalten i humuslagret.

Tabell 8. Koncentration av organiskt kol (% av torrsubstans) i humuslager och i olika torvskikt ned till 80 cm djup under humuslagret inom behandlingarna på Flakmossen hösten 2003.

Table 8. Concentration of organic carbon (% of dry matter) in humus layer and at different depths in the peat for the treatments at Flakmossen cutover area, autumn 2003. (medel = mean, spann = range).

Yta och behandling <i>Experimental area and treatment</i>	----- Provdjup / <i>Sample depth</i> -----					
	Humus-lager	0-10 cm	10-20 cm	20-40 cm	40-60 cm	60-80 cm
Konventionella tallskogsytan <i>Conv. pine plant.</i>	n: 12 medel: 50.2 spann: 42.6-52.3	12 51.3 34.8-55.7	12 52.8 40.1-55.9	12 53.9 48.7-58.6	7 52.8 50.0-55.4	4 55.4 54.3-56.5
- " - 0PK	n: 2 medel: 45.1	2 43.0	2 46.9	2 54.5	1 52.0	0
- " - 50PK	n: 2 medel: 51.8	2 54.8	2 54.9	2 55.4	2 45.4	0
- " - 100PK	n: 2 medel: 50.9	2 53.6	2 55.1	2 54.0	1 50.0	1 54.8
- " - 200PK	n: 2 medel: 51.3	2 53.2	2 54.5	2 54.6	2 55.0	2 55.4
- " - 20 m	n: 2 medel: 51.2	2 50.5	2 50.8	2 50.6	1 52.6	1 45.4
- " - 30 m	n: 2 medel: 50.9	2 53.6	2 55.1	2 54.0	1 50.0	1 54.8
- " - 40 m	n: 2 medel: 51.0	2 52.4	2 54.4	2 54.4	2 52.7	1 56.1
Intensivodlingsytan <i>Intense cultivation area</i>	n: 18 medel: 48.1 spann: 37.1-52.3	18 43.5 16.3-55.5	18 44.0 10.0-55.9	17 44.6 7.56-56.6	12 48.0 4.89-57.7	5 52.7 47.6-55.1
- " - Gråal <i>Grey alder</i>	n: 2 medel: 51.7	2 52.9	2 53.8	2 54.3	2 29.7	0
- " - Björk <i>Birch</i>	n: 4 medel: 47.2	4 40.8	4 40.0	3 49.8	2 44.2	0
- " - Tall <i>Pine</i>	n: 4 medel: 48.1	4 44.0	4 39.6	4 39.8	2 54.1	2 54.0
- " - Gran <i>Spruce</i>	n: 4 medel: 47.4	4 35.8	4 43.2	4 42.1	3 51.4	1 53.7
- " - Gran/al <i>Spruce/alder</i>	n: 2 medel: 51.8	2 54.0	2 55.4	2 51.3	2 54.7	2 50.9
- " - Gran/björk <i>Spruce/birch</i>	n: 2 medel: 43.8	2 43.3	2 41.0	2 34.9	1 56.4	0

Medelvärde för kolhalten i torvproven var 48.4 % ts, vilket var betydligt lägre än motsvarande medelvärde för 1983 (58.5 % ts). Skillnaden beror delvis på att fräsningen av torven på intensivodlingsytan medförde att sand inblandats i torven, där torvdjupet var litet (se ovan). En annan orsak till den lägre kolhalten i torven 2003, kan vara att kolhalten i proven analyserats med olika metoder 1983 (våtförbränning) och 2003 (torrförbränning).

Kolhalten i de översta torvskikten (0-10 cm och 10-20 cm), på den konventionella tallskogsytan, var lägre på de ogödslade ytorna jämfört med de PK-gödslade ytorna. En liknande tendens med lägre kolhalt i de övre torvskikten fanns på parceller med 20 m tegbredd, jämfört med de parceller där det var längre mellan tegdikena (30 m resp. 40 m). Inom intensivodlingsytan kunde man ej se några trädslagseffekter på kolhalten i torven (Tabell 8). Sådana eventuella effekter har effektivt maskerats genom att fräsningen blandat in sand i torven, inom parceller som hade ett tunt kvarvarande torvlager.

Kolmängden i humuslagret uppvisade stora skillnader, från 0.5 kg m⁻² på en ogödslad yta inom den konventionella tallskogsodlingen upp till 3.0 kg m⁻² på en askgödslade yta med gråal. Inom den konventionella tallskogsytan var kolmängden i humuslagret ca tre gånger högre på de PK-gödslade ytorna jämfört med de ogödslade ytorna och det fanns en svag tendens till att kolmängden ökade med ökad PK-giva. Olika tegbredder verkade inte ge någon effekt på kolmängden i humuslagret. På intensivodlingsytan hade parceller med gråal i genomsnitt 58-91 % högre kolmängd i humuslagret än motsvarande parceller med rena björk-, gran- eller tallbestånd. Humuslagret på björkparceller hade något högre kolförråd än gran- och tallparceller. Inblandning av löv och speciellt då gråal i granbestånden ökade kolförrådet i humuslagret (Tabell 9).

Tabell 9. Förrådet av organiskt kol (kg m⁻²) i humuslager och i olika torvskikt ned till 80 cm djup under humuslagret inom behandlingarna på Flakmossen hösten 2003.

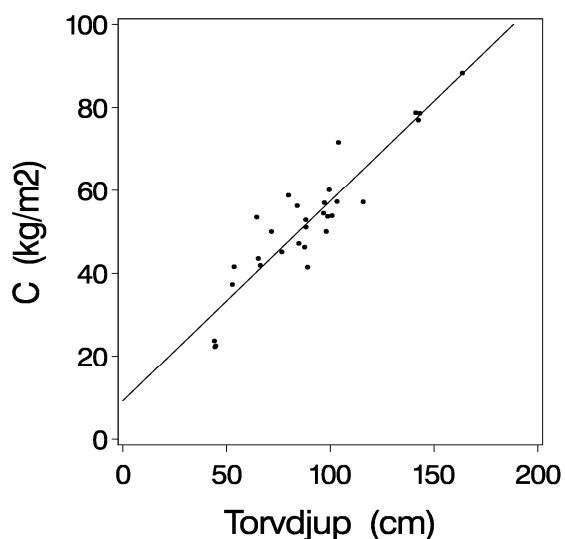
Table 9. Amount of organic carbon (kg m⁻²) in humus layer and at different depths in the peat for the treatments at Flakmossen cutover area, autumn 2003. (medel = mean, spann = range).

Yta och behandling <i>Experimental area and treatment</i>	----- Provdjup / <i>Sample depth</i> -----					
	Humus-lager	0-10 cm	10-20 cm	20-40 cm	40-60 cm	60-80 cm
Konventionella tallskogsytan <i>Conv. pine plant.</i>	n: 12 medel: 1.51 spann: 0.50-1.96	12 9.09 6.73-13.0	12 7.75 6.46-9.54	12 12.4 9.93-18.2	7 10.0 8.40-13.3	4 8.92 7.31-10.2
- " - 0PK	n: 2 medel: 0.62	2 10.7	2 7.09	2 11.9	1 8.57	0
- " - 50PK	n: 2 medel: 1.72	2 9.19	2 7.92	2 11.4	2	0
- " - 100PK	n: 2 medel: 1.87	2 8.86	2 7.71	2 11.1	1 8.40	1 7.31
- " - 200PK	n: 2 medel: 1.83	2 8.22	2 7.39	2 13.5	2 11.6	2 9.17
- " - 20 m	n: 2 medel: 1.70	2 8.74	2 9.02	2 14.8	1 9.01	1
- " - 30 m	n: 2 medel: 1.87	2 8.86	2 7.71	2 11.1	1 8.40	1 7.31
- " - 40 m	n: 2 medel: 1.31	2 8.77	2 7.36	2 11.7	2 10.5	1 10.0
Intensivodlingsytan <i>Intense cultivation area</i>	n: 18 medel: 1.92 spann: 1.21-3.03	18 7.89 4.60-10.4	18 9.04 5.14-12.4	17 14.5 8.95-24.3	12 11.0 6.61-20.4	5 9.69 7.50-12.0
- " - Gråal <i>Grey alder</i>	n: 2 medel: 2.92	2 8.62	2 10.7	2 13.0	2 8.48	0
- " - Björk <i>Birch</i>	n: 4 medel: 1.85	4 7.51	4 8.71	3 16.0	2 12.5	0
- " - Tall <i>Pine</i>	n: 4 medel: 1.64	4 7.10	4 8.34	4 15.9	2 9.93	2 10.57
- " - Gran <i>Spruce</i>	n: 4 medel: 1.53	4 7.56	4 8.58	4 13.2	3 13.4	1 7.50
- " - Gran/al <i>Spruce/alder</i>	n: 2 medel: 2.55	2 9.19	2 8.50	2 14.3	2 9.84	2 9.98
- " - Gran/björk <i>Spruce/birch</i>	n: 2 medel: 1.83	2 8.88	2 11.0	2 13.7	1 9.84	0

Kolförrådet i det ytligaste torvlagret (0-10 cm) var i genomsnitt något högre inom den konventionella tallskogsytan jämfört med intensivodlingsytan. Speciellt de ogödslade ytorna (0 PK) hade ett högt kolförråd i detta skikt. Detta berodde på att de ogödslade ytorna hade betydligt högre volymvikt i detta skikt än övriga ytor (Tabell 7). En ökad PK-giva medförde lägre kolförråd. Olika tegbredder hade ingen effekt på kolförrådet i skiktet 0-10 cm. Inom intensivodlingsytan hade gråalsparcellerna något högre kolförråd i det ytligaste torvskiktet (Tabell 9).

