



Emergo  
Studies in the Biogeophysical Environment

# **En greens åldrande: Förändringar av växtbäddens biologiska, fysikaliska och kemiska egenskaper under en sexårsperiod**

*Karin Blombäck*





## ***Innehållsförteckning***

INNEHÅLLSFÖRTECKNING .....	1
SAMMANFATTNING .....	3
ABSTRACT .....	4
INLEDNING.....	5
MATERIAL OCH METODER.....	5
RESULTAT OCH DISKUSSION .....	9
TILLKÄNNAGIVANDEN.....	19
REFERENSER .....	19



## **Sammanfattning**

För att kunna planera skötseln av en green är det viktigt att ha en förståelse av hur ytan kan utvecklas och förändras i takt med att greenen åldras. Syftet med föreliggande projekt var att undersöka hur en USGA green förändrades kemiskt, biologiskt och fysikaliskt under en 6-års period från anläggningsåret. Undersökningen utfördes på en försöksgreen på Fullerö GK utanför Västerås mellan åren 1999 och 2004. Försöksgreenen var uppbyggd med led innehållande olika mängd och kvalitet av inblandat organiskt material i växtbäddsmaterialet.

Markens näringsinnehåll och pH ökade under den studerade perioden. Den biologiska aktiviteten var initialt beroende av vilken mängd och vilken kvalitet av organiskt material som blandats in i växtbädden. Redan det andra året hade denna effekt avtagit och nytt organiskt material i marken i form av växt- och mikrobrester verkade vara av större betydelse för den biologiska aktiviteten. Den totala porositeten sjönk i samtliga försöksled, även om ledet med högst halt organiskt material var minst packningsskänslig. Framst mängden stora porer reducerades kraftigt i växtbädden. Detta ledde till en drastisk minskning av den mättade hydrauliska konduktiviteten.

Gräsets tillväxt var initialt kopplat till markens halt och kvalitet av organiskt material så att gräsproduktionen var högre ju högre inblandning av torv och allra högst i ledet med kompost.. Efter 6 år var gräsproduktionen högst i ledet med 4% torv och lägst i ledet med 3% torv. Precis som med de biologiska och fysikaliska markegenskaperna hade skillnaden i rotutbredningen jämnats ut mellan de olika försöksleden fram till år 2006 och man kunde inte längre märka någon effekt av mängd respektive kvalitet av det ursprungliga organiska materialet i växtbädden.

## **Abstract**

The success of a golf green construction cannot be fully judged until after some years after establishment when the green has been exposed to stress from players, maintenance and weather. This project aimed to investigate the changes of different biological, chemical and physical soil parameters in a green over a 6 year period. The green was built in 1999 as a research green at Fullerö Golf Club in the Mälars region in central Sweden. It was built according to USGA recommendations and included treatments with different levels of organic matter content (2, 3 and 4 % of weight) and two different types of organic amendment (fen peat and composted chicken manure mixed with Sphagnum peat). Changes in soil biological activity (C-mineralization), total C and N, nutrient elements, water holding capacity, porosity and bulk density were determined during the period 1999-2004. The effects on soil biological activity of different organic matter contents and qualities in the rootzone mix only lasted during the first year after establishment. Thereafter, the production of fresh organic matter residues, mainly roots, seemed to be the most important factor regulating the biological activity in the soil. Total C slightly decreased in all treatments, whereas there was a tendency for total N to increase in some of the treatments. The soil pH and concentrations of all studied nutrients except phosphorus increased in all treatments. The rootzone with 4% peat withstood compaction better than the rootzones with 2% or 3% peat. There was a significant loss of pores 100-600  $\mu\text{m}$  in size over the 6 year period, especially in treatments with 2% and 3% organic matter content. This dramatically decreased the saturated hydraulic conductivity ( $K_{\text{sat}}$ ).  $K_{\text{sat}}$  was more related to the presence of pores  $>100 \mu\text{m}$  (air-filled porosity) than to organic matter content in the soil mix in the 6 year old green. Turf grass production was highest in the rootzones with 4% peat and lowest in rootzones with 3% peat. There were no difference in root distribution between the different rootzones 6 years after construction.

## ***Inledning***

I dag anläggs de flesta greenerna i Sverige efter USGA:s normer (USGA, 1993). Dessa anger bland annat vilken kornstorlekssammansättning, hydraulisk konduktivitet och till viss del porstorleksfördelning som växtbäddsmaterialet skall ha. Dessa egenskaper kan man få att gälla i den nyanlagda greenen om man valt rätt material och packat växtbädden lagom mycket. Men allt eftersom att greenen åldras kommer dess egenskaper att ändras. Växtbädden packas av tramp, bollnedslag och fordonstrafik och markens innehåll av organiskt material kommer antagligen att ändras. Beroende på hur växtbädden förändras kommer växtbäddens egenskaper att, mer eller mindre, skilja sig från de ursprungligen önskade. Kunskaper om hur en växtbädd åldras ger viktig information som dels kan leda till förbättrad anläggningsteknik, dels till förbättrad skötsel.

För att undersöka hur en green åldras studerades förändringar av olika markegenskaper under en sexårsperiod på den första försöksgreenen som anlades på Fullerö GK utanför Västerås. Undersökningarna pågick från det att greenen anlades 1999 till dess att den bröts upp 2004. Syftet med undersökningen var att dokumentera förändringen av biologiska, fysikaliska och kemiska variabler i marken.

