

Emission af drivhusgasser fra våde enge

Af Pernille Gudum

Afgangsprojekt

Sektion for Miljøteknologi

Institut for Kemi og Bioteknologi

Aalborg Universitet

Juni 2012



Forord

Denne rapport er udarbejdet som speciale indenfor Miljøteknologi ved Aalborg Universitet. Projektet er udarbejdet i perioden fra d. 1. januar 2011 til den 15. juni 2012. Niels Iversen, lektor, og Per Møldrup, professor, fra Sektion for Miljøteknologi ved Aalborg Universitet har været vejledere på projektet.

Laboranterne, Helle Blenstrup og Margit Paulsen, været til stor hjælp i laboratoriet. Derudover vil jeg rette en stor tak til Kim Mørkholt, der har været behjælpelig med udarbejdning af feltudstyr, udtagning af jordsøjler og godt humør.

Derudover vil jeg gerne rette en stor tak til min familie og min kæreste, der altid har troet på mig og bakket mig op, når tingene så sorte ud.

Det overordnede emne for projektet er *Emission af drivhusgasser fra våde enge* og i den forbindelse er der valgt 3 lokaliteter med forskellige jordtyper; Poulstrup, Restrup og Østerådal. På jorden derfra er der bestemt eventuel flux af metan og lattergas.

Projekttitel: Emission af drivhusgasser fra våde enge

Emission of greenhouse gases from wet meadows

Projekt: Langt afgangprojekt

Projektperiode: 01.01.2011-15.06.2012

Vejledere: Niels Iversen, lektor ved Sektion for Miljøteknologi, Aalborg Universitet

Per Møldrup, professor ved Sektion for Miljøteknologi, Aalborg Universitet

Oplag: 4 stk

Sideantal: 53

Appendiks: 1 + bilags-cd

Pernille Gudum

15. juni 2012, Aalborg Universitet

Resumé

Det overordnede emne for projektet er *Emission af drivhusgasser fra våde enge* og i den forbindelse er der valgt 3 lokaliteter med forskellige jordtyper, der er analyseret for eventuel flux af hhv. metan og lattergas.

Der er bestemt flux af metan for en samlet jordprofil; 0-30 cm. Derudover er der bestemt flux af metan for intaktprøver (100 cm^3) i 5 cm snit ned gennem jordprofilet på de tre lokaliteter; Poulstrup, Restrup og Østerådal. Ydermere er der bestemt flux af metan og lattergas fra intaktprøver, der er tilsat kvælstof.

Projektet er udarbejdet for at belyse om etablerede vådområder påvirker emissionen af drivhusgasserne; metan og lattergas, og i givet fald i hvilket omfang. Derudover mangler dette projekts resultater på dette område, jf. Nielsen et al. [2011]

Til rapporten er vedlagt en bilags-cd med diverse data og beregninger.

Abstract

The subject for this thesis is *Emission of greenhouse gases from wet meadows* and therefore 3 locations with different soil types were chosen. The soil was analysed for potential flux of methane and nitrous oxide.

Fluxes were determined for a total soil profile; 0-30 cm. Furthermore fluxes from soil samples with a specific volume (100 cm^3) were determined in every 5 cm of the soil profile from each location; Poulstrup, Restrup and Østerådal. Additionally, fluxes of methane and nitrous oxide were determined on soil samples, which were added nitrogen.

The project is done to clarify if established wetlands affect the emission of the greenhouse gases; methane and nitrous oxide, and if so to what extent. Additionally, the results obtained in this project are needed in this area of knowledge, cf. Nielsen et al. [2011]

Data and calculations are enclosed on a CD.

Indhold

1	Indledning	1
1.1	Vådområder	3
1.2	Drivhusgasser	4
2	Problemformulering	7
3	Teori	9
3.1	Emission af metan fra våde enge	9
3.2	Emission af lattergas fra våde enge	11
3.3	Jordforhold i vådområder	13
4	Materialer og metode	15
4.1	Deling af jordsøjle	15
4.2	Bestemmelse af pH og kvælstof	17
4.3	Bestemmelse af flux fra intaktprøver	17
4.4	Bestemmelse af flux fra intaktprøver tilsat kvælstof	19
4.5	Fasefordeling	19
4.6	Sigteanalyse	19
5	Resultater	21
5.1	Jordtekstur og porøsitet	21
5.2	Partikler og porøsitet i de forskellige dybder	24
5.3	Kvælstof og pH bestemt i jordprofilet	24
5.4	Retentionskurver	27
5.5	Flux som funktion af pF	28
5.6	Flux som funktion af relativ vandmætning	33
5.7	Flux som funktion af luftfyldte porer	39
5.8	Potentielle flux	43
5.9	Flux fra hele søjler	44
5.10	Våde enges bidrag til drivhusgasregnskabet	46
6	Diskussion	49
6.1	Sammenligning med anden litteratur	50
7	Konklusion	53

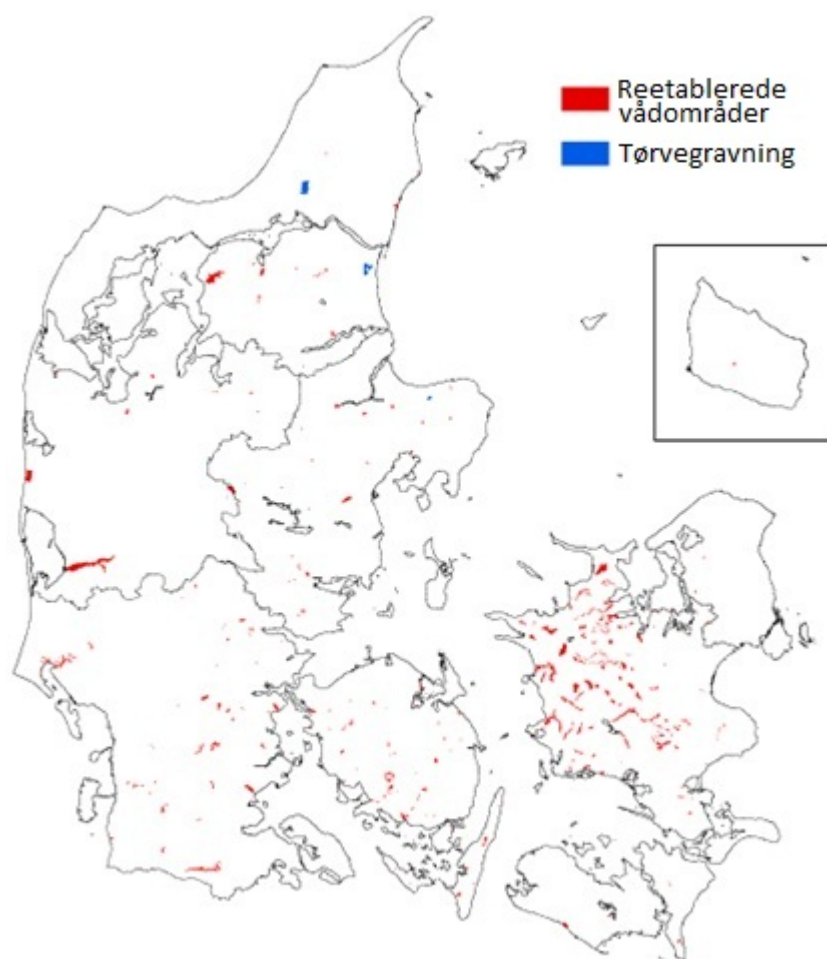
A	Appendiks A	I
A.1	Karakteristik af de tre lokaliteter	I
A.2	Flux fra hele søjler som derefter drænes	IV
A.3	Flux fra intaktprøver der drænes	VII
A.4	Vandindhold, luftindhold og vandmætning for intaktprøve forsøg	XI

I Danmark ændredes arealanvendelsen drastisk efter tabet af Sønderjylland i 1864, idet vi tabte store arealer. [Rerup, 1982] Landbruget havde brug for nye arealer og mange vådområder blev derfor drænet, bugter blev inddæmmet og tørlagt og vandløb blev kanaliseret. [Hoffmann og Baattrup-Pedersen, 2007] I Danmark er 85-98% af alle vandløb reguleret for at dræne arealer, så jorden kan udnyttes til landbrug og for at undgå oversvømmelser. [Kristensen og Hansen, 1994]

Derudover steg anvendelsen af gødning ligeledes som følge af landbrugsintensiveringen. [Hoffmann og Baattrup-Pedersen, 2007] I Danmark er ca. 58% af det totale areal landbrugsjord og 80% af kvælstofudledningen til ferskvandsrecipienter stammer fra landbrugsaktiviteter. [Kristensen og Hansen, 1994]

Denne øgede kvælstofudledning har påvirket af de nærliggende miljøer, idet et overskud af kvælstof kan medføre forurening af grundvandet samt påvirkning af flora og fauna i vandløb og opblomstring i søer som følge af afstrømning. Derudover strømmer det overskydende kvælstof videre til havet, hvor næringsstofindholdet øges, hvilket kan medfører algeopblomstring og iltsvind. [Tronier, 2005]

For at modvirke denne udvikling er der vedtaget en række vandmiljøplaner (VMP) for at forbedre forholdene i recipienterne og mindske udledningen af kvælstof. Af dem bør nævnes VMP II, fra 1998, hvor der bl.a. blev indført regler om etablering af vådområder samt krav og forbedringer for landbruget. [Tronier, 2005] Det blev vedtaget, at der i Danmark skulle etableres 16.000 ha vådområder, idet disse har stort potentiale til at fjerne overskydende nitrat fra markerne, der ellers vil forurene nærliggende recipienter. Derudover skulle der over de næste 20 år etableres yderligere 60.000-100.000 ha. [Hoffmann og Baattrup-Pedersen, 2007] Figur 1.1 på den følgende side viser status for genetablering af vådområder i 2008.



Figur 1.1: Status i 2008 for genetablering af vådområder, hævet vandspejl og tørvegravning i Danmark. [Nielsen et al., 2011]

Ydermere har regeringen i 2009 vedtaget Grøn Vækst planen, der bl.a. har som mål, at udledningen af kvælstof til vandmiljøet skal reduceres med 1.130 tons inden 2015, hvilket kræver etablering af op mod 10.000 ha vådområder i årene 2010-2015. [Foreningen af Rådgivende Ingeniører, 2010]

Reetableringen af vådområderne sker ved at sløjfe dræn og pumpestationer samt grøfter og diger, hvorved de naturlige hydrologiske forhold forsøges genskabt. Karakteristisk for vådområder er, at vandspejlet ligger tæt ved jordoverfladen, dvs. i overfladen, lige over eller lige under overfladen. Vandstanden varierer som følge af grundvandsspejlets højde, vandstanden i de nærliggende vandløb samt de hydrologiske forhold. Jorden er nødvendigvis ikke altid dækket af vand, men jorden skal være mættet i tilstrækkelig lang tid til at processer som denitrifikation kan foregå. [Hoffmann et al., 2010]

Ved omlægning af landbrugsjord til vådområder vil jord, der tidligere har været aerobt primært blive anaerobt, idet jorden i længere perioder bliver dækket af vand, hvilket begrænser ilt diffusionen ned i jorden. [Hoffmann et al., 2010] Da landbrugsjord kan være meget næringsrig som følge af vedvarende gødskning, kan den ophobede pulje af kvælstof

og kulstof i jorden være stor. Ved genetablering af våde enge går jordmiljøet fra aerobe til en vekslen mellem aerobe og anaerobe forhold, hvilket har betydning for nedbrydningen af organisk materiale i jorden.

1.1 Vådområder

Den type vådområder, der skal fjerne kvælstof fra jorden placeres i kystnære områder for at mindske udvaskningen til det marine miljø, idet kvælstof kan skabe iltsvind, hvilket dræber planter og dyr. De placeres ofte tæt ved åer, der leder vand ud i havet. Målsætningen er, at disse vådområder skal reducere udledningen med 1.130 tons N og ud fra tidligere etablerede vådområder, er der fundet en reduktion på 113 kg N/ha, hvorfor 10.000 ha er nødvendige for at opnå målsætningen. [Naturstyrelsen, 2012]

Genetablering af vådområder er gavnligt i flere henseender. I et vådområde udnyttes de anaerobe forhold til en bakteriel fjernelse af det overskydende kvælstof fra jorden ved denitrifikation. Det overskydende kvælstof kommer primært fra landbruget og er til skade for fjorde og kyster. Ved etablering af vådområder mindskes belastningen af recipienterne, idet kvælstoffet fjernes fra vandet, der løber ud i åer og fjorde. [Naturstyrelsen, 2012] Derudover bliver biodiversiteten større i de genetablerede vådområder. [Foreningen af Rådgivende Ingeniører, isen]

Ved etablering af vådområder udnyttes, at bakterier i jorden kan nedbryde organisk materiale og på den måde frigive kvælstoffet i form af frit kvælstof (N_2), hvis jorden er mættet og derved anaerob. Derudover opnås en positiv sideeffekt, idet arealerne, der inddrages til vådområder ofte er langbrugsjord og idet gødskningen på disse arealer ophører, bliver udledningen af kvælstof derved mindre. [Naturstyrelsen, 2012]

Ved at etablere vådområder reduceres mængden af næringsstoffer, der frigives til atmosfæren. Denne ændring af arealanvendelsen har betydning for en række processer i jorden, idet de anaerobe processer tager over. Specifikt er det muligt, at der forekommer øget produktion af drivhusgasser, som frigives fra jorden. Her tænkes især på metan og lattergas, der har betydeligt større global warming potential (GWP) end CO_2 . [Solomon et al., 2007b]

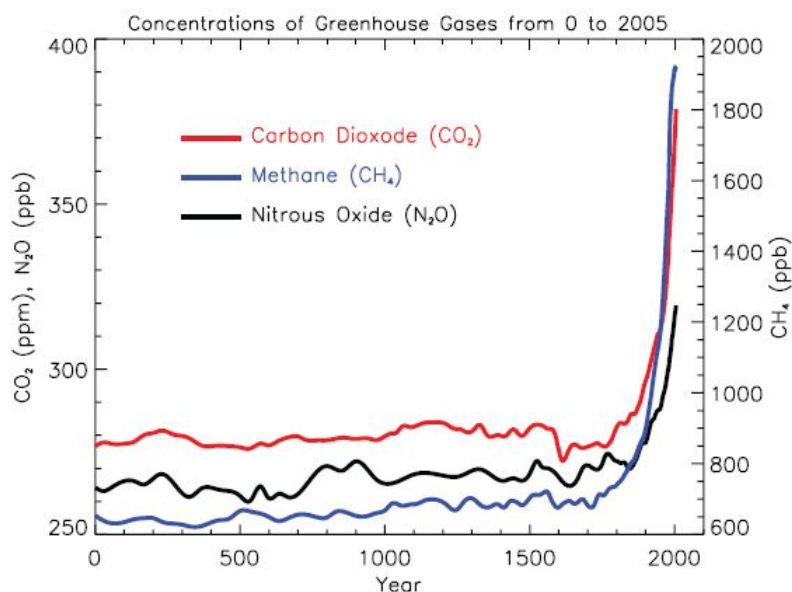
Til trods for at koncentrationen af metan og lattergas er hhv. 200 og 1000 gange mindre i atmosfæren end CO_2 , er frigivelsen af de to gasser meget vigtig, idet de udgør hhv. 18% og 6% af den samlede drivhuseffekt. [Christiansen et al., 2012b] Derudover har metan et global warming potential (GWP) der er 25 gange større end for CO_2 , mens lattergas har et GWP, der er 298 gange større. De to drivhusgasser har derfor stor indflydelse på den globale opvarmning. [Solomon et al., 2007b] Dette skyldes bl.a. at de to gasser har en lang levetid i atmosfæren, hhv. 8,4 år for metan og 114 år for lattergas, hvilket er årsag til at de i længere tid kan bidrage længere til drivhuseffekten. [Solomon et al., 2007a] Derudover er de effektive til at adsorbere den infrarøde stråling, der reflekteres fra jorden, hvilket har

betydning for de globale klimaforandringer, idet gennemsnitstemperaturen på jorden stiger. [Torres-Alvarado et al., 2005]

1.2 Drivhusgasser

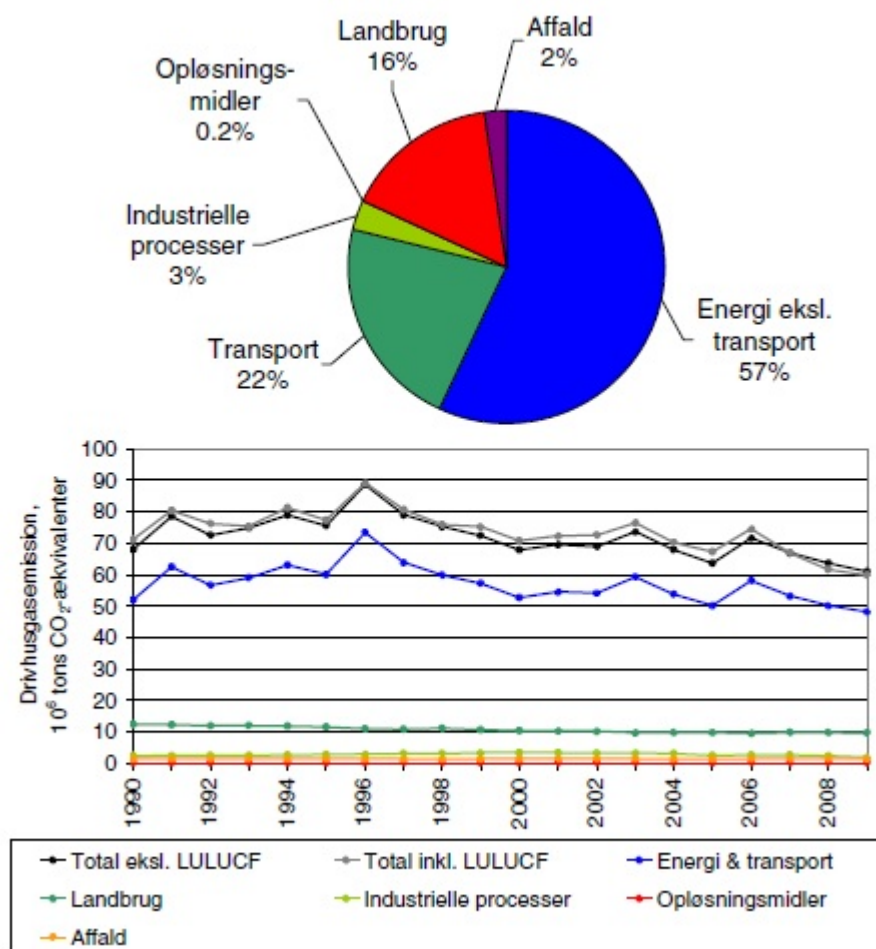
Terrestriske økosystemer kan enten frigive eller optage drivhusgasserne, CO_2 , metan og lattergas, hvilket sker ved mikrobielle processer. [Ye et al., 2009] Frigivelsen af metan og lattergas fra terrestriske arealer til atmosfæren er langt mindre end frigivelsen af CO_2 . [Smith et al., 2003]

Figur 1.2 viser udviklingen i den atmosfæriske koncentration af hhv. metan, lattergas og CO_2 fra år 0-2005. Der ses en kraftig stigning omkring 1750 pga. den industrielle revolution. Den øgede koncentration af drivhusgasser skyldes hovedsageligt menneskelig aktivitet. [Solomon et al., 2007a]



Figur 1.2: Udviklingen i den atmosfæriske koncentration af drivhusgasserne; lattergas, metan og CO_2 igennem tiden. [Solomon et al., 2007a]

Den danske emission af drivhusgasser opgivet i CO_2 -ækvivalenter ses på figur 1.3 på modstående side. En af de primære menneskeskabte kilder til emission af metan og lattergas er landbruget, der i 2009 bidrog med hhv. 70% og 91 % af den totale emission af de to gasser, mens vådområder er den primære naturlige kilde til frigivelse af metan. [Nielsen et al., 2011] I 2009 stod landbrugssektoren for 15,8 % af den totale emission. [Nielsen et al., 2011]



Figur 1.3: Dansk emission af drivhusgasser opgivet i CO₂-ækvivalenter samt fordelingen af bidraget på forskellige sektorer i 2009. [Nielsen et al., 2011]

Vådområder, der er en del af LULUCF-sektoren, havde i 2009 et bidrag på 5 Gg CO₂-ækvivalenter. [Nielsen et al., 2011] Koncentrationen af drivhusgasser i atmosfæren har været stigende siden 1750. Der er på nuværende tidspunkt øget fokus på vådområders rolle som enten kilde eller dræn af hhv. metan og lattergas, pga. øget opmærksomhed omkring drivhusgasser og global opvarmning. [Broll et al., 2002]

Problemformulering

2

For at mindske udledningen af næringsstoffer til recipienterne, er der vedtaget planer for at imødekomme EU's vandramme direktiv, hvor nyetablerede vådområder skal mindske udvaskningen ved at omdanne nitrat til frit kvælstof. Efter den igangsatte plan skal 10.000 ha omdannes eller genetableres som vådområder i årene 2010-2015 for at opnå en reduktion på 1.130 tons N inden 2015. Det har betydning for jordmiljøet og de mikrobielle processer, der sker i jordmatricen.

Ud fra indledningen er det tydeligt, at koncentrationen af drivhusgasserne lattergas og metan gennem tiden har været stigende i atmosfæren. I dette projekt ønskes det derfor belyst, hvorvidt vådområder vil frigive eller optage drivhusgasserne; lattergas og metan. I den forbindelse ønskes det belyst, i hvilken dybde de forskellige processer primært foregår samt hvilke intervaller af vandindhold, der er mest favorable for de forskellige processer.

Projektet er udarbejdet for at belyse om etablerede vådområder påvirker emissionen af drivhusgasserne; metan og lattergas, og i givet fald i hvilket omfang, da sådanne resultater endnu ikke er opnået. [Nielsen et al., 2011]

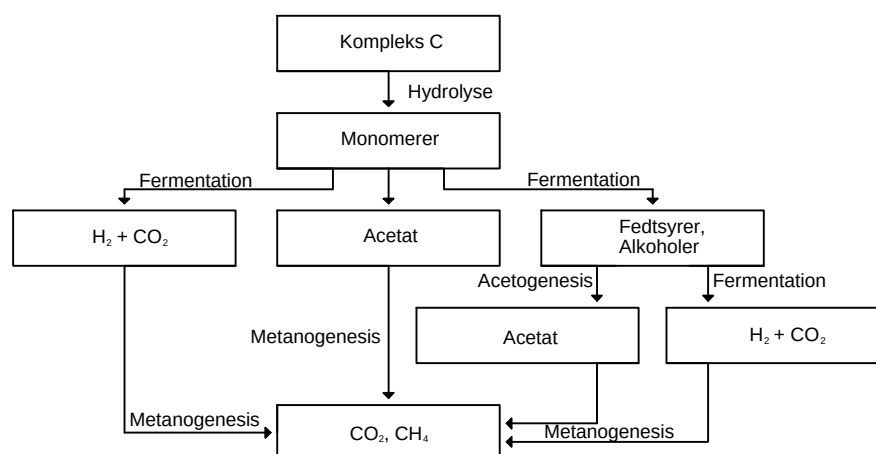
Ved at etablere vådområder reduceres mængden af næringsstoffer, der frigives til recipienterne, men bidrager vådområderne til drivhusgas effekten ved at frigive metan og lattergas. Spørgsmålet er, om der løses et problem ved etablering af vådområder, mens der skabes et problem med udledning af drivhusgasserne, metan og lattergas.