I torvskikten 10-20 cm och djupare var däremot kolförråden i genomsnitt lägre på den konventionella tallskogsytan jämfört med intensivodlingsytan. Inom den konventionella tallskogsytan uppmättes de lägsta kolförråden, i torvskiktet 10-20 cm under humuslagret, på de ogödslade ytorna. Inom de PK-gödslade ytorna fanns en tendens till att kolförrådet i detta skikt var lägre ju högre PK-givan var. En ökad tegbredd hade en tendens till att medföra minskat kolförråd i torvskiktet 10-20 cm. I de djupare torvskikten inom tallskogsytan fanns ingen tydlig inverkan på kolförråden för de olika behandlingarna. Rena gråalsbestånd hade något högre kolförråd i torvskiktet 10-20 cm än de rena bestånden av björk, tall och gran på intensivodlingsytan. I de djupare torvskikten fanns inget klart samband mellan trädslag och kolförråd (Tabell 9).

En god uppskattning av kolmängd i torven, inklusive humuslager, kan för hösten 2003 göras utgående från de torvdjupsmätningar som då utfördes (Fig. 10). Skattas kolmängden på detta sätt för 28 parceller inom intensivodlingsytan erhålls ett medelvärde på 49.1 kg m⁻² för kolförrådet i torv + humuslager. Standardavvikelsen är hög, 14.4 kg m⁻².



Figur 10. Sambandet mellan torvdjup (inkl. humuslager) och mängden organiskt kol (kg m⁻²) i torv+ humuslager, hösten 2003, d.v.s. 20 år efter markbehandling och plantering. Kolmängd = 9.23 + 0.482*torvdjup, R² = 0.852, n=30.

*Figure 10. Relationship between peat depth (incl. humus layer) and amount of organic carbon (kg m⁻²) in peat + humus layer, autumn 2003, i.e. 20 years after soil treatment and planting. Amount of carbon = 9.23 + 0.482*peat depth, R² = 0.852, n=30.*

Kväve

Kvävehalten i humuslagret inom den konventionella tallskogsytan låg i intervallet 1.56 % - 2.36 %. På de ogödslade ytorna var kvävehalten lägre i humuslagret än på de PK-gödslade ytorna (Tabell 10). Inom intensivodlingsytan kan man notera en klar effekt av gråal på kvävehalten i humuslagret. Dessutom verkade björk ge en något högre kvävehalt i humuslagret jämfört med gran och tall.

I torvproven var kvävehalten i medeltal 2.01 % ts, vilket var något lägre än motsvarande medelvärde för 1983 (2.13 % ts). I de översta torvskikten på den konventionella tallskogsytans ogödslade parceller observerades något lägre kvävehalter jämfört med de gödslade parceller-

na. Olika tegbredder gav inga klara effekter på kvävehalten i torven. Inom intensivodlingsytan medförde gråal en förhöjning av kvävehalten även i de översta torvskikten (Tabell 10).

Tabell 10. Kvävehalt (% av torrsubstans) i humuslager och i olika torvskikt ned till 80 cm djup under humuslagret inom behandlingarna på Flakmossen hösten 2003.

Table 10. Concentration of nitrogen (% of dry matter) in humus layer and at different depths in the peat for the treatments at Flakmossen cutover area, autumn 2003. (medel = mean, spann = range).

Yta och behandling <i>Experimental area and Treatment</i>	----- Provdjup / <i>Sample depth</i> -----					
	Humus-lager	0-10 cm	10-20 cm	20-40 cm	40-60 cm	60-80 cm
Konventionella tallskogsytan <i>Conv. pine plant.</i>	n: 12 medel: 2.04 spann: 1.56-2.36	12 2.26 1.82-2.90	12 2.26 1.80-2.97	12 2.19 1.28-3.04	7 1.98 1.30-2.96	4 2.13 1.79-3.04
- " - 0PK	n: 2 medel: 1.92	2 2.08	2 2.22	2 2.62	1 2.01	0
- " - 50PK	n: 2 medel: 2.28	2 2.27	2 2.24	2 1.67	0	0
- " - 100PK	n: 2 medel: 2.17	2 2.33	2 2.36	2 2.33	1 1.30	1 1.79
- " - 200PK	n: 2 medel: 2.22	2 2.62	2 2.38	2 2.33	2 2.53	2 2.42
- " - 20 m	n: 2 medel: 1.92	2 2.20	2 2.25	2 2.27	1 1.92	0
- " - 30 m	n: 2 medel: 2.17	2 2.33	2 2.36	2 2.33	1 1.30	1 1.79
- " - 40 m	n: 2 medel: 1.73	2 2.06	2 2.13	2 1.93	2 1.79	1 1.89
Intensivodlingsytan <i>Intense cultivation area</i>	n: 18 medel: 2.24 spann: 1.59-3.24	18 1.96 0.63-2.76	18 1.91 0.37-2.70	17 1.87 0.30-2.98	12 1.82 0.18-2.28	5 1.87 1.65-2.02
- " - Gråal <i>Grey alder</i>	n: 2 medel: 3.23	2 2.47	2 2.42	2 2.43	2 1.22	0
- " - Björk <i>Birch</i>	n: 4 medel: 2.17	4 1.92	4 1.86	3 2.23	2 1.73	0
- " - Tall <i>Pine</i>	n: 4 medel: 2.00	4 2.16	4 1.94	4 1.77	2 1.89	2 1.95
- " - Gran <i>Spruce</i>	n: 4 medel: 1.90	4 1.61	4 1.81	4 1.70	3 2.07	1 2.02
- " - Gran/al <i>Spruce/alder</i>	n: 2 medel: 2.91	2 2.23	2 2.17	2 2.01	2 2.09	2 1.72
- " - Gran/björk <i>Spruce/birch</i>	n: 2 medel: 1.84	2 1.54	2 1.42	2 1.18	1 1.83	0

På den konventionella tallskogsytan var kvävemängden i humuslagret ungefär tre gånger högre på de PK-gödslade ytorna jämfört med de ogödslade ytorna. Däremot fanns ingen variation i kvävemängd i humuslagret med olika PK-givror och inte heller dikesavståndet visade någon variation i kvävemängd. På intensivodlingsytan hade de rena gråalsbestånden mer än dubbelt så mycket kväve i humuslagret jämfört med de rena björk-, gran- eller tallbestånden (Tabell 11).

I det ytligaste torvlagret (0-10 cm) varierade kväveförrådet mellan 0.17 – 0.56 kg m⁻². Någon tydlig behandlingseffekt på kväveförrådet i detta torvlagret kan inte ses från värdena i tabell 10. I torvlagret 10-20 cm under humuslagret hade gråalsbestånden något högre kväveförråd än de övriga trädslagen.

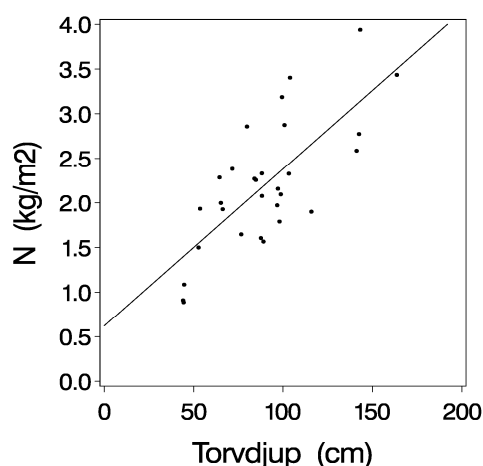
Korrelationen mellan kvävemängden, i torv + humuslager, och torvdjupet (inkl. humuslager) var inte lika hög som motsvarande samband för kolmängden, men så pass bra att en god upp-

skattning av kvävemängden i torv + humuslager kan erhållas från torvdjupet (inkl. humuslager) (Fig. 11). Beräknas kvävemängden i torv + humuslager inom 28 parceller på intensivodlingsytan, med hjälp av torvdjupet, blir medelvärdet 2.08 kg kväve per kvadratmeter och standardavvikelsen 0.53 kg m⁻².

Tabell 11. Förrådet av kväve (kg m⁻²) i humuslager och i olika torvskikt ned till 80 cm djup under humuslagret inom behandlingarna på Flakmossen hösten 2003.

Table 11. Amount of nitrogen (kg m⁻²) in humus layer and at different depths in the peat for the treatments at Flakmossen cutover area, autumn 2003. (medel = mean, spann = range).

Yta och behandling <i>Experimental area and treatment</i>	Provdjup / <i>Sample depth</i>					
	Humus-lager	0-10 cm	10-20 cm	20-40 cm	40-60 cm	60-80 cm
Konventionella tallskogsytan <i>Conv. pine plant.</i>	n: 12 medel: 0.062 spann: 0.022-0.092	12 0.40 0.27-0.56	12 0.34 0.24-0.48	12 0.52 0.25-0.94	7 0.38 0.22-0.71	4 0.35 0.24-0.55
- " - OPK	n: 2 medel: 0.026	2 0.52	2 0.34	2 0.59	1 0.33	0
- " - 50PK	n: 2 medel: 0.076	2 0.38	2 0.33	2 0.35	2 .	0
- " - 100PK	n: 2 medel: 0.080	2 0.38	2 0.33	2 0.48	1 0.22	1 0.24
- " - 200PK	n: 2 medel: 0.079	2 0.40	2 0.32	2 0.59	2 0.55	2 0.41
- " - 20 m	n: 2 medel: 0.064	2 0.38	2 0.40	2 0.69	1 0.33	1 .
- " - 30 m	n: 2 medel: 0.080	2 0.38	2 0.33	2 0.48	1 0.22	1 0.24
- " - 40 m	n: 2 medel: 0.044	2 0.35	2 0.29	2 0.42	2 0.36	1 0.34
Intensivodlingsytan <i>Intense cultivation area</i>	n: 18 medel: 0.093 spann: 0.052-0.190	18 0.35 0.17-0.48	18 0.39 0.19-0.56	17 0.62 0.34-1.38	12 0.43 0.25-0.97	5 0.35 0.26-0.43
- " - Gråal <i>Grey alder</i>	n: 2 medel: 0.182	2 0.40	2 0.48	2 0.58	2 0.34	0
- " - Björk <i>Birch</i>	n: 4 medel: 0.086	4 0.35	4 0.39	3 0.71	2 0.49	0
- " - Tall <i>Pine</i>	n: 4 medel: 0.068	4 0.34	4 0.40	4 0.74	2 0.35	2 0.38
- " - Gran <i>Spruce</i>	n: 4 medel: 0.061	4 0.34	4 0.36	4 0.55	3 0.57	1 0.28
- " - Gran/al <i>Spruce/alder</i>	n: 2 medel: 0.144	2 0.38	2 0.33	2 0.56	2 0.38	2 0.35
- " - Gran/björk <i>Spruce/birch</i>	n: 2 medel: 0.078	2 0.32	2 0.39	2 0.49	1 0.32	0



Figur 11. Sambandet mellan torvdjup (inkl. humuslager) och mängden kväve (kg m⁻²) i torv+humuslager, hösten 2003, d.v.s. 20 år efter markbehandling och plantering. Kväve-mängd = 0.619 + 0.0176*torvdjup, R² = 0.545, n=30.
Figure 11. Relationship between peat depth (incl. humus layer) and amount of nitrogen (kg m⁻²) in peat + humus layer, autumn 2003, i.e. 20 years after soil treatment and planting. Amount of nitrogen = 0.619 + 0.0176*peat depth, R² = 0.545, n=30.

