

Temperatures och den fotosyntetiskt aktiva strålningens effekt på avgång och inlagring av kol på en dikad torvjord

The effect of temperature and photosynthetically active radiation on emission and uptake of carbon on a drained peat soil

Kristian Österlund



Kandidatuppsats i miljövetenskap
Kandidatprogrammet – Biologi och miljövetenskap

SLU, Sveriges lantbruksuniversitet
Fakulteten för naturresurser och lantbruksvetenskap
Institutionen för mark och miljö

Kristian Österlund

Temperatures och den fotosyntetiskt aktiva strålningens effekt på avgång och inlagring av kol på en dikad torvjord
The effect of temperature and photosynthetically active radiation on emission and uptake of carbon on a drained peat soil

Handledare: Örjan Berglund, institutionen för mark och miljö, SLU
Examinator: Kerstin Berglund, institutionen för mark och miljö, SLU

EX0688, Självständigt arbete i miljövetenskap – kandidatarbete, 15 hp, Grundnivå, G2E
Kandidatprogrammet Biologi och miljövetenskap 180 hp

Serienamn: Examensarbeten, Institutionen för mark och miljö, SLU
2013:07

Uppsala 2013

Nyckelord: torv, markrespiration, NEE, fotosyntes

Elektronisk publicering: <http://stud.epsilon.slu.se>

Omslag: Gräsvall på dikad torvjord, Örke norr om Uppsala, 2011. Foto författaren.

Sammanfattning

Nedbrytning av organiskt kol i dränerade torvjordar är en stor källa till utsläpp av koldioxid i Sverige. En stor del av de dränerade torvjordarna används som jordbruksmark. Att bromsa nedbrytningen i dessa torvjordar är en stor utmaning. Tidigare har man trott att minskad jordbearbetning och högre grundvattennivåer skulle kunna minska markorganismernas aktivitet och därmed nedbrytningen av torvjorden; försök har dock visat att dessa åtgärder har begränsad eller ingen effekt.

I denna kandidatuppsats gjordes ett fältförsökt på en vallbeväxt dränerad torvmark utanför Björklinge i Uppsala kommun. Undersökningarna genomfördes i Maj 2011. Syftet var att utveckla en metod och för att undersöka hur nettoutbytet av koldioxid på en bevuxen torvjord påverkas av temperatur och fotosyntetiskt aktiv strålning (PAR). Markrespiration (R_{TOT}) och ekosystemets nettoutbyte (NEE) mättes med hjälp av manuella och automatiska kammare. R_{TOT} mättes med mörka kammare medan NEE mättes med transparenta kammare. Från insamlade data över koldioxidemissioner kunde sedan storleken på fotosyntesen (P_G) beräknas. Vid försökets andra hälft mätte två automatiska mätstationer med transparenta huvar, detta för att kunna beräkna PAR:s inverkan på NEE .

Ett tydligt samband mellan marktemperatur och R_{TOT} samt PAR och P_G kunde påvisas.

Nyckelord: torv, markrespiration, NEE , fotosyntes

Abstract

The decomposition of organic carbon in drained peat soils is a major source of carbon dioxide in Sweden. A big part of these drained peat soils are used in agriculture and it is a big challenge to slow down their decomposition. It has earlier been thought that less tilling and higher water table levels would decrease the activity of soil microbes and thereby the decomposition, but recent experiments has showed that this has little or no effect.

In this bachelor thesis a field experiment was made on drained peat soil with ley, outside Björklinge, Uppsala municipality, Sweden. The experiment was carried out in May 2011. The objective was to develop a method to examine how the net exchange of carbon dioxide from plant covered peat soil is affected by temperature and photosynthetically active radiation (PAR). Soil respiration (R_{TOT}) and net ecosystem exchange (NEE) was measured with manual and automatic soil respiration chambers. R_{TOT} was measured with opaque chambers while NEE was measured with transparent chambers to allow photosynthesis to occur. From the acquired data values of carbon dioxide emissions the size of photosynthesis (P_G) was calculated. At the second half of the experiment period, one of the automatic lysimeters was equipped with light dimming net hoods. This was made to make it possible to calculate the influence of PAR on NEE .

There was an apparent correlation between soil temperature and R_{TOT} and PAR and photosynthesis..

Innehållsförteckning

1	Inledning	1
1.1	Bakgrund	1
1.2	Syfte	3
2	Material och metod	4
2.1	Plats.....	4
2.2	Hydrologiska förhållanden	5
2.3	Insamling av data.....	6
2.3.1	Uppskattning av NEE och R_{TOT}	7
2.3.2	Uppskattning av PAR:s inverkan på NEE	10
3	Resultat	11
3.1	Beräkning av storleken på koldioxidflöden ingående i NEE	11
3.2	Samband mellan marktemperatur och markrespiration	14
3.3	Undersökning av instrålningens inverkan på växtlighetens kolassimilering	16
3.3.1	Huvarnas påverkan på temperaturen	18
4	Diskussion	19
4.1	Uppdelning av NEE	19
4.2	Undersökning av PAR:s och temperaturens inverkan på NEE	20
4.3	Felkällor i mätmetod	20
4.4	Slutsats.....	23
	Litteraturlista	25
	Tillkännagivanden	27

1 Inledning

1.1 Bakgrund

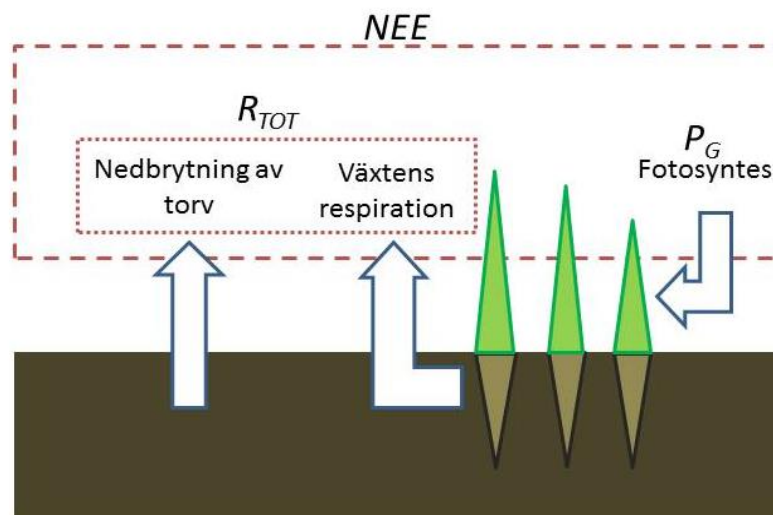
I Sverige har kol från döda växter lagrats in som torv i mossar och kärr sedan isen drog sig tillbaka efter den senaste istiden. De syrefattiga förhållanden som råder i vattenmättade marker gör att tillförseln av dött organiskt material sker snabbare än nedbrytningen. Detta leder till att markens kolförråd ökar, samtidigt som atmosfärens koldioxidhalt minskar. Under årtusendenas lopp har denna inlagring lett till att drygt 15 % av Sveriges landyta idag täcks av torvjordar. Torvlagret på denna yta har en genomsnittlig tjocklek av 1,7 m (Fredriksson, 1996). Detta innebär att en ansenlig mängd kol finns bundet i landets torvjordar.

För att kunna producera tillräckligt med mat till Sveriges växande befolkning började man under 1800-talet i större utsträckning att dränera landets torvjordar. Denna uppbyggnad av ny åkermark nådde sin kulmen på 1940-talet. Då brukades drygt 12 % av Sveriges torvmarker, vilket innebär att ca 20 % av åkermarken utgjordes av torvjord (Berglund, 2008). Idag har en stor del av dessa torvjordar slutat brukas; knappt hälften av den tidigare arealen brukas idag (Berglund & Berglund, 2008).

