

UNIVERSITETET FOR MILJØ- OG BIOVITENSKAP



Forord

Masteroppgaven ble skrevet ved Institutt for plante og miljøvitenskap, og er avslutningen på mine studier ved studieprogram Miljø- og naturressurser ved samme institutt. Oppgaven er skrevet som del av undersøkelsene ved Karlshaugen naturreservat, hvor en ønsket å finne ut mer om myrområdene og mengden karbon som er lagret her.

Hovedveileder har vært førsteamanuensis Line Tau Strand, mens Per Holm Nygaard ved Norsk institutt for skog og landskap har vært medveileder og bidratt med forslag til innfallsvinkler og undersøkelser i oppgaven. En stor takk rettes til disse to. I tillegg vil jeg takke professor Arne Stuanes og Irene E. Eriksen Dahl. Arne for å ha vært med i feltarbeid og planlegging av oppgaven, og ellers stått til rådighet ved spørsmål, og Irene for all hjelp på laben.

Til slutt vil jeg også takke mine medstudenter på lesesalen som har bistått med konstruktive tilbakemeldinger og vurderinger over mang en kopp kaffe.

Sammendrag

Formålet med oppgaven var å gjøre rede for karbonlagrene i Karlshaugen naturreservats myrer anno 2010, samt vurdere utviklingen av myrenes areal og karbonlagre fra 1930 til 2010 ved hjelp av GIS-verktøy.

I undersøkelsene er det tatt åtte myrprøver ned til 80 cm av myra i midten av naturreservatet. Disse prøvene dannet grunnlaget for en mer detaljert studie av karbonlageret ved denne myra, med analyser av von Post, farge, tørrstoff, glødetap, pH og % nitrogen (N) og karbon (C). De tre resterende myrene ble prøvetatt med vanlig jordbor til 40 cm, og gjennomgikk ikke von Post- og fargevurderinger. Gjennomsnittet av resultatene fra myra i midten av reservatet ble benyttet for torven under 40 cm på de tre andre myrene. Dette ansees som et godt estimat, da analysene av myrprøvene viste at de fleste faktorene stabiliserer seg rundt 40-50 cm.

For den midterste myra ligger det gjennomsnittlig lagret 111,7 tonn C/ dekar (daa), mens estimatet for hele området gir 130,6 tonn C/ daa. Dette er mye karbon i forhold til andre markslag, med skog og jordbruksareal som nærmeste konkurrenter med gjennomsnittsestimat på henholdsvis 16,4 og 18,6 tonn C/daa. Gjennomsnittsestimat for myr i Norge ligger på 47,5 tonn C/daa. Området Karlshaugen er gunstig for myrdannelse, med topografi og klima som legger til rette for torvakkumulasjon. Gjennom dårlige nedbrytningsforhold i dette næringsfattige og varierte landskapet har vi fått dype torvavsetninger ned mot 4 m enkelte steder. Samlet ligger det rundt 4668 tonn karbon lagret i Karlshaugen naturreservats myrer pr. 2010. Dette er en nedgang på beskjedne 117,3 tonn C fra 1930 og vil i realiteten, som vist i diskusjonen, sannsynligvis være noe høyere.

Tre av fire myrer har minket i areal siden 1930. Den søndre myra har gått ned mest og har mistet 2,5 daa. Det er en samlet nedgang i myrareal på 3,3 daa for de fire myrområdene, fra 39,0 til 35,7 daa myr. Det ser ut til at det særlig er utstikkere av myr som har grodd igjen, slik at myrområdene har fått en mer avrundet form. Gjennomsnittsdypet er det samme for 1930 og 2010, men de fleste dybdene viste en endring fra 1930.

I det store og hele virker myrene i Karlshaugen naturreservat svært stabile, med få store endringer.

Summary

The purpose of this study was to account for the carbon stocks in the bogs of Karlshaugen nature reserve anno 2010, and assess the development of the bogs area and carbon stocks from 1930 to 2010 using GIS-tools.

There were taken eight bog samples down to a maximum depth of 80 cm from the bog located in the middle of the reserve. These samples formed the basis for a more detailed study of carbon storage in this bog. Analysis of von Post, color, dry matter, loss on ignition, pH and % nitrogen (N) and % carbon (C) were performed. The three remaining bogs were sampled with a regular soil sampler to a depth of 40 cm, and underwent the same analysis except for von Post and color evaluations. Average values from the bog in the middle of the reserve were used for the peat below 40 cm on the remaining three bogs. This is considered a good estimate, since most of the analysis show a stabilization around 40-50 cm.

The bog in the middle of the reserve stores on average 111.7 tons C per decare, while the estimate for the entire area lie around 130.6 tons C per decare. This is a lot of carbon compared to other soil types, with forest and agricultural land as its nearest “competitors” with average estimates of respectively 16.4 and 18.6 tons C per decare in Norway. An average estimate for bogs in Norway is 47.5 tons C per decare. The area near Karlshaugen is favorable for the formation of bogs. The topography and climatic conditions facilitate peat formation, and the low nutrient availability limits decomposition. The result is peat deposits down to 4 meters in some locations. In total, there are around 4668 tons of carbon stored in the bogs of Karlshaugen nature reserves at present. This is a modest decrease of 117.3 tons of C since 1930, and is, as later discussed, in reality probably somewhat higher.

Three of the four bogs in the reserve have decreased in area since 1930. The southern bog has decreased the most, approximately 2.5 decare. The total decline in bog area for the four bogs is 3.3 decare, from 39.0 to 35.7 decare. It seems that it is mostly the narrow ends and shapes of the bogs that have been overgrown by other vegetation, so the bogs are now more rounded in shape compared to 1930. Average depth is the same for 1930 and 2010, but most depths showed a change from 1930.

On the whole, it seems that the bogs of Karlshaugen nature reserve are quite stable, with few major changes.

Innhold

Material og metoder:	2
Feltarbeid	2
Forbehandling	4
Analyser	5
Tørrstoff og glødetap	5
Måling pH	5
Prosent N og C	6
Karbonlagerberegningene	6
Statistikk	7
Arealberegninger	7
Teoristudiet	8
Innledning	9
Klimaendringer, IPCC og Kyoto-protokollen	9
Myr og den globale karbonsyklusen	11
Myr og torvmosenes egenskaper	15
Myr som karbonlager	17
Mål og hypotese for oppgaven	19
Områdebeskrivelse	20
Resultater for myrundersøkelser ved Karlshaug naturreservat	24
Detaljstudie av utvalgt myr	24
Samlet resultat for Karlshaugen naturreservats myrer	35
Diskusjon	39
Areal- og karbonlagerendringer	39
Detaljstudiet av midtre myra	41
Andre feilkilder	43
Myrområdenes fremtid med klimaendringer	44
Konklusjon	46
Kilder	47

Material og metoder:

I forbindelse med oppgaven, hvis mål er å utrede karbonlagrene i myr for området Karlshaugen naturreservat og vurdere gjengroing av disse, var feltarbeid med jordprøvetakning nødvendig. Myra som illustreres i Figur 1 viser hvordan et rutenett er lagt opp, og hvor prøvetakning har foregått. Etter jordprøvetakning ble prøvene forbehandlet og analysert, og resultatene diskutert.

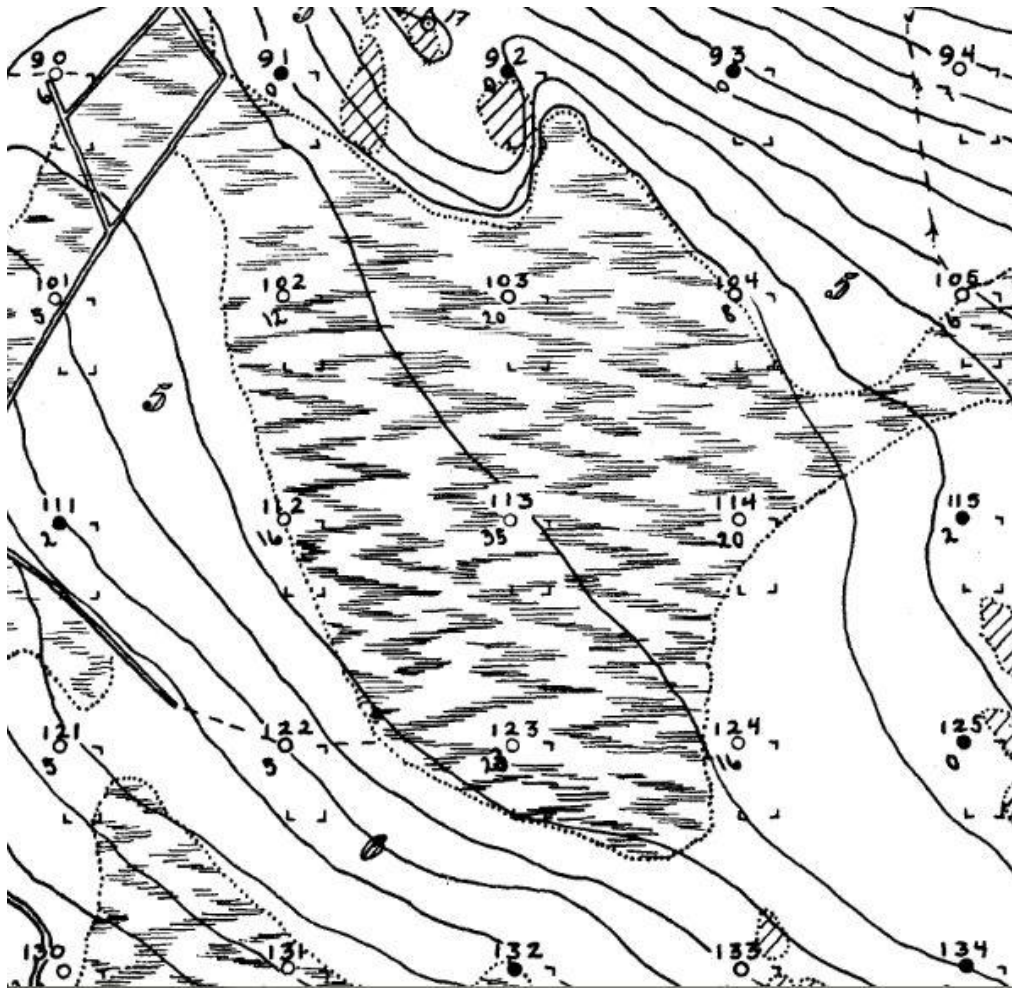
Feltarbeid

Feltarbeid ble utført i perioden 21. juni til 25. juni 2010. Området har vært fredet siden 1922, og ligger i Nittedal kommune på 420-450 meters høyde over havet. Skogen består hovedsakelig av furu, gran og bjørk, og har ikke vært gjennomhøgd "i manns minne" (Braathe, 1980). I 1930 ble feltet delt inn i et rutemønster på 30 x 30 m og markert og nummerert fra 1-171 med galvaniserte rør, senere plastrør, i kryssene. Bolter slått i fast grunn ble benyttet der det ikke var sannsynlig at rørene ville holde som merking.

Hovedstudiene for oppgaven ble fokusert på ei myr midt i feltet, dekket av punktene 102, 103, 104, 112, 113, 114 og 123, vist i Figur 1. Myra omfatter ca. 5,4 dekar, og har ikke vannspeil til forskjell fra myrområdene nord og sør i reservatet. Små bjerker finnes på et par tuer ute på myra, men ellers er myra fri for trær og busker. Rutenettet for hele området har tidligere blitt artsregistrert, men videre studier av myrområdene har tidligere ikke blitt vektlagt. Vegetasjonen går fra skogkledt myr som avgrensner myrområdene, over til lyng og noe gress, og deretter mer ren Sphagnum-vegetasjon.

For uttak av myrprøvene ble det benyttet et myrbor (8,0x8,5x100,0 cm) med avtagbart sidestykke for enkel adkomst til prøven som vist i Figur 2. Myrprøver ble tatt ved å presse myrboret 90 cm ned og stenge lukkemekanismen i bunn før vi dro opp. Opptaket var en jobb for 2-3 personer, da prøvetakeren kunne være tung å dra opp. Prøvene kunne være noe komprimert de øverste 10 cm, men var ellers stort sett uforstyrret. Den avtakbare sideveggen ble fjernet, og prøven ble delt opp i stykker á 10 cm fra toppen og ned. Prøven ble så lagt i plastposer uten å klemme ut vanninnholdet. Disse ble lagret på kjølerom frem til forbehandling. De tre resterende myrene ble prøvetatt med vanlig jordbor ned til 40 cm.

Myrdybdene ble målt med stang med lengdemål til nærmeste desimeter, og er så godt som mulig målt rett over fastmerket.



Figur 1: Illustrasjon over hvordan rutenettet er lagt opp gjennom utsnitt av den midtre myra som gjennomgikk de grundigste undersøkelsene. Figuren gir også oversikt over punktene som dekker myra.



Figur 2: Myrprøvetaker, bilde fra punkt 123

Forbehandling

Prøvene sto lagret på kjølerom frem til forbehandling. På forbehandlingsrommet i jordfagsbygningen ble en dag benyttet til å måle farge, von Post og innholdsbeskrive prøvene, samt uttak av makrofossil som ble funnet. Her ble også våt prøve veid til nærmeste gram (eventuelle fossiler ble veid for seg selv). Etter dette ble prøvene tatt med til forbehandlingsrommet på Skog og Landskap. Her ble prøvene spredd på gråpapir på brett, og tørket ved 25 °C i tørkeskap. Også i denne prosessen ble det tatt ut fossiler og biter av kull. Fossiler fra begge uttakene ble tørket på eget brett. Da prøvene var ferdig tørket i skapet ble de kværnet til størrelse <2 mm, og veid til to desimaler slik at vi får en skaptørket volumvekt for hver prøve. En mineralprøve ble knust og mortet.

Analyser

Alle analysene ble utført for hver av prøvene etter oppdelingen vi gjorde i felt.

Tørrstoff og glødetap

En serie digler ble veid opp til tre desimaler og tilført ca. en toppet teskje hver av de kvernede prøvene. Disse ble så veid før og etter tørking i tørkeskap ved 105 °C over natten, og digelvekten trukket fra. Ved tørking på denne måten får vi ut vannet som er i lufta ved romtemperatur, slik at vi sitter igjen med kun tørrstoff.

$$\% \text{ Tørrstoff} = \frac{\text{Tørket prøve (105}^\circ\text{C)} * 100}{\text{Innveid prøve (tørket ved 25}^\circ\text{C)}}$$

Prøvene var så klar for gløding. Gløding ble utført over ca. 4-6 timer ved 550 °C i glødeovn. Etter gløding ble prøvene oppbevart i tørkeskap ved 105 °C frem til veiing for ikke å tilegne seg vekt av fukt i lufta.

Etter gløding sitter vi tilbake med en gløderest. Ved å trekke gløderesten fra tørrstoffet finner vi innholdet av organisk materiale. Glødetapet er den organiske delen av prøven, og gløderesten er mineraldelen. Glødetapsprosenten finnes ved:

$$\% \text{ Glødetap} = \frac{(\text{Tørket prøve} - \text{gløderest}) * 100}{\text{Tørket prøve (105}^\circ\text{C)}}$$

Måling pH

Prøven ble godt blandet i esken før uttak av 10 ml prøve. Den blandes med 25 ml deionisert vann i et «ola-beger» og ristes godt slik at alt prøvemateriale kommer i kontakt med vann. Risting ble gjort én gang til før prøvene sto over natten for å frigjøre H⁺. Dagen etter ble måling av pH gjennomført. Prøvene ble ristet opp to ganger før måling. Kalibrering av pH-instrument ble foretatt mot standardløsning pH 4 og standardløsning pH 7. Rekalibrering av pH-instrumentet ble utført etter prøve nr. 20 og etter prøve nr. 40. Avlesning ble foretatt når måleren selv lyste "ready", eller når to

desimaler var stabilisert på de prøvene som ikke ble klar innen halvannet minutt. Dette ble gjort fordi en måletid over to minutter kan påvirke pH i løsningen da noe KCl lekker ut fra elektroden. Til måling av pH i mineralprøven ble ikke den mortede prøven benyttet. Siktet prøve ble benyttet i stedet, da morting hadde åpnet for vann på en langt større spesifikk overflate, noe som kunne påvirke bufferkapasiteten og pH-målingene.

Prosent N og C

Disse analysene ble utført på lab av Irene E. Eriksen Dahl på en «Leica CHN-1000». Resultatene måtte korrigeres for tørrstoff, som er vist under neste avsnitt.

Karbonlagerberegningene

Ved å bruke arealmålingene og dybdemålingene sammen med resultatene fra analysene, fant jeg karbonlagrene for området. Det var et par omregninger og korrigeringer som måtte gjøres før man var i mål. Analyseresultatene må blant annet korrigeres for tørrstoff (ts.).

$$\text{Tetthet} = \frac{\text{volumvekt (25 °C)} * \% \text{ ts. (105 °C)}}{100}$$

$$\text{ts. C \%} = \frac{\text{C \%} * 100}{\% \text{ tørrstoff}}$$

$$\text{kg C/kg} = \frac{\text{ts. C \%}}{100}$$

- Metode for N % er samme som for C %.

Nå har vi grunnlag for å finne andel karbon av tørrstoffet. Det vil si at vi nå kan vite gram karbon i et volum jord så lenge vi kjenner tettheten. Under vises kg C/m² for 1 dm dyp. Kg C/m² er en svært praktisk benevnelse i sammenligning av ulike områders karbonlagre. I oppgaven er karbonlager beregnet for hver dm fra toppen og ned for hver m².

$$\text{Kg C /dm}^2 = \frac{\text{kg}}{\text{dm}^3} * \frac{\text{kgC}}{\text{kg}} * 1 \text{ dm tykkelse}$$

$$\text{kg C/m}^2 = \text{kg C/dm}^2 * 100$$

$$\text{Fordi } 1\text{m}^2 = 100 \text{ dm}^2$$

Med enkel multiplikasjon av kgC/m², areal og dybdemålinger gir dette oss karbonlager for det aktuelle området.

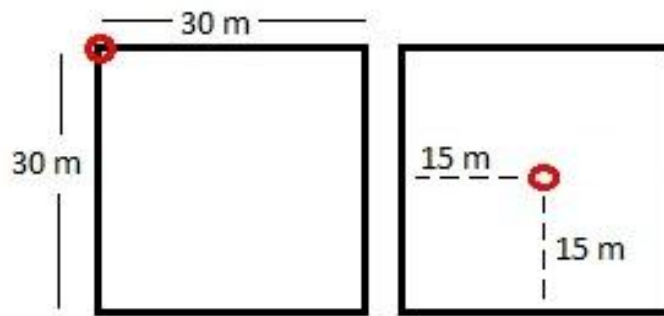
Statistikk

Noe statistikk ble kjørt for å illustrere hvilken faktor som er mest bestemmende for karbonlagrene. Pearsons korrelasjonsanalyse i Excel og Minitab 16 ble benyttet. For å finne faktorene som var signifikante med tanke på sammenheng med karbonlagre for ulike dyp ble en korrelasjonsmatrise laget i Minitab 16. Det ble også kjørt Uparet to-utvalgs T-test for å se om man kunne se noen forskjell på karbon lagret i myr mot karbon lagret i skogkledt myr.

Arealberegninger

Til arbeid med areal ble Esri ArcGis 9.3 benyttet. I beregning av myrareal ble et rutenett 30m x 30m som passet til rutenettet fra 1930 opprettet. Deretter ble buffersone 15m fra hvert punkt dannet. Dette gir sirkler rundt hvert punkt med diameter 30 m. Disse konvertertes til kvadrater, slik at vi nå sitter med et kvadrat med prøvetagningspunktet som sentrum. Det ble brukt mye tid på «knoting» for finne den beste målemetoden som gav de mest nøyaktige resultatene. Opprinnelig er kvadratet 30m x 30m sør-øst for hvert punkt definert til å være punktets areal. Problemet ved å holde på denne definisjonen er at man da ville fått færre punkt som kan brukes til å beskrive myrene, og resultatene ville blitt mer unyanserte og lite representative. Eksempelvis; for myra midt i reservatet som på det

meste kun er ca. 70 m bred ville punktene på østsiden fått svært liten innflytelse på de endelige resultatene, da mesteparten av arealet til disse havner utenfor det som er klassifisert som myr. Forskjellen illustreres i figur 3.



Figur 3: Rød ring markerer prøvetagningspunkt. Venstre kvadrat; opprinnelig områdetilhørighet til hvert punkt brukt i tidligere studier. Høyre kvadrat; områdetilhørighet brukt i karbonlagringsundersøkelsene.

Polygoner ble tegnet opp rundt myrareal for kart av 1930 og ortofoto fra 2008. Dette ble gjort 5 ganger over ortofotoet for å få et greit gjennomsnitt av myrarealene ved ulike målinger. Dette ble sett som nødvendig fordi vurderingen av myrgrensene varierte noe fra gang til gang da grensene er noe uklare. Kartet fra 1930 er tydelig, og flere målinger var ikke nødvendig. Arealutregningene ble utført i Microsoft Office - Excel.

Teoristudiet

I studiet har jeg benyttet relevant litteratur, hovedsakelig fra land med samme klimatiske forhold som Norge. Dette vil i hovedsak si artikler med studier fra særlig Sverige, Finland og Nord-Amerika men også Russland og Storbritannia. For Kyoto og klimaproblematikken er de offisielle hjemmesidene benyttet, og publiserte arbeider i denne sammenheng. Artikler og relevant litteratur er funnet ved bruk av Thomson Reuters' Web of Knowledge, og ved hjelp av veilederne. Jeg har valgt å ha teoridelen sammen med innledningen hvor jeg har forsøkt å starte med et globalt overblikk på klimaproblematikken, for så å spisse nedover mot regionalt og til slutt lokalt nivå for Karlshaugen naturreservat.

Innledning

Klimaendringer, IPCC og Kyoto-protokollen

De siste tiårene har klimaendringer fått økt fokus. Temperaturer stiger, og særlig nordområdene opplever store endringer med smelting av store ismasser rundt Nordpolen, samtidig som ekstremvær øker globalt. Gjennomsnittstemperaturene har steget lineært og dobbelt så raskt de siste 50 årene sett opp mot hundreårsperioden 1906-2005 (IPCC, 2007). For å vurdere klimaendringene og trusselen de utgjør, etablerte FNs miljøprogram (UNEP) i 1988 sammen med Verdens meteorologiorganisasjon (WMO) FNs klimapanel - "Intergovernmental Panel on Climate Change", IPCC (IPCC, 2011).

Klimapanelet utfører ingen forskning og måling selv, oppgaven deres er kun å samle og vurdere nåværende kunnskap om klimaendringer, samt potensielle følger av disse på en vitenskapelig måte (IPCC, 2011). Arbeidet skal være så objektivt og så fullstendig som mulig, og skal spenne over et større spekter fagområder (IPCC, 2011). En av hovedideene bak klimapanelet er å benytte muligheten til å gi vitenskapelig korrekt informasjon til beslutningstagere, slik at informasjonen når ut til alle medlemslandene (IPCC, 2011).

Klimapanelet var sentralt i opprettelsen av FNs klimakonvensjon (United Nations Framework Convention on Climate Change – UNFCCC) som politisk plattform for å håndtere klimaendringene og problemene disse medførte (IPCC, 2011). Klimapanelet står for utarbeidelsen av hovedrapporter angående klimaendringene og følgene av disse, hvorav den fjerde kom i 2007, og den femte ventes i 2014 (IPCC, 2011). Landene som er med i klimakonvensjonen tar stilling til rapportene som legger grunnlaget for videre handling. Klimapanelet bistår også klimakonvensjonen med kunnskap og informasjon når det er behov innen spesielle felt, og har vært sentrale i utarbeidelsen av metode og retningslinjer med tanke på kartlegging av nasjonale drivhusgassutslipp. Klimapanelet kom også med sentrale innspill under prosessen med å vedta Kyoto-protokollen (IPCC, 2011). Samme året den fjerde hovedrapporten ble lagt frem, i 2007, fikk klimapanelet sammen med Al Gore Nobels Fredspris med begrunnelsen: *"For deres innsats for å skape og spre større kunnskap om menneskeskapte klimaendringer og for å legge grunnlag for de tiltak som kreves for å motvirke disse endringene"* (Den Norske Nobelkomite, 2011). Klimakonvensjonen setter ingen tak eller mål for utslipp i seg selv, men åpner i stedet for egne tilleggsprotokoller med mer spesifikke målsettinger, som må ratifiseres av en viss andel av medlemslandene for og tre i kraft.

Kyoto-protokollen, vedtatt desember 1997, er et slikt tillegg til klimakonvensjonen, og er en internasjonal overenskomst mellom 37 industrialiserte land. Kyoto-protokollen er mer konkret og

bindende med tanke på tiltak mot klimaendringer, og har som målsetting å få til en gjennomsnittlig utslippsreduksjon av klimagasser på 5 % fra 1990-nivå (UNFCCC, 2011). Ved Kyoto-protokollen artikkel 5.1 er hvert land forpliktet til å implementere et nasjonalt system for å redegjøre for landets menneskeskapte klimautslipp, og områder for opptak og fjerning av disse (UNFCCC, 2011). Denne protokollen er bindende for de land som velger å signere, i motsetning til den overordnede klimakonvensjonen som kun anmoder industrialiserte land til å stabilisere klimagassutslippene (UNFCCC, 2011). Protokollen anerkjenner i-landenes ansvar for klimagassutslippene gjennom 150 års industriell aktivitet, og har til hensikt å fordele byrden hovedsakelig mellom disse landene. Reduksjonen i klimagassutslipp skal skje over 5-årsperioden 2008-2012, og gjelder gassene karbondioksid (CO₂), metan (CH₄), nitrogenoksider (NO_x), hydrofluorkarboner (HFCer), perfluorkarboner (PFCer) og svovelhexafluorid (SF₆) (UNFCCC, 2011).

Protokollen vil bruke en rekke "Kyoto-mekanismer" for å oppnå de ønskede reduksjonene i klimagassutslipp (UNFCCC, 2011). Mekanismene gir målbare resultater, og er således verdifulle verktøy for å måle fremgang (UNFCCC, 2011). Mekanismene dreier seg hovedsakelig om kjøp og salg eller innsparing av CO₂-enheter, der ett tonn CO₂ regnes som én enhet (UNFCCC, 2011). Kjøp og salg av utslippskvoter på klimagasser/ CO₂ ved overskudd eller behov for kvoter er den enkleste metoden, men utslippsenheter kan også opptjenes og overføres etter "Removal units" - basert på hvor mye CO₂ som fjernes gjennom "Land use, land use change and forestry" (LULUCF) (UNFCCC, 2011). Utslippsreducerende og fjernende tiltak, "Emission reduction/removal, Joint Implementation", prosjekter som renser utslipp for klimagasser eller forbedrer nåværende løsninger slik at man ender opp med et lavere utslipp, og "Clean development mechanism" - utslippsbesparende prosjekt i utviklingsland, er også essensielle da disse stimulerer til investering i grønn teknologi og bærekraftig utvikling (UNFCCC, 2011). Hensikten er å skape et marked for grønn investering, slik at det å nå klimamålene blir mer kostnadseffektivt (UNFCCC, 2011). Utslippsreducerende og utslippsfjernende prosjekter innen "ren utvikling" kan dreie seg om å bidra med bærekraftige prosjekt i utviklingsland ved for eksempel elektrifisering av landsbyer gjennom utbygging av solcellekraft (UNFCCC, 2011), eller CO₂-rensing ved Mongstad gasskraftverk i Norge.

For å holde oversikt over kvotehandel og benyttelse av Kyoto-mekanismene er det opprettet et sekretariat som fører en internasjonal transaksjonslogg i Bonn, Tyskland (UNFCCC, 2011). Her kontrolleres det også om overføringene er i tråd med reglementet, og hvert land er forpliktet til jevnlig å rapportere årlig "karbonhusholdning" i henhold til bestemmelsene i protokollen (UNFCCC, 2011). Det finnes også et eget system for å forsikre seg om at alle parter overholder protokollen, og hjelpe parter som eventuelt ikke ligger an til å imøtekomme kravene (UNFCCC, 2011).

UNFCCC samler rapporter fra alt av utslipp og opptak av klimagasser, inkludert LULUCF (Rypdal et al., 2005). Dette skiller seg noe fra Kyotorapporteringen, som baserer seg på et utvalg menneskelige aktiviteter (Rypdal et al., 2005). Skog og Landskaps rapport "Emissions and removals of greenhouse gases from landuse, land-use change and forestry in Norway" (Rypdal et al., 2005) baserer seg hovedsakelig på nasjonale data, men benytter seg av standardverdier gitt av IPCC ("Good Practice Guidance for Estimating and Reporting of Emissions and Removals from Land use, Land-use Change and Forestry") der nasjonale data ikke finnes. Norge har valgt å bruke skogskjøtsel som redskap for å oppnå klimautslippsmålene. Rapporten peker på at det i den sammenhengen er lite detaljert informasjon tilgjengelig på jord og myr i Norge, og hvilken rolle dette spiller for landet i helhet (SFT 2006). For 2004 bidro "LULUCF" til å binde opp 48 % av Norges totale drivhusgassutslipp, med skogbiomasse som den største bindingsfaktoren og binding i jord som den nest største (SFT, 2006). Ser man på Norges utslipp uten "LULUCF", hadde vi et utslipp på 49,8 millioner tonn CO₂-ekvivalenter i 1990, og en økning på 10 %, til 54,9 millioner tonn, i 2004. Inkluderes LULUCF i utslippene, reduserte Norge i denne perioden sine utslipp med 19 % fra 1990-nivå (SFT, 2006).

Myr og den globale karbonsyklusen

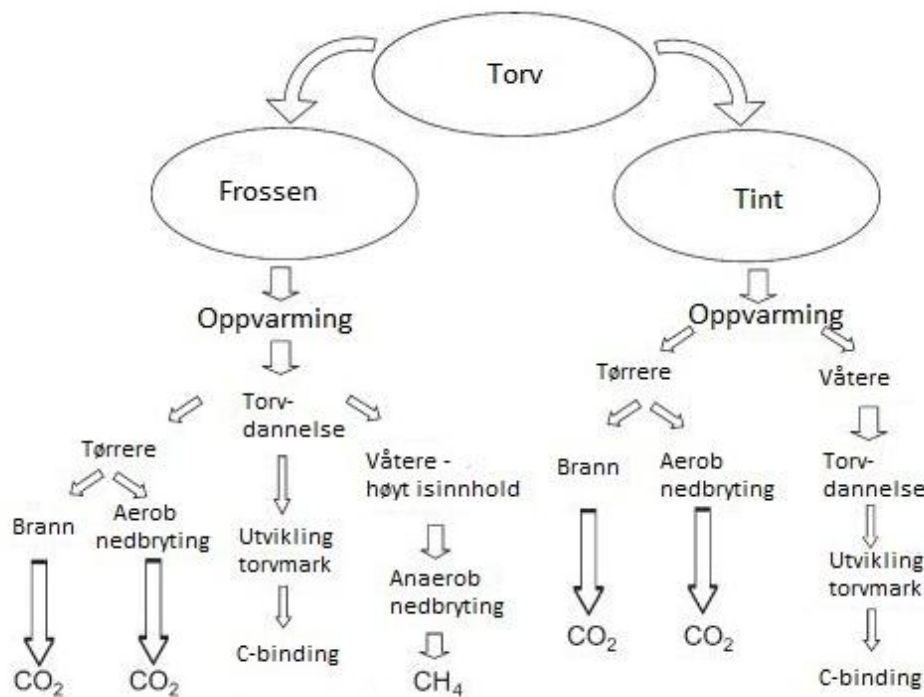
Myr og torvareal antas i rapporteringen å fungere som "sink"-områder for CO₂ med opptak på rundt 62-96 g CO₂/m²/år (Rypdal et al., 2005). Disse tallene er hentet fra Uppenberg et al. (2001) og er brukt i svenske utslippsberegninger. Hvorvidt myrområdene faktisk kan regnes som netto karbonbindende er man usikker på, og blant annet Grønlund (2010) oppgir ombrotrof myr til å være en netto utslippskilde tilsvarende 192 g CO₂/m²/år. Dette vil variere med hver enkelt myrs karakteristikk. Samtidig som myrområder kan antas å kunne fungere som "sink"-områder for CO₂ bidrar de også med store mengder metan til atmosfæren. Myrområder står for ca. 15 % av det globale utslippet av metan, som er en svært potent klimagass (Moore, 2002). Med "sink"-områder menes områder som absorberer mer karbon enn hva det slipper ut. Det motsatte vil være et "source"-område, en kilde til utslipp hvor nedbrytning er større enn tilvekst. I tillegg har vi ressursutnyttelse i forbindelse med torvuttak som i Norge dreier seg om ca. 338 haa og 220.000-300.000 m³ torv årlig. Av dette får vi ett årlig utslipp på ca. 3,4 Gg CO₂, eller et rundt 10 Mg CO₂/ha/år hvis man regner om til areal med gjennomsnittlig dyp 5-10 cm (Rypdal et al., 2005). Alle "Annex I"-land (industrialiserte land) har etablert mål for klimautslippskutt og hvordan disse skal nås (SFT et al., 2006).

Torvuttak sammen med landbruk på drenert torvjord og nedbygging av våtmark er dramatiske endringer i myr og torvlandskap som gir en svært rask omdanning til CO₂. Noen våtmarker er mer utsatte enn andre da de ligger nært infrastruktur og bysentrum. Disse er mer utsatt for direkte påvirkning av menneskelig aktivitet enn myr i mindre attraktive områder slik tilfellet er for Åsmåsan i Ås kommune. Deler av dette sentrumsnære våtmarksinnslaget er vedtatt regulert til kombinert bebyggelse og industri i kommuneplan 2011-2023 (Ås kommune, 2011). Det er allikevel relativt små areal som er utsatt for slike menneskelige påvirkninger i Norge, særlig når oppdyrking av myr ikke lenger forekommer i stor stil.

Jord og myr er store karbonlagre som under gitte betingelser kan lagre mye karbon (Grønlund et al., 2010). Klimaendringer endrer disse betingelsene for karbonlagring, og det er derfor særlig interessant å studere myr siden det her lagres svært store mengder karbon på små arealer. Rundt 80 % av myrrealene på jorda finnes i boreale strøk, mens disse globalt sett dekker mindre enn 3 % av jordens overflate. Allikevel er disse områdene anslått til å lagre mellom 270-370 Tg karbon, noe som tilsvarer 34-46 % av karbonet som befinner seg i atmosfæren (J. Limpens 2008) og rundt 30 % av verdens globale terrestriske karbon (R. Kelman Wieder 2006).

Over lang tid har myr virket som opptaksområde for atmosfærisk karbon og lagret denne slik at vi har fått en netto avkjølingseffekt av myrdannelsen de siste 8000-10.000 år (Frolking and Roulet, 2007). Samtidig er de også potensielt store utslippskilder for metan og CO₂ om områdene skulle destabiliseres (J. Limpens 2008). Tarnocai fant gjennom modellberegninger av klimasensitivitet til myr og torvareal at 60 % av Canadas torv og myrareal i stor grad vil påvirkes av global oppvarming (Tarnocai, 2006). Temperaturøkninger i områder med permafrost vil gjøre tilgjengelig nye mengder karbon som kan omdannes ved tining, men effekten vil variere, da vi i stedet også kan få ny tilvekst til våtmarksområder (J. Limpens 2008).

I det hele sees myrområder ved både tropiske og nordlige breddegrader som essensielle i den terrestriske karbonsyklusen. Forstyrrelser av disse områdene gjennom drenering og avskoging i tropisk våtmark, og global oppvarming for de nordlige områdene vil kunne lede til tilbakeføringsmekanismer som forsterker klimaendringene (J. Limpens 2008). Figur 4, modifisert fra Tarnocai (2006) viser ulike responser ved global oppvarming for myr og torvjord som påvirkes av global oppvarming i Canada. På grunn av klimatiske likheter er det grunn til å tro at figuren er aktuell også for Norge og våre boreale og sub-arktiske områder. Effektene på nedbryting eller karbonbinding vises med størrelsesordenen på pilene, og vi ser at de fleste tilfellene gir økte utslipp.



Figur 4: Effekt av global oppvarming på den delen av torv og myrlandskap i Canada som er forventet å bli svært påvirket av klimaendringer. Vi ser noe økt C-binding, men økte utslipp dominerer. Modifisert fra Tarnocai (2006)

I de tempererte og boreale strøkene hvor vekstforholdene er gode er det såpass kaldt at mikrobiell nedbrytning går sakte, og vi får en opphopning av organisk materiale i jordsmonnet (Nyle C. Brady 2002). Jord utenfor den tempererte og boreale sone har generelt et lavere innhold av organisk materiale, da opphopning og nedbrytning i stor grad bestemmes av temperatur og fuktighet (Nyle C. Brady 2002). Tilgangen på vann er i mange sydlige områder begrensende faktor for plantevekst, og vil derfor regulere tilførselen av organisk materiale til jorda (Nyle C. Brady 2002). Utenfor de tempererte og boreale sonene er menneskelig aktivitet den største trusselen mot torvområder, først og fremst gjennom utstrakt drenering og bruk av myrområdene til mennesketjenelige formål (Gorham, 1991).

Et klima i endring forskyver tilvekst-nedbrytingsraten i nord (Gorham, 1991). Forskyvningen skyldes hovedsakelig de indirekte følgene av klimaendringene som for eksempel endring i vannstand, endret nedbørsfordeling og tining av permafrost, og den effekten dette har på karbonlagring og nedbryting. Disse faktorene vil bidra til en økt nedbryting, større enn den vi forventer som et direkte resultat av gunstigere levekår for mikrobielle nedbrytere ved økte temperaturer (Gorham, 1991). Av denne grunn må sannsynlige følger av klimaendringer beregnes ut fra flere direkte og indirekte påvirkninger, noe som er svært komplisert med ulike samspill og innvirkninger. For eksempel vil arktiske strøk påvirkes i større grad enn varmere områder siden en temperaturøkning her forventes å øke

nedbryting og planterespirasjon mer enn fotosyntese. Dette vil bidra til en CO₂-frigjøring, og er særlig aktuelt der hvor vi i dag har permafrost (Gorham, 1991).

Billings et al. (1982) utførte eksperimenter som prøver å sortere ut hvor stor effekt ulike faktorer har på karbonutslipp. Torvprøver av "våt kysttundra" fra et permafrostområde i Alaska ble holdt i kunstige miljø, phytotroner, hvor klima, soltimer, vannspeil og CO₂-konsentrasjon kunne kontrolleres, justeres og registres. Tre hypoteser ble testet med resultatene fordelt i to artikler, (Billings et al., 1982) og (Billings et al., 1983): 1) En økning i atmosfærisk temperatur vil omgjøre arktisk tundra fra sink-områder til source-områder for klimagasser. 2) Senkning av vannstanden vil øke karbonutslippene fra tundraen. 3) En konsentrasjonsøkning av atmosfærisk CO₂ vil øke karbonlagring i tundraen (Billings et al., 1983).

De to første hypotesene ble undersøkt i artikkelen fra 1982, og konkluderer med at tundraen kan bli kilde til CO₂ på grunn av avtagende soltimer ut over høsten, og at en vannstandsreduksjon vil bidra til økte CO₂-utslipp (Billings et al., 1982). Færre soltimer gir mindre fotosyntese fra vaskulære planter, mens den økte temperaturen gir fortsatt mikrobiell nedbryting samtidig som forfrysningen utsettes til lenger ut på høsten. En liten endring i vannstand, -5 cm, på grunn av økt evapotranspirasjon som følge av temperaturøkning, ble funnet å øke aerob nedbryting og rotrespirasjon (Billings et al., 1982). Den tredje hypotesen, gjennomgått i artikkelen fra 1983, ser også ut til å være riktig. Derimot vil denne økningen i karbonfangst være marginal i forhold til den økte nedbrytningen som følger av temperaturøkning og vannstandsreduksjon, og spiller derfor kun en mindre rolle (Billings et al., 1983). Da torvlaget bidrar til isolering og holder temperaturen stabil, vil tapet av biomasse kunne bidra til å senke frostspeilet, slik at vi får en videre akselerering av nedbryting og utslipp fra tundraområdene (Billings et al., 1983). Gorham (1991) bruker resultatene til Billings et. al (1982) og (1983) for å påpeke at nedbrytningen øker mer enn fotosyntese ved økte temperaturer og CO₂-innhold i atmosfæren: Karbonfangsten økte med 57 % når vannstanden var stabil, og temperatur og CO₂-konsentrasjon ble doblet fra henholdsvis 4 °C til 8 °C, og 400 µL/L til 800µL/L. Resultatet viste at en temperatur på 8 °C gav 15 % lavere karbonfangst enn ved 4 °C.

Klimaendringene kan føre til at areal hvor torv akkumuleres generelt flyttes nordover, med opptining av områder som i dag domineres av permafrost og liten eller ingen tilvekst. Dette vil flytte de klimatisk bestemte grensene for hvor myr vil kunne dannes, på samme måte som tregrensen forflyttes opp i høyden og lenger nord i takt med et varmere klima (Gorham, 1991). Det er ikke sikkert en forskyving nord og opp i høyden vil kompensere for karbontapet lenger sør, da de store myrområdene har spesielle topografiske forutsetninger, samtidig som det er begrenset med landområder nordover før man er ved kysten (Gorham, 1991). Det er svært sannsynlig at global

oppvarming bidrar til en raskere nedbrytning av torv i områder lenger sør i forhold til nydannelse i nord (Gorham, 1991).

Myr og torvmosenes egenskaper

Under dannelsen av myr og i bestemmelsen av type myr spiller topografi, kjemi, klima og geologi en viktig rolle (Gorham, 1957). Større myr og torvavsetninger forekommer i hovedsak i vannmettede områder med lav topografisk helning og tette løsmasser berggrunn under som hindrer vann i å renne bort (Gorham, 1957), (Gorham, 1991). Siden myr er vannmettet og anoksisk mesteparten av året unngår den effektiv nedbrytning og akkumulerer i stedet organisk materiale. Der hvor områdene har vært påvirket av siste istid vil de fleste myrene være yngre enn isens tilbaketrekning for ca. 25.000-10.000 år siden (Wieder et al., 2006), noe som gir et inntrykk av stabiliteten i disse økosystemene og mengdene som karbon som kan lagres over tid hvis de ikke forstyrres. Det blir også tydelig at torv ikke er enkelt fornybar, med en tilvekstrate på 20-80 cm per 1000 år (Moore and Bellamy, 1976).

Torvmoseslekten *Sphagnum*, som trives godt i omgivelser med mye nedbør og lavt næringsinnhold, bidrar på flere måter til å opprettholde sitt eget livsgrunnlag i ombrotrofe myrsystem (Gorham, 1957). Torvdannelsen gjør at vanngjennomstrømningen reduseres betraktelig, noe som hjelper på danningen av anoksiske forhold med stabilt lav temperatur (van Bremen, 1995). *Sphagnum* inneholder ikke, i motsetning til karplanter, lignin (van Bremen, 1995). Lignin er vanligvis er den vanskelig nedbrytbare komponenten, men *Sphagnum* består i stedet hovedsakelig av polysakkarider. Deler av polysakkaridene er erstattet med karboksylsyregrupper og fenoler, hvor fenolene virker nedbrytningshemmende, mens karboksylsyregruppene gir den sure karakteristikken til myrvannet (pH 3,5-4) (van Bremen, 1995). På grunn av fenolenes giftighet, myrvannets lave pH og anoksiske forhold er den mikrobielle mineraliseringen av næringsstoff svært lav i myr. Tilnærmet all næring plantene som vokser på slike myrsystem behøver må derfor komme fra nedbøren (van Bremen, 1995). På grunn av karboksylsyregruppene har *Sphagnum* en høy kationbyttekapasitet, noe som gir torvmosene et svært effektivt opptak av næringsstoff. Eventuelle konkurrenter får dermed vanskeligheter med å etablere seg, og holdes eventuelt nede (van Bremen, 1995). Sammen fremmer disse faktorene videre dannelse av torv, og holder lys- og næringskonkurrenter borte (van Bremen, 1995).

Av begrensende faktorer for nedbrytning i ombrotrof myr kan lav næringstilførsel og sterkt binding av kation til humusmateriale nevnes (Gogo and Pearce, 2009). Forsøk med en sterk kationebytter, blyklorid (PbCl₂), ble gjennomført for å løse ut kationer bundet til humus. Dette gav økt konsentrasjon løste kation som trengs av metanogene mikroorganismer, særlig nikkel (Ni²⁺), jern (Fe²⁺) og natrium

(Na⁺). Metandannelse ble målt ved ulike nedbrytningsforhold, og viste økt metandannelse i øvre torvlag, men ingen økning av metandannelse i torv fra dypere lag (Gogo and Pearce, 2009). Dette skyldtes trolig at nedbrytningsprosesser her har pågått så lenge at det som var av lettere tilgjengelig karbon alt er brukt opp i de dypere lagene (Gogo and Pearce, 2009). Dette forsøket viste i tillegg at substratkvalitet også er en viktig faktor i nedbryting av torv.

Oftest blir temperatur, luft- og mineraltilgang og C:N-ratio sett på som bestemmende faktor for omdanningshastighet, men forsøk viser at substratkvaliteten er vel så viktig (Updegraff et al., 1995). Prøver med ulik substratkvalitet har, under 80 ukers inkubering, vist at substratkvaliteten hadde avgjørende betydning for mineralisering av nitrogen, CO₂ og dannelse av metan. Substratkvaliteten spiller stor rolle nesten uansett hvilke andre forhold som dominerer. Selv ved prøver tatt fra ulike dyp, inkubert under ulike temperaturer (15 og 30 grader) og med og uten tilgang til luft, var substratkvaliteten avgjørende. Det samme gjaldt for forskjellige myrtyper, slik at forsøk på å beregne og modellere C-utslipp fra myr og våtmark må ta høyde for store lokale variasjoner og krever stort datagrunnlag for å kunne hevde representativitet (Updegraff et al., 1995).

Normalt vil substratkvalitet gå fra en lavere kvalitet i ombrotrofe system, mot høyere kvalitet i minerotrofe system, noe som henger sammen med næringstilgangen og den botaniske sammensetningen som danner grunnlaget for torvdannelsen. Det er svært få karplanter som trives på ombrotrofe myrsystem, ca. 25 arter, selv om furu kan danne tresjikt, og lyngarter (*Vaccinium*) og dvergbjørk (*Betula nana*) kan vokse på tuer hvor bunnsjiktet ellers består av *Sphagnum*-arter (Fremstad, 1997). Minerotrofe myrer danner torv av en annen kvalitet, da plantevekst i disse systemene ikke er like *Sphagnum*-dominerte. Over en gradient fra ombrotrof myr mot rikmyr får vi stadig større innslag av gress- (*Poaceae*) og starrarter (*Carex*), vier (*Salix*) og noe urter, samtidig som *Sphagnum* som dominerende art i bunnsjiktet vil erstattes av andre mosearter (Fremstad, 1997). Tre og buskarter går også mot stadig mer kravstore arter som gran (*Picea abies*), bjørk (*Betula pubescens*) og vierarter (Fremstad, 1997). Selv om *Sphagnum*-arter fremdeles vil dominere bunnsjiktet i en del minerotrofe myrer, vil gress og starrarter og andre karplanter tilføre torva betydelige mengder organisk materiale gjennom røtter og bladverk når de dør. Mens plantene lever skiller de også ut roteksudater som bidrar med en lettere nedbrytbar karbonkilde slik at metanproduksjon i rotsonen øker (Whiting and Chanton, 1993). Forsøk hvor kationebyttekapasitet (CEC) er sammenlignet med mikrobiell aktivitet ved ulike karbonsubstrattypene viser at det gjerne er karbonsubstratet som er begrensende faktor for nedbryting, og ikke bare anoksiske forhold. Karbonsubstratet vil endres med artssammensetningen, slik at en økning i vaskulære planter med mer eller mindre dype rotsystem som strekker seg ned i torva over tid vil kunne tilføre betydelige mengder lettere nedbrytbart organisk materiale (Gogo and Pearce, 2009). Dette vil kunne danne grunnlag for en større levende

mikrobiell biomasse, slik at konsumering av mer utilgjengelig karbon også forekommer i økt grad. Denne prosessen skjer også i mineraljord, og er godt studert gjennom forsøk der den stabile fraksjonen av organisk materiale i mineraljord i større grad brytes ned når ferskt og lettere nedbrytbart karbon tilsettes (Gogo and Pearce, 2009)

Myr som karbonlager

I følge Svenska Miljöinstitutet og målingene for svenske myrer de støtter seg til, vil myrområder som står urørte som sagt tidligere ta opp ett sted mellom 62-96 g CO₂/m²/år eller 0,62-0,96 Mg CO₂/ha/år (Uppenberg et al., 2001). Utslipp av klimagasser fra myrområder forekommer hovedsakelig som metan og CO₂, og svært lite som N₂O. Metanutslippene skyldes anoksiske forhold, mens utslipp av CO₂ vil forekomme i både i forbindelse med aerob nedbrytning og litt også ved meatnogenese. Aerob nedbryting forekommer enten i toppsjikt (acrotelm sone) eller i forbindelse med drenering eller ved uttak av torv. Hvorvidt ombrotrof myr er netto utslippskilde eller står for ett netto opptak av CO₂, er usikkert.

Tradisjonelt har det vært antatt at drenering av myr i forbindelse med skogreising bidrar til et økt CO₂-utslipp som følge oksidering av tørrlagt torv (Minkinen and Laine, 1998). I en sammenligningsstudie utført av Minkinen og Laine (1998) ble målinger utført både før drenering og 60 år etter drenering. Målingene gav endring i myrtykkelse, mens tetthetsmålinger foretatt 60 år etter drenering dannet grunnlaget for en regresjonsmodell som beregnet myrtetthet før drenering. Tettheten hadde økt med 25 +/-15 kgC pr. m³ etter drenering, mens karbonlagrene hadde økt med 5,9 +/- 14,4 kg pr. m². Konklusjonen ble at da mesteparten av tykkelsesendringene skyldes sammensynkning, og ikke nedbrytning og tap til atmosfæren gjennom CO₂.

Totalt er det estimert at det ligger ca. 4155 millioner tonn karbon i Norge fordelt på naturtypene jordbruk (0,2 mrd tonn), skog (2 mrd tonn), myr (0,95 mrd tonn) og åpen fastmark (1 mrd tonn), alle medberegnet vegetasjon (Grønlund, 2010). I Norge antas det at mellom 18 800 km² (Statens Kartverk, 2010) og 21 700 km² er dekket av myr, noe som utgjør ca. 6 % av Norges areal (Grønlund, 2010). Dette gir et estimert gjennomsnittlig karbonlager på mellom 43-51 kg C/m², eller 43-51 tonn C/km² for Norge.

De beste dataene om myrdybder finnes fra areal kartlagt i økonomisk kartverk. Ikke alt areal i Norge er kartlagt i økonomisk kartverk, men opp mot 14 385 km² myr er så langt registrert her. Det dreier seg i hovedsak om areal under tregrensen, og det er disse arealdataene som danner grunnlaget for

karbonlagerestimatene med tanke på gjennomsnittlige myrdybder. Dette gir at 4415-7315 km² muligens er overestimert i dyp og karbonlager, da myr ofte er grunnere i fjellområdene. Det er så langt ikke mye detaljert data på hvor mye karbon som ligger lagret i våtmark og myr i Norge.

Karlshaugen naturreservat har siden opprettelsen i 1922 hatt som mål å fremskaffe et urskogpreget område, og skal i tillegg også fungere som et naturvitenskapelig dokument over et områdes naturlige utvikling (Braathe, 1980). Naturreservatet omfavner 150,45 daa med variert landskap bestående av skog, myr med og uten vannspeil, bart fjell, bekk og terreng med ulike helninger. Skogen her var hogstmoden lenge før fredning, og har utviklet seg i naturlig retning uten inngrep fra skogbruket. Gamle drenggrøfter er allikevel synlige, sannsynligvis fra 1913. Det ble i 1930 satt opp et fast rutenett på 30 meter x 30 meter over hele feltet med tanke på ulike botaniske undersøkelser. Innen hver av de 30x30m er det sør-øst for hvert hjørne ett permanent 5x10m og 1x1m felt for henholdsvis tredynamikk og vegetasjonsanalyser. Dette har muliggjort en presis vurdering av endringer i den botaniske artssammensetningen, med vegetasjonsanalyser utført i 1931, 1961 og 1991 (Nygaard and Odegaard, 1999). Mineraljordprøver ble også tatt i 1991. Alt dette setter Karlshaugen naturreservat i en verdifull særstilling med tanke på naturlig utvikling av en naturtype, særlig på grunn av at det er svært få områder som har vært under vern så lenge.

Området Karlshaugen naturreservat egner seg til studier av myrutvikling over tid, og kan brukes som et bilde på hvordan myr vil utvikle seg i naturområder som får stå i fred. Vegetasjonskartleggingene fra tidligere undersøkelser ved naturreservatet forteller om artssammensetninger og botanisk utvikling, men hovedsakelig med fokus på skogproduksjon. Områdene kan tenkes brukt i forbindelse med gjengroing av myrområder med vannspeil.

Mål og hypotese for oppgaven

Hovedmålet med oppgaven er å gjøre rede for karbonlagrene i myrene i Karlshaugen naturreservat anno 2010 og, ved hjelp av kart, ortofoto (fra 2008) og GIS-verktøy, vurdere om ikke-bevokst myr har avtatt i perioden 1930 – 2010.

Hypotesen er at vi vil kunne se vegetasjonsendringer og gjengroing innover på myrområdene. Hvordan vil dette virke inn på området karbonlagringsevne? For å få rede på karbonlagringsevne og eventuelle forskjeller vil jeg forsøke å sammenligne karbonlagrene til "typisk myr" mot myr som i dag er tilvokst med trær for å se hvordan situasjonen kan komme til å bli i fremtiden om skog skulle overta myrrealene. I skogbruk har det vært vanlig praksis å drenere myrområder i etableringsfasen av et nytt plantefelt da tørrere forhold er viktig for overlevelse av yngre planter. Ut ifra sammenligningene over vil jeg også forsøke å vurdere om denne praksisen har positiv eller negativ effekt på karbonlagring over et lengre tidsrom. For å få signifikante resultater kreves derimot et større datasett fra skogkledd myr, men for å demonstrere fremgangsmåten har jeg benyttet de dataene vi hadde til rådighet.

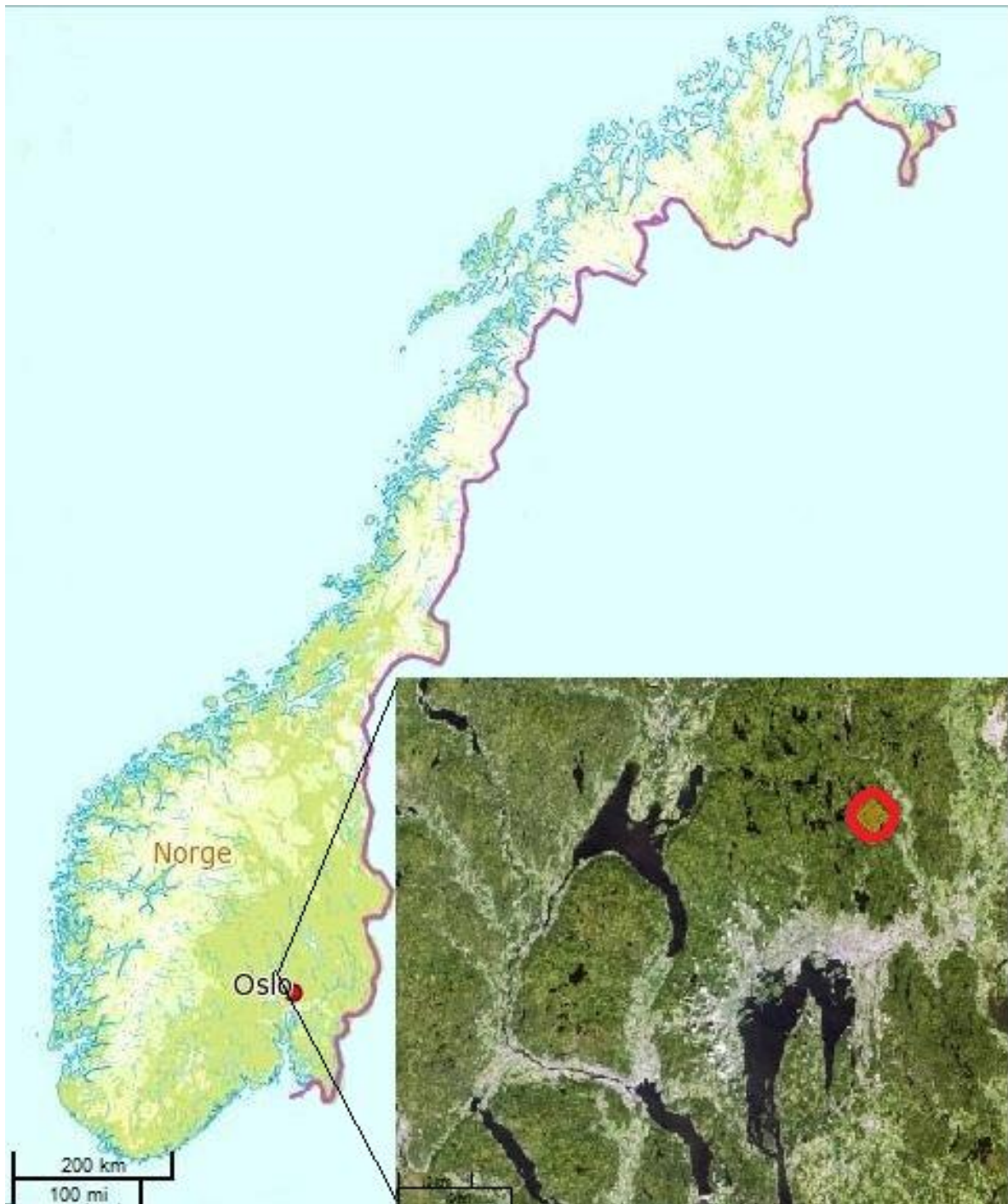
Områdebeskrivelse

Området beskrives i «Meddelelser fra Norsk institutt for skogforskning» nr. 36.1 (Braathe, 1980) som et område med preg av fjellskog på tross av at høyde over havet ikke er mer enn 420-450 moh. Karlshaugen naturreservat ligger i Nittedal kommune, vist i Figur 5. Plasseringen er værutsatt på en ås, lite skjermet fra vind og vær. Geologien i området består hovedsakelig av magmatiske bergarter typiske for Oslofeltet, med syenitt/kvartssyenitt i selve naturreservatet. Sedimentære bergarter og rombeporfyr finnes et par kilometer sør for reservatet, mens nordenfor dominerer syenitt og granitter, med noe innslag av sedimentære bergarter (NGU, 2011). Løsmassedekket beskrives som usammenhengende og tynt morenedekke (NGU, 1991). Området er svært næringsfattig, og jordsmonnet er surt. Dette vises i vegetasjonen som er svært skrinne. Gran vokser på de bedre lokalitetene i reservatet, mens furu vokser på de mer skrinne stedene. Arealet er delt inn i åtte ulike trebestand på til sammen 99 daa. I tillegg kommer områder definert som vann, myr og fjell med hhv. 5,3, 44 og 2,4 daa på hver av disse. Dette er vist i kartet over naturreservatet, Figur 6. De fire myrene i området er ombrotrofe, noe som går frem av den fattige myrvegetasjonen som hovedsakelig består av *Sphagnum*, og lave pH-målinger. Området ligger i boreal klimasone, og har temperaturer og nedbør typisk for disse områdene, vist i Tabell 1.

Tabell 1: Middeltemperatur og nedbør for helår og perioden mai-august for tre målestasjoner med to klimanormaler fra 1930 - 1990, samt de siste tjue årene. Data hentet fra eKlima.no (eKlima, 2011)

	1930-1960	1961-1990	1991-2010	1930-1960	1961-1990	1991-2010
Sted	Middel °C	Middel °C	Middel °C	mm/år	mm/år	mm/år
Gardermoen	4,3 °C	3,8 °C	5,0 °C	825 mm	862 mm	851 mm
Blindern	5,9 °C	5,7 °C	6,7 °C	740 mm	763 mm	800 mm
Tryvasshøgda	3,7 °C	3,4 °C	4,5 °C	1002 mm	1200 mm	--
	<u>Mai-aug</u>	<u>Mai-aug</u>	<u>Mai-aug</u>	<u>Mai-aug</u>	<u>Mai-aug</u>	<u>Mai-aug</u>
Gardermoen	13,4 °C	13,2 °C	13,9 °C	319 mm	303 mm	78,6 mm
Blindern	14,7 °C	14,4 °C	15,1 °C	295 mm	288 mm	72,2 mm
Tryvasshøgda	11,8 °C	11,1 °C	12,0 °C	393 mm	417 mm	--

Nedbør og temperaturer over to klimanormaler hentet fra eKlima (eKlima, 2011) viser en litt lavere temperatur i den siste klimanormalen for tre målestasjoner aktuelle for Karlshaugen: Gardermoen 202 moh., Oslo – Blindern 94 moh., og Tryvasshøgda 514 moh. Disse gir sammen et godt bilde av temperaturer og klimaet her oppe. Vi har to normalperioder å forholde oss til, og i tillegg nesten tjue år av det som vil danne neste normalperiode for 1991-2020. Temperatur og nedbør for Karlshaugen vil kanskje ligne mest på Tryvasshøgdas målestasjon på grunn av den ganske like høyden over havet. Fra normalperioden 1930-1960 til 1961-1990 ser vi av Tabell 1 en noe lavere middeltemperatur for de tre målestasjonene, men ikke mer enn $-0,5^{\circ}\text{C}$ ved Gardermoen, $-0,2^{\circ}\text{C}$ ved Blindern og $-0,3^{\circ}\text{C}$ ved Tryvasshøgda. Middelnedbøren økte generelt denne perioden, med hhv. +37, +23+og +198 mm for de tre stasjonene. Middeltemperatur for vekstsesongen mai-august viser noe av det samme, med litt lavere temperaturer mellom de to normalperiodene. Nedbøren i vekstsesongen viser en liten reduksjon. Av temperatur og nedbør registrert for perioden 1991-2010 ser vi ut til å få et noe varmere klima. Det har så langt falt i gjennomsnitt 11 mm mindre nedbør ved Gardermoen, mens nedbørsmengden har økt med 37 mm ved Blindern. Temperaturmålingene ved Tryvasshøgda er bare fullstendig for 12 år, mens nedbørsmålingene kun har fire fulle registreringer. Nedbør for denne målestasjonen er derfor utelatt.



Figur 5: Oversiktskart over Norge med stedsangivelse for Karlshaugen naturreservat i forstørret rute. (Statens Kartverk, 2011).

Resultater for myrundersøkelser ved Karlshaug naturreservat.

Detaljstudie av utvalgt myr

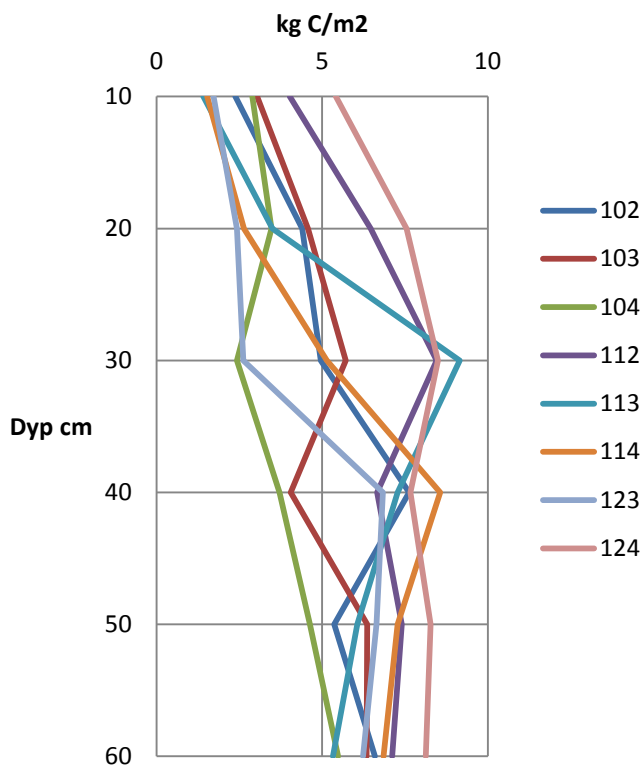
Myra ble klassifisert etter det kanadiske jordklassifiseringssystemet på bakgrunn av de 60-90 cm dype jordprofilene som ble tatt på myra (ACECSS, 1987). Det ble gjort von Post-vurdering av profilene, med hovedvekt på de dypeste delene fra 50 cm. Fibrisols, mesisols og humisols gir vanligvis von Post-verdier på henholdsvis 1-4, 5-6 og 7 eller høyere. Basert på disse vurderingene klassifiseres prøvene fra denne myra hovedsakelig til rundt mesisols, der mesisols er myrjord som i hovedsak har middels omdannet i dybden 40-120 cm (von post 5-6) (ACECSS, 1987). Klassifiseringssystemet krever egentlig opplysninger om omdanningsgraden ned til 120-160 cm. Jeg har opplysninger maksimalt ned til 80-90 cm, men antar at omdanningsgraden lenger ned sammenfaller med det som er i de dypeste delene av prøvene. Resultatene her er basert på prøvene fra de åtte punktene på myra i midten av naturreservatet som ble prøvetatt og analysert.

Punktene for myra i midten av reservatet vises i Figur 1. Myrprøvene tatt ved kantsonepunktene 104 og 112 er noe forskjellige fra resten av resultatene da materialet ser ut til å være mer omdannet enn andre punkt, se Tabell 2. Jordprofilet tatt ved punkt 124 som også er tatt i kantsonen skiller seg derimot ikke ut. De minst omdannede prøvene er hentet fra punkt 123 og 113, med 123 som havner i en annen hovedgruppe, fibrisol som tilsier en lavere omdanning. Prøven hentet fra punkt 113 beskrives som en "fibric mesisol", og ligger på grensen til å kunne kalles en fibrisol.

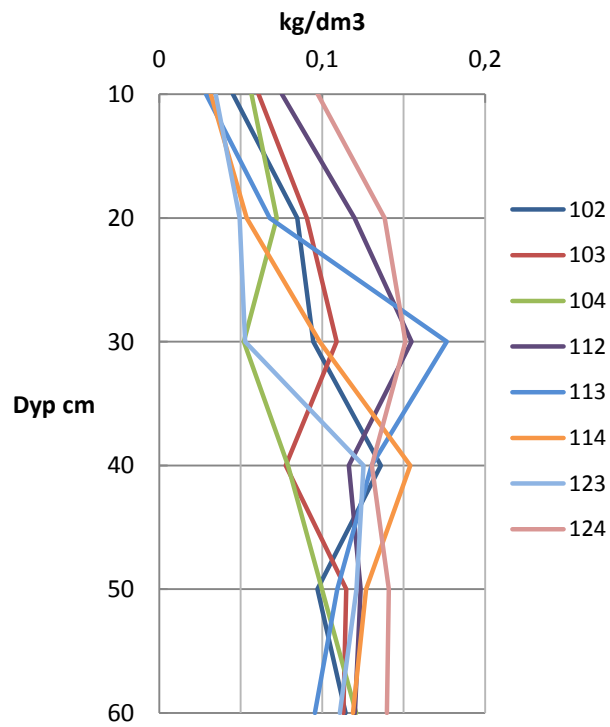
Tabell 2: von Post-vurdering for hver 10 cm tilhørende hvert jordprofil, og klassifisering av myra bestemt ut fra von Post.

Punkt nr.	von Post	Organic order, great group	Organic order, sub-group
102	2-4-3-3-3-4-6-5-5	Mesisol	Typic mesisol
103	2-4-3-4-5-5-4-5	Mesisol	Typic mesisol
104	2-2-3-4-5-7-8	Humisol	Terric mesic humisol
112	3-4-3-4-6-6-7-8	Mesisol	Humic mesisol
113	1-2-5-3-3-4-5-4	Mesisol	Firbric mesisol
114	2-2-3-4-5-5-6-5	Mesisol	Typic mesisol
123	2-3-3-4-3-3-3-5-5	Fibrisol	Mesic fibrisol
124	3-3-3-4-5-5-5-5	Mesisol	Typic mesisol

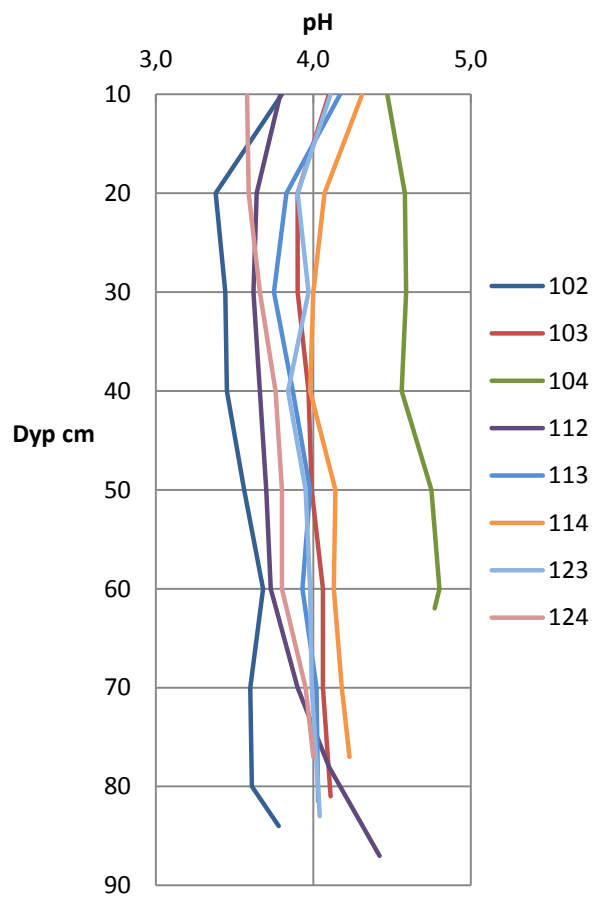
Figur 7 viser hvordan C i jorda fordeler seg pr. m² beregnet for profilene ned til 60 cm, mens Figur 8 viser tetthetsutviklingen i dypet til samme dyp. Det ser fra figuren ut til at kg C/m² og tetthet henger sammen. Godt omdannet myr har høyere tetthet enn myr som er mindre preget av omdanning. Det ser ut som om det er en generell trend at omdanningsgrad øker nedover i profilet. Felles for de fleste punktene er at den laveste tettheten observeres i toppsjiktet. Dette sjiktet består hovedsakelig av lite omdannet eller levende torvmose og/eller gress med røtter. For de fleste profilene nås den høyeste tetthet og kg C/m² ved 30-40 cm. Etter dette synker verdiene noe før de ser ut til å stabilisere seg i området 5-8 kg C pr. m². Av de tre prøvene i kantsonen er det nå profilene tatt ved punkt 112 og 124 som skiller seg mest ut med høyere tetthet enn de andre, særlig i toppsjiktet. Profilet ved punkt 104 ser derimot ut til å være blant punktene med lavest tetthet. Om man ser på pH for de ulike punktene i Figur 9 under, ser man at alle viser det samme mønsteret med unntak av prøvene fra punkt 104. Selv om pH generelt er lav i alle prøvene, er det en trend til noe høyere pH i toppsjiktet, med påfølgende liten nedgang ved 20 cm. Herfra og ned er det stabilt før vi ser en liten økning mot bunn av prøven. Bare punkt 112 varierer med mer enn 0,5 pH-enheter; pH 3,64 ved 20 cm og pH 4,42 ved bunn. Målinger av pH ved punkt 104 skiller seg noe ut med en litt høyere pH enn de andre punktene.



Figur 7: Hvert profils utvikling i C-innhold pr m² ned til 60 cm dyp. Beregnet for hver 10 cm.



Figur 8: Hvert profils tetthetsutvikling i dypet ned til 60 cm dyp. Beregnet for hver 10 cm.

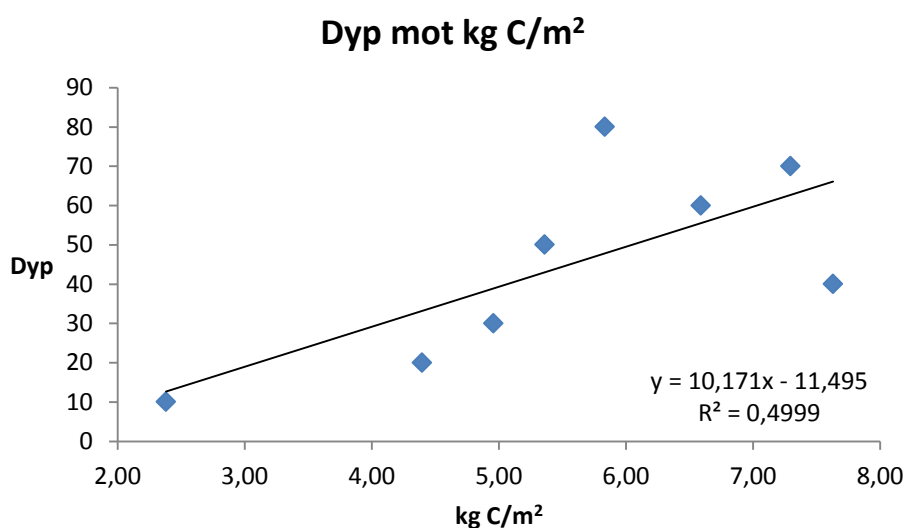


Figur 9: Hvert profils utvikling av pH ned til full dybde. Beregnet for hver 10 cm.

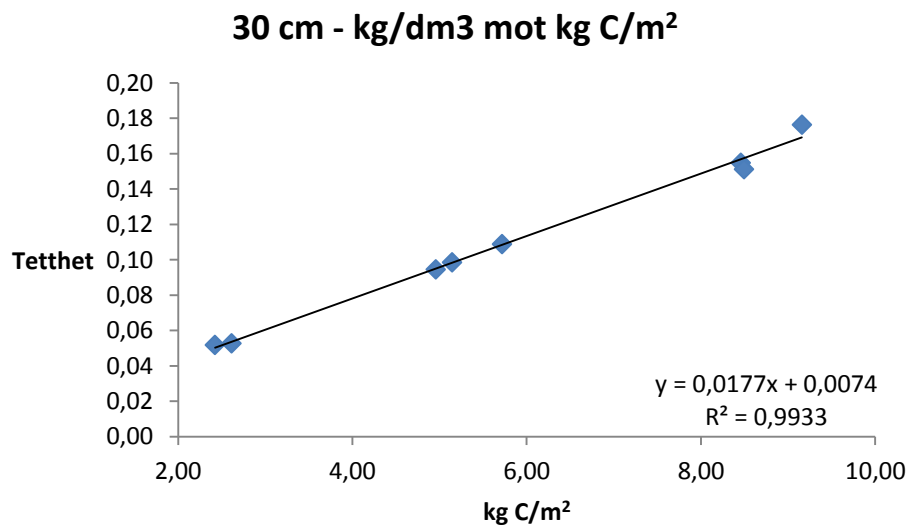
Karbonlagrene er en funksjon av tetthet, C % og tykkelse. En korrelasjonsundersøkelse ble utført for å se hvilken faktor som har størst innflytelse på karbonlagrene, og om karbonlagrene endres med dyp, Figur 10. Vi ser tendenser til at karbonlagrene øker mot dypet, noe som ikke er helt ulogisk, da tettheten også vil øke med dypet. Ut fra Pearssons korrelasjonsanalyse ser man at man får best korrelasjon mellom tetthet og karbonlager, selv om C % mot tetthet også gir høy korrelasjon. Tetthet mot karbonlager ligger hovedsakelig på en r^2 -verdi over 0,99, men er ved 60 og 80 cm nede i 0,809 og 0,951, og er ikke signifikant for 70 cm, se vedlegg 4. Disse lavere r^2 -verdiene kommer av «rare» verdier i datasettet, men det er ikke kjørt videre analyser for å se om disse kan regnes som statistiske utliggere og dermed fjernes. Prosent karbon mot kg C/m^2 har r^2 -verdier mellom 0,803 og 0,965. Typiske korrelasjoner for kg C/m^2 mot tetthet og kg C/m^2 mot C % er vist i Figur 11 og Figur 12, her vist for 30 cm dyp. Tabell 3 viser resultatet for ved hvilke dyp vi har signifikant korrelasjon mellom kg C/m^2 mot tetthet, og kg C/m^2 mot C %.

Tabell 3: Resultatet av en korrelasjonsmatrise. Korrelasjon mellom kg C/m^2 mot tetthet og kg C/m^2 mot % C. Signifikans vises ved +/- for positiv og negativ korrelasjon. 0 indikerer ingen signifikans, $P > 0,05$.

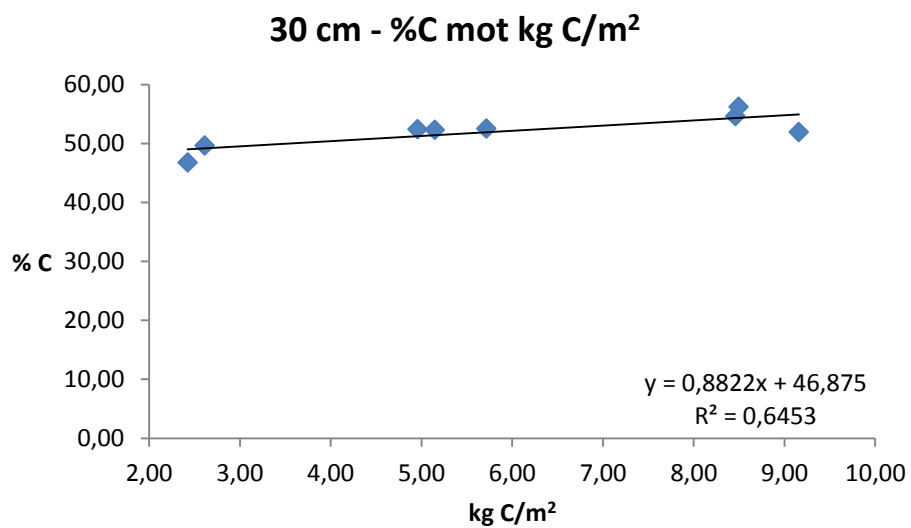
Dyp	Kg C/m ²							
	10 cm	20 cm	30 cm	40 cm	50 cm	60 cm	70 cm	80 cm
Tetthet	+	+	+	+	+	+	0	+
% C	+	+	+	+	+	0	+	0



Figur 10: Dybde plottet mot kg C/m^2 .

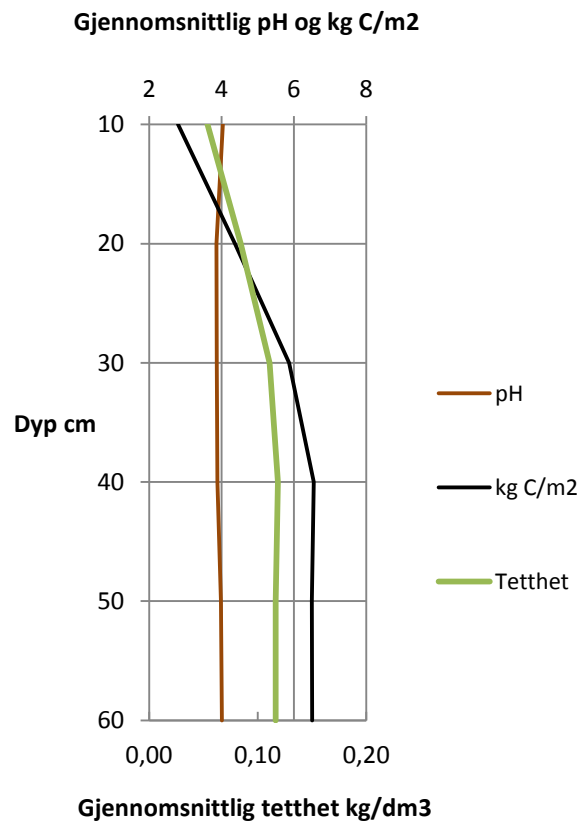


Figur 11: Tetthet plottet mot karbonlager for prøvene ved 30 cm dyp.

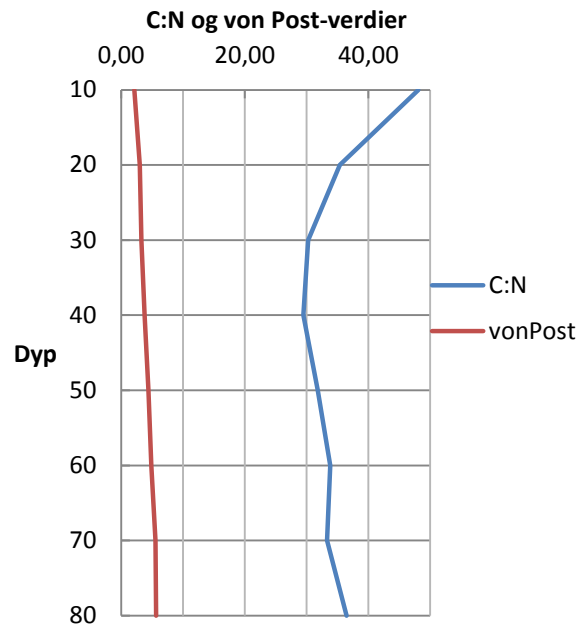


Figur 12: Prosent C plottet mot karbonlager for prøvene ved 50 cm dyp.

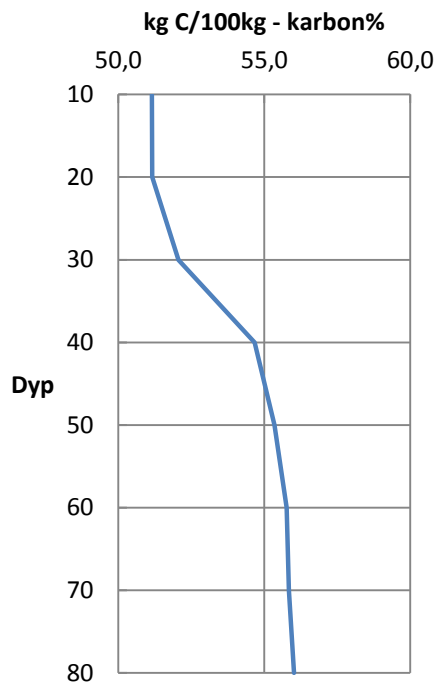
Gjennomsnittsverdier for pH, karboninnhold og tetthet ned til 60 cm vises i Figur 13. Figur 14 viser gjennomsnittlig C:N-forhold og von Post-utvikling i dypet, mens Figur 15 viser gjennomsnittlig endring i karbonprosent. Ved gjennomsnittsmåling av pH er det ikke tatt hensyn til at pH-skalaen er logaritmisk, men siden pH-verdiene ikke strekker seg over særlig mer enn én pH-enhet, vil dette ha liten innvirkning på gjennomsnittet.



Figur 13: Gjennomsnittsverdier for pH og kgC/m² på den øvre x-akse, og tetthet på den nedre.

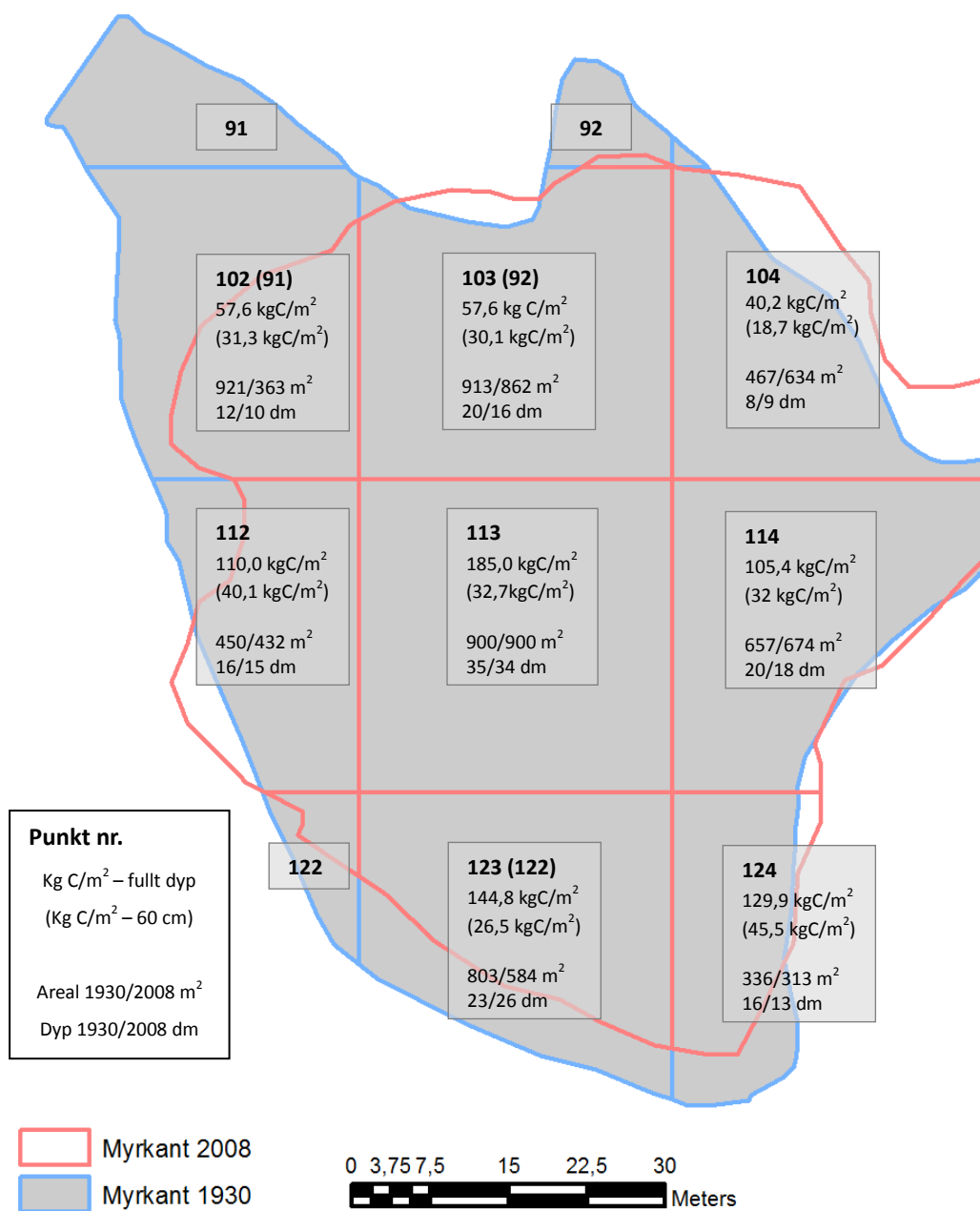


Figur 14: Gjennomsnittlige C:N-forhold og von Post-verdier



Figur 15: Gjennomsnittlig karbonprosent for myrprofilene ved hvert dyp.

Figur 16 viser kg C/m² som lagres i myra ned til full dybde og ned til 60 cm for hver av de aktuelle punktene. For områdene uten prøvetatte punkt i nord og sør-vest ble tilstøtende punkt med mest sannsynlig lik verdi benyttet i beregningen. For å komme frem til et anslag på endring i karbonlager i myra ble analyseresultatene for mengde karbon per m² benyttet på areal og dyp fra 1930 og 2010. Arealendringene vises visuelt i Figur 16, med totale resultater for hvert punkt og samlet areal i Tabell 4. Siden arealvurderinger for 2008-kartet er gjort basert på vegetasjon, er det vi ser en endring i karbon lagret i ren myr. Den største endringen ser vi i nord og sør-øst, hvor myra preges av gjengroing, særlig feltet i nord-vest. Østsiden, