

Examensarbete INES nr 462

# Koldioxidflöde från mark i sydiskånsk lövskog, en jämförelsestudie med avseende på dikeskvalitet



**Alexander Nordström**

2018

Institutionen för  
Naturgeografi och Ekosystemvetenskap  
Lunds Universitet  
Sölvegatan 12  
223 62 Lund



Alexander Nordström (2018). Koldioxidflöde från mark i sydsånsk lövskog, en jämförelsestudie med avseende på dikeskvalitet

Master thesis nr 462, 30 hp in Naturgeografi och Ekosystemanalys

Institution för Naturgeografi och Ekosystemvetenskap, Lunds Universitet

Nivå: Master of Science

Kursperiod: januari 2018 till juni 2018

Alla bilder och figurer är tagna och skapade av författaren och får ej användas utan författarens tillåtelse.

Omslagsbild: Buskstjärnblomma (*Stellaria holostea*) i Nyvångsskogen med lövskog i bakgrunden.

Ansvarsfriskrivning

Detta dokument beskriver det arbete som utförts inom ett studieprogram vid Lunds Universitet. Alla synpunkter och åsikter som uttrycks i denna är den ansvarige författarens, och inte nödvändigtvis institutionens.

# Koldioxidflöde från mark i sydkånsk lövskog, en jämförelsestudie med avseende på dikeskvalitet

---

Alexander Nordström

Masterexamenarbete, 30 högskolepoäng, i Naturgeografi och Ekosystemanalys

Handledare 1 Patrik Vestin  
Institutionen för Naturgeografi och Ekosystemanalys

Handledare 2 Janne Rinne  
Institutionen för Naturgeografi och Ekosystemanalys

Examinator:  
Martin Berggren  
Harry Lankreijer

## **Tillkännagivande**

Först och främst vill jag rikta ett varmt tack till min handledare Patrik Vestin för all din hjälp med beställningar och tillhandahållande av material och för att du ställt upp och svarat på frågor och bollat funderingar med mig under arbetets gång – lycka till med ditt nya jobb! Tack Janne Rinne för dina tankar och funderingar kring mina frågeställningar. Tack Martin Berggren för att du i tidigt skede av rapportskrivningen kom med värdefulla synpunkter på text och upplägg. Jag vill rikta ett stort och varmt tack till ALLA er på Högestad och Christinehofs fideikommiss AB. Tiden hos er har varit en av den bästa i mitt liv. Tack för att jag fick utföra mina provtagningar på era ägor och för att jag fick använda era kontorslokaler och ta del av all er fantastiska gästfrihet – Ni är bäst! Tack till stiftelsen Oscar och Lili Lamm för ert värdefulla ekonomiska bidrag som gjorde den här studien möjlig. Sist men inte minst vill jag rikta ett tack till min flickvän, Bettina Ekdahl, för din hjälp med statistiska analyser, korrekturläsning och för att du stöttat mig under hela arbetets gång – jag älskar dig!

## Sammanfattning

Att dika skogar till förmån för bland annat bättre tillväxt kan påverka och förändra faktorer som marktemperatur och markfuktighet vilka är de viktigaste faktorerna för markrespirationen och flödet av koldioxid till atmosfären. Markrespirationen svarar för huvuddelen av koldioxidflödet till atmosfären från ett markbundet ekosystem. Koldioxid är en viktig växthusgas och små förändringar av flödet kan skapa förändringar i kolcykler samt öka koncentrationen av koldioxid till atmosfären vilket kan komma att påverka klimatet.

I den här studien undersöktes skillnaden i koldioxidflöde under tidig vår (mars-maj) från marken mellan två skånska lövskogsområden med avseende på deras dikeskvalitet, Baldringe ängar (sämre dikeskvalitet) och Nyvångsskogen (god dikeskvalitet). Syftet var att svara på frågeställningen: Skiljer sig CO<sub>2</sub>-flöde från mark i nära angränsning till dike av sämre, respektive god kvalitet?

Högst medelflöde av koldioxid var det på Baldringe ängar (2,01  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) där även medeltemperaturen i marken var högst (8,19 °C) tillsammans med markfuktigheten (56,77 %). Grundvattenytan var lägst i området Nyvångsskogen (13,15 cm). Det oväntade högre flödet av koldioxid från marken i Baldringe ängar kan delvis förklaras av högre marktemperatur, dock förklarar inte marktemperaturen allt. Det faktum att markvegetationen här var högre, påverkar både rötters aktivitet samt det organiska materialet i jorden som i sin tur kan förklara det högre koldioxidflödet. Framtida undersökningar i ämnet bör undersöka fler bakomliggande faktorer som bland annat jordens sammansättning, tjockleken av humusskikt samt markvegetation och ytliga rötter i jorden.

## Innehållsförteckning

1. Introduktion .....	1
2. Bakgrund .....	4
2.1 Den markbundna biologiska kolcykeln.....	4
2.1.1 Autotrof respiration .....	4
2.1.2 Heterotrof markrespiration .....	4
2.1.3 Faktorer som påverkar markrespirationen.....	5
2.3 Dikning.....	7
3. Material & Metod.....	9
3.1 Områdesbeskrivning.....	9
3.2 Förberedelser på studieområdet .....	11
3.3 Provtagning .....	12
3.3.1 Mätningar och data.....	12
3.3.2 Koldioxid.....	13
3.3.3 Marktemperatur .....	14
3.3.4 Markfuktighet.....	14
3.3.5 Grundvattennivå.....	14
3.4 Datahantering .....	15
3.4.1 Beräkning av koldioxidflöde .....	15
3.4.2 Temperaturkänslighet, $Q_{10}$ .....	16
3.4.3 Markfuktighet – omvandling från millivolt (mV) till % .....	17
3.4.4 Statistiska analyser .....	17
3.4.4.1 Statistisk procedur .....	17
4. Resultat.....	19
4.2 Meteorologiska förutsättningar under provtagningsperioden (Mars-Maj).....	21
4.3 Koldioxidflöde .....	22
4.4 Marktemperatur och markfuktighet .....	23

4.4.1 Marktemperatur .....	23
4.4.2 Markfuktighet.....	23
4.5 Grundvattennivå .....	25
4.6 Relation mellan koldioxidflöde och marktemperatur, markfuktighet och grundvattennivån.....	27
4.6.1 Relation mellan koldioxidflöde och marktemperatur.....	27
4.6.2 Relation mellan koldioxidflöde och markfuktighet .....	28
4.6.3 Relation mellan koldioxidflöde och grundvattendjup.....	29
5. Diskussion .....	30
5.1 Felkällor .....	34
5.2 Koldioxidflöde .....	30
5.3 Marktemperatur, markfuktighet och grundvatten .....	31
5.3.1 Marktemperatur .....	31
5.3.2 Markfuktighet och grundvatten .....	31
5.4 Relation mellan koldioxidflöde och marktemperatur, markfuktighet och grundvattennivån.....	32
5.4.1 Relationen mellan koldioxidflöde och marktemperatur.....	32
5.4.2 Relationen mellan koldioxidflöde och markfuktighet och grundvatten.....	32
5.5 Avgränsningar .....	34
6. Slutsatser .....	36
7. Referenser.....	37

## 1. Introduktion

Skogarna lagrar genom fotosyntesen stora mängder kol från atmosfären och återger denna via respiration (Bonan 2008). Markrespiration bidrar till det huvudsakliga flödet av koldioxid till atmosfären och svarar för mellan 40–80% av respirationen från ett skogligt ekosystem (Jassal et al. 2005). Små förändringar av detta flöde kan medföra stora förändringar i markbundna kolcykler samt öka koncentrationen av koldioxid till atmosfären och därmed leda till förändringar av det framtida klimatet (Hashimoto et al. 2015). Det är därför viktigt att få en större inblick i vilka faktorer som påverkar markrespirationen (Han och Jin 2018). Temperaturen i marken och markfuktigheten är två av de viktigaste faktorerna som påverkar nedbrytningen i marken och därmed flödet av koldioxid från marken till atmosfären (Stres et al. 2007). Kolet i marken bryts ner av mikroorganismer och denna process är i områden med tempererat klimat överlag högre under vårmånaderna då träd och växter växer fortare och när syre-, temperatur- och markfuktsförhållande är mer gynnsamma för mikroorganismerna (Xu et al. 2016). Nedbrytningen är som störst vid fuktiga och varma förhållande, förutsatt att tillgången på syre är god i jordprofilen. Är det för blött eller för kallt hämmas nedbrytningsprocessen (Chapin et al. 2011).

Förändring av markförhållandena kan påverka faktorer som temperatur och fuktighet och kan samtidigt göra det organiska materialet mer tillgängligt för nedbrytarna, öka markrespirationen och därmed flödet av koldioxid till atmosfären (Xu et al. 2016; Shabaga et al. 2015).

Markrespiration har undersökts ur olika synvinklar ända sedan 1900-talets början (Schlesinger & Andrews 2000) och med tanke på skogens betydelse för den globala kolcykeln, är det viktigt ur klimat- och klimatförändringsperspektiv, att studera hur markrespirationen påverkas vid förändrade markförhållande i skogen (Wu et al. 2014). Att dika skogsmark kan innebära en förändring av förhållandena i marken med avseende på bland annat marktemperatur och markfuktighet (Minkkinen 1999).

En del studier har undersökt markrespiration med avseende på markfuktighet och dränering. Bland annat jämförde Arnold et al. (2004) dränerade och odränerade lövskogsområden i Småland med resultatet att koldioxidflödena var högre och grundvattennivåerna lägre på de dränerade områdena. Andra studier om gjorda mätningar av markrespiration i skånsk lövskog (bokskog) med avseende på dikesjämförelser finns inte, varför det här arbetet bidrar med en ny aspekt till ämnet. Resultaten det här arbetet erhåller kan bidra till en ökad helhetssyn inom



klimatforskning och ett ekosystems flöde av växthusgaser, vilket kan vara en kompletterande information vid utveckling av till exempel klimatmodeller (Morén & Lindroth 2000).

En sekundär praktisk och intressant anledning till att undersöka markrespiration i det här fallet, är att skogsförvaltningen på fastigheten Högestad & Christinehof inom en snar framtid är intresserade av att planera och utföra maskinell dikesrensning i skogarna på fastigheten (Holst, Muntligen. 2018), vilken kan komma att påverka och förändra förhållande som fukt och temperatur i marken (Skogskunskap, 2016). Områdesjämförelsen med avseende på dikeskvalitet är särskilt intressant då området med dike av god kvalitet avser att hålla lägre markfuktighet med en tänkt bättre tillväxt i skogen som flöjd (Magnusson, 2015). En annan framtidsvision skogsförvaltningen har är att av miljöhänsyn och stådortsanpassning plantera mer lövskog på fastigheten (Holst, 2017) varför lövskog valdes som studieområde.

I den här studien undersöks koldioxidflöden från mark under tidig vår (mars-april) i närheten till diken mellan två lövskogsområden (Nyvångsskogen och Baldringe ängar) på fastigheten Högestad & Christinehof i Ystads kommun, sydöstra Skåne. De två områdena skiljer sig åt med avseende på deras dikeskvalitet, nyligen (2017) manuellt rensat dike i Nyvångsskogen, vilket erhåller bättre avrinning, och orensat dike sen 1980-talet på Baldringe ängar vilket erhåller sämre avrinning.

Syftet med den här studien är att svara på frågeställningen; *Skiljer sig CO<sub>2</sub>-flöde från mark i nära angränsning till dike av sämre, respektive god kvalitet?*

Följande delfrågor är kopplade till syftet och ska i samband med arbetet besvaras och analyseras:

F1: Skiljer sig flödena av koldioxid från marken mellan de båda områdena?

F2: Skiljer sig marktemperaturen mellan de båda områdena?

F3: Skiljer sig markfuktigheten mellan de båda områdena?

F4: Skiljer sig grundvattennivåerna mellan de båda områdena?

F5: Hur ser relationen ut mellan koldioxid och marktemperatur; markfuktighet; och grundvattennivån

Med att undersöka ovanstående testar jag i det här arbetet följande tre hypoteser:

H1: Markrespirationen är högre i området med god dikeskvalitet där också markfuktigheten är lägre och marktemperaturen högre.

H2: Marktemperaturen är negativt korrelerad med markfuktigheten. Vid hög markfuktighet är marktemperaturen lägre.

H3: Grundvattennivån är positivt korrelerad med markfuktigheten, hög markfuktighet vid ytligt grundvatten.

## 2. Bakgrund

### 2.1 Den markbundna biologiska kolcykeln

Den markbundna ekologiska kolcykeln är en balans mellan andelen kol som tas upp i form av fotosyntes och andelen kol som avges genom respiration (Paul 2007). Respirationen delas in i två kategorier, heterotrof och autotrof respiration och äger rum både i och ovanför marken (Chapin et al. 1990). Av den totala ekosystemrespirationen (autotrof + heterotrof respiration) i ett skogligt ekosystem, är markrespirationen oftast den som är mest framträdande (Paul 2007). Markrespiration är en kombination av växternas rotrespiration och den mikrobiella nedbrytningen av organiskt material i jorden, heterotrof markrespiration (Morén & Lindroth 2000).

#### 2.1.1 Autotrof respiration

Växterna står för primärproduktionen och binder kol från atmosfären (Paul 2007). Genom fotosyntesen använder de oorganiska föreningar och energi (solljus), vatten och koldioxid, för att tillverka organiska föreningar vilka används för växtens tillväxt (Paul 2007). En del av det kol som växterna lagrar återförs till atmosfären genom växternas respiration, även kallad autotrof respiration (Paul 2007). Den här processen sker både ovan och under jord. Växten tar upp syre genom bland annat klyvöppningar (stomata) på bladet, vilken sen används av cellerna i växten varpå koldioxid bildas och släpps ut till atmosfären genom klyvöppningen igen. I marken är syret lagrat i små porer och växterna tar upp det med rothåren på rötterna. Koldioxid bildas i samband med att cellerna i växtens rötter tillgodogör syret och avges igenom rothåren till jorden till följd av diffusion (Chapin et al. 2011). Det kol som inte avges åter till atmosfären används av växterna för att tillverka ny biomassa, rotutsöndring för symbios med mykorrhizasvampar och kvävefixerande bakterier samt utsöndring av andra organiska föreningar för symbios med pollinerare och som skydd för höga temperaturer och växtätare (Paul 2007). Det är svårt att skilja på växternas och mikroorganismers bidrag till markrespirationen då de reagerar olika vid förändring av faktorer som temperatur och markfuktighet (Buchmann 2000). Det är också svårt att avgöra hur stor del av den totala markrespirationen som utgörs av rotrespiration (Hanson et al. 2000) men för tempererade lövskogar brukar det variera mellan 27–71% under växtperioden (Chapin et al. 2011).