## ***Material och metoder***

### Försöksyta och försöksplan

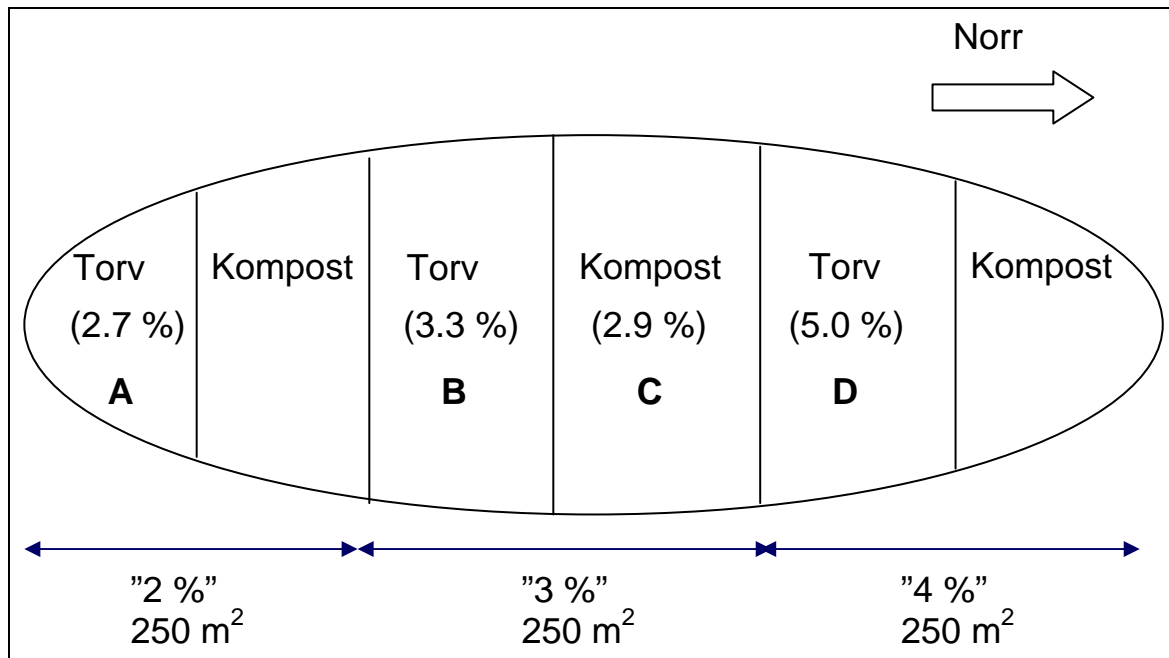
Studien har genomförts på en försöksgreen, som anlades i form av en chippinggreen, på Fullerö GK, Västerås 1999. Försöksytan designades för att kunna studera effekterna av olika mängd och kvalitet av organiskt material i växtbäddsmaterialet och resultat från de första tre åren är presenterade av Mattsson (1999), Andersson (2001) och Blombäck m.fl. (2003). Resultat för hela perioden mellan 1999 och 2004 är redovisade i Blombäck m.fl. (2008). Greenen är byggd enligt USGA:s rekommendationer för greenuppbyggnad (Tabell 1; USGA, 1993).

**Tabell 1.** Kornstorleksfördelning i växtbäddsmaterialet i Fullerö försöksgreen. USGA standard är enligt USGA (1993).

<b>Partikeldiameter mm</b>	<b>Kornstorleksfördelning %</b>	<b>USGA standard %</b>	
>2	1.5	<10	
1.0-2.0	3.5		
0.5-1.0	38	>60	
0.25-0.5	38		
0.15-0.25	9	<20	
0.05-0.15	3.5	<5	≤10
0.002-0.05	4.5	<5	
<0.002	2	<3	

Växtbädden består av ett 30 cm djupt sandlager, följt av 10 cm dräneringsgrus med dräneringsrör placerade med 6 meters avstånd. Greenen har sex olika försöksfält. Försöksfälten innehåller olika mängd organiskt material: 2, 3, respektive 4 viktprocent (Fig. 1). Det organiska materialet består i tre av fallen av ren kärrtorv (hädanefter kallat torv) och i tre av fallen består det organiska materialet av en kompostblandning (hädanefter kallat kompost). Jordblandningarna har tillverkats av Hasselfors Garden i Sala. Kärrtorven kommer ursprungligen från Solinge mosse, ca 15 km sydväst om Sala. Kompostmaterialet är en blandning av vitmossetorv och höns gödsel (50:50) som komposterats i strängar under ca 8 månader, och sedan blandats 50:50 med kärrtorvsmaterialet. I detta projekt gjordes detaljerade studier i fyra av försöksleden, nämligen leden med 2, 3, respektive 4 % torv (försöksleden markerade A, B, D i Fig. 1) samt ledet med 3 % kompost (försöksled C).

Försöksytan såddes, 1999-06-21, med en fröblandning bestående av krypvenssorterna (*Agróstitis stolonifera*) Providence och Bueno (50:50). Under anläggningsåret användes inte greenen för golfspel. Åren därefter användes den som chipping green, och den kan därför anses ha haft en spelbelastning och ett slitage motsvarande en normal green. Greenen sköttes som golfbanans övriga greener med avseende på bl. a. bevattning, klippning, gödsling, dressing, luftning, vertikalskärning och bekämpning av svampangrepp (Blombäck m.fl., 2003) och samtliga försöksled fick samma behandling.



**Figur 1.** En schematisk bild av försöksytan på Fullerö GK. Försöksytan hade totalt sex försöksfält med olika halt organiskt material - 2, 3 respektive 4 viktprocent. Det organiska materialet bestod i hälften av ytorna av enbart kärrtorv (torv) och i de övriga ytorna av ett kompostmaterial (kompost). Den organiska halten i växtbäddsblandningarna avvek något från de planerade och den verkliga organiska halten är angiven inom parentes. Detaljerade undersökningar gjordes i försöksleden markerade A, B, C och D.



### Provtagning och analyser

Växtbäddens totala innehåll av C och N, AL-lösliga växtnäringsämnen samt biologisk aktivitet i form av kolmineralisering (C-mineralisering), bestämdes i labb på jordprover tagna i fält. Markfysikaliska egenskaper som porositet, skrymdensitet, vattenhållande förmåga och hydraulisk konduktivitet bestämdes på labb på ostörda cylinderprov. Gräsets tillväxt bestämdes genom insamling av gräsklipp.

### Jordprovtagning

Jordprov insamlade 1999-2001 och 2004 (juli, augusti och oktober 1999, juni och augusti 2000, juni och augusti 2001 och augusti 2004) användes i den här studien. För studier av den biologiska aktiviteten användes prover från samtliga år. För de kemiska och fysikaliska parametrarna användes prover från 1999 och 2004. I varje försöksled togs två separata prov, ett i den östra delen av försöksledet och ett i den västra delen. Proverna togs till 30 cm djup med en jordborr (Trekantenborr, Ø 20 mm), och delades sedan in i två nivåer; 2-15 och 15-30 cm. Ovanjordisk grönbiomassa och thatchlagret skars bort med kniv. Varje prov var ett samlingsprov bestående av sju delprov som tagits i en cirkel med ca 3 meters diameter enligt metod från Statens lantbrukskemiska laboratorium (SLL, 1985). Insamlade prov förvarades i kyl i väntan på analys. År 1999 förvarades proverna i frysrum och tinades upp i kylskåp ett par dagar innan sällning påbörjades. Alla jordprov sällades genom en 2 mm sikt för att skilja mineraljorden från rötterna samt för att ta bort eventuella gräsrester.

Vid anläggningen av försöksgreenen och 2004 togs prover för bestämning av markfysikaliska parametrar. Ostörda cylinderprov (100 mm höga, 72 mm i diameter) från två olika djup, 10-20 cm och 20-30 cm, provtogs i varje försöksled.

### Total C, total N, pH och växtnäringsanalyser

Totalkol och totalkväve bestämdes genom att en liten mängd sållat material placerades i en plastbägare och torkades i 50 °C i drygt ett dygn. Därefter mortlades proven och analyserades på kol och kväve (LECO CNS 2000). Jordens pH bestämdes genom att greenmaterial (1/3) och avjoniserat vatten (2/3) blandades i ett provrör och skakades om. Provrören fick stå ett dygn, skakades om igen, fick stå ytterligare ett dygn och därefter mättes pH (Radiometer Copenhagen PHM93). Jordens innehåll av växtnäringsämnen bestämdes enligt AL-metoden (ammoniumlaktat).

### Bestämning av biologisk aktivitet: kolmineralisering

C-mineralisering användes som ett mått på den biologiska aktiviteten i växtbädden, och bestämdes genom inkubationsförsök (Paul och Clark, 1989; Schinner m fl., 1996). Vid inkubationerna användes 20 g torr jord som fuktades till 50 % vattenhalt (WHC). All ovanjordisk grönbiomassa och alla rötter avlägsnades från växtbäddsmaterialet innan inkubationens start. Jorden placerades i en inkubator i 20° C tillsammans med en lutfälla innehållande 5 alternativt 10 ml 0,5 M NaOH. Då lutfällan fångat upp bildad koldioxid byttes den ut och ersattes med ny fälla efter behov. Från lutfällan togs 1 ml, och den uppfångade koldioxiden fälldes med 2 ml 2 M BaCl. Efter det bestämdes mängden oförbrukad NaOH i lutfällan genom titrering med 0,1 M HCl, och därmed kunde mängd förbrukad NaOH och också mängd uppfångad CO<sub>2</sub> beräknas. Inkubationsförsöken pågick

under olika lång tid de olika åren. Detta var ett sätt att anpassa metoden för att uppnå ett jämviktstillstånd i mineraliseringshastigheten.

#### Fysikaliska analyser

Vattenhållandeförmågan, mättade hydrauliska konduktiviteten ( $K_{\text{sat}}$ ) skrymdensitetet och partikeldensiteten bestämdes på de ostörda cylinderproven. Porositeten beräknades från värden på skrym- och partikeldensiteten. Vattenhållandeförmågan bestämdes vid olika bindningstryck.  $K_{\text{sat}}$  bestämdes efter vattenmätning av cylinderprovet och vid ett constant tryck och med hydrauliska gradienten 1. Resultaten redovisas som medelvärden av 4 (1999) respektive 3 (2004) cylinderprov.

#### Gräsproduktion och rotstudier

Ovanjordisk grönbiomasseproduktion bestämdes genom insamling av gräsklipp. Gräset klipptes och samlades upp i uppmätta stråk i varje behandling. Gräsklippen torkades i 50 °C under två till tre dygn och vägdes därefter för bestämning av biomassa.

Rotutbredningen undersöktes genom att två jordprofiler, 0-15 cm, togs ut från vardera försöksled med hjälp av en profilspade. Den intakta profilen monterades på en ”spikplatta” (Fig. 2). Därefter spolades sanden bort och rötterna kunde studeras i sitt naturliga läge i marken.



**Figur 2.** Rotprofilprovtagning. Bilden visar en jordprofil uttagen med profilspade samt en jordprofil monterad på spikplatta och där jorden tvättats bort.

## **Resultat och diskussion**

För växtbäddens kemiska och fysikaliska egenskaper gjordes jämförelser mellan förhållandena vid anläggningen och efter 6 års användning av greenen, det vill säga förändringen mellan 1999 och 2004. För den biologiska aktiviteten gjordes årliga jämförelser under 6-årsperioden.

### Total C, total N, pH och växtnäringsanalyser

Total C sjönk något i samtliga led mellan åren 1999 och 2004 (Tabell 2). Förändring av total N var inte lika tydlig, men visade på en svag ökning i torvleden med 3% och 4% torv. C:N kvoten sjönk i samtliga led, från värden på 21-23 till 16-19.

Det är ofta svårt att med hög säkerhet fastställa förändringar av marken organiska halt eller total C och total N, särskilt under så korta perioder som 6 år. Detta beror på att förändringen är liten i förhållande till den total mängden i marken och att det då är svårt att veta om skillnaden mellan mätningar beror på en förändring över tiden eller är ett mått på den rumsliga variationen i marken. Däremot tyder förändringen i C:N kvoten att förhållandet mellan total C och total N förändrats. Orsaken till detta är antagligen att tillskottet av näringsrik växtförna, främst rötter, bidragit med ett relativt kväverikare organiskt material än det ursprungliga. Även mikroorganismerna, som förökats i växtbädden, har ett högre relativt kväveinnehåll än den ursprungliga torven respektive komposten.

Normalt förväntar man sig att det organiska materialet i en USGA green ska öka med tiden (Habeck och Christians, 2000). Tendensen till sjunkande halt organiskt material i Fullerögreenen kan bero på att ett organsikt innehåll på >2% kan vara högre än den jämviktsnivå som kan uppstå mellan produktion och förlust av organsikt material i en green under thatchlagret under svenska klimat- och skötsel förhållanden. Som jämförelse fann Habeck och Christians (2000) halter organiskt material på mellan 0.6% och 1.4% i amerikanska greener som var mellan 1 och 19 år gamla.

Marken innehåll av kalium, magnesium och kalcium (AL-lösligt) liksom pH hade ökat i samtliga försöksled mellan 1999 och 2004. Ökningen av växtnäringsinnehållet beror på gödslingen och att antingen en del av tillförda näringsämnen inte förbrukats utan lagrats i marken, dels på att växtnäringsämnen är fastlagda i växt- och mikroorganismrester, det vill säga i nybildad förna. Det höjda pH-värdet beror också på att mer växtnäringsämnen (katjoner) finns tillgängliga i marken efter tillförsel med gödslingen, men också på att bevattningsvattnet har ett högt pH-värde på Fullerö, vilket tillför pH-höjande ämnen till marken. Markens innehåll av fosfor hade sjunkit under den studerade perioden, vilket är svårare att förklara.

**Tabell 2.** Förändring av olika markkemiska parametrar mellan åren 1999 och 2004 i Fullerö försöksgreen. Värdena från 1999 är medelvärden av analyser gjorda på anläggningsjorden precis innan utläggningen av jorden. 2004 är medelvärden och standardavvikelse (SD) beräknat på två jordprov.