När en torvmark dikas exponeras den tidigare vattenmättade marken för luftens syre. Den ökade syretillgången gör att markens mikroorganismer lättare kan bryta ned det organiska materialet. Den ökade markrespirationen leder till att stora mängder koldioxid avgår till atmosfären; torvjorden går från att vara en potentiell kolsänka till att vara en stor kolkälla. I Sverige uppskattas de av människan brukade torvjordarna idag bidra till cirka 5 % av de antropogena utsläppen av växthusgaser (Berglund & Berglund 2008).

För att bromsa aktiviteten hos de odlade torvjordarnas nedbrytande organismer har ett antal metoder antagits fungera. Genom att undvika plöjning har man trott att den mikrobiella aktiviteten i marken ska bromsas på grund av minskad syretillgång (Jordbruksverket 2008), men Maljanen et al. (2001) har inte kunnat påvisa något sådant samband. Att inom en för jordbruksväxterna rimlig omfattning höja grundvattenytan, så att en mindre del av torvjorden utsätts för syre, är också en metod som har förmodats minska markrespirationen. Försök har dock visat att ingen tydlig effekt kan påvisas (Berglund & Berglund 2011). Den enda effektiva metoden för att stoppa de stora avgångarna av koldioxid från landets odlade torvjordar verkar vara att åter lägga dem under vatten, något som skulle få stora konsekvenser för jordbruk, byggnader och annan infrastruktur.

Koldioxidflödena mellan mark och atmosfär kan delas upp i bruttoupptag, P_G (upptag av CO_2 av fotosyntetiserande växter) och bruttorespiration, R_{TOT} (avgång av CO_2 från marken och dess organismer, inklusive växternas rötter). Ekosystemets nettoutbyte av CO_2 , NEE , är den mängd koldioxid som ett ekosystem avger eller ackumulerar (se figur 1). Nettoutbytet är differensen mellan bruttoupptaget och bruttorespirationen (ekv. 1) (Maljanen et al. 2001).



Figur 1. Torvmarkens flöden av kol, in och ut ur systemet. NEE är ekosystemets nettoutbyte av koldioxid.

$$NEE = P_G - R_{TOT} \quad (\text{ekv. 1})$$

Om man inte lyckas finna metoder att hålla R_{TOT} lågt skulle ett högt P_G kunna sänka de odlade torvjordarnas stora nettoutsläpp av koldioxid, förutsatt att det inbundna kolet inte sedan förbränns och åter avgår som koldioxid på en annan plats.

Det finns två metoder att mäta pågående koldioxidförändringar över ett ekosystem. Den enklaste av dessa är mätning med en lufttät huv som sätts över den yta som ska undersökas (Alm et al, 1997; Lohila et al, 2003). Huvu är försedd med en koldioxidmätare som mäter hur koldioxidhalten förändras under den tid huvu sitter på mätytan. Mätningarna sker vanligtvis under några minuter och upprepas lämpligen med jämna mellanrum för att se hur koldioxidavgången förändras över tiden. En fördel med huvmetoden är att utrustningen är lätt att förflytta och att mätytan är liten, varvid det går att utföra flera experiment med olika behandling på en begränsad yta. Den andra metoden är virvelkorrelation (eng. *eddy covariance*) (Lohila et al, 2004; Moors et al, 2010). Med denna metod mäts koldioxidutbytet mellan mark och atmosfär med koldioxidmätare kombinerade med turbulensinstrument. Denna utrustning är fäst på en flera meter hög mast. Metoden ger en minimal påverkan på markens processer men mäter nettoutbytet från en större yta, varför metoden är mindre lämplig när skillnader i avgång från ytor med olika behandling avses mätas.

1.2 Syfte

Syftet med denna studie är att mäta storleken på de flöden som ingår i utbytet av koldioxid på en vallbevuxen torvjord, och att utifrån dessa data undersöka sambanden mellan markens temperatur och respiration (R_{TOT}), samt mellan solinstrålning (PAR) och växtlighetens kolassimilation (P_G).

2 Material och metod

2.1 Plats

Undersökningen ägde rum i Örke, beläget i det utdikade myrområdet Bälunge mossar (60,03°N 17,45°Ö) i Uppsala kommun. Platsen är en lågintensivt brukad vall på väl nedbruten kärrtorv (se figur 2). Torvens ursprungsmaterial består främst av *Carex* och *Amblystegium*. Jorden är klassificerad enligt US Soil - Taxnomy som Euic Typic Haplosaprist (Berglund & Berglund 2011). Till växtligheten hör främst olika gräsarter, maskrosor och nässlor. På jordprover insamlade vid mätperiodens början mättes pH, som låg mellan 6,0 och 6,3. Jordens kolinnehåll var i de övre 40 cm mellan 37,7 % och 39,3 % (Berglund et al., 2010a).

En cirka 400 m² stor provyta mättes upp att utföra försök på. Sju rutor om 1 m² valdes ut att utföra koldioxidmätningar på under försökets gång. Mätningarna ägde rum mellan 4 och 30 maj 2011. Vädret var mestadels soligt, medeltemperaturen över den normala och det var tidvis blåsigt på platsen.



Figur 2. Provplatsen i Örke, 5 km från Björklinge, Uppsala kommun. Bälunge mossar avvattnas av Björklingeån i bildens högra kant.

2.2 Hydrologiska förhållanden

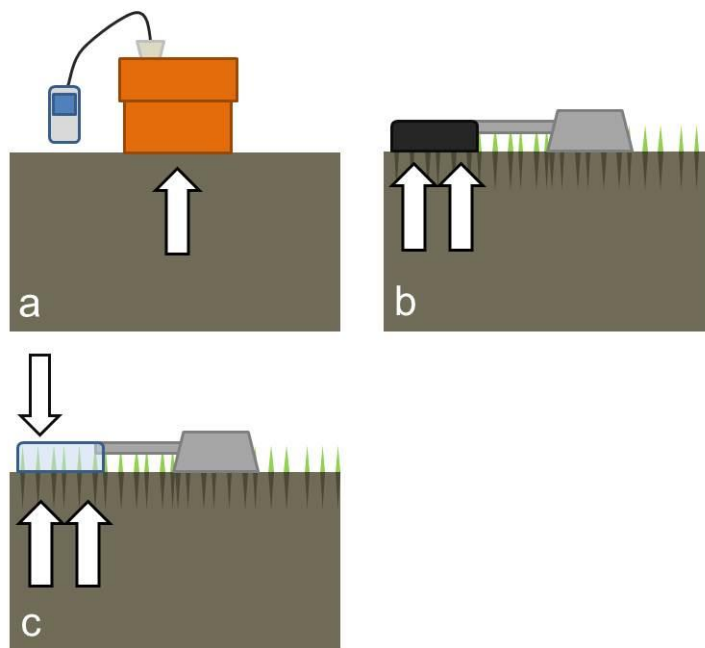
Grundvattnets nivå var vid försökets början ca 41 cm och vid försökets slut ca 56 cm under markytan. Markens fuktighet mättes på de sju provrutorna under fem tillfällen med en digital fuktighetsmätare (Wet-2 sensor, Delta-T devices, Cambridge), samt genom att jordprover togs med metallcylindrar 4 maj (10 cm höga, 407 cm³) och vägdes i ursprungligt respektive torkat tillstånd (se tabell 1).

Tabell 1. Genomsnittlig vattenhalt uppmätt med Wet-sensor samt gravimetriskt (inom parentes)

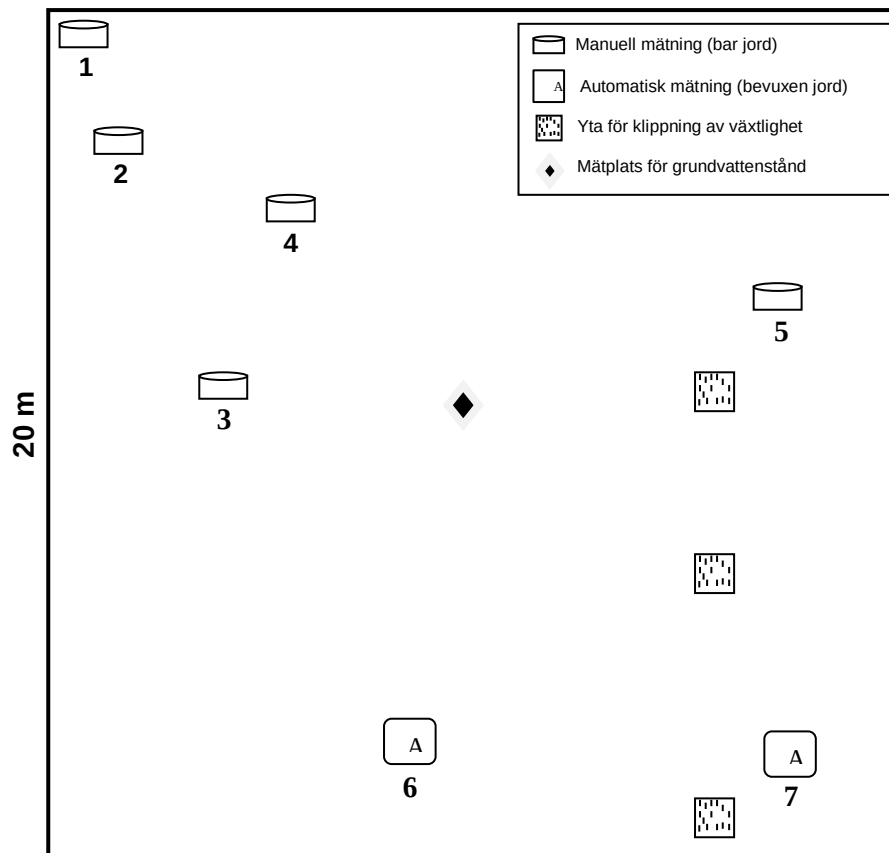
Datum	Genomsnitt bar jord	Bevuxen jord ruta 6	Bevuxen jord ruta 7
	vattenhalt (vol.%)		
4 maj	66,4 (71,3)	65,9 (69,1)	55,8 (61,9)
8 maj	61,1	62,1	49,7
13 maj	55,6	-	-
17 maj	58,3	57,2	44,0
22 maj	60,8	54,4	44,7
30 maj	58,0	55,9	44,6

2.3 Insamling av data

Under mätningarnas första del mättes koldioxidavgång från markytor med tre olika typer av behandling: bar jord, bevuxen jord med mörk huv samt bevuxen jord med transparent huv (se figur 3). Genom resultaten från dessa mätningar förväntades det ur NEE gå att separera P_G samt R_{TOT} (både från bar mark och från bevuxen mark, där också växternas rotrespiration bidrar till markrespirationen). Dessutom väntades mätningarna från bevuxen jord med mörk huv samt från bar jord kunna användas för att räkna ut hur R_{TOT} beror av temperaturen; de automatiska stationerna utförde vi varje koldioxidmätning också mätningar av temperaturen vid fem respektive tio cm djup och vid de manuella mätningarna mättes temperaturen vid fem cm djup. Under studiens andra del mättes koldioxidavgång från bevuxen mark med transparenta och skuggade huvar, detta för att undersöka hur PAR påverkar koldioxidnettot. Försöksytans upplägg åskådliggörs i figur 4.



Figur 3. Mätningarna genomfördes med tre olika metoder: med manuell huv på bar jord, för mätning av emissioner från enbart jorden (a); med automatisk station försedd med mörk huv, för mätning av emissioner från jorden och växtligheten (b) samt automatisk station försedd med transparent huv för mätning av nettoutbytet av koldioxid (c).



Figur 4. Skiss över försöksytan med de olika provrutorna numrerade.

2.3.1 Uppskattning av NEE och R_{TOT}

Tolv dagar innan försökets början togs grässvålen bort på fem av provrutorna (ruta 1-5). Detta gjordes för att kunna mäta jordens bidrag till R_{TOT} , med rotrespirationen utesluten. På varje ruta sattes ett PVC-rör, med höjden 14 cm och inre diameter 30 cm, för att med lösa huvar kunna mäta koldioxidavgången hos jorden. Mätningar skedde vid fem tillfällen utspridda under försöksperioden med en manuell koldioxidmätare av modellen Vaisala GMP 343 (Vaisala, Helsingfors, Finland) (Se figur 5). På vardera av de fem provrutorna utfördes vid varje tillfälle fyra eller fem mätningar om fem minuter. Mätningarna skedde mitt på dagen under perioden 4-30 maj. Jordens temperatur vid cirka 5 cm djup mättes på två punkter vid varje provplats vid mätningarnas början och slut.



Figur 5. Ytor med bar jord för mätning av markrespiration. På den vänstra bilden med nedslaget PVC-rör. På den högra bilden är röret försett med huv och koldioxidmätare.

För att få detaljerade data över nettoutbyte av CO_2 och bruttorespiration från bevuxen torvjord användes två automatiska stationer av modellen ACE (Automated Soil CO_2 Exchange Station) (ADC BioScientific Ltd., Great Amwell, Storbritannien) (se figur 6). Dessa placerades på två slumpmässigt utvalda gräsbevuxna platser, i denna uppsats benämnda ruta 6 och ruta 7. På vardera av de två platserna slogs en för mätstationen avsedd metallkrage ned cirka 5 cm, så att cirka 3 cm av denna befann sig ovan markytan. På dessa kragar placerades mätstationerna, försedda med huvar med en höjd på 6 cm och en diameter på 23 cm. Stationerna programmerades att utföra mätningar av koldioxidhalt var 30 minuter, under 2-4 minuter, eller tills det att koldioxidhalten under huven ökat med $7 \mu\text{mol m}^{-3}$. En av de två stationerna mätte under 12 dagar med en ogenomskinlig huv för att mäta storleken på R_{TOT} (ruta 6). Den andra stationen försågs under samma tid med en transparent huv för att mäta storleken på NEE (ruta 7). Båda stationerna var försedda med vardera två marktermometrar, en på 5 cm och en på 10 cm djup. Stationerna var utrustade med en logger som registrerade de uppmätta koldioxidhalterna. Koldioxidhalten i den omgivande luften användes som referens för att räkna ut ökningen. Vid varje mättillfälle registrerades koldioxidhalten var tionde sekund. Genom att anpassa en kurva till dessa värden räknade datorn ut koldioxidavgången.

Vid försökets början och slut klipptes gräset ned på de två provplatserna samt på ytterligare tre provrutor (enbart avsedda för mätning av grästillväxt). Det gräs som klipptes vid försökets slut samlades in för torkning och vägning, detta för att kunna jämföra gräsets tillväxt med de uppmätta värdena på koldioxidupptag.

För att undersöka om den transparenta huven orsakade en växthuseffekt och därmed också en temperaturhöjning (och i och med det eventuellt påverkade de

biologiska processerna) försågs stationerna med automatiska termometrar av modellen iButton DS1923 (Maxim integrated products, Sunnyvale, CA, USA). Två termometrar sattes på insidan av vardera rör och registrerade luftens temperatur 60 gånger i timmen.



Figur 6. Automatisk station för mätning av respiration, på bilden i vänteläge.

2.3.2 Uppskattning av PAR:s inverkan på *NEE*

För att undersöka instrålningens (PAR) inverkan på växtlighetens ackumulering av kol kombinerades en av de automatiska stationernas transparenta huv med tre olika näthuvar med olika grader av ljusdämpning (ruta 7). Under två dygn mätte denna med en näthuv med ett lager nät, efter detta sattes en huv med två lager nät på under två dygn. Slutligen sattes en huv med ett lager nät och ett lager mörkare tyg på, denna satt på i tre dygn. Den andra stationen gick under hela perioden med enbart transparent huv (ruta 6). Vid början och slutet av detta delförsök mätte båda stationerna med transparenta huvar, under 70 respektive 20 timmar. Detta gjordes för att kunna avgöra hur *NEE* eventuellt skiljde sig åt mellan de två ytorna vid lika behandling.

3 Resultat

3.1 Beräkning av storleken på koldioxidflöden ingående i *NEE*

Mätdata från perioden 12–17 maj användes för att räkna ut storleken på de flöden som ingår i ekosystemets nettoutbyte av koldioxid (*NEE*).

För varje mätning av koldioxidavgång från bar jord räknades en lutning ut på kurvan för koldioxidhalten under huven. Dessa lutningar användes för att räkna ut koldioxidavgången vid vardera mätning enligt ekvation 2:

$$R_{TOT} = ((S * P * M_{CO_2})/R)/(T * H * 0,001) \quad (\text{ekv. 2})$$

Där R_{TOT} är markrespirationen uttryckt i $\text{mg CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$, S är kurvans lutning, P är lufttrycket (Pa), M_{CO_2} är molmassan för koldioxid (g), R är den allmänna gaskonstanten, T är luftens temperatur (°K) och H är kammarens höjd (cm). Normallufttryck användes då lufttryck ej mättes. Inte heller lufttemperaturen mättes, istället användes markens temperatur. Konsekvensen av de troliga skillnaderna i temperaturen mellan mark och luft anses försumbar för resultaten från den ovanstående ekvationen. Exempelvis ger en skillnad på 5 grader en förändring i den uträknade gasavgången på drygt en procent.

R_{TOT} mättes på bar jord vid fem tillfällen. På grund av ett misstag som gjordes vid den fjärde mätningen (22/5) gick det inte att veta från vilka provrutor de olika värdena härrörde. De mätdata som användes insamlades 8/5, 13/5, 17/5 och 30/5, varav mätningar från 13/5 och 17/5 användes för uträkning av storleken på *NEE*:s olika beståndsdelar.

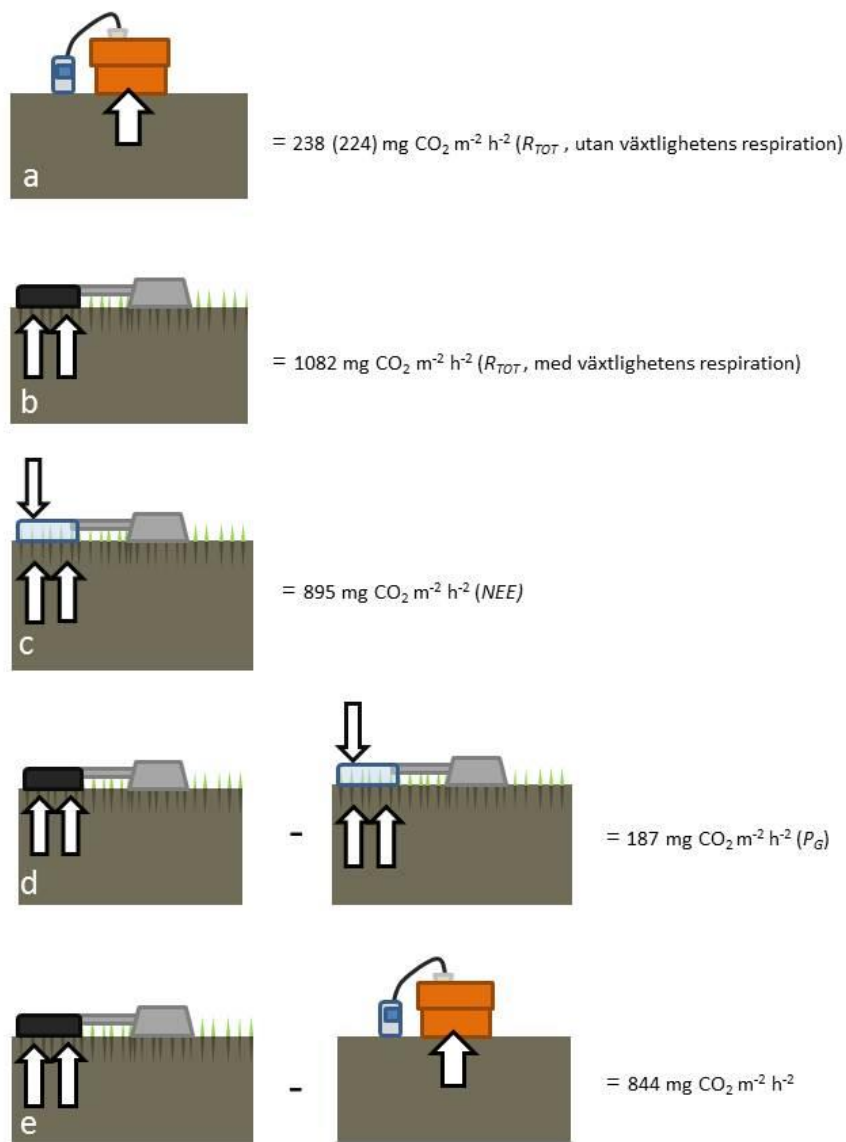
Värdena från mätningarna av R_{TOT} och *NEE* med de automatiska stationerna blev inte fullständiga. Vid en stor del av mättillfällena uppstod problem med kurv-

passningen vid uträkningen av nettoavgången av koldioxid. Utöver detta hade stationerna problem med att mäta koldioxidavgången under natt och tidig morgon; halten av koldioxid i den omgivande luften var vid flertalet tillfällen så hög att stationens dator inte klarade av att räkna ut koldioxidavgången.

Av de mätvärden som erhöles från de automatiska stationerna användes data insamlade under perioden 12/5-17/5, detta då gräset vid provperiodens början var helt nedklippt och inte kunde utföra någon fotosyntes. Differensen mellan R_{TOT} och NEE representerar enligt modellen fotosyntesen, P_G . Även för provperiodens sex första dygn räknades de genomsnittliga koldioxidavgångarna ut. Detta för att säkerställa att metoden ger en högre fotosyntes för den andra halvan av mätperioden. Den beräknade inlagringen av koldioxid via fotosyntes (P_G) var vid denna period hälften så stor som vid den senare perioden, vilket överensstämmer med vad som förutsetts. Uträkningar och resultat för de olika operationerna åskådliggörs i figur 7.

Vägningen av gräs från fyra olika provytor gav en genomsnittlig tillväxt på 84,9 mg m⁻² h⁻¹. Enligt Berglund¹ har kolhalten i rajgräs vid tidigare genomförd analys varit ca 45 %. Antas kolinnehållet i den klippta växtligheten vara detsamma motsvarar växtlighetens tillväxt en nettoassimilering av 140 mg CO₂ m⁻² h⁻¹ (under perioden 6/5-17/5). Detta värde på kolassimilering är i samma storleksordning som fotosyntesen uträknad med hjälp av koldioxidmätningar.

¹ Berglund, Örjan; biträdande forskare vid institutionen för mark och miljö, Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala. Samtal 2011-11-09



Figur 7. Genomsnittliga koldioxidavgångar samt uträkningar av *NEE*:s beståndsdelar från perioden 12-17 maj. Mätvärden från bar jord (12-30 maj inom parentes) (a), från bevuxen jord med mörk huv (b) och från bevuxen jord med transparent huv (c), samt beräkningar av fotosyntesens storlek (d) och växtlighetens andel av markrespirationen (e)

3.2 Samband mellan marktemperatur och markrespiration

Från den automatiska mätstationen med mörk huv (R_{TOT}) plottades koldioxidavgång mot marktemperatur vid 5 respektive 10 cm djup och regressionsanalyser gjordes (figur 8). Den regressionsanalys som hade det starkaste sambandet var den plottad mot temperaturen vid 10 cm djup. Dock har båda dia-grammen en stor spridning i resultatet och därmed låg determinationskoefficient ($R^2=0,24$ respektive 0,40). Det erhållna sambandet mellan marktemperaturen och R_{TOT} visas i ekv. 3 för 5 cm och ekv. 4 för 10 cm, där T är temperaturen i °K.

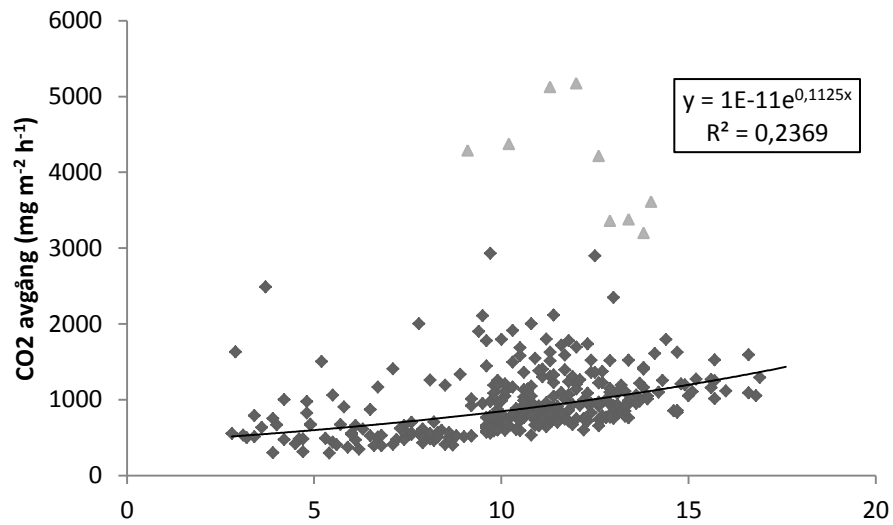
$$R_{TOT} = 1 * 10^{-11} e^{0,1125T} \quad (\text{ekv. 3})$$

$$R_{TOT} = 3 * 10^{-6} * e^{0,0692T} \quad (\text{ekv. 4})$$

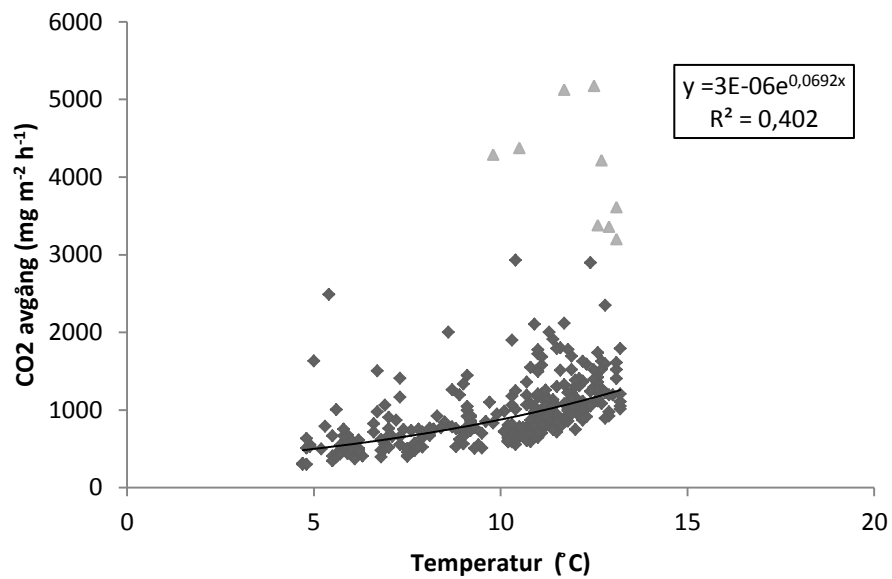
Vid plottningen uteslöts nio mätvärden där koldioxidavgången var över 3000 mg m⁻² h⁻¹. Dessa värden antas vara en produkt av mätfel eller av från jorden och växtligheten ej härrörande källor.

Även från de manuella mätningarna på bar jord plottades marktemperaturen mot koldioxidavgången. Ur dessa värden gick det dock inte att utläsa något användbart resultat.

a (5 cm)



b (10 cm)



Figur 8. Markrespiration från bevuxen torvjord uppmätt med mörk huv och plottad mot marktemperatur vid 5 cm (figur a) och 10 cm (figur b). De triangelformade punkterna utgör de nio mätvärden som togs bort då de ansågs orimligt höga. Temperaturen i formelrutan är uttryckt i °K.

3.3 Undersökning av instrålningens inverkan på växtlighetens kolassimilering

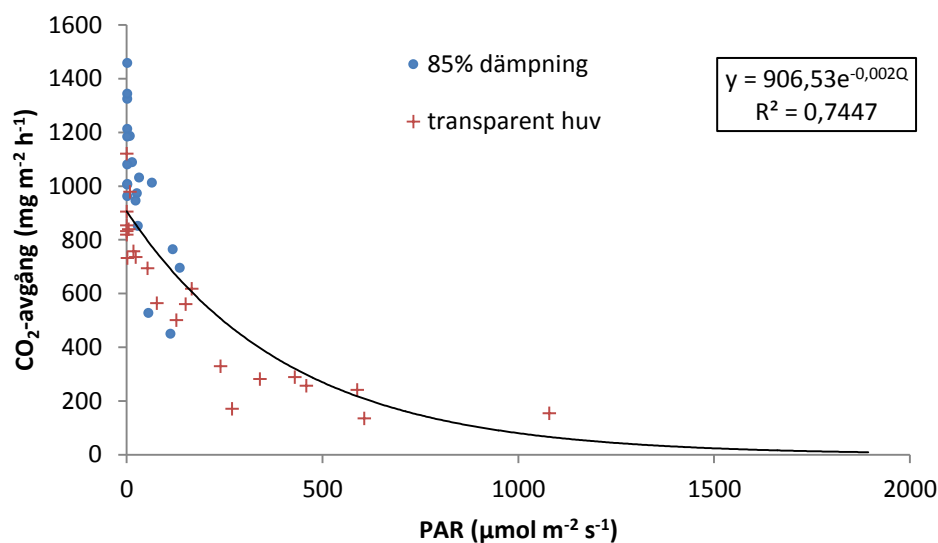
Även vid försökets andra del blev mätvärdena ofullständiga. Problemet med hög koldioxidhalt i den omgivande luften om nätter och tidiga morgnar förekom i mindre utsträckning än under det första delförsöket. Däremot uppstod ett nytt problem då det visade sig att stationerna inte räknar ut ett värde för koldioxidnettot om koldioxidhalten i kammaren minskar under mätningen, det vill säga när koldioxid inlagras i växtligheten. Detta kunde varit mycket problematiskt för detta försök, där växternas upptag av koldioxid avsågs mätas. Under större delen av mätperioden skedde dock ingen nettoinlagring av kol, varför mätvärdena ändå kunde användas.