Metan og lattergas er to af de vigtigste drivhusgasser, idet de er hhv. 25 og 298 gange mere potent end CO_2 set over en periode på 100 år. [Solomon et al., 2007b] I jorden dannes disse gasser dog under forskellige forhold. I dette kapitel vil der derfor være en gennemgang af, hvordan de to gasser dannes biologisk i jorden.

3.1 Emission af metan fra våde enge

Den største naturlige kilde til metan i atmosfæren er vådområder. [Broll et al., 2002] Emissionen af metan fra vådområder er bestemt af forholdet mellem metanproduktionen og metanoxidationen samt transporten af metan. [Torres-Alvarado et al., 2005] Balancen mellem dannelsen og oxidationen af metan har betydning for om området frigiver eller optager metan. [Mer og Roger, 2001]

Metan produceres under anaerobe forhold, mens det forbruges under aerobe forhold. Figur 3.1 giver en overordnet beskrivelse af dannelsen af metan ud fra organisk materiale. [Madigan et al., 2009]



Figur 3.1: Anaerob nedbrydning af organisk materiale, hvorved der produceres metan, *frit efter [Madigan et al., 2009].*

I naturlige systemer skyldes en stor del af emissionen af drivhusgasser mineraliseringen af organisk stof. Metan produceres primært ud fra acetat efterfulgt af reduktion af CO_2 med H_2 i de fleste vådområder med neutral pH. Er miljøet i vådområdet surt, er den dominerende

proces derimod reduktionen af CO₂. [Torres-Alvarado et al., 2005]

Metanproducerende bakterier er meget følsomme overfor pH-ændringer og har som regel optimum omkring neutral eller lidt højere pH. [Mer og Roger, 2001] Ved pH omkring 5,5 er metanproduktionen stort set 0. [Henze et al., 2006]

Biologisk oxidation mindsker frigivelsen af metan til atmosfæren. De metanoxiderende bakterier i den aerobe zone oxiderer noget af den metan, der diffunderer op gennem zonen, mens resten frigives til atmosfæren. [Rydin og Jeglum, 2006] Hastigheden, hvormed metan diffunderer til atmosfæren, sænkes af faktorer som lav porøsitet, vandmætning og højt organisk indhold. Kontakttiden med jordens anaerobe og aerobe zone øges, idet diffusionshastigheden sænkes, hvilket medfører en sænkning i frigivelsen af metan til atmosfæren som følge af anaerob og aerob oxidation. [Rogers og Whitman, 1991]

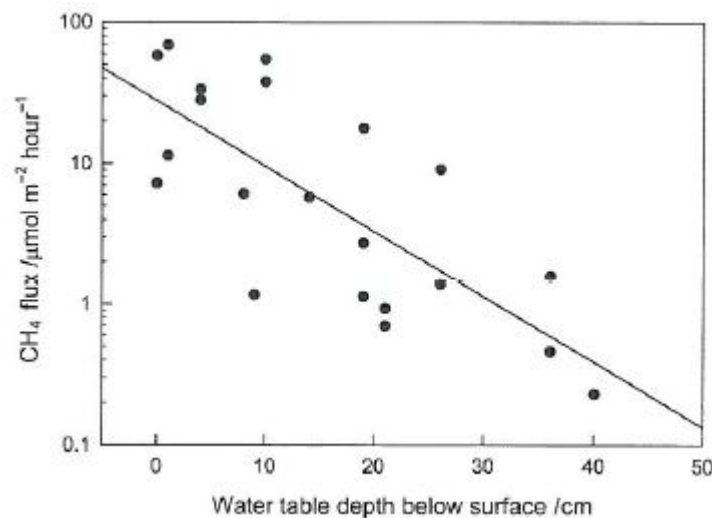
Ligning 3.1 beskriver oxidationen af metan til CO₂. [Fenchel et al., 1998]



Denne proces er vigtig, idet 60 til over 90% af den metan, der er dannet i de dybereliggende jordlag, her oxideres til CO₂, hvis GWP er 20 gange mindre end metans. [Mer og Roger, 2001]

Metanoxiderende bakterier forbliver levedygtige under anaerobe forhold, hvilket forklarer hvorfor jord, der skiftevis udtørres og oversvømmes, opretholder et stort potentiale for metanoxidation, når de favorable forhold igen opstår. De er mere tolerante overfor pH-ændringer end metanproducerende bakterier, men er følsomme overfor forsurening af miljøet. [Mer og Roger, 2001]

Reduktionen afhænger i høj grad af indholdet og hvilken slags organisk materiale, der når den anaerobe zone. Den aktive zone, hvor produktionen af metan foregår, bevæger sig med vandspejlet. [Mer og Roger, 2001] Vandspejlets niveau har derfor indirekte betydning for emissionen af metan, idet produktionen af metan sker under strengt anaerobe forhold. Ydermere sker oxidationen af metan under aerobe forhold, hvorfor et højt vandspejl er ensbetydende med en stigning i emissionen grundet gunstige forhold for de metanogene bakterier, mens et lavt vandspejl er favorabelt for de metanotrofe bakterier, der mindsker emissionen, hvilket kan ses på figur 3.2. [Torres-Alvarado et al., 2005] Det vil sige, at tykkelsen af det oxiderende lag ligeledes indflydelse på emissionen af metan. [Broll et al., 2002]



Figur 3.2: Metan flux som funktion af dybden af vandspejl. [Smith et al., 2003]

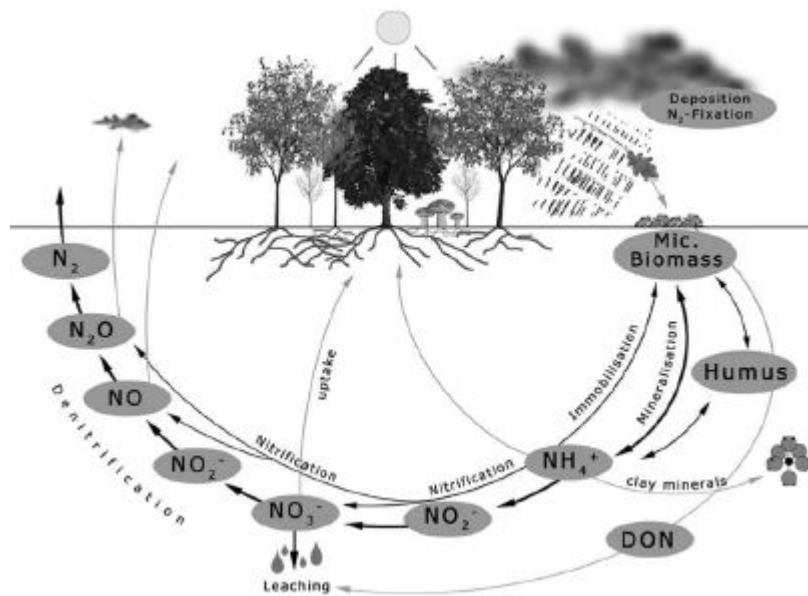
Jordens vandindhold har betydning for samspillet mellem metanogene og metanotrofe bakterier. En mættet jord giver anledning til øget aktivitet hos de metanproducerende bakterier, mens aktiviteten af de metanoxiderende bakterier reduceres, idet størrelsen af den oxiderede zone mindskes. Generelt stiger de metanproducerende bakteriers aktivitet til der opnås et vandindhold tæt på markkapacitet. [Mer og Roger, 2001] Ydermere optager iltet jord ofte metan pga. metanoxidationen. [Smith et al., 2003]

Jordteksturen har også betydning for emissionen af metan, idet produktionen af metan er størst i jord med højt indhold af ler og organisk materiale og lav i en jord bestående af sand, hvilket skyldes de førstnævntes evne til at tilbageholde vand, hvorved der opnås anaerobe forhold. [Torres-Alvarado et al., 2005]

3.2 Emission af lattergas fra våde enge

Våde enge reetableres, idet de har stort potentiale til at fjerne overskydende nitrat fra de omkringliggende marker vha. denitrifikation, jf. indledningen (kapitel 1 på side 1). Ved denitrifikationen dannes dog lattergas som mellemprodukt, der er en yderst potent drivhusgas. [Broll et al., 2002]

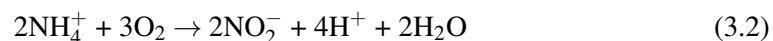
Lattergas produceres i jorden som mellemprodukt i hhv. denitrifikation og nitrifikation. Denitrifikation er en anaerob respirationsproces, der er meget udbredt i naturen. [Madigan et al., 2009] Den forløber overalt, hvor der er nitrat til stede og ingen ilt. [Henze et al., 2006] Ved processen reduceres nitrat (NO_3^-) eller nitrit (NO_2^-) til nitrogenholdige gasser, som molekylært nitrogen (N_2), nitrogenoxid (NO_x) og lattergas (N_2O). Figur 3.3 på næste side viser kvælstofkredsløbet i jorden, hvor både denitrifikationen og nitrifikationen er vist.



Figur 3.3: Kvælstofkredsløbet i jorden, hvor det kan ses, hvilket processer, der frigiver lattergas til atmosfæren. [Rubol, 2010]

Denitrifikationen har et pH optimum på ca. 7-9, der dog kan variere, og ved processen øges vandets alkalinitet. pH har stor betydning for processens slutprodukt, idet der ved faldende pH-værdier, dvs. $\text{pH} < 7$, produceres en stigende mængde kvælstofoxider, hvor der især er tale om produktion af N_2O . [Henze et al., 2006]

Den største kilde til lattergas i atmosfæren er denitrifikation, men derudover bidrager nitrifikation ligeledes til emissionen. [Rogers og Whitman, 1991] Nitrifikationen er en aerob proces, der foregår i 2 trin. Først oxideres ammonium til nitrit, hvorefter nitrit oxideres til nitrat. De to processer kan hhv. ses i ligning 3.2 og ligning 3.3. [Fenchel et al., 1998]



Ved nitrifikationen benytter de nitrificerende bakterier ammonium og nitrit som elektron-donorer, hvorved der produceres nitrat. [Madigan et al., 2009] Processen er pH-afhængig med et optimum ved pH 8-9 og alkaliniteten af vandet reduceres ved processen. [Henze et al., 2006] Ydermere har ammoniumkoncentrationen betydning, idet ammoniumoxidationen er det begrænsende trin i den samlede reaktion, fordi det andet trin er afhængigt af det første trin. [Madigan et al., 2009]

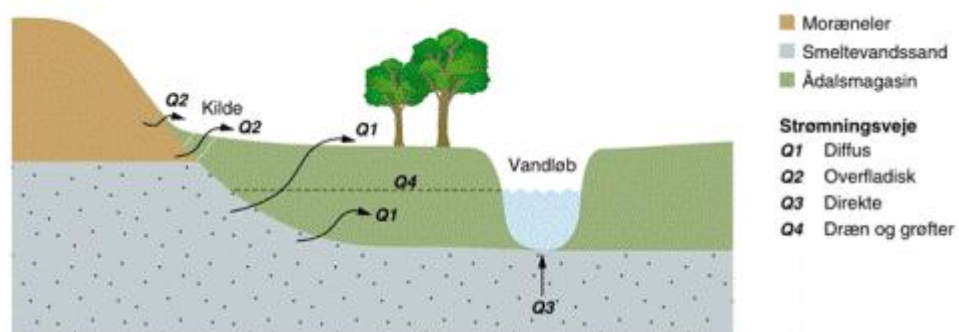
I jordmiljøer har de miljømæssige forhold stor betydning for dannelsen af lattergas, idet disse har betydning for den mikrobielle aktivitet. De faktorer, der har betydning for forholdene er bl.a. jordtype, kulstofindhold, vandindhold og arealanvendelse. [Ye et al., 2009] Brug af N-holdig gødning på landbrugsmarker øger emissionen af lattergas. [Zheng-Qin et al., 2007]

3.3 Jordforhold i vådområder

Vådområder er en mellemtung mellem terrestriske og akvatiske økosystemer. Det er områder, der permanent eller over længere perioder er dækket med vand, dvs. jorden er fugtig, våd eller helt dækket af vand. Vandet kommer fra overfladeafstrømning fra nærliggende arealer eller grundvand der udstrømmer til overfladerecipienter, hvis kan ses ud fra figur 3.4. Det vil sige vandspejlet er placeret tæt ved jordoverfladen. I genetablerede vådområder skal vandet strømme frit, idet de naturlige hydrologiske processer ønskes genoprettet. [Naturstyrelsen, 2010]

Formålet med at genetablere vådområder er at mindske sårbare recipienters kvælstofpåvirkning, hvorfor de inden genetableringen ikke skal fjerne nævneværdige mængder kvælstof. Derudover er en positiv sideeffekt, at diversiteten af flora og fauna i området øges. [Naturstyrelsen, 2010]

Metan og lattergas er begge produkt af biologiske processer i jorden. En række forskellige jordegenskaber har derfor betydning for emissionen af hhv. lattergas og metan fra våde enge. [Zheng-Qin et al., 2007] I det følgende vil der derfor være en gennemgang af de væsentligste egenskaber, der har indflydelse på produktionen og emissionen. Det er partikelfasen i jorden, der har afgørende betydning for vand og opløste stoffers bevægelse i jorden. Jord kan inddeles i forskellige typer efter størrelse; sand, silt, ler og organisk materiale. Sand har en stor partikelstørrelse, mens ler har en lille partikelstørrelse. Sand og silt er neutralt ladede partikler med små specifikke overfladearealer, dvs. de har begrænset indflydelse på jordens fysisk-kemiske egenskaber. Silt kan dog til tider udvise egenskaber, der er typiske for ler og organisk materiale, hvis det er dækket af de to materialer. Ler mineraler og organisk materiale har mange fælles egenskaber. Ler mineraler er den mindste fraktion af partiklerne sammen med organisk stof set som kolloider. De to fraktioner har stor betydning for tilbageholdelsen af opløste stoffer i jordvandet, idet de har en negativt ladet overflade. Under naturlige forhold kan de negative overflader adsorbere kationer, der efterfølgende



Figur 3.4: De forskellige strømninger, der kan forekomme. [Naturstyrelsen, 2010]

kan blive ombyttet med andre kationer i det omkringliggende jordvand. Derudover kan det organiske stof tilbageholde 4-5 gange så meget vand som ler mineralerne og er den primære kilde til kvælstof i jorden. Dannes der makroporer i jorden som følge af biologisk aktivitet, kan dette have stor betydning for transporten. [Loll og Møldrup, 2000]

Jordteksturen er vigtig, idet den bestemmer jordens evne til at tilbageholde vand og næringsstoffer. I en lerholdig jord tilbageholdes vandet bedre end i en sandet jord. Dette skyldes, at porestørrelse fordelingen i en lerholdig jord er mere ensartet og derved kan adsorbere mere vand, mens en sandet jord har mange store porer, der hurtigt tømmes, hvorved kun en lille mængde vand kan tilbageholdes. [Loll og Møldrup, 2000] Vandindholdet har stor betydning for nitrifikationen, idet denne proces er aerob.

Sand og grus har normalt en lavere porøsitet end ler og silt, men vandet har sværere ved at strømme igennem leret, idet porerummene i ler er meget små og ofte ikke sammenhængende i modsætning til sand og silt. [Karlby og Sørensen, 2002] Derudover falder porøsiteten typisk med dybden, idet jorden bliver mere kompakt som følge af trykket fra de ovenliggende lag. [Loll og Møldrup, 2000]

Hastigheden, hvormed vandet transporteres i porerne, er bestemt af formen, placeringen og størrelsen af porerne. Hastigheden er større i store porer og mindre i små porer og er størst i midten af porerne i forhold til tæt ved porevæggen. De opløste stoffer transporteres med vandet og kan samtidig bevæge sig i selve vandet vha. diffusion. Nogle opløste stoffer kan sorbere til jordens indhold af ler og/eller organisk materiale, hvorved deres transport bliver sænket i forhold til jordvandet, der transporterer dem. Derudover kan der ske en kemisk eller biologisk nedbrydning eller de kan blive optaget eller frigivet fra planterødder. [Loll og Møldrup, 2000]

Nitrat er letopløseligt i vand og vil derfor transporteres gennem vådområdet med grundvandet eller overfladevandet. Under transporten vil en del nitrat i vådområdet omdannes til frit kvælstof ved denitrifikation, hvorved mindre kvælstof når frem til recipienter og grundvand. [Planlægningsrådet for forskning, 1987]

Kvælstof kan også findes som ammoniak i jorden, der kan afgives ved fordampning eller omdannes til ammonium. Ammonium har sværere ved at blive udvasket eller fordampe fra jorden, idet det kan binde sig til jordens indhold af ler og organisk materiale. [Planlægningsrådet for forskning, 1987]

Der er valgt 3 våde enge tæt ved Aalborg; Poulstrup, Restrup og Østerådal. Alle er fugtige jorde, der ligger tæt ved et åløb og derved har et højtliggende grundvandsspejl. Ved en række forsøg bestemmes jordteksturen, retentionskurver, m.fl. for at beskrive forholdene på de 3 lokaliteter.

På hver lokalitet indsamles jordsøjler i 50 cm lange rør med Ø110 mm. Søjlerne bankes 30-40 cm ned i jorden og graves efterfølgende op, hvorefter de forsejles i bunden med et låg. Herefter opbevares de ved 8°C med parafilm på toppen, indtil de skal analyseres. Før analysen kan begynde temperatur equilibreres søjlerne (ca. 20°C). Inden forsøgets start lukkes systemet med et låg isat et septum til prøvetagning. Opstillingen kan ses på figur 4.1 på næste side. Ved prøvetagningen udtages 0,3 mL med en kanyle påsat en sprøjte fra jordsøjlernes gasfase til analyse vha. gaskromatografi. Der måles flux for hhv. metan og lattergas, hvilket gøres på en gaskromatograf vha. 2 forskellige metoder. Til analyse af metan benyttes en Chrompack CP 9002 FID gaskromatograf med en Poraplot Q 0,53x30 m kolonne, hvor N₂ benyttes som bæregas. Til analyse af lattergas benyttes en Chrompack 9000 ECD gaskromatograf med N₂ som bæregas og Poraplot Q 0,53x30 m kolonne. De yderligere indstillinger af gaskromatograferne kan ses i tabel 4.1.

Tabel 4.1: De forskellige temperaturer i gaskromatograferne

Analyse	Injektionsport	Ovn	Detektor
CH ₄	120°C	115°C	225°C
N ₂ O	120°C	110°C	250°C

Efter endt prøveserie tages septummet af søjlerne og der drænes vand fra bunden af søjlerne ved at suge med 200 cm vandsøjle. Det udtagne vand filtreres gennem et GF-75 filter (porestr. = 0,75 µm) og vandet opbevares på frost til det analyseres ved standard metode for hhv. NH₄-N, NO₂-N og NO₃-N (Dansk standard 224, 223 og 26777). Processen gentages til der ikke kan drænes mere fra søjlerne.

4.1 Deling af jordsøjle

En søjle fra hver lokalitet inddeles i 5 cm snit. I hvert snit udtages en intaktprøve (100 cm³) til bestemmelse af flux ved varierende vandindhold. Derudover opsamles det overskydende jord i hvert snit til bestemmelse af pH og kvælstof ved KCl-metoden.



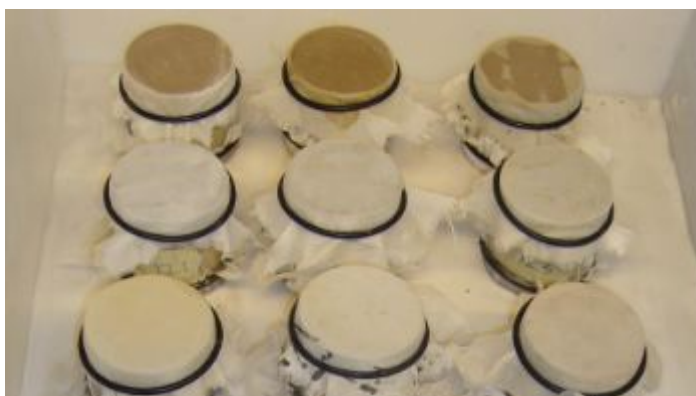
Figur 4.1: Opstilling til bestemmelse af flux ud fra hel søjle.

4.2 Bestemmelse af pH og kvælstof

Efter deling af søjlerne homogeniseres jorden fra hvert snit i hver sin plastikpose, hvorefter der afvejes 10 g jord til 50 mL 1M KCl-opløsning. Herefter sættes prøverne på rystebord i 60 min, inden pH kan måles direkte i opløsningen med et pH-meter. Efter bestemmelse af pH hældes noget af opløsningen i et 10 mL reagensglas og centrifugeres ved 4000x omdrejninger i 10 min. Herefter filtreres supernatanten gennem et GF-75 filter (porestr. = 0,75 μm) og opbevares på frost til de analyseres ved standard metode for hhv. $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{NO}_2\text{-N}$ og $\text{NO}_3\text{-N}$.

4.3 Bestemmelse af flux fra intaktprøver

På bunden af intaktprøverne sættes et stykke stof med en porestørrelse på 140-150 μm , der holdes fast af en O-ring. De udtagne intaktprøver mættes med vand ved at sætte prøverne i en balje med kaolin i bunden og fylde vand i, så kaolinen hele tiden er fugtig. På denne måde mættes prøverne med vand fra bunden.



Figur 4.2: Vådning af intaktprøver på kaolin.

Herefter analyseres prøverne ved at sættes dem i en gastæt beholder med et septum i låget, som vist på figur 4.3 på næste side. Umiddelbart efter glassene er lukket udtages 0,3 mL fra gasfasen, der analyseres for hhv. metan og lattergas ved gaskromatografi.



Figur 4.3: Opstilling for bestemmelse af flux fra intaktprøver.

