



Sveriges lantbruksuniversitet
Institutionen för mark och miljö

Utvärdering av koldioxidmätaren Vaisala GMP343 samt sambandet mellan grundvattennivå och koldioxidavgång från torvjordar

*Evaluation of the Vaisala GMP343 carbon dioxide meter and the
relationship between groundwater level and carbon dioxide
emissions from peat soils*

Isak Öhrlund

Kandidatuppsats i miljövetenskap
Kandidatprogrammet Biologi och miljövetenskap

Institutionen för mark och miljö, SLU
Examensarbeten 2010:07

Uppsala 2010

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

Isak Öhrlund

Utvärdering av koldioxidmätaren Vaisala GMP343 samt sambandet mellan grundvattennivå och koldioxidavgång från torvjordar
Evaluation of the Vaisala GMP343 carbon dioxide meter and the relationship between groundwater level and carbon dioxide emissions from peat soils

Handledare: Örjan Berglund, institutionen för mark och miljö, SLU
Examinator: Kerstin Berglund, institutionen för mark och miljö, SLU
EX0432, Självständigt arbete i miljövetenskap, 15 hp, Grund C
Kandidatprogrammet Biologi och miljövetenskap 180 hp

Institutionen för mark och miljö, SLU, Examensarbeten 2010:07
Uppsala 2010

Nyckelord: Vaisala GMP343, växthusgasavgång, grundvattennivå, torvjord, koldioxid, CO₂

Sammanfattning

Forskningsgruppen *jordbearbetning och hydroteknik* på Institutionen för mark och miljö vid Sveriges Lantbruksuniversitet i Uppsala forskar kring växthusgasavgång från odlade torvjordar. För att mäta koldioxidavgång från torvjordar i fält används för nuvarande två portabla koldioxidmätare av modell Vaisala GMP343. Av praktiska skäl planerar man att införskaffa en ny typ av automatiserad fältmätare. Syftet med den här studien är att testa och utvärdera de nuvarande mätarna för att se hur omgivningsfaktorer och instrumentinställningar påverkar mätresultaten, vilket är tänkt att underlätta vid införandet av den nya fältmätaren när dessa sedan skall jämföras sinsemellan. Som en del av studien kommer även sambandet mellan grundvattennivå och koldioxidavgång från torvjordar att undersökas.

Utvärderingen av de två koldioxidmätarna gjordes genom att mätarna kopplades till ett och samma lufttäta system för att skapa identiska mätmiljöer. Sedan testades hur olika faktorer som uppvärmningstid och flödes hastighet påverkar mätarna samt om det fanns några inbördes skillnader mellan mätarna. Sambandet mellan grundvattennivå och koldioxidavgång undersöktes genom att grundvattennivån reglerades i tre stycken torvjordsprofiler från Örke (60°N, 17°Ö) i ett temperaturreglerat laboratorium. Koldioxidavgången från profilerna mättes med en Vaisala GMP343 koldioxidmätare på grundvattennivåerna 0, -5, -20, -30 och -40 cm.

Resultaten från utvärderingen av koldioxidmätarna visar att det föreligger vissa skillnader mellan mätarna som bör beaktas när de används. Den viktigaste skillnaden är att de två mätarna registrerar olika koldioxidkoncentration, och att skillnaden inte är konstant vid olika koncentrationer. Den observerade skillnaden kan introducera systematiska fel när båda mätarna används i ett och samma försök, fel som kan ligga till grund för felaktiga slutsatser när forskningsgruppen vill ta reda på hur olika behandlingar av torvjordar inverkar på koldioxidavgången. Resultaten från undersökningen av sambandet mellan grundvattennivå och koldioxidavgång visar att det finns ett tydligt positivt samband mellan dessa. Koldioxidavgången var som högst vid grundvattennivån -40 cm och avtog sedan i genomsnitt till 43% respektive 12% vid nivåerna -20 och -5 cm. De optimala grundvattennivåerna för en minimering av koldioxidavgången var 0 och -5 cm.

Abstract

The research group *Soil and Water Management* at the department of Soil and Environment at the Swedish University of Agricultural Sciences in Uppsala are studying greenhouse gas emissions from cultivated peat soils. To measure carbon dioxide emissions from peat soils in the field the research group are now using two portable carbon dioxide meters (Vaisala GMP343). For practical reasons, they plan to acquire a new type of automated field meter. The aim of this study is to evaluate the present meters to see how environmental conditions and instrument settings affect the results, which is meant to facilitate the introduction of the new field meter when the meters needs to be compared. As a part of the study the relationship between groundwater level and carbon dioxide emissions from peat soils will be investigated.

The evaluation of the two carbon dioxide meters was made by connecting them to one single air-tight system, with the aim of creating identical measurement environments. Various factors such as warm-up time and flow rate was tested to see how they affect the results, and to see if there are any disparities between the meters. The relationship between groundwater level and carbon dioxide emission was investigated by adjusting the groundwater level in three different peat soil profiles from Örke in Sweden (60 ° N, 17 ° E) in a temperature regulated laboratory. The carbon dioxide emissions from the profiles were measured using a Vaisala GMP343 carbon dioxide meter at groundwater levels 0, -5, -20, -30 and -40 cm.

The results from the evaluation of the carbon dioxide emission meters show that there are some differences between the meters that needs to be taken into account when measurements are made. The most important discovery is that the two meters registers different carbon dioxide concentrations, and that the difference between them is not constant at different concentrations. The observed difference can introduce systematic errors when both meters are used in the same experiment, errors that may result in erroneous conclusions when the research group investigate how different treatments of peat soils affects carbon dioxide emissions. The results from investigating the relationship between groundwater level and carbon dioxide emission show that there is an obvious positive correlation between the two. Carbon dioxide emissions was largest at the groundwater level of -40 cm and then declined to an average of 43% and 12% at levels of -20 and -5 cm respectively. The optimal groundwater level to minimize carbon dioxide emissions was 0 and -5 cm.

Innehållsförteckning

Sammanfattning.....	3
Abstract.....	4
Introduktion	6
Bakgrund	6
Syfte	8
Material och metod	9
Apparatur	9
Uppvärmningstidens inverkan på noggrannheten hos Vaisala GMP343	9
Luftflödets inverkan på absoluta mätvärden hos Vaisala GMP343	9
Undersökning av skillnaderna mellan Vaisala A och B.....	10
Mätning av koldioxidavgång från torvjordsprofiler vid olika grundvattendjup.....	11
Resultat och diskussion.....	13
Uppvärmningstidens inverkan på noggrannheten hos Vaisala GMP343	13
Luftflödets inverkan på absoluta mätvärden hos Vaisala GMP343	13
Undersökning av skillnaderna mellan Vaisala A och B.....	16
Mätning av koldioxidavgång från torvjordsprofiler vid olika grundvattendjup.....	20
Slutsats.....	25
Uppvärmningstidens inverkan på noggrannheten hos Vaisala GMP343	25
Luftflödets inverkan på absoluta mätvärden hos Vaisala GMP343	25
Undersökning av skillnaderna mellan Vaisala A och B.....	25
Mätning av koldioxidavgång från torvjordsprofiler vid olika grundvattendjup.....	26
Källförteckning	27
Tryckta källor.....	27
Elektroniska källor.....	27
Bilaga 1 - Tabeller och Figurer	28
Uppvärmningstidens inverkan på noggrannheten hos Vaisala GMP343	28
Undersökning av skillnaderna mellan Vaisala A och B.....	30
Mätning av koldioxidavgång från torvjordsprofiler vid olika grundvattendjup.....	32

Introduktion

Bakgrund

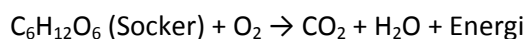
Den ökade växthuseffekten

En av vår tids största och mest uppmärksammade frågor är klimatfrågan. Under de senaste tio åren har forskningen kring klimatfrågan ökat explosionsartat och det mediala intresset likaså. Majoriteten av det stora antal forskare som tillhör FN:s klimatpanel (IPCC) är överens om att människans enorma populationsökning och den energiefterfrågan som följer är direkt kopplad till uppvärmningen av jordens atmosfär. Organiskt material som lagrats i årtusenden (fossila bränslen) förbränns nu under endast en bråkdel av den perioden vilket inte bara medför enorma tillskott av energi som vi människor utnyttjar, utan också enorma tillskott av förbränningsprodukter, där den största delen är koldioxid och vatten. En ökning av koldioxid och andra växthusgaser (CH₄ och N₂O etc.) i atmosfären medför en ökad växthuseffekt, vilket innebär att mer av jordens inkommande energi från solen stannar kvar på jorden i form av värme.

Torvjordarnas betydelse för klimatet

Torvjordar är jordar med ett högt innehåll av organiskt material. Dagens torvjordar har bildats efter den senaste istiden (cirka 10000 år sedan) genom att blad, grenar och andra växtrester har fallit till marken där de har ackumulerats och sakta humifierats. Humifiering innebär att växtmaterialet sakta bryts ned och att en del av dess syre och väte avgår vilket gör att kolhalten ökar. Under de tusentals år som en torvjord behöver för att bildas utgör den en sänka för atmosfäriskt kol genom att växternas upptag av koldioxid från atmosfären är större än avgången av organiskt kol från marken till atmosfären.

De tusentals år gamla torvjordarna har nu börjat utnyttjas av oss människor för torvbrytning och odling. För att kunna bryta torv eller odla på en myrmark krävs att man dikar för att få in syre i marken och för att marken skall kunna bära tunga maskiner. När syret når tidigare syrefria torvlager vaknar nya mikroorganismer till liv och de aeroba nedbrytningsprocesserna sätter igång. Detta innebär att mikroorganismerna börjar inta och oxidera kolföreningar med hjälp av luftens syre för att utvinna energi. Den aeroba nedbrytningsprocessen är den motsatta reaktionen till växternas fotosyntes (Ekvation 1).



Ekvation 1

En kraftig sänkning av grundvattenytan och/eller avlägsning av tidigare vegetation kan medföra att torvmarken, som tidigare var en kolsänka, övergår till att vara en kolkälla (*Kasimir-Klemedtsson et al., 2001*). Torvmarkens enorma lager av organiskt kol som ackumulerats i årtusenden återgår då till atmosfären i form av koldioxid. Hur mycket koldioxid som avgår beror av mängden nedbrytbart organiskt material samt av mängden mikroorganismer och deras aktivitetsgrad. Jordtyp, temperatur och vattenhalt är faktorer som styr mikroorganismernas aktivitet, och således mängden koldioxid som avgår från jorden.

Det finns cirka 500 miljoner hektar torvjordar i världen (*Franzén, 2006*). Alla dessa har en gång varit kolsänkor, men nu när människan börjar utnyttja dem för torvbrytning och odling övergår många istället till att bli kolkällor. Växthusgasbidraget från dessa nya kolkällor utgör en betydande del av det totala utsläppet av växthusgaser till atmosfären.

Jordbruket är en industri som till följd av människans populationstillväxt och efterfrågan på mat har ökat enormt under de senaste århundradena. Tidigare orörda torvjordar har tagits i anspråk, dikats, bearbetats och gödslats för att maximera produktionen av grödor. Dikning, jordbearbetning och gödsling är alla faktorer som gynnar den aeroba nedbrytningen av organiskt material (*Kasimir-Klemedtsson et al., 2001*), vilket gör att jordbruket idag bidrar med en stor del till människans växthusgasutsläpp. I Sverige bidrog jordbruket med 13% av Sveriges totala växthusgasutsläpp, eller cirka 8470 Gg CO₂ ekvivalenter år 2008 (*Swedish Environmental Protection Agency, 2010*). Sett över hela världen bidrog jordbruket med 13,5% av de totala antropogena växthusgasutsläppen år 2004 (*IPCC, 2007*).

Jordbruket ger alltså ett betydande bidrag av växthusgaser till atmosfären, varför det också är intressant att studera de mekanismer som styr gasavgången för att kunna minimera utsläppen. FN:s klimatpanel International Panel on Climate Change (IPCC) förutspår med datorbaserade simuleringsmodeller att jordens ytmedeltemperatur kommer att öka med allt mellan 0,6-4 °C under det närmaste århundradet (*IPCC, 2007*). Denna ökning medför sannolikt smältande glaciärer, förhöjda havsnivåer och därmed en ökad omsättning av vatten i atmosfären. Den ökade omsättningen tros resultera i en omfördelning av nederbörden över kontinenterna (*IPCC, 2007*). På platser med ökad nederbörd kommer den ökade växthuseffekten således att stimulera nedbrytningen av organiskt material dubbelt upp, vilket ger ökade växthusgasutsläpp som ytterligare ökar växthuseffekten (så kallad positiv feedback). På andra platser kanske en minskning i nederbörd hämmar nedbrytningen och istället ökar inlagringen vilket bromsar växthuseffekten (negativ feedback). En annan effekt av ökad koldioxidkoncentration i luften kombinerat med ökad temperatur är att tillväxthastigheten hos växter kommer att öka vilket ger en ökad inlagring av kol i biomassa, ett annat exempel på negativ feedback. Sambanden mellan dessa processer är komplexa och det är svårt att säga exakt hur en förändring av klimatet kommer att påverka balansen av växthusgaser i atmosfären. Men för att förstå hur markprocesserna kommer att påverkas krävs att dessa studeras noggrant för att vi framöver skall kunna välja mer klimatvänliga odlingsformer.

Vilka grödor som odlas, hur mycket man gödslar och hur vattennivån i marken regleras är exempel på faktorer som vi människor styr över och som har betydelse för gasavgången. Metan (CH₄) som är en 21 gånger kraftigare växthusgas än koldioxid, bildas när organiskt material bryts ned under frånvaro av syre (reducerande förhållanden) (*Kasimir-Klemedtsson et al., 2001*). Lustgas (N₂O) bildas under de två mikrobiella processerna nitrifikation och denitrifikation och även bildandet av N₂O gynnas av låg syretillgång (*Kasimir-Klemedtsson et al., 2001*). Avgången av koldioxid förväntas vara som störst när marken är väl syresatt (låg grundvattennivå), medan avgången av metan och lustgas är som störst när det råder syrebrist (hög grundvattennivå) respektive vid växlande reducerande/oxiderande förhållanden. Den optimala grundvattennivån för att minimera koldioxidutsläpp är därför inte den samma som den för minimering av metan- och lustgasutsläpp, vilket visats i en tysk studie (*Jungkunst et al., 2008*).

Syfte

Forskningsgruppen *jordbearbetning och hydroteknik* på Institutionen för mark och miljö vid Sveriges Lantbruksuniversitet i Uppsala forskar kring växthusgasavgång från odlade torvjordar. För att mäta växthusgasavgång från torvjordar i fält används för nuvarande två stycken mobila CO₂-mätare (Vaisala GMP343) i kombination med att gasprover tas i glasflaskor, vilka sedan analyseras för att ge information om luftens innehåll av CH₄ och N₂O. Den mobila CO₂-mätaren sköts manuellt vilket försvårar övervakning av flera mätpunkter samtidigt och över längre tidsperioder. Man planerar därför att införskaffa en ny typ av automatiserad fältmätare. De nya mätarna kan placeras ut i fält och enkelt programmeras till att mäta koldioxidavgång vid givna tidpunkter. Mätarna kan även sammanlänkas till ett nätverk för samtidig övervakning av flera mätpunkter vilket möjliggör nya typer av fältexperiment.

Inför användandet av de nya CO₂-mätarna (ADC BioScientific Automated Soil CO₂ Exchange System) är det viktigt att ta reda på om de nya mätarna ger samma resultat som de tidigare mätarna under identiska förhållanden. Denna kontroll är en viktig del av kvalitetssäkringsprocessen för att undvika plötsliga förändringar i långa tidsserier av data. Skulle det föreligga en stor skillnad mellan mätarna innebär det att tidigare mätningar ej direkt kan jämföras med nya mätningar, och det är då viktigt att den personal som använder mätarna och tolkar resultaten är medvetna om denna skillnad. Innan man gör en jämförelse mellan olika mätare bör man först och främst ha bra koll på hur de nuvarande mätarna fungerar och presterar under olika förhållanden.

Syftet med det här examensarbetet var därför att testa och utvärdera de två nuvarande mätarna av modell Vaisala GMP343 för att se hur omgivningsfaktorer och instrumentinställningar påverkar mätresultaten. Detta behövdes göras för att undersöka om förändringar av dessa faktorer var något som borde ha beaktats eller bör beaktas när mätarna använts eller ska användas samt för att en senare jämförelse mellan de olika mätarna skall underlättas.

Som en introduktion till hur de nuvarande mätinstrumenten används så gjordes mätningar på koldioxidavgång från tre stycken torvjordsprofiler på laboratorium. En del av arbetet handlade samtidigt om att undersöka hur de tre torvjordprofilernas koldioxidavgång beror av grundvattennivån. Man hade sedan tidigare en någorlunda bild av hur sambandet mellan koldioxidavgång och grundvattennivå ser ut och mitt arbete var därför tänkt att komplettera denna kunskap ytterligare. Försöket gjordes genom att grundvattennivån stegvis sänktes i torvjordsprofilerna och nya mätningar utfördes vid varje nivå. Det intressanta med den här typen av mätningar är att finna en optimal grundvattennivå för minimering av koldioxidavgång. Andra liknande studier har gjorts (*Chimner et al., 2003. Jungkunst et al., 2008. Renger et al., 2002*) vilket gjorde det möjligt att jämföra resultaten med dessa. I mitt arbete togs ingen hänsyn till avgången av metan och lustgas, och inga slutsatser om vilken grundvattennivå som är den optimala med hänsyn till den totala växthusgasavgången har dragits, endast slutsatser om vilken grundvattennivå som minimerar av koldioxidavgången. Ytterligare skillnader mellan mitt arbete och tidigare studier var att mina experiment gjordes på en annan jord, med andra mätinstrument och ett annat försöksupplägg.

Material och metod

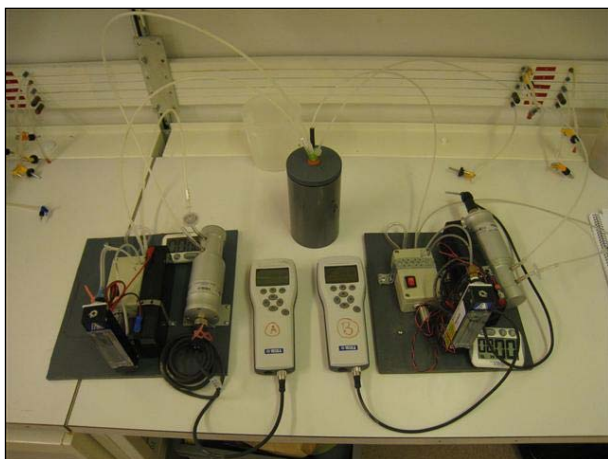
Apparatur

För mätning av koldioxidhalt i luft användes två stycken Vaisala CARBOCAP® Carbon Dioxide Probe GMP343 Flow-through samt två stycken Vaisala M170 Indicator.

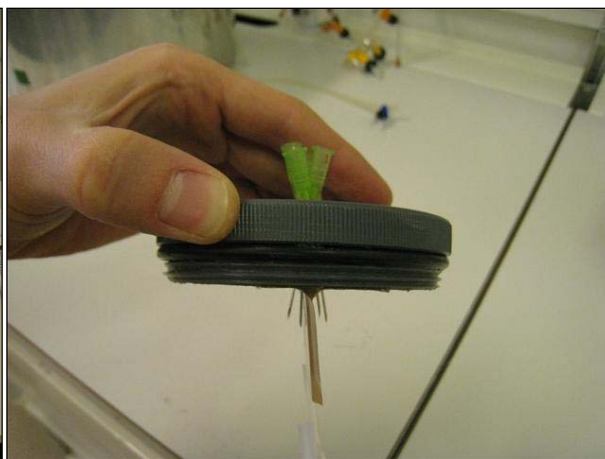
För mätning av fukthalt i torvjordsprofiler användes en Delta-T Devices Ltd Moisture Meter HH2 samt tillhörande Profile Probe PR1.

Uppvärmningstidens inverkan på noggrannheten hos Vaisala GMP343

Två stycken Vaisala GMP343 kopplades till en lufttät burk (Figur 1) via fyra kanyler (två inlopp och två utlopp) som stuckits genom ett gummisepta i mitten av burkens lock (Figur 2). Kanylerna för utlopp och inlopp skiljdes från varandra med en ca 5 cm hög plastbit, detta för att hindra att luften rörde sig direkt från utlopp till inlopp. Lockets skruvgångor samt skarvarna mellan gummisepta och burk/kanyler tätades med ett tjockt fett för att garantera att systemet var lufttätt. De båda luftpumparna slogs på och tilläts cirkulera luften i cirka 15 minuter innan mätstart, detta för att garantera att luften i det slutna systemet homogeniserats med avseende på koldioxidkoncentration. De båda mätarna startades samtidigt och läts värma upp i två minuter innan första mätning. Koldioxidkoncentration och lufttemperatur registrerades var femte sekund under 5 minuter, därefter fick mätarna stå på utan att logga data under fem minuter innan mätning nummer 2. Totalt 10 mätserier gjordes (2st Vaisala*5 mätserier) vid tidpunkterna 2, 12, 22, 32 och 42 minuter från uppstart. Från var och en av de 10 mätserierna beräknades medelvärden och standardavvikelser (Tabell 1.1 och 2.1, Bilaga 1). Dessa plottades sedan mot tiden för att se om det sker förändringar i mätvärden/noggrannhet över tiden (Figur 1.1 och 2.1, Bilaga 1).



Figur 1. Två Vaisala GMP343 (A och B) anslutna till en och samma lufttäta burk



Figur 2. Fyra kanyler genomstuckna ett gummisepta i den lufttäta burkens lock. En plastbit skiljer utlopp från inlopp.

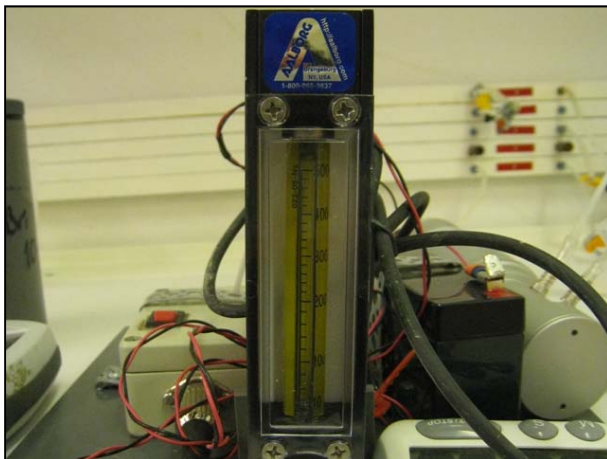
Luftflödets inverkan på absoluta mätvärden hos Vaisala GMP343

Två stycken Vaisala GMP343 kopplades till en lufttät burk precis som i försöket med varierande uppvärmningstid. Hela försökssystemet placerades utomhus under skugga för att skapa en bra mätmiljö med konstant koldioxidkoncentration i omgivande luft. Mätarna startades samtidigt och läts värma upp i cirka 20 minuter och luftpumparna läts cirkulera luften i 3-5 minuter innan mätningarna påbörjades.

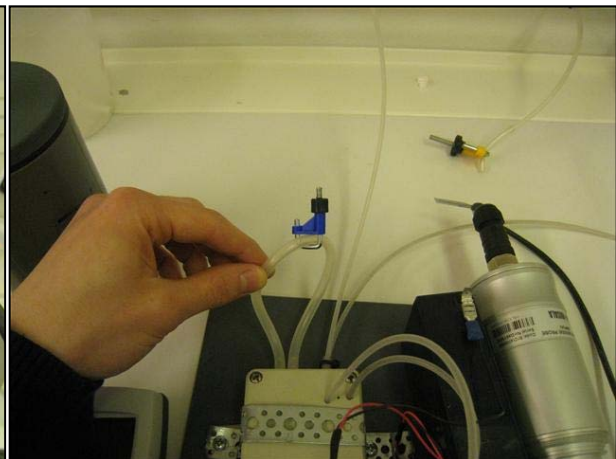
Mätarna (A och B) testades en i taget med två separata försöksupplägg.

I försöksupplägg nummer ett (redovisas som #1 i Figur 9 och 10) startades mätarna samtidigt, varav den ena mätaren kördes som kontrollmätning under hela försöket med ett konstant flöde på 500 ml/min, medan den andra fick registrera värden var femte sekund under 2 minuter (per mätserie) vid flödena 500, 400, 300, 200, 100 och 0 ml/min med exakt en minuts mellanrum mellan mätserierna. Luftflödena genom Vaisala A och B kontrollerades med hjälp av två luftflödesmätare (Figur 3) och justerades sedan för den ena mätaren genom att en klämma skruvades åt runt en av luftslangarna (Figur 4). Totalt gjordes 6 mätningar á 2 minuter vid flödena 500, 400, 300, 200, 100 och 0 ml/min plus kontrollmätningen som pågick under hela försöket.

I det andra försöksupplägget (redovisas som #2 i Figur 9 och 10) kopplades endast en mätare i taget till den lufttäta burken för att se om mätarna reagerar på olika sätt vid flödesförändringar när endast en mätare cirkulerar luft. In- och utloppet som tidigare varit anslutna till den andra mätaren täcktes för med tejp. I övrigt gjordes mätningarna på samma sätt som i det första försöksupplägget men utan kontrollmätning. Totalt gjordes 6 mätningar á 2 minuter vid flödena 500, 400, 300, 200, 100 och 0 ml/min.



Figur 3. Luftflödesmätare kopplad till Vaisala GMP343



Figur 4. Skruvklämma på luftslang för reglering av luftflödet genom en Vaisala GMP343

Undersökning av skillnaderna mellan Vaisala A och B

Två stycken Vaisala GMP343 kopplades till en lufttät burk precis som i tidigare försök. Mätarna startades samtidigt och tilläts värma upp i minst 10 minuter innan mätningarna påbörjades. Båda luftpumparna slogs på och tilläts cirkulera luften i det slutna system till dess att båda visade stabila mätvärden (cirka 2,5 minuter). Därefter startades den första mätningen exakt samtidigt på de båda mätarna varvid koldioxidkoncentration och lufttemperatur registrerades var femte sekund under 2 minuter. Därefter kopplades ett av burkens inloppsslangar bort och utandning gjordes mot kanylens öppning för att på så vis höja koldioxidkoncentrationen i systemet. Slangen kopplades tillbaka och luften tilläts cirkulera cirka 3-4 minuter innan en andra mätning påbörjades. Totalt 16 stycken mätningar gjordes den första körningen (2st Vaisala*8 mätserier) och 24 den andra körningen (2st Vaisala*12 mätserier). Utandningen anpassades för att ge någorlunda jämna intervall i koldioxidkoncentration. Från de två körningarnas mätserier beräknades medelvärden, standardavvikelser samt relativa standardavvikelser (Tabell 3.1 och Tabell 4.1, Bilaga 1). De två

körningarnas medelvärden plottades mot tiden för att simulera en fiktiv avgångshastighet (Figur 3.1, Bilaga 1), detta för att se hur eventuella skillnader mellan mätarna påverkar slutresultaten.

Mätning av koldioxidavgång från torvjordsprofiler vid olika grundvattendjup

Mätning av koldioxidavgång gjordes med en Vaisala GMP343 på tre olika torvjordsprofiler (A, B och C) i ett temperaturreglerat rum som håller 20° C. Profilerna kommer från Örke i mitten av Sverige (60°N, 17°Ö), en typisk odlad torvjordsmark vars egenskaper listas i Tabell 1.

Tabell 1. Örkejordens fysikaliska och kemiska egenskaper, standardavvikelse inom parentes (Berglund et al, 2010).

Djup (cm)	von Post (H1-10)	Glödgnings- förlust (%)	Torr skrymdensitet (g cm ⁻³)	Densitet av fast material (g cm ⁻³)	Tot-C (%)	Tot-N (%)	pH (H ₂ O)
0-10	9-10	86	0,31 (0,02)	1,62	37,7 (0,14)	2,6 (0,01)	5,9 (0,05)
10-20	9-10	86	0,28 (0,02)	1,57	37,7 (0,14)	2,6 (0,01)	5,9 (0,05)
20-30	9-10	86	0,22 (0,01)	1,59	39,3 (0,00)	2,6 (0,02)	5,7 (0,01)
30-40	8-9	83	0,22 (0,02)	1,60	38,0 (1,48)	2,3 (0,04)	5,6 (0,00)
40-50	8-9	87	0,18 (0,00)	1,59	n.d.	n.d.	5,7 (0,04)

Profilerna vattenmätades underifrån genom att en vattenfylld behållare kopplades till nederdelen av profilen med slang (Figur 5), vartefter vattenbehållaren höjdes upp ovan torvjordens yta. Profilen fick stå vattenmättad med vattenytan cirka 4 cm ovan torvjordens yta i ett par veckor för att säkerställa att profilen var helt vattenmättad.

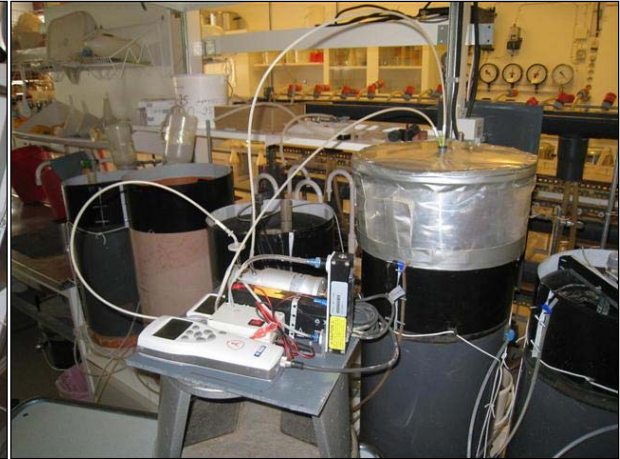
Mätning av koldioxidavgång gick till så att profilerna täcktes över med en lufttät huv av plast (Figur 6) som slöt tätt emot profilens kanter precis innan mätning. I toppen av huvens satt två stycken kanyler genomstuckna ett gummisepta som användes för att cirkulera den inneslutna luften genom en Vaisala GMP343. Luften cirkulerades med ett flöde av cirka 500 ml/min under samtliga mätningar. Koldioxidkoncentration och lufttemperatur registrerades med en Vaisala M170 datalogger var femte sekund under 5 minuter (per mätserie). Med hjälp av linjär regression samt vetenskap om den cirkulerande luftens volym och temperatur kan man beräkna en avgångshastighet enligt Ekvation 2,

$$y = x * 101325 * \frac{44,01/8,3145}{(273,15+T)} * h * 0,001 \quad \text{Ekvation 2}$$

där y är koldioxidavgång per ytenhet (mg CO₂ m⁻² h⁻¹), x är uppmätt koldioxidavgång (ppm h⁻¹), T är luftens temperatur (° C) och h är höjden från torvjordens yta till huvens tak.



Figur 5. Tre torvjordsprofiler (A, B och C från höger) från Örke med reglerbara grundvattenutlopp synliga



Figur 6. Vaisala GMP343 ansluten till huv vid mätning av koldioxidavgång från en torvjordsprofil

Mätning av koldioxidavgång från de tre torvjordprofilerna gjordes vid grundvattennivåerna 0, -5, -20, -30 och -40 cm samt ytterligare en gång vid -40 cm en vecka senare för att se hur en veckas torkning påverkar avgången. Vid grundvattennivåerna 0 och -5 cm gjordes 2 mätserier per profil, och vid övriga nivåer gjordes 3 mätserier per profil. Sänkningen av grundvattenytan gick till så att en utloppsslang kopplad till varje profils nedersta del (Figur 5) sänktes så att vattenytan i slangen motsvarade 0, -5, -20, -30 och -40 cm från torvjordens yta räknat. Mellan varje ny grundvattennivå fick profilen stå cirka 7-9 dagar och sakta dränera ur profilen för att säkerställa att jämvikt uppnåtts mellan jordens vattenhållande porer och atmosfären. Innan varje ny mätning kontrollerades grundvattennivån genom att mäta höjden på vattenytan i utloppslangen relativt torvjordens yta. För att kunna visa att grundvattenytan verkligen sänkts i profilerna så mättes profilernas dielektriska egenskaper med en särskild fuktmetare anpassad för jordprofiler (Delta-T Devices Ltd Moisture Meter HH2 + Profile Probe PR1). Mätaren är cirka 50 cm lång och har fyra stycken mätpunkter (med 10 centimeters mellanrum) i form av metallringar (kommer senare att kallas för *mättringar*), vilka med hjälp av magnetfält kan mäta jordens dielektriska egenskaper på olika djup i en jordprofil. Mätaren kan kalibreras så att de uppmätta dielektriska egenskaperna direkt översätts till fukthalt i tillhörande logger, men detta gjordes ej på grund av tidsbrist. Istället mättes jordens dielektriska egenskaper, vilka sedan kan relateras till fukthalt enligt Ekvation 3 (Delta-T Devices, 2001),

$$\sqrt{\epsilon} = a_0 + a_1 * \theta$$

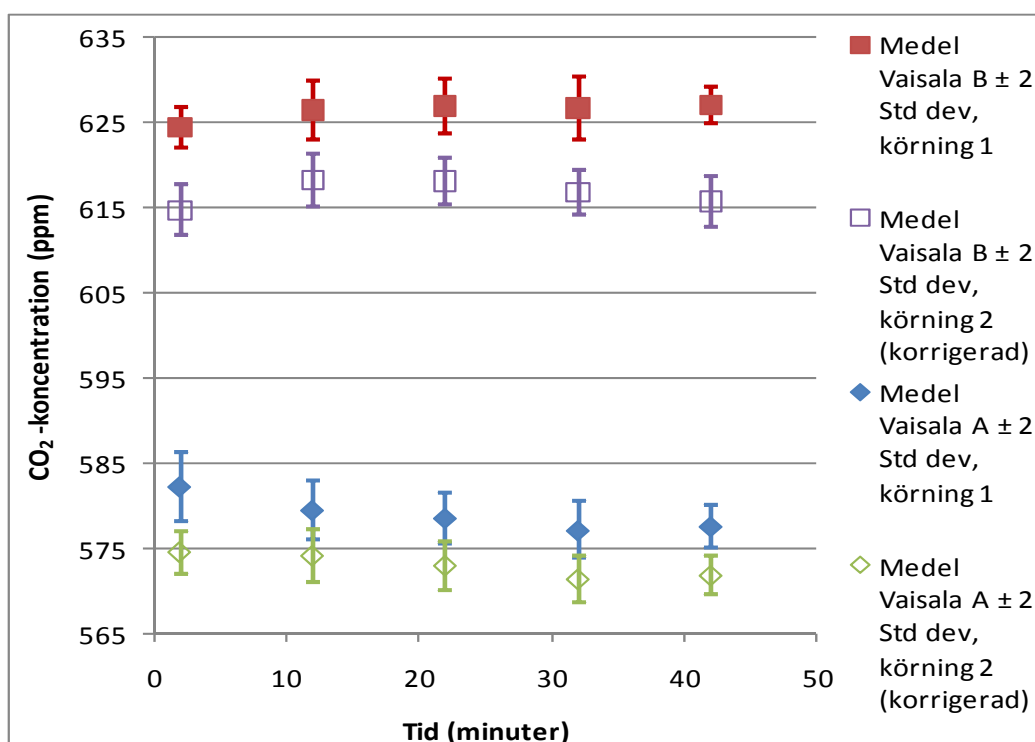
Ekvation 3

där $\sqrt{\epsilon}$ är jordens "refraktiva index", a_0 och a_1 är två parametrar som beskriver en specifik jords dielektriska egenskaper och θ är jordens fukthalt $\left(\frac{Volym_{vatten}}{Volym_{total}}\right)$. Mätningen av profilernas dielektriska egenskaper gick till så att mätproben sköts ned i ett för mätaren specialanpassat och förmonterat rör i mitten av varje profil. Tre mätningar gjordes per profil och tillfälle. Mellan mätningarna vreds proben 120° och från dessa beräknades ett medelvärde av jordens dielektriska egenskaper (mätt i mV) på varje djupnivå (Figur 10.1-12.1, Bilaga 1).