CN-kvot

Kol-kvävekvoten i humuslagret var i genomsnitt något högre på den konventionella tallskogsytan jämfört med intensivodlingsytan. Detta beror huvudsakligen på att parceller med gråal har betydligt lägre CN-kvoter i humuslagret än övriga trädslag. Exkluderas gråalsparcellerna i beräkningarna kvarstår ändå en mindre skillnad med lägre C/N för intensivodlingsytan. För tallskogsyntans humuslager har de olika behandlingarna (PK-giva eller tegbredd) inte påverkat CN-kvoten. Gråalsparcellerna avviker tydligast när det gäller CN-kvoten i humuslagret. Dessutom uppvisar björkparcellerna en lägre CN-kvot jämfört med de rena gran- och tallbestånden (Tabell 12).

Tabell 12. Kol-kvävekvoten i humuslager och i olika torvskikt ned till 80 cm djup under humuslagret inom behandlingarna på Flakmossen, hösten 2003.

Table 12. CN-ratio in) in humus layer and at different depths in the peat for the treatments at Flakmossen cutover area, autumn 2003. (medel = mean, spann = range)

Yta och behandling <i>Experimental area and treatment</i>	Provdjup / <i>Sample depth</i>					
	Humus-lager	0-10 cm	10-20 cm	20-40 cm	40-60 cm	60-80 cm
Konventionella tallskogsytan <i>Conv. pine plant.</i>	n: 12 medel: 24.9 spann: 21.4-32.0	12 22.9 17.7-28.0	12 23.8 17.8-30.3	12 25.8 17.7-40.8	7 27.9 18.7-38.5	4 27.2 18.6-30.7
- " - OPK	n: 2 medel: 23.5	2 20.5	2 21.2	2 21.4	1 25.9	0
- " - 50PK	n: 2 medel: 22.8	2 24.2	2 24.9	2 34.6	0	0
- " - 100PK	n: 2 medel: 23.6	2 23.1	2 23.3	2 23.6	1 38.5	1 30.7
- " - 200PK	n: 2 medel: 23.1	2 20.6	2 24.3	2 24.6	2 22.4	2 24.4
- " - 20 m	n: 2 medel: 26.7	2 23.4	2 23.2	2 22.6	1 27.3	0
- " - 30 m	n: 2 medel: 23.6	2 23.1	2 23.3	2 23.6	1 38.5	1 30.7
- " - 40 m	n: 2 medel: 29.7	2 25.7	2 25.8	2 28.1	2 29.4	1 29.7
Intensivodlingsytan <i>Intense cultivation area</i>	n: 18 medel: 22.2 spann: 15.8-28.4	18 22.8 18.6-30.7	18 23.6 18.3-31.6	17 24.3 17.7-31.5	12 26.4 21.1-31.7	5 28.3 26.5-32.8
- " - Gråal <i>Grey alder</i>	n: 2 medel: 16.0	2 21.5	2 22.3	2 22.3	2 25.5	0
- " - Björk <i>Birch</i>	n: 4 medel: 22.1	4 22.4	4 22.7	3 22.5	2 24.9	0
- " - Tall <i>Pine</i>	n: 4 medel: 24.0	4 20.9	4 21.8	4 24.0	2 28.9	2 27.7
- " - Gran <i>Spruce</i>	n: 4 medel: 25.1	4 22.7	4 23.6	4 24.3	3 24.9	1 26.7
- " - Gran/al <i>Spruce/alder</i>	n: 2 medel: 17.9	2 24.2	2 25.6	2 25.6	2 26.4	2 29.6
- " - Gran/björk <i>Spruce/birch</i>	n: 2 medel: 23.7	2 27.6	2 28.2	2 28.1	1 30.8	0

Medelvärdet för CN-kvoten i alla torvprov var 24.6, vilket var klart lägre än den genomsnittliga CN-kvoten för torvproven vid 1983 års provtagning (28.7). Den lägre CN-kvoten i torvprov från 2003 beror bl.a. på sandinblandning på vissa parceller inom intensivodlingsytan (p.g.a. fräsningen) och möjligen också på att en annan analysmetodik använts 2003 för kol- och kvävebestämningen, jämfört med 1983.

I torvskikten finns inga skillnader i CN-kvot mellan den konventionella tallskogsytan och intensivodlingsytan. Några tydliga behandlingseffekter finns inte heller, varken inom tallskogsytan eller intensivodlingsytan (Tabell 12).

Antal träd per hektar och brösthöjdsdiameter

På den konventionella tallskogsytan varierade antalet stammar per ytenhet mycket mellan parcellerna. Denna stora variation medförde att det inte fanns någon signifikant skillnad i stamantal mellan behandlingarna (PK-giva eller tegbredd). Brösthöjdsdiametern ökade något, men ej signifikant, med stigande PK-giva. Olika tegbredder medförde inte heller någon signifikant effekt på brösthöjdsdiametern (Tabell 13).

Inom intensivodlingsytan noterades att gråal hade betydligt tjockare stammar än de övriga trädslagen. Stamantalet var dessutom signifikant lägre på gråalsytorna. På dessa ytor hade stamantalet minskat genom självgallring med cirka 85 %, jämfört med vad som utplanterades. Även för björkparcellerna noterades en kraftig minskning av stamantalet jämfört med de 14 000 björkplantor per hektar som utplanterades. Det högsta stamantalet per ytenhet noterades för granparcellerna, tätt följt av de parceller där gran och björk samplanterats (Tabell 13).

Tabell 13. Medelvärde och variationsvidd för antalet stammar per hektar och brösthöjdsdiameter inom behandlingarna på den konventionella tallskogsytan och intensivodlingsytan hösten 2003.

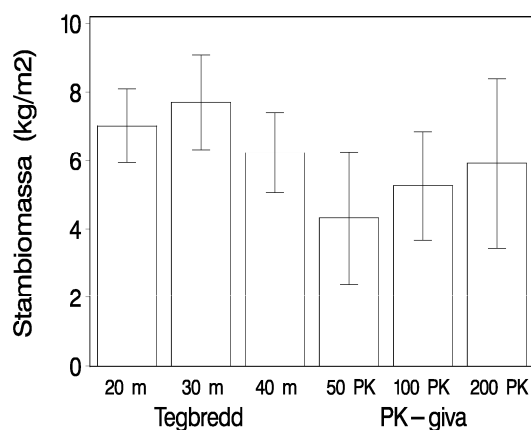
Table 13. Mean and range of number of stems per hectare and diameter at breast height in the treatments within the conventional pine plantation and the intense cultivation area, autumn 2003.

Försöksyta och behandling <i>Experimental area and treatment</i>	Antal parceller <i>Number of plots</i>	Antal stammar per hektar <i>Number of stems per ha</i>		Brösthöjdsdiameter (cm) <i>Diameter at breast height (cm)</i>	
		Medel <i>Mean</i>	Spann <i>Range</i>	Medel <i>Mean</i>	Spann <i>Range</i>
Konventionella tallskogsytan <i>Conventional pine plantation</i>					
- " - 50 PK	5	3 770	2 600 – 5 640	7.66	5.1 – 10.5
- " - 100 PK	5	4 030	2 370 – 6 260	8.35	6.5 – 11.4
- " - 200 PK	5	3 610	1 780 – 4 650	9.07	7.1 – 12.4
- " - 20 m	5	4 290	3 010 – 5 370	9.09	7.5 – 10.7
- " - 30 m	5	5 610	3 680 – 7 130	9.08	7.5 – 11.9
- " - 40 m	5	4 540	3 220 – 6 310	8.54	6.9 – 9.9
Energiskogsytan <i>Intense cultivation area</i>					
- " - Gråal – <i>Grey alder</i>	3	2 060	1 630 – 2 700	14.77	13.7 – 15.8
- " - Björk – <i>Birch</i>	6	4 870	3 470 – 5 640	7.18	5.3 – 8.6
- " - Tall – <i>Pine</i>	7	4 510	2 270 – 7 840	8.53	7.0 – 9.7
- " - Gran – <i>Spruce</i>	6	5 610	4 120 – 7 410	7.02	6.0 – 8.9
- " - Gran/al – <i>Spruce/alder</i>	3	3 840	3 340 – 4 500	8.91	8.4 – 9.4
- " - Gran/björk – <i>Spruce/birch</i>	3	5 570	4 140 – 7 780	6.68	6.1 – 7.3

Trädbiomassan, samt dess kol- och kvävemängd hösten 2003

Konventionella tallskogsytan

Den genomsnittliga stambiomassan per ytenhet på den konventionella tallskogsytan beräknades till 6.07 kg ts. per m², men variationen mellan enskilda parceller var mycket stor (0.95 – 9.20 kg ts m⁻²). Tegbredd hade ingen tydlig inverkan på stambiomassan, men ökad PK-giva medförde en ökning av stambiomassan från i genomsnitt 4.32 kg ts m⁻² för parceller med behandlingen 50 PK till 5.91 kg ts m⁻² för parceller med behandlingen 200 PK. Skillnaden var dock inte signifikant (Fig. 12). Den totala trädbiomassan (inkl. rötter) beräknades vara i medeltal 10.8 kg ts m⁻², vilket motsvarar en genomsnittlig årlig tillväxt på 0.54 kg ts m⁻². Parceller med tegbredden 40 m hade en tendens till lägre trädbiomassa än parceller med smalare tegar.