	<b>Djup</b>	<b>Total C<sup>b</sup></b>			<b>Total N<sup>b</sup></b>			<b>C:N kvot</b>		<b>pH<sup>b</sup></b>		
	cm	1999	2004	SD	1999	2004	SD	1999	2004	1999 <sup>c</sup>	2004	SD
<b>Behandling:</b>		%	%	SD	%	%	SD			%	%	SD
Torv 2%	2 <sup>a</sup> -15	1.6	1.2	0.07	0.07	0.07	0.004	23	17	6.0	6.3	0
	15-30	1.6	1.3	0.08	0.07	0.07	0.006	23	19	6.0	6.5	0
Torv 3%	2 <sup>a</sup> -15	1.9	1.5	0.1	0.08	0.09	0.006	24	17	6.1	6.4	0
	15-30	1.9	1.7	0.01	0.08	0.09	0.002	24	19	6.1	6.35	0.07
Torv 4%	2 <sup>a</sup> -15	2.9	2.3	0.05	0.13	0.14	0.004	22	16	5.8	6.2	0
	15-30	2.9	2.4	0.09	0.13	0.14	0.006	22	17	5.8	6.3	0
Kompost 3%	2 <sup>a</sup> -15	1.7	1.3	0.06	0.09	0.08	0.003	21	16	7.2	6.75	0.07
	15-30	1.7	1.4	0.1	0.09	0.08	0.006	21	17	7.2	7.3	0
	<b>Djup</b>	<b>P-AL<sup>d</sup></b>		<b>K-AL<sup>d</sup></b>		<b>Mg-AL<sup>d</sup></b>		<b>Ca-AL<sup>d</sup></b>				
	cm	mg/100 jord		mg/100 jord		mg/100 jord		mg/100 jord				
<b>Behandling:</b>		1999	2004	1999	2004	1999	2004	1999	2004			
Torv 2%	2 <sup>a</sup> -15	-	1.9	2.6	9.8	5.0	9.2	-	68			
	15-30	-	<1	2.6	8.3	5.0	5.7	-	99			
Torv 3%	2 <sup>a</sup> -15	3.1	2	3.5	11.5	6.0	14.0	120	115			
	15-30	3.1	<1.5	3.5	8.9	6.0	7.2	120	115			
Torv 4%	2 <sup>a</sup> -15	0.9	<1.8	3.6	12.5	6.0	11.5	150	98			
	15-30	0.9	<1	3.6	8.8	6.0	7.0	150	130			
Kompost 3%	2 <sup>a</sup> -15	15.0	9.3	53.0	10.5	10.0	10.5	140	115			
	15-30	15.0	12.5	53.0	8.8	10.0	6.8	140	135			

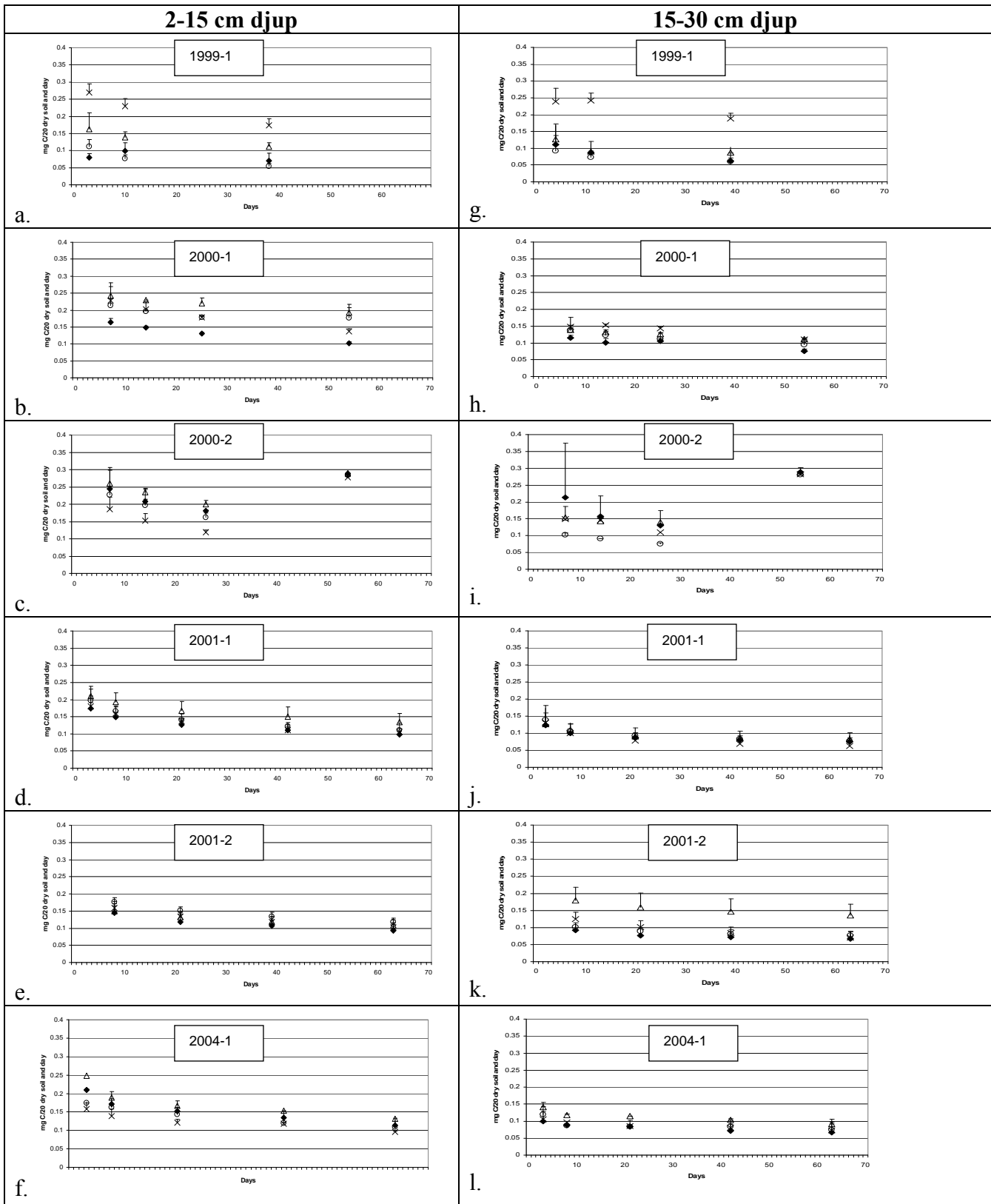
- a) Prov tagna under thatchlagret, dvs på 2 cm djup  
b) Analyser utförda på Institutionen för markvetenskap, SLU  
c) Medelvärde av 3 prov  
d) Analyser utförda på AgroLab Scandinavia, Kristianstad, Sweden