#### 2.1.2 Heterotrof markrespiration

Nedbrytarna delas huvudsakligen in i två huvudgrupper; bakterier och svampar (Chapin et al 2011). Dessa grupper verkar vid både syrefattiga och syrerika förhållande. Första processen i nedbrytningen innebär att större fragment av organiskt material som löv och andra växtmaterial

bryts ner av större marklevande djur som maskar och andra insekter (Chapin et al 2011). Dessa kan delas in i gruppen faunarespiratorer. På grund av svårighetsgraden att mäta, är det okänt hur stor del denna grupp bidrar till den totala markrespirationen (Jiang et al. 2016). Biofysiska processer som frysning och upptining av vatten i jorden hjälper också till att sönderdela det grova organiska materialet i mindre partiklar och gör de mer lättåtkomliga för mikroorganismerna. Vid frysning dör också många mikroorganismer som vid upptining under våren och högre temperaturer utgör näring för nya nedbrytare (Chapin et al 2011). Dessa partiklar består av komplexa organiska föreningar och bryts ner genom biokemisk omvandling till enklare organiska och oorganiska föreningar, vilka tas upp av svampar och bakterier. Det är enbart en liten del av det organiska materialet i jorden som glukos, amino- och fettsyror som direkt kan tas upp av mikroberna genom cellmembran och cellväggar. Den största delen av det organiska materialet i jorden som kolhydrater, stärkelse, lignin och proteiner består av betydligt större molekyler och kan inte penetrera mikrobernas cellväggar och membran direkt, utan måste stegvis brytas ner till mindre molekyler för att kunna tillgodogöras av mikroberna (Chapin et al 2011).

Svampar sprider tunna celltrådar (hyfer) i stora nätverk (mycel) mellan organiskt material i jorden vilka utsöndrar enzymer som bryter ner det organiska materialet i jorden som svampen sedan kan ta upp. Vidare bryts dessa molekyler ner intracellulärt med hjälp av enzymer i svampens mitokondrie (Chapin et al 2011). Bakterier använder för arterna specifika enzym för att bryta ner det organiska materialet. De små organiska föreningarna tas upp av bakterien och fortsätter att intracellulärt brytas ner i cytosolen. Genom cellandning bryter mikroberna ner kolmolekylerna och använder energin till olika processer som till exempel näringstransporter. Det är många biokemiska processer som är inblandade vid omsättning av kol där koldioxid blir en biprodukt (Chapin et al 2011).

### *2.1.3 Faktorer som påverkar markrespirationen*

I regel påverkas nedbrytningen i marken och därmed markrespirationen och bildandet av koldioxid av tre primära faktorer; Biofysiska förutsättningar, kvalitetn och kvantiteten på det organiska materialet samt mikroorganismerna. Det organiska materialet utgör födan för mikroorganismerna (Chapin et al. 2011).

### *2.1.4 Organiskt material och biofysiska förutsättningar*

Som nämnt ovan är den kemiska sammansättningen och storleken det organiska materialet och partiklar avgörande huruvida mikroberna bryter ner och tillgodogör sig materialet (Wigley och

Schimel 2010). Vegetationen i ett område består med det organiska materialet och är födan för nedbrytarna och kvaliteten på denna är avgörande för nedbrytningshastigheten. Organiskt material med högt proteininnehåll som till exempel löv är lättare att bryta ner och bryts ner fortare i förhållande till till exempel granbarr, vilka innehåller höga halter av lignin och tar längre tid att bryta ner (Chapin et al. 2011). Jordarnas karaktär påverkar också nedbrytningshastigheten. Jordar med höga halter av lerpartiklar bidrar till att jorden kan hålla mer vatten, skapa sämre syreförhållande för nedbrytarna och på så vis har dessa jordar en lägre nedbrytningshastighet och jorden innehåller mer organiskt material (Brady och Wiel 2002).

Under normala tryckförhållande och vid de flesta jordsammansättningar transporteras koldioxid i jorden genom diffusion mellan luftfyllda porer i jordlagren (Campbell 1985). Diffusionsgradienten är beroende på skillnaden i koldioxid mellan lagren i jorden (Campbell 1985), men också av materialet i jordlagren, hur lagren är uppdelade (humusskikt och mineraljord), hur tjocka de är samt markfuktighet (Paul 2007). Underförstått påverkas också koldioxidflödet från jorden av yttre faktorer som regn och kraftiga vindbyar vid markytan, vilka påverkar markfuktighet och tryckförändringar (Paul 2007).

#### *2.1.5 Miljö: temperatur*

Temperatur påverkar de kemiska, fysikaliska och biologiska processerna i jorden, däribland den molekylära diffusionen (Paul 2007) och markrespirationen (Chapin et al. 2011). Vid temperaturer under noll grader är ämnesomsättningen låg hos mikroberna i marken (Brady och Wiel 2002) men det finns observationer av aktivitet vid låga temperaturer (-10°C) (Brady och Wiel 2002). En temperaturökning innebär generellt en exponentiell ökning av mikroorganismernas aktivitet och därav markrespirationen. Aktiviteten skiljer sig emellertid mellan olika arter av mikroorganismer, vilka lever under olika förutsättningar (Chapin et al. 2011). En högre temperatur påverkar markrespirationen på många olika sätt. Genom evaporation och transpiration blir markfuktigheten lägre. I torra jordar som torkar ut ytterligare på grund av högre temperatur blir nedbrytningen lägre. Men, om jordarna är väldigt fuktiga och där förhållandena är anaeroba för mikroorganismerna, kan förhållandena förändras till att bli aeroba vid högre temperatur och evaporation och nedbrytningen kan därför öka och därmed flödet av koldioxid (Chapin et al. 2011).

Temperaturresponsen eller känsligheten beskrivs med begreppet  $Q_{10}$ , och är ett mått på hur mycket nedbrytningen ökar vid en temperaturökning av 10°C i jorden. Om  $Q_{10}=2$ , innebär det att vid en temperaturökning av 10°C, sker nedbrytningen (och flödet av koldioxid) dubbelt så

snabbt (Meyer et al. 2017; Lloyd och Taylor 1994). Normalt brukar  $Q_{10}$ -värdena variera mellan 2–3, men i kallare och tempererade bland- och lövskogar kan värdena variera mellan 4–6 (Davidson et al. 1998).

#### *2.1.6 Miljö: markfuktighet*

Beroende på hur hög markfuktigheten är i marken, är det olika arter av mikroorganismer som är aktiva i jorden. Jordar med lägre markfuktighet har i regel en lägre aktivitet av mikroorganismer eftersom de vatten som omsluter partiklar av det organiska materialet i jorden är begränsat och därmed gör det svårare för mikroorganismerna att ta upp näringsämnen och substrat genom diffusion. Låg markfuktighet skulle också innebära att vattenhalten i mikrobernas celler påverkas men även mikrobernas förmåga att förflytta sig mellan porerna i jordtexturen (Stres et al. 2007). Skulle marken ha en för hög fuktighet skulle det innebära att syreförhållande blev låga att nedbrytningen hämmas och därmed också markrespirationen (Chapin et al. 2011).

Sammanfattningsvis ska det understrykas att den mikrobiologiska aktiviteten i jorden, och därmed markrespirationen, beror på samspelet mellan många olika faktorer. När jorden är torr bestäms respirationen och den mikrobiella aktiviteten av vattenhalten i jorden, men vid omvända förhållande är det temperaturen som blir den begränsade faktorn (Paul 2007).

### **2.3 Dikning**

Att dränera marker som myrar och torvmark till förmån för skogsplantering har visat sig påverka flödet och ackumuleringen av viktiga växthusgaser som bland annat koldioxid (Minkinen 1999). Beroende på förutsättningarna för den mark som dräneras, ser flödesförändringen olika ut för olika gaser, men generellt minskar flödet av metan och flödet av koldioxid ökar från dränerad mark (Paavilainen och Päivänen 1995).

Att dika skogsmark innebär att man ändrar markförhållandena genom att sänka grundvattennivån och därmed öka produktionen och tillväxten i skog (Arnold et al 2004), men kan också vara en anledning till att stabilisera skogsvägar och underlätta för avverkningsmaskiner att ta sig fram i skogen vid avverkning utan att göra svåra körskador i marken (Gustafsson 2001).

Syrefattiga förhållande i jorden bidrar till lägre nedbrytningshastighet och markrespiration och jordens näringsämnen blir svåråtkomliga för träden (Paul 2007). Att underhålla eller gräva nya diken och att sänka grundvattennivån skapar en djupare, mer porös och syrerik jordprofil, högre nedbrytning av det organiska materialet och mer näringsämnen blir tillgängliga för träden

(Arnold et al. 2004). Dock kan dikning och dikesrensning innebära att de våtmarker som finns i skogen försvinner eller blir kraftigt störda vilket i sin tur innebär att biodiversiteten i skogen rubbas, och att växt- och djurarter som är beroende av markvatten och jordens höga vattenhalt kan komma att störas och i vissa fall försvinna (Froster 2016).

### **3. Material & Metod**

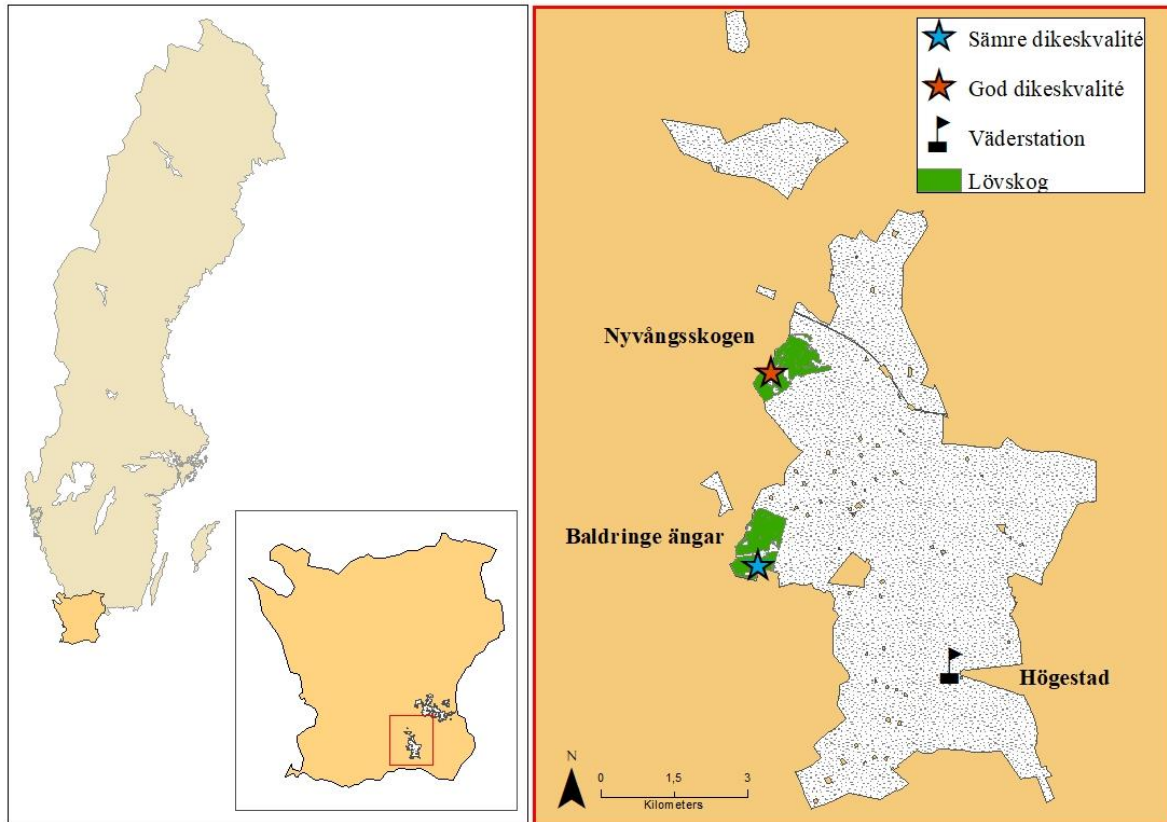
#### **3.1 Områdesbeskrivning**

Den här studien omfattar två stycken studieområden, båda lokaliserade i lövskog på mark tillhörande Högestad och Christinehofs fideikommiss, Ystads kommun, Skåne i södra Sverige (Holst 2008) (figur 1). Landskapet karakteriseras av branta backar, dalar och sänkor. Båda studieområdena ligger i nordvästra delen av Ystads kommun och ligger på gränsen mellan två horstar, Söderåsen och Romelåsen. Dessa två horstar är gamla tektoniska former som resultat av jordbävningar i Törnquistzonen, vilken löper genom Skåne från nordväst till sydöst (Bengtsson-Lindsjö 2012). Berggrunden består av gnejser och angränsar till sedimentära bergarter av kalksten, sandstenar och lerskiffer. Jordlagren på områdena är mycket tjocka och har en mäktighet mellan 60 och 100 meter. Jordarna varierar i området och består bland annat av lätta jordar av sand, grus och isälvsavlagringar tillsammans med lerjordar av morängrov-, moränfinlera, glacial grovlera och svämsediment som deponerats i slutet av istiden (Åkerman 2012). Klimatet i Ystads kommun är präglat av närheten till havet och är därför generellt mildt. För mars är medeltemperaturen 5 °C och i maj är medeltemperaturen 11 °C. Mars, april och maj har medelnederbörd strax under 40mm. Dessa värden varierar dock mellan åren (Bengtsson-Lindsjö 2012).

Jordbruksfastigheten Högestad och Christinehof fideikommiss är med sina 13 000 hektar Skånes största jordbruksfastighet. Marken är uppdelad i två områden, en kring Högestad utanför Ystad, och en kring Christinehof i Tomelilla kommun. Totala arealen av produktiv skogsmark är 6970 hektar där trädslagen på Högestad domineras av lövträd (Holst 2007).

Det är i dagsläget okänt hur många skogsdiken det finns på fastigheten. Merparten av dikena rensades senast under början av 1980-talet med undantag för ett område i Nyvångsskogen, där enstaka dike av naturvårdssynpunkt rensats för hand 2017, varpå de håller bättre kvalitet och dränerar bättre än övriga diken i skogen (Holst muntligen).



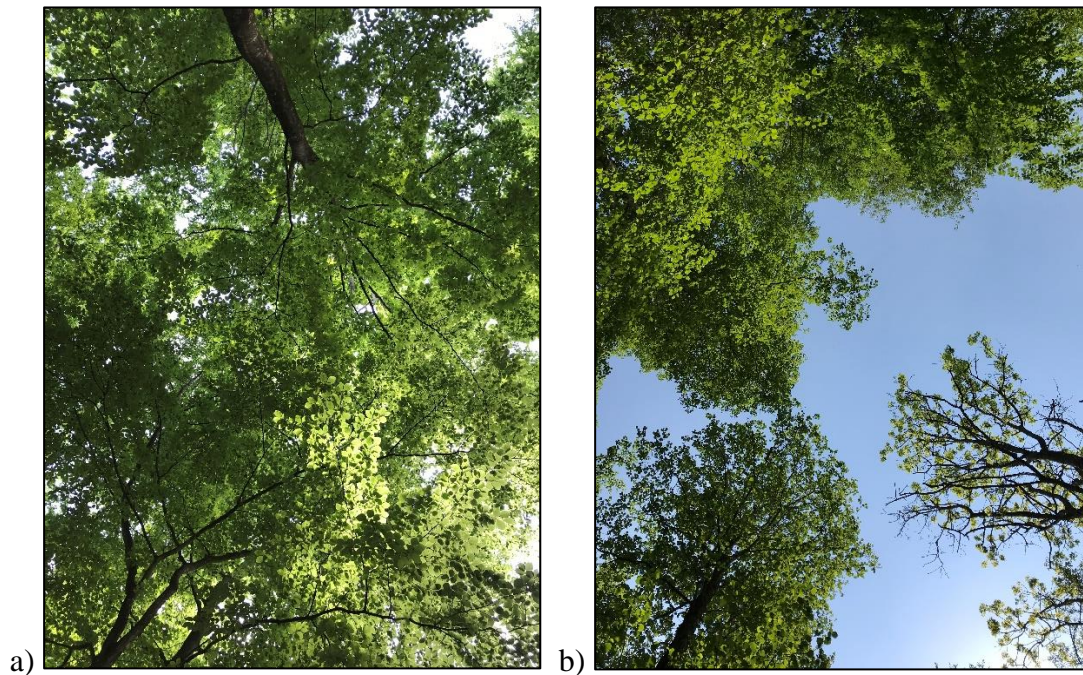


**Figur 1.** Studieområdena Baldringe ängar (sämre dikeskvalité) och Nyvångsskogen (god dikeskvalité) ligger i två lövskogsområden i Ystads kommun, sydöstra Skåne, södra Sverige.

De två områdena är belägna kring området på Högestad, Ystads kommun och är från början gamla inägo- och betade utmarker (Emanuelsson 2002) men är idag bokskogar av fuktig låg- och högrttyp (Andersson et al. 2000). Första området som håller sämre dikeskvalité, Baldringe ängar, är beläget (N55° 31.6031', E13° 48.8480') (figur 1). Skogsområdets area är 8,89 hektar, innehåller en volym på 1095 skogskubikmeter (m<sup>3</sup>sk), vilket ger cirka 123 m<sup>3</sup>sk/ha. Området består till 80 % av bok (*Fagus Sylvatica*), 10 % av vårtbjörk (*Betula pendula*) och 10 % klibbal (*Alnus Glutinosa*). Beståndet är 45 år gammalt och har bonitetsindex F32, det vill säga bokträden beräknas vara 32 meter höga vid en ålder av 100 år. Beståndet har ett bonitetsvärde på 8,5 (Holst muntligen). Bonitet är ett mått på skogsmarkens bördighet och uttrycks i skogskubikmeter per hektar och år (m<sup>3</sup>sk/ha/år) (Magnusson 2015).

Det andra området med god dikeskvalité (N 55° 33.7469', E 13° 49.0284) (figur 1), ett skogsområde i Nyvångsskogen på 7,58 hektar, är beläget cirka 2,7 kilometer norr om Baldringe ängar. Området består till 90% av bok, 5% av vårtbjörk och 5% klibbal. Beståndet är sju år äldre än beståndet på Baldringe ängar, alltså 52 år gammalt. Den totala volymen är 2924m<sup>3</sup>sk och en volym per hektar av 386 m<sup>3</sup>sk. Bonitetsindex är F30 och boniteten är 8,1 m<sup>3</sup>sk/ha/år (Holst muntligen). Träden på de båda områdena växer på fuktiga brunjordar och består av

organiskt material och mineraljord (Ek et al. 1990). Förnan förmultnar här tämligen fort och skiktet av gamla löv är förhållandevis tunt (Andersson et al. 2000). Fält- och bottenskiktet består av bland av arter som vitsippa (*Anemone nemorosa*), harsyra (*Oxalis acetosella*), gulplister (*Lamium galeobdolon*) samt ramlök (*Allium ursinum*), gullpudra (*Chrysosplenium alternifolium*) och skogsbingel (*Mercurialis perennis*) (Andersson et al. 2000). Täcket av trädkronor på området med sämre dikeskvalitet var glesare jämfört med området med god dikeskvalitet (figur 2)



**Figur 2.** Täckning av trädkronor var mycket högre på området med a) god dikeskvalitet i jämförelse med b) området med sämre dikeskvalitet.

### 3.2 Förberedelser på studieområdet

Studieområde valdes ut genom att två intressanta testytor med liknande karaktär, Baldringe ängar och Nyvångsskogen, föreslogs av ansvariga för skogsförvaltningen på fastigheten.

För att mätpunkterna på de båda områdena skulle bli likvärdigt utplacerade, drogs två parallella transekter vinkelrätt mot diket på vardera området. Startpunkt för transekten valdes slumpvis ut genom ett stenkast bakom axeln varpå den andra transekten placerades ut till höger om denna. Avståndet mellan transekterna var femton meter. För att hinna mäta samtliga punkter under en och samma dag, användes totalt sextio mätpunkter i studien med trettio punkter på vardera området och femton i varje transekt. Med start från transektens början och med tre meters mellanrum i transektens riktning, utplacerades aluminiumramar i form av cylindriska ventilationsmuffar (d=160mm, h=100mm). Aluminiumramarna installerades för att kunna

isolera kammararen mot jorden vid mätningarna (Pumpanen et al. 2004). Ramarna installerades till hälften (fem centimeter) genom humusskiktet för att undvika störning av flödet utifrån och för att minimera underskattning av det totala koldioxidflödet och för att inte förstöra ytliga rötter i jorden (Jovani-Sancho et al. 2017; Menyailo et al. 2013; Pumpanen et al. 2004). I de fall där hinder stod i vägen, placerades ramen i första hand en halv meter till vänster om transekten. Var detta alternativ ej möjligt, installerades ramen en halv meter till höger om transekten. Var inte heller detta möjligt placerades ramen en halv meter framåt i transektens riktning. Väl installerade i marken fick ramarna sitta kvar under hela mätperioden (mars-maj). Installation av ramarna skedde den 25:e februari 2018.

Trettio centimeter norr om varje ram installerades perforerade plaströr av PVC (d=19mm, h=1000mm) för att kunna mäta grundvattendjupet. Djupet på vilket plaströren installerades varierade med förutsättningarna i jorden. När plaströren var installerade fick de vara på plats under hela mätperioden (mars-maj). Installation av plaströr skedde den 1:a mars 2018.

### 3.3 Provtagning

#### 3.3.1 Mätningar och data

Under perioden 22:a mars till och med 11:e maj genomfördes totalt tolv mätningar på de båda områdena. Mätningarna försökte att genomföras med fyra dagars mellanrum men anpassades till dagar utan nederbörd eller ingen kraftig blåst. I april utfördes flest mätningar (sju stycken), i mars tre och i maj två stycken (tabell 1).

**Tabell 1.** Datum för mätningar i mars, april och maj. I mars genomfördes tre mätningar, sju i april och två i maj.

Mars	April	Maj
22	4	7
26	9	11
30	13	
	16	
	18	
	20	
	23	
3	7	2

Daglig nederbörd och lufttemperatur lästes av manuellt på fastighetens huvudkontor, Högestad (N 55° 30.5305', E 13° 52.6323') med hjälp av en cylinderformad regnmätare i plast och elektronisk termometer.

Mätningar av markrespiration skedde under perioden 18-03-22 till 18-05-11. Mätningarna gjordes under dagar med uppehåll och svag vind. De startade på morgonen (07:00-08:00) och avslutades under sen eftermiddag (17:00-18:00). För att inte mäta samma punkt vid samma

tidpunkt slumpades startpunkten (1–30 och 31–60) fram vid varje mättillfälle genom en slumpgenerator i Microsoft Excel 2016 (Microsoft, USA) (tabell 2). Vid absolut första mättillfället påbörjades mätningarna på området med sämre dikeskvalitet, för att sedan skiftas med varandra under mätperiodens gång.

**Tabell 2.** Slumpade startpunkter i de båda områdena under mätperioden 22 mars-11 maj.

Datum	Sämre dikeskvalité	God dikeskvalité
22-mar	1	31
26-mar	6	49
30-mar	2	55
04-apr	30	60
09-apr	28	50
13-apr	7	44
16-apr	5	38
18-apr	15	59
20-apr	19	60
23-apr	1	33
07-maj	22	40
11-maj	1	31

### 3.3.2 Koldioxid

Flödet av koldioxid från marken mättes med en portabel infraröd gasanalysator (EGM-5, PP-systems, Amesbury, USA) ihop med en transparent markrespirationskammare (CPY-5, PP-systems, Amesbury, USA) som lades mot den förinstallerade aluminiumkragen. Kammaren hade en volym på 2,6 L. Tillsammans med aluminiumramen var totala volymen 3,6 L. För att hålla tätt mot aluminiumramen, fästes en självhäftande list av skumgummi mot kammaren. En liten plastfläkt fanns installerad i kammaren för att få luften att cirkulera i utrymmet. För att stänga ute solljus samt minimera risken för temperaturökning i kammaren under mätningar i direkt solljus, täcktes kammaren med ett skydd i aluminiumplastfolie. Gasanalysatorn (EGM-5) har en noggrannhetsfaktor <1% inom gränserna för den kalibrerade koldioxidmätningen, till exempel 0–1000 ppm ( $\mu\text{mol mol}^{-1}$ ) (PP-Systems 2016).

Kammaren luftades och ”sköljdes” i 30 sekunder innan den försiktigt placerades på aluminiumramen (figur 3a). Koncentrationsutvecklingen av koldioxid registrerades tio sekunder efter ”sköljningen”, varpå en fördröjning skedde med tio sekunder innan flödesmätningar startade. I samband med koldioxidmätning uppmättes även lufttemperaturen ( $^{\circ}\text{C}$ ) och tryck (hPa) inuti kammaren. En mätning varade under 180 sekunder och under mätsekvensen registrerades koldioxidutvecklingen i kammaren med ett intervall av en sekund (PP-Systems 2016) (figur 3b). Mätsekvensen 180 sekunder valdes då detta var rekommenderat av Pumpanen et al. 2004.



**Figur 3.** Efter att ha "sköljt" kammaren genom att hålla den i luften 30 sekunder, a) placerades den försiktigt på aluminiumramen varpå en b) mätning gjordes under 180 sekunder.

### 3.3.3 Marktemperatur

En digital portabel sticktermometer (Rubicson, art.nr. 48605) användes för att mäta marktemperaturen i direkt anslutning till aluminiumkragen på ett djup av fem centimeter direkt efter avslutad koldioxidmätning (Nögu 2014). Samma termometer användes för att mäta lufttemperaturen utanför kammaren.

### 3.3.4 Markfuktighet

Markfuktigheten uppmättes med en portabel markfuktighetsgivare (HH2 Moisture Meter, Delta-T devices, Cambridge, England). För att minimalt störa ekosystemet i aluminiumkragen, trycktes givaren ner sex centimeter i humusskikt och mineraljord på fyra olika punkter kring aluminiumkragen och lästes av i millivolt (mV) direkt efter avslutad koldioxidmätning, varpå ett medelvärde beräknades för varje mätpunkt (Nögu 2014).

### 3.3.5 Grundvattennivå

Vid varje mättillfälle uppmättes grundvattnets position i förhållande till markytan i de perforerade plaströren med ett elektroniskt lod (EL-WA Water Level Meter, type PLS box, Herning, Denmark) (figur 4).



**Figur 4.** I förekomst av grundvatten lästes nivån av på mätskalan på det elektroniska lodet.

### 3.4 Datahantering

#### 3.4.1 Beräkning av koldioxidflöde

Originaldata av CO<sub>2</sub>-koncentrationen från gasanalysatorn gavs i ppm ( $\mu\text{mol mol}^{-1}$ ). För att kunna räkna ut koldioxidflödet behövde ppm omvandlas till  $\mu\text{mol m}^{-3}$  med hjälp av ideala gaslagen:

$$C = C_{\text{raw}} \frac{P_{\text{air}}}{R(T+273,15)} \quad (1)$$

Där C är koncentrationen koldioxid [ $\mu\text{mol m}^{-3}$ ],  $C_{\text{raw}}$  är originaldata av koldioxid [ $\mu\text{mol mol}^{-1}$ ],  $P_{\text{air}}$  är lufttrycket [Pa], R är universella gaskonstanten [ $8,3145 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$ ] och T är lufttemperaturen i kammaren [ $^{\circ}\text{C}$ ].

Koldioxidflödena räknades ut med hjälp av ekvationen:

$$F = k \frac{V}{A} \quad (2)$$

Där F är flödet [ $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ] k är förändringen av CO<sub>2</sub>-koncentrationen över tid [ $\mu\text{mol m}^{-3} \text{ s}^{-1}$ ], V är volymen i kammare [ $\text{m}^3$ ] och A är arean för aluminiumramen [ $\text{m}^2$ ] (Nögu 2014).

Genom att placera en sluten kammare på marken sker en förändring av koldioxidkoncentrationen i kammaren över tid. Till sist är kammaren ”mättad” med koldioxid och gradienten och flödeskurvan planar ut (Davidson et al. 2002). Att ta med och beräkna flödet över hela perioden kan medföra att flödet underskattas (Pumpanen et al. 2004).

Koldioxidutvecklingen i kammaren kan bli påverkat och stört, framför allt i början av mätningen då tryckförändringar eller andra moment kan uppstå i samband med att kammaren placeras eller läggs till rätta på aluminiumkragen (Davidson et al 2002). För att inte få en felaktig uppskattning av koldioxidflödet från marken, ska de första sekunderna av mätdata exkluderas från mätserien. Mätserien får dock inte vara för kort då det kan ge upphov till underskattning av koldioxidflödet. En kort mätserie är känsligare för små störningar och löper större risk att underskatta koldioxidflödet (Kutzbach et al. 2007; Koskinen et al. 2014), men en lång mätserie skulle inkludera utjämningen av kurvan då kammaren är ”mättad” med koldioxid, och underskatta flödet (Koskinen et al. 2014).

Vid tidigare studier har författare använt sig av linjära regressionsmodeller vid uppskattandet av koldioxidflödet från marken. Genom att hålla tidsserien kort vid mättillfället anser många författare (bl.a. Pumpanen et al. 2003) att koldioxidutbytet mellan atmosfären och marken över tid kan anses följa en linjär trend (Kutzbach et al. 2007). Kutzbach et al. 2007 visade dock att en exponentiell regressionsmodell visar på en noggrannare uppskattning av flödet och är att föredra vid uppskattning av koldioxidflöde från marken. På grund av de korta mätserierna i den här studien, har en linjär regressionsmodell använts vid analys av resultaten.

För att inte underskatta koldioxidflödet på grund av olika störningar (tryckskillnader i början av mätningen och utjämning av kurvan i slutet), och för att se under vilken tidsperiod flödet var som högst, jämfördes flödet för olika tidsintervall: 30, 50, 70 och 90 sekunder. Det utfördes längs hela mätserien, 180 sekunder i femsekundersintervall med start i första värdepunkten, för samtliga mätpunkter (1–60). Korrelationskoefficienten,  $R^2$ , lutningskoefficienten,  $k$  och flödet räknades ut för de olika tidsintervallen. Medelvärde för korrelationskoefficienter och flöde räknades ut för samtliga mätpunkter (1–60) med hänsyn tagen till ovanstående kriterier. Medelvärde för respektive område kunde därefter räknas ut.

$R^2$ -värdena testades för att se om de var statistiskt signifikanta. De beräknade flödesvärdena accepterades enbart i de fall där den linjära regressionen och flödesutvecklingen var statistiskt större än noll (alltså, då regressionens lutning var statistiskt skild från noll). För att detta skulle vara sant, skulle  $R^2$ -värdet vara större än 0,130 för 30 sekunder; 0,078 för 50 sekunder; 0,055 för 70 sekunder och 0,043 för 90 sekunder ( $p < 0,05$ ,  $N=30,50,70,90$ ) (Weinberg och Abramovitz 2002). Uppfylldes dessa krav analyserades resultaten vidare.

#### 3.4.2 Temperaturkänslighet, $Q_{10}$

Temperaturkänsligheten,  $Q_{10}$  räknades ut med hjälp av ekvationen:

$$Q_{10} = e^{10\beta} \quad (3)$$

där  $\beta$  är lutningskoefficienten för den exponentiella kurvan mellan koldioxidflöde och marktemperaturen (Lloyd och Taylor 1994).

#### 3.4.3 Markfuktighet – omvandling från millivolt (mV) till %

Markfuktighetsgivarens enhet var omvandlad från millivolt (mV) till volumetrisk vattenhalt i procent genom en ekvation från manualen till fuktighetsgivaren ThetaProbe ML2x (Delta-T Devices Ltd 1999). Omvandlingen gjordes med hänsyn till vilken jordtyp som var representerad vid mättillfället, vilken i samtliga fall var organisk.

Ekvationen som användes för omvandling var:

$$\theta_{organisk} = 0,05x - 5 \quad (4)$$

där  $\theta$  är markfuktigheten i procent och där  $x$  är markfuktigheten i millivolt (mV).

#### 3.4.4 Statistiska analyser

Till hjälp att utföra alla statistiska tester användes programmet SPSS (IBM SPSS Statistics version 25), (SPSS Inc., Chicago, IL, USA).

För att testa om datan var normalfördelad, användes ett Shapiro-Wilks test (Wardlaw 2000). Om signifikansvärdet var större än ( $>$ ) 0,05 var data normalfördelad. Lika varians mellan grupperna testades med Levéne's test. Om signifikansvärdet var större än ( $>$ ) 0,05 var det lika varians mellan grupperna (McKleery et al. 2007).

##### 3.4.4.1 Statistisk procedur

Då ingen data (varken koldioxidflöde, marktemperatur, markfuktighet eller grundvattennivå) var normalfördelad och då det var olika varians mellan alla grupper (de två områdena samt de olika månaderna, mars-maj) användes icke-parametriska tester.

Skillnaden i koldioxidflöde testades mellan områdena månadsvis (mars-maj). Testet som användes var ett Mann Whitney-U test, ett för varje månad (Wardlaw 2000).

Ytterligare ett Mann Whitney-U test användes för att testa skillnaden i koldioxidflöde mellan områdena där alla uppmätta värden för samtliga månader fanns med.

För att testa skillnaden i koldioxidflöde mellan månaderna inom området användes Kurskal Wallis test (Wardlaw 2000).



Ovanstående procedur upprepades för marktemperatur, markfuktighet och grundvattennivå. Korrelationen mellan de olika variablerna testades med ett Spearman Rank Correlation test (Wardlaw 2000).

## 4. Resultat

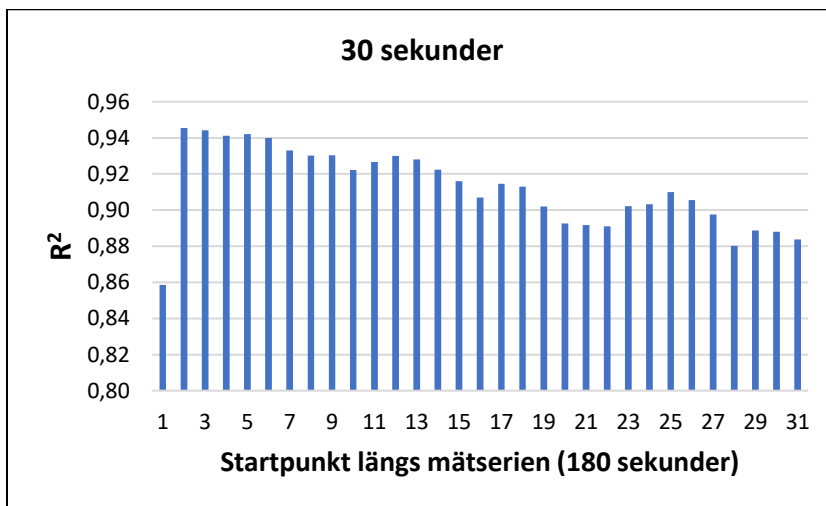
$R^2$ -värdena varierade mellan 0,86–0,98 för alla mättidsperioder: 30, 50, 70 och 90 sekunder. Tidsperioden för 30 sekunder visade lägst  $R^2$ -värde 0,86–0,95 och perioden för 90 sekunder visade högst  $R^2$ -värde 0,97–0,98 (tabell 3). Det gick därför inte att sortera bort någon data med hjälp av tröskelvärdena för det statistiskt signifikanta  $R^2$ -värdena (tabell 4). För varje mättidsperiod var  $R^2$ -värdet lägst vid första startpunkten i tidsserien för att efter andra startpunkten, 6 sekunder ligga på en mer stabil nivå (figur 5 & 6). Detta medförde att den första startpunkten togs bort och inte analyserades vidare då dessa låga värden kunde varit orsakade i samband med placering av kammaren på aluminiumramen.

**Tabell 3.** Medelvärde för  $R^2$  för olika mättidsperioder (30, 50, 70 och 90 sekunder).

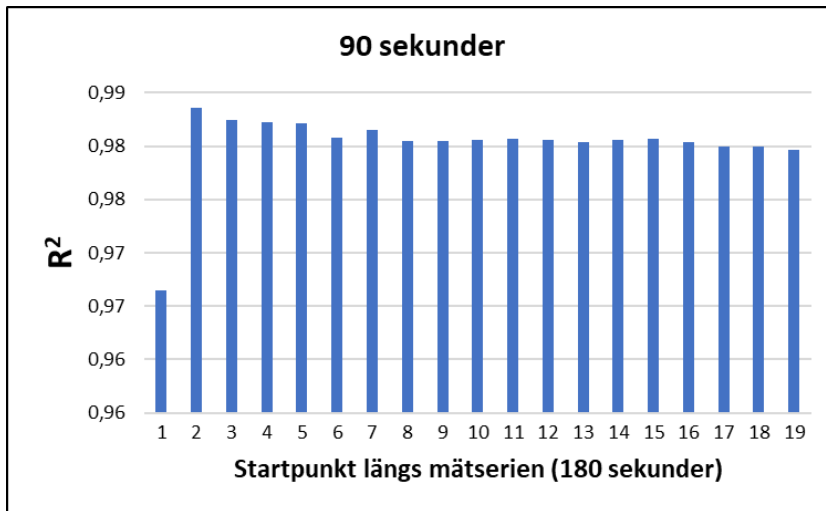
	30 sekunder	50 sekunder	70 sekunder	90 sekunder
$R^2$	0,86-0,95	0,93-0,97	0,94-0,97	0,97-0,98

**Tabell 4.** Tröskelvärde för statistiskt signifikanta  $R^2$ -värde för olika mättidsperioder (30, 50, 70 och 90 sekunder).

N	$R^2$
30	0,130
50	0,078
70	0,055
90	0,043

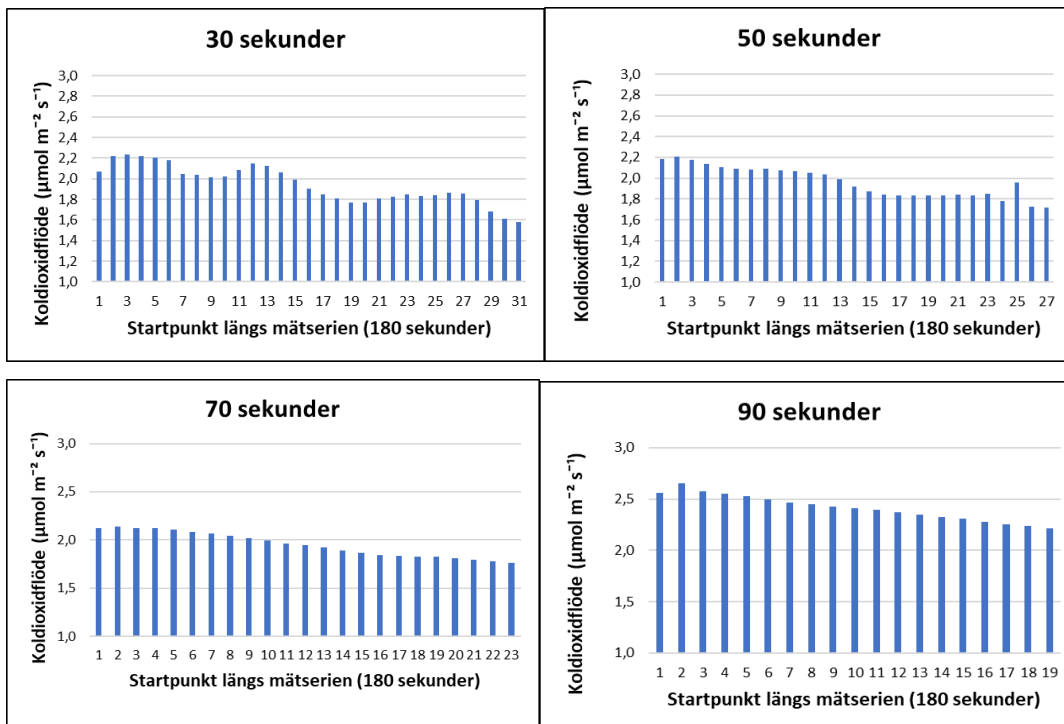


**Figur 5.** Exempel på medelvärde för  $R^2$ -värde, här under mätsekvensen 30 sekunder. Varje startpunkt är med fem sekunders intervall.



**Figur 6.** Exempel på medelvärde för R<sup>2</sup>-värde, här under mätsekvensen 90 sekunder. Varje startpunkt är med fem sekunders intervall.

Flödet var högst i början av mätningen men blev lägre i slutet av mätsekvensen. Figur 7 visar utvecklingen för medelflödet av koldioxid från marken för de olika mätsekvenserna 30, 50, 70 och 90 sekunder. Flödet var högst vid andra startpunkten, 6 sekunder för alla mätsekvenserna (figur 7). Lägst flöde vid denna punkt hade 70-sekunderssekvensen 2,14  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  och högst värde hade 90-sekunderssekvensen 2,65  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ . Med avseende på högsta R<sup>2</sup>- och flödesvärde valdes flödesberäkningarna att starta vid andra mätpunkten, 6 sekunder med en mätsekvens på 90 sekunder.



**Figur 7.** Medelvärde av koldioxidflöde för alla mätpunkter, här representerade i olika mätsekvenser (30, 50, 70 och 90 sekunder).