Efter endt prøveserie tages prøverne op af beholderne og sættes i en retentionsboks, hvor et nyt vandindhold i intaktprøverne opnås. Figur 4.4 viser retentionsboksen. For yderligere beskrivelse af retentionsboksen se [Loll og Møldrup, 2000] s. 31-33.



Figur 4.4: Retentionsboksen, hvor nyt vandindhold opnås.

Serien for de opnåede vandindhold kan ses i tabel 4.2.

Tabel 4.2: Intaktprøverne analyseres ved de givne vandindhold, der både er opgivet som pF og cm H₂O.

pF	"1"	2	2,3	2,5	2,7	2,9
cm H ₂ O	10	100	200	316	501	795

For hvert vandindhold bestemmes flux fra intaktprøverne, hvilket gøres ved ovenstående procedure.

4.4 Bestemmelse af flux fra intaktprøver tilsat kvælstof

Intaktprøverne mættes på ny med nitratholdigt vand. Vandet hentes i Østeråen, hvorefter det filtreres gennem et GC-50 filter med en porestørrelse på $1,2\ \mu\text{m}$, inden der tilsættes NaNO_3 til en koncentration på $100\ \text{mg NO}_3/\text{L}$. Prøverne behandles som beskrevet i afsnit 4.3 på side 17. Tiden, det tager for at der indstiller sig en ligevægt ved nyt vandindhold, ønskes nedsat. Derfor sættes intaktprøverne efter endt prøveserie på en rist og i atmosfærisk luft, hvorved ligevægten kan opnås i løbet af timer i forhold til flere dage, som det ville tage, hvis de stod i retentionsboksen. Efter ønsket vandtab er opnået sættes der låg på intaktprøverne og de opbevares sådan i 24 t, så det resterende vand kan fordele sig i prøverne.



Figur 4.5: Intaktprøver, der drænes i atmosfærisk luft.

4.5 Fasefordeling

Efter endt prøveserie inddeles de hele søjler i 5 cm snit. Vandindholdet i disse snit samt intaktprøverne ønskes bestemt, så den tilsatte tørstofmængde til prøverne kan findes. Dette gøres ved at overføre prøverne til aluminiumsbakker, hvorefter de stilles til tørring ved 105°C i 24 timer. Herefter vejes aluminiumsbakkerne igen, hvorved vandindholdet findes, idet det er differensen mellem vægten før og efter tørring. Mængden af organisk materiale findes ved at brænde det af ved 550°C i 24 timer, hvorefter bakkerne igen vejes.

4.6 Sigteanalyse

Til bestemmelse af partikelstørrelsefordelingen udføres en sigteanalyse på jord fra hver lokalitet. Der udføres en tørsigtning på jord fra Poulstrup og Restrup, mens en vådsigtning er nødvendig for jorden fra Østerådal.

Partikelinddelingen kan ses i tabel 4.3 på næste side.

Tabel 4.3: Typisk partikelstørrelse inddeling.

Størrelse [μm]	Beskrivelse af fraktion
>2000	Grus
500-2000	Større del af groft sand fraktionen
200-500	Mindre del af groft sand fraktionen
75-200	Del af fint sand fraktionen
<75	Ler, silt, groft silt

Dette gøres ved at placere 5 sier med forskellige maskestørrelser samt en bund ovenpå hinanden, startende med den største maskestørrelse øverst. Ved tørsigtning overføres en hvis mængde til den øverste si, hvorefter sierne rystes til partiklerne har fordelt sig i de respektive sier. Herefter vejes fraktionerne. I modsætning til tørsigtning skylles partiklerne igennem sierne med demineraliseret vand ved vådsigtning. Herefter overføres fraktionerne til aluminiumsbakker, der sættes ved 105°C , så vandet kan fordampe og fraktionerne vejes.



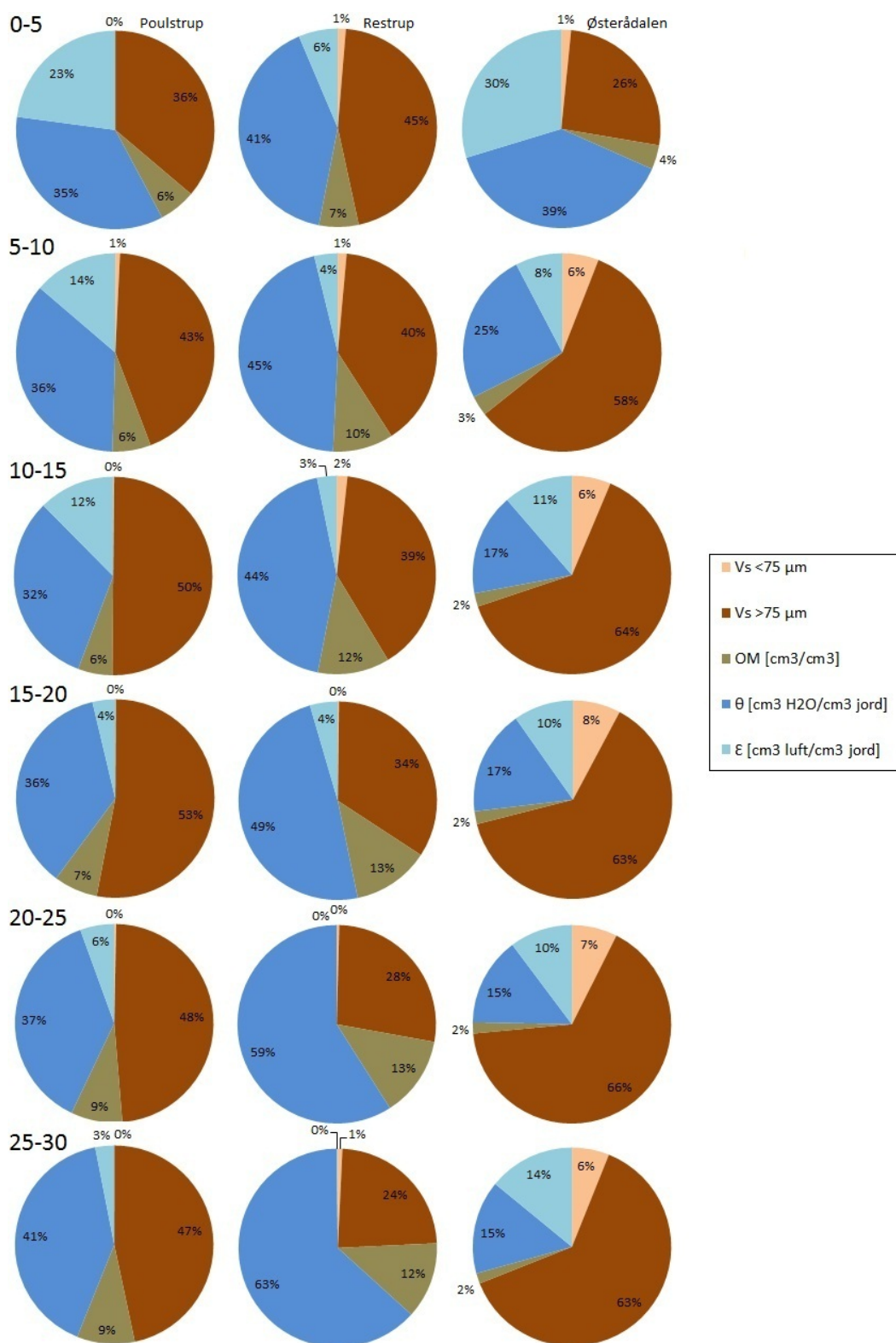
Figur 4.6: Udstyr til sigteanalyse.

I det følgende afsnit vil de opnåede resultater blive præsenteret. Først vil jorden fra de tre lokaliteter blive karakteriseret med henblik på vand- og luftindhold, partikelstørrelse og organisk indhold. Derudover er der udarbejdet retentionskurver samt bestemt pH og kvælstof i jorden. Ydermere er de fundne flux for hhv. metan og lattergas plottet som funktion af hhv. tryk, relativ vandmætning og luftfyldte porer. For yderligere informationer henvises til Appendiks A på side I og bilags-cd.

5.1 Jordtekstur og porøsitet

I figur 5.1 på næste side er angivet andelen af partikler (V_s), organisk materiale (OM), luftfyldte (ϵ) og vandfyldte porer (θ) i 6 dybder for hhv. Poulstrup, Restrup og Østerådal.

5.1 Jordtekstur og porøsitet



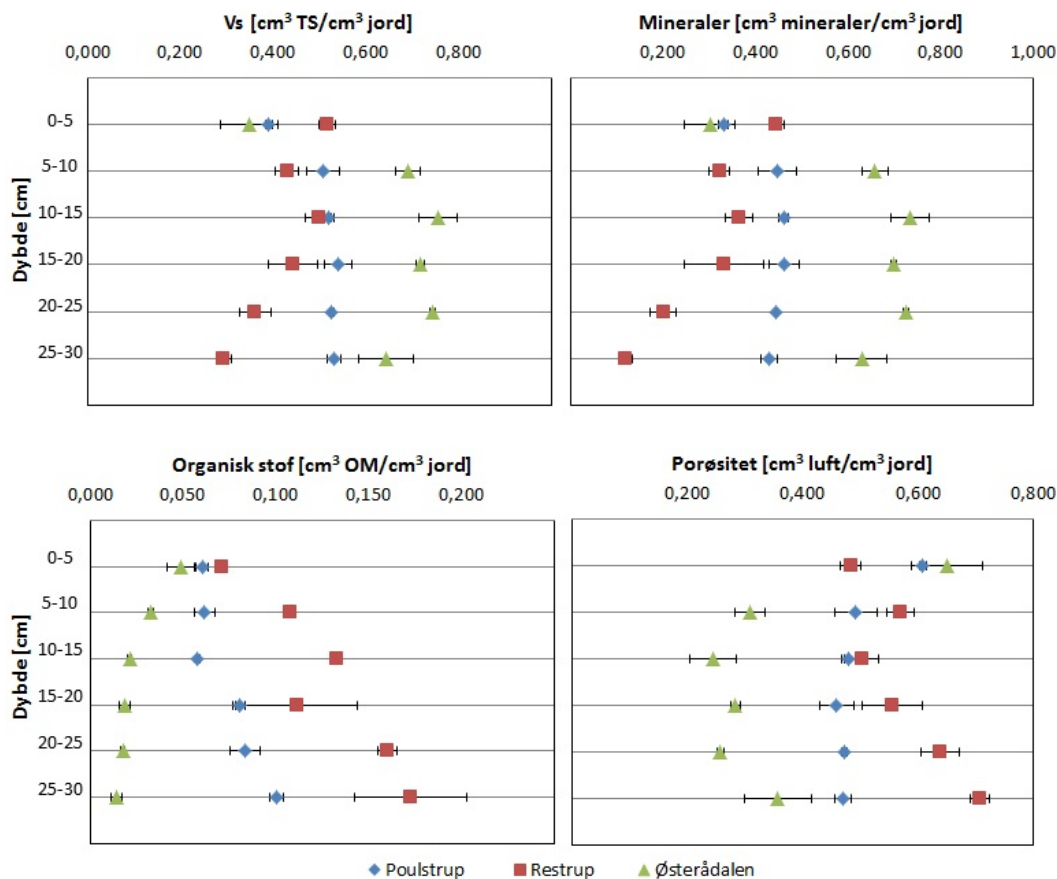
Figur 5.1: Fordelingen af partikler (V_s) under og over $75 \mu m$, organisk materiale (OM), luftfyldte (ϵ) og vandfyldte porer (θ) i 6 dybder for hhv. Poulstrup, Restrup og Østerådal ved pF 2,5.

Ud fra figur 5.1 på modstående side ses det, at jorden fra Østerådalene indeholder væsentlig flere partikler under $75\ \mu\text{m}$ end de to andre lokaliteter, der kun indeholder 0-2%. Dette har indflydelse på jordens evne til at holde på vandet, idet mere vand tilbageholdes i en lerholdig jord end i en sandet jord, jf. afsnit 3.3 på side 13. Derudover udgør partiklerne omkring 60% fra 5-30 cm for Østerådalene, dvs. at porøsiteten i disse dybder er lavere end for de andre lokaliteter, hvilket har betydning for transporten i jorden, idet vand og luft transporteres i porerne. Ydermere kan det ses, at de luftfyldte og vandfyldte porer udgør tilnærmelsesvis hver sin halvdel af porøsiteten. Derudover indeholder jorden fra Østerådalene betydelig mindre organisk materiale end de to andre. Dette kan have indvirkning på produktionen af drivhusgasser i jorden, idet disse produceres som følge af bakteriel aktivitet, jf. kapitel 3 på side 9. Snittet fra 0-5 cm har anderledes inddeling end de øvrige jordlag, idet partikeldelen udgør en væsentlig mindre del. Derudover er indholdet af små partikler ligeledes mindre end for de andre dybder.

Karakteristisk for Restrup er, at indholdet af organisk materiale er væsentlig højere i alle dybder end for de andre lokaliteter, hvilket kan have betydning for produktionen af lat-tergas og metan. Derudover indeholder dybderne væsentlige mængder vand, fra 20-30 cm er jorden vandmættet, hvilket ligeledes har indflydelse på omsætningen i jorden, idet aerobe/anaerobe forhold har betydning for den mikrobielle omsætning. Ydermere er andelen af partikler mindst sammenlignet med de to andre lokaliteter, idet den udgør fra 25-45%. Typisk for jorden fra hhv. Poulstrup og Restrup er, at vandindholdet bliver større med dybden.

5.2 Partikler og porøsitet i de forskellige dybder

I figur 5.2 sammenlignes andelen af partikler, der yderligere er inddelt i mineraler og organisk stof, samt porøsiteten for de 3 lokaliteter ned gennem jordprofilet.

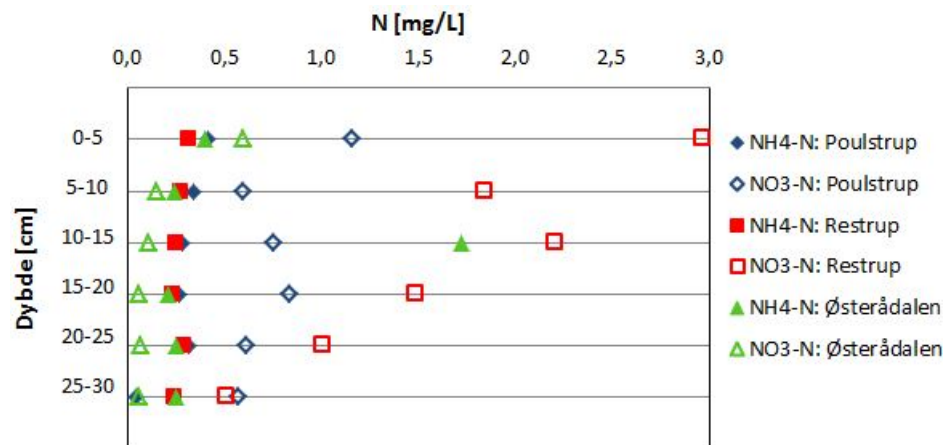


Figur 5.2: Fasefordeling for hhv. Poulstrup, Restrup og Østerådal inddelt i 6 cm snit, hvor ϕ er den totale porøsitet og V_s er volumetrisk indhold af tørstof (partikler), der yderligere er opdelt i volumetrisk indhold af hhv. mineralske partikler og organisk stof. Der er angivet et gennemsnit af dobbeltbestemmelsen samt max og min værdier.

Ud fra ovenstående figur ses ligeledes, at Østerådal generelt indeholder flest partikler, mens det organiske indhold er størst for Restrup og at porøsiteten er mindst for Østerådal.

5.3 Kvælstof og pH bestemt i jordprofilet

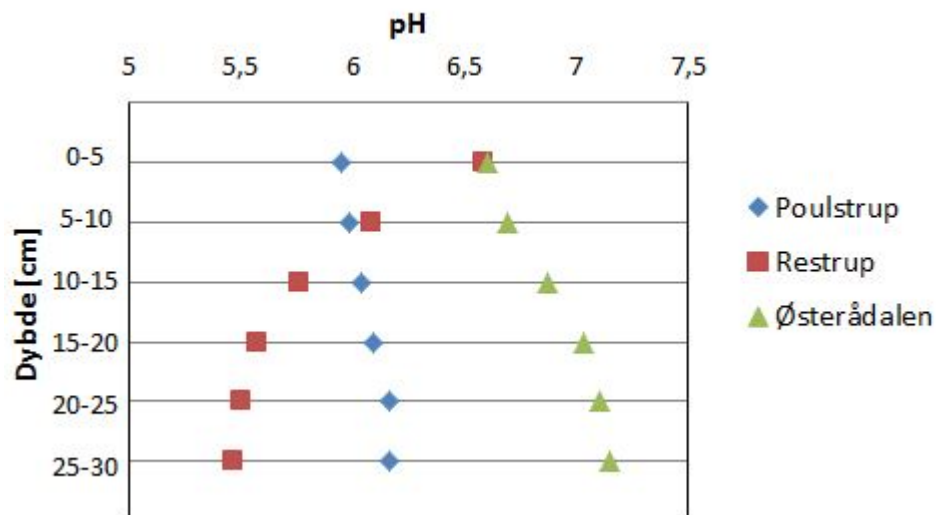
På figur 5.3 på modstående side ses indholdet af ammonium-N og nitrat-N i 6 dybder fra 0-30 cm for de 3 lokaliteter; Poulstrup, Restrup og Østerådal.



Figur 5.3: Kvælstof på formerne ammonium-N og nitrat-N bestemt i 6 dybder på de 3 lokaliteter; Poulstrup, Restrup og Østerådal.

Det ses, at jorden fra Poulstrup indeholder koncentrationer op til 1 mg NO₃-N/L og 0,5 mg NH₄-N/L. I jorden fra Restrup ses store nitrat-N koncentrationer, der i toppen er 3 mg/L, hvorefter den er faldende ned gennem jordprofilet. I jorden fra Østerådal er der fundet de laveste koncentrationer af ammonium-N og nitrat-N, der begge generelt er under 0,3 mg/L. Der er ligeledes bestemt nitrit-N for alle lokaliteter, men idet der stort set ikke var nitrit til stede i jorden, er disse ikke vist i figur 5.3.

Figur 5.4 viser pH bestemt i 6 dybder for de 3 lokaliteter.



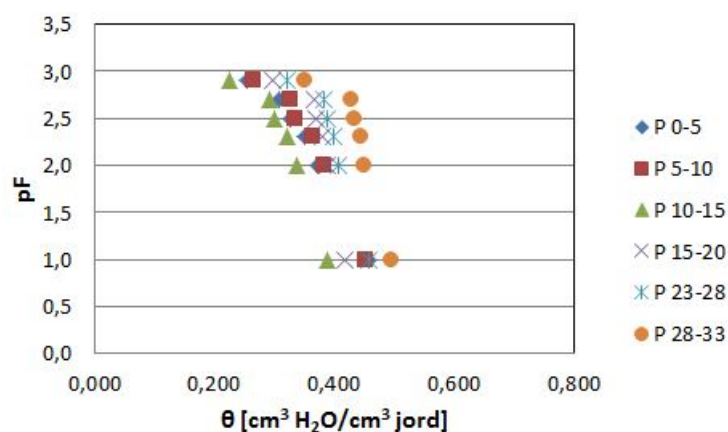
Figur 5.4: pH bestemmelse i 6 dybder for hhv. Poulstrup, Restrup og Østerådal.

Ned gennem jordprofilet fra Poulstrup ligger pH på ca. 6. Ved jorden fra Restrup falder pH fra 6,5-5,5 fra 0-20 cm, hvorefter pH er 5,5 fra 20-30 cm. Ydermere stiger pH fra 6,5-7 ned gennem jordprofilet fra Østerådal. I kapitel 3 på side 9 beskrives, hvordan pH har indflydelse på hhv. metan- og lattergasproduktionen i jorden. De metanproducerende bakterier

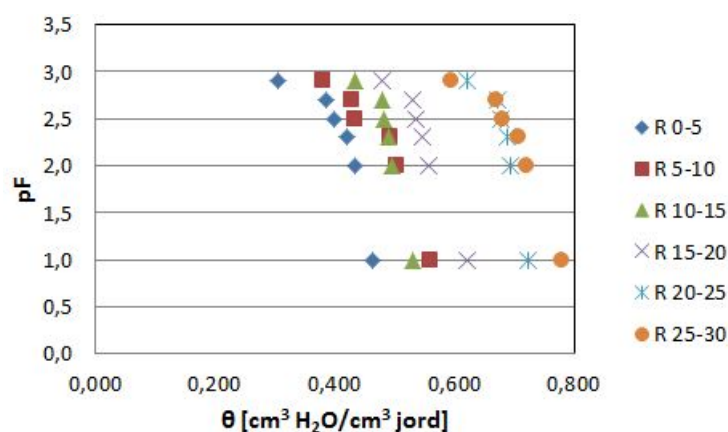
har ofte optimum omkring pH 7 eller højere, hvorfor det må antages, at de metanproducerende ikke har optimale forhold i jorden fra Poulstrup og at der stort set ikke forekommer metanproduktion i Restrup som følge af den lave pH. Fælles for de 3 lokaliteter er, at der må antages en høj produktion af lattergas, idet pH for alle er under 7.

5.4 Retentionskurver

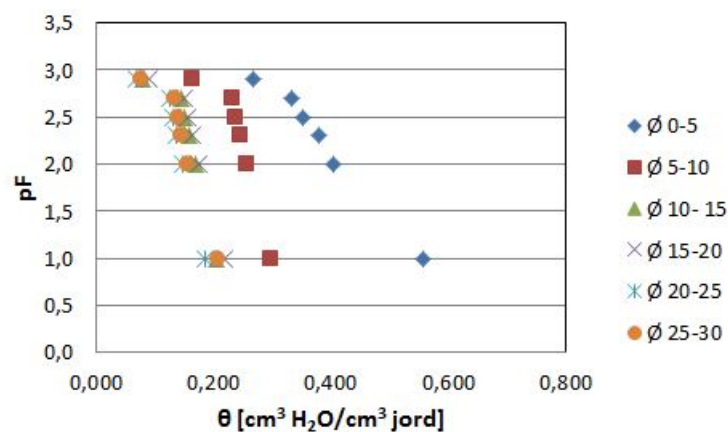
Nedenstående figurer viser retentionskurverne for hhv. Poulstrup, Restrup og Østerådalen i de 6 dybder.



Figur 5.5: Retentionskurver for Poulstrup i 5 cm snit.



Figur 5.6: Retentionskurver for Restrup i 6 dybder i jordprofilet.



Figur 5.7: Retentionskurver for Østerådalen i 5 cm snit.