### Bestämning av biologisk aktivitet: kolmineralisering

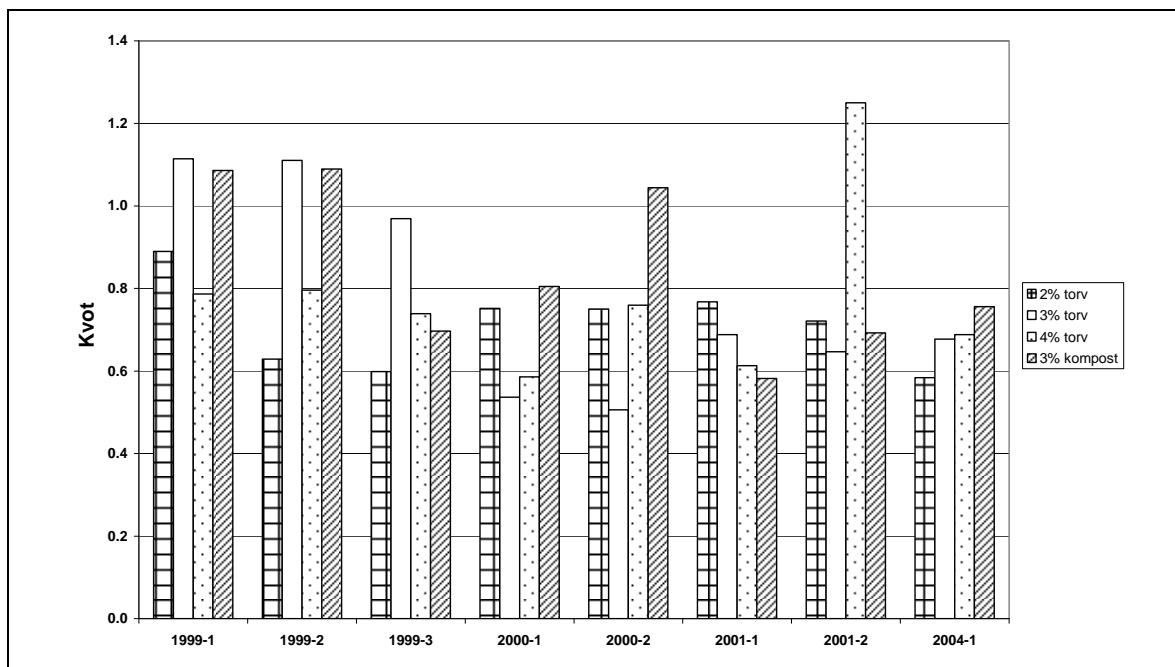
Både anläggningssjorden innehåll av organiskt material och det organiska materialets kvalitet påverkade markens biologiska aktivitet det första året (Fig.3). Under etableringsåret 1999 var C-mineraliseringen högst i jorden med 3% kompostinblandning och näst högst i jorden med 4% torv. Men redan det andra året, 2000, hade mineraliseringshastigheten i kompostledet sjunkit kraftigt så att samtliga torvled hade en högre mineraliseringshastighet. Det tredje liksom det sjätte året var C-mineraliseringen lika i samtliga led. Denna mineraliseringshastighet var lägre än den i kompostledet första året och högre än i samtliga torvled det första året.

Förändringen av C-mineraliseringen var lika i både 2-15 cm och 15-30 cm djup (Fig. 3), även om förändringarna gick fortare och var mer tydliga i det ytligare lagret. Den stora skillnaden mellan lagren var att mineraliseringshastigheten i nivån 15-30 cm i medeltal bara motsvarade ca 80% av mineraliseringshastigheten i nivån 2-15 cm (Fig.4.).

En orsak till det snabba avtagandet av mineraliseringshastigheten i framförallt kompostledet var antagligen att förrådet av lättomsättbara organiska substanser snabbt förbrukades. Den påföljande mineraliseringen av de mer svårnedbrytbara organiska substanserna var för långsam för att kunna visa på några skillnader mellan leden (Blombäck m.fl., 2003). Den högre mineraliseringshastigheten i torvleden det sjätte året, liksom den stora skillnaden i mineraliseringshastigheten mellan 2-15 cm nivån och 15-30 cm nivå visar på betydelsen av tillskottet av organiskt material från det växande gräset och den aktiva mikrobfloran. Mer än 80% av rotbiomassan fanns i de översta 15 cm i Fullerögreenen (Fig. 5 och 6; Blombäck m.fl., 2003). Gaussoin och Shearman (2003) fann att den mikrobiella poolen hade stabiliserats efter 18-24 månader i greener från 16 olika golfklubbar i USA. Bigelow m.fl. (2002) visade en stabil mikrobiell population 6 månader efter gräsetableringen. De menade också att den mikrobiella poolens storlek är beroende av gräsets rotsystem och de näringsrika substanser som produceras av de växande rötterna och av rotförnan.



**Figure 3a-l.** Biologisk aktivitet, bestämd som daglig C-mineralisering, försöksled med 2, 3 och 4% torv respektive 3% kompost i växtbäddsmaterialet. Diagrammen a-f visar resultaten för jordprov från 2-15 cm djup och diagrammen g-l visar reesultatet för 15-30 cm djup. ♦=2% torv, O=3% torv, Δ=4% torv och X=3% kompost. Staplarna visar standardavvikelsen



**Figur 4.** Kvoten mellan C-minerlisering lagret 15-30 cm och lagret 2-15 cm.

### Fysikaliska analyser

De markfysikaliska egenskaperna jämfördes endast för torvleden, eftersom det organiska materialets kvalitet antogs vara av underordnad betydelse. Porositeten sjönk, och eftersom skrymdensiteten är en funktion av porositeten sjönk även värdet för den, i alla försöksleden (Tabell 3). Även partikeldensitetet sjönk något, vilket kan förklaras med att halten av organiskt material hade ökat något mellan 1999 och 2004. Ledet med 4% torv var mindre packningskänsligt än leden med 2% och 3% torv. Orsaken till detta var att det i första hand var stora porer (100-600  $\mu\text{m}$  i diameter) som packades (Tabell 4). Redan initialt var förekomsten av porer i detta storleksintervall lägre i 4%-ledet.

Den luftfyllda porositeten (porer >100  $\mu\text{m}$ ; air-filled porosity enligt USGA standard (USGA, 1993)) sjönk kraftigt, utom i 20-30 cm djup i 4% torv (Tabell 4). Den kapillära porositeten (porer <100  $\mu\text{m}$ ; capillary pores enligt USGA standard) ökade eftersom de större porerna trycktes ihop till mindre porer.

Eftersom det var de största porerna som försvann vid packningen fick denna förändring stor inverkan på vattentransporten i marken och  $K_{\text{sat}}$  sjönk kraftigt i leden 2% och 3% torv (Tabell 3). Eftersom minskningen av de största porerna inte var lika markant i 4%-ledet ändrades inte heller  $K_{\text{sat}}$  lika mycket, eller till och med ökade i 10-20 cm nivån. Det är de största porerna som transporterar vatten vid vattenmättade förhållanden, och transporthastigheten är proportionell mot diametern på de transporterande porerna.

Resultaten med minskande andel stora porer och värden på  $K_{\text{sat}}$  i Fullerögreenen överensstämmer med resultat från andra studier på åldrande greener (Baker m.fl, 1999; Habeck and Cristians, 2000; Curtis and Pulis, 2001; Ok m.fl, 2003; Gaussoin m.fl, 2006). Däremot var den totala packningen större på Fullerögreenen större än vad som rapporterats av andra. Till skillnad från andra studier relaterade vi förändringen i  $K_{\text{sat}}$  framförallt i till packningsskador och inte till en förändring i halten organiskt material i marken. Visserligen

var  $K_{sat}$  initialt lägre med ökande organisk halt i marken. Men efter 6 år var  $K_{sat}$  ungefär lika i alla led oberoende av den organiska halten, men som ett resultat av förändringen av antal porer  $>100 \mu\text{m}$ . På grund av packningen var porositeten av porer  $>100 \mu\text{m}$  lägre än 15% i de flesta jordproven, vilket är det rekommenderade värdet för luftfylld porositet enligt USGA standard (USGA, 1993). Den kapillära porositeten (capillary porosity) var högre i samtliga prov än rekommenderade värden enligt USGA.