Resultat och diskussion

Uppvärmningstidens inverkan på noggrannheten hos Vaisala GMP343

Det här försöket gjordes för att se hur uppvärmningstiden (tiden från uppstart) påverkar mätvärdena och/eller noggrannheten hos de två Vaisalamätarna (A och B) som används vid Institutionen för mark och miljö. När man gör mätningar med dessa tar man ej hänsyn till denna faktor, vilket gör det intressant att ta reda på om den har någon inverkan på resultaten. Tillverkarna uppger att mätarna uppnår full noggrannhet $\pm 0,5\%$ efter 10 minuters uppvärmningstid och full noggrannhet efter 30 minuter. Noggrannheten uppges vara $\pm(3 \text{ ppm} + 1\% \text{ av mätvärdet})$ i intervallet 0-1000 ppm (Vaisala, 2009).



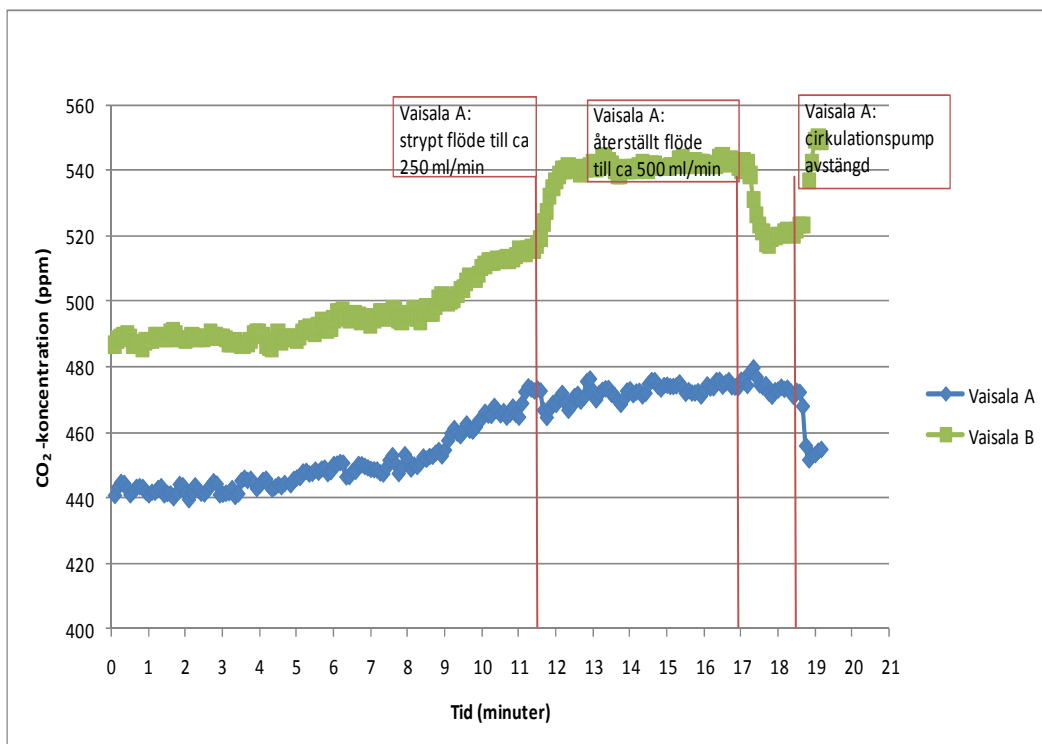
Figur 7. Medelvärden och standardavvikelser för koldioxidkoncentration vid två separata körningar med olika tid från uppstart av två stycken Vaisala GMP343 (A och B). Körning 2 är korrigerad (+88 ppm) för att ge figuren en bättre skala.

Resultaten från försöket presenteras i Figur 7. Resultaten tyder på att medelvärdet sjunker med ökad uppvärmningstid för Vaisala A, medan standardavvikelsen tycks vara mer slumpmässig (Tabell 1.1 och Figur 1.1, Bilaga 1). För Vaisala B tycks det inte finnas någon trend för varken medelvärde eller standardavvikelse, värdena tycks vara slumpmässiga och oberoende av uppvärmningstiden (Tabell 2.1 och Figur 2.1, Bilaga 1).

Luftflödets inverkan på absoluta mätvärden hos Vaisala GMP343

Det här försöket gjordes för att ta reda på om flödes hastigheten på den cirkulerande luften genom en Vaisala GMP343 har någon betydelse för mätvärdet. De två mätarna är båda utrustade med luftpumpar som drivs av batterier, och när batterierna börjar bli dåliga går pumpen långsammare och luftflödet sjunker. Skulle batterierna börja bli dåliga mitt under en dag då många mätningar görs så är det givetvis bra att veta hur detta påverkar de mätvärden som erhålls.

Till en början gjordes försöket inomhus men då ökade hela tiden koldioxidkoncentrationen i systemet under försökets gång till följd av att utandning skedde i närheten. I samband med upptäckten testades systemets täthet genom att utandning gjordes nära systemet samtidigt som koldioxidkoncentration registrerades med båda mätarna. Samtidigt utfördes några flödesjusteringar på den ena mätaren (Vaisala A) för att se hur detta påverkade försöket.



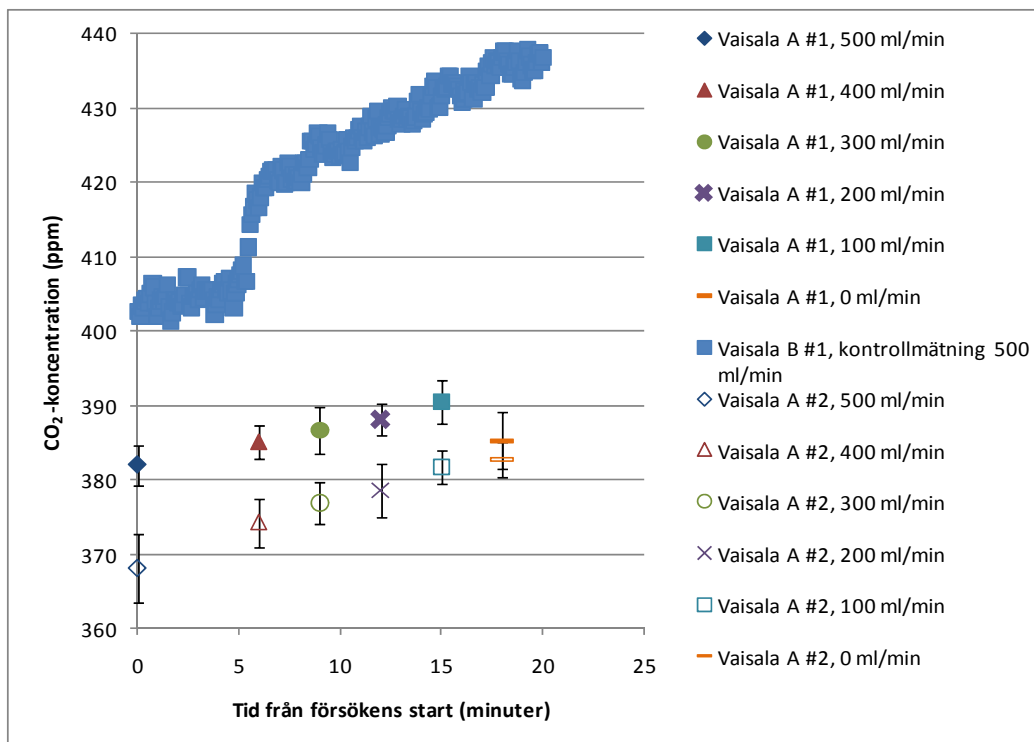
Figur 8. Test av ett försökssystemets täthet genom utandning mot detta samt kontroll av hur en flödesförändring hos en av de anslutna Vaisala-mätarna (A) påverkar mätvärdena hos den andra (Vaisala B)

Resultaten (Figur 8) visar att systemet faktiskt läcker eftersom båda mätarna registrerar en stigande koncentration av koldioxid. Detta läckage skapade problem eftersom jag i mitt flödesförsök ville ha ett lufttätt system med konstant koldioxidkoncentration för att kunna påvisa att en eventuell förändring i mätvärde beror av flödesförändringen och inte av en faktisk förändring i koldioxidkoncentration. Eftersom slangskarvar kontrollerats och burken tätats med fett så kan en möjlig förklaring till läckaget vara att slangarna som används har en sådan porositet att gas kan diffundera genom dem. Detta har förmodligen en väldigt liten betydelse när man mäter utomhus i fält, men om mätarna används på laboratorium och man står i närheten och andas så finns risk att mätresultaten påverkas. Gör man mätningar på jordar där det hela tiden avgår koldioxid relativt snabbt så kommer läckaget dock inte att ge en märkbar påverkan.

Resultaten från försöket (Figur 8) visar också att Vaisala B reagerar starkt på en flödesförändring hos Vaisala A. När flödet stryps på Vaisala A så registrerar Vaisala B en ökning i koldioxidkoncentration. Denna snabba ökning kan ej bero på det lilla läckage som finns i systemet, utan beror förmodligen på att flödet genom Vaisala B påverkas. En annan teori kan vara att det sker en tryckförändring i systemet när ett flödet stryps vilket ger en förändring i mätvärde. Mätarna kompenserar nämligen

för fixa värden på bland annat lufttryck (1013 hPa) och syrgashalt (21,2 volymprocent) eftersom mätarna ej kan mäta dessa omgivningsfaktorer. Vi ser att samma fenomen återkommer även i senare försök (Figur 9).

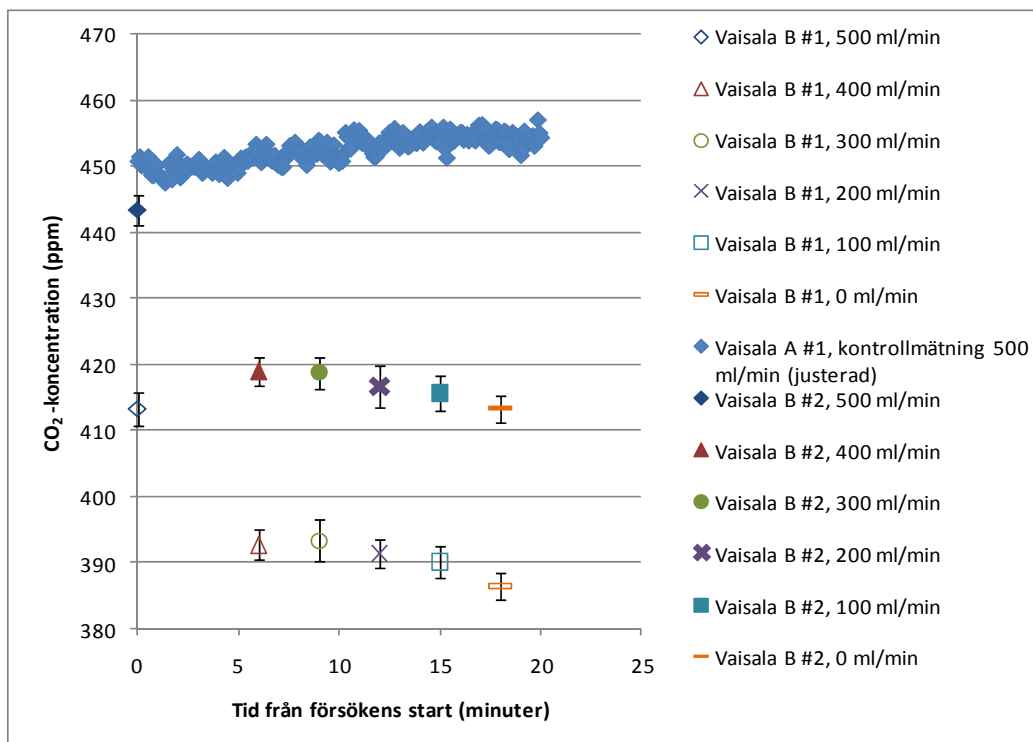
Efter att läckaget upptäckts gjordes de slutliga flödestesterna utomhus, eftersom utomhusluft har en någorlunda konstant koldioxidkoncentration som tack vare sin volym och omrörning inte påverkas av utandningsluften under försöket.



Figur 9. Luftflödets inverkan på de absoluta mätvärdena hos en Vaisala GMP343 (A) vid två separata mätningar (#1 och #2). Punkterna motsvarar medelvärden och felstaplarna ± 2 standardavvikelser.

Resultaten (Figur 9) visar att Vaisala A registrerar en ökning i koldioxidkoncentration till följd av en sänkning av flödes hastigheten. Beteckningen #1 i Figuren syftar på försöksupplägg 1 då både Vaisala A och B var ansluta till systemet, medan beteckningen #2 syftar på försöksupplägg 2 då endast Vaisala A var ansluten. Vi ser att Vaisala A reagerar likadant på flödesförändringar oavsett om Vaisala B är ansluten till systemet eller ej.

Det har visats i tidigare försök att den stigande koldioxidkoncentration som registrerats av Vaisala B (kontrollmätningen) tycks bero på förändringar i luftflödet genom systemet och inte av faktiska förändringar i koldioxidkoncentration (se tidigare diskussion samt Figur 8). Koldioxidkoncentrationen i systemet bör ha varit konstant eftersom försöket gjordes utomhus, vilket ger stöd för att Vaisala A faktiskt registrerar ett högre mätvärde vid lägre flödes hastigheter.



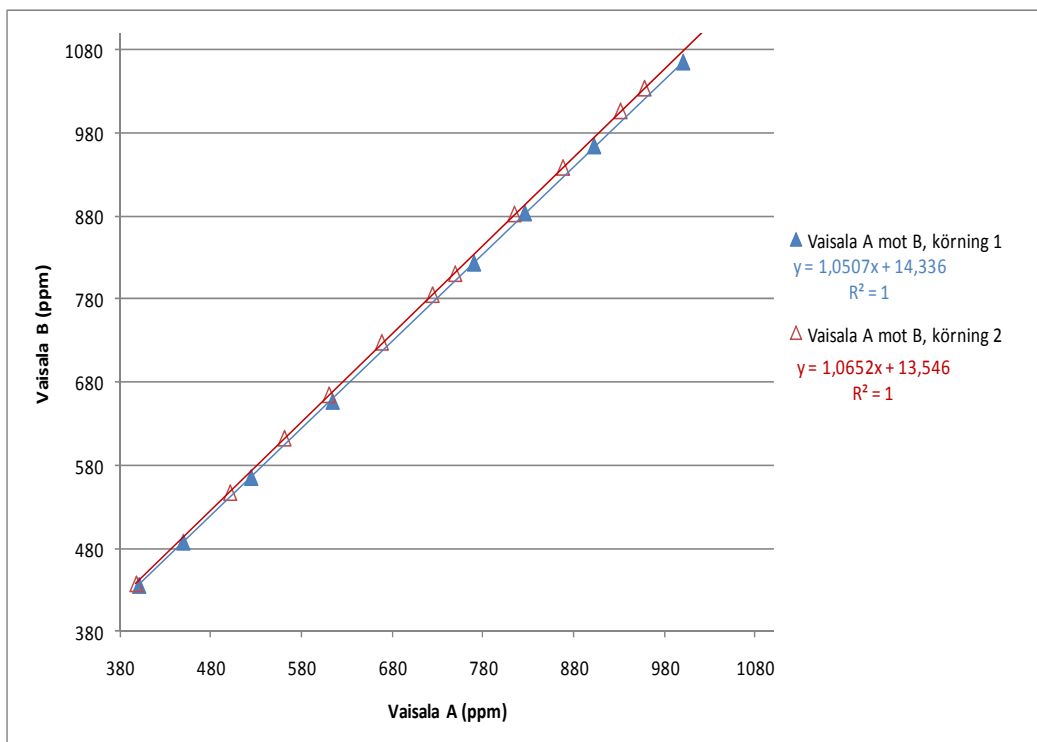
Figur 10. Luftflödets inverkan på de absoluta mätvärdena hos en Vaisala GMP343 (B) vid två separata mätningar (#1 och #2). Punkterna motsvarar medelvärden och felstaplarna ± 2 standardavvikelser.