För att se om mätresultaten från de två stationerna skiljde sig åt plottades värden från de två lika behandlade ytorna mot varandra. På de insamlade värdena på koldioxidavgång från de 70 första timmarna gjordes en regressionsanalys. Regressionslinjen visar att stationen på ruta 7 gav ett värde på koldioxidavgången som är ca 1,24 gånger avgången från ruta 6, då regressionslinjen sätts att skära x-axeln i origo och fem extremvärden tagits bort (då avgången var större än $3000 \text{ mg CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$). Även data från mätperiodens 20 sista timmar plottades mot varandra. Dessa data är dock mycket ofullständiga och den plottning av de mätningar som lyckades utföras vid samma tidpunkt ger ingen pålitlig regressionsanalys. Dock går det genom att titta på siffrorna se att den uppmätta avgången från ruta 7 ofta är i storleksordningen en tiondel av den från ruta 6.

Även stationernas värden för PAR under de första 70 och de sista 20 timmarna av mätperioden plottades mot varandra. Regressionslinjen för de 70 första timmarna visar att stationen på ruta 7 ger ett värde på PAR som är 0,94 av det värde som stationen på ruta 6 ger, om regressionslinjen sätts att skära x-axeln i origo. Regressionslinjen för de sista 20 timmarna visar att stationen på ruta 7 ger ett värde på PAR som är 1,07 av det värde som stationen på ruta 6 ger, om regressionslinjen sätts att skära x-axeln i origo. Stationen på ruta 6 utförde sina mätningar ca 4 minuter efter stationen på ruta 7 under hela mätperioden.

Ljusedämpningsgraden hos de tre olika näthuvorna räknades ut genom att plotta uppmätt PAR från transparent respektive nätförsedd huv mot varandra. Detta gjordes med data från samma tidpunkt (förskjutet 4 minuter då de två stationerna mätte med en liten förskjutning). Med denna metod visades det att näthuvorna dämpade PAR med 35, 55 respektive 85 %.

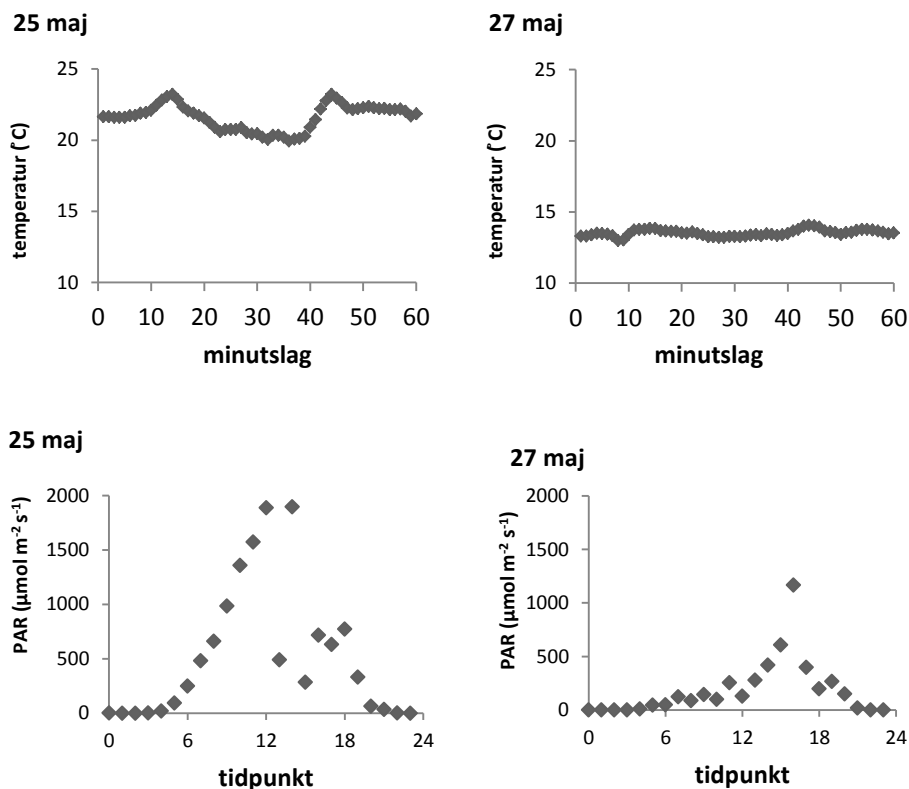
Mätdata från den med näthuv försedda stationen delades upp i tre delar (en för varje näthuv). Dessa mätdata delades i sin tur upp i temperaturspann om 1 °C och lades ihop med temperaturseparerade data från motsvarande tidsperiod från stationen med transparent huv. Respektive datamängd plottades mot PAR för att se hur denna påverkar koldioxidavgången, oberoende av temperatursvängningar (1°C<). Temperaturseparation och plottningar gjordes för både temperatur vid 5 cm djup och 10 cm djup. De starkaste sambanden mellan PAR och *NEE* fanns då data separerades i hänseende på temperatur vid 5 cm (till skillnad från plottningen av koldioxidavgång mot temperatur i försökets första del, där sambandet var starkare vid 10 cm). Den plottning som gav det starkaste sambandet var den med mätdata från mätning med den mest skuggande huden (85 %) och transparent huv under samma tidsperiod, vid temperaturintervallet 12,0 – 12,9 °C och vid 5 cm mätdjup (se figur 9).



Figur 9. Nettoemission vid 12,0 – 12,9 °C (vid 5 cm djup) från mätning med transparent samt ljusdämpad huv (85 %), i förhållande till fotosyntetiskt aktiv strålning. Data från de två stationerna sammanförda.

3.3.1 Huvarnas påverkan på temperaturen

Temperaturmätningarna på de automatiska stationerna visade tydligt att det flera dagar förekom en växthuseffekt när koldioxidavgången mättes med transparent huv. Dagsindelade temperaturdata lades samman från perioden 7:00 till 19:59, separerade i minuts slag (7:01, 8:01, 9:01 (...); 7:02, 8:02, 9:02 (...) och så vidare). Genom att göra ett diagram av medelvärdet för varje minuts slag erhöles en kurva över hur temperaturen varierade under en genomsnittstimme under dagen. På flera av dessa kurvor är två temperaturoppgångar med trettio minuters mellanrum väl synliga. Temperaturökningen är där flera grader i förhållande till den normala temperaturen. Då koldioxidmätningar genomfördes två gånger per timme runt dessa tidpunkter antas dessa två toppar härröra från dessa. Under dagar med lägre registrerad ljusinstrålning är dessa toppar betydligt mindre tydliga. (Se figur 10)



Figur 10. Temperaturvariationer under en dag med hög (25 maj) respektive låg solinstrålning (27 maj), uppmätta med automatiska termometrar placerade inne i mätkammaren på mätstation. De två övre diagrammen åskådliggör temperaturen under en genomsnittstimme under dagen. Vid den dag med högre instrålning syns två tydliga toppar vid 14 och 44 minuter. Vid den dag med lägre instrålning syns endast mycket små temperaturoppgångar vid samma tidpunkter. De två nedre diagrammen visar hur solinstrålningen varierar under de två dygnet.

4 Diskussion

4.1 Uppdelning av NEE

Resultatet av de olika mätningarna kan anses rimligt. Det med transparent huv uppmätta NEE är mindre än R_{TOT} mätt med mörk huv (vilket bör vara fallet om fotosyntes har ägt rum). Dock var växtligheten på platsen ojämnt fördelad, vilket gör det osäkert om värdena från de två stationerna kan jämföras direkt. Värdena för R_{TOT} på bar jord var mindre än det R_{TOT} som uppmättes på bevuxen jord med mörk huv (växtrespirationen bör göra att R_{TOT} blir större). Den beräknade plantrespirationen utgjorde dock 78 % av den totala markrespirationen. Vid tidigare mätningar på platsen har växtlighetens bidrag till markrespirationen uppmätts till 57 % under hela växtsäsongen och 49 % under våren (18/5 – 22/6) (Berglund et al., 2010b). Att mätningarna på bar jord endast gjordes mitt på dagen bör också hållas i åtanke. Det är troligt att den genomsnittliga markrespirationen hade varit lägre om mätningar gjorts också under natten. I sådana fall hade rotrespirationen fått en ännu större andel av R_{TOT} . En manuell mätning av avgången från bar jord under ett helt dygn var inplanerad, men genomfördes inte på grund av att mätutrustningen var upptagen. Det statistiska underlaget var mycket litet och lokala variationer i markens fysikaliska egenskaper är en möjlig orsak till att den beräknade plantrespirationen blev så stor. Det gjordes heller ingen jämförelse om hur mätresultaten eventuellt skiljer sig åt mellan de två mätmetoderna vid mätning på två lika behandlade ytor; en möjlig orsak till att värdena på plantrespirationen blev så höga skulle kunna vara att de automatiska stationerna gav ett högre värde på koldioxidavgången än de manuella mätarna.