Den låga andelen luftfyllda porer, särskilt i ledet med 4% torv, återspeglades inte av gräsproduktionen. Gräsets tillväxt var initialt kopplat till markens halt och kvalitet av organiskt material (Fig 7.; Blombäck m.fl., 2003) så att gräsproduktionen var högre ju högre inblandning av torv och allra högst i ledet med kompost. Efter 6 år var gräsproduktionen högst i ledet med 4% torv. Lägsta produktionen var då i ledet med 3% torv.

För rotfördelningen gick det inte att urskilja någon skillnad mellan de olika försöksleden, varken i juni eller augusti 2004 (Fig. 5 och 6). Eventuellt kan man se en tendens till svagare rotutveckling i ledet med 2% organiskt material i augustiprovtagningen (Fig. 6.). Vid båda provtagningstillfällena och i samtliga led fanns det rötter ner till 15 cm djup, men med en tydlig koncentration till profilens översta 5 cm. En tidigare undersökning av rotutbredningen gjordes 2001 (Blombäck m.fl., 2003), och då fann man att leden med 2 och 3 % torv hade ett rikt förgrenat rotsystem genom hela profilen medan ledet med 4% torv hade ett något glesare rotsystem. I ledet med 3% kompost var rotsystemet glest under de översta 3 cm, och rötterna gick inte lika djupt som i de andra leden. Precis som med de biologiska och fysikaliska markegenskaperna hade skillnaden i rotutbredningen jämnats ut mellan de olika försöksleden fram till år 2006 och man kunde inte längre märka någon effekt av mängd respektive kvalitet av det ursprungliga organiska materialet i växtbädden.



**Tabell 3.** Markfysikaliska variabler bestämda 1999 i anslutning till anläggning av Fullerö försöksgreen och just innan sådd, samt hösten 2004 efter 6 års nyttjande av greenytan. USGAs rekommenderade värden anges för jämförelse (USGA, 1993). Alla värden är medelvärden av 4 prov 1999 och av 3 prov 2004.

	<b>Djup</b>	<b>Porositet</b>			<b>Mättad hydraulisk konduktivitet</b>			<b>Skrymdensitet</b>		<b>Partikeldensitet</b>				
	cm	%			cm h <sup>-1</sup>			kg m <sup>-3</sup>		kg m <sup>-3</sup>				
<b>Behandling:</b>		<b>USGA</b>	<b>1999</b>	<b>2004</b>	<b>USGA</b>	<b>1999</b>	<b>2004</b>	<b>1999</b>	<b>2004</b>	<b>1999</b>	<b>2004</b>			
Torv 2%	10-20	35-55	50	42	15	46	16	1.29	1.52	2.61	2.63			
	20-30	“	52	45	“	47	33 <sup>a</sup>	1.26	1.46	2.61	2.66			
Torv 3%	10-20	“	54	46	“	35	10	1.22	1.45	2.58	2.62			
	20-30	“	53	45	“	40	16	1.19	1.41	2.58	2.62			
Torv 4%	10-20	“	52	48	“	17	20	1.22	1.35	2.56	2.57			
	20-30	“	54	49	“	19	13	1.17	1.31	2.56	2.59			
<b>Vattenhållande förmåga, <math>\theta</math></b>														
<b>Behandling:</b>	<b>Djup</b>	<b>Bindnings- tryck:</b>	<b>0.05 m vp</b>		<b>0.3 m vp</b>		<b>0.5 m vp</b>		<b>1 m vp</b>		<b>5 m vp</b>		<b>150 m vp</b>	
	cm		<b>1999</b>	<b>2004</b>	<b>1999</b>	<b>2004</b>	<b>1999</b>	<b>2004</b>	<b>1999</b>	<b>2004</b>	<b>1999</b>	<b>2004</b>	<b>1999</b>	<b>2004</b>
Torv 2%	10-20		46	38	23	28	18	22	14	19	10	16	3	4
	20-30		47	37	24	26	19	21	15	18	11	14	3	5
Torv 3%	10-20		49	40	29	35	22	29	18	24	13	19	4	6
	20-30		49	40	29	36	22	28	17	23	12	16	4	6
Torv 4%	10-20		49	44	40	39	28	33	22	28	16	19	5	7
	20-30		52	42	40	34	29	28	24	25	17	20	5	7

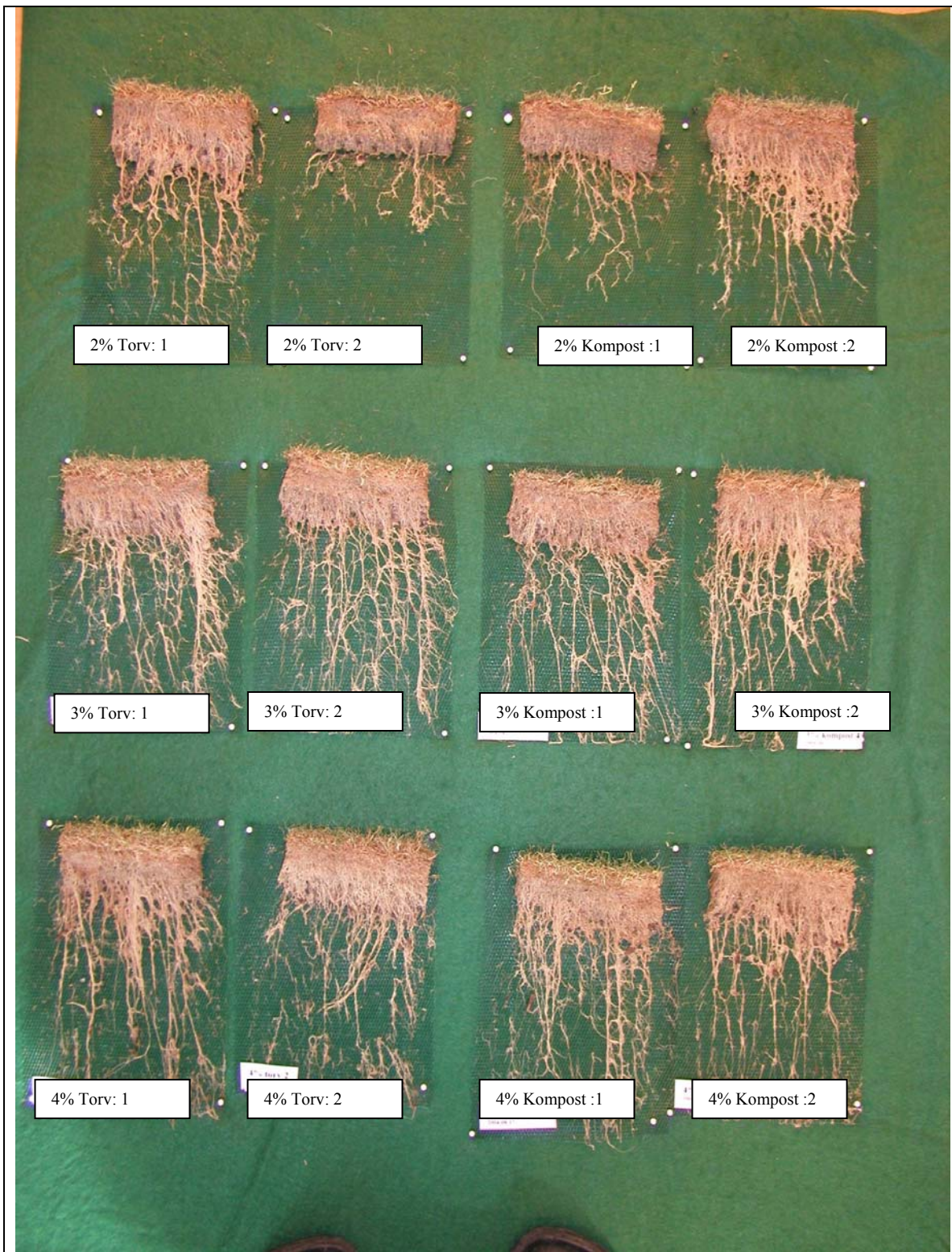
<sup>a)</sup> Små sprickor syntes på översidan av cylinderprovet men inte i botten. Sprickorna kan vara en förklaring till det höga värdet.