Figur 12. Medelvärde och standardavvikelse för biomassan (kg m⁻²) i tallstammarna hösten 2003 inom sex behandlingar på den konventionella tallskogsodlingen. Biomassan beräknad från mätningar av brösthöjdsdiametern.

Figure 12. Mean and standard deviation of biomass (kg m⁻²) in Scots pine stems in autumn 2003 for six treatments on the conventional pine plantation. The biomass is calculated from measurements of breast height diameter.

Den totala trädbiomassan och därmed även mängden kol och kväve i biomassan ökade med ökande PK-giva. Dessa skillnader var dock inte signifikanta. Olika tegbredder medförde inte heller någon signifikant effekt på mängden kol och kväve i biomassan (Tabell 14 och 15).

Tabell 14. Medelvärde och variationsvidd för mängden kol (kg m⁻²) i trädbiomassa ovan jord, samt totalt (inkl. rötter) inom behandlingarna på den konventionella tallskogsytan hösten 2003. Medelvärden inom resp. behandling (PK-giva, tegbredd) och inom samma kolumn är signifikant olika (p<0.05) om bokstäverna som finns efter medelvärdena är olika.

Table 14. Mean and range of amount of carbon (kg m⁻²) in tree biomass above ground, and in total (incl. roots) within the conventional pine plantation, autumn 2003. Mean values within each treatment (PK dose, drain spacings) and within the same column are significantly different (p<0.05) if the letters after the mean values are different.

Behandling Treatment	n	----- Mängd kol / Amount of carbon (kg m ⁻²) -----			
		I trädbiomassa ovan jord In tree biomass above ground		I total trädbiomassa In total tree biomass	
		Medel Mean	Spann Range	Medel Mean	Spann Range
PK-giva: 50 g / planta	5	3.02 A	0.71 – 3.89	3.86 A	0.90 – 4.96
PK-giva: 100 g / planta	5	3.66 A	1.87 – 4.63	4.67 A	2.37 – 5.91
PK-giva: 200 g / planta	5	4.08 A	1.63 – 5.77	5.22 A	2.07 – 7.41
Tegbredd: 20 m	5	4.83 A	4.24 – 6.10	6.15 A	5.41 – 7.81
Tegbredd: 30 m	5	5.32 A	4.26 – 6.16	6.80 A	5.43 – 7.92
Tegbredd: 40 m	5	4.35 A	3.22 – 5.20	5.56 A	4.11 – 6.64

Tabell 15. Medelvärde och variationsvidd för mängden kväve (kg m^{-2}) i trädbiomassa ovan jord, samt totalt (inkl. rötter) inom behandlingarna på den konventionella tallskogsytan hösten 2003. Medelvärden inom resp. behandling (PK giva, tegbredd) och inom samma kolumn är signifikant olika ($p < 0.05$) om bokstäverna som finns efter medelvärdena är olika.

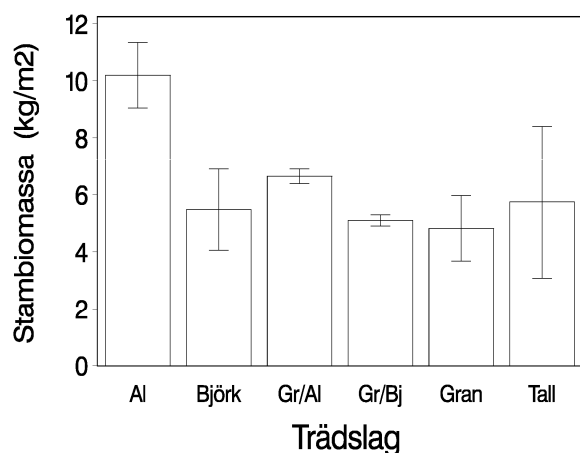
Table 15. Mean and range of amount of nitrogen (kg m^{-2}) in tree biomass above ground, and in total (incl. roots) within the conventional pine plantation, autumn 2003. Mean values within each treatment (PK dose, drain spacings) and within the same column are significantly different ($p < 0.05$) if the letters after the mean values are different.

Behandling Treatment	n	----- Mängd kväve / Amount of nitrogen (kg m^{-2}) -----			
		I trädbiomassa ovan jord In tree biomass above ground		I total trädbiomassa In total tree biomass	
		Medel Mean	Spann Range	Medel Mean	Spann Range
PK-giva: 50 g / planta	5	0.024 A	0.006 – 0.031	0.028 A	0.006 – 0.036
PK-giva: 100 g / planta	5	0.029 A	0.015 – 0.037	0.033 A	0.017 – 0.042
PK-giva: 200 g / planta	5	0.033 A	0.013 – 0.046	0.037 A	0.015 – 0.053
Tegbredd: 20 m	5	0.039 A	0.034 – 0.049	0.044 A	0.039 – 0.056
Tegbredd: 30 m	5	0.043 A	0.034 – 0.049	0.049 A	0.039 – 0.056
Tegbredd: 40 m	5	0.035 A	0.026 – 0.042	0.040 A	0.029 – 0.048

Intensivodlingsytan

På intensivodlingsytan hade, fram till hösten 2003, gråalsbestånden givit den högsta totalproduktionen per ytenhet, medan björkbestånden hade den lägsta totalproduktionen. Stambiomassan på de tre rena gråalsparceller, som inventerades, var i medeltal $10.2 \text{ kg ts per m}^2$. Detta var betydligt mer än vad de övriga trädslagen på intensivodlingsytan producerat (Fig. 13). För den totala trädbiomassan var skillnaden mellan gråal och de övriga trädslagen mindre.

Samma generella bild som för stambiomassans torrsubstansvikt noterades också för kol- och kväveförråden i trädbiomassan, d.v.s. i medeltal högre kol- och kväveförråd i gråalbestånden jämfört med övriga trädslag (Tabell 16 och 17).



Figur 13. Medelvärde och standardavvikelse för stambiomassan (kg m^{-2}) för olika trädslag eller trädslagsblandningar, hösten 2003, på intensivodlingsytan. Al = gråal, Gr/Al = gran + gråal, Gr/Bj = gran + björk. Biomassan beräknad från mätningar av brösthöjdsdiametern.

Figure 13. Mean and standard deviation of stem biomass (kg m^{-2}) for different tree species or mix of tree species, autumn 2003, on the intense cultivation area. Al = grey alder, Björk = birch, Gr/Al = Norway spruce + grey alder, Gr/Bj = Norway spruce + birch, Gran = Norway spruce, Tall = Scots pine. The biomass is calculated from measurements of breast height diameter

Tabell 16. Medelvärde och variationsvidd för mängden kol (kg m^{-2}) i trädbiomassa ovan jord, samt totalt (inkl. rötter) inom på intensivodlingsytan hösten 2003. Medelvärden för resp. trädslag inom samma kolumn är signifikant olika ($p < 0.05$) om bokstäverna som finns efter medelvärdena är olika.

Table 16. Mean and range of amount of carbon (kg m^{-2}) in tree biomass above ground, and in total (incl. roots) within the intense cultivation area, autumn 2003. Mean values for each tree species and within the same column are significantly different ($p < 0.05$) if the letters after the mean values are different.

Trädslag <i>Tree species</i>	n	----- Mängd kol / Amount of carbon (kg m^{-2}) -----			
		I trädbiomassa ovan jord <i>In tree biomass above ground</i>		I total trädbiomassa <i>In total tree biomass</i>	
		Medel <i>Mean</i>	Spann <i>Range</i>	Medel <i>Mean</i>	Spann <i>Range</i>
Gråal – Grey alder	3	6.05 A	5.52 - 6.81	7.57 A	6.90 – 8.51
Björk - Birch	6	3.58 B	2.12 - 4.51	4.48 B	2.65 – 5.63
Tall - Pine	7	4.08 B	1.68 - 7.32	5.13 B	2.14 – 9.34
Gran - Spruce	6	4.32 AB	2.92 - 5.84	5.48 AB	3.70 – 7.39
Gran/al – Spruce/alder	3	5.11 AB	4.52 - 6.03	6.44 AB	5.68 – 7.66
Gran/björk – Spruce/birch	3	3.87 B	3.60 - 4.12	4.87 B	4.50 – 5.18

Tabell 17. Medelvärde och variationsvidd för mängden kväve (kg m^{-2}) i trädbiomassa ovan jord, samt totalt (inkl. rötter) inom på intensivodlingsytan hösten 2003. Medelvärden för resp. trädslag inom samma kolumn är signifikant olika ($p < 0.05$) om bokstäverna som finns efter medelvärdena är olika.

Table 17. Mean and range of amount of nitrogen (kg m^{-2}) in tree biomass above ground, and in total (incl. roots) within the intense cultivation area, autumn 2003. Mean values for each tree species and within the same column are significantly different ($p < 0.05$) if the letters after the mean values are different.

Trädslag <i>Tree species</i>	n	----- Mängd kväve / Amount of nitrogen (kg m^{-2}) -----			
		I trädbiomassa ovan jord <i>In tree biomass above ground</i>		I total trädbiomassa <i>In total tree biomass</i>	
		Medel <i>Mean</i>	Spann <i>Range</i>	Medel <i>Mean</i>	Spann <i>Range</i>
Gråal – Grey alder	3	0.097 A	0.088 – 0.109	0.115 A	0.105 – 0.129
Björk - Birch	6	0.029 D	0.017 – 0.036	0.034 C	0.020 – 0.043
Tall - Pine	7	0.033 CD	0.013 – 0.059	0.037 C	0.015 – 0.068
Gran - Spruce	6	0.043 C	0.028 – 0.058	0.048 C	0.031 – 0.064
Gran/al – Spruce/alder	3	0.062 B	0.060 – 0.064	0.071 B	0.067 – 0.075
Gran/björk – Spruce/birch	3	0.035 CD	0.030 – 0.037	0.040 C	0.035 – 0.042

Ändring i kolförråd mellan 1983 och 2003

Kolförråd i torv

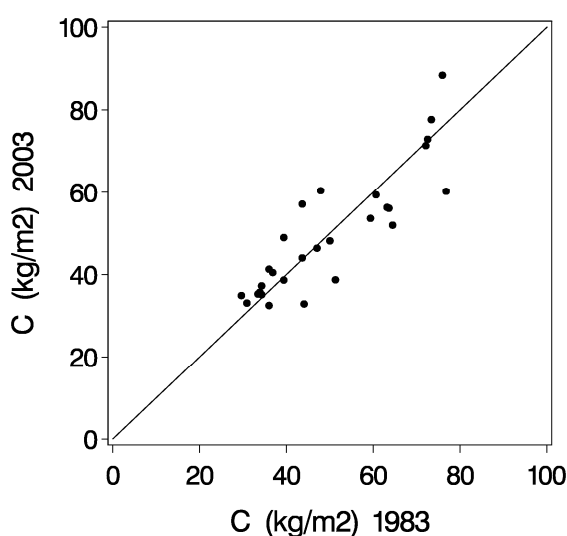
Antalet torvdjupsmätningar på den konventionella tallskogsytan var alltför få sommaren 1983 för att kunna erhålla ett tillförlitligt värde på kolförrådet i torven på parcellerna inom denna yta. En jämförelse av kolförrådet i torven mellan 1983 och 2003 kan därför bara göras inom intensivodlingsytan. Utgående från torvdjupen uppmätta 1983 och torvdjupen (inkl. humuslager) uppmätta hösten 2003 har kolförråden inom 28 parceller beräknats enligt de samband

som tagits fram (Tabell 18, Fig. 6 och 10). Denna jämförelse visar att kolförråden är i stort sett lika 1983 och 2003 (49.6 resp. 49.1 kg m⁻²). Variationen mellan de olika parcellerna är dock relativt stor (Fig. 14). Inom vissa parceller har kolförrådet minskat med mer än 10 kg m⁻² och det finns några parceller där kolförrådet ökat lika mycket. Det bör påpekas att humuslagret är inberäknat i torvens kolförråd hösten 2003. Om humuslagrets kolförråd (i medeltal 1.9 kg m⁻²) exkluderas har torvens kolförråd minskat med i medeltal 2.4 kg m⁻², eller i genomsnitt ca 4.8 % av det ursprungliga torvförrådet. Under de 20 åren skulle således den årliga transporten av kol från torven på intensivodlingsytan i medeltal ha varit enbart ca 0.12 kg C per m². De huvudsakliga processer som bidrar i minskningen av förråden är utlakning i form av DOC, samt avgång till atmosfären i form av främst CO₂.

Tabell 18. Det linjära sambandet mellan kolmängd (OC, kg m⁻²) och torvdjup (z, cm) i kvarvarande torven vid provtagningarna på Flakmossen 1983 och 2003. För 2003 års provtagning ingår även humuslagret i torvdjupet och kolmängden. $OC = a + b \cdot z$. n = antalet observationer. R² = determinationskoefficienten.

Table 18. Linear relationship between carbon pool (OC, kg m⁻²) and peat depth (z, cm) in the remaining peat at the cutover peat area at Flakmossen 1983 and 2003. For the measurements in 2003, the humus layer is included in the values for peat depth and carbon pool. $OC = a + b \cdot z$. n = number of observations, R² = coefficient of determination.

År / Year	a	b	n	R ²
1983	13.0	0.425	18	0.928
2003	9.23	0.482	30	0.852



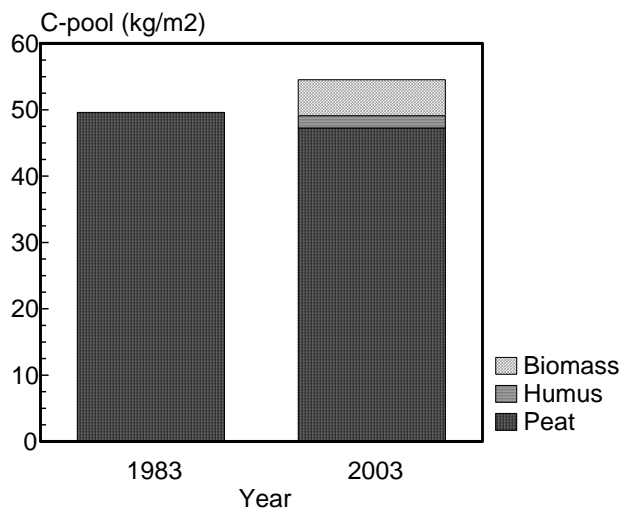
Figur 14. Beräknat (från torvdjup resp. torvdjup+humuslager) kolförråd i torven sommaren 1983 och torv+humuslager hösten 2003 inom 28 parceller på intensivodlingsytan. Linjen markerar 1:1 förhållandet.

Figure 14. Amount of organic carbon in the peat (1983) and peat + humus layer (2003), within 28 plots on the intense cultivation area. The amount of organic carbon in the peat 1983 is calculated from peat depth measurement the same year and the pool of organic carbon in peat + humus layer in 2003 is calculated from the depth of peat + humus layer in autumn 2003. The line indicates the 1:1 relationship.

Kolförråd totalt i mark och trädbiomassa

Vid beräkning av det totala kolförrådet i mark och träd (ovan och under jord) blev kolbalansen positiv, d.v.s. mer kol fanns i ekosystemet hösten 2003 jämfört med 1983 (Fig. 15). För de 28 parcellerna på intensivodlingsytan var kolförrådet i trädens totala biomassa i medeltal 5.4 kg m⁻². Totalt sett hade kolförrådet inom intensivodlingsytan därmed ökat under de 20 åren med i genomsnitt 10 % eller 4.9 kg m⁻². Detta motsvarar en ökning av i medeltal ca 0.24 kg C m⁻² per år. Det bör dock påpekas att den stora variationen i torvens kolförråd medför att den

ovan redovisade genomsnittliga ökningen av det totala kolförrådet (torv + humus + trädbiomassa) inte är statistiskt signifikant.



Figur 15. Medelvärden för kolförråd i torv (Peat), humuslager (Humus) och trädbiomassa (Biomass) på intensivodlingsytan före markberedning, gödsling och plantering (1983) och 20 år efter desamma (2003).

Figure 15. Mean of carbon pools in peat, humus layer and tree biomass on the intense cultivation area before rotovation, fertilization and plantation (1983) and 20 years after these measures (2003).

Ändring i kväveförråd mellan 1983 och 2003

Kväveförråd i mark, trädbiomassa och totalt

Eftersom antalet torvdjupsmätningar på den konventionella tallskogsytan var få sommaren 1983, kan inte några tillförlitliga värden ansättas på kväveförrådet i torven inom denna yta. Jämförelse av kväveförråden mellan 1983 och 2003 är därför endast tillämplig för intensivodlingsytan. Kväveförråden inom 28 parceller på intensivodlingsytan har beräknats utgående från de samband som fanns mellan torvdjup (eller torvdjup inkl. humuslager) och kväveförråd 1983 och 2003 (Fig.7 och 11).

Kväveförrådet i torven var 1983, enligt denna beräkning, i medeltal $1.87 (\pm 0.46) \text{ kg m}^{-2}$. Hösten 2003 var motsvarande förråd i torv + humuslager i genomsnitt $2.08 (\pm 0.53) \text{ kg m}^{-2}$. I humuslagret fanns hösten 2003, i medel, $0.09 (\pm 0.05) \text{ kg kväve per m}^2$. Enligt dessa beräkningar skulle det således finnas 0.12 kg m^{-2} mer kväve i torven hösten 2003 än sommaren 1983. Detta framgår också om man jämför de, från torvdjupet beräknade, kväveförråden i varje parcell mellan 1983 och 2003 (Fig. 16). Den stora variationen i torvens kväveförråd båda dessa år, medför dock att den genomsnittliga ökningen mellan de två åren är långt ifrån signifikant.

Kväveförrådet i trädbiomassan på intensivodlingsytan var hösten 2003 i medeltal $0.05 (\pm 0.02) \text{ kg m}^{-2}$. Totalt sett skulle kväveförrådet i torv + humuslager och trädbiomassa vara i genomsnitt 2.13 kg m^{-2} hösten 2003, vilket är $0.26 \text{ kg mer per m}^2$ än vad som fanns i torven sommaren 1983. Som redan nämnts finns en stor spridning i värdena för kväveförrådet i torven, vilket gör att denna ökning inte är signifikant.

Diskussion

I samband med etableringen av den konventionella tallskogsytan och intensivodlingsytan på den avslutade torvtäkten på Flakmossen genomfördes en omfattande dikning av täktytan. Dikningen sänkte grundvattenytan. En sänkning av grundvattenytan medför en ökad syresättningen i torvlagret ovanför grundvattenytan (Lähde, 1969; Burke, 1978), vilket i sin tur ökar antalet mikroorganismer som kan bryta ner det organiska materialet. Denna ökade mineralisering av det organiska materialet i den luftade markzonen medför att CO₂-avgivningen ökar, medan avgången av CH₄ i denna zon minskar på grund av syresättningen (Moore & Knowles, 1989; Martikainen m.fl., 1995; Silvola m.fl., 1996; Scanlon & Moore, 2000; Blodau m.fl., 2004; von Arnold m.fl., 2005).

Dikningen borde således ha lett till en minskning av kolförrådet i torven. Asktilförseln och fräsningen på intensivodlingsytan är också åtgärder som borde ha medfört en ökad mineralisering av kolförrådet i torven. Vi observerade också en sänkning av marknivån de första sju åren efter markbehandlingen inom intensivodlingsytan (Fig. 9). Denna sänkning av marknivån eller hopsjunkning av torven kan dock förutom mineralisering av det organiska materialet också bero på i huvudsak två andra faktorer; krympning och konsolidering.

Krympningen beror på att den del av torven som finns ovanför grundvattenyta sjunker ihop på grund av att vattnet i torvens porer dräneras bort (portrycket minskar och porstrukturen kollapsar p.g.a. grundvattensänkningen). Konsolideringen innebär att den del av torven som finns under grundvattenytan komprimeras, beroende på att sänkningen av grundvattenytan minskat 'flytförmågan', vilket medför att trycket från ovanliggande lager ökar. Torvens hopsjunkning varierar och beror på flera faktorer som torvslag, torvdjup, torvens humifieringsgrad och volymvikt, klimat, markanvändning och dräneringsdjup (Eggelsmann, 1976; Schothorst, 1977, 1982; Stewart, 1994). Lukkala (1949) anger att 5-13 år efter att finska tallmyrar dikats hade torvytan sjunkit med mellan 14-43 cm och att hopsjunkningen var störst de första åren. Lundin (1984) anger att marknivån var i medeltal 14 cm lägre under de första tre åren efter dikning av ett starrkärr (Docksmýren) i sydöstra Jämtland. Fjorton cm avsänkning av marknivån är i paritet med vad som uppmättes inom områden med mer än en meters torvmäktighet på intensivodlingsytan på Flakmossen sju år efter dikning, markbehandling och plantering.

Inom intensivodlingsytan visar jämförelsen av torvdjupet 1983 med motsvarande torvdjup hösten 2003 att torvmäktigheten minskat med i genomsnitt 8 cm. Enligt Minkkinen & Laine (1998b) hade dikning på 273 torvmarker fördelat över hela Finland medfört att torvytan sjunkit med i medeltal 22 cm (-15 till 103 cm) ca 60 år efter dikningen. Hopsjunkningen var positivt korrelerad med torvens näringsinnehåll (torvmarkstyp) och torvdjup. Det fanns även en tendens till att hopsjunkningen ökade med temperatursumman. Minkkinen & Laine (1998b) anger att denna hopsjunkning var relativt liten och att detta berodde dels på att torvmäktigheten var bara 100 cm i medeltal innan dikning, samt att ett i genomsnitt 8 cm mäktigt humus-skikt byggts upp till följd av trädens förnafall. Enligt Minkkinen & Laine (1998b) så beror hopsjunkningen av torven i boreala torvmarker mest på grund av fysiska förändringar i torvens struktur och inte så mycket på grund av mineraliseringen av torven.

Hopsjunkningen medför en mer kompakt struktur på torven och en ökad volymvikt (Burke, 1978; Laiho & Laine, 1994; Minkkinen & Laine, 1998a). Om den dikade torvmarken är beskogad medför den med åren ökade vikten hos de växande träden att torven sjunker ihop yt-

terligare. Sänkningen av grundvattenytan leder till att också rotbiomassan ökar (Laiho & Finér, 1996) vilket i sin tur medför en ökning av volymvikten (Mannerkoski, 1982). Den största ökningen av volymvikten sker vanligtvis i de ytliga skikten (Minkkinen & Laine, 1998a). Hopsjunkningen medför även att kolkoncentrationen i torven ökar (Minkkinen & Laine, 1998a).

I undersökningen på Flakmossen kunde konstateras att för intensivodlingsytan hade kolförrådet i torven minskat med i medeltal 2.4 kg m^{-2} 20 år efter dikning, markbehandling och plantering. Inräknas kolförrådet i humuslagret så var markens kolförråd i stort sett oförändrat med endast 0.5 kg m^{-2} lägre förråd än 20 år tidigare. I den undersökning som Minkkinen & Laine (1998b) genomförde på 273 torvmarker i Finland, 60 år efter dikning, konstaterades att koldensiteten (kg C m^{-3}) ökade efter dikning, speciellt i de ytliga lagren. Kollagret i torven inklusive humuslagret hade ökat med i medeltal 5.9 kg C m^{-2} , vilket betyder att kolinbindningen under de ca 60 åren efter dikning varit i genomsnitt 0.1 kg C m^{-2} per år. Variationen var dock stor, från förluster på totalt 46.8 kg C m^{-2} till öknings på upp till 49.5 kg C m^{-2} . Minkkinen & Laine (1998b) anger att torvmarkerna förmodligen hade en nettoförlust av kol de första åren efter dikning (p.g.a. en stor koldioxidavgång), men sedan hade kolinbindningen ökat kraftigt. Kolinbindningen ökade med temperatursumman, d.v.s. den var större ju längre söderut man kom. Detta berodde bl.a. på att dikning i norra Finland medförde en större koldioxidavgång på lång sikt än den ökning som skedde i förnafallet. I södra Finland var förnafallet större än nedbrytningen. Den största kolinbindningen skedde på fattiga torvmarker, vilket kan bero på att produktionen av finrötter troligen är större på dessa marker (Finér & Laine, 1998), samt att nedbrytningshastigheten här är lägre.

Anledningen till att mineralisering av torvens kolförråd på en sedan flera år dikad och beskadad torvmark kanske inte är så hög kan bero på flera orsaker. En sänkning av grundvattenytan på torvmarker leder till ökad syresättning och därmed normalt sett även till förbättrade villkor för aerob nedbrytning av det organiska materialet (ex. Silvola m.fl., 1985, 1996; Moore & Knowles, 1989; Martikainen m.fl., 1995; Trettin m.fl., 1995). I förnaskiktet och det översta torvskiktet kan dock nedbrytningen i vissa fall bli lägre än i ett odikat system, dels beroende på att det i dessa lager kan bli för torrt för optimal nedbrytning (Waddington m.fl., 2001; Laiho m.fl., 2004), dels beroende på att sänkningen av grundvattenytan (och den ökade biomassaproduktionen) ofta medför en ökad aciditet i torvens ytskikt (Laine m.fl., 1995; Minkkinen m.fl., 1999, Laiho m.fl., 2004), samt på längre sikt också en lägre marktemperatur (beskuggning av markytan när trädskiktet sluter sig) (Hökkä m.fl., 1997; Minkkinen m.fl., 1999; Venäläinen m.fl., 1999). Om torvmarken beskogats med barrträd kan nedbrytningen av fallförnan minska också beroende på reducerad förnakvalitet (ökat ligninnehåll, se Berg, 1984). Det i vår undersökning höga kolförrådet i humuslagret under gråal, jämfört med andra trädslag (Tabell 9), beror dels på att gråal under denna period hade haft den högsta biomassaproduktionen. Dels orsakar den höga kvävehalten i förnan från gråalen också att nedbrytningen av förnan på lång sikt hämmas (Berg, 1986). Undersökningar i bl.a. 50-åriga rödal- resp. douglasgranbestånd i nordvästra USA har visat att kolförrådet i humuslagret under rödal var mer än tre gånger större än under douglasgran, trots att vedbiomassaproduktionen var högre i douglasgranbeståndet (Cole m.fl., 1995).

Den ovan refererade ökade aciditeten i torvens ytskikt till följd av dikning kan förklaras med att dränering av torvmarker medför att oorganiska (ex. järn- och svavelföreningar) och organiska föreningar mineraliseras, varvid protoner frigörs och ökar aciditeten i torven. Minskningen av pH-värdet är ofta större i näringsrika torvmarker (Lukkala, 1929; Laiho & Laine, 1990), som har ett större innehåll av Fe och S i torven än mer näringsfattiga torvmarker (Lai-

ne & Vanha-Majamaa, 1992). Den kvarvarande torven inom torvtäktsytan på Flakmossen hade relativt höga svavelhalter och det är troligt att pH-värdet i de övre torvskikten inom tallskogsodlingen minskat något. Askgödslingen inom intensivodlingen medförde att pH-värdet här ökade i de ytliga lagren. I torvprover från 40-60 eller 60-80 cm djup noterades dock, 2-4 år efter markbehandlingen, en pH-sänkning på i genomsnitt 0.1 resp. 0.3 pH-enheter (Nilsson, 2001).

På en avslutad torvtäkt är mineraliseringen av torven ofta lägre än på en dränerad torvmark, med samma avstånd till grundvattenytan. Detta beror bl.a. på att det på en avslutad torvtäkt finns mindre mängd mikroorganismer, bakterier, svampar och rötter i den ytliga torven jämfört med en opåverkad eller dränerad torvmark (Dooley & Dickinson, 1970; Croft m.fl., 2001). De ytliga lagren på en avslutad torvtäkt härrör ju från tidigare djupa och gamla lager i den förutvarande torvmarken. Ju djupare ner man kommer i torven desto mindre andel lättnedbrytbart organiskt material finns det, eftersom de konsumerats med tiden (Hogg m.fl., 1992; Updegraff m.fl., 1995).