Gräsets tillväxt var i samma storleksordning som den uppskattade fotosyntesen; gräsets tillväxt var motsvarande $140 \text{ mg CO}_2/\text{m}^2/\text{h}$ och den genom koldioxidmätningar uppskattade fotosyntesen var $187 \text{ mg CO}_2/\text{m}^2/\text{h}$. Dock är det tvivelaktigt att räkna ut fotosyntesen genom att väga den ovanjordiska delen av växtligheten. En

stor del av växten befinner sig under jord i form av rötter och det är i detta försök inte möjligt att veta hur stor del av kolet i bladverket som bundits in från luften och hur mycket som allokerats från gräsets rötter. Ett försök med ett gräs av släktet *Pascopyrum* (Bokhari, 1977) indikerade att en betydande mobilisering av kol från rötterna till skottet skedde då gräset klipptes ned till 5 cm höjd. I denna uppsats försök klipptes gräset ned helt, vilket troligtvis ledde till en ännu större mobilisering av kol från rot till skott. För att veta hur mycket kol som bundits in under försöksperioden hade man behövt gräva upp hela gräsplantor före och efter försöket för att se hur den totala massan förändrats.

4.2 Undersökning av PAR:s och temperaturens inverkan på *NEE*

Ett ekosystems koldioxidnetto beror på ett stort antal parametrar. I detta försök användes enbart marktemperatur och PAR för att göra en modell över markens nettoutsläpp. Dessa två kan anses vara de två faktorer som spelar störst roll för storleken på *NEE*. Dock är PAR:s inverkan på koldioxidassimileringen beroende av hur mycket bladmassa det finns som kan omvandla ljusstrålningen till kemiskt bunden energi. Maljanen et al (2007) använder *leaf area index* (LAI) som en parameter i sin modell för P_G . Vid det genomförda försöket förändrades inte växtlighetens LAI särskilt mycket, men om metoden ska kunna användas för längre perioder än den då försöket utfördes skulle parametern LAI också behöva inkluderas i modellen.

Regressionsekvationen för fotosyntesens beroende av PAR räknades ut vid temperaturen 12,0 – 12,9 °C. Fotosyntesens effektivitet hos en C3-växt är temperaturberoende och i detta har ekvationen en stor brist.

Den funktion som erhöles för hur markrespirationen beror av instrålningen hade en relativt hög determinationskoefficient. Dock syns det tydligt i figur 9 att enligt ekvationen inte kan ske en nettoinlagring. Lite senare under växtsäsongen, när bladmassan blivit större, bör dock fotosyntesen vara så stor att en nettoinlagring sker. Troligtvis hade ekvationen sett annorlunda ut om försöket utförts bara några veckor senare (och då om de automatiska stationerna hade kunnat mäta negativa koldioxidnetton).

4.3 Felkällor i mätmetod

På grund av begränsningar i både tid och resurser var det statistiska underlaget i försöket inte optimalt. Markrespirationen på en torvjord varierar stort under växt-

säsongen (Lohila et al, 2004). Försöket genomfördes under drygt tre veckor i maj, vilket innebär att de erhållna mätvärdena enbart representerar denna del av växtsäsongen. I slutet av försöksperioden var växtligheten betydligt mer utvecklad än under början av säsongen, vilket bland annat gav sig uttryck i att negativa värden på *NEE* förekom i slutet av mätperioden, men inte i början. Den begränsade tidsperioden innebar också att variablerna marktemperatur och markfuktighet inte varierade särskilt mycket (vid försöket med bar jord varierade marktemperaturen vid 5 cm djup mellan 10 °C och 14 °C och markfuktigheten mellan 55,2 och 65 volymprocent). Denna brist på variation gör det svårare att finna eventuella samband mellan dessa variabler och storleken på P_G , R_{TOT} och *NEE*.

Vid undersökningarna av utsläpp från bar jord användes fem provytor, vilket kan anses som ett gott underlag. När R_{TOT} och *NEE* uppskattades med de automatiska mätstationerna fick däremot enbart en provplats representera vardera två parametrar. Då provytorna inte är homogena, varken i hänseende på växtligheten eller på jordens sammansättning, varierar resultaten säkerligen mellan de olika provplatserna på grund av detta. Vid detta försök skiljde sig vattenhalten med cirka 10 procentenheter mellan de två bevuxna provytorna.

Vid tidigare genomförda undersökningar av provplatsen uppvisades stora skillnader över ytan, både avseende markens fysikaliska egenskaper och koldioxidavgång (Berglund, 2011). På ytorna med bar jord togs grässvålen bort tolv dagar före försökets början. Det är osäkert hur mycket rötter som blev kvar i marken och hur mycket dessa rötter bidrog till markrespirationen. Det är också osäkert i vilken omfattning rötter från provplatsens direkta närhet växer in i provplatsen och bidrar till markrespirationen. Enligt Berglund² har dock nyligen genomförda undersökningar indikerat att den växtlighet som omger en provyta inte påverkar markrespirationen.

Inför användningen av både de manuella och automatiska systemen slogs ringar ned i marken. För att räkna ut storleken på den luftvolym som mäts behövdes avståndet mellan jordytan och rörets övre kant mätas. Då marken på platsen inte var slät var det svårt att få ett exakt mått och därmed kan den uppmätta koldioxidavgången skilja sig från den verkliga. För att få ett bättre resultat skulle mer arbete läggas på att finna en slät provyta eller att finna en metod att räkna ut ett bra medelvärde på en ojämn yta.

² Berglund, Örjan; biträdande forskare vid institutionen för mark och miljö, Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala. Samtal 2011-11-09

Vid ett tillfälle när de manuella koldioxidmätningarna på bar jord utfördes sjönk halten av koldioxid under mätningens gång. Vid detta tillfälle blåste det kraftigt. Norberg³ har tidigare observerat att koldioxidhalten ändras på ett oberäkneligt sätt vid kraftig blåst. Möjligen uppstår en skillnad i lufttryck mellan huven och luften utanför, vilket gör att luft utifrån trycks in i huven genom den porösa marken eller vice versa. Detta skulle kunna göra mätresultaten för stora delar av mätperioden mindre pålitliga. Det är också möjligt att de automatiska stationernas svårigheter med kurvpassningen vid uträkningen av nettokoldioxidavgången beror av ovanstående problem.

De automatiska mätstationerna har många fördelar som gjorde dem lämpliga att använda till detta försök. Bland annat är de enkla att hantera, utför mätningar automatiskt och kan lätt växlas mellan mörk och transparent huv. Dock visade det sig också finnas ett antal problem med de automatiska stationerna. Det mest uppenbara var i detta försök var att det visade sig att stationerna inte kunde räkna ut negativa koldioxidnetton. Dock var problemet i detta fall inte så stort då växtligheten, och därmed fotosyntesen, inte var fullt utvecklad under försöksperioden. Det bör vara enkelt för tillverkaren att programmera om stationens dator så att den även kan räkna ut negativa koldioxidnetton. De variabler som behövs för att räkna ut detta är desamma som de som datorn använder för att räkna ut de positiva koldioxidavgångarna.

Knappt två veckor efter att gräset klippts för andra gången var växtligheten så hög att huven snart skulle behöva bytas ut mot en högre för att gräset inte skulle tryckas ned av huvens tak. Om en mer grundlig undersökning, som sträcker sig över en hel växtsäsong, genomfördes skulle en betydligt högre huv behövas. Ett annat problem med de automatiska stationerna är att när huven stängs över mätplatsen förs den med en arm ned snett uppifrån till det nedslagna röret. Denna rörelse visade sig fösa ut en del av gräset, vilket innebär att en del av mätytans fotosyntes skedde utanför mätluften. Detta är ett problem som troligen skulle förvärras med en tilltagande växtlighet senare under växtsäsongen, då även huvens täthet mot den i marken placerade ringen skulle kunna påverkas.

Ett möjligt problem som uppstår då gräset måste klippas är att markbiologin förändras. Vid försök i laboratorium har tydliga förändringar i jordens mikroliv kunnat påvisas när dess växtlighet vid upprepade tillfällen klipps ned (Mikola et

³ Norberg, Lisbet; doktorand vid institutionen för mark och miljö, Sveriges lantbruksuniversitet.
Samtal 2011-05-30

al, 2001). För att påverka det undersökta marksystemet så lite som möjligt bör nedklippning av gräs om möjligt undvikas.

De slutna transparenta huvarna på de automatiska stationerna ändrar i viss mån betingelserna för växtligheten på mätytor. Vid mätningarna steg ofta koldioxidhalten med flera tiotal procent, vilket kan ses som en typ av koldioxidgödning. Detta skulle kunna öka fotosyntesens effektivitet, varvid fotosyntesens storlek överskattas (Delgado et al, 1994). Om negativa koldioxidnetton hade kunnat mätas med de automatiska stationerna hade dessa mätvärden följaktligen kunnat vara underskattningar av den potentiella fotosyntesen på grund av koldioxidbrist.

De påvisade temperaturhöjningarna innanför huven kan också de påverka fotosyntesen, detta då fotosyntesens effektivitet hos en C_3 -växt varierar med temperaturen. (Ehleringer & Pearcy, 1983). Termometrarna som mätte marktemperaturen var placerade vid sidan om stationerna och mätte därmed inte marktemperaturen innanför huven. Då huvarna var slutna i upp till fyra minuter per halvtimme skulle den uppmätta marktemperaturen kunna vara en underskattning av den verkliga temperaturen hos den observerade jorden. Dock är det inte möjligt att placera termometrarna innanför huven efter som de är anslutna till stationen med sladdar som skulle förhindra en ordentlig stängning av huvarna.

4.4 Slutsats

I denna studie kunde tydliga samband mellan temperatur och markrespiration samt PAR och fotosyntes påvisas. Dock skulle metoden behöva kompletteras med en parameter för *leaf area index*, detta då växtens förmåga att fotosyntetisera beror av storleken på bladmassan. Vid en mer ingående undersökning skulle ett större statistiskt underlag vara givet, både tidsmässigt och i antal mätytor.

De automatiska mätstationerna visade sig ha ett antal svagheter. Hur dessa påverkar mätresultaten skulle med fördel utredas grundligare.

Litteraturlista

- Alm, J., Talanov, A., Saarnio, S., Silvola, J., Ikkonen, E., Aaltonen, H., Nykänen H., Martikainen, P. J. (1997) Reconstruction of the carbon balance for microsites in a boreal oligotrophic pine fen, Finland. *Oecologia* 110(3), 423-431.
- Berglund, K (2008) Torvmarken, en resurs i jordbruket igår, idag och även i morgon? I: Runefelt, L. (Red.) *Svensk mosskultur: odling, torvanvändning och landskapets förändring 1750-2000*. 483-498. Stockholm.
- Berglund, Ö. & Berglund, K. (2008) Distribution and cultivation intensity of agricultural peat and gyttja soils in Sweden and estimation of greenhouse gas emissions from cultivated peat soils. *Geoderma* 154, 173-180.
- Berglund, Ö., Berglund, K. & Klemedtsson, L. (2010a) A lysimeter study on the effect of temperature on CO₂ emission from cultivated peat soils. *Geoderma* 154, 211-218.
- Berglund, Ö., Berglund, K. & Klemedtsson, L. (2010b) Plant-derived CO₂ flux from cultivated peat soils. *Acta Agriculturae Scandinavica* 61, 508-513.
- Berglund, Ö. & Berglund, K. (2011) Influence of water table level and soil properties on emissions of greenhouse gases from cultivated peat soil. *Soil Biology & Biochemistry* 43(5), 923-931.
- Berglund, Ö. (2011) *Greenhouse Gas Emissions from Cultivated Peat Soils in Sweden*. Sveriges lantbruksuniversitet. ISBN 978-91-576-7571-2.
- Bokhari, U. G. (1977) Regrowth of Western wheatgrass utilizing ¹⁴C-labeled assimilates stored in belowground parts. *Plant and Soil* 48, 115-127.
- Delgado, E., Mitchell, R. A. C., Parry, M. A. J., Driscoll, S.P., Mitchell, V. J., Lawlor, D. W. (1994) Interacting effects of CO₂ concentration, temperature and nitrogen supply on the photosynthesis and composition of winter wheat leaves. *Plant, Cell and Environment* 17, 1205-1213.

Ehleringer, J. & Pearcy, W. (1983) Variation in Quantum Yield for CO₂ Uptake among C₃ and C₄ Plants. *Plant physiology* 73(3), 555-559.

Fredriksson, D. (1996) Peat resources in Sweden. I: *Lappalainen, E.* (Red.) *Global Peat Resources*. 137-144. Jyskä: International peat society. 952-90-7487-5.

Jordbruksverket (2008) *Minska jordbrukets klimatpåverkan!* Jönköping: Jordbruksverket, Rapport 2008:11, ISSN 1102-3007.

Lohila, A., Aurela, M., Regina, K., Laurila, T. (2003) Soil and total ecosystem respiration in agricultural fields: effect of soil and crop type. *Plant and Soil* 251(2), 303-317.

Lohila, A., Aurela, M., Tuovinen, J.-P., Laurila, T. (2004) Annual CO₂ exchange of a peat field growing spring barley or perennial forage grass. *Journal of Geophysical Research* 109, D18116.

Maljanen, M., Martikainen, P. J., Walden, J., Silvola, J. (2001) CO₂ exchange in an organic field growing barley or grass in eastern Finland. *Global Change Biology* 7, 679-692.

Maljanen, M., Hytönen, J., Mäkiranta, P., Alm, J., Minkkinen, K., Laine, J., Martikainen, P. J. (2007) Greenhouse gas emissions from cultivated and abandoned organic croplands in Finland. *Boreal environment research* 12, 133-140.

Mikola, J., Yeates, G. W., Barker, G. M., Wardle, D. A., Bonner, K. I. (2001) Effects of Defoliation Intensity on Soil Food-Web Properties in an Experimental Grassland Community. *Oikos* 92, 333-343.

Moors, E. J., Jacobs, C., Jans, W., Supit, I., Kutsch, W. L., Bernhofer, C., Béziat, P., Buchmann, N., Carrara, A., Ceschia, E., Elbers, J., Eugster, W., Kruijt, B., Loubet, B., Magliulo, E., Moureaux, C., Oliso, A., Saunders, M., Soegaard, H. (2010) Variability in carbon exchange of European croplands. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 139, 325-335.

Tillkännagivanden

Tack Örjan, min handledare, för handledning, engagemang och hjälp i fält. Tack Lisbet för hjälp med apparater och goda råd. Tack Lukas för skjutsen.