Resultaten från testet av Vaisala B (Figur 10) visar att de två mätarna ej reagerar likadant på flödesförändringar. Det första som kan noteras är att Vaisala A inte alls reagerar likadant när flödet regleras på Vaisala B (jämför Figur 8 och 9). Det andra är att den av Vaisala B registrerade koldioxidkoncentrationen tycks sjunka med minskad flödeshastighet - det omvända sambandet mot vad som observerats för Vaisala A.

I specifikationerna för mätarna står det att flödesberoendet är 0,3% av mätvärdet/ liter/ minut (Vaisala, 2004). De erhållna resultaten tyder dock på att flödesberoendet tycks vara mycket större än så.

Undersökning av skillnaderna mellan Vaisala A och B

Det här försöket gjordes efter att en skillnad i mätvärde mellan de två Vaisala-mätarna (A och B) upptäckts. Försöket gick ut på att undersöka om skillnaden mellan de två mätarna var konstant vid olika koldioxidkoncentrationer eller ej. En skillnad som är konstant har mindre betydelse vid mätning av koldioxidavgång eftersom det endast är förändringen i koldioxidkoncentration över tid (lutningen på kurvan) man är intresserad av. Skulle skillnaden variera vid olika koncentrationer så innebär det att lutningen på de två erhållna kurvorna (från Vaisala A och B) kommer att skilja sig åt, vilket innebär att uppmätta avgångshastigheter skiljer sig mellan de två mätarna.



Figur 11. Uppmätta medelvärden för koldioxidkoncentration vid simultana mätningar på samma luft med två stycken Vaisala GMP343 (A och B) plottade mot varandra inom intervallet 0-1000ppm

Resultaten (Figur 11) visar att det föreligger en skillnad mellan de två Vaisala-mätarna, inte bara i absolut mätvärde utan även i lutning. Den observerade medelskillnaden i mätvärde visas i Ekvation 4,

$$y = \frac{(1,0652+1,0507)}{2}x + \frac{(13,546+14,336)}{2} \quad \text{Ekvation 4}$$

där y är mätvärdet för Vaisala B och x motsvarande mätvärde för Vaisala A. Den observerade skillnaden i lutning fås av lutningskoefficienten i den räta linjens ekvation $\left(\frac{(1,0652+1,0507)}{2}\right)$, vilket i medeltal motsvarar 5,8%. De två körningarna visar samma trend, nämligen att Vaisala B både registrerar en högre koldioxidkoncentration och en högre lutning. De uppmätta skillnaderna kan bero på kalibreringsskillnader, även om sådana inte borde finnas eftersom båda mätnarna kalibrerats vid samma tidpunkt. Skillnaden i lutning är däremot mer intressant, eftersom denna påverkar de resultat som erhålls vid mätning av en avgångshastighet.

Resultaten visar också att det tycks finnas en mellandagsvariation mellan mätningarna. Figur 11 visar att de uppmätta lutningarna är skilda från varandra och att ingen av mätpunkterna i de två mätserierna överlappar med punkterna i den andra. Detta tyder på att skillnaden mellan de två körningarna knappast kan förklaras av slumpen och att skillnaden faktiskt varierar mellan de två körningarna. Förklaringen är troligtvis att detta beror på en variation i mätmiljön från dag till dag. Luftfuktighet, temperatur och syrgashalt är faktorer som mätnarna kompenserar för, och när dessa faktorer varierar i mätmiljön utan att mätnarnas inställningar anpassas därefter så kan det leda till sådana variationer som observerats.

Noggrannheten för Vaisala-mätarna uppges vara $\pm(3 \text{ ppm} + 1 \% \text{ av mätvärdet})$ i intervallet 0-1000 ppm (Vaisala, 2009). För att jämföra hur denna noggrannhet förhåller sig till skillnaden mellan mätarna har jag med hjälp av den uppmätta medelskillnaden i mätvärde (Ekvation 4) och den angivna noggrannheten beräknat ett antal värden i intervallet 380-1040 ppm (Tabell 2).

Tabell 2. Uppmätt medelskillnad i mätvärde mellan Vaisala A och B jämfört med tillverkarens specificerade noggrannhet i intervallet 0-1000 ppm

Vaisala A (ppm)	Vaisala B (ppm)	Uppmätt skillnad (%)	Teoretisk CO ₂ - koncentration (ppm)	-3 ppm -1% av mätvärdet (ppm)	+3 ppm +1% av mätvärdet (ppm)	Noggrannhet (%)
380	416	9,5	380	373	387	3,6
440	479	9,0	440	433	447	3,4
500	543	8,6	500	492	508	3,3
560	606	8,3	560	551	569	3,1
620	670	8,0	620	611	629	3,0
680	733	7,8	680	670	690	2,9
740	797	7,7	740	730	750	2,9
800	860	7,5	800	789	811	2,8
860	924	7,4	860	848	872	2,7
920	987	7,3	920	908	932	2,7
980	1051	7,2	980	967	993	2,6
1040	1114	7,1	1040	1027	1053	2,6

Tabellen visar hur den observerade skillnaden och den angivna noggrannheten ökar respektive minskar med sjunkande CO₂-koncentration. Ju lägre CO₂-koncentration man mäter desto sämre blir noggrannheten. Det intressanta är dock att tillverkarens angivna noggrannhet är avsevärt bättre än den jag uppmätt. Detta innebär antingen att minst en av mätarna är defekt, eller att tillverkarens angivna noggrannhet är överskattad. Den observerade skillnaden mellan mätarna har en inverkan på mätvärdena på 9,5-7,1% i intervallet 380-1040 ppm.

Tabell 3. Medelvärde för lutning, skärningspunkt, R²-värde, uträknad teoretisk avgångshastighet samt procentuell skillnad mellan lutning A och B, körning 1 och 2

Körning	Vaisala	Intervall (ppm)	Lutning (ppm h ⁻¹)	Skärningspunkt (ppm)	R ²	Avgångshast. (mg CO ₂ m ⁻² h ⁻¹)	Skillnad (lutning A/B)
1	A	0-1000	465,37	395,12	0,97	275	5,02%
1	B	0-1000	488,71	429,64	0,97	289	-
2	A	0-1000	505,07	442,96	0,99	298	6,48%
2	B	0-1000	537,79	485,49	0,99	318	-
Medelvärde							5,8%

Skillnaden i lutning i samma intervall är dock inte lika stor som skillnaden i mätvärde. I Tabell 3 presenteras den observerade skillnaden i lutning mellan Vaisala A och B vid två separata körningar. Tabellen visar också hur denna skillnad avspeglar sig i den beräknade avgångshastigheten. Den procentuella skillnaden i lutning är i medeltal 5,8% och den slutliga skillnaden i koldioxidkoncentration vid den avgångshastighet som jag lyckats uppnå i mina försök (cirka 300 mg CO₂ m⁻² h⁻¹) är då 14-19 ppm. Skulle man mäta på en jord med högre avgångshastighet skulle

skillnaden mellan mätarna (i antal ppm räknat) stiga, vilket jag illustrerat i Tabell 4 genom att konstruera en teoretisk mätserie.

Tabell 4. Teoretisk mätserie med beräknade avgångshastigheter baserat på den observerade medelskillnaden i lutning mellan Vaisala A och B

Lutning		Beräknad avgångshastighet*		Skillnad
A	B	A	B	
(ppm h ⁻¹)	(ppm h ⁻¹)	(mg CO ₂ m ⁻² h ⁻¹)	(mg CO ₂ m ⁻² h ⁻¹)	(mg CO ₂ m ⁻² h ⁻¹)
380	402	226	239	13
440	465	262	277	15
500	529	297	314	17
560	592	333	352	19
620	656	369	390	21
680	719	404	428	23
740	783	440	465	25
800	846	476	503	28
860	910	511	541	30
920	973	547	579	32
980	1037	583	616	34
1040	1100	618	654	36
1500	1587	892	943	52
2000	2116	1189	1258	69
2500	2645	1486	1572	86
3000	3174	1784	1887	103

*Beräknat som om mätserien kom ifrån någon av de tre torvjordsprofilerna vid 20 °C.

För att se hur stor skillnad mellan mätarna som tillverkarens specificerade osäkerhet ($\pm(3 \text{ ppm} + 1 \% \text{ av mätvärdet})$) maximalt kan ge har en teoretisk mätserie konstruerats där den maximala skillnaden i mätvärde på varje koncentrationsnivå samt den maximala skillnaden i lutning har beräknats (Tabell 5).

Tabell 5. Teoretisk mätserie med beräknade maximala skillnader utifrån specificerad noggrannhet

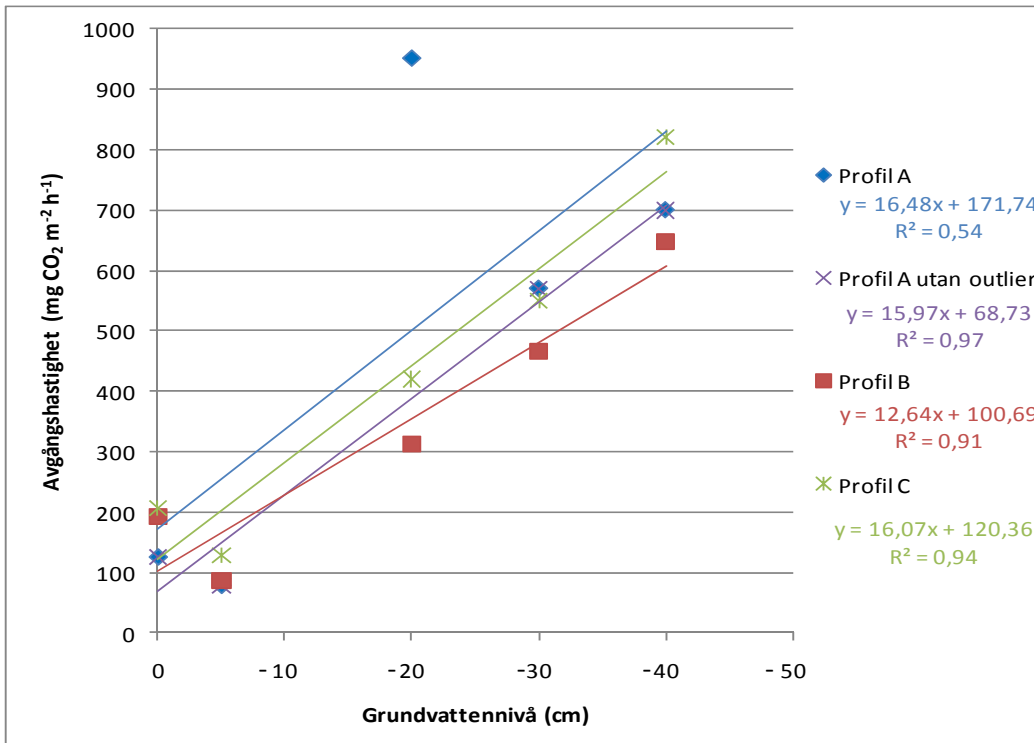
Tid (timmar)	CO ₂ - koncentration (ppm)	-3 ppm -1% av mätvärdet (ppm)	+3 ppm +1% av mätvärdet (ppm)	Skillnad (%)
0,0	380	373	387	3,6
0,2	440	433	447	3,4
0,4	500	492	508	3,3
0,6	560	551	569	3,1
0,8	620	611	629	3,0
1,0	680	670	690	2,9
1,2	740	730	750	2,9
1,4	800	789	811	2,8
1,6	860	848	872	2,7
1,8	920	908	932	2,7
2,0	980	967	993	2,6
2,2	1040	1027	1053	2,6
Lutning (ppm h⁻¹)	300	297	303	2,0

Tabell 5 visar att den maximala skillnaden i lutning mellan två Vaisalamätare, beräknat utifrån tillverkarens specificerade noggrannhet, är 2%. Det är dock högst osannolikt att skillnaden någonsin blir så stor eftersom detta kräver att mätarna A och B slumpmässigt skulle registrera minsta respektive största möjliga mätvärde vid varje mätpunkt.

Slutsatsen man kan dra av försöken är att den observerade medelskillnaden i lutning (5,8%) överstiger den skillnad i lutning som skulle kunna förklaras av mätarnas osäkerhet (2%). Detta innebär att minst en av mätarna är defekt, att mätarna kalibrerats undermåligt eller att tillverkarens angivna noggrannhet är överskattad.

Mätning av koldioxidavgång från torvjordsprofiler vid olika grundvattendjup

Det här försöket gjordes för att se hur koldioxidavgången varierar med grundvattennivån i de tre torvjordsprofilerna från Örke. Mätning av koldioxidavgång från de tre torvjordprofilerna gjordes vid grundvattennivåerna 0, -5, -20, -30 och -40 cm samt ytterligare en gång vid -40 cm en vecka senare för att se hur en veckas torkning påverkar avgången.



Figur 12. Koldioxidavgång från tre torvjordsprofiler från Örke (A, B och C) vid olika grundvattendjup

Resultaten från försöket (Figur 12) visar att ökat grundvattendjup ger ökad koldioxidavgång. Resultaten stämmer väl överens med flera liknande studier (*Jungkunst et al., 2008; Renger et al., 2002*), med undantag från de första mätningarna på grundvattennivån 0 cm (då profilerna var vattenmättade) samt en avvikande punkt (redovisat som *outlier* i Figur 12) i mätdata i profil A vid -20 cm.

I studien av *Renger et al. (2002)* har man liksom i detta försök funnit att det finns ett linjärt positivt samband mellan koldioxidavgång och grundvattendjup. *Renger et al.* har dock visat att detta endast gäller ned till en nivå på cirka -80 cm, sedan planar kurvan ut med ökat grundvattendjup. Det linjära sambandet mellan koldioxidavgång och grundvattendjup som observerats (Figur 12) gäller därför endast i det undersökta intervallet (0 till -40 cm). I ett bredare intervall kan sambandet se annorlunda ut. I studien av *Jungkunst et al. (2002)* fick man en maximal koldioxidavgång vid grundvattennivån -40 cm, som sedan avtog till 65% vid -20 cm och till 33% vid -5 cm. Jämför med resultaten från detta försök (Tabell 6) så ser vi att den maximala koldioxidavgången uppnåddes vid grundvattennivån -40 cm även här, vilken sedan avtog till 43% vid nivån -20 cm och till 12% vid nivån -5 cm. Anledningen till att den procentuella minskningen skiljer sig från *Jungkunsts* studie är med största sannolikhet en skillnad i jordarnas innehåll och kvalitet av organiskt material på olika djup. I en studie av *Chimner et al. (2003)* fick man däremot inte samma tydliga ökning i koldioxidavgång med ökat grundvattendjup. Avgångshastigheten ökade ned till grundvattennivåerna -6-10 cm, men därefter observerade man tvärt om en minskning när man sänkte ytterligare till -11-40 cm. Deras förklaring är att de övre lagren i deras jord förmodligen innehåller en pool av lättnedbrytbart organiskt material.

Den avvikande punkten vid grundvattennivån -20 cm i Profil A beror med högsta sannolikhet på en miss i mätningen. I resultaten från den mätningen (Tabell 10.1 samt Figur 6.1, Bilaga 1) ser vi att avgångshastigheten hela tiden sjunker mellan mätomgångarna. En förklaring till detta kan vara att koldioxid har bildats i jorden under den föregående veckans torkning av jorden och att detta lager av koldioxid tvingats ut ur jorden när luften börjat cirkulerats under huven. Lagret har sedan successivt tömts från mätning till mätning vilket förklarar varför avgångshastigheten hela tiden sjunker, och de avgångshastigheter som registrerats kan således vara grovt felaktiga. Varför detta skett endast i profil A är svårare att säga, men fenomenet återkommer, om än i mindre utsträckning, även under övriga mätningar. I Figur 12 har linjär regression på mätserien från profil A gjorts både med och utan den avvikande punkten (redovisat i Figur 12 som *Profil A utan outlier*) för att visa hur punkten inverkar på R²-värdet och den räta linjens ekvation.

Det var väntat att en sänkning av grundvattenytan i profilerna skulle ge en ökad avgång av koldioxid eftersom bildningen av koldioxid sker under aeroba förhållanden, men värdena vid grundvattennivån 0 cm var inte väntade eftersom de logiskt sett borde vara lägre än de vid -5 cm samt att de skiljer sig från resultaten i studien av *Chimner et al.* (2003). Att mätvärdena var högre vid grundvattennivån 0 cm än vid -5 cm kan förklaras av en rad faktorer. Innan den första mätningen vid 0 cm gjordes en testmätning på samma nivå med syftet att testa hur Vaisalamätaren fungerade rent praktiskt. Avgångshastigheterna vid denna testmätning beräknades och visade sig vara ganska mycket lägre än de senare mätningarna på samma nivå (se Tabell 6). Om man istället utgår från dessa värden och samtidigt tar hänsyn till att avgångshastigheterna vid dessa grundvattennivåer är så pass låga att osäkerheten i mätningarna blir stor, så går det att inse att de uppmätta avgångshastigheterna vid testmätningen och grundvattennivån -5 cm ej behöver vara olika. Tar man också hänsyn till att temperaturen i profilerna kan ha varit olika vid mättillfällena introduceras ytterligare osäkerhet.