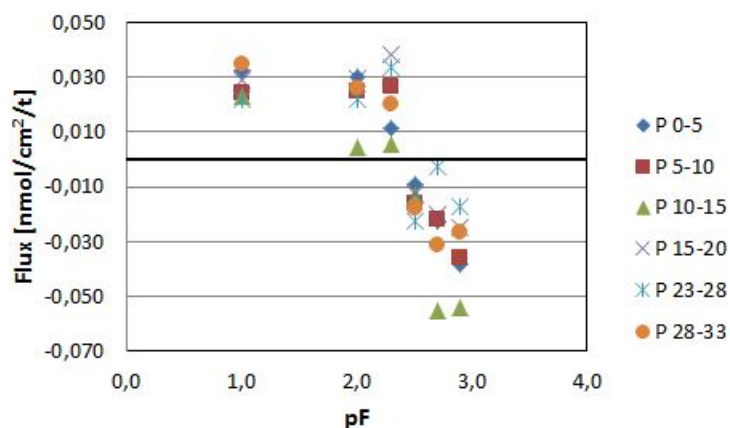
Retentionskurverne beskriver, hvor meget vand der kan tilbageholdes i jorden ved et givet tryk og er afhængig af jordteksturen. Generelt ses det, at jorden fra Restrup kan tilbageholde mere vand end de to andre lokaliteter, hvilket kan skyldes det store indhold af organisk materiale, der er god til at tilbageholde vand. Derudover ses det, at der skal tilføres mere tryk før porerne tømmes.

Retentionskurven for de øverste 5 cm fra Østerådalene tyder på, at jorden er sandet, hvilket stemmer overens med partikelstørrelsefordelingen. Derved indeholder de øverste 5 cm store porer, der tømmes først, hvis jorden udsættes for et lille tryk. Partikelstørrelsefordelingen for resten af prøverne fra alle lokaliteter er mere ens, hvilket også kan ses ved retentionskurvernes forløb, idet jorden gradvist tømmes for vand ved stigende tryk. Derudover er det gældende for jorden fra hhv. Poulstrup og Restrup, at det dybereliggende jord tilbageholder mere vand end jorden tæt ved jordoverfladen. Dette gør sig dog ikke gældende for Østerådalene, hvor det forholder sig stik modsat.

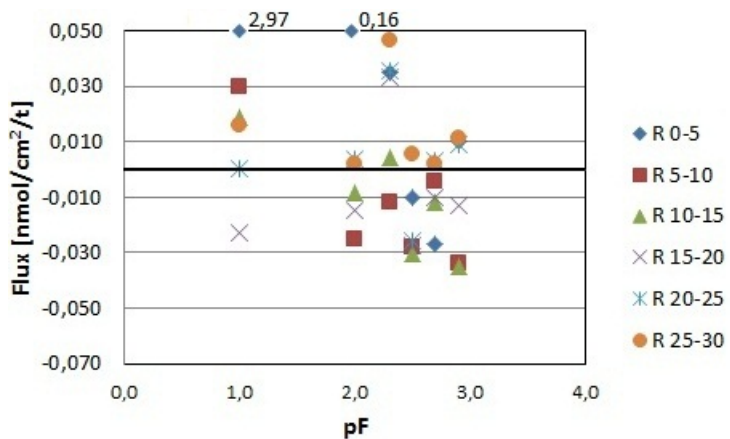
5.5 Flux som funktion af pF

I dette afsnit og de 2 efterfølgende vil flux af metan fra intaktprøver, der ikke er tilsat kvælstof, blive præsenteret først, efterfulgt af flux af lattergas fra intaktprøver, der er tilsat kvælstof, og sidst flux af metan fra intaktprøver, der ligeledes er tilsat kvælstof. Derudover præsenteres lokaliteterne altid i følgende rækkefølge; Poulstrup, Restrup og Østerådalene. Efter præsentation af figurer for de forskellige lokaliteter, vil figurerne blive kommenteret.

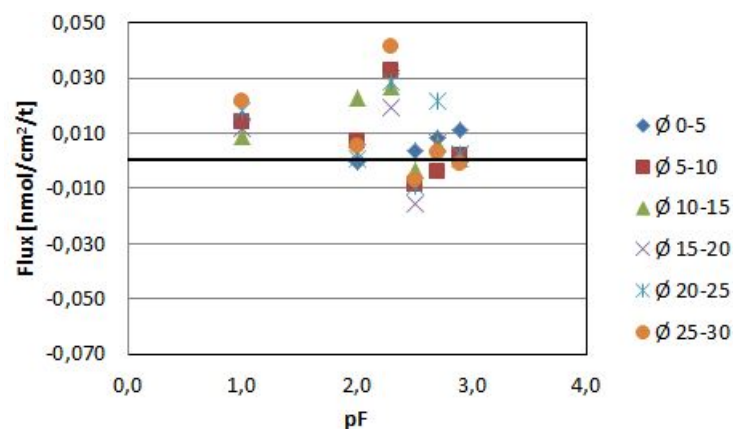
Nedenfor ses de fundne flux af metan for intaktprøver, der ikke er tilsat kvælstof, som funktion af pF for hhv. Poulstrup, Restrup og Østerådalene.



Figur 5.8: De fundne flux af metan i 6 dybder som funktion af pF for Poulstrup



Figur 5.9: De fundne flux af metan for Restrup i 6 dybder som funktion af pF.

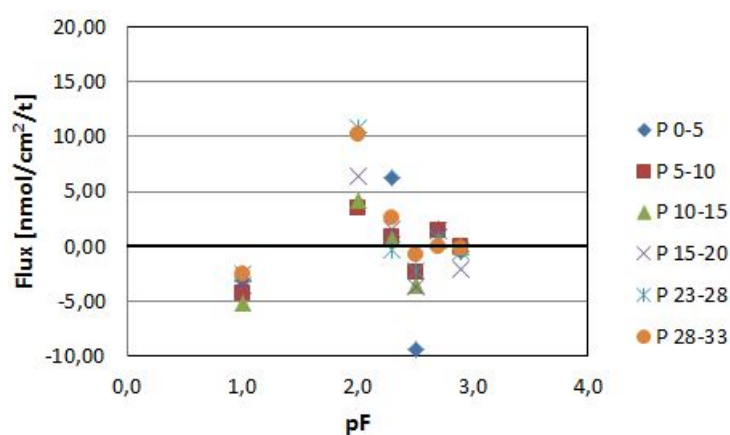


Figur 5.10: De fundne flux af metan i 6 dybder som funktion af pH for Østerådal

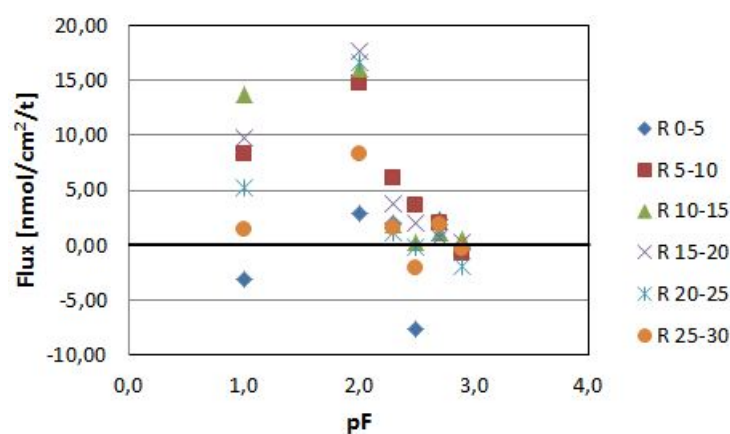
For Poulstrup ses, at ved en pF på ca. 2,5 slår jorden over fra at være metanproducerende til at være metanoxiderende. I jorden fra Restrup ses, at der i den nederste dybde produceres metan ved et hvilken som helst tryk. Derudover er der opnået ekstremt høje flux af metan i dybden 0-5 cm ved de første to tryk. I jorden fra Østerådal ses primært en produktion

af metan, hvilket tyder på, at potentialet for metanproduktion ikke er særlig stort på denne lokalitet.

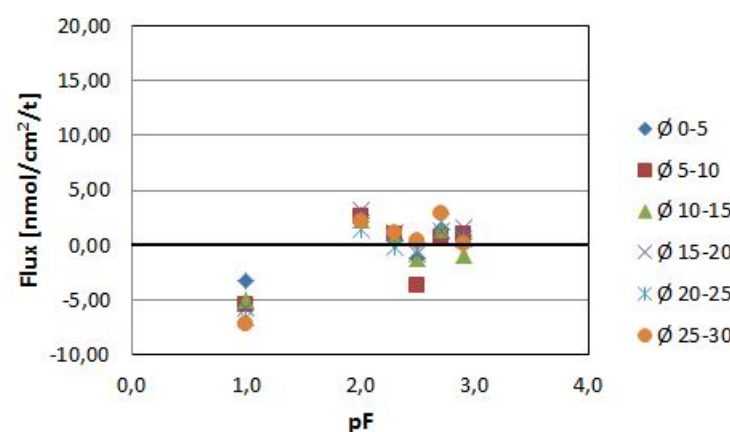
Nedenfor ses de fundne flux af lattergas for intaktprøver tilsat kvælstof som funktion af pF i 6 dybder for hhv. Poulstrup, Restrup og Østerådal. De fundne flux er potentielle, idet den tilsatte koncentration af kvælstof er usandsynlig høj set i forhold til naturlig jord.



Figur 5.11: De fundne flux af lattergas i 6 dybder for Poulstrup som funktion af pF.



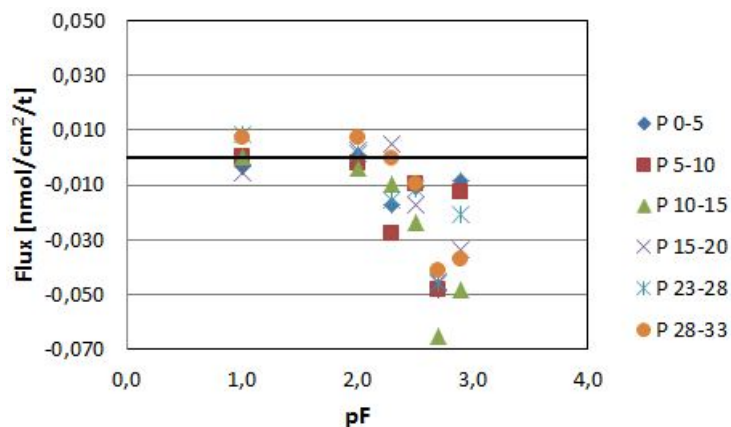
Figur 5.12: De fundne lattergas flux i 6 dybder for Restrup som funktion af pF.



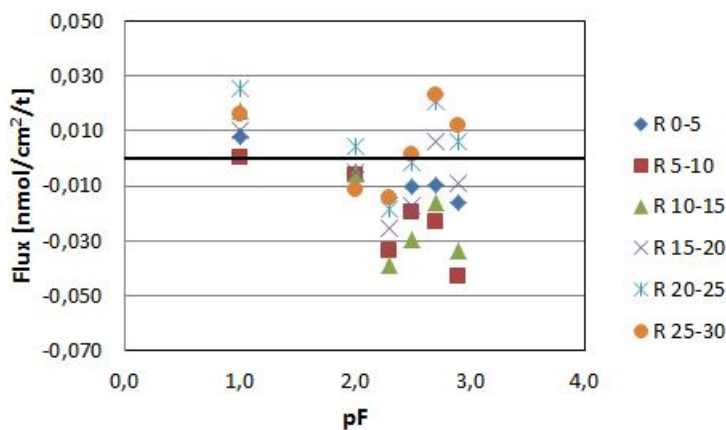
Figur 5.13: De fundne flux af lattergas i 6 dybder for Østerådal som funktion af pF.

For Poulstrup og Restrup ses, at de potentielle flux af lattergas er størst ved pF 2. De potentielle flux af lattergas er generelt lave for Østerådal, under 4 nmol/cm²/t.

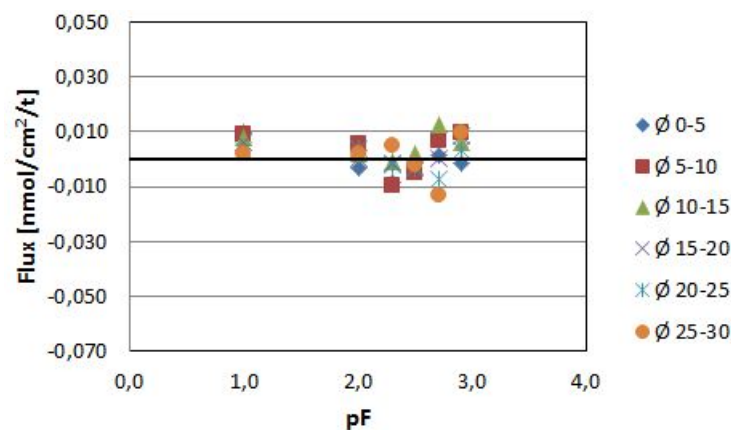
Nedenfor ses de fundne flux af metan, efter der er tilsat kvælstof til intaktprøverne.



Figur 5.14: De fundne metan flux for Poulstrup i 6 dybder som funktion af pF.



Figur 5.15: De fundne flux af metan for intaktprøver tilsat kvælstof fra Restrup i 6 dybder.



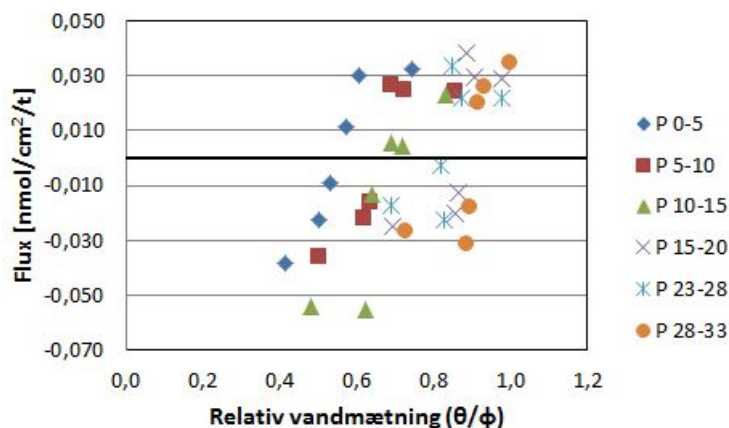
Figur 5.16: De fundne flux af metan for intaktprøver fra Østerådalen tilsat kvælstof.

På figur 5.14 for Poulstrup ses, at produktionen af metan er lavere nu i forhold til før der blev tilsat kvælstof. Ydermere ses det, at der i flere dybder sker en oxidation og at oxidationen er større end for de andre 2 lokaliteter. For Restrup ses, at nogle dybder, hvor der før blev produceret metan, nu oxiderer metan. Derudover ses det, at metanproduktionen for

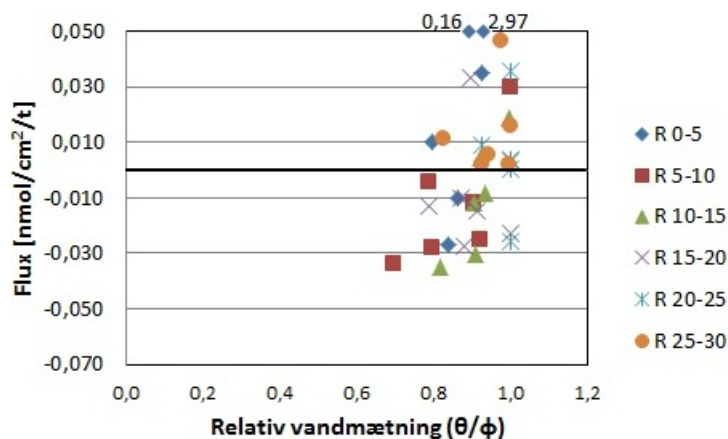
Østerådalen er blevet mindre og ligger tæt ved 0, hvilket betyder, at der næsten er balance mellem produktionen og oxidationen af metan. Ydermere ses, at potentialet for metanoxidation stadig ikke er til stede, idet de opnåede fluxe for metanoxidation er meget små (den største er ca. $-0,010 \text{ nmol/cm}^2/\text{t}$). Metanproduktionen falder efter tilsat kvælstof, idet der tilføres en anden elektronacceptor, der er mere favorabel end CO_2 .

5.6 Flux som funktion af relativ vandmætning

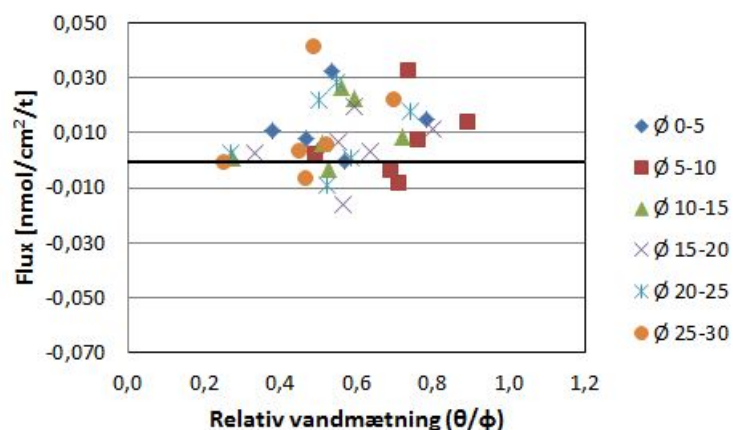
Nedenfor ses de fundne flux af metan fra intaktprøver, der ikke er tilsat kvælstof. Intaktprøverne er fra 6 forskellige dybder fra de 3 lokaliteter; Poulstrup, Restrup og Østerådalen.



Figur 5.17: De fundne flux for metan fra intaktprøver fra Poulstrup i 6 dybder, der ikke er tilsat kvælstof.



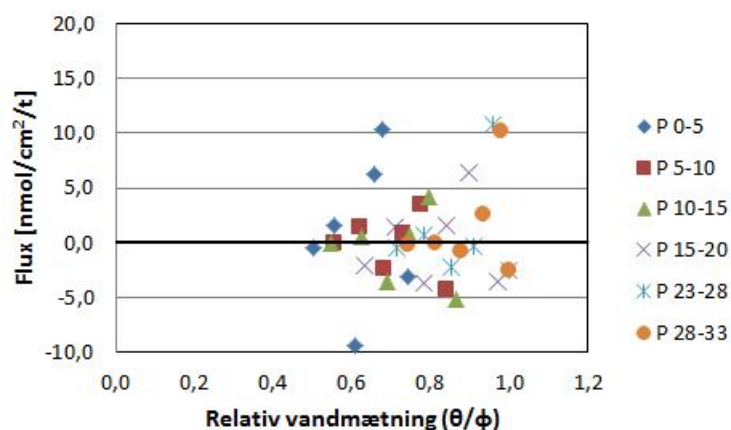
Figur 5.18: De fundne flux af metan fra intaktprøver fra Restrup i 6 dybder som funktion af relativ vandmætning



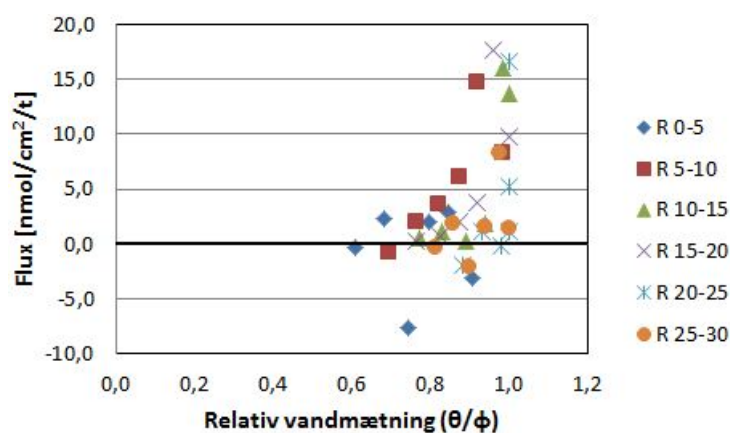
Figur 5.19: De fundne metan flux fra jorden i Østerådal i 6 dybder som funktion af relativ vandmætning.

For jorden fra Poulstrup ses, at ved lav relativ vandmætning oxideres metan i alle dybder, hvorefter de skifter til metanproduktion ved en given vandmætning, der dog er forskellig

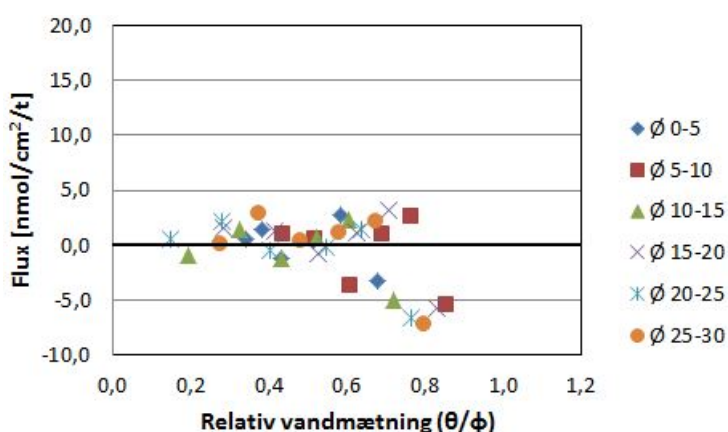
fra dybde til dybde. Der ses tendens til lineær overgang mellem metanoxidation og metanproduktion. For Restrup er den relative vandmætning generelt større end for de to andre lokaliteter, hvilket kan skyldes, at det organiske materiale er bedre til at tilbageholde vandet. Den største produktion af metan findes tæt ved fuld vandmætning. Den relative vandmætning for Østerådalene varierer over det største interval, fra 20-90%, sammenlignet med de to andre lokaliteter. Nedenfor ses de fundne flux af lattergas fra intaktprøver tilsat kvælstof for hhv. Poulstrup, Restrup og Østerådalene.



Figur 5.20: De fundne flux af lattergas fra Poulstrup i 6 dybder som funktion af relativ vandmætning.



Figur 5.21: De fundne flux af lattergas ved forskellig relativ vandmætning for Restrup i 6 dybder.