#### 4.2 Meteorologiska förutsättningar under provtagningsperioden (Mars-Maj)

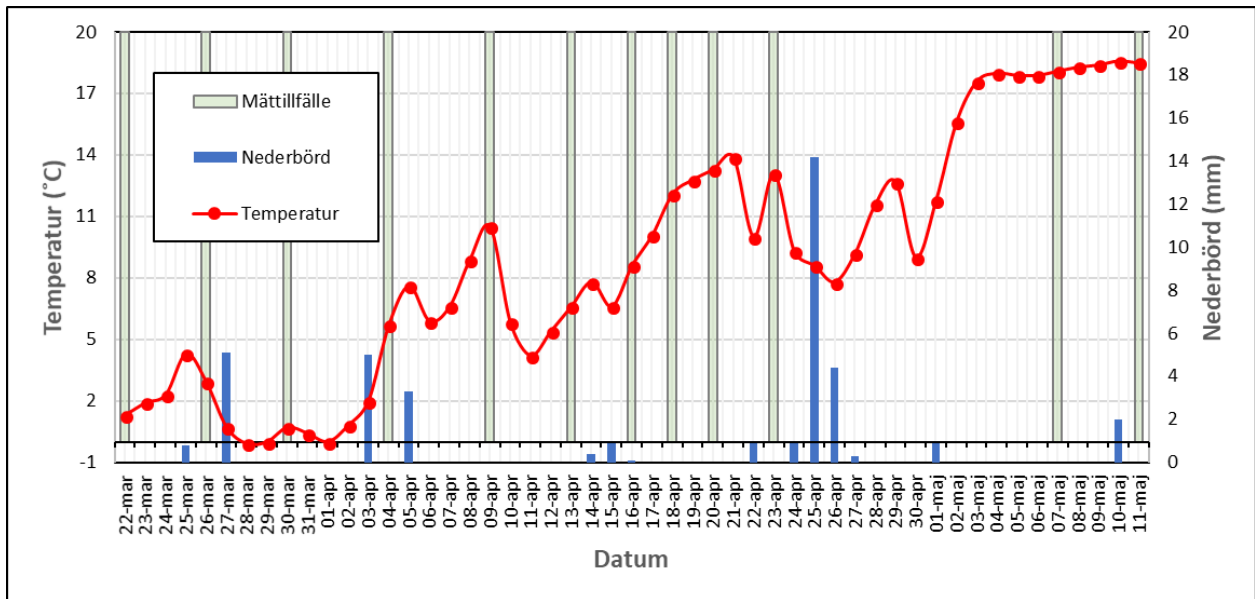
Vid första mättillfället, den 22:a mars, var medelsnödjupet på de båda områdena 11 cm. Vid andra tillfället, 26:e mars, var det enbart fläckvis med snö i de båda områdena och den 30:e mars var medelsnödjupet 16 cm (figur 8a) för att den 4:e april vara bortsmält och marken snöfri (Figur 8b).



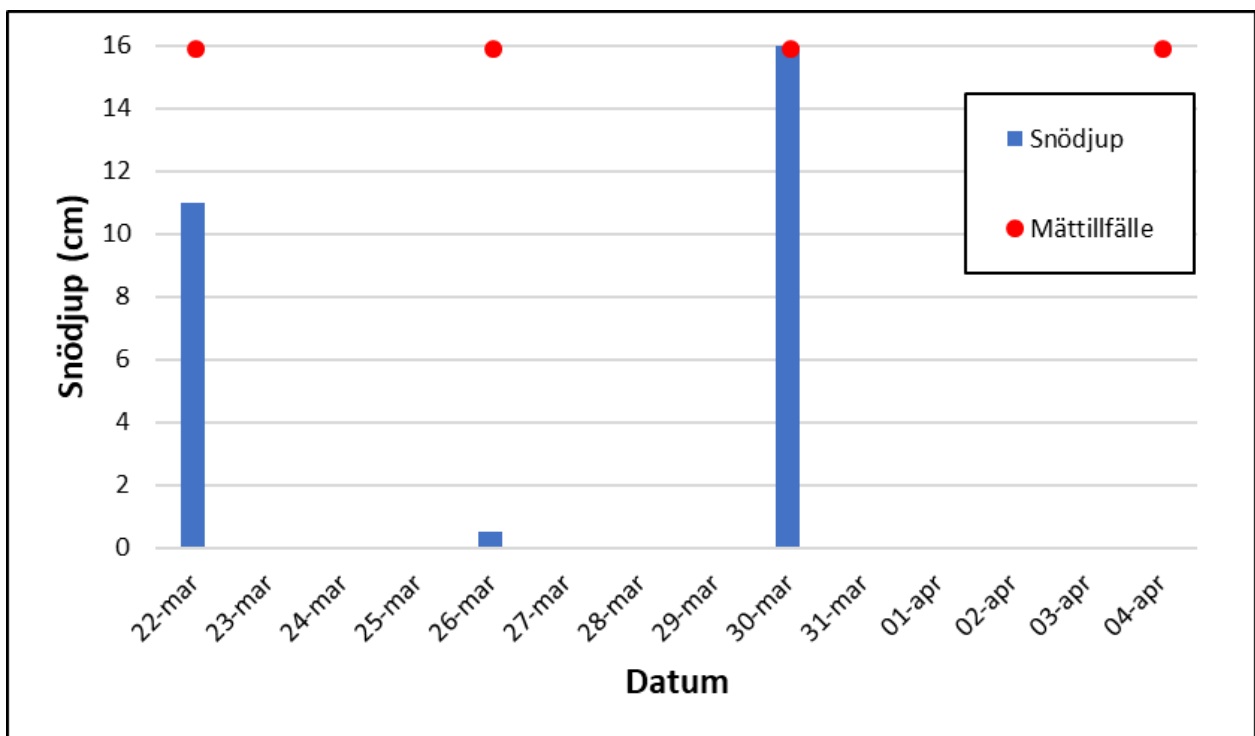
**Figur 8.** a) Den 30:e mars var medelsnödjupet på de båda områdena 16 centimeter för att b) den 4:e april vara helt bortsmält.

Mätningar genomfördes aldrig under dagar med nederbörd, dock varierade nederbörden under hela experimentperioden, 22:e mars-11:e maj. Under slutet av mars månad var nederbörden 5,9 mm. Under april var nederbörden som högst 24,41 mm, och som lägst under början av maj 3 mm (figur 9).

Medeldygnstemperaturen varierade under hela perioden från  $-0,1-18,6$  °C. Under perioden 27:e mars – 2:a april var medeltemperaturen som lägst  $-0,1-0,8$  °C. Högst var medeltemperaturen under perioden 2:a maj-11:e maj  $15,6-18,6$  °C (figur 9).



**Figur 9.** Daglig medeltemperatur (°C) och nederbörd (mm) under hela experimentperioden (22:e mars – 11:e maj) från mätstationen på huvudkontoret i Högestad. De gröna staplarna i figuren beskriver de datum då mätningar utfördes vid de båda områdena.



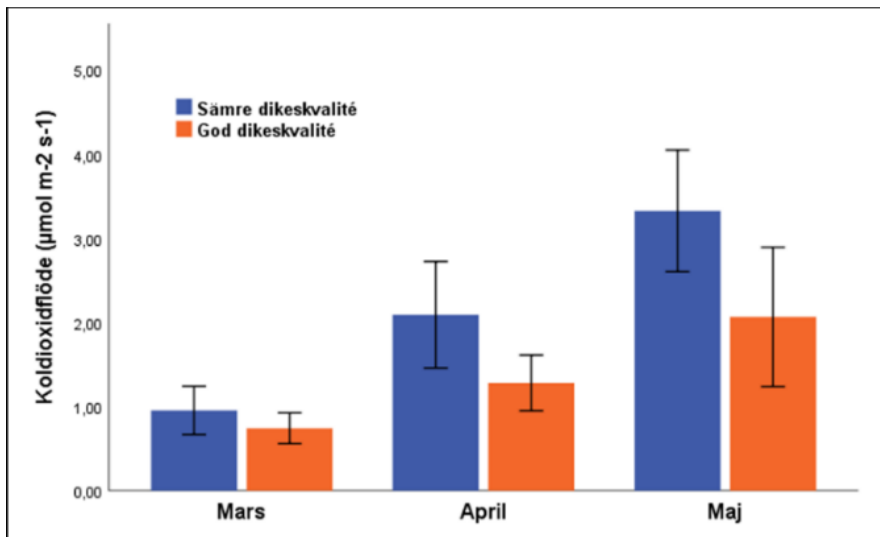
**Figur 10.** Medelsnödjup (cm) för båda områdena (dike av sämre och god kvalitet) under perioden 22:e mars – 4:e april. De röda punkterna markerar datum vid mättillfälle. Efter den 4:e april fanns inte längre något snötäcke på marken.

### 4.3 Koldioxidflöde

Högst medelflöde totalt över alla månader (mars-maj) hade området med sämre dikeskvalitet  $2,01 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ . Medelflödet var högst i maj månad  $3,33 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  och längst i mars  $0,96 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ . Medelflödet i april var  $2,09 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  (figur 11a). För området med god dikeskvalitet var totala medelflödet  $1,28 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ . Högst var medelflödet i maj  $2,07 \mu\text{mol}$

$\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$  och lägst i mars  $0,74 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ . Medelflödet för april var  $1,28 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  (figur 11b).

Det var en signifikant  $p < 0,0001$  skillnad i koldioxidflöde mellan områdena för samtliga månader under mätperioden (mars-maj). Det var också signifikant  $p < 0,0001$  skillnad i flöde mellan områdena totalt över hela mätperioden. Skillnaden i flöde var signifikant  $p < 0,001$  mellan alla månader inom de båda områdena (sämre och god dikeskvalitet).



**Figur 11.** Jämförelse av medelvärde för koldioxidflöde på de båda områdena månadsvis (mars-maj). Linjerna i staplarna visar en standardavvikelse. Högst var medelflödet i området med sämre dikeskvalitet där flödet var högst i maj och lägst i mars (blå staplar).

## 4.4 Marktemperatur och markfuktighet

### 4.4.1 Marktemperatur

Högst medeltemperatur i marken hade området med sämre dikeskvalitet  $8,19 \text{ }^\circ\text{C}$ . Högst var värdet i maj  $13,64 \text{ }^\circ\text{C}$  och lägst i mars  $1,87 \text{ }^\circ\text{C}$ . I april var medeltemperaturen  $9,35 \text{ }^\circ\text{C}$  (figur 12a). Medeltemperaturen för området med god dikeskvalitet var  $6,8 \text{ }^\circ\text{C}$  och högst var temperaturen i maj  $10,52 \text{ }^\circ\text{C}$  och lägst i mars  $1,72 \text{ }^\circ\text{C}$ . Medeltemperaturen i april var  $7,91 \text{ }^\circ\text{C}$  (figur 12a).

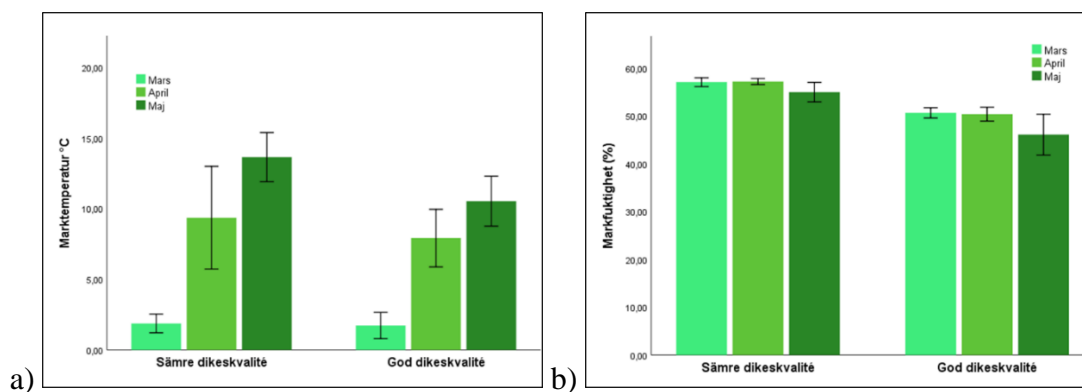
Det var ingen signifikant,  $p=0,085$  skillnad i medeltemperatur mellan områdena i mars månad. Skillnaden är dock signifikant  $p < 0,0001$  mellan områdena i april och maj. Det var också signifikant  $p < 0,0001$  skillnad i total marktemperatur mellan områdena för hela mätperioden. Medeltemperaturen skiljde sig också signifikant  $p < 0,0001$  för varje månad inom varje område.

### 4.4.2 Markfuktighet

Högsta medelvärdet i markfuktighet hade området med sämre dikeskvalitet  $56,77 \%$ . Högst var markfuktigheten i april  $57,17 \%$  och lägst i maj  $54,95 \%$ . I mars var värdet  $57,04 \%$  (figur 12b). Medelvärdet i markfuktighet för området med god dikeskvalitet var  $49,70\%$ . Högst var

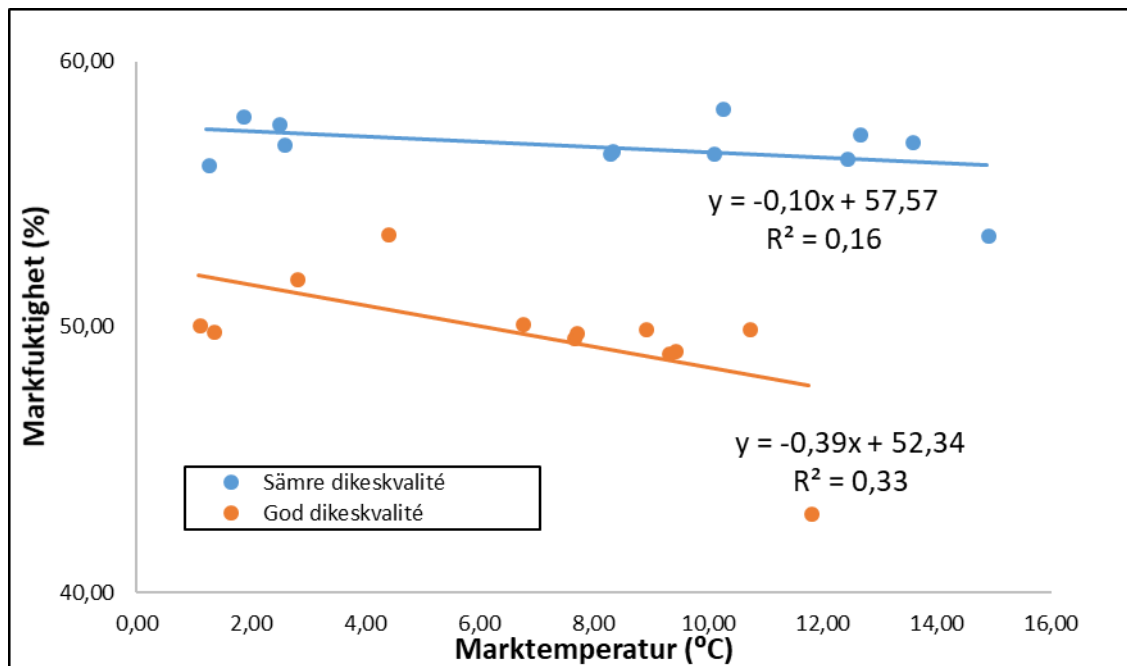
markfuktigheten i april 51,35 % och lägst i maj 46,07 %. I mars var markfuktigheten 50,65 % (figur 12b).