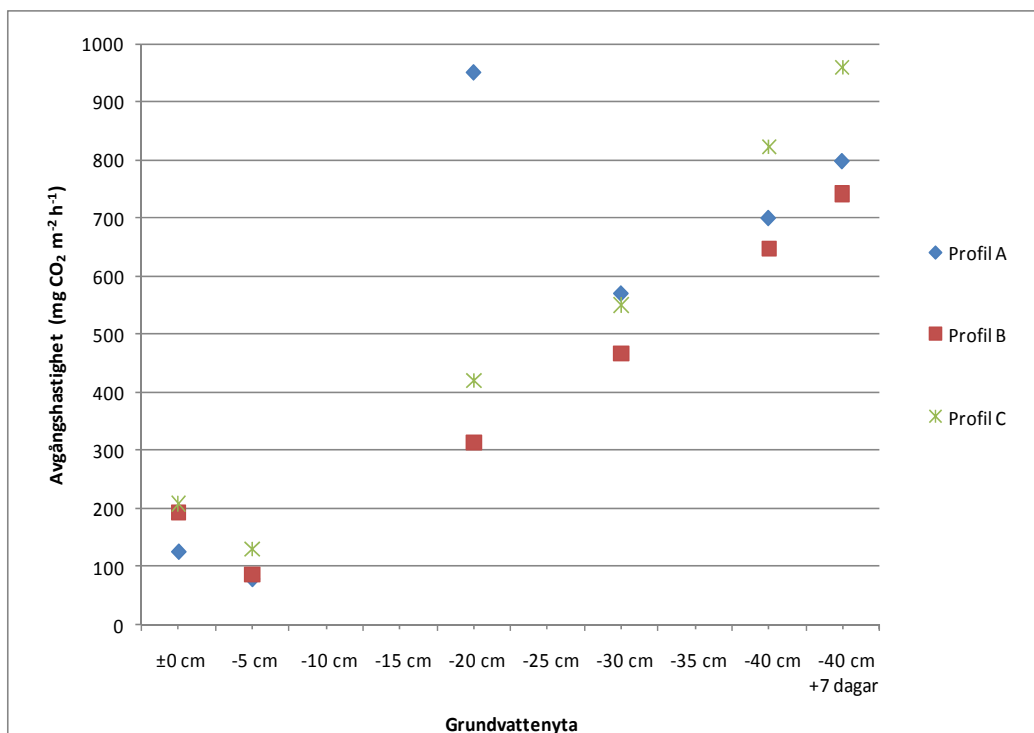
Tabell 6. Uppmätta avgångshastigheter från profilerna A, B och C vid olika grundvattennivåer

Tid från start (dygn)	Grundvattennivå (cm)	Avgångshastighet (mg CO ₂ m ⁻² h ⁻¹)			Procent av maximal avgång			
		Profil A	Profil B	Profil C	Profil A	Profil B	Profil C	Medel
Testmätning	0	97	118	148	12	16	15	15
0	0	125	193	207	16	26	22	21
7	-5	78	86	129	10	12	13	12
14	-20	951	312	420	119	42	44	43*
21	-30	570	466	550	71	63	57	64
30	-40	700	647	822	88	87	86	87
37	-40	798	741	959	100	100	100	100

*Avvikande värde i profil A ej medräknat

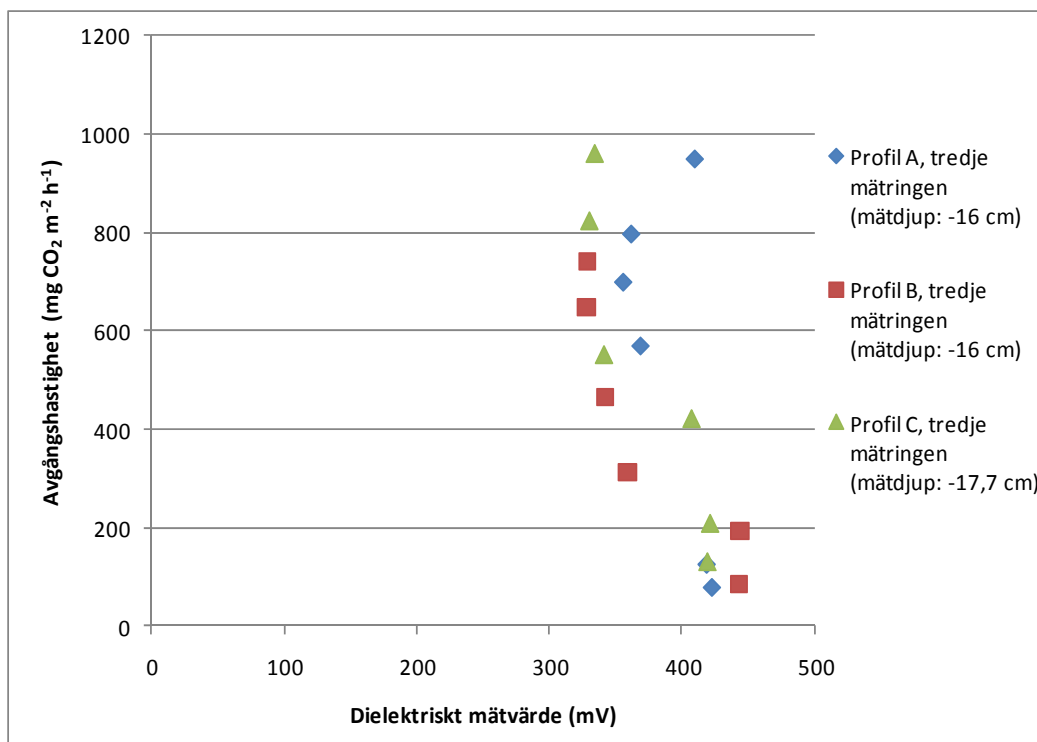
Då återstår frågan om inte avgångshastigheterna vid -5 cm borde ha varit snäppet högre? Teoretiskt sett så borde de ha varit det förutsatt att syrehalten i profilerna ökade när grundvattennivån sänktes från 0 cm till -5 cm. Tittar man på profilernas fukthalter vid de två nivåerna så ser man att dessa är näst intill identiska (Figur 10.1-12.1, Bilaga 1), vilket betyder att profilernas kapillära sugkrafter kan hålla kvar vattnet i de övre 5 centimetrarna när grundvattenytan sänks till -5 cm. Detta resulterar i att syrehalten i profilerna är densamma vid de två nivåerna, och således bör även avgångshastigheterna vara desamma.

Den sista mätningen som gjordes vid -40 cm (en vecka senare efter den första mätningen vid -40 cm) gjordes för att se hur en veckas torkning av torvprofilerna påverkar koldioxidavgången.



Figur 13. Koldioxidavgång från tre torvjordsprofiler från Örke (A, B och C) vid olika grundvattendjup

Resultaten (Figur 13) visar att vi får en tydlig ökning i koldioxidavgång när profilerna får stå ytterligare en vecka med grundvattennivån -40 cm. Tittar vi på fukthalten i profilerna (Figur 10.1-12.1, Bilaga 1) så ser vi att denna ej har påverkats nämnvärt, vilket utesluter att ökningen är en direkt följd av ökad syretillgång i profilen. Förklaringen till den ökade avgången är troligtvis att de aeroba mikroberna behöver tid för att nå full aktivitet. Andra förklaringar skulle kunna vara att en veckas torkning har medfört förändringar i jordens porositet och/eller att små sprickor har bildats i profilerna. Ökad porositet och sprickor skulle kunna underlätta för gastransporten uppåt i profilerna och förklara varför vi ser en ökning i koldioxidavgång.



Figur 14. Koldioxidavgång från tre torvjordsprofiler från Örke (A, B och C) plottat mot uppmätta dielektriska mätvärden (registrerade med tredje mätningen uppifrån) på en Delta-T Devices Ltd Profile Probe PR1

Det har hittills visats att avgångshastighet korrelerar väl med grundvattennivå (Figur 12). Hade fuktmätaren varit kalibrerad för just våra torvjordsprofiler hade vi kanske kunnat visa en liknande korrelation mellan avgångshastighet och fukthalt. Dessvärre är fuktmätaren inte kalibrerad, och de enda måtten på fukthalten i profilerna är de av mätaren registrerade dielektriska mätvärdena. Figur 14 illustrerar hur avgångshastighet och fuktmätarens dielektriska mätvärden korrelerar. Som vi ser så finns inget direkt samband mellan avgångshastighet och de dielektriska mätvärdena, vilket fanns mellan avgångshastighet och grundvattennivå. Med detta illustreras hur fuktmätaren som använts under försöket endast har varit till för att kunna jämföra de relativa fukthalterna mellan olika grundvattennivåer (Figur 10.1-12.1, Bilaga 1), och inte för att direkt kunna mäta fukthalten i profilerna.

Slutsats

Uppvärmningstidens inverkan på noggrannheten hos Vaisala GMP343

Försöken visar att uppvärmningstiden har mycket liten inverkan på mätvärdena hos de två Vaisala GMP343-mätarna. Uppmätta medelvärden och standardavvikelser visar inget tydligt samband med uppvärmningstiden och de observerade skillnaderna är så pass små att de kan anses som försumbara i sammanhanget. Jag anser därför inte att uppvärmningstiden är något som behöver tas i akt när mätningar görs.

Luftflödets inverkan på absoluta mätvärden hos Vaisala GMP343

Försöken visar att båda mätarna registrerar en förändring i koldioxidkoncentration till följd av en förändring i flödes hastighet. Vaisala A registrerar en ökning på cirka 10 enheter (ppm) när flödet sänks från 500 ml/minut till 100 ml/minut medan Vaisala B istället registrerar en minskning på cirka 25 enheter (ppm) vid samma flödessänkning. Vaisala B reagerar även när flödet justeras på Vaisala A om båda mätarna är anslutna till samma system.

Min slutsats är att tillverkarens specificerade flödesberoende (0,3% av mätvärdet/ liter/minut) är gravt underskattat. Om en flödessänkning orsakad av ett urladdat batteri kommer att ge samma effekt som när flödet stryps med en klämma är svårt att säga. För att besvara detta skulle fler tester behöva göras. Jag anser dock att flödes hastigheten är något som borde beaktas när mätningar görs med en Vaisala GMP343. Mätarna är specificerade för flödes hastigheter upp emot 10 liter/minut (*Vaisala, 2004*), och eftersom jag observerat skillnader i mätvärden vid mycket små flödesförändringar så finns risk att större flödesförändringar har ännu större inverkan.

Undersökning av skillnaderna mellan Vaisala A och B

Försöken visar att det finns en skillnad mellan de två Vaisala GMP343-mätarna som används av forskningsgruppen *jordbearbetning och hydroteknik* på Institutionen för mark och miljö vid Sveriges Lantbruksuniversitet i Uppsala. Det finns både en observerad skillnad i mätvärde (Ekvation 4) och en observerad medelskillnad i lutning (5,8%). Dessa skillnader kan ej förklaras av den specificerade osäkerheten vilket antyder att minst en av mätarna är defekt, att mätarna kalibrerats undermåligt eller att tillverkarens angivna noggrannhet är överskattad. Om man som forskare jagar förändringar i försök på enstaka procent bör man överväga att använda mer påkostad utrustning, alternativt testa sina mätare ordentligt så att man är medveten om osäkerheten.

Jag anser att den observerade skillnaden inte är försumbar med hänsyn till hur mätarna används av forskningsgruppen. Mycket av den forskning som görs handlar om att mäta gasavgång från jordar som behandlats på olika sätt (olika grödor, gödsling etc.) och då jagar man ofta enstaka procent i skillnad. Eftersom tiden i fält ofta är begränsad så är det praktiskt att använda flera mätare samtidigt. Om dessa två mätare, Vaisala A och B, konsekvent används på olika platser med olik behandlade jordar så introduceras ett systematiskt fel på i medeltal 5,8%. När dessa mätvärden sedan används för att avgöra vilken odlingsform som är bäst med avseende på mängden koldioxidutsläpp så finns en överhängande risk att felaktiga slutsatser dras. När flera mätare av typen Vaisala GMP343 används samtidigt i ett försök är det därför viktigt att vara medveten om de inbördes skillnaderna mellan mätarna. Används endast ett fåtal mätare på ett fåtal olika mätpunkter är det möjligt att cirkulera mätarna mellan mätpunkterna och på så vis undvika ett systematiskt fel. Har man däremot större försök där olika mätare används av olika personer och på olika platser i

landet är detta omöjligt och de inbördes skillnaderna mellan mätarna måste kartläggas och kompenseras för i sammanställningen av data.

Mätning av koldioxidavgång från torvjordsprofiler vid olika grundvattendjup

Försöket visar att det finns ett linjärt positivt samband mellan koldioxidavgång och grundvattendjup i de tre torvjordsprofilerna från Örke. Efter jämförelse med liknande studier har det dock visat sig att sambandet inte är helt självklart. Teoretiskt sett borde koldioxidavgången öka med ökat grundvattendjup precis som observerat, eftersom tillgången på syre i jorden ökar. Men detta förutsätter att vi har en jordprofil som är någorlunda homogent omblandad. Har vi en ostörd profil, vilket man oftast har när man gör dessa studier, så spelar profilens sammansättning en minst lika stor roll som grundvattendjupet för koldioxidavgången.

Det optimala grundvattendjupet för en minimering av koldioxidavgång i de tre torvjordsprofilerna från Örke är 0 och -5 cm, men med dessa grundvattennivåer är det dessvärre omöjligt att utnyttja marken för modernt svenskt jordbruk. För att kunna odla på marken kommer grundvattennivån att behöva sänkas mer än så, och slutsatsen man kan dra är då att grundvattennivån bör ligga så högt som möjligt för att minimera koldioxidavgången. Som jag berättat i inledningen så innebär dock inte en minimering av koldioxidavgången nödvändigtvis en minimering av den totala växthusgasavgången, vilket visats i studien av *Jungkunst et al.* (2008). Därför krävs att man tar hänsyn till den totala växthusgasavgången samt till vad som är praktiskt möjligt när man avgör vilken grundvattennivå som är optimal med avseende på produktion och hållbarhet ur ett klimatperspektiv.

Slutligen har jag i mitt försök också visat att koldioxidavgången ökar när jordarna får stå och "torka" en längre tid från det att grundvattenytan sänkts, trots att vattenhalten i jorden hålls konstant. Ytterligare en veckas torkning för profilerna på grundvattennivån -40 cm medförde en markant ökning i koldioxidavgång, så mycket som cirka 50 % av den ökning i koldioxidavgång som blev när grundvattennivån sänktes från -30 till -40 cm. Förklaringen till den ökade avgången är troligtvis att de aeroba mikroberna behöver tid för att nå full aktivitet. Andra förklaringar skulle kunna vara att en veckas torkning har medfört förändringar i jordens porositet och/eller att små sprickor har bildats i profilerna. Ökad porositet och sprickor skulle kunna underlätta för gastransporten uppåt i profilerna och förklara varför vi ser en ökning i koldioxidavgång.

Källförteckning

Tryckta källor

Berglund, Ö., Berglund, K., Klemedtsson, L. (2010). A lysimeter study on the effect of temperature on CO₂ emission from cultivated peat soils. *Geoderma*, Volume: 154 Number: 3-4, p 211-218.

Chimner, R.A., Cooper, D.J. (2003). Influence of water table levels on CO₂ emissions in a Colorado subalpine fen: an in situ microcosm study. *Soil Biology & Biochemistry* 35 (2003) 345–351.

Delta-T Devices Ltd (2001). User manual for the profile probe type PR1, version 1.2.

Franzén, L.G. (2006). Increased decomposition of subsurface peat in Swedish raised bogs: are temperate peatlands still net sinks of carbon? *Mires and Peat* 1 (3): 1-16.

Jungkunst, H.F., Flessa, H., Scherber, C., Fiedler, S. (2008). Groundwater level controls CO₂, N₂O and CH₄ fluxes of three different hydromorphic soil types of a temperate forest ecosystem. *Soil Biology & Biochemistry*, 40 (2008). 2047–2054.

Kasimir-Klemedtsson, Å., Nilsson, M., Sundh, I., Svensson, B. (2001). Växthusgasflöden från myrar och organogena jordar. Naturvårdsverket, rapport 5132.

Renger, M. Wessolek, G., Schwarzel, K., Sauerbrey, R., Siewert, C. (2002). Aspects of peat conservation and water management. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 165 (4): 487-493.

Vaisala (2004). Vaisala CARBOCAP® Carbon Dioxide Probe GMP343 Users Guide M210514EN-A.