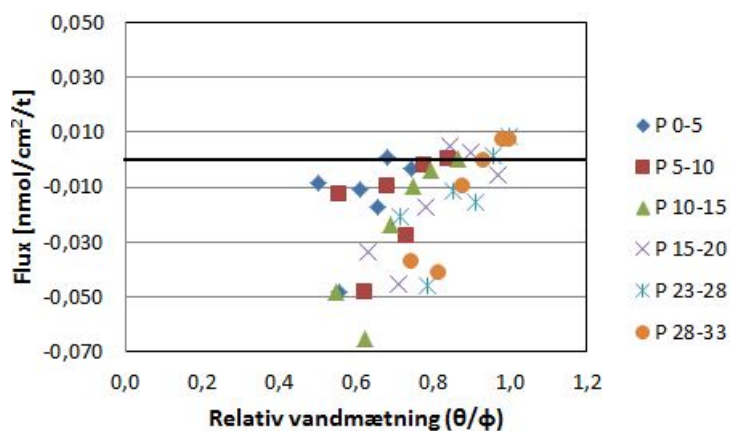


Figur 5.22: De fundne flux af lattergas fra intaktprøver tilsat kvælstof for jord fra Østerådal.

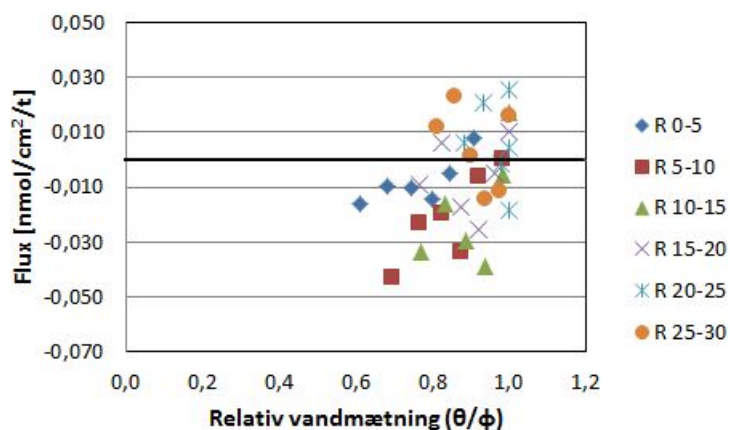
For Poulstrup ses, at der er en høj potentiel flux af lattergas ved en relativ vandmætning på 65% for dybden fra 0-5 cm. Derudover ses, at den potentielle flux af lattergas i dybden

28-33 cm først peaker ved en relativ vandmætning tæt på 100%. For Restrup ses stadig den højeste relative vandmætning. Der ses ligeledes et peak i lattergasproduktionen ved en relativ vandmætning på 90-100%. Derudover ses det, at den potentielle produktion af lattergas er høj i dybden 5-20 cm. Potentialet for lattergasproduktion i Østerådal er lavt.

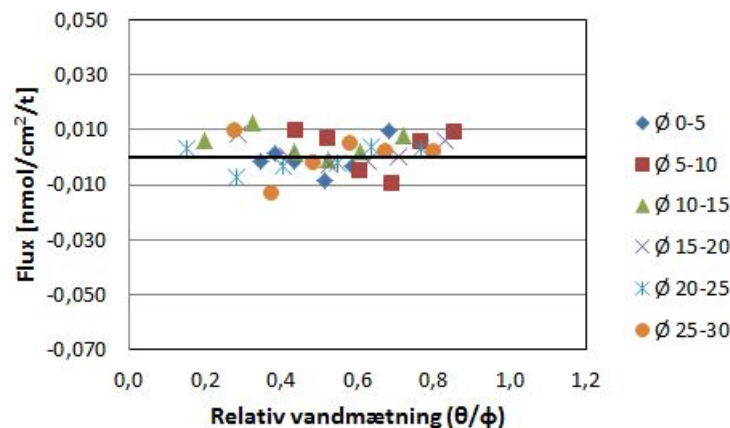
Nedenfor ses de fundne flux af metan fra intaktprøver tilsat kvælstof i 6 dybder for hhv. Poulstrup, Restrup og Østerådalen.



Figur 5.23: De fundne flux af metan ved tilsætning af kvælstof til intaktprøverne for Poulstrup.



Figur 5.24: De fundne flux af metan efter tilsætning af kvælstof til intaktprøverne fra Restrup



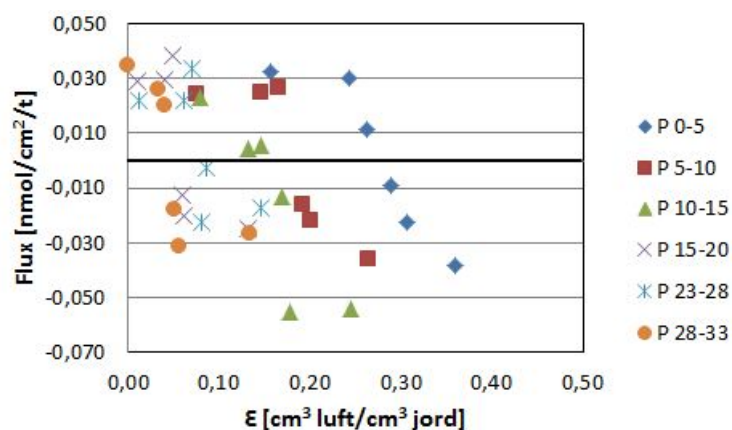
Figur 5.25: De fundne flux af metan for intaktprøver fra Østerådalen tilsat kvælstof.

Produktionen af metan er lav for de 3 lokaliteter efter der er tilsat kvælstof til prøverne og for Poulstrup stiger oxidationen af metan i forhold til før.

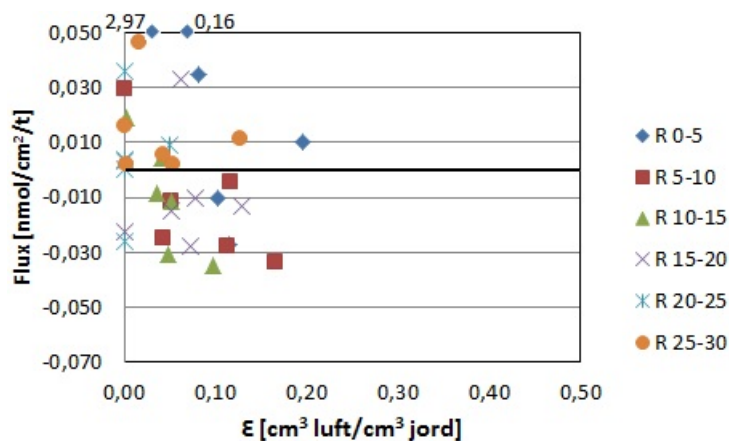
5.7 Flux som funktion af luftfyldte porer

Nedenfor ses flux af metan fra intaktprøver, der ikke er tilsat kvælstof, fra hhv. Poulstrup, Restrup og Østerådal.

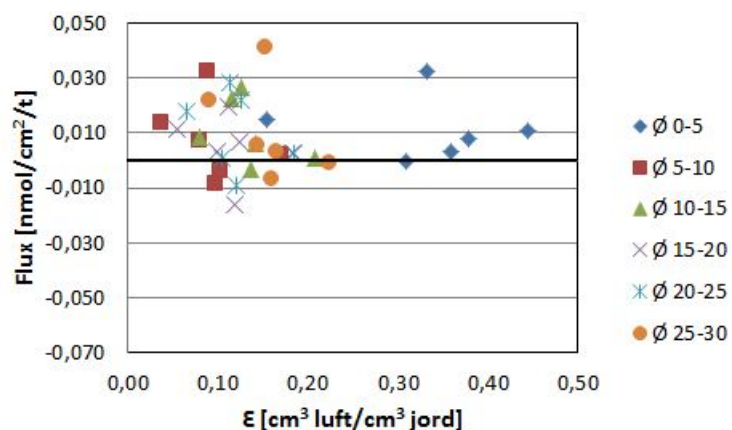
5.7 Flux som funktion af luftfyldte porer



Figur 5.26: Fundne flux af metan for Poulstrup uden tilsat kvælstof.



Figur 5.27: Fundne flux af metan som funktion af luftfyldte porer for Restrup.

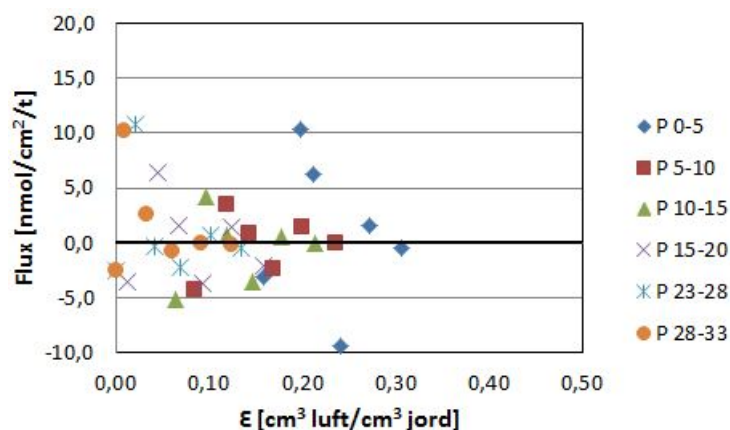


Figur 5.28: Fundne flux af metan fra Østerådal i 6 dybder som funktion af luftfyldte porer. Der er ikke tilsat kvælstof.

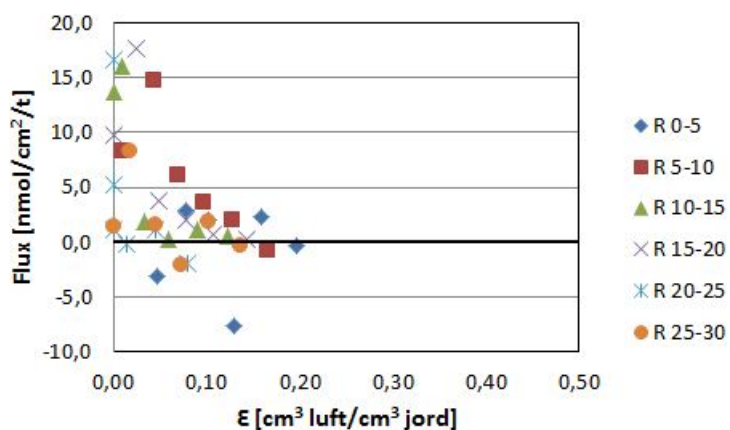
For Poulstrup ses tendens til lineær fordeling af flux fra produktion til oxidation med stigende andel luftfyldte porer. For Restrup findes den laveste procentdel luftfyldte porer. Derudover ses en metanproduktion for alle fra 25-30 cm. For Østerådal ses generelt ten-

dens til metanproduktion. Derudover ses en stor andel af luftfyldte porer fra 0-5 cm.

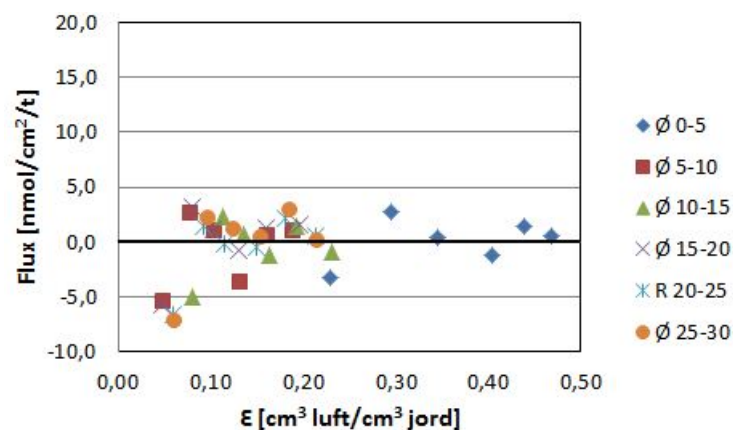
Nedenfor ses flux af lattergas fra intaktprøver, der er tilsat kvælstof. Resultaterne er fra 5 cm snit for hhv. Poulstrup, Restrup og Østerådal.



Figur 5.29: De fundne flux af lattergas fra intaktprøver fra Poulstrup tilsat kvælstof.

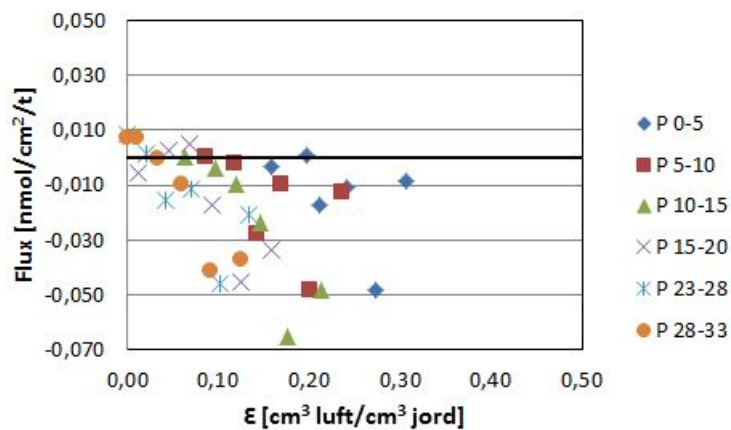


Figur 5.30: De fundne flux af lattergas fra intaktprøver fra Restrup tilsat kvælstof.

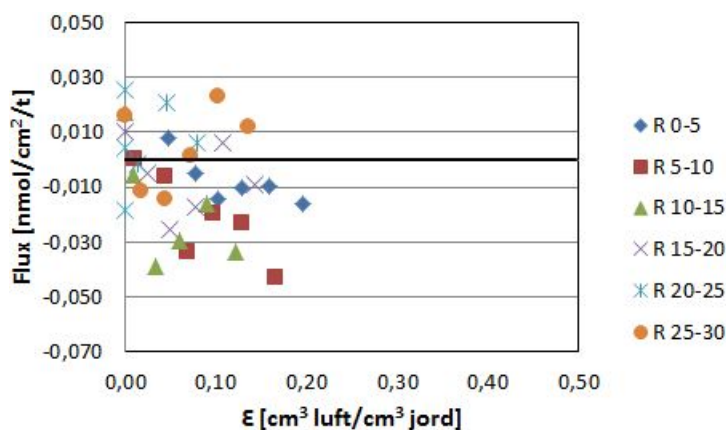


Figur 5.31: De fundne flux af lattergas fra intaktprøver fra Østerådal tilsat kvælstof.

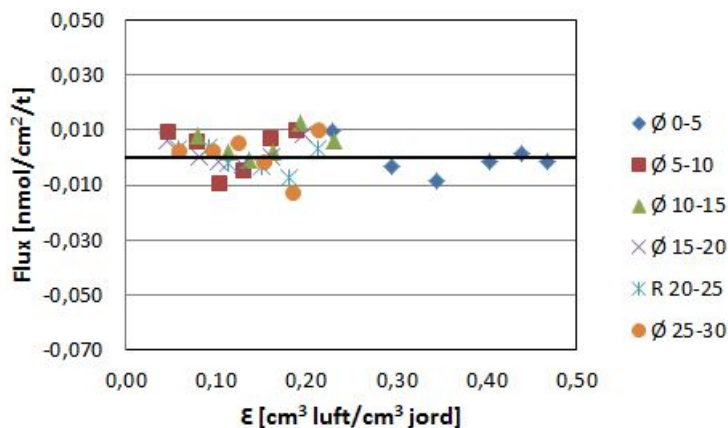
For Poulstrup er der flest luftfyldte porer i toppen af jordprofilet 0-5 cm og færrest i de dybereliggende jordlag. For Restrup ses en høj produktion af lattergas ved en lav procentandel luftfyldte porer. Ydermere er produktionen høj i dybden 5-20 cm. De fundne flux af metan fra intaktprøver efter tilsat kvælstof er angivet nedenunder for hhv. Poulstrup, Restrup og Østerådal.



Figur 5.32: Fundne flux af metan efter tilsat kvælstof til intaktprøverne fra Poulstrup.



Figur 5.33: De fundne flux af metan fra intaktprøver fra Restrup tilsat kvælstof.

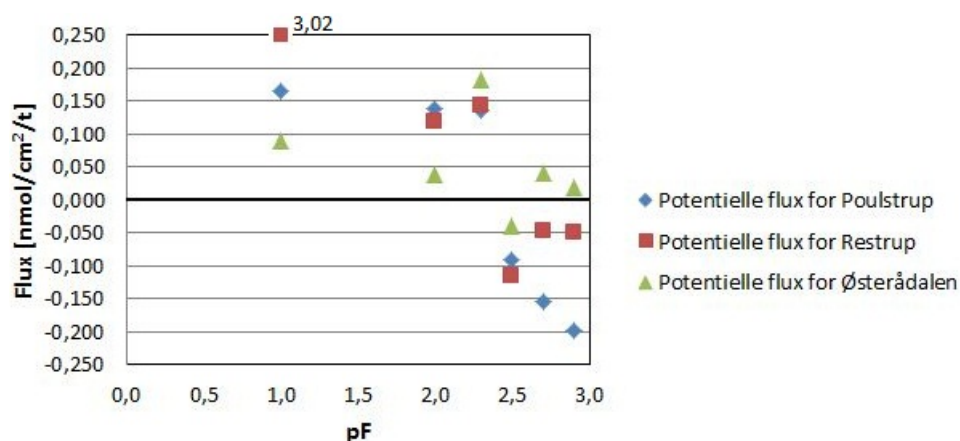


Figur 5.34: Fundne flux af metan fra intaktprøver fra Østerådal tilsat kvælstof.

Der ses en høj oxidation af metan for jorden fra Poulstrup, der peaket fra 10-30% luftfyldte porer. Yderligere er produktionen og oxidationen af metan fra Østerådalen lavest af de 3 lokaliteter.

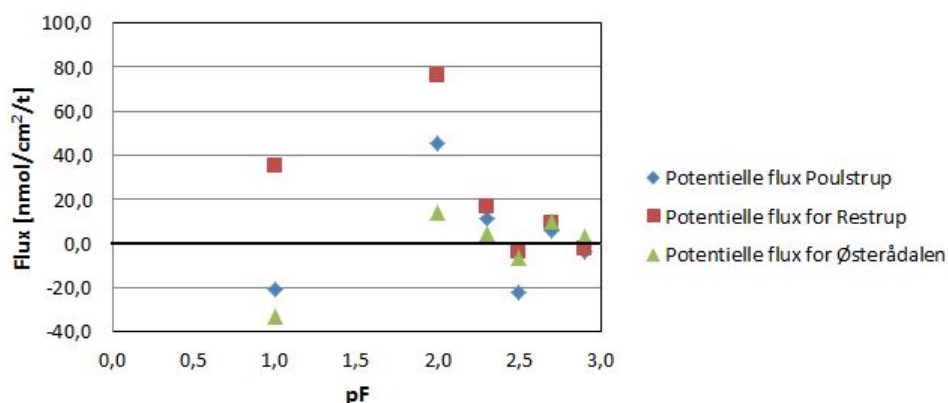
5.8 Potentielle flux

Nedenfor er de potentielle flux af hhv. metan og lattergas for de 3 lokaliteter fundet. Disse er bestemt ved at summere af de fundne flux i alle dybder.



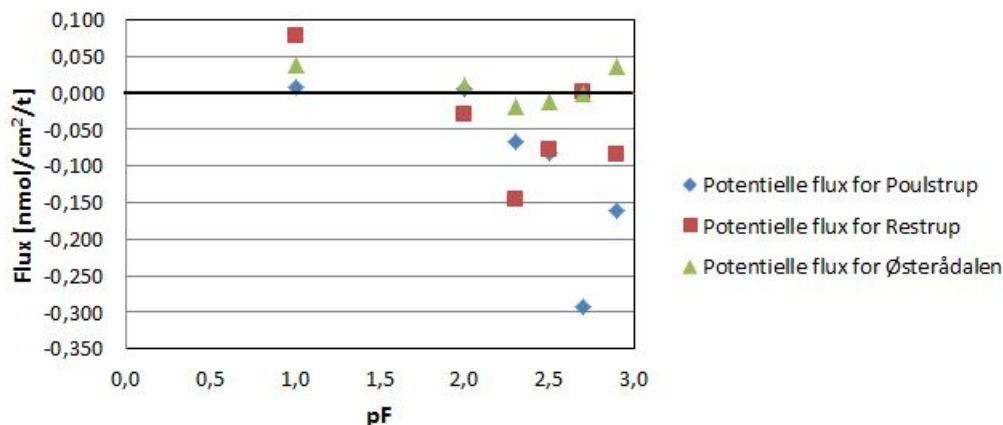
Figur 5.35: Potentielle flux af metan for alle lokaliteter beregnet ud fra prøver, der ikke er tilsat kvælstof til prøverne.

Ud fra figur 5.35 ses det, at potentialet for metanproduktion falder med stigende pF og at de generelt er størst ved pF 1. De potentielle flux for Poulstrup og Restrup skifter ved pF 2 fra metanproduktion til metanoxidation. Derudover ses det, at den potentielle flux for Restrup ved pF 1 er ekstremt høj, 3,02 nmol/cm²/t. Ydermere ses det, at alle potentielle flux for Østerådalen, på nær fluxen bestemt ved pF 2,5, er positive, dvs. der sker en metanproduktion og at potentialet for metanoxidation ikke er til stede.



Figur 5.36: Potentielle flux af lattergas fra alle lokaliteter beregnet ud fra prøver, der er tilsat kvælstof.

På figur 5.36 på forrige side ses et peak i lattergasproduktionen for alle lokaliteter ved pF 2. Det betyder, at der er størst potentiale for lattergasproduktion ved dette vandindhold. De potentielle flux af lattergas er generelt højest for Restrup, efterfulgt af Poulstrup og Østerådal.

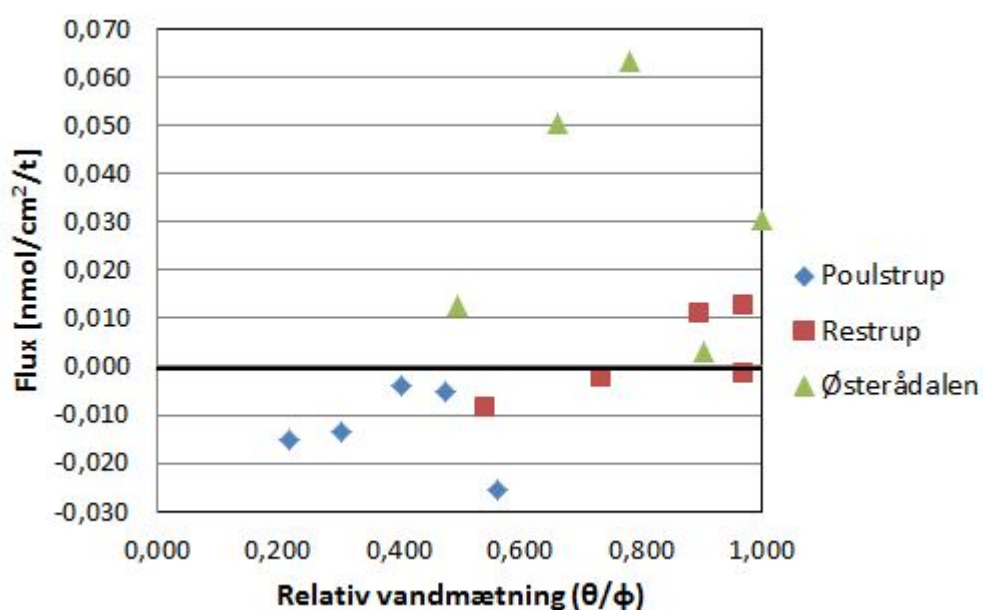


Figur 5.37: Potentielle flux af metan efter tilsætning af kvælstof.