Enligt Laine m.fl. (1995) medför dikning ingen större förändring i utlakningen av löst organiskt kol (DOC) till avrinnade vatten. De undersökningar som gjorts pekar på både ökning (Berqquist m.fl., 1984; Ahtiainen, 1988) och minskningar (Berqquist m.fl., 1984; Lundin & Bergquist, 1990; Ahtiainen, 1992). Förlust av C genom utlakning brukar för torvmarker eller avrinningsområden med hög andel torvmarker ligga i storleksordningen 5-15 g C m⁻² och år (McKnight m.fl., 1985; Sallantaus, 1992; Sallantaus & Kaipainen, 1996; Kortelainen & Saukkonen, 1998; Fraser m.fl., 2001, 2002; Inisheva & Golovatskaya, 2002; Worrall m.fl., 2003). Utlakningen av DOC är dock i hög grad korrelerad till vattenföringen (ex. Urban m.fl., 1989) och således relaterad till fluktuationer i nederbörd och temperatur. Betydligt högre DOC-utlakning kan noteras i fuktiga klimat (Urban et al., 1989; Moore et al., 1998, 2003; Worrall m.fl., 2003; Billett m.fl., 2004).

Dikning av torvmarker brukar generellt anses leda till en förlust av kol från torvmarken till atmosfären (Maltby & Immirzi, 1993; Smith & Conen, 2004; Mitra m.fl., 2005). Det finns dock andra undersökningar, som över lite längre tid (> 20 år), liksom denna, visar på positiv kolbalans, dvs. nettoinbindning av kol efter dikning och beskogning av torvmark. Orsaken till detta är förmodligen att nedbrytningen av organiskt material är låg i förnalagret och den allra ytligaste torven, samtidigt som förnafallet är högt (Minkinen & Laine, 1998b; Minkinen m.fl., 1999; Hargreaves m.fl., 2003). Räknas även kolförrådet i trädbiomassan in blir kolbalansen än oftare positiv, d.v.s. förlusten av markkol, främst p.g.a. koldioxidavgång, är mindre än inbindning av kol i trädbiomassan. På dränerade torvmarker som ej beskogats är dock kolbalansen vanligtvis negativ, d.v.s. mer kol avges än vad som binds in (Kasimir-Klemedtsson m.fl., 1997; Smith & Conen, 2004).

Slutsatsen av denna undersökning är att beskogning av avslutade torvtäkter medför att kolbalansen redan efter 20 år kan bli positiv, d.v.s. mer kol har bundits in i mark och träd än vad som fanns i systemet före beskogningen. När det gäller kväve är ökningen i systemet mer osäker.

Referenser

- Ahtiainen, M. 1988. Effects of clear-cutting and forestry drainage on water quality in the Nurmes-study. Proceedings of the International Symposium on the Hydrology of Wetlands in Temperate and Cold Regions. Joensuu, Finland, 6-8 June 1988. Vol. 1: 206-219.
- Ahtiainen, M. 1992. The effects of forest clear-cutting and scarification on water quality of small brooks. *Hydrobiologia* 243/244: 465-473.
- Alexandersson, H., Karlström, C., Larsson-McCann, S. 1991. Temperaturen och nederbörden i Sverige 1961-90. Referensnormaler. SMHI Meteorologi Nr 81. 88 s.
- Almberg, Å. 1999. Elementhalter i gran- och tallved – variation med boniteten och längs trädstammen. Examensarbete. Rapporter i skogsekologi och skoglig marklära, nr 81. 20 sid.
- Axegård, P., Backlund, B. (Ed.). 2003. Ecocyclic Pulp Mill – "KAM". Final report 1996-2002. KAM report A100.
- Berg, B. 1986. Nutrient release from litter and humus in coniferous forest soils – a mini review. *Scandinavian Journal of Forest Research* 1: 359-369.
- Bergquist, B., Lundin, L., Andersson, A. 1984. Hydrologiska och limnologiska konsekvenser av skogs- och myrdikning. Siksjöområdet. Limnologiska inst., Uppsala univ. Rapport LIU 1984 B:4. 140 sid.
- Billett, M.F., Palmer, S.M., Hope, D., Deacon, C., Storeton-West, R., Hargreaves, K.J., Flechard, C., Fowler, D. 2004. Linking lan-atmosphere-stream carbon fluxes in a lowland peatland system. *Global Biogeochemical Cycles* 18, GB1024, doi: 10.1029/2003GB002058.
- Björkroth, G., Rosén, K. 1977. Biomassa och näringsmängder på fyra ståndorter. Projekt Helträdsutnyttjande, projektgrupp Skog. PHU Rapport Nr 49. 20 sid. + bilagor.
- Blodau, C., Basiliko, N., Moore, T.R. 2004. Carbon turnover in peatland mesocosms exposed to different water table levels. *Biogeochemistry* 67: 331-351.
- Blomqvist, T. 1969. Sörmon, stratigrafiska studier av en litoralt omlagrad glaciofluvial ackumulation i Värmland. Licentiatavhandling vid kvartärgeologiska institutionen, Uppsala universitet.
- Burke, W. 1978. Long-term effects of drainage and land use on some physical properties of blanket peat. *Irish Journal of Agricultural Research* 17: 315-322.
- Cole, D.W., Compton, J.E., Edmonds, R.L., Homann, P.S., van Miegrot, H. 1995. Comparison of carbon accumulation in Douglas fir and red alder forests. In: McFee, W.W. & Kelly, J.M. (Eds.): *Carbon forms and functions in forest soils*. Soil Science Society of America, Inc., Madison, Wisconsin, USA. Pp: 527-546.
- Croft, M., Rochefort, L., Beauchamp, C.J. 2001. Vacuum-extraction of peatlands disturbs bacterial population and microbial biomass carbon. *Applied Soil Ecology* 18:1-12.
- Danfors, B., Stambeck, A., Åsberg, G. 1985. Spridning och djupmyllning av kalk vid anläggning av energiskog. Slutrapport över projekt 1960 301 kalkmyllning JTI. Uppdrag av Statens energiverk. JTI-rapport 65. Jordbruks-tekniska institutet, Uppsala. 38 s.
- Dooley, M.C. Dickinson, C.H. 1970. The microbiology of cutaway peat. II. The ecology of fungi in certain habitats. *Plant and Soil* 32: 454-467.
- Eggelsmann, R. 1976. Peat consumption under influence of climate, soil condition, and utilization. Proc. 5th International Peat Congress, Poznan, Poland. Sept. 21-25, 1976. Vol. 1: 233-247.
- Eriksson, F. 1983. Vegetationskartering av Flakmossen i augusti 1983. Limnologiska inst., Uppsala universitet. 6 s.

- Eriksson, H.M. 1996. Effects of tree species and nutrient application on distribution and budgets of base cations in Swedish forest ecosystems. *Acta Universitatis Agriculturae Sueciae. Silvestria* 2.
- Eriksson, J., Börjesson, P. 1991. Vedaska i skogen. En litteraturstudie. Vattenfall, FUD-rapport 1991/46. 77 sid.
- Finér, L. 1989. Biomass and nutrient cycle in fertilized and unfertilized pine, mixed birch and pine and spruce stands on a drained mire. *Acta Forestalia Fennica* 208. 63 p.
- Finér, L., Laine, J. 1998. Root dynamics at drained peatland sites of different fertility in southern Finland. *Plant and Soil* 201: 27-36.
- Fraser, C.J.D., Roulet, N.T., Moore, T.R. 2001. Hydrology and dissolved organic carbon biogeochemistry in an ombrotrophic bog. *Hydrological Processes* 15: 3151-3166.
- Gustafsson, M. 2001. Carbon loss after forest drainage of three peatlands in southern Sweden. Examensarbeten vid institutionen för skoglig marklära, SLU, Nr 1. 72 sid.
- Hagen-Thorn, A., Armolaitis, K., Callesen, I., Stjernquist, I. 2004. Macronutrients in tree stems and foliage: a comparative study of six temperate forest species planted at the same sites. *Annals of Forest Science* 61(6): 489-498.
- Hargreaves, K.J., Milne, R., Cannell, M.G.R. 2003. Carbon balance of afforested peatland in Scotland. *Forestry* 76: 299-317.
- Helmisaari, H-S. 1995. Nutrient cycling in *Pinus sylvestris* stands in eastern Finland. *Plant and Soil* 168-169: 327-336.
- Hogg, E.H., Lieffers, V.J., Wein, R.W. 1992. Potential carbon losses from peat profiles: Effects of temperature, drought cycles, and fire. *Ecological Applications* 2(3): 298-306.
- Hytönen, J., Kaunisto, S. 1999. Effect of fertilization on the biomass production of coppiced mixed birch and willow stands on a cut-away peatland. *Biomass and Bioenergy* 17: 455-469.
- Hytönen, J., Saarsalmi, A., Rossi, P. 1995. Biomass production and nutrient uptake of short-rotation plantations. *Silva Fennica* 29(2): 117-139.
- Hökkä, H., Penttilä, T., Siipola, M. 1997. Relationships between groundwater level and temperature in peat. I: Trettin, C.C., Jurgensen, M.F., Grigal, D.F., Gale, M.R., Jeglu, J.K. (Eds.): *Northern Forested Wetlands: Ecology and Management*. CRC Press, Boca Raton, Florida. Pp: 287-296.
- Inisheva, L.I., Golovatskaya, E.A. 2002. Elements of carbon balance in oligotrophic bogs. *Russian Journal of Ecology* 33(4): 242-248.
- Isberg, S. 2002. Elementkoncentrationer i gran utmed en markfuktighetsgradient. Examensarbete vid institutionen för skoglig marklära, SLU. Nr 2. 24 sid.
- Johansson, T. 2000. Biomass equations for determining fractions of common and grey alders growing on abandoned farmland and some practical implications. *Biomass and Bioenergy* 18: 147-159.
- Kasimir-Klemedtsson, Å., Klemedtsson, L., Berglund, K., Martikainen, P., Silvola, J., Oenema, O. 1997. Greenhouse gas emissions from farmed organic soils: a review. *Soil Use and Management* 13: 245-250.
- Kortelainen, P., Saukkonen, S. 1998. Leaching of nutrients, organic carbon and iron from Finnish forestry land. *Water, Air and Soil Pollution* 105: 239-250.
- Laiho, R., Laine, J. 1990. Post-drainage nutrient stores in peat. I: Hånell, B. (Ed.): *Biomass production and element fluxes in forested peatland ecosystems*. Department of Forest Site research, Swedish University of Agricultural Sciences. pp: 81-91.

- Laiho, R., Laine, J. 1994. Nitrogen and phosphorus stores in peatlands drained for forestry in Finland. *Scandinavian Journal of Forest Research* 9: 251-260.
- Laiho, R., Finér, L. 1996. Changes in root biomass after water-level drawdown on pine mires in southern Finland. *Scandinavian Journal of Forest Research* 11: 251-260.
- Laiho, R., Laine, J., Trettin, C.C., Finér, L. 2004. Scots pine litter decomposition along drainage succession and soil nutrient gradients in peatland forests, and the effects of inter-annual weather variation. *Soil Biology & Biochemistry* 36: 1095-1109.
- Laine, J., Vanha-Majamaa, I. 1992. Vegetation ecology along a trophic gradient on drained pine mires in southern Finland. *Annales Botanici Fennici* 29: 213-233.
- Laine, J., Vasander, H., Sallantus, T. 1995. Ecological effects of peatland drainage for forestry. *Environmental Reviews* 3: 286-303.
- Liski, J., Perruchoud, D., Karjalainen, T. 2002. Increasing carbon stocks in the forest soils of western Europe. *Forest Ecology and Management* 169: 159-175.
- Lukkala, O.J. 1929. Über den Aziditätsgrad der Moore und die Wirkung der Entwässerung auf denselben. *Commun. Inst. Quaest. For. Finl.* 13: 1-24.
- Lukkala, O.J. 1949. Soiden turvekerroksen painuminen ojituksen vaikutuksesta. (Referat: Über die Setzung des Moortorfes als Folge der Entwässerung). *Commun. Inst. For. Fenn.* 37: 1-67.
- Lundin, L. 1984. Torvmarksdikning. Hydrologiska konsekvenser för Dock Smyren. Avdelningen för Hydrologi, Naturgeografiska institutionen, Uppsala universitet. Report Series A 1984:3. 75 sid.
- Lundin, L., Bergquist, B. 1990. Effects on water chemistry after drainage of a bog for forestry. *Hydrobiologia* 196: 167-181.
- Lähde, E. 1969. Biological activity in some natural and drained peat soils with special reference to oxidation-reduction conditions. *Acta Forestalia fennica* 94: 1-69.
- Magnusson, N.H., Sandegren, R. 1933. Karlstad. Kombinerad jord- och bergartskarta. Sveriges geologiska undersökning, Serie Aa nr 174.
- Maltby, E., Immirzi, C. 1993. Carbon dynamics in peatlands and other wetlands soils: regional and global perspectives. *Chemosphere* 27: 999-1023.
- Mannerkoski, H. 1982. Effect of tree roots on the bulk density of peat. I: Peat, its Properties and Perspectives of Utilization. Proceedings of the International Symposium of the International Peat Society Commissions IV and II, Minsk 1982. pp: 182-188.
- Marklund, L.G. 1988. Biomassfunktioner för tall, gran och björk i Sverige. Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för skogstaxering, Rapport nr. 45. 73 sid.
- Martikainen, P.J., Nykänen, H., Alm, J., Silvola, J. 1995. Change in fluxes of carbon dioxide, methane and nitrous oxide due to forest drainage of mire sites of different trophy. *Plant and Soil* 168-169: 571-577.
- Minkkinen, K., Laine, J. 1998a. Effect of forest drainage on the peat bulk density of pine mires in Finland. *Canadian Journal of Forest Research* 28: 178-186.
- Minkkinen, K., Laine, J. 1998b. Long-term effect of forest drainage on the peat carbon stores of pine mires in Finland. *Canadian Journal of Forest Research* 28: 1267-1275.
- Minkkinen, K., Vasander, H., Jauhiainen, S., Karsisto, M., Laine, J. 1999. Post-drainage changes in vegetation composition and carbon balance in Lakkasuo mire, Central Finland. *Plant and Soil* 207: 107-120.

- Minkinen, K., Korhonen, R., Savolainen, I., Laine, J. 2002. Carbon balance and radiative forcing of Finnish peatlands 1900-2100 – the impact of forestry drainage. *Global Change Biology* 8: 785-799.
- Mitra, S., Wassmann, R., Vlek, P.L.G. 2005. An appraisal of global wetland area and its organic carbon stock. *Current Science* 88: 25-35.
- Moore, T.R., Knowles, T. 1989. The influence of water table levels on methane and carbon dioxide emissions from peatland soils. *Canadian Journal of Soil Science* 69: 33-38.
- Moore, T.R., Matos, L., Roulet, N.T. 2003. Dynamics and chemistry of dissolved organic carbon in Precambrian Shield catchments and an impounded wetland. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 60: 612-623.
- Nilsson, J., Timm, B. 1983. Miljöeffekter av ved- och torvförbränning. SNV PM 1708. 232 s.
- Nilsson, T. 2001. Wood ash application - effects on elemental turnover in a cutover peatland and uptake in vegetation. *Acta Universitatis Agriculturae Sueciae. Silvestria* 208.
- Nykänen, H., Alm, J., Lång, K., Silvola, J., Martikainen, P.J. 1995. Emissions of CH₄, N₂O and CO₂ from a virgin fen and a fen drained for grassland in Finland. *Journal of Biogeography* 22:351-357.
- Perttu, K., Odin, H., Engsjö, T. 1978. Bearbetade klimatdata från SMHI-stationer i Sverige. Del 2.
- Post, L. von, 1922. Sveriges geologiska undersöknings torvinventering och några av dess hittills vunna resultat. *Svenska mosskulturföreningens tidskrift* 36: 1-17.
- Saarsalmi, A., Palmgren, K., Levula, T. 1992. Biomass production and nutrient consumption of *Alnus incana* and *Betula pendula* in energy forestry. (In Finnish). *Folia Forestalia* 797. 29 pp.
- Sallantausta, T. 1992. Leaching in the material balance of peatlands - preliminary results. *Suo* 43(4-5): 253-258.
- Scanlon, D., Moore, T. 2000. Carbon dioxide production from peatland soil profiles: the influence of temperature, oxic/anoxic conditions and substrate. *Soil Science* 165: 153-160.
- SCB (Statistiska centralbyrån). 2004. Torv 2003. Produktion, användning, miljöeffekter. Statistiska meddelanden MI 25 SM 0401. 32 sid.
- Schothorst, C.J. 1977. Subsidence of low moor peat soils in the Western Netherlands. *Geoderma* 17: 265-291.
- Schothorst, C.J. 1982. Drainage and behaviour of peat soils. In: Proc. Symp. on Peatlands below Sea Level. ILRI Publ. 30: 130-163.
- Silvola, J., Välijoki, J., Aaltonen, H. 1985. Effect of draining and fertilization on soil respiration at three ameliorated peatland sites. *Acta Forestalia Fennica* 191. 32 pp.
- Silvola, J., Alm, J., Ahlholm, U., Nykänen, H., Martikainen, P.J. 1996. Carbon dioxide fluxes from peat in boreal mires under varying temperature and moisture conditions. *Journal of Ecology* 84: 219-228.
- Smith, K.A., Conen, F. 2004. Impacts of land management on fluxes of trace greenhouse gases. *Soil Use and Management* 20: 255-263.
- Stenbeck, G. 1985a. Energitorvtäkt - tänkbara miljökonsekvenser. Statens naturvårdsverk Rapport 3003: 1-278.
- Stenbeck, G. 1985b. Aspects on the reclamation of cut-away bogs. Proc. Peat and the Environment '85. Jönköping, Sweden 17-20 September 1985. pp. 165-174
- Stewart, J.M. 1994. Subsidence in cultivated peatlands. I: Aminuddin, B.Y. (Ed.): Tropical Peat. Proc. Int. Symposium on Tropical Peatland, 6-10 May 1991, Kuching, Sawarak, Malaysia.
- Sundh, I., Nilsson, M., Mikkela, C., Granberg, G., Svensson, B.H. 2000. Fluxes of methane and carbon dioxide on peat-mining areas in Sweden. *Ambio* 29: 499-503.

- Trettin, C.C., Jurgensen, M.F., Gale, M.R., McLaughlin, J.A. 1995. Soil carbon in northern forested wetlands: impacts of silvicultural practices. In: McFee, W.W., Kelley, J.M. (Eds.): Carbon forms and functions in forest soils. Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin. Pp: 437-461.
- Updegraff, K., Pastor, J., Bridgham, S.D., Johnston, C.A. 1995. Environmental and substrate controls over carbon and nitrogen mineralization in northern wetlands. *Ecological Applications* 5: 151-163.
- Urban, N.R., Bayley, S.E., Eisenreich, S.J. 1989. Export of dissolved organic carbon and acidity from peatlands. *Water Resources Research* 25(7): 1619-1628.
- Venäläinen, A., Rontu, L., Solantie, R. 1999. On the influence of peatland draining on local climate. *Boreal Environment Research* 4: 89-100.
- Von Arnold, K., Nilsson, M., Hånell, B., Weslien, P., Klemetsson, L. 2005. Fluxes of CO₂, CH₄ and N₂O from drained organic soils in deciduous forests. *Soil Biology & Biochemistry* 37: 1059-1071.
- Waddington, J.M., Rotenberg, P.A., Warren, F.J. 2001. Peat CO₂ production in natural and cutover peatland: Implications for restoration. *Biogeochemistry* 54: 115-130.
- Waddington, J.M., Warner, K.D., Kennedy, G.W. 2002. Cutover peatlands: A persistent source of atmospheric CO₂. *Global Biogeochemical Cycles* 16(1): DOI: 10.1029/2001GB001398.
- Worrall, F., Reed, M., Warburton, J., Burt, T. 2003. Carbon budget for a British upland peat catchment. *Science of the Total Environment* 312: 133-146.