Det var signifikant  $p < 0,0001$  skillnad i markfuktighet mellan områdena för alla månader, mars-maj. Det var signifikant skillnad  $p < 0,0001$  i total markfuktighet (för alla månader tillsammans) mellan de båda områdena. För området med sämre dikeskvalitet fanns det ingen skillnad mellan mars-april  $p=1,00$ . Dock var det skillnad mellan april-maj  $p=0,003$  och mars-maj  $p=0,030$ . För området med god dikeskvalitet var det ingen skillnad mellan mars-april  $p=1,00$ . Skillnad var det mellan april-maj  $p=0,004$  och mars-maj  $p=0,011$ .



**Figur 12.** Jämförelse av medelvärde för a) marktemperatur och b) markfuktighet på de båda områdena månadsvis (mars-maj). Linjerna i staplarna visar en standardavvikelse.

Det fanns inget samband  $p=0,649$  mellan temperatur och fuktigheten i marken i området med sämre dikeskvalitet (figur 13) medan ett negativt samband fanns  $p=0,024$  i området med god dikeskvalitet (figur 13).



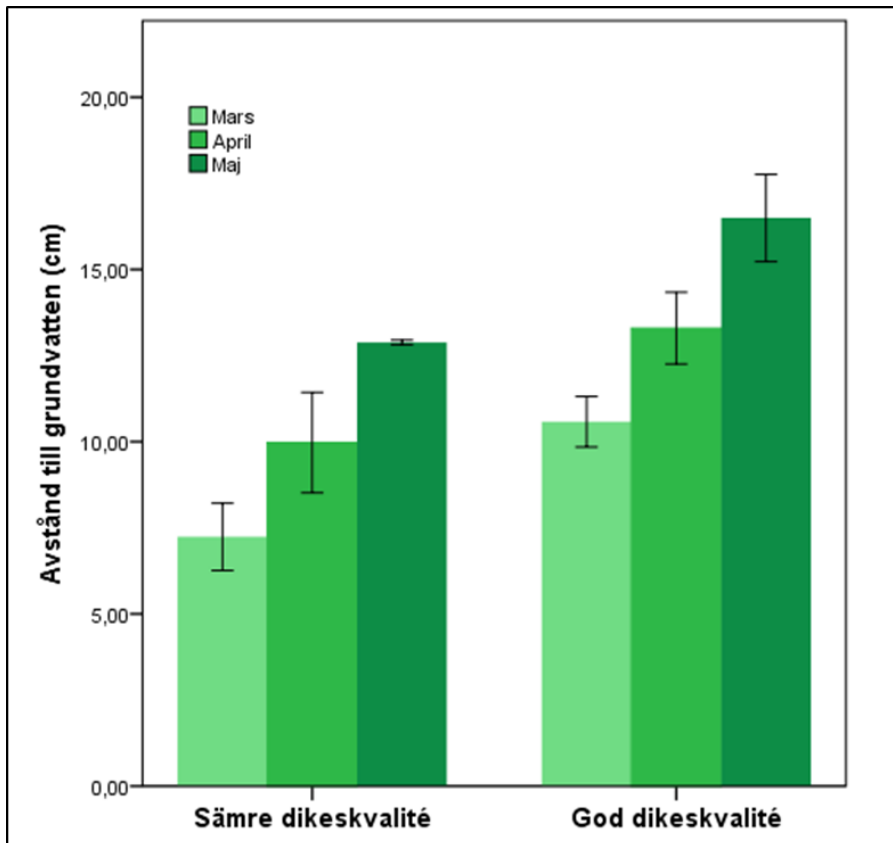
Figur 13. Korrelation mellan medelvärde för markfuktighet och marktemperatur i de båda områdena.

#### 4.5 Grundvattennivå

Området med god dikeskvalitet visade högst medeldjup till grundvattnet 13,2 cm. Det varierade mellan 16,5 cm i maj månad och var som lägst i mars 10,6 cm. I april var medeldjupet till grundvattnet 13,3 cm (figur 14). I området med sämre dikeskvalitet var medeldjupet till grundvattnet 9,8 cm. Högst värde hade maj 12,9 cm och lägst hade mars 7,2 cm. April hade värdet 10,0 cm (figur 14).

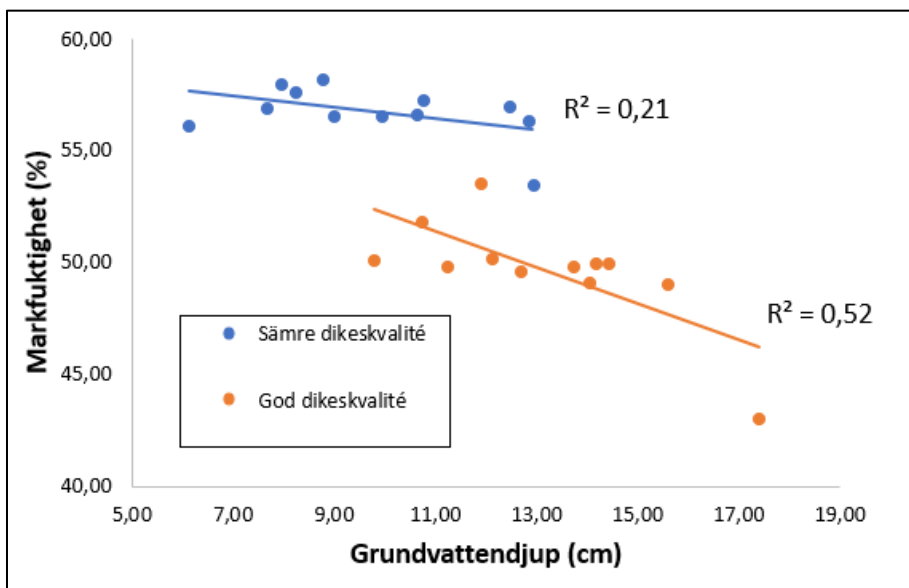
För medeldjup till grundvattnet var det signifikant skillnad  $p < 0,0001$  mellan de båda områdena för alla månader under mätperioden, mars-maj. Totalt för alla månader var det skillnad  $p < 0,0001$  mellan de båda områdena. Inom området med sämre dikeskvalitet var det signifikant skillnad  $p = 0,0001$  mellan månaderna, vilket också var fallet inom området med god dikeskvalitet.





**Figur 14.** Medelvärde för avstånd ner till grundvattnet från markytan räknat på de båda områdena månadsvis (mars-maj). Högst var medeldjupet i området med god dikequalität och lägst var grundvattnet i maj månad. Linjerna i staplarna visar en standardavvikelse.

Det fanns inget statistiskt samband  $p=0,315$  mellan grundvattendjup och markfuktighet i området med sämre dikequalität. Dock fanns ett negativt samband  $p=0,011$  i området med god dikequalität (figur 15).

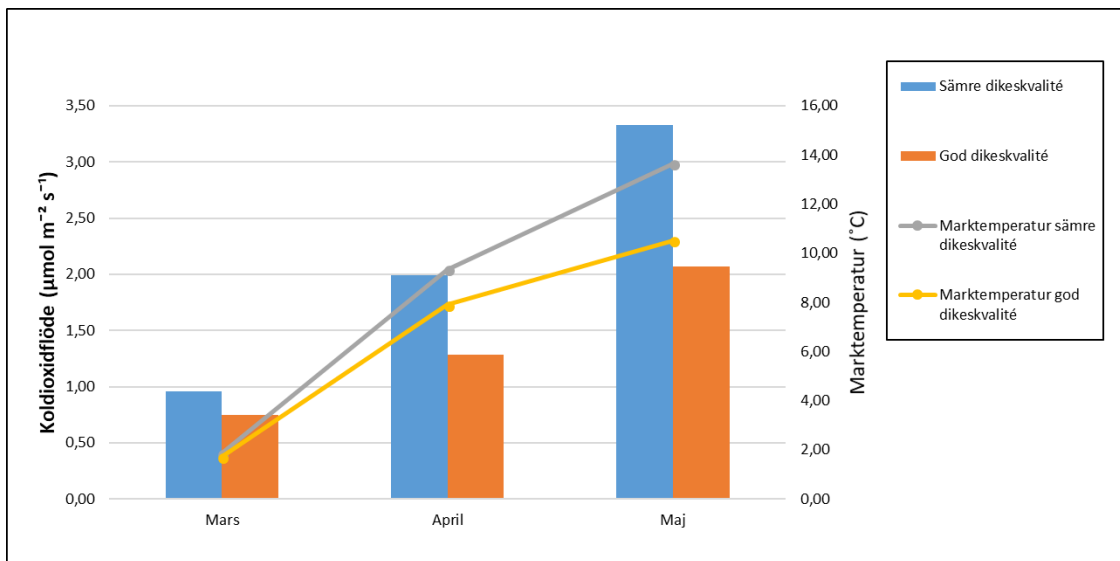


**Figur 15.** Punktdiagrammet beskriver relationen mellan medelvärdet för markfuktigheten och grundvattendjupet.

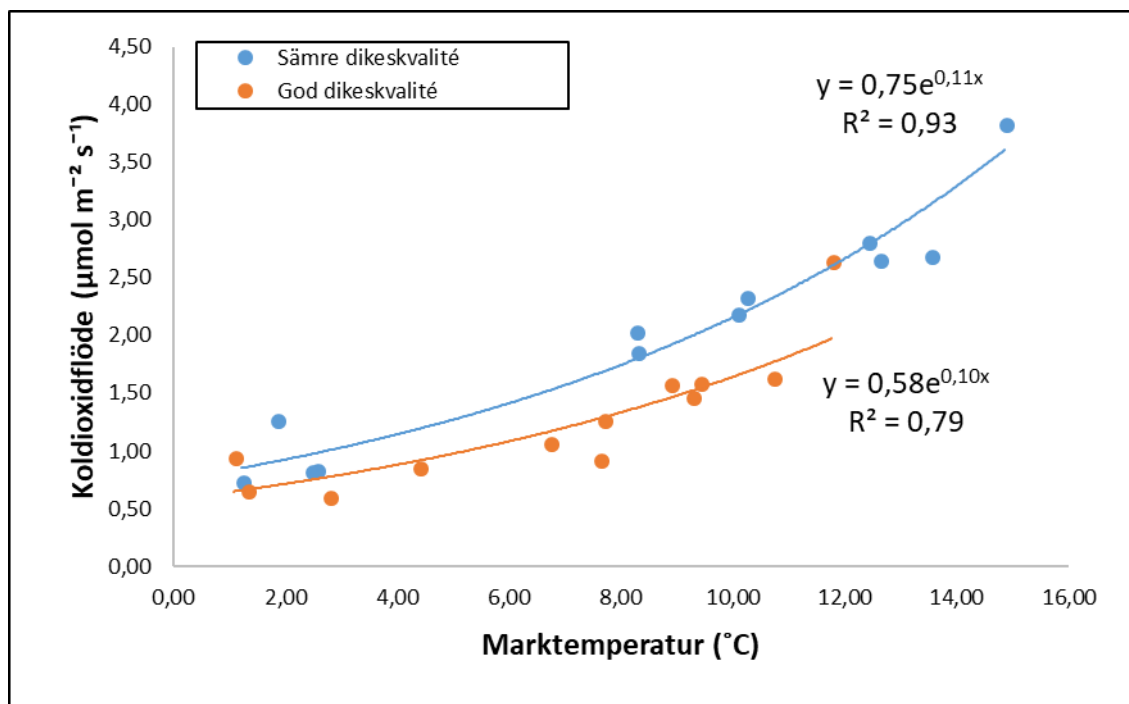
## 4.6 Relation mellan koldioxidflöde och marktemperatur, markfuktighet och grundvattennivån

### 4.6.1 Relation mellan koldioxidflöde och marktemperatur

Koldioxidflödet ökade med stigande medeltemperatur i marken för varje månad i de båda områdena (figur 16). Relationen mellan marktemperatur och koldioxidflöde hade statistiskt samband  $p < 0,0001$  för de båda områdena. Området med sämre dikeskvalitet var bättre korrelerat,  $R^2=0,93$  jämfört med god dikeskvalitet,  $R^2=0,79$  (figur 17).



**Figur 16.** Jämförelse av medelvärde för koldioxid och marktemperatur under mätperioden (mars-maj).



**Figur 17.** Den exponentiella relationen mellan koldioxidflödet och marktemperaturen på de båda områdena.

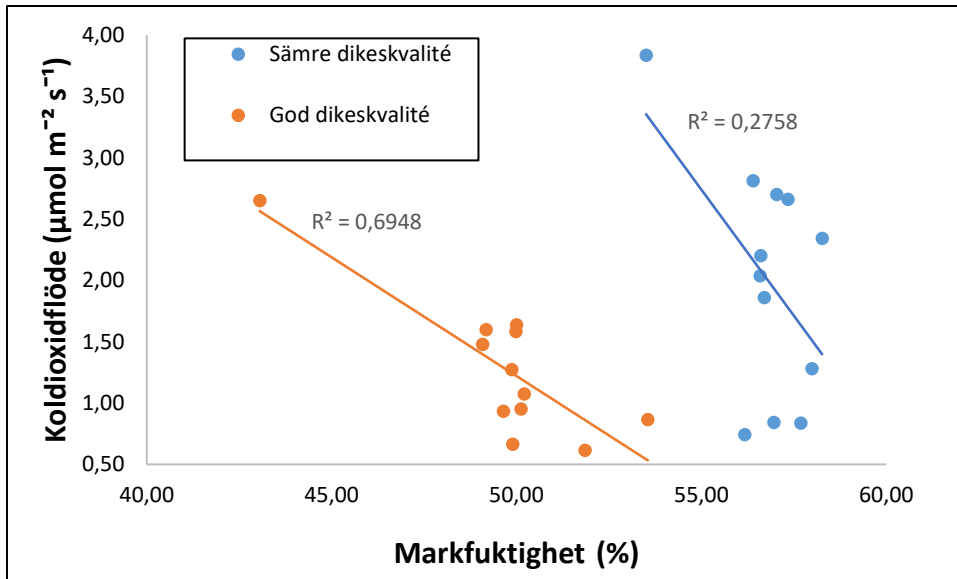
$Q_{10}$  -värdet, ökningen av koldioxidflöde som orsakas vid en temperaturökning av  $10^{\circ}\text{C}$ , var högst i området med sämre dikeskvalitet, 2,88 och något lägre i området med god dikeskvalitet 2,83 (tabell 5). Värdena räknades ut med ekvation 3 där  $\beta$  ersattes av täljarvärdena i exponentialfunktionen, figur 17.