**Tabell 4.** Porstorleksfördelningen som % av total jordvolym. Värdena är beräknade från bestämning av den vattenhållande förmågan (Tabell 3.).

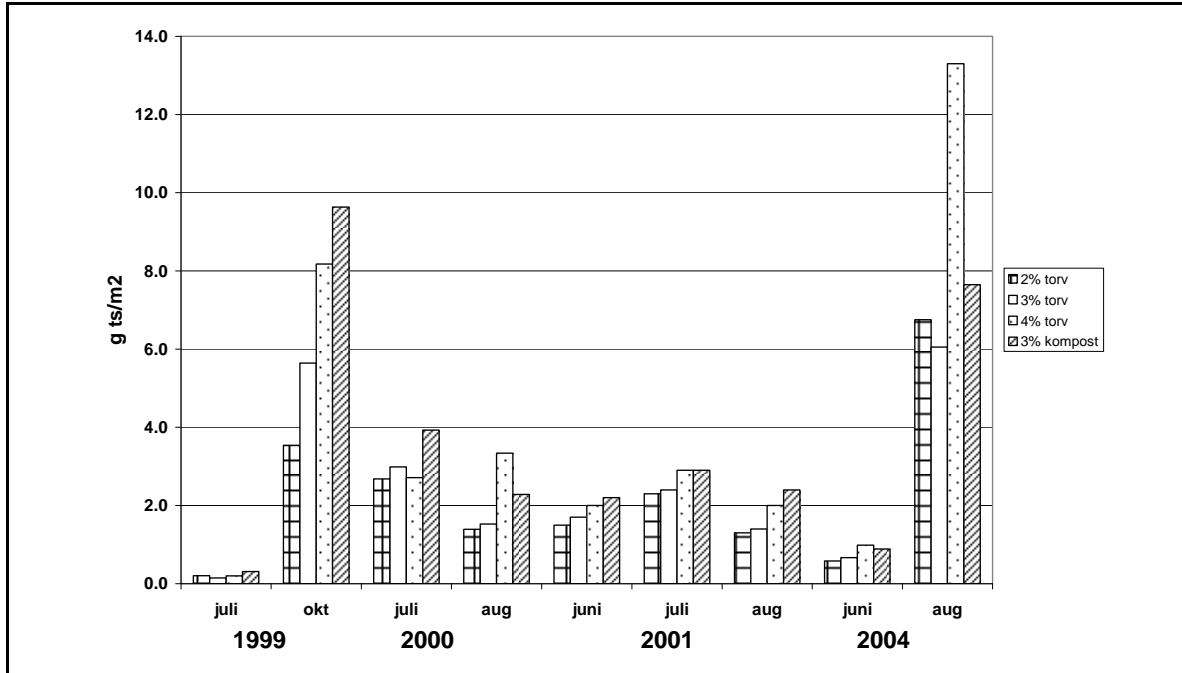
<b>Behandling:</b>	<b>2% Torv</b>		<b>2% Torv</b>		<b>3% Torv</b>		<b>3% Torv</b>		<b>4% Torv</b>		<b>4% Torv</b>	
<b>Djup:</b>	<b>10-20 cm</b>		<b>20-30 cm</b>		<b>10-20 cm</b>		<b>20-30 cm</b>		<b>10-20 cm</b>		<b>20-30 cm</b>	
<b>Pordiameter:</b>	<b>1999</b>	<b>2004</b>	<b>1999</b>	<b>2004</b>	<b>1999</b>	<b>2004</b>	<b>1999</b>	<b>2004</b>	<b>1999</b>	<b>2004</b>	<b>1999</b>	<b>2004</b>
>600 $\mu\text{m}$	4	4	5	8	5	6	4	5	3	4	2	7
100-600 $\mu\text{m}$	23	10	23	11	20	5	20	4	9	5	12	8
60-100 $\mu\text{m}$	5	6	5	5	7	6	7	8	12	6	11	6
30-60 $\mu\text{m}$	4	3	4	3	4	5	5	5	6	5	5	3
6.0-30 $\mu\text{m}$	4	3	4	4	5	5	5	7	6	9	7	5
0.2-6.0 $\mu\text{m}$	7	12	8	9	9	13	8	10	11	12	12	13
< 0.2 $\mu\text{m}$	3	4	3	5	4	6	4	6	5	7	5	7
<b>Total porositet</b>	50	42	52	45	54	46	53	45	52	48	54	49



**Figur 5.** Rotutbredning på 0-15 cm djup i de olika försöksleden i juni 2004.



**Figur 6.** Rotutbredning på 0-15 cm djup i de olika försöksleden i augusti 2004.



**Figur 7.** Gräsklipp (g ts/m<sup>2</sup>).

### ***Tillkännagivanden***

Projektet Greenens åldrande finansierades av Scandinavian Turfgrass and Environment Research Foundation (STERF). Vi vill härmed framföra ett stort tack till personalen på Fullerö GK för den utmärkta skötseln av försöktytan och för ett gott samarbete i alla frågor gällande vår forskning som är förlagd till Fullerö.