Ud fra figur 5.37 ses det, at tilsætning af kvælstof til prøverne har betydning for metanproduktionen og at den bliver mindre, idet der er mere favorable elektronacceptorer til stede end CO_2 . Ud fra ovenstående figurer ses, at en høj kvælstofkoncentration i jorden har en positiv indvirkning på metanproduktionen. Koncentrationen af kvælstof skal dog ikke påvirke produktionen af lattergas i nævneværdig grad før det har stor betydning for emissionen af CO_2 -ækvivalenter, idet lattergas er 298 gange mere potent end CO_2 , mens metan kun er 25 gange mere potent. [Solomon et al., 2007b]

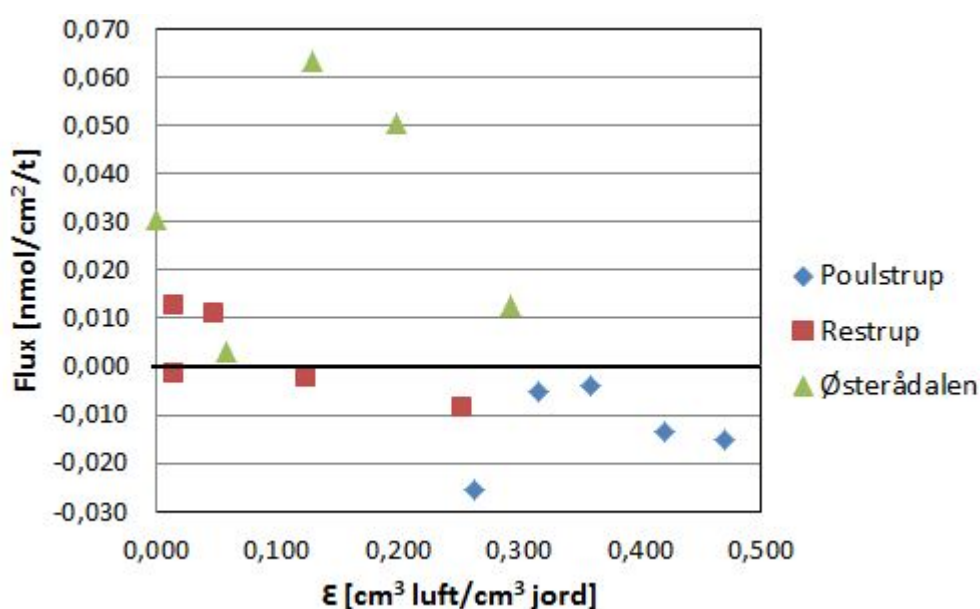
5.9 Flux fra hele søjler

Følgende figurer viser, de fundne flux plottet som funktion af relativ vandmætning og luftfyldte porer under antagelse af, at alt vandet drænes fra de øverste 5 cm af søjlen. Dette er en grov aftagelse, idet der som udgangspunkt vil drænes mest fra toppen, men også en smule fra de 5 andre inddelinger, men antagelsen giver en god fornemmelse af, hvad der faktisk sker i søjlen.



Figur 5.38: De fundne flux af metan fra hele søjler som funktion af relativ vandmætning.

På figur 5.38 ses tendens til lineær sammenhæng mellem flux af metan og relativ vandmætning. Samme tendens ses ligeledes for flux bestemt ud fra intaktprøver. Det ses, at potentialet for metan produktion er størst for Østerådal. Ligeledes ses det, at der kun oxideres metan i jorden fra Poulstrup, hvilket kan skyldes en lav relativ vandmætning fra start til slut i jordsøjlen.



Figur 5.39: De fundne flux af metan fra hele søjler for hhv. Poulstrup, Restrup og Østerådal.

Ud fra figur 5.39 ses det, at der sker en oxidation fra Poulstrup ved et hvilken som helst af de undersøgte luftfyldte porer, hvilket betyder, at vandindholdet fra start var for lavt til at

give de metanproducerende bakterier favorable og at jorden allerede til start havde luftfyldte porer og gode transportmuligheder. Derudover ses det, at oxidationen af metan fra Restrup først sker efter dræning, hvilket betyder at vandindholdet til start gav favorable forhold til de metanproducerende bakterier. Ydermere ses det for Østerådal, at der ikke på noget tidspunkt sker en metanoxidation og at potentialet for metanproduktion er størst ved 10-20% luftfyldte porer. Dette kan skyldes, at der ikke er potentiale for metanoxidation i jorden fra Østerådal grundet mangel på tilstedeværelse af metanoxiderende bakterier.

Søjlerne fra Restrup og Østerådal kan ikke sammenlignes med søjlen fra Poulstrup, idet vandindholdene er forskellige. Vandindholdet i søjlen fra Poulstrup er til start meget mere tør end de to andre. Derudover kan det ses, at de luftfyldte porer inden dræning af søjlen fra Poulstrup svarer til de luftfyldte porer ved søjlerne fra Restrup og Østerådal efter disse er drænet sidste gang. Ud fra de hele søjler ses, at potentialet for metanproduktion er væsentlig større for Østerådal end for Restrup, idet der er en faktor 6 mellem de største flux af metan fra de to lokaliteter.

5.10 Våde enges bidrag til drivhusgasregnskabet

Ud fra de fundne flux ønskes påvirkningen af drivhusgasregnskabet bestemt. Beregningerne udføres for potentielle flux af metan og lattergas, da det antages at være det værst tænkelige scenarie. Beregningerne tager udgangspunkt i flux fundet ved pF 2, idet dette vandindhold er typisk set over året. De fundne flux, der tages udgangspunkt i, er angivet i tabel 5.1.

Tabel 5.1: Potentielle flux af metan og lattergas bestemt ud fra intaktprøver.

	CH ₄ flux u. N [nmol/cm ² /t]	N ₂ O flux m. N [nmol/cm ² /t]	CH ₄ flux m. N [nmol/cm ² /t]
Poulstrup	0,137	45,49	0,007
Restrup	0,118	76,15	-0,029
Østerådal	0,039	14,35	0,011
Gennemsnit	0,098	45,33	-0,004

Derudover er der ligeledes lavet beregninger for de hele søjler, idet det antages, at være et mere realistisk/lavt bud på bidraget. Disse beregninger er lavet for flux bestemt ved start (dvs. ingen dræning) samt efter den sidste dræning.

Tabel 5.2: Potentielle flux af metan og lattergas bestemt for hele søjler inden dræning (start) og efter sidste dræning (slut).

	CH ₄ flux til start [nmol/cm ² /t]	CH ₄ flux til slut [nmol/cm ² /t]
Poulstrup	-0,026	-0,015
Restrup	0,013	-0,009
Østerådal	0,031	0,013
Gennemsnit	0,006	-0,004

Fælles for beregningerne er, at der er taget et gennemsnit af fluxene fundet for hver lokalitet. Dette er gjort, idet de 3 lokaliteter har forskellige jordtyper og et gennemsnit derfor vil være mere repræsentativt for generelle vådområder i Danmark.

Herefter er de fundne flux omsat til enheden [tons/ha/år], hvilket er angivet i tabel 5.3, samt flux i ækvivalente tons CO₂/ha/år, idet de bedre kan sammenlignes.

Tabel 5.3: Potentielle flux af metan og lattergas bestemt ud fra intaktprøver opgivet i hhv. [tons CH₄/ha/år] og [tons N₂O/ha/år] samt omsat til [ækv. tons CO₂/ha/år].

Flux af CH₄ u. tilsat N	0,0014 tons CH ₄ /ha/år 0,0344 ækv. tons CO ₂ /ha/år
Flux af N₂O m. tilsat N	2 tons N ₂ O/ha/år 521 ækv. tons CO ₂ /ha/år
Flux af CH₄ u. tilsat N	-0,0001 tons CH ₄ /ha/år -0,0014 ækv. tons CO ₂ /ha/år

Ud fra tabel 5.3 ses det, at hvis der er høje kvælstof koncentrationer i jorden har det indvirkning på metan fluxen. Det ses, at hvis der tilsættes kvælstof til en jord, der producerer metan, vil metan fluxen ændre sig og jorden vil i stedet optage metan, hvilket isoleret set er positivt i forhold til frigivelse af metan. Sammenholdes det derimod med fluxen af lattergas ser det helt anderledes ud, idet fluxen af lattergas er høj og da denne flux svarer til 298 gange højere ækvivalente CO₂ har det betydelig indvirkning. Det skal dog siges, at det kun er potentielle flux af lattergas, idet den tilsatte koncentration til prøverne er usandsynlig høj sammenlignet med naturligt forekommende koncentrationer i jord.

Tabel 5.4: Flux bestemt for hele søjler inden dræning og efter sidste dræning.

Inden dræning	0,0001 tons CH ₄ /ha/år 0,0021 ækv. tons CO ₂ /ha/år
Efter sidste dræning	-0,0001 tons N ₂ O/ha/år -0,0013 ækv. tons CO ₂ /ha/år

Ud fra ovenstående tabel ses, at en tør jord vil optage metan, mens en våd jord vil producere metan.

Diskussion

6

I det følgende vil de opnåede resultater i dette projekt blive diskuteret. Resultaterne vil yderligere blive sammenlignet med resultater fra anden litteratur.

Jorden for de 3 lokaliteter er forskellige, jf. figur 5.1 på side 22. Indholdet af små partikler er væsentlig større for Østerådalene end for de 2 andre lokaliteter, hvilket betyder, at jorden kan være god til at tilbageholde vand. Ydermere ses et stort indhold af organisk materiale i jorden fra Restrup, hvilket ligeledes er ensbetydende med gode vandtilbageholdelsesevner. Ud fra retentionskurverne, se figur 5.5 på side 27, figur 5.6 på side 27 og figur 5.7 på side 27, ses det, at jorden fra Restrup er bedst til at tilbageholde vand. Derudover tyder retentionsskurven fra de øverste 5 cm for Østerådalene på, at denne er meget sandet, jf. kurvens forløb.

Det blev antaget, jf. kapitel 3 på side 9, at jorden fra Poulstrup ikke havde favorable pH-forhold og at der stort set ikke ville forekomme en metanproduktion i Restrup pga. de lave pH-værdier opnået her, se figur 5.4 på side 25. Ydermere blev det antaget, at der ville være potentiale for høj lattergasproduktion, idet de opnåede pH-værdier alle var under 7. For Restrup ses generelt en høj metanproduktion, hvilket ikke stemmer overens med teorien. Der er ikke nogen entydig sammenhæng mellem pH og lattergasproduktion, idet jorden fra Østerådalene generelt udviser andre fluxe end de 2 andre lokaliteter. Ud fra figur 5.8 på side 29 ses, at Poulstrup ved pF 2,5 går fra metanproduktion til metanoxidation, hvilket er i overensstemmelse med at jorden går fra anaerobe forhold til aerobe forhold, hvilket fremmer metanoxidationen og hæmmer metanproduktionen. Figur 5.10 på side 29 viser, at potentialet for metanoxidation er meget lille.

Ud fra figur 5.11 på side 31 og figur 5.12 på side 31 ses et peak i lattergasproduktionen ved pF 2, hvilket kan skyldes bidrag fra hhv. denitrifikation og nitrifikation.

Det ses ud fra figur 5.11 på side 31, figur 5.12 på side 31 og figur 5.13 på side 31, at potentialet for metanproduktion mindskes ved tilsætning af kvælstof, hvilket skyldes, at en mere favorabel elektronacceptor end CO₂ er til stede, hvorved processen går i stå, idet andre konkurrerende processer har bedre betingelser.

For Poulstrup ses højt potentiale for produktion af lattergas ved en relativ vandmætning på 65% i dybden 0-5 cm. I dybden 28-33 cm peaker lattergasproduktionen dog først ved ca. 100%, jf. figur 5.20 på side 36. Ud fra figur 5.21 på side 36 ses et peak i alle dybder ved en relativ vandmætning på 90-100%, hvilket er i overensstemmelse med, at denitrifikationen, der er en anaerob proces, står for størstedelen af den producerede lattergas i naturen.

Ud fra figur 5.30 på side 41 ses en høj produktion af lattergas i jorden fra Restrup, især i dybden 5-20 cm. Dette er i overensstemmelse med teorien, idet indholdet af organisk materiale i jorden er stort, hvilket medfører gode tilbageholdelsesevner for vand, hvilket giver anaerobe forhold, der er favorable for denitrifikanter. Derudover har tilsætning af kvælstof ligeledes en positiv effekt. Ved under 10% luftfyldte porer er porerne ikke sammenhængende, hvilket har indflydelse på transporten opløste stoffer. Ved 20% luftfyldte porer er der flere sammenhængende porer, der forbedrer transporten og over 25% er optimum, hvor der er fri passage af luft gennem jorden. De potentielle flux af metan kan ses på figur 5.35 på side 43. Her ses, at potentialet for metanproduktion generelt er størst ved pF 1, hvor de metanproducerende bakterier har favorable forhold, idet jorden er anaerob. Ved pF 2 skifter de potentielle flux for Poulstrup og Restrup fra metanproduktion til metanoxidation, idet jorden ligeledes skifter fra anaerobe til aerobe forhold.

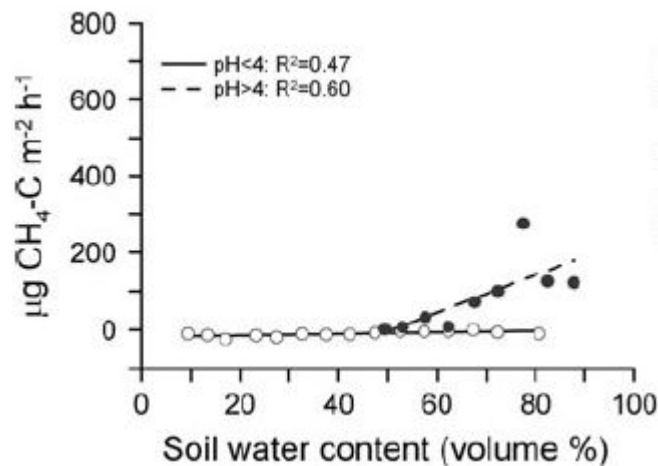
På figur 5.36 på side 43 ses et peak i lattergasproduktionen for alle lokaliteter ved pF 2, hvilket kan forklares med, at bidraget her mulighed både kommer fra denitrificerende og nitrificerende bakterier, idet der både er anaerobe og aerobe mikrosites til stede i jorden.

De potentielle flux er ligeledes bestemt på hele søjler (dybde 30 cm), hvilket kan ses på figur 5.38 på side 45 og figur 5.39 på side 45. Det ses her, at vandindholdet for Poulstrup har været lavere end for de 2 andre lokaliteter fra start til slut og derfor ikke kan sammenlignes med de to andre lokaliteter. For Poulstrup skyldes metanoxidationen, at der på intet tidspunkt under forsøget har været anaerobe forhold i de øverste 5 cm, hvorved forholdene for de metanproducerende bakterier ikke har været favorable. Yderligere undersøgelser kunne foretages, hvor jorden fra Poulstrup var mættet.

De opnåede flux af lattergas kan kun ses som potentielle rater, idet der er tilsat en utrolig høj koncentration (100 mg NO_3/L) af kvælstof til prøverne, der ikke ville kunne forekomme under naturlige forhold, men de giver dog et billede af potentialet for produktion af den potente drivhusgas, lattergas. I takt med at søjlerne drænes, bliver jorden åbnet mere op i toppen, hvilket giver bedre forhold for de metanoxiderende bakterier, som også kan ses ud fra kurvens forløb for hhv. Restrup og Østerådal. Metan kan stadig produceres i de dybereliggende jordlag, hvilket dog vil blive oxideret på dets vej op gennem søjlen. Noget andet gør sig gældende for søjlen fra Østerådal, der selv efter den sidste dræning stadig giver en metanproduktion. Raten for metanproduktionen er dog mindre efter 4. dræning end ved start, men der ses stadig en metanproduktion, hvilket er i overensstemmelse med vandindholdet i søjlen.

6.1 Sammenligning med anden litteratur

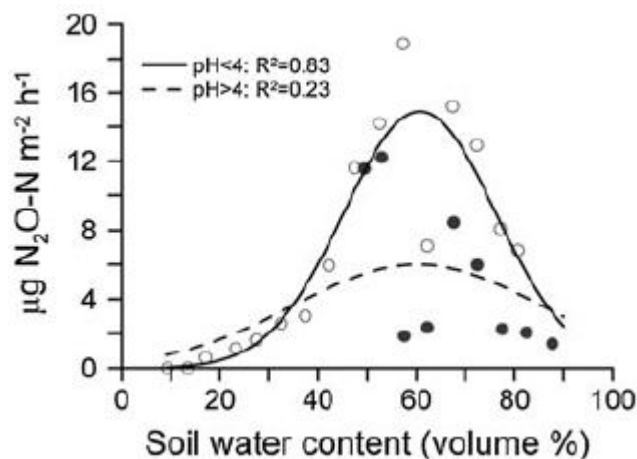
I anden litteratur er der ligeledes bestemt flux af hhv. metan og lattergas som funktion af vandindholdet, hvilket kan ses på figur 6.1 på næste side. [Christiansen et al., 2012a]



Figur 6.1: Flux af metan fra jord som funktion af vandindhold bestemt af Christiansen et al. [2012a]

Sammenholdes figur 6.1 med de opnåede flux af metan i dette projekt ses tilsvarende tendenser. Metanproduktionen finder først sted efter en relativ vandmætning på ca. 50%. Dette stemmer overens med teorien, idet metan produceres under anaerobe forhold.

Ligeledes er der i anden litteratur flux af lattergas som funktion af vandindhold, hvilket kan ses på figur 6.2. [Christiansen et al., 2012a]



Figur 6.2: Flux af lattergas som funktion af vandindholdet fra anden litteratur til sammenligning. [Christiansen et al., 2012a]

Sammenholdes figur 6.2 med hhv. figur 5.20 på side 36, figur 5.21 på side 36 og figur 5.22 på side 36 ses der umiddelbart tilsvarende tendenser. Sammenlignes figur 3.2 på side 11 med figur 5.39 på side 45 ses ligeledes tilsvarende tendenser.

Konklusion

7

I projektet er der bestemt flux af metan for en samlet jordprofil; 0-30 cm, fra 3 lokaliteter, hhv. Poulstrup, Restrup og Østerådal. Derudover er der bestemt flux af metan for intaktprøver (100 cm^3) i 6 dybder af 5 cm ned gennem jordprofilet på de tre lokaliteter. Ydermere er der bestemt flux af metan og lattergas fra intaktprøver, der er tilsat kvælstof.

Projektet er udarbejdet for at belyse om etablerede vådområder påvirker emissionen af drivhusgasserne; metan og lattergas, og i givet fald i hvilket omfang, da sådanne resultater endnu ikke er opnået. [Nielsen et al., 2011]

Det er fundet, at jordteksturen er forskellig for de 3 lokaliteter, idet Østerådal indeholder væsentlig flere små partikler end de to andre lokaliteter. Derudover er indholdet af organisk materiale væsentlig højere i Restrup end for de 2 andre lokaliteter. Dette giver sig til udtryk i retentionskurverne, hvor jorden fra Restrup generelt kan tilbageholde mere vand end de andre lokaliteter.

Ud fra de udførte forsøg er det fundet, at potentialet for hhv. metanproduktion og oxidation samt produktion af lattergas generelt er lav for Østerådal. Derudover de største potentialer opnået i jorden fra Restrup. En høj koncentration af kvælstof i jorden vil mindske produktionen af metan, idet der er mere favorable elektronacceptorer til stede end CO_2 . Koncentrationen vil dog påvirke produktionen af lattergas, der har større betydning for drivhusgasregnskabet, idet lattergas tæller for 298 ækvivalente CO_2 -enheder.

De potentielle flux for produktion af metan fra hhv. Poulstrup og Restrup stiger med stigende vandmætningsgrad, hvilket dog ikke er gældende for Østerådal.

Litteratur

- Broll, G., Merbach, W. og Pfeiffer, E.-M. (2002). *Wetlands in Central Europe*. Springer.
- Christiansen, J. R., Vesterdal, L. og Gundersen, P. (2012a). Nitrous oxide and methane exchange in two small temperate forest catchments—effects of hydrological gradients and implications for global warming potentials of forest soils. *Biogeochemistry*, 107:437–454.
- Christiansen, J. R., Vesterdal, L., Gundersen, P. og Frederiksen, P. (2012b). Mere vand i skoven - giver mere gas i atmosfæren. *Aktuel Naturvidenskab*, 1):34-37.
- Fenchel, T., King, G. og Blackburn, T. (1998). *Bacterial Biogeochemistry*. Academic Press.
- Foreningen af Rådgivende Ingeniører (2010). Nye vådområder og ådalsprojekter for en milliard.
- Foreningen af Rådgivende Ingeniører (T.K. Christensen and J.P. Hounisen). Ta23: Risiko for kollisioner mellem fly og fugle i retablerede vådområder nær flyvepladser.
- Henze, Harremoës, Jansen og Arvin (2006). *Teoretisk spildevandsbehandling*. Polyteknisk Forlag.
- Hoffmann, C. C., Baatrup-Pedersen, A., Kjærgaard, C. og Hasler, B. (2010). *Kortlægning af risikoarealer for fosfortab i Danmark - B6: Arealændringer i risikoområder*. Århus Universitet.
- Hoffmann, C. C. og Baatrup-Pedersen, A. (2007). Re-establishing freshwater wetlands in denmark. *Ecological Engineering*, 30:157-166.
- Karlby, H. og Sørensen, I. (2002). *Vandforsyning*. Nyt Teknisk Forlag.
- Kristensen, P. og Hansen, H. O. (1994). *European Rivers and Lakes - Assessment of their Environmental State*. European Environmental Agency.
- Loll, P. og Møldrup, P. (2000). *Soil Characterization and Polluted Soil Assessment*. Aalborg Universitet.
- Madigan, M. T., Martinko, J. M., Dunlap, P. V. og Clark, D. P. (2009). *Biology of Microorganisms*. Pearson International Edition.