Elektroniska källor

International Panel on Climate Change (2007). Climate Change 2007: Synthesis Report [online]. Tillgänglig: http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_syr.pdf. [2010-04-16]

Swedish Environmental Protection Agency (2010). National Inventory Report 2010 Sweden [online]. Tillgänglig: http://www.naturvardsverket.se/upload/05_klimat_i_forandring/statistik/2008/SE_NIR_submission_2010_15_januari.pdf. [2010-04-16]

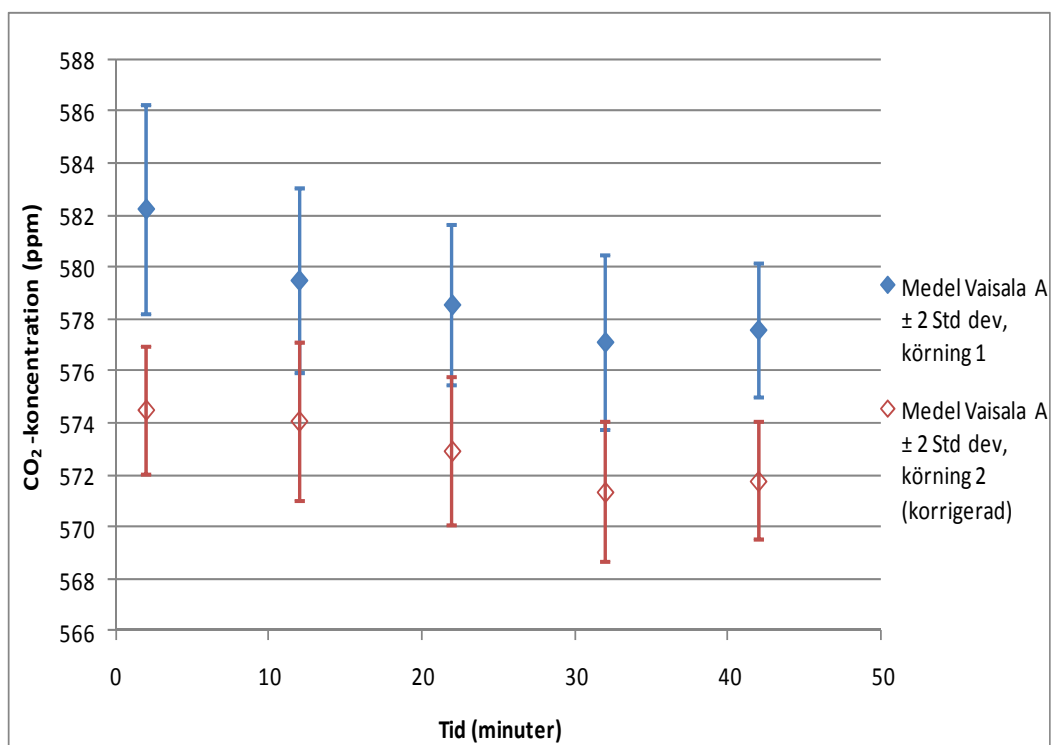
Vaisala (2009). GMP343 Datasheet in English [online]. Tillgänglig: http://www.vaisala.com/files/GMP343_Datasheet.pdf

Bilaga 1 - Tabeller och Figurer

Uppvärmningstidens inverkan på noggrannheten hos Vaisala GMP343

Tabell 1.1 Vaisala A - medelvärden och standardavvikelser för koldioxidkoncentration vid två separata körningar med olika tid från uppstart, körning 2 har korrigerats för lättare jämförelse i samma skala

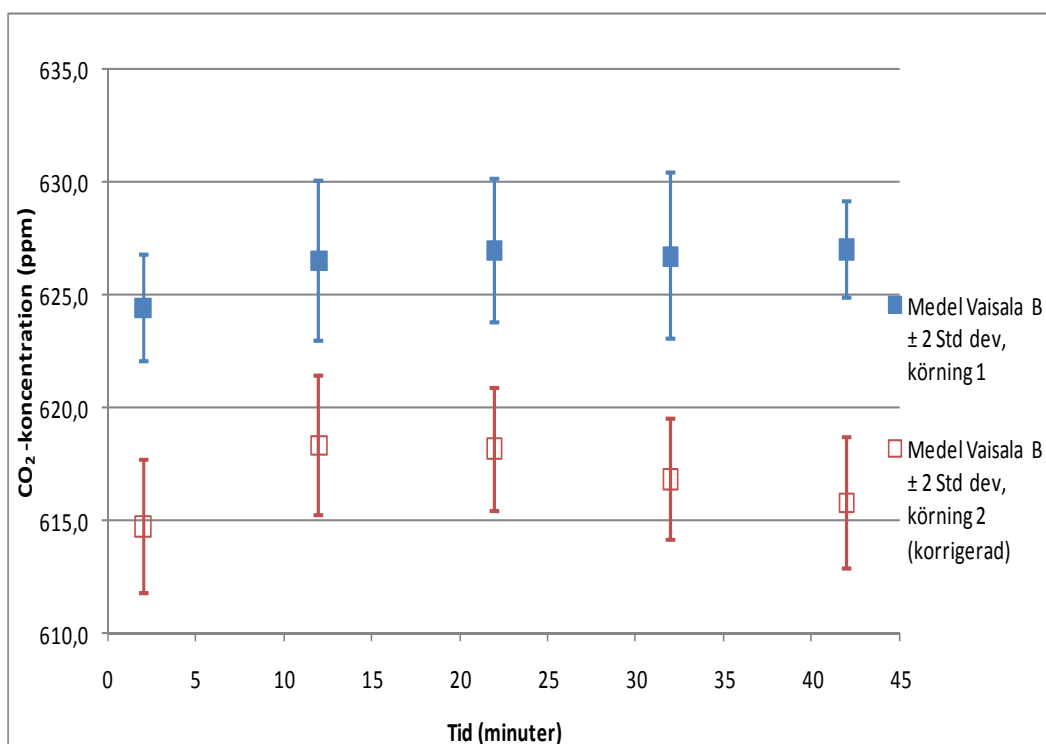
Tid från uppstart (min)	Medel Körning 1 (ppm)	Medel Körning 2 (korrektin +88 ppm) (ppm)	Std dev	
			Körning 1 (ppm)	Körning 2 (ppm)
2	582	574	2,01	1,22
12	579	574	1,77	1,54
22	579	573	1,54	1,41
32	577	571	1,68	1,34
42	578	572	1,31	1,14



Figur 1.1 Medelvärden och standardavvikelser (baserade på Tabell 1.1) för koldioxidkoncentration vid två separata körningar med olika tid från uppstart av en Vaisala GMP343 (A)

Tabell 2.1 Vaisala B - medelvärden och standardavvikelser för koldioxidkoncentration vid två separata körningar med olika tid från uppstart, körning 2 har korrigerats för lättare jämförelse i samma skala

Tid från uppstart (min)	Medel Körning 1 (ppm)	Medel Körning 2 (korrektion +88 ppm) (ppm)	Std dev Körning 1 (ppm)	Std dev Körning 2 (ppm)
2	624	615	1,19	1,47
12	627	618	1,77	1,54
22	627	618	1,60	1,36
32	627	617	1,85	1,35
42	627	616	1,05	1,46



Figur 2.1 Medelvärden och standardavvikelser (baserade på Tabell 2.1) för koldioxidkoncentration vid två separata körningar med olika tid från uppstart av en Vaisala GMP343 (B)

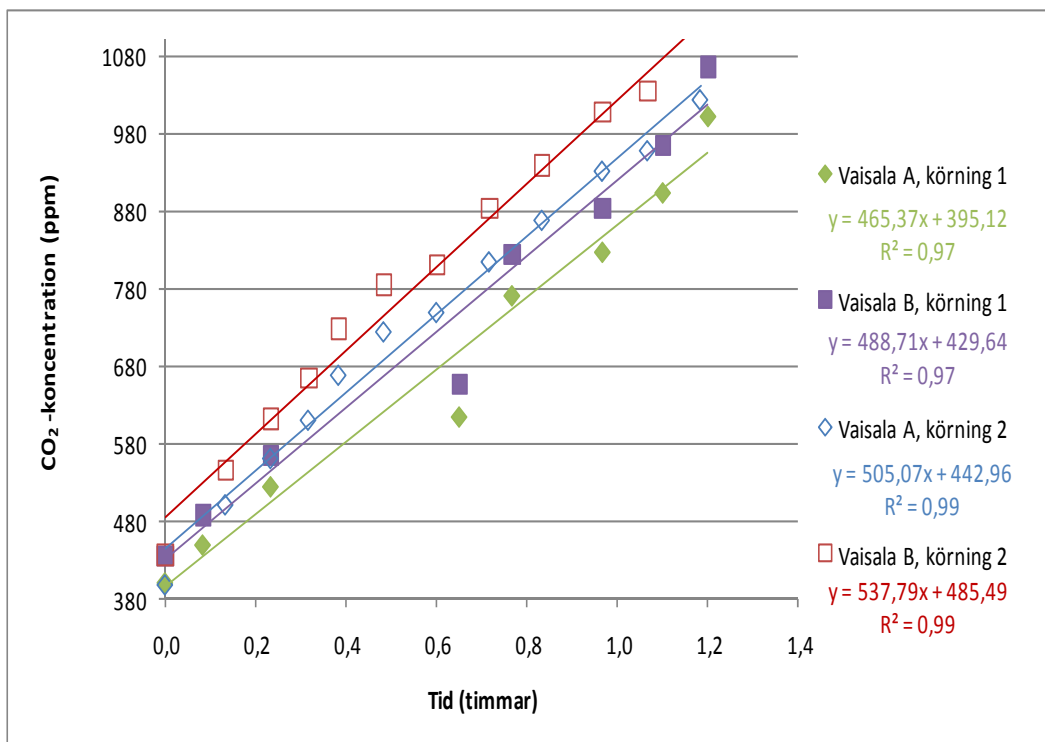
Undersökning av skillnaderna mellan Vaisala A och B

Tabell 3.1 Körning 1 - Medelvärden, standardavvikelser och RSD-värden för uppmätt koldioxidkoncentration vid simultana mätningar på samma luft med två stycken Vaisala GMP343 (A och B)

Tid (min från start)	Vaisala A			Vaisala B		
	Medel (ppm)	Std dev A (ppm)	RSD A (%)	Medel (ppm)	Std dev B (ppm)	RSD B (%)
0	400	1,14	0,29	435	1,22	0,28
5	449	0,99	0,22	487	1,78	0,36
14	524	0,77	0,15	565	1,37	0,24
39	614	1,08	0,18	657	1,20	0,18
46	770	1,46	0,19	823	1,62	0,20
58	826	2,56	0,31	884	2,25	0,25
66	903	2,12	0,24	964	2,79	0,29
72	1001	1,96	0,20	1065	2,06	0,19

Tabell 4.1 Körning 2 - Medelvärden, standardavvikelser och RSD-värden för uppmätt koldioxidkoncentration vid simultana mätningar på samma luft med två stycken Vaisala GMP343 (A och B)

Tid (min från start)	Vaisala A			Vaisala B		
	Medel (ppm)	Std dev A (ppm)	RSD A (%)	Medel (ppm)	Std dev B (ppm)	RSD B (%)
0	398	1,47	0,37	436	1,57	0,36
8	501	1,34	0,27	546	1,80	0,33
14	561	1,40	0,25	612	1,58	0,26
19	610	1,93	0,32	664	0,99	0,15
23	668	0,94	0,14	728	2,08	0,29
29	724	2,23	0,31	785	1,98	0,25
36	749	1,99	0,27	810	2,32	0,29
43	815	3,41	0,42	882	1,92	0,22
50	868	1,69	0,19	938	2,71	0,29
58	932	2,23	0,24	1007	2,55	0,25
64	958	3,49	0,36	1034	3,03	0,29
71	1024	2,49	0,24	1103	3,49	0,32



Figur 3.1 Uppmätta medelvärden för koldioxidkoncentration från två separata körningar (1 och 2) vid simultana mätningar på samma luft med två stycken Vaisala GMP343 (A och B) inom det kalibrerade intervallet 0-1000ppm

Mätning av koldioxidavgång från torvjordsprofiler vid olika grundvattendjup

Grundvattennivå 0 cm (vattenmättat)

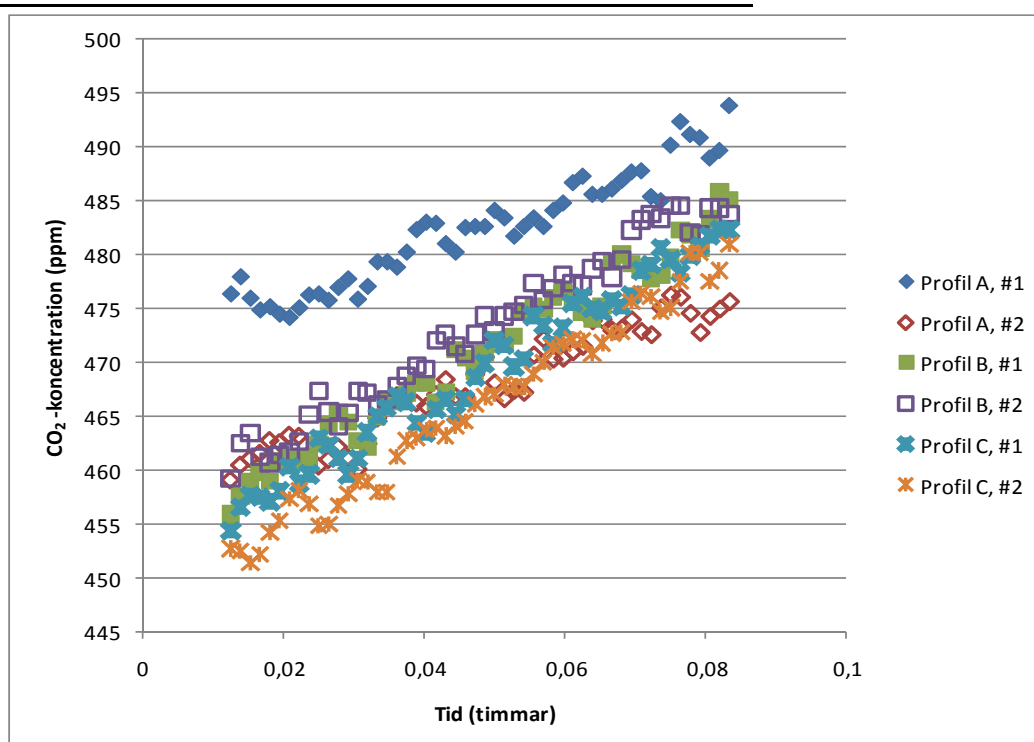
Tabell 5.1 Profilernas dielektriska egenskaper på olika djup uppmätt med Delta-T Moisture Meter HH2

Profil	Djup (cm)	mV	Djup (cm)	mV	Djup (cm)	mV	Djup (cm)	mV
A	4,0*	436	-6,0	438	-16,0	419	-26,0	448
B	4,0*	403	-6,0	434	-16,0	444	-26,0	463
C	2,3*	439	-7,7	413	-17,7	421	-27,7	450

*Positiva värden innebär att mätningen skett ovan torvjordens yta

Tabell 6.1 Lutningar, skärningspunkter, R²-värden samt uträknade avgångshastigheter

Profil, mätning	Lutning (ppm h ⁻¹)	Skärningspunkt	R ²	Avgångshast. (mg CO ₂ m ⁻² h ⁻¹)
Profil A, #1	239,05	470,89	0,91	-
Profil A, #2	236,18	456,67	0,92	-
Profil A, medel	237,61	463,78	0,92	125
Profil B, #1	373,34	452,82	0,97	-
Profil B, #2	362,45	455,51	0,97	-
Profil B, medel	367,90	454,16	0,97	193
Profil C, #1	377,46	450,99	0,97	-
Profil C, #2	404,09	446,50	0,98	-
Profil C, medel	390,77	448,75	0,98	207



Figur 4.1 Uppmätt CO₂-avgång från tre torvjordsprofiler från Örke (A, B och C) vid grundvattennivån 0 cm. Profilerna hade fått stå vattenmättade i ett par veckor innan mätningarna gjordes. Två mätningar per profil

Grundvattennivå -5 cm

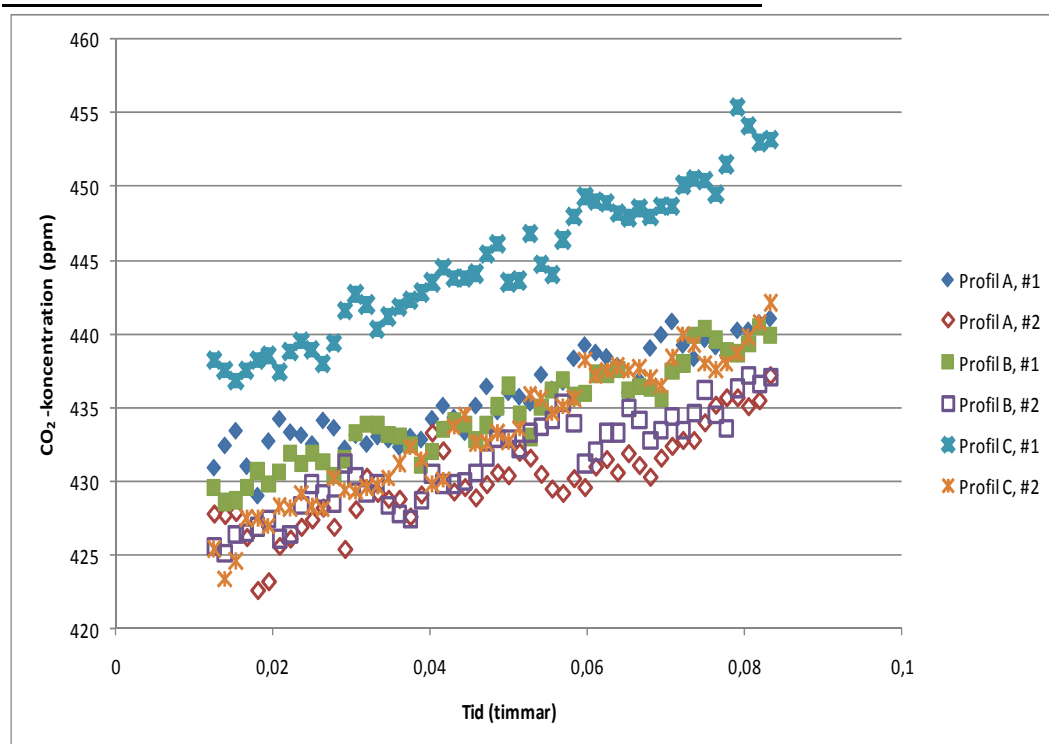
Tabell 7.1 Profilernas dielektriska egenskaper på olika djup uppmätt med Delta-T Moisture Meter HH2

Profil	Djup (cm)	mV	Djup (cm)	mV	Djup (cm)	mV	Djup (cm)	mV
A	4,0*	201	-6,0	433	-16,0	423	-26,0	439
B	4,0*	241	-6,0	430	-16,0	443	-26,0	455
C	2,3*	276	-7,7	403	-17,7	419	-27,7	442

*Positiva värden innebär att mätningen skett ovan torvjordens yta

Tabell 8.1 Lutningar, skärningspunkter, R²-värden samt uträknade avgångshastigheter

Profil, mätning	Lutning (ppm h ⁻¹)	Skärningspunkt	R ²	Avgångshast. (mg CO ₂ m ⁻² h ⁻¹)
Profil A, #1	135,18	429,17	0,86	-
Profil A, #2	129,42	423,89	0,75	-
Profil A, medel	132,30	426,53	0,81	78
Profil B, #1	149,34	427,37	0,91	-
Profil B, #2	146,19	424,33	0,87	-
Profil B, medel	147,77	425,85	0,89	86
Profil C, #1	229,13	433,76	0,95	-
Profil C, #2	215,47	423,00	0,95	-
Profil C, medel	222,30	428,38	0,95	129



Figur 5.1 Uppmätt CO₂-avgång från tre torvjordsprofiler från Örke (A, B och C) vid grundvattennivån -5 cm. Profilerna hade fått torka cirka 7 dagar från det att grundvattennivån sänktes från 0 till -5 cm. Två mätningar per profil

Grundvattennivå -20 cm

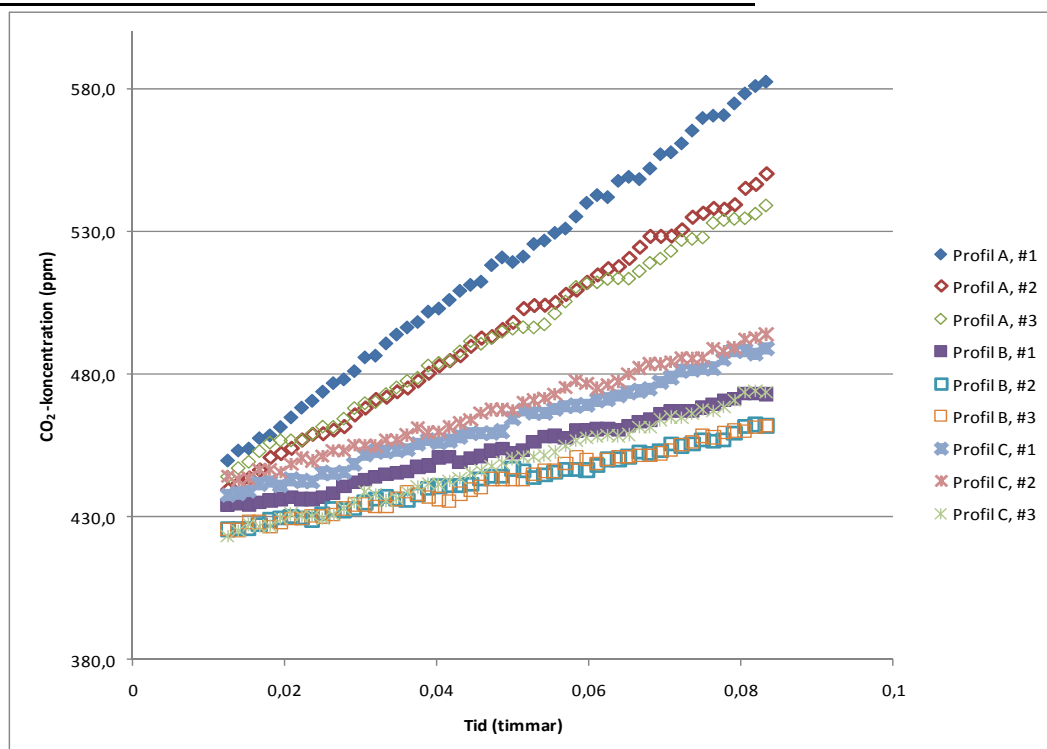
Tabell 9.1 Profilernas dielektriska egenskaper på olika djup uppmätt med Delta-T Moisture Meter HH2

Profil	Djup (cm)	mV	Djup (cm)	mV	Djup (cm)	mV	Djup (cm)	mV
A	4,8	129	-5,3	366	-15,3	410	-25,3	437
B	4,2	166	-5,9	365	-15,9	359	-25,9	447
C	2,7	200	-7,3	355	-17,3	407	-27,3	418

*Positiva värden innebär att mätningen skett ovan torvjordens yta

Tabell 10.1 Lutningar, skärningspunkter, R²-värden samt uträknade avgångshastigheter

Profil, mätning	Lutning (ppm h ⁻¹)	Skärningspunkt	R ²	Avgångshast. (mg CO ₂ m ⁻² h ⁻¹)
Profil A, #1	1868,16	427,06	1,00	-
Profil A, #2	1526,26	421,48	1,00	-
Profil A, #3	1327,85	429,29	1,00	-
Profil A, medel	1574,09	425,94	1,00	951
Profil B, #1	582,52	425,02	0,99	-
Profil B, #2	500,94	419,11	0,99	-
Profil B, #3	517,71	417,91	0,99	-
Profil B, medel	533,72	420,68	0,99	312
Profil C, #1	723,53	427,57	0,99	-
Profil C, #2	717,90	433,13	0,99	-
Profil C, #3	708,86	414,15	0,99	-
Profil C, medel	716,76	424,95	0,99	420



Figur 6.1 Uppmätt CO₂-avgång från tre torvjordsprofiler från Örke (A, B och C) vid grundvattennivån -20 cm. Profilerna hade fått torka cirka 7 dagar från det att grundvattennivån sänktes från -5 till -20 cm. Tre mätningar per profil

Grundvattennivå -30 cm

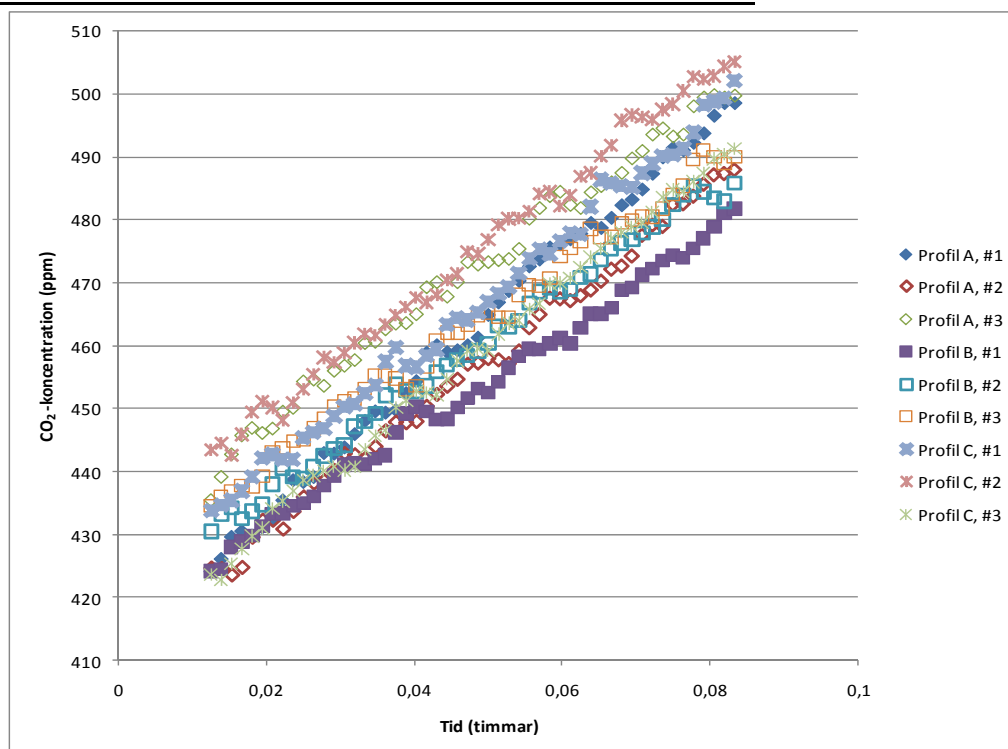
Tabell 11.1 Profilernas dielektriska egenskaper på olika djup uppmätt med Delta-T Moisture Meter HH2

Profil	Djup (cm)	mV	Djup (cm)	mV	Djup (cm)	mV	Djup (cm)	mV
A	4,8	118	-5,3	340	-15,3	369	-25,3	439
B	4,2	153	-5,9	349	-15,9	342	-25,9	394
C	2,7	189	-7,3	352	-17,3	341	-27,3	420

*Positiva värden innebär att mätningen skett ovan torvjordens yta

Tabell 12.1 Lutningar, skärningspunkter, R²-värden samt uträknade avgångshastigheter

Profil, mätning	Lutning (ppm h ⁻¹)	Skärningspunkt	R ²	Avgångshast. (mg CO ₂ m ⁻² h ⁻¹)
Profil A, #1	1039,38	412,61	1,00	-
Profil A, #2	908,52	412,59	0,99	-
Profil A, #3	860,53	430,33	0,99	-
Profil A, medel	936,14	418,51	0,99	570
Profil B, #1	772,26	415,91	0,99	-
Profil B, #2	804,99	420,79	0,99	-
Profil B, #3	792,28	425,42	0,99	-
Profil B, medel	789,84	420,71	0,99	466
Profil C, #1	940,17	421,24	0,99	-
Profil C, #2	903,88	431,10	0,99	-
Profil C, #3	954,74	412,69	1,00	-
Profil C, medel	932,93	421,68	1,00	550



Figur 7.1 Uppmätt CO₂-avgång från tre torvjordsprofiler från Örke (A, B och C) vid grundvattennivån -30 cm. Profilerna hade fått torka cirka 7 dagar från det att grundvattennivån sänktes från -20 till -30 cm. Tre mätningar per profil

Grundvattennivå -40 cm, mätning 1

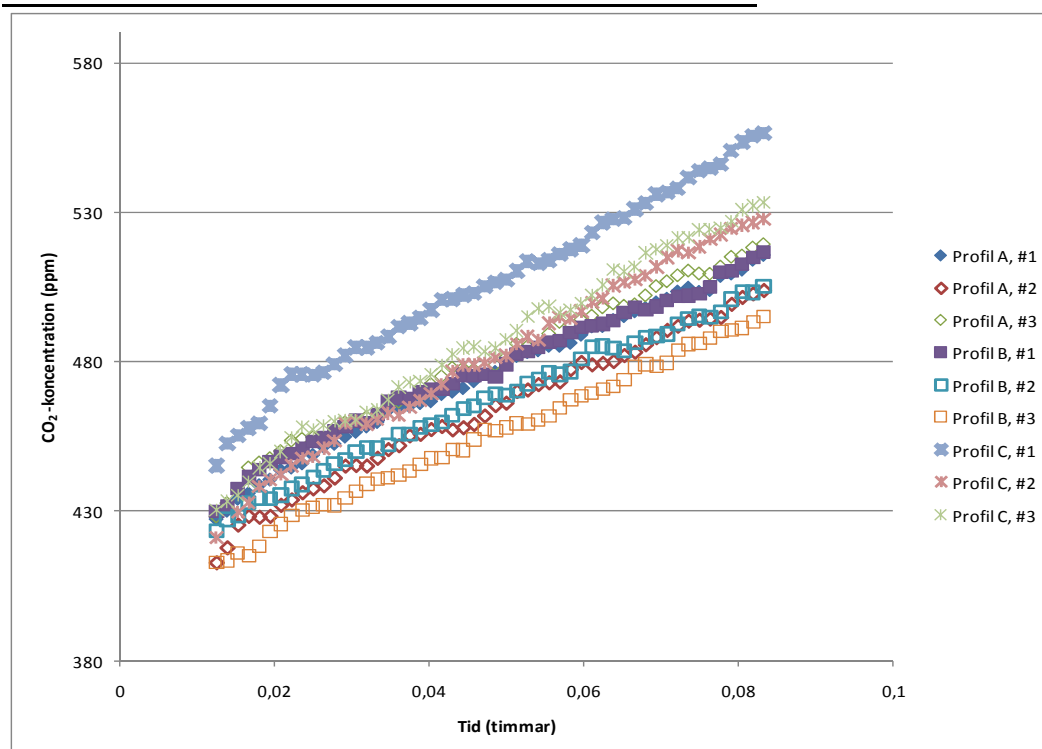
Tabell 13.1 Profilernas dielektriska egenskaper på olika djup uppmätt med Delta-T Moisture Meter HH2

Profil	Djup (cm)	mV	Djup (cm)	mV	Djup (cm)	mV	Djup (cm)	mV
A	4,8	113	-5,3	328	-15,3	356	-25,3	408
B	4,2	145	-5,9	341	-15,9	328	-25,9	335
C	2,7	187	-7,3	347	-17,3	330	-27,3	299

*Positiva värden innebär att mätningen skett ovan torvjordens yta

Tabell 14.1 Lutningar, skärningspunkter, R²-värden samt uträknade avgångshastigheter

Profil, mätning	Lutning (ppm h ⁻¹)	Skärningspunkt	R ²	Avgångshast. (mg CO ₂ m ⁻² h ⁻¹)
Profil A, #1	1159,67	419,44	0,99	-
Profil A, #2	1159,08	407,87	0,99	-
Profil A, #3	1161,52	423,95	0,99	-
Profil A, medel	1160,09	417,09	0,99	700
Profil B, #1	1092,89	424,62	0,99	-
Profil B, #2	1093,33	414,24	1,00	-
Profil B, #3	1136,98	400,75	1,00	-
Profil B, medel	1107,73	413,21	0,99	647
Profil C, #1	1406,54	438,27	0,99	-
Profil C, #2	1423,50	412,43	0,99	-
Profil C, #3	1389,59	419,41	0,99	-
Profil C, medel	1406,55	423,37	0,99	822



Figur 8.1 Uppmätt CO₂-avgång från tre torvjordsprofiler från Örke (A, B och C) vid grundvattennivån -40 cm. Profilerna hade fått torka cirka 9 dagar från det att grundvattennivån sänktes från -30 till -40 cm. Tre mätningar per profil

Grundvattennivå -40 cm, mätning 2 (7 dagar efter mätning 1)

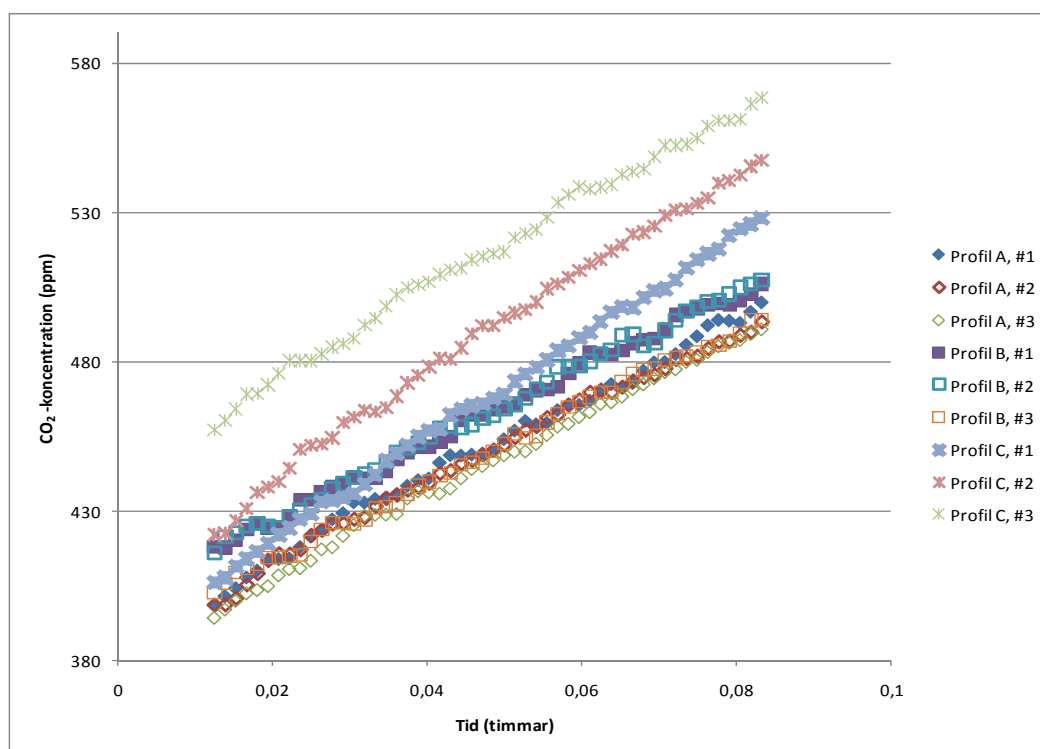
Tabell 15.1 Profilernas dielektriska egenskaper på olika djup uppmätt med Delta-T Moisture Meter HH2

Profil	Djup (cm)	mV	Djup (cm)	mV	Djup (cm)	mV	Djup (cm)	mV
A	4,8	119	-5,3	332	-15,3	362	-25,3	414
B	4,2	147	-5,9	344	-15,9	329	-25,9	332
C	2,7	190	-7,3	353	-17,3	334	-27,3	302

*Positiva värden innebär att mätningen skett ovan torvjordens yta

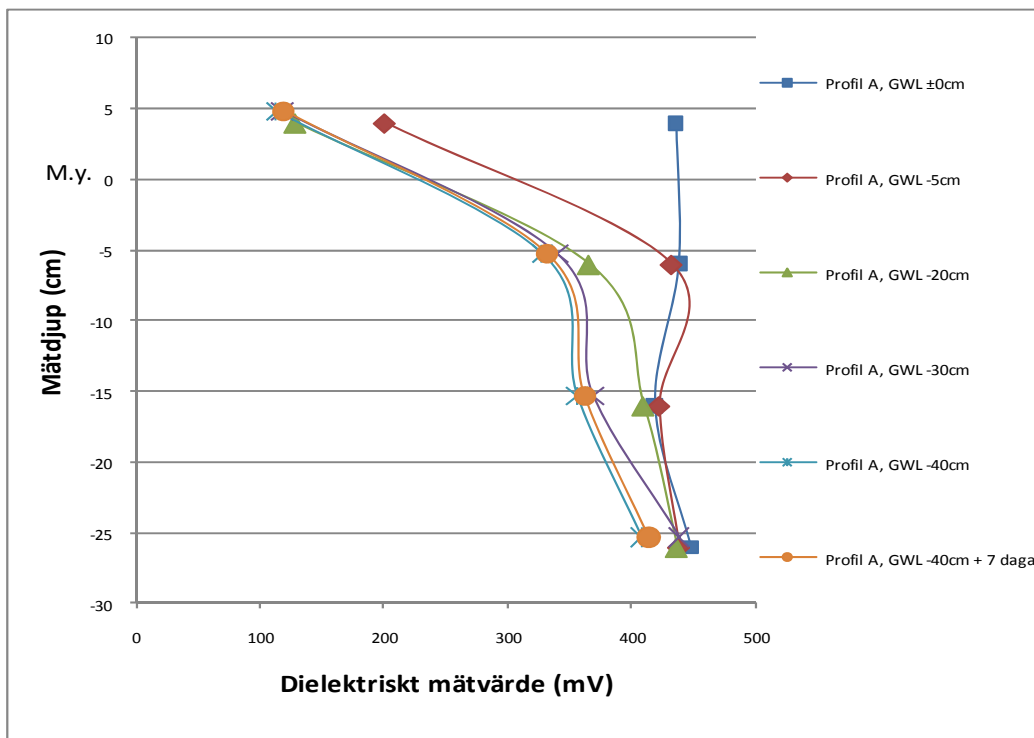
Tabell 16.1 Lutningar, skärningspunkter, R²-värden samt uträknade avgångshastigheter

Profil, mätning	Lutning (ppm h ⁻¹)	Skärningspunkt	R ²	Avgångshast. (mg CO ₂ m ⁻² h ⁻¹)
Profil A, #1	1349,19	386,54	0,99	-
Profil A, #2	1297,45	386,94	0,99	-
Profil A, #3	1337,56	381,11	1,00	-
Profil A, medel	1328,06	384,86	0,99	798
Profil B, #1	1262,42	401,68	1,00	-
Profil B, #2	1281,18	401,48	1,00	-
Profil B, #3	1281,07	388,10	1,00	-
Profil B, medel	1274,89	397,09	1,00	741
Profil C, #1	1703,81	386,06	1,00	-
Profil C, #2	1731,85	405,87	1,00	-
Profil C, #3	1508,55	443,75	0,99	-
Profil C, medel	1648,07	411,89	1,00	959

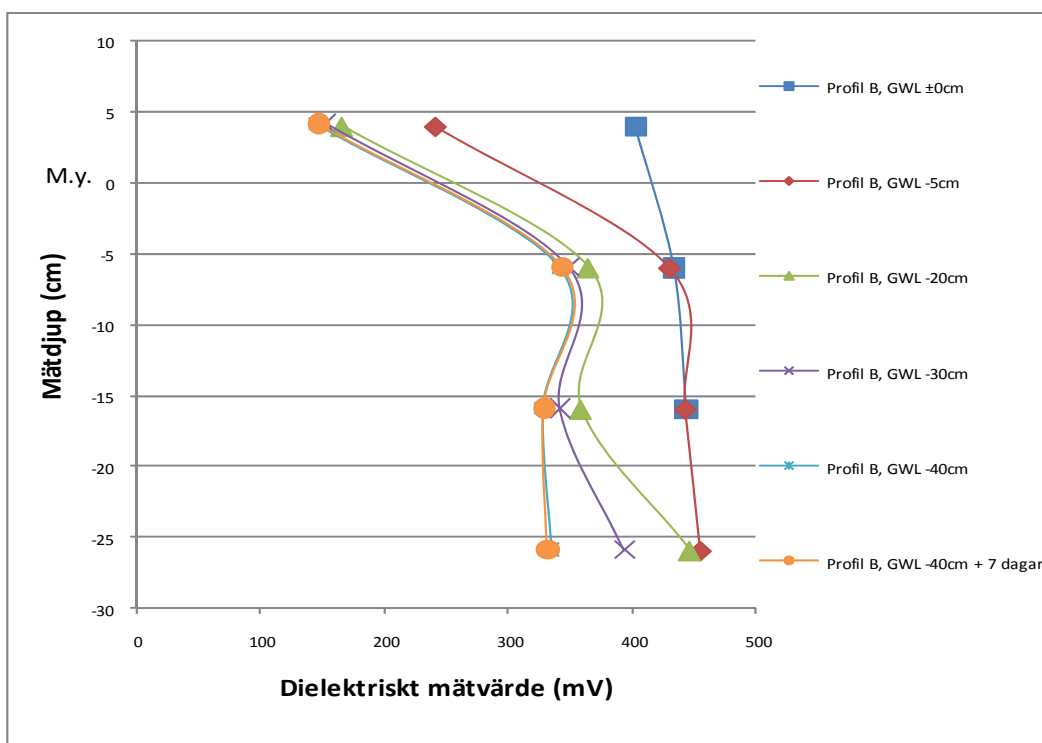


Figur 9.1 Uppmätt CO₂-avgång från tre torvjordsprofiler från Örke (A, B och C) vid grundvattennivån -40 cm. Profilerna hade fått torka cirka 16 dagar från det att grundvattennivån sänktes från -30 till -40 cm. Tre mätningar per profil

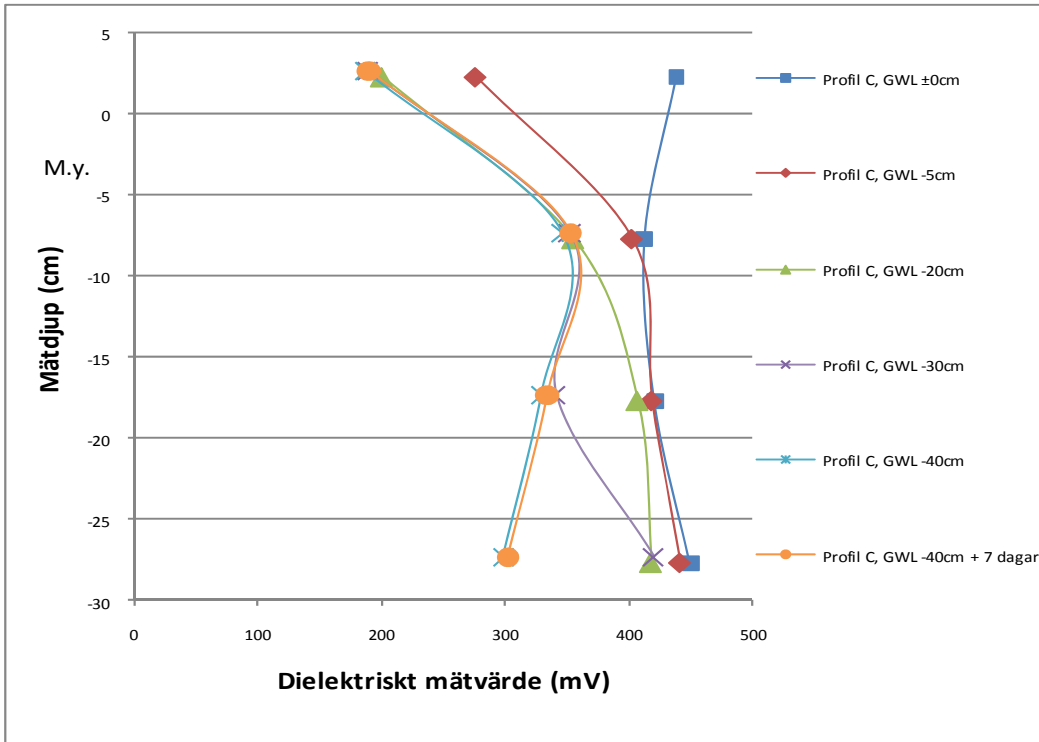
Uppmätta dielektriska egenskaper



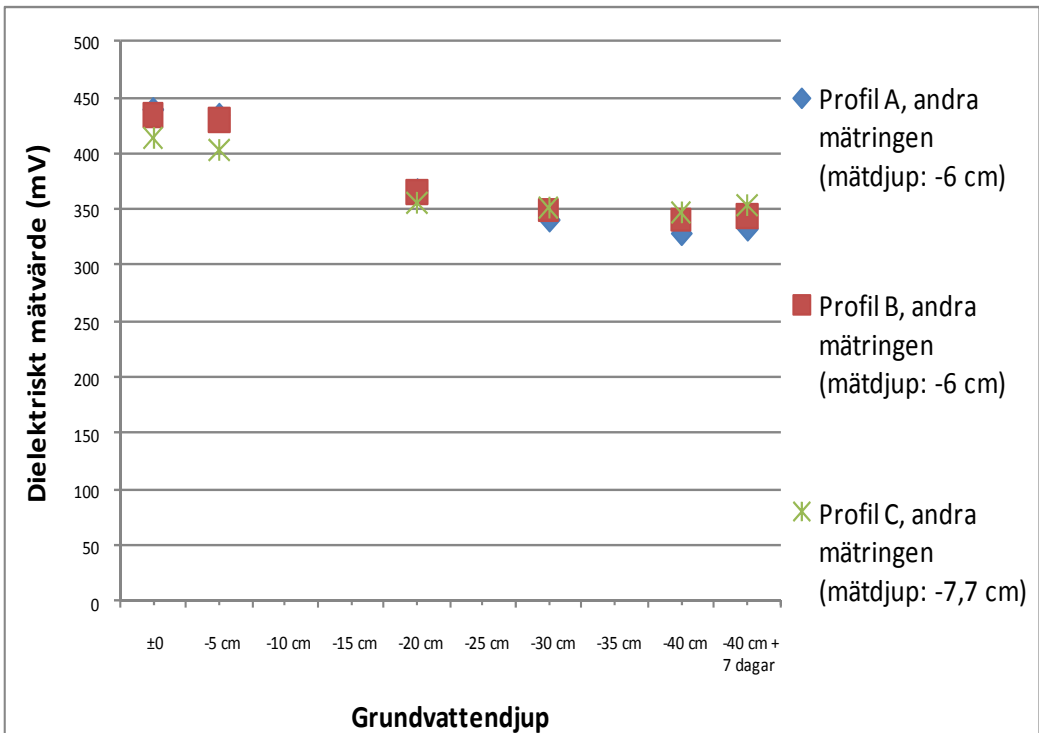
Figur 10.1 Dielektriska egenskaper på olika mätdjup i en torvjordsprofil från Örke (Profil A) vid olika grundvattennivåer, uppmätta med Delta-T Devices Ltd Moisture Meter HH2 och tillhörande Profile Probe PR1



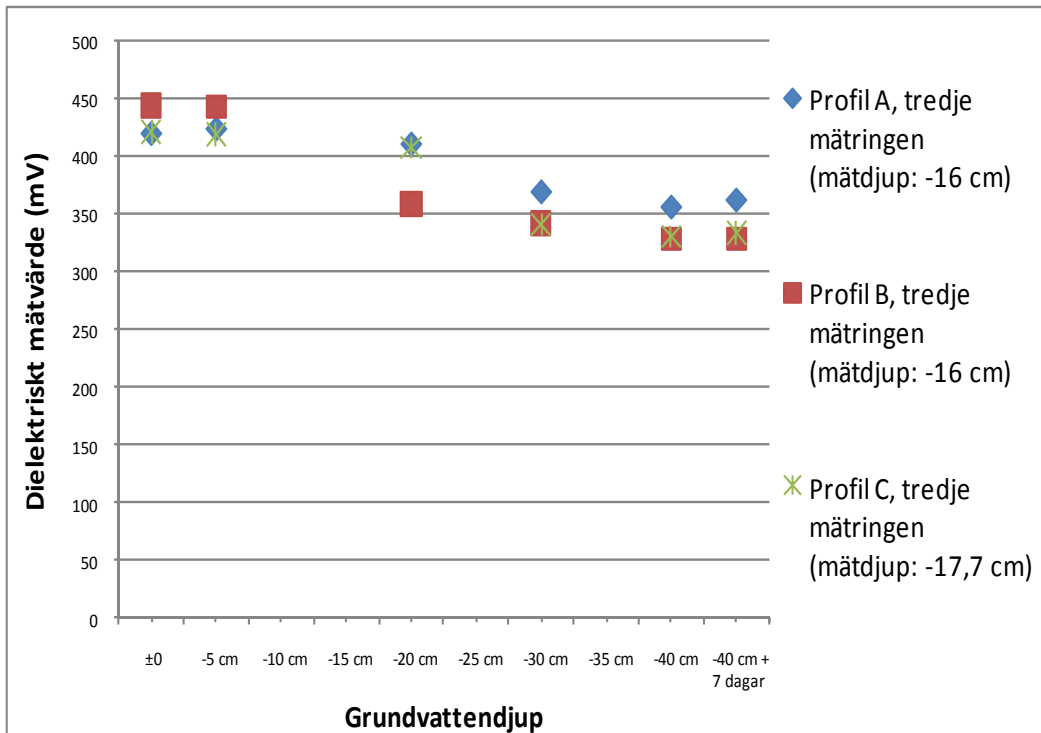
Figur 11.1 Dielektriska egenskaper på olika mätdjup i en torvjordsprofil från Örke (Profil B) vid olika grundvattennivåer, uppmätta med Delta-T Devices Ltd Moisture Meter HH2 och tillhörande Profile Probe PR1



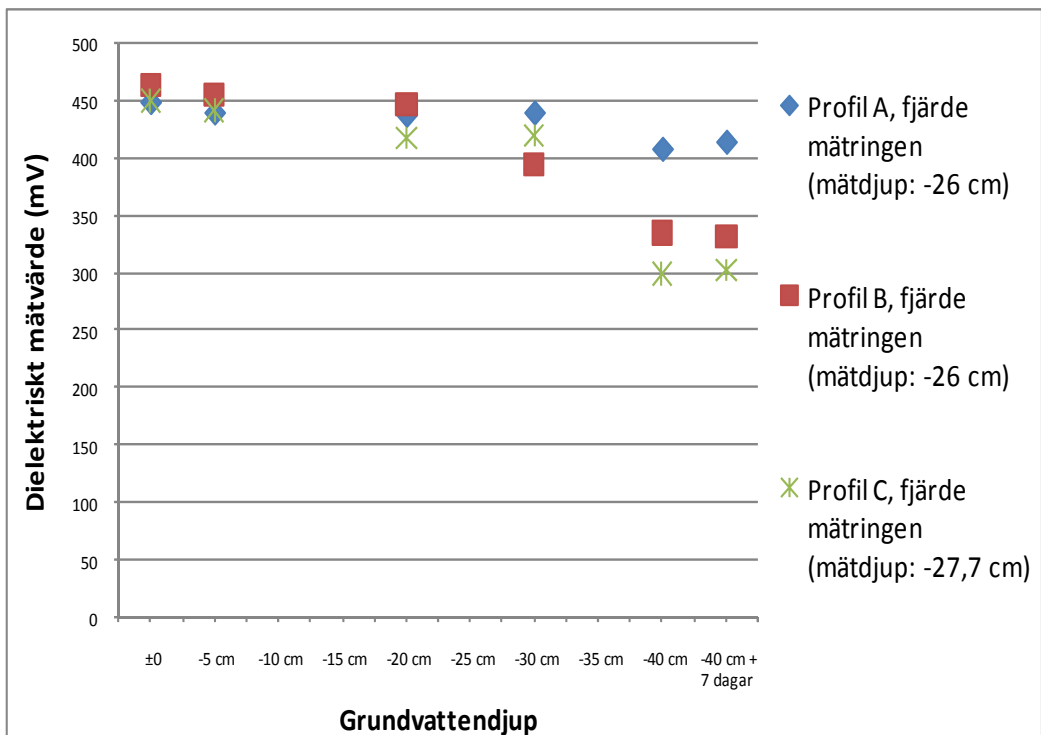
Figur 12.1 Dielektriska egenskaper på olika mätdjup i en torvjordsprofil från Örke (Profil C) vid olika grundvattennivåer, uppmätta med Delta-T Devices Ltd Moisture Meter HH2 och tillhörande Profile Probe PR1



Figur 13.1 Profilernas dielektriska egenskaper på olika grundvattendjup registrerade med andra mätningen uppifrån på en Delta-T Devices Ltd Profile Probe PR1, motsvarande 6-7,7cm under profilernas markyta



Figur 14.1 Profilernas dielektriska egenskaper på olika grundvattendjup registrerade med tredje mätningen uppifrån på en Delta-T Devices Ltd Profile Probe PR1, motsvarande 16-17,7cm under profilernas markyta



Figur 15.1 Profilernas dielektriska egenskaper på olika grundvattendjup registrerade med fjärde mätningen uppifrån på en Delta-T Devices Ltd Profile Probe PR1, motsvarande 26-27,7cm under profilernas markyta