### ***Referenser***

- Andersson, T. 2002. Soil biology properties on turfgrass with special focus on biological activity, nitrogen processes and root development. MSc Thesis. (In Swedish with English abstract). Swedish University of Agricultural Science. Department of Soil Sciences. Division of Plant nutrition. Examensarbete 2002, Nr 125.
- Baker, S.W., S.J. Mooney, och A. Cook. 1999. The effects of sand type and rootzone amendments on golf green performance. I. Soil properties. *J. Turfgrass Sci.* 75: 2-16.
- Bigelow, C.A., D.C., Bowman, och A.G.Wollum II. 2002. Characterization of soil microbial population dynamics in newly constructed sand-based rootzones. *Crop Sci.* 42:1611-1514.
- Blombäck, K., M. Strandberg, och L. Lundström. 2003. *Emergo* 2003:9. The influence of soil organic matter on soil microbial activity and grass establishment and growth in a putting green. (In Swedish with English abstract). Swedish University of Agricultural

- Sciences. Department of Soil Science. Division of Environmental Physics. ISSN 1651-7210.
- Blombäck, K., A. Hedlund, och M. Strandberg. 2008. Changes of soil biological and physical variables over 6 years time in golf green rootzones differing in organic matter content and -quality. Inskickad till International Turfgrass Society Research Journal
- Curtis, A., och M. Pulis. 2001. Evolution of a sand-based rootzone. *Golf Course Manage.* 69(5):53-56.
- Gaussoin, R., och R. Shearman, R. 2003. Soil microbial characteristics of aging golf greens. *USGA Turfgrass and Environmental Research Online* 2(3):1-8.
- Gaussoin, R., R. Shearman, L. Wit, T. McClellan, och J. Lewis. 2006. Soil physical and chemical characteristics of aging greens. *USGA Turfgrass and Environmental Research Online* 5(14):1-11.
- Habeck, J. och N. Christians. 2000. Time alters greens' key characteristics. *Golf Course Manage.* 68(5):54-60.
- Mattsson, T. 2000. The impact of organic matter fro grass development and biological activity in the soil. MSc Thesis. (In Swedish with English abstract). Swedish University of Agricultural Science. Department of Soil Sciences. Division of Plant nutrition. Examensarbete 2000, Nr 113.
- Ok, C-H., S.H. Anderson, och E.H. Ervin. 2003. Amendments and construction systems for improving the performance of sand-based putting greens. *Agron. J.* 95:1583-1590.
- Paul, E.A. och F.E. Clark. 1989. *Soil Michobiology and Biochemistry*. Academic Press, Inc. San Diego, California.
- Schinner, F., E. Kandeler, R. Margesin, och R Öhlinger. 1996. *Methods in Soil Biology*. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg.
- USGA, 1993. *USGA Green Section RECORD*. March/April 1993.



## List of publications in Emergo

- 2003:1 Holmberg, H. Metodutveckling för utvärdering av simuleringsmodeller med hjälp av fluorescerande ämnen (Development of methods to evaluate simulation models using fluorescent dye tracers). M.Sc. thesis. 50 pages.
- 2003:2 Olsson, C. Översvämningsåtgärder i Emån – simulering i Mike 11 modellen (Measures for flood control in the river Emån – simulation in the Mike 11 model). M.Sc. thesis. 34 pages.
- 2003:3 Gärdenäs, A. Eckersten, H. & Lillemägi, M. Modeling long-term effects of N fertilization and N deposition on the N balance of forest stands in Sweden. 30 pages.
- 2003:4 Jarvis, N. Hanze, K. Larsbo, M. Stenemo, F. Persson, L. Roulier, S. Alavi, G. Gärdenäs, A. & Rönngren, J. Scenario development and parameterization for pesticide exposure assessments for Swedish groundwater. 26 pages. ISBN: 91-576-6588-5.
- 2003:5 Eckersten, H., Gärdenäs, A. & Lewan, E. (Eds.) Biogeofysik – en introduktion (Environmental physics – an introduction). 141 pages. ISBN: 91-576-6591-5.
- 2003:6 Larsbo, M. & Jarvis, N. MACRO 5.0. A model of water flow and solute transport in macroporous soil. Technical description. 47 pages. ISBN: 91-576-6592-3.
- 2003:7 Nylund, E. Cadmium uptake in willow (*Salix viminalis* L.) and spring wheat (*Triticum aestivum* L.) in relation to plant growth and Cd concentration in soil solution. M.Sc. thesis. 33 pages.
- 2003:8 Strömqvist, J. Leaching of fungicides from golf greens: Simulation and risk assessment. M.Sc. thesis. 41 pages.
- 2003:9 Blombäck, K. Strandberg, M. & Lundström, L. Det organiska materialets betydelse för markens biologiska aktivitet och grässets etablering och tillväxt i en golfgreen (The influence of soil organic matter on soil microbial activity and grass establishment and growth in a putting green). 2003:10 Stenemo, F. & Jarvis, N. Users guide to MACRO 5.0, a model of water flow and solute transport in macroporous soil. ISBN: 91-576-6610-5.
- 2004:1 Årevall, H. Mark- och lokaliseringsspekter i miljökonsekvensbeskrivning – fem fallstudier av vindkraftsprojekt (Aspects of land and localization in environmental impact assessment – five case studies of wind power projects). M.Sc. thesis. 62 pages.
- 2004:2 Almqvist, S. Simulering av bekämpningsmedel i banvall – utveckling av ett prognosverktyg (Simulation of pesticide transport in railway embankments – development of a predictive tool). M.Sc. thesis. 47 pages.
- 2004:3 Eckersten, H., Gärdenäs, A. & Lewan, E. (Eds.) Biogeofysik – en introduktion (Environmental physics – an introduction). 143 pages. ISBN: 91-576-6591-5.
- 2005:1 Ortiz, C. Calibration of GenRiver with GLUE for Northern Vietnamese conditions. M.Sc. thesis. 27 pages.
- 2005:2 Adielsson, S. Statistical and neural network analysis of pesticide losses to surface water in small agricultural catchments in Sweden. M.Sc. thesis. 28 pages.
- 2005:3 Stenemo, F., Jarvis, N. & Jonsson, E. MACRO\_GV – ett simuleringsverktyg för plats-specifika bedömningar av bekämpningsmedelsläckage till grundvatten (MACRO\_GV – a simulation tool for site specific assessments of pesticide leaching to groundwater). 18 pages.
- 2005:4 Bergkvist, P., Jarvis, N., Rapp, L. & Eriksson, J. Critical load of cadmium on arable soils in Sweden. 24 pages.
- 2007:1 Andersson, P. Miljöbedömning av mark- och vattenresurser i kommunal översiktsplanering - En fallstudie av en del av planprocessen i Tierps kommun (Environmental assessment of soil and water resources in local authority planning- A case study of a part of the planning process in the municipality of Tierp). M.Sc. thesis. 61 pages.
- 2007:2 Larsbo, M., Greener, M. & Jarvis, N. Tillage effects on pesticide losses to drains in a heavy clay soil at Lanna, Sweden: Measurements and modelling. 32 pages. ISBN: 978-91-85911-25-7.
- 2008:1 Blombäck, K. En greens åldrande: Förändringar av växtbäddens biologiska, fysikaliska och kemiska egenskaper under en sexårsperiod. (Ageing of a green: Changes in biological, chemical and physical variables during a six year period.) Abstract in English.