- Mer, J. L. og Roger, P. (2001). Production, oxidation, emission and consumption of methane by soils: A review. *Eur. J. Soil Biol.*, 37:25-50.
- Naturstyrelsen (2010). *Vådområdetyper*. Naturstyrelsen.
- Naturstyrelsen (2012). *To typer vådområder*. Naturstyrelsen.
- Nielsen, O.-K., Mikkelsen, M., Hoffmann, L., Gyldenkerne, S., Winther, M., Nielsen, M., Fauser, P., Thomsen, M., Plejdrup, M., Albrechtsen, R., Hjelgaard, K., Bruun, H., Johannsen, V., Nord-Larsen, T., Bastrup-Birk, A., Vesterdal, L., Møller, I., Rasmussen, E., Arfaoui, K., Baunbæk, L. og Hansen, M. (2011). Denmark's national inventory report 2011 - emission inventories 1990-2009 - submitted under the united nations framework convention on climate change and the kyoto protocol. *Danmarks Miljøundersøgelser*, National Environmental Research Institute, Aarhus University, Denmark:1199 pp.
- Planlægningsrådet for forskning (1987). *Kvælstof og fosfor i vandmiljøet - Konsensusrapport*. Forskningssekretariatet.
- Rerup, L. (1982). *Danmarks historie Slesvig og Holsten efter 1830*. Politikens forlag A/S.
- Rogers, J. E. og Whitman, W. B. (1991). *Microbial Production and Consumption of Greenhouse Gases: Methane, Nitrogen Oxides, and Halomethanes*. American Society for Microbiology.
- Rubol, S. (2010). *The influence of redox dynamics on nitrogen cycling and nitrous oxide emissions from soils*. Doctoral School in Environmental Engineering.
- Rydin, H. og Jeglum, J. K. (2006). *The Biology of Peatlands*. Oxford University Press.
- Smith, K., Ball, T., Conen, F., Cobbie, K., Massheder, J. og Rey, A. (2003). Exchange of greenhouse gases between soil and atmosphere: interactions of soil physical factors and biological processes. *European Journal of Soil Science*, 54:779-791.
- Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K., Tignor, M. og Miller, H. (2007a). *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. IPCC, Cambridge University Press.
- Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K., Tignor, M. og Miller, H. (2007b). *IPCC Fourth Assessment Report: Climate Change 2007 (AR4)*. Cambridge University Press.
- Torres-Alvarado, R., Ramírez-Vives, F., Fernández, F. J. og Barriga-Sosa, I. (2005). Methanogenesis and methane oxidation in wetlands. implications in the global carbon cycle. *Hidrobiológica*, 15 (3):327-349.
- Tronier, C. (2005). *Indikatorer for vandmiljøet 2005*. Danmarks Statistik.
- Ye, D., Kurz, B. A. og Kurz, M. D. (2009). *Microbial Cycling of CH₄, CO₂, and N₂O in a Wetlands Environment*. U.S. Department of Energy.

Zheng-Qin, X., Guang-Xi, X. og Zhao-Liang, Z. (2007). Nitrous oxide and methane emissions as affected by water, soil and nitrogen. *Pedosphere*, 17 (2):146-155.

Appendiks A

A

A.1 Karakteristik af de tre lokaliteter

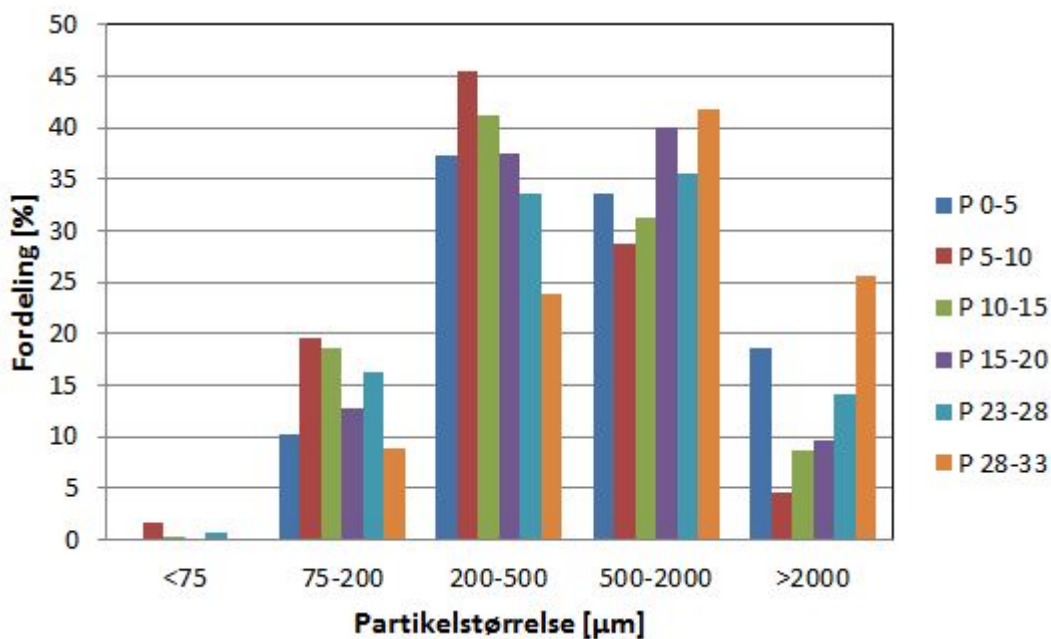
A.1.1 Partikelstørrelse fordeling for de 3 lokaliteter

For hver lokalitet er partikelstørrelsefordelingen bestemt ud fra en sigteanalyse. Partiklerne er opdelt i 5 fraktioner, hvilket er angivet i tabel A.1.

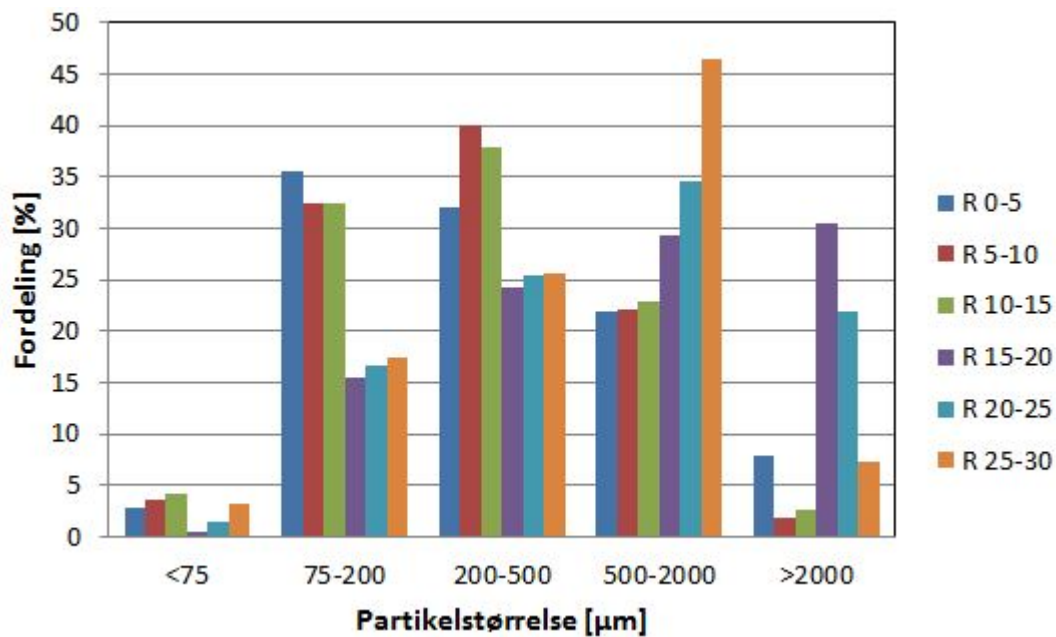
Tabel A.1: Typisk partikelstørrelse inddeling.

Størrelse [μm]	Beskrivelse af fraktion
>2000	Grus
500-2000	Større del af groft sand fraktionen
200-500	Mindre del af groft sand fraktionen
75-200	Del af fint sand fraktionen
<75	Ler, silt, groft silt

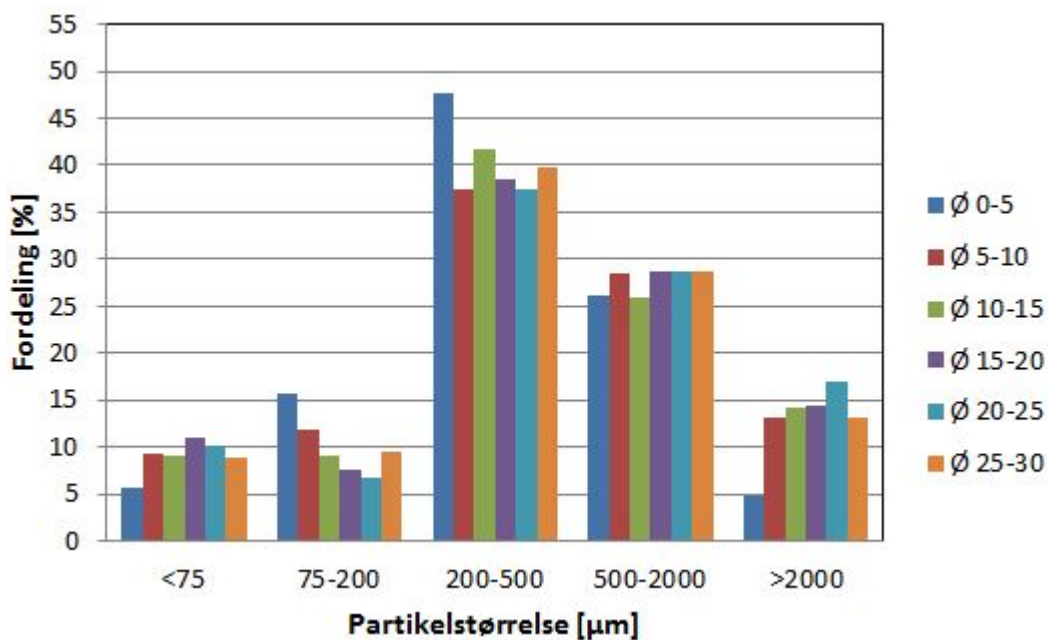
På figur A.1, figur A.2 på side II og figur A.3 på side II ses resultatet af sigteanalysen.



Figur A.1: Partikelfordelingen for Poulstrup.



Figur A.2: Partikelfordelingen for Restrup.



Figur A.3: Partikelfordelingen for Østerådal.

A.1.2 Fasefordeling for hhv. hele søjler og intaktprøver

Fasefordelingen er bestemt for de 3 lokaliteter. Dette er både gjort for de hele søjler og for intaktprøverne efter udførelse af forsøgene.

Det volumetriske indhold af partikler er fundet ud fra følgende udtryk:

$$V_s = \frac{\rho_b}{d_s}$$

Densiteten for Poulstrup og Restrup er sat til $2,65 \text{ g/cm}^3$, mens den er sat til $2,71 \text{ g/cm}^3$ for jorden fra Østerådal, idet den indeholder en stor del ler. Ydermere er det volumetriske indhold af organisk stof beregnet ud fra en antaget densitet af organisk stof på 1 g tørstof/cm^3 tørstof. [Loll og Møldrup, 2000]

Den totale porøsitet er beregnet ud fra følgende:

$$\phi = 1 - V_s$$

Fasefordelingen for de hele søjler er bestemt for snit af 5 cm, hvilket er angivet i tabel A.2.

Tabel A.2: Fasefordeling for hele søjler fra hhv. Poulstrup, Restrup og Østerådal inddelt i 6 cm snit, hvor ϕ er den totale porøsitet og V_s er volumetrisk indhold af tørstof (partikler), der yderligere er opdelt i volumetrisk indhold af hhv. mineralske partikler og organisk stof.

Lokalitet	Dybde [cm]	V_s [$\frac{\text{cm}^3 \text{TS}}{\text{cm}^3 \text{jord}}$]	Mineraler [$\frac{\text{cm}^3 \text{mineraler}}{\text{cm}^3 \text{jord}}$]	Organisk stof [$\frac{\text{cm}^3 \text{OM}}{\text{cm}^3 \text{jord}}$]	ϕ [$\frac{\text{cm}^3 \text{pore}}{\text{cm}^3 \text{jord}}$]
Poulstrup	0-5	0,398	0,340	0,057	0,602
	5-10	0,544	0,487	0,056	0,456
	10-15	0,507	0,451	0,057	0,493
	15-20	0,512	0,428	0,084	0,488
	20-25	0,522	0,447	0,075	0,478
	25-30	0,545	0,448	0,097	0,455
Restrup	0-5	0,534	0,461	0,073	0,466
	5-10	0,406	0,300	0,106	0,594
	10-15	0,527	0,393	0,134	0,473
	15-20	0,496	0,418	0,078	0,504
	20-25	0,395	0,229	0,165	0,605
	25-30	0,309	0,106	0,203	0,691
Østerådal	0-5	0,411	0,355	0,056	0,589
	5-10	0,717	0,686	0,031	0,283
	10-15	0,796	0,776	0,020	0,204
	15-20	0,708	0,693	0,015	0,292
	20-25	0,737	0,720	0,017	0,263
	25-28	0,585	0,574	0,011	0,415

Ud fra ovenstående fasefordeling for de hele søjler, ses det, at jorden for Østerådal højst sandsynlig ikke er tørret fuldstændigt ud efter 105°C . Derfor antages det, at porøsiteten er lidt større i virkeligheden, idet der stadig sidder vand i prøverne, da det som udgangspunkt ikke er sandsynligt med en porøsitet på under 0,28. Derudover er det volumetriske indhold af partikler for Østerådal i dybden 5-25 cm er meget høje.

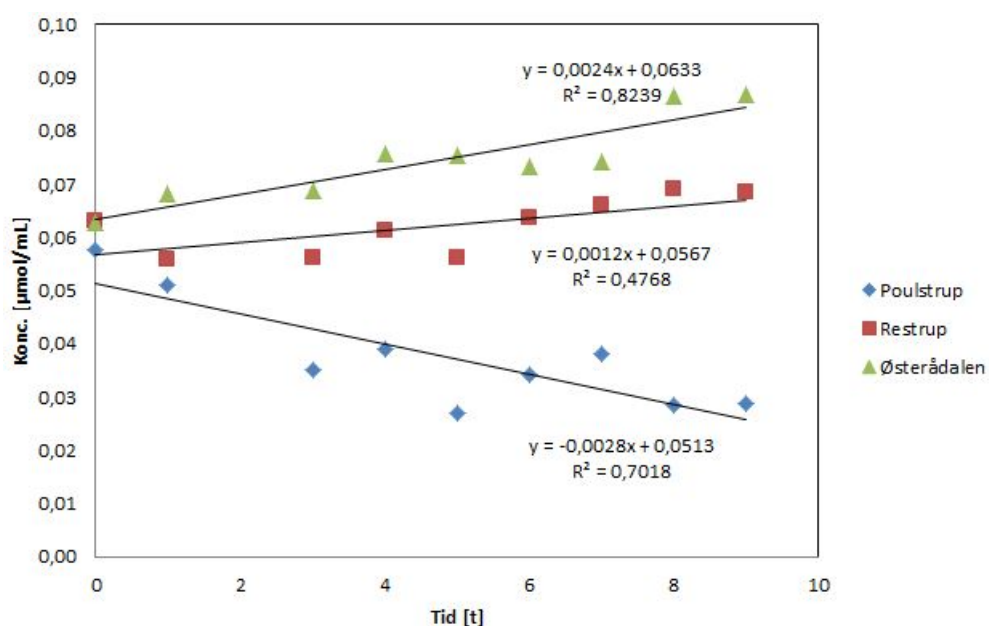
Der er ligeledes lavet fasefordeling for intaktprøverne, hvilket kan ses i tabel A.3 på side IV.

Tabel A.3: Fasefordeling af intaktprøverne fra hhv. Poulstrup, Restrup og Østerådal, hvor ϕ er den totale porøsitet og V_s er volumetrisk indhold af tørstof (partikler), der yderligere er opdelt i volumetrisk indhold af hhv. mineralske partikler og organisk stof.

Lokalitet	Dybde [cm]	V_s [$\frac{\text{cm}^3 \text{TS}}{\text{cm}^3 \text{jord}}$]	Mineraler [$\frac{\text{cm}^3 \text{mineraler}}{\text{cm}^3 \text{jord}}$]	Organisk stof [$\frac{\text{cm}^3 \text{OM}}{\text{cm}^3 \text{jord}}$]	ϕ [$\frac{\text{cm}^3 \text{pore}}{\text{cm}^3 \text{jord}}$]
Poulstrup	0-5	0,385	0,321	0,064	0,615
	5-10	0,472	0,405	0,067	0,528
	10-15	0,531	0,472	0,059	0,469
	15-20	0,571	0,494	0,077	0,429
	23-28	0,531	0,440	0,092	0,469
	28-33	0,515	0,411	0,104	0,485
Restrup	0-5	0,498	0,429	0,069	0,502
	5-10	0,454	0,344	0,109	0,546
	10-15	0,468	0,336	0,133	0,532
	15-20	0,391	0,247	0,144	0,609
	20-25	0,328	0,173	0,155	0,672
	25-30	0,277	0,135	0,142	0,723
Østerådal	0-5	0,288	0,247	0,041	0,712
	5-10	0,665	0,631	0,034	0,335
	10-15	0,714	0,692	0,023	0,286
	15-20	0,725	0,704	0,021	0,275
	20-25	0,749	0,730	0,018	0,251
	25-30	0,702	0,684	0,017	0,298

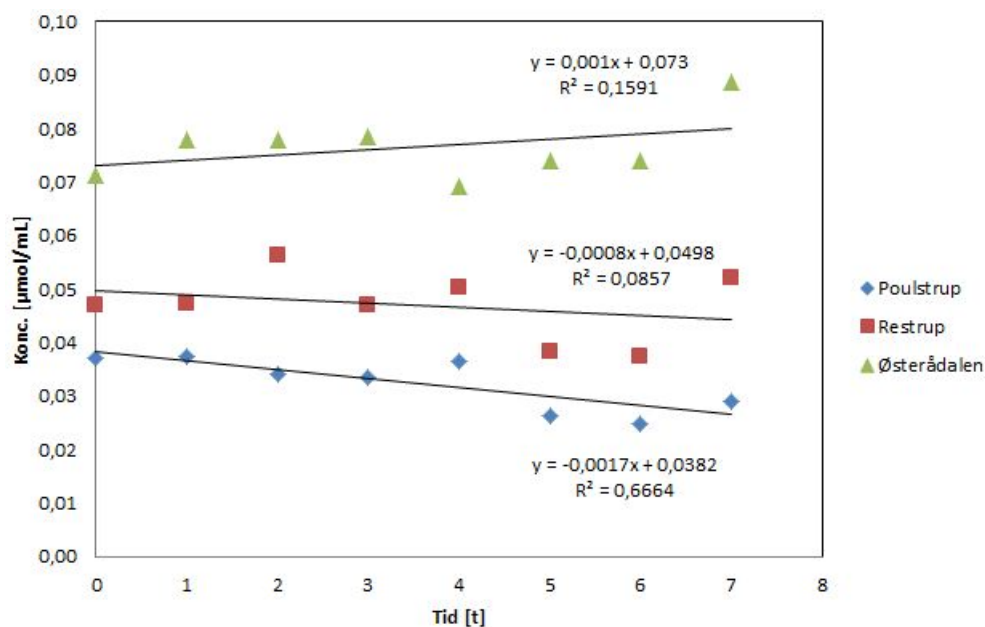
A.2 Flux fra hele søjler som derefter drænes

Der er målt flux på 1 søjle fra hver lokalitet, som efterfølgende er drænet. De målte arealer er omsat til en koncentration (nmol/mL), der er plottet som funktion af tid. Fluxen er fundet ved at fitte en ret linje til de målte data, hvilket kan ses på figur A.4 på side V, hvorefter tendenslinjens hældning ganget med højden af headspace for at opnå [nmol/cm²/t]. Der er ikke målt flux for lattergas for de hele søjler og for intaktprøver før der er tilsat kvælstof



Figur A.4: Flux fundet for hel søjle inden dræning ved at fitte data til en ret linje.

Ovenstående figur viser flux inden dræning, mens figur A.5 viser plottet for de 3 søjler efter 4. dræning.



Figur A.5: Flux fundet for hele søjler efter 4. dræning ved at fitte data til en ret linje.

I tabel A.4 på side VI er de fundne flux for hele søjler samt den mængde vand der er drænet pr. gang angivet.

Tabel A.4: Flux for hele søjler til de forskellige dræningstrin.

Lokalitet	Dræning	Drænet mængde pr. gang [mL]	Flux [nmol/cm ² /t]
Poulstrup	0	0	-0,026
	1	23	-0,005
	2	28	-0,004
	3	24	-0,014
	4	20	-0,015
Restrup	0	0	0,013
	1	50	-0,001
	2	29	0,011
	3	13	-0,002
	4	-	-0,009
Østerådal	0	0	0,031
	1	43	0,003
	2	32	0,063
	3	33	0,050
	4	31	0,013

Ved den sidste dræning, var det ikke muligt at dræne mere fra søjlen fra Restrup. Ud fra tabel A.4 kan det ses, at der efter alle dræninger stadig sker en produktion af metan for Østerådal. Ud fra ovenstående resultater samt fasefordelingen foretaget i afsnit A.1.2 på side II ses det, at der har været favorable forhold for metan oxidation inden dræning af søjlen fra Poulstrup. Det vil sige, at vandindholdet har været for lavt til at der har været anaerobe forhold og derved favorable forhold for metan produktion. I takt med at søjlen er blevet mere og mere drænet ses ikke en yderligere stigning i forbruget af metan, hvilket kan tyde på, at den højeste metan oxidation allerede var i gang ved starttidspunktet.

A.2.1 Dræningssituationen

Fra søjlerne fra Poulstrup, Restrup og Østerådal er der total set drænet hhv. 95, 92 og 139 mL. Den ene ekstrem ville være at antage, at der fra søjlernes 6 bokse drænes den samme mængde vand hver gang, hvilket vil betyde, at der i gennemsnit vil blive drænet 27 vol % fra Poulstrup, 44 vol % fra Restrup og 20 vol % fra Østerådal. Ud fra tabel A.5 på side VII ses det, at dette ikke er tilfældet, da der for Poulstrup og Restrup er drænet mere end gennemsnittet fra toppen og at vandindholdet i bunden af søjlerne er større end gennemsnitsdræningen. Derudover ses det, at hvis den drænedes mængde deles ud på de 6 bokse, vil det ikke have nævneværdig betydning for vandindholdet i boksene, idet det kun ville give en ændring på 3-5 %. Det virker usandsynligt, at dræningen ville have forløbet på denne måde.