**Tabell 5.** Uträknade  $Q_{10}$ -värde för de båda områdena.

	Sämre dikeskvalité	God dikeskvalité
$Q_{10}$	2,88	2,83

#### 4.6.2 Relation mellan koldioxidflöde och markfuktighet

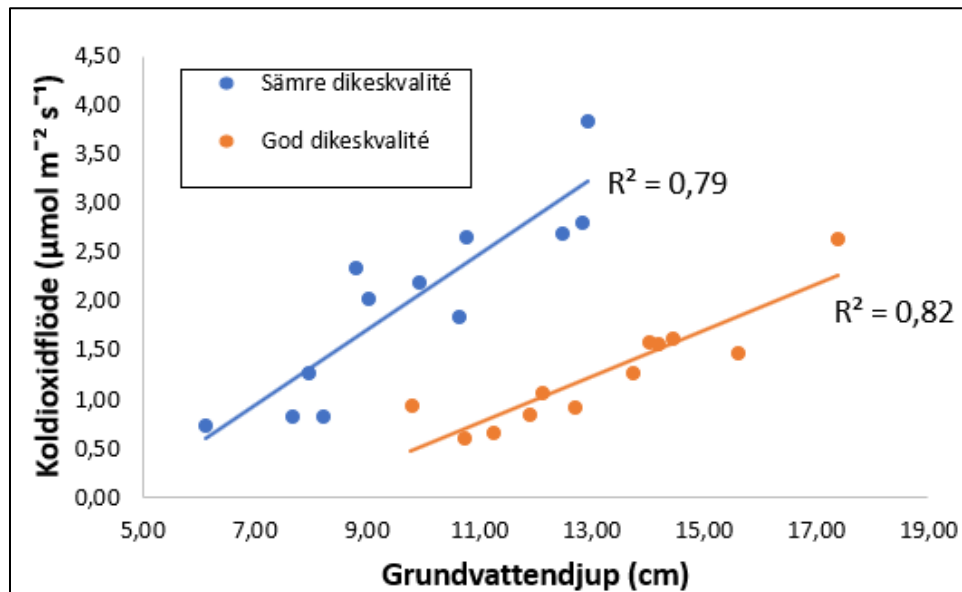
I området med sämre dikeskvalitet fanns det inget statistiskt samband  $p=0,527$  mellan markfuktighet och koldioxidflöde, dock fanns samband  $p=0,048$  för det andra området med god dikeskvalitet (figur 18).



**Figur 18.** Ett punktdiagram med relationen mellan koldioxidflöde och medelvärde för markfuktighet på de båda områdena.

#### 4.6.3 Relation mellan koldioxidflöde och grundvattendjup

Det fanns ett tydligt samband,  $p < 0,0001$  mellan grundvattendjup och koldioxidflöde för de båda områdena (figur 19).



**Figur 19.** Punktdiagram beskriver relationen mellan koldioxidflödet och avståndet ner till grundvattnet på de båda områdena.

## 5. Diskussion

### 5.1 Koldioxidflöde

Den här studien har under tidig vår jämfört koldioxidflödet från marken mellan två skånska lövskogsområden med avseende på deras dikeskvalitet. Syftet med studien var att svara på frågeställningen: skiljer sig CO<sub>2</sub>-flöde från mark i nära angränsning till dike av sämre, respektive god kvalitet?

Undersökningen visade att medelflödet var högst för området med dike av sämre kvalitet 2,01  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ . Jämfört med det andra området 1,28  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  var det en skillnad med 0,73  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ . Resultatet var motsatsen till antagandet i hypoteserna, H1 och H2, där området med god dikeskvalitet förutsågs ha högre koldioxidflöde och området med sämre dikeskvalitet skulle ha lägre flöde. Det är även motsatsen till resultatet som Arnold et al. (2004) kom fram till i deras undersökning i dikade lövskogar i Småland, där koldioxidflödet nästan var dubbelt så högt från dikade skogsområden, vilket dem menade kunde förklaras av de låga grundvattennivåerna som skapade gynnsamma förhållande för nedbrytarna i kombination med temperaturen. Liksom i deras studie var markfuktigheten och grundvattennivån lägre i området med god dikeskvalitet. Medeltemperaturen i marken på området med god dikeskvalitet var lägre 6,80°C, jämfört med området av sämre dikeskvalitet 8,19°C, vilket kan förklara det högre flödet av koldioxid. Koldioxidflödet ökade för varje månad på de båda områdena, vilket också varit fallet i liknande studier som undersökt koldioxidflöde från skogsmark över tid, till exempel Ojanen et al. (2010). Ökningen månadsvis kan förklaras med att markrespirationen (därmed koldioxidflödet från marken) är positivt korrelerad med marktemperatur och därför följer samma mönster.

Chapin et al. (2011) rapporterade att fuktiga förhållande i kombination med värme skapar gynnsamma förhållande för mikroberna i marken. Det skulle kunna förklara det faktum att koldioxidflödet var högre i området med sämre dikeskvalitet, förhållandena var helt enkelt mer gynnsamma här. Kombinationen av för omständigheterna hög markfuktighet och lägre temperatur i marken kan ha varit mer ogynnsamt för mikroberna i området med god dikeskvalitet som därmed erhåller en lägre respiration.

Dock rapporterar Chapin et al. (2011) vidare att det inte enbart är så enkelt som att gynnsam temperatur i kombination med gynnsam markfuktighet kan förklara aktiviteten i jorden och därmed flödet av koldioxid till atmosfären. Han skriver att det organiska materialet, vilket mikroberna bryter ner i jorden samt växternas rötter (rotutsöndring) spelar en minst lika viktig

roll. Rötter och det organiska materialet bestämmer tillika hur porös jordens topplager blir vilket även Jassal et al. (2005) beskriver. Studier som bland annat Burns et al. (2012) har visat att markrespirationen och koldioxidflödet från jorden är högre i område med hög växtlighet. Detta dels på grund av det faktum att där finns mer organiskt material i jorden för nedbrytarna att bryta ner, men också fler rötter och högre rotutsöndring och symbios med svampar, samt det faktum att rötterna gör jorden mer porös och att gaser som koldioxid lättare flyttar sig mellan jordlagren. Det faktum att området med sämre dikeskvalitet hade högre instrålning av energi (solljus) (figur 2b) gav ett högre vegetationstäckning i markskiktet i jämförelse med Nyvångsskogen (god dikeskvalitet).

Efter det att vitsipporna blommat ut på de båda områdena efterföljdes dessa inte av annan vegetation i Nyvångsskogen, medan de i Baldringe ängar ersattes av annan vegetation som ramslök, gullpudra och ekorrbär. Den höga vegetationsrikedomen kan därför förklara det faktum att koldioxidflödet här var högre på grund av en högre aktivitet i jorden.

## **5.2 Marktemperatur, markfuktighet och grundvatten**

### *5.2.1 Marktemperatur*

Hypoteserna (H1, H2) att marktemperaturen skulle vara högre i område med god dikeskvalitet stämde inte. Medeltemperaturen i marken var högre i området med sämre dikeskvalitet, 8,19 °C jämfört med området med god dikeskvalitet, 6,80 °C. I mars fanns det inte någon signifikant skillnad mellan områdena, 1,87 °C respektive 1,78 °C. En anledning till detta kan vara den kalla lufttemperaturen i mars månad (figur 9) i kombination med att det denna månad låg snötäcke på marken under samtliga mätningar (figur 10). I de andra månaderna (april-maj) var skillnaden signifikant mellan områdena. Det strider mot att bland annat Arnold et al. (2004) rapporterade att marktemperaturen i deras undersökning var högre i dränerade områden.

Jag nämnde ovan att trädkronetäckningen var glesare i området med sämre dikeskvalitet och att ljusinstrålningen här var högre. Att marktemperaturen var högre i området med sämre dikeskvalitet kan bero på just det faktum att området var mer exponerat för solljus på grund av glesare trädkronor (figur 2b) och har därmed blivit mer uppvärmt. Att temperaturen i marken var lägre i området med god dikeskvalitet kan därför bero på motsatsen; marken var mer beskuggad av trädkronor som bidrog till sämre uppvärmning och lägre marktemperatur.

### *5.2.2 Markfuktighet och grundvatten*

Markfuktigheten i området med sämre dikeskvalitet var högre, 56,77% i förhållande till området med god kvalitet, 49,70%, vilket stämde överens med hypoteserna. Att så var fallet

kan beror på att markfuktigheten är beroende på grundvattendjupet (Vincent et al. 2006). Då djupet till grundvattnet i området med sämre dikeskvalitet var 9,77 cm och 13,15 cm i området med god dikeskvalitet bekräftar det hypotesen H3, att djupa grundvattennivåer innebär lägre markfuktighet. Dock fanns det enbart statistiskt samband mellan grundvattendjup och markfuktighet för området med god dikeskvalitet. Enligt Holst muntligen (2018), är grundvattnet i de båda skogarna rörligt och kontrolleras inte enbart av det faktum att skogarna är dikade och med avseende på dikenas kvalitet. Sammansättningen i jordlager kan också påverka grundvattennivån. Det går därför inte att påstå att enbart dikeskvaliteten avgör grundvattendjupet och markfuktigheten. Både markfuktigheten och grundvattennivån sjönk över mätperioden (mars-maj), vilket kan förklaras av förhållandevis torrt väder och höga medeldygnstemperaturer i maj (figur 9).

### **5.3 Relation mellan koldioxidflöde och marktemperatur, markfuktighet och grundvattennivån**

#### *5.3.1 Relationen mellan koldioxidflöde och marktemperatur*

Den positivt exponentiella korrelationen mellan marktemperatur och koldioxidflödet från marken (figur 17) var statistiskt signifikant,  $p < 0,0001$ .  $Q_{10}$ -värdena mellan områdena var snarlika med sämre dikeskvalitet på 2,88 och 2,83 för området med god dikeskvalitet, vilket är förhållandevis höga värden enligt Epron et al. 1998, men inte orimliga (Davidson et al. 1998). Enligt den studien kan höga  $Q_{10}$ -värden under vår och försommar förklaras av en ökad rotrespiration hos växterna denna period. Det kan förklara de relativt höga  $Q_{10}$ -värdena på de båda områdena då dessa höll hög växtlighet av bland annat vitsippor (*Anemone nemorosa*) och ramslök (*Allium ursinum*) från slutet av april till mätperiodens slut i början på maj.

#### *5.3.2 Relationen mellan koldioxidflöde och markfuktighet och grundvatten*

Det fanns inget statistiskt samband,  $p=0,527$  mellan markfuktighet och koldioxidflöde för området med sämre dikeskvalitet. Men ett svagt samband,  $p=0,048$  fanns på området med god dikeskvalitet. I figur 18 visar båda trendlinjerna ett svagt negativt samband vilket kan förklaras av de två utliggande mätpunkterna i diagrammen.

Markfuktigheten var tämligen hög i de båda områdena och Xu et al. (2011) rapporterade att vid låga och höga markfuktighetsvärde är markrespirationen mer beroende på fuktigheten i marken snarare än av temperaturen. Skulle markfuktighetsvärdena ligga mellan låga och höga värden, är flödet mer beroende på temperaturen. Paul (2007) skriver att det tröskelvärde där markfuktigheten är som mest gynnsam för mikrober i marken med mineraljordskaraktär

varierar mellan 10–35%, där 35% är vattenmättat och ger avsaknad av syre för respirationen. I en humusartad jord är karaktären mer porös och en sådan jord skulle inte vara vattenmättad vid en markfuktighet på 35%. Det högre tröskelvärdet är 18,5% lägre än medelvärdet för markfukten i området med sämre dikeskvalitet, 53,50% för maj månad, den månad med högst medelflöde för koldioxid,  $3,84 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ . För samma månad, men i området med god dikeskvalitet, är tröskelvärdet 8,05% lägre. Här är dock lägre medelflöde för koldioxid,  $2,65 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ . Ett värde under det lägre tröskelvärdet, 10% skulle innebära att diffusionen och mikrobernas upptag av näringsämne begränsas. Skulle värdet överstiga det övre tröskelvärdet 35%, innebär det begränsad syretillgång till mikrober i marken och transport av gaser genom marken (Paul 2007). Då de båda områdena håller hög markfuktighet, skulle det betyda att koldioxidflödet från både området med sämre,  $0,96\text{--}3,33 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  och god dikeskvalitet,  $0,74\text{--}2,07 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  vara begränsat och lågt (vilket inte är fallet i jämförelse med rapporterade värden,  $1,47\text{--}3,26 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  från andra dikade lövskogar i södra Sverige (Arnold et al. 2005)) eftersom den höga markfuktigheten skulle hämma markrespirationen och minska koldioxidflödet. Dock har det i en studie av Stres et al (2007) rapporterades att aktiviteten hos nedbrytare i marken (och därmed flödet av koldioxid) kan vara hög vid stor markfuktighet i kombination med höga marktemperaturer.

Med hjälp av ekvationerna i figur 17 ger en temperaturskillnaden på  $1,4^\circ\text{C}$  en 15–17-procentig skillnad i respiration, varför temperaturen förmodligen inte helt kan förklara skillnaden mellan linjerna i figur 19. Det betyder att det är en annan faktor som spelar in. Som nämnt ovan är en möjlig förklaring till de högre flödesvärdena i området med sämre dikeskvalitet den höga markvegetationen. Växterna vissnar, dör och bidrar till ett poröst förnaskikt samt mycket äldre organiskt material i jorden som tillsammans med hög markfuktighet och temperatur gör det tillgängligt för mikroberna. Även ytliga rötter av vegetation och ytligt levande mikrober kan bidra till markrespirationen (Morén & Lindroth 2000; Chapin et al. 2011). Jag tror att det högre flödet av koldioxid i Baldringe ängar kan förklaras av rötternas aktivitet. Framförallt under vårperioden då tillväxten av vegetation i skogen är kraftig. Dygnsmedeltemperaturen ökade dessutom drastiskt under slutet av april och början av maj, vilket i sin tur påverkar tillväxten och lövsprickningen hos växterna och därmed rötternas aktivitet i jorden och därmed rotutsöndringen.

Det fanns en positiv korrelation mellan ökat koldioxidflöde och sjunkande grundvattennivåer för både området med sämre och god dikeskvalitet. Vincent et al 2006 rapporterade om samma sak, att koldioxidflödet i tempererade lövskogar ökade i takt med att grundvattennivåerna sjönk



över tid. Sambandet mellan koldioxidflödet och grundvattennivåerna kan förklaras med att även om markfuktigheten fortfarande var hög i de båda områdena under hela mätperioden, följde den trenden att minska med sjunkande grundvattennivåer, vilket gjorde båda områdena mer gynnsamma för mikroberna i marken.

#### **5.4 Felkällor**

Mätningarna var tänkta att börja i februari men blev försenade på grund av snöfall och snötäcke på marken. Det var tänkt att börja mätningarna i samband med att snön smälte bort. Då snösmältningen drog ut på tiden valdes att påbörja mätningarna då snö låg på marken (figur 8) vilket kan ha påverkat resultaten. När tjälen släppte i marken jäste innehållet i vissa aluminiumramar upp och blev poröst. I vissa fall fick aluminiumramen återinstallerats då den ”rest sig” ur mineraljorden, vilket också kan ha påverkat resultaten.

De höga markfuktighetsvärdena kan förklaras av felkalibrerad markfuktighetsgivare. Denna var förinställd på ”organisk jord” men skulle troligtvis behövs ställas in för respektive område.

Att analysera jordprofil och humusskikt och växternas rötter skulle också varit till hjälp vid analys och diskussion av resultaten därför detta moment rekommenderas för framtida liknande studier.

Vid kontinuerliga besök på de båda undersökningsplatserna var ibland aluminiumramarna uppbökade och förstörda av djur. Att reparera och återinstallera dem i jorden kan också ha påverkat resultaten vid nästkommande mätning.

Att jämföra två områden med varandra kommer alltid med risken att de skiljer sig åt på olika sätt. Områdena valdes med hjälp av ansvariga på skogsförvaltning som pekade ut de två platserna som hade liknande karaktär.

#### **5.5 Avgränsningar**

På grund av den begränsade tid som fanns erlagt för den här uppsatsen och det arbete den medför, är undersökningen avgränsad till att undersöka två lövskogsområden och två diken med trettio mätpunkter i vardera område. Mätningarna är avgränsade till att mäta koldioxidflöde, marktemperatur och markfukt och grundvattendjup och den här uppsatsen har fokuserat på att undersöka skillnaden mellan dessa variabler varför till exempel inte autotrof och heterotrof respiration undersökts. Ur tidssynpunkt och kostnadsskäl tar den här uppsatsen inte upp och behandlar några jordprov för att undersöka aktivitet hos markorganismer, rötter, organiskt material eller densitet.



## 6. Slutsatser

Syftet med studien var att svara på frågeställningen huruvida CO<sub>2</sub>-flöde från mark i nära angränsning till dike av sämre, respektive god kvalitet skiljer sig åt. Resultaten i det här arbetet påvisar skillnad mellan områdena Baldringe ängar (sämre dikeskvalitet) och Nyvångsskogen (god dikeskvalitet) med avseende på koldioxidflöde från marken, marktemperatur, markfuktighet och grundvattennivåer. Högst var medelflödet av koldioxid i området med sämre dikeskvalitet (2,01 μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>). Medeltemperaturen i maken var också högst här (8,19 °C). Markfuktigheten var hög på båda områdena men var högst i området med sämre dikeskvalitet (56,77 %). Djupet till grundvattnet var störst på området med god dikeskvalitet (13,15 cm).

Relationen mellan koldioxidflödet och marktemperaturen var positivt exponentiell och statistiskt signifikant (p <0,0001) för de båda områdena. Det fanns inte ett lika klart samband mellan koldioxidflödet och markfuktigheten. Korrelationen mellan koldioxidflöde och grundvattendjup var positivt på de båda områdena med ökat koldioxidflöde i takt med att grundvattennivåerna sjönk.

Flödet av koldioxid var oväntat högre i Nyvångsskogen (sämre dikeskvalitet) och kan delvis förklaras av att även marktemperaturen här var högre. Dock förklarar inte temperaturskillnaden allt. Det faktum att markvegetationen i detta område är högre, bidrar till mer organiskt material i marken för nedbrytare och mikrober att bryta ner samt fler rötter från växterna som bidrar till rotutsöndring under tillväxtperioden och lövsprickningen.

Det ska understrykas att den här studien endast har undersökt förhållandena mellan två stycken specifika område, varför resultaten inte kan vara generellt representativa för lövskogar med liknande karaktär varpå mer data och fler undersökningar behövs.

## 7. Referenser

- Von Arnold, K., Nilsson, M., Hånell, B., Weslien, P., Klemedtsson, L. 2004. Fluxes of CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> and N<sub>2</sub>O from drained organic soils in deciduous forests. *Soil Biology & Biochemistry* 37 (2005) 1059–1071.
- Andersson, L., Löfgren, R. 2000. Sydsvenska lövskogar och andra lövbärande marker – Kriterier för naturvärdering, skydd och skötsel. Naturvårdsverket.
- Bengtsson-Lindsjö, S. 2012. Naturvårdsprogram för Ystads kommun. Ystads kommun.
- Bonan, G. B. 2008. Forest and climate change: forcings, feedbacks and the climate benefits of forests. *Science*, 320: 1444-9.
- Brady, N. C., Weil, R. R. 2002. *The nature and properties of soils*. Upper Saddle River, NJ:Prentice Hall, 13 edition.
- Burns, N. R., Cloy, J., Reay, D., Smith, K., Otten, W. 2012. Soil organic matter stability and the temperature sensitivity of soil respiration. University of Edinburgh, 2012. 631.4. University of Edinburgh
- Chapin, F. S., Matson, P. A., Vitousek, P. M. 2011. *Principles of Terrestrial Ecosystem Ecology*. New York, NY: Springer New York.
- Chapin, F. S., Schulze, E. D., Mooney, H. A. 1990. The ecology and economics of storage in plants. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 21: 423-447
- Campbell, G. S. 1985. *Soil Physics With Basic Transport Models for Soil-Plant Systems*. Chapter 3 Gas Diffusion in Soil Pages 12-25, Volume 14.
- Davidson, E. A., Savage, K., Verchot, L. V., Navarro, R. 2002. Minimizing artifacts and biases in chamber-based measurements of soil respiration. *Agricultural and Forest Meteorology*, 113: 21-37.
- Elwa-teknik. 2018. *Manual Water Level Meter Type PLS BOX*. Elwa-teknik handels & ingenjörfirma, Herning, Denmark.
- Emanuelsson, U., Bergendroff, C., Billqvist, M., Carlsson, B., Lewan, N. 2002. *Det skånska kulturlandskapet*. Naturskyddsföreningen i Skåne.
- Ek, B., Lundmark, J-E., Pettersson, B., Braf, S. 1990. *Rikare skog*. Skogsstyrelsen.

- Froster, A. 2016. Striden om diket. Hav & Vatten Nummer 4. 2016.
- Gustafsson, M. 2001. Carbon loss after forest drainage of three peatlands in southern Sweden. Examensarbeten vid institutionen för skoglig marklära, SLU Uppsala 2001
- Han, M., Jin, G. 2018. Seasonal variations of Q10 soil respiration and its components in the temperate forest ecosystems, northeastern China. *European Journal of Soil Biology* Volume 85, 12 February 2018, Pages 36-42
- Högstad. 2017. Rakryggade ekar och spirande bokskog. <http://www.hogesta.se/?page=page49cce793b3f72>. Hämtad 2018-02-01.
- Hashimoto, S., Carvalhais, A. I., Ito, A., Migliavacca, M., Nishina, K., Reichstein, M. 2015. Global spatiotemporal distribution of soil respiration modeled using a global databas. *Biogeosciences*, 12, 4121–4132, 2015.
- Holst, C. 2008. Jätteträd – inventering, bevaring, skötsel samt rekrytering. Sveriges lantbruksuniversitet, Examensarbete nr 114. Institutionen för sydsvensk skogsvetenskap, Alnarp 2008.
- Hanson, P. J., Edwards, C. T., Garten, C. T., Andrews, J. A. 2000. Separating root and soil microbial contributions to soil respiration: a review of methods and observations. *Biogeochemistry*, 48: 115-146
- Jovani-Sancho, A.J., Cummins, T., Bryne, K.A. 2017. Collar insertion depth effects on soil respiration in afforested peatlands. *Biol Fertil Soils* (2017) 53:677–689.
- Jiang, Y., Wang, B., Niu, X., Dong, Z., Wang, P. 2016. Contribution of soil fauna respiration to CO<sub>2</sub> flux in subtropical Moso bamboo (*Phyllostachys pubescens*) forests: a comparison of different soil treatment methods. *Environ Earth Sci* (2016) 75:1047
- Jassal, R., Black, A., Novak, M., Morgenstern, K., Nesic, Z., Gaumont-Guay, D. 2005. Relationship between soil CO<sub>2</sub> concentrations and forest-floor CO<sub>2</sub> effluxes. *Agricultural and Forest Meteorology*, 130: 176-192.
- Koskinen, M., Minkkinen, K., Ojanen, P., Kämäräinen, M., Laurila, T., Lohila, A. 2014. Measurements of CO<sub>2</sub> exchange with an automated chamber system throughout the year: challenges in measuring night-time respiration on porous peat soil. *Biogeosciences*, 11: 347-363.

- Kutzbach, L., Schneider, J., Sachs, T., Giebles, M., Nykanen, H., Shurpali, N. J., Martikainen, P. J., Alm, J. 2007. CO<sub>2</sub>-flux determination by closed-chamber methods can be seriously biased by inappropriate application of linear regression. *Biogeosciences*, 4: 1005-1025.
- Lloyd, J., Taylor, J. A. 1994. On the temperature dependence of soil respiration. *Functional Ecology*, 8: 315-323.
- Meyer, N., Welp, G., Amelung, W. 2017. The Temperature Sensitivity (Q<sub>10</sub>) of Soil Respiration: Controlling Factors and Spatial Prediction at Regional Scale Based on Environmental Soil Classes. *Global Biogeochemical Cycles*, 32, 306–323.
- Magnusson, T. 2015. Skogsskötselserien – Skogsbruk – mark och vatten. Skogsskötselserien nr. 13. Skogsstyrelsen.
- Menyailo, O. V., Matvienko, A. I., Stepanov, L. A., Makarov, M. I. 2013. Measuring Soil CO<sub>2</sub> Efflux: Effect of Collar Depth. *Russian Journal of Ecology* Vol. 46 No. 2 2015.
- Morén, A-S., Lindroth, A. 2000. CO<sub>2</sub> exchange at the floor of a boreal forest. *Agricultural and Forest Meteorology* 101 (2000) 1–14.
- Minkkinen, K. 1999. Effect of forestry drainage on the carbon balance and radiative forcing of peatlands in Finland. PhD thesis. Department of Forest Ecology, University of Helsinki . 42p.
- Nõgu, L. 2014. The effects of site preparation on carbon fluxes at two clear-cuts in southern Sweden. Master degree thesis, 30 credits in Physical Geography and Ecosystem Analysis, Lund University.
- PP-Systems. 2016. EGM-5, Portable CO<sub>2</sub> Gas Analyzer Operation Manual v. 1.01. PP Systems, Amesbury, USA
- Paul, E. A. 2007. *Soil Microbiology, Ecology and Biochemistry*. Oxford, Elsevier Science Limited.
- Pumpanen, J., Kolari, P., Ilvesniemi, H., Minkkinen, K., Vesala, T., Niinistö, S., Lohila, A., Larmola, T., Morero, M., Pihlatie, M., Janssens, I., Curiel Yuste, J., Grünzweig, J.M., Reth, S., Subke, J-A., Savage, K., Kutsch, W., Østreg, G., Ziegler, W., Anthoni, P., Lindroth, A., Hari, P. 2004. Comparison of different chamber techniques for measuring soil CO<sub>2</sub> efflux. *Agricultural and Forest Meteorology* 123 (2004) 159–176.

- Pumpanen, J., Ilvesniemi, H., Perämäki, M., Hari, P. 2003. Seasonal patterns of soil CO<sub>2</sub> efflux and soil air CO<sub>2</sub> concentration in a Scots pine forest: comparison of two chamber techniques. *Global Change Biol.*, 7, 371–382, 2003.
- Paavilainen, E., Päivänen, J. 1995. Forest Drainage. In: *Peatland Forestry. Ecological Studies (Analysis and Synthesis)*, vol 111. Springer, Berlin, Heidelberg
- SMHI. 2018. SMHI-öppna data, meteorologiska observationer, <https://opendata-download-metobs.smhi.se/explore/?parameter=3#>. Hämtad 2018-03-02
- Skogskunskap. 2016. Dikning och dikningsrensning. <https://www.skogskunskap.se/planera-skogsbruk/vatten-och-mark/praktiska-rad-for-hansyn-till-vatten/dikning-och-dikesrensning/>. Hämtad 2018-02-01.
- Shabaga, J. A., Basiliko, N., Caspersen, J. P., Jones, T. A. 2014. Seasonal controls on patterns of soil respiration and temperature sensitivity in a northern mixed deciduous forest following partial-harvesting. *Forest Ecology and Management* 348 (2015) 208-219.
- Stres, B., Danevc'ic, T., Pal, L., Fuka, M. M., Resman, L., Leskovec, S., Hacin, J., Stopar, D., Mahne, I., Mandic-M, I. 2007. Influence of temperature and soil water content on bacterial, archaeal and denitrifying microbial communities in drained fen grassland soil microcosms. *FEMS Microbiol Ecol* 66 (2008) 110–122.
- Schlesinger, W. H., Andrews, J. A. 2000. Soil respiration and the global carbon cycle. *Biogeochemistry* 48: 7-20.
- Vincent, G., Shahriari, A. R., Lucot, E., Badot, P-M., Epron, D. 2006. Spatial and seasonal variations in soil respiration in a temperate deciduous forest with fluctuating water table. *Soil Biology & Biochemistry* 38 (2006) 2527–2535.
- Wardlaw, A. C. 2000. *Practical Statistics for Experimental Biologists*, 2nd Edition. Life Sciences, John Wiley Sons.
- Wu, J., Liu, Z., Huang, G., Chen, D., Zhang, W., Shao, Y., Wan, S., Fu, S. 2014. Response of soil respiration and ecosystem carbon budget to vegetation removal in Eucalyptus plantations with contrasting ages. *Scientific Reports* 4:6262.
- Weinberg, S. L., Abramovitz, S. K. 2002. *Data Analysis for the Behavioral Sciences Using SPSS*. Cambridge, Cambridge University Press.

Xu, M., Shang, H. 2016. Contribution of soil respiration to the global carbon equation. *Journal of Plant Physiology* 203 (2016) 16-28.

Åkerman, H.J. 2012. Coasts of Scania. Excursion No. 3. Excursion guides for NGEA 01. Department of Physical Geography and Ecosystem Sciences. Lund University.