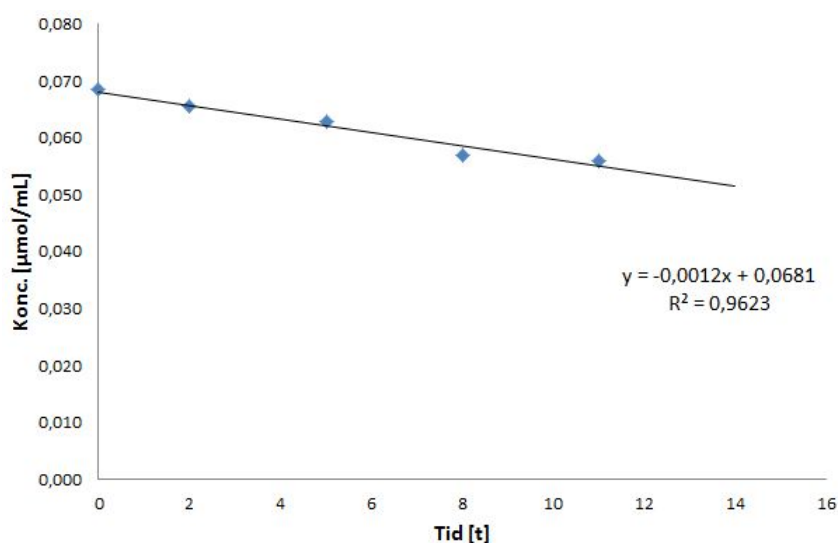
Tabel A.5: Volumetrisk vandindhold for de 3 søjler fra hhv. Poulstrup, Restrup og Østerådalene inddelt i 6 snit efter sidste dræning. *Vandindholdet for dybden 20-25 cm fra Restrup er urealistisk højt.

Dybde [cm]	Volumetrisk vandindhold [$\frac{\text{cm}^3 \text{H}_2\text{O}}{\text{cm}^3 \text{jord}}$]		
	Poulstrup	Restrup	Østerådalene
0-5	0,132	0,212	0,296
5-10	0,204	0,324	0,228
10-15	0,246	0,439	0,184
15-20	0,339	0,289	0,147
20-25	0,292	0,705*	0,172
25-30	0,399	0,660	0,145

Den anden ekstrem ville være at antage, at alt vandet blev drænet i de øverste 5 cm (den øverste boks). Denne antagelse lader til at være mere sandsynlig, jf. tabel A.5. Dette er en grov aftagelse, idet der som udgangspunkt vil drænes mest fra toppen, men også en smule fra de 5 andre inddelinger.

A.3 Flux fra intaktprøver der drænes

Der er målt flux for intaktprøver, som efterfølgende er drænet. Da der ikke fundet flux af lattergas i intaktprøverne under normale forhold, blev der lavet et forsøg, hvor kvælstof blev tilsat i form af nitrat til en koncentration på 100 mg NO_3/L . Alle data er fittet til en ret linje. Et eksempel er givet på figur A.6, hvilket er for Poulstrup i dybden 0-5 cm ved et vandindhold på $\text{pF} = 2,5$. Ved de øvrige data er der ligeledes tilføjet lineær tendenslinje og disse kan ses på vedlagte bilags-cd.



Figur A.6: Eksempel på fit til ret linje for metan oxidation i de øverste 5 cm af jord fra Poulstrup ved et vandindhold på. De øvrige data har tilsvarende tendens og kan ses på vedlagte bilags-cd.

I tabel A.6 kan de opnåede fluxe for Poulstrup ses ved forskellige vandindhold og dybder.

Tabel A.6: Flux for Poulstrup ved forskellige vandindhold og dybder.

Vandindhold [pF]	Dybde [cm] [cm]	Uden tilsat kvælstof	Med tilsat kvælstof	
		CH ₄ flux [nmol/mL/t]	N ₂ O flux [nmol/mL/t]	CH ₄ flux [nmol/mL/t]
"1"	0-5	0,032	-3,13	-0,003
	5-10	0,025	-4,23	0,0005
	10-15	0,023	-5,16	0,001
	15-20	0,029	-3,49	-0,005
	23-28	0,022	-2,59	0,008
	28-33	0,035	-2,52	0,007
2	0-5	0,030	10,35	0,001
	5-10	0,025	3,54	-0,002
	10-15	0,004	4,24	-0,004
	15-20	0,029	6,36	0,003
	23-28	0,022	10,73	0,001
	28-33	0,026	10,27	0,007
2,3	0-5	0,011	6,21	-0,017
	5-10	0,027	0,85	-0,028
	10-15	0,006	0,63	-0,010
	15-20	0,038	1,58	0,005
	23-28	0,034	-0,28	-0,016
	28-33	0,020	2,55	0,000
2,5	0-5	-0,009	-9,44	-0,011
	5-10	-0,016	-2,33	-0,010
	10-15	-0,013	-3,57	-0,024
	15-20	-0,013	-3,69	-0,017
	23-28	-0,022	-2,30	-0,011
	28-33	-0,018	-0,74	-0,009
2,7	0-5	-0,022	1,52	-0,048
	5-10	-0,022	1,39	-0,048
	10-15	-0,055	0,53	-0,065
	15-20	-0,020	1,50	-0,045
	23-28	-0,002	0,66	-0,046
	28-33	-0,031	-0,10	-0,041
2,9	0-5	-0,039	-0,55	-0,008
	5-10	-0,036	-0,02	-0,013
	10-15	-0,054	-0,05	-0,048
	15-20	-0,025	-2,13	-0,034
	23-28	-0,017	-0,55	-0,021
	28-33	-0,027	-0,12	-0,037

Ved de første 3 vandindhold (pF = 0, pF = 2 og pF = 2,3) ses ingen signifikant forskel i de

opnåede fluxe for Poulstrup og her ses en produktion af metan. For de resterende vandindhold, hvor prøverne er blevet mere tørre, ses en oxidation af metan. I tabellen nedenfor er givet de opnåede fluxe for Restrup.

Table A.7: Flux for Restrup ved forskellige vandindhold og dybder.

Vandindhold [pF]	Dybde [cm] [cm]	Uden tilsat kvælstof	Med tilsat kvælstof	
		CH ₄ flux [nmol/mL/t]	N ₂ O flux [nmol/mL/t]	CH ₄ flux [nmol/mL/t]
"1"	0-5	2,974	-3,13	0,008
	5-10	0,030	8,25	0,0002
	10-15	0,019	13,66	0,017
	15-20	-0,023	9,78	0,010
	20-25	0,0003	5,29	0,025
	25-30	0,016	1,45	0,016
2	0-5	0,159	2,89	-0,005
	5-10	-0,025	14,72	-0,006
	10-15	-0,008	16,00	-0,006
	15-20	-0,015	17,60	-0,005
	20-25	0,004	16,63	0,004
	25-30	0,002	8,31	-0,012
2,3	0-5	0,035	2,05	-0,015
	5-10	-0,012	6,07	-0,033
	10-15	0,005	1,89	-0,039
	15-20	0,033	3,84	-0,025
	20-25	0,036	1,10	-0,018
	25-30	0,047	1,64	-0,015
2,5	0-5	-0,010	-7,66	-0,010
	5-10	-0,028	3,69	-0,019
	10-15	-0,031	0,30	-0,030
	15-20	-0,028	2,04	-0,017
	20-25	-0,026	-0,19	-0,002
	25-30	0,005	-2,03	0,002
2,7	0-5	-0,027	2,37	-0,010
	5-10	-0,004	1,98	-0,023
	10-15	-0,012	1,16	-0,016
	15-20	-0,010	0,66	0,006
	20-25	0,003	1,13	0,021
	25-30	0,002	1,85	0,023
2,9	0-5	0,010	-0,30	-0,016
	5-10	-0,034	-0,75	-0,043
	10-15	-0,035	0,51	-0,034
	15-20	-0,013	0,31	-0,009
	20-25	0,009	-1,89	0,006
	25-30	0,011	-0,38	0,012

Ligeledes er de opnåede fluxe for Østerådal angivet i tabel A.8

Tabel A.8: Flux for intaktprøver, der hhv. ikke er tilsat og er tilsat kvælstof, fra Østerådal ved forskellige vandindhold og dybder.

Vandindhold [pF]	Dybde [cm] [cm]	Uden tilsat kvælstof	Med tilsat kvælstof	
		CH ₄ flux [nmol/cm ² /t]	N ₂ O flux [nmol/cm ² /t]	CH ₄ flux [nmol/cm ² /t]
"1"	0-5	0,015	-3,22	0,010
	5-10	0,014	-5,41	0,009
	10-15	0,009	-4,97	0,008
	15-20	0,012	-5,71	0,006
	23-28	0,018	-6,62	0,003
	28-33	0,022	-7,17	0,002
2	0-5	-0,0002	2,70	-0,003
	5-10	0,007	2,59	0,005
	10-15	0,023	2,24	0,002
	15-20	0,003	3,15	0,0002
	23-28	0,001	1,46	0,004
	28-33	0,005	2,20	0,002
2,3	0-5	0,033	0,45	-0,009
	5-10	0,033	0,98	-0,010
	10-15	0,027	0,65	-0,001
	15-20	0,020	1,18	-0,001
	23-28	0,029	-0,22	-0,002
	28-33	0,041	1,15	0,005
2,5	0-5	0,003	-1,22	-0,001
	5-10	-0,009	-3,62	-0,005
	10-15	-0,003	-1,21	0,002
	15-20	-0,016	-0,71	-0,002
	23-28	-0,009	-0,43	-0,003
	28-33	-0,007	0,42	-0,002
2,7	0-5	0,008	1,44	0,001
	5-10	-0,004	0,51	0,007
	10-15	0,006	1,40	0,012
	15-20	0,006	1,23	0,0005
	23-28	0,022	2,18	-0,008
	28-33	0,003	2,84	-0,013
2,9	0-5	0,011	0,61	-0,001
	5-10	0,002	0,93	0,010
	10-15	0,001	-0,93	0,006
	15-20	0,002	1,56	0,009
	23-28	0,002	0,48	0,003
	28-33	-0,001	0,17	0,009

A.4 Vandindhold, luftindhold og vandmætning for intaktprøve forsøg

Derudover er vand- og luftindholdet samt den relative vandmætning bestemt for intaktprøverne fra de forskellige lokaliteter for hhv. forsøget ved normale forhold og forsøget, hvor der er tilsat kvælstof til prøverne. Disse kan ses i den nedenstående tabeller.

Tabel A.9: Beregnet vand- og luftindhold samt vandmætning i intaktprøverne for Poulstrup under de forskellige forsøgsbetingelser (varierende pF)

Formodet vandindhold [pF]	Dybde [cm]	θ [$\frac{\text{cm}^3 \text{H}_2\text{O}}{\text{cm}^3 \text{jord}}$]	ε [$\frac{\text{cm}^3 \text{luft}}{\text{cm}^3 \text{jord}}$]	Vandmætning (ε/θ)
"1"	0-5	0,458	0,157	0,744
	5-10	0,452	0,076	0,856
	10-15	0,389	0,080	0,830
	15-20	0,419	0,010	0,977
	20-25	0,457	0,012	0,975
	25-30	0,495	0	1
2	0-5	0,372	0,243	0,604
	5-10	0,382	0,147	0,723
	10-15	0,337	0,132	0,719
	15-20	0,389	0,040	0,907
	20-25	0,408	0,061	0,871
	25-30	0,451	0,034	0,930
2,3	0-5	0,352	0,263	0,572
	5-10	0,364	0,165	0,688
	10-15	0,322	0,146	0,688
	15-20	0,380	0,049	0,886
	20-25	0,398	0,070	0,850
	25-30	0,444	0,041	0,916
2,5	0-5	0,327	0,288	0,531
	5-10	0,336	0,193	0,636
	10-15	0,299	0,169	0,639
	15-20	0,370	0,059	0,863
	20-25	0,388	0,081	0,827
	25-30	0,434	0,051	0,895
2,7	0-5	0,309	0,306	0,502
	5-10	0,327	0,202	0,618
	10-15	0,292	0,177	0,622
	15-20	0,367	0,062	0,856
	20-25	0,383	0,085	0,818
	25-30	0,429	0,056	0,884
2,9	0-5	0,255	0,360	0,414
	5-10	0,265	0,263	0,501
	10-15	0,224	0,245	0,478
	15-20	0,297	0,132	0,692
	20-25	0,323	0,146	0,689
	25-30	0,352	0,133	0,725

Tabel A.10: Beregnet vand- og luftindhold samt vandmætning i intaktprøverne efter tilsætning af kvælstof for Poulstrup under de forskellige forsøgsbetingelser (varierende pF)

Formodet vandindhold [pF]	Dybde [cm]	θ [$\frac{\text{cm}^3 \text{H}_2\text{O}}{\text{cm}^3 \text{jord}}$]	ε [$\frac{\text{cm}^3 \text{luft}}{\text{cm}^3 \text{jord}}$]	Vandmætning (ε/θ)
"1"	0-5	0,456	0,159	0,742
	5-10	0,443	0,085	0,839
	10-15	0,405	0,063	0,865
	15-20	0,416	0,013	0,970
	20-25	0,483	0	1
	25-30	0,510	0	1
2	0-5	0,418	0,197	0,679
	5-10	0,410	0,119	0,775
	10-15	0,373	0,096	0,795
	15-20	0,384	0,045	0,896
	20-25	0,448	0,020	0,957
	25-30	0,475	0,010	0,980
2,3	0-5	0,403	0,212	0,656
	5-10	0,385	0,143	0,729
	10-15	0,350	0,119	0,746
	15-20	0,361	0,068	0,842
	20-25	0,427	0,042	0,911
	25-30	0,452	0,032	0,933
2,5	0-5	0,374	0,241	0,608
	5-10	0,359	0,169	0,680
	10-15	0,323	0,146	0,688
	15-20	0,335	0,094	0,781
	20-25	0,399	0,070	0,851
	25-30	0,425	0,060	0,876
2,7	0-5	0,342	0,273	0,557
	5-10	0,328	0,200	0,621
	10-15	0,292	0,177	0,623
	15-20	0,304	0,125	0,709
	20-25	0,367	0,101	0,784
	25-30	0,394	0,091	0,812
2,9	0-5	0,309	0,306	0,502
	5-10	0,292	0,236	0,553
	10-15	0,256	0,213	0,546
	15-20	0,271	0,158	0,631
	20-25	0,334	0,134	0,714
	25-30	0,360	0,125	0,743

Tabel A.11: Beregnet vand- og luftindhold samt vandmætning i intaktprøverne for Restrup under de forskellige forsøgsbetingelser (varierende pF)

Formodet vandindhold [pF]	Dybde [cm]	θ [$\frac{\text{cm}^3 \text{H}_2\text{O}}{\text{cm}^3 \text{jord}}$]	ε [$\frac{\text{cm}^3 \text{luft}}{\text{cm}^3 \text{jord}}$]	Vandmætning (ε/θ)
"1"	0-5	0,465	0,037	0,926
	5-10	0,560	0	1
	10-15	0,530	0,002	0,996
	15-20	0,622	0	1
	20-25	0,725	0	1
	25-30	0,779	0	1
2	0-5	0,434	0,068	0,864
	5-10	0,504	0,042	0,922
	10-15	0,496	0,036	0,932
	15-20	0,557	0,052	0,915
	20-25	0,695	0	1
	25-30	0,721	0,002	0,997
2,3	0-5	0,421	0,081	0,838
	5-10	0,494	0,053	0,904
	10-15	0,490	0,042	0,921
	15-20	0,546	0,062	0,898
	20-25	0,689	0	1
	25-30	0,707	0,016	0,978
2,5	0-5	0,399	0,103	0,794
	5-10	0,434	0,112	0,794
	10-15	0,483	0,049	0,908
	15-20	0,536	0,073	0,880
	20-25	0,677	0	1
	25-30	0,680	0,043	0,941
2,7	0-5	0,387	0,114	0,772
	5-10	0,429	0,117	0,786
	10-15	0,481	0,051	0,904
	15-20	0,531	0,078	0,873
	20-25	0,673	0	1
	25-30	0,669	0,054	0,925
2,9	0-5	0,305	0,196	0,609
	5-10	0,380	0,166	0,697
	10-15	0,435	0,097	0,818
	15-20	0,480	0,128	0,789
	20-25	0,622	0,050	0,926
	25-30	0,596	0,127	0,824

Tabel A.12: Beregnet vand- og luftindhold samt vandmætning i intaktprøverne efter tilsætning af kvælstof for Restrup under de forskellige forsøgsbetingelser (varierende pF)

Formodet vandindhold [pF]	Dybde [cm]	θ [$\frac{\text{cm}^3 \text{H}_2\text{O}}{\text{cm}^3 \text{jord}}$]	ε [$\frac{\text{cm}^3 \text{luft}}{\text{cm}^3 \text{jord}}$]	Vandmætning (ε/θ)
"1"	0-5	0,455	0,046	0,907
	5-10	0,537	0,010	0,983
	10-15	0,555	0	1
	15-20	0,619	0	1
	20-25	0,743	0	1
	25-30	0,739	0	1
2	0-5	0,424	0,078	0,845
	5-10	0,502	0,044	0,920
	10-15	0,523	0,008	0,984
	15-20	0,585	0,024	0,960
	20-25	0,709	0	1
	25-30	0,706	0,017	0,976
2,3	0-5	0,400	0,102	0,797
	5-10	0,477	0,069	0,874
	10-15	0,499	0,033	0,938
	15-20	0,560	0,049	0,919
	20-25	0,687	0	1
	25-30	0,678	0,045	0,938
2,5	0-5	0,373	0,129	0,744
	5-10	0,449	0,097	0,822
	10-15	0,472	0,059	0,888
	15-20	0,532	0,077	0,873
	20-25	0,658	0,014	0,979
	25-30	0,651	0,072	0,900
2,7	0-5	0,343	0,159	0,683
	5-10	0,418	0,128	0,766
	10-15	0,442	0,090	0,831
	15-20	0,501	0,108	0,823
	20-25	0,627	0,045	0,933
	25-30	0,620	0,103	0,858
2,9	0-5	0,306	0,196	0,609
	5-10	0,380	0,166	0,695
	10-15	0,410	0,122	0,770
	15-20	0,466	0,143	0,765
	20-25	0,593	0,079	0,883
	25-30	0,587	0,136	0,811

Tabel A.13: Beregnet vand- og luftindhold samt vandmætning i intaktprøverne for Østerå-dalen under de forskellige forsøgsbetingelser (varierende pF)

Formodet vandindhold [pF]	Dybde [cm]	θ [$\frac{\text{cm}^3 \text{H}_2\text{O}}{\text{cm}^3 \text{jord}}$]	ε [$\frac{\text{cm}^3 \text{luft}}{\text{cm}^3 \text{jord}}$]	Vandmætning (ε/θ)
"1"	0-5	0,557	0,155	0,782
	5-10	0,299	0,036	0,891
	10-15	0,206	0,080	0,719
	15-20	0,219	0,056	0,797
	20-25	0,186	0,065	0,740
	25-30	0,209	0,090	0,699
2	0-5	0,403	0,309	0,566
	5-10	0,256	0,079	0,763
	10-15	0,170	0,116	0,594
	15-20	0,175	0,100	0,636
	20-25	0,147	0,104	0,585
	25-30	0,155	0,143	0,520
2,3	0-5	0,379	0,333	0,533
	5-10	0,247	0,088	0,737
	10-15	0,160	0,126	0,559
	15-20	0,163	0,112	0,594
	20-25	0,137	0,114	0,546
	25-30	0,146	0,153	0,488
2,5	0-5	0,353	0,359	0,496
	5-10	0,238	0,097	0,711
	10-15	0,150	0,136	0,525
	15-20	0,155	0,120	0,565
	20-25	0,131	0,120	0,521
	25-30	0,139	0,159	0,466
2,7	0-5	0,333	0,379	0,468
	5-10	0,232	0,103	0,691
	10-15	0,145	0,141	0,507
	15-20	0,151	0,124	0,550
	20-25	0,126	0,125	0,502
	25-30	0,134	0,165	0,448
2,9	0-5	0,268	0,444	0,376
	5-10	0,165	0,170	0,492
	10-15	0,078	0,207	0,274
	15-20	0,091	0,183	0,332
	20-25	0,068	0,184	0,269
	25-30	0,075	0,223	0,253

Tabel A.14: Beregnet vand- og luftindhold samt vandmætning i intaktprøverne efter tilsætning af kvælstof for Østerådalene under de forskellige forsøgsbetingelser (varierende pF)

Formodet vandindhold [pF]	Dybde [cm]	θ [$\frac{\text{cm}^3 \text{H}_2\text{O}}{\text{cm}^3 \text{jord}}$]	ε [$\frac{\text{cm}^3 \text{luft}}{\text{cm}^3 \text{jord}}$]	Vandmætning (ε/θ)
"1"	0-5	0,484	0,228	0,679
	5-10	0,287	0,048	0,855
	10-15	0,206	0,080	0,719
	15-20	0,228	0,047	0,831
	20-25	0,192	0,059	0,765
	25-30	0,238	0,060	0,798
2	0-5	0,416	0,295	0,585
	5-10	0,256	0,079	0,765
	10-15	0,173	0,113	0,605
	15-20	0,194	0,081	0,706
	20-25	0,160	0,091	0,636
	25-30	0,201	0,097	0,675
2,3	0-5	0,367	0,345	0,515
	5-10	0,231	0,104	0,688
	10-15	0,150	0,136	0,523
	15-20	0,172	0,103	0,626
	20-25	0,137	0,114	0,545
	25-30	0,173	0,125	0,581
2,5	0-5	0,309	0,403	0,434
	5-10	0,203	0,132	0,607
	10-15	0,123	0,163	0,431
	15-20	0,145	0,130	0,527
	20-25	0,101	0,150	0,404
	25-30	0,144	0,155	0,482
2,7	0-5	0,273	0,439	0,384
	5-10	0,174	0,161	0,520
	10-15	0,093	0,193	0,325
	15-20	0,114	0,161	0,415
	20-25	0,070	0,181	0,280
	25-30	0,112	0,186	0,376
2,9	0-5	0,244	0,468	0,343
	5-10	0,146	0,189	0,436
	10-15	0,056	0,230	0,196
	15-20	0,078	0,196	0,285
	20-25	0,038	0,214	0,150
	25-30	0,083	0,215	0,278

Grundet usikkerheder i beregningerne er nogle af de fundne værdier for luftfyldte porer negative, hvilket umuligt kan lade sig gøre. Derfor er disse værdier sat til 0, idet det antages,

at prøverne er fuldstændig vandmættede, dvs. disse er lig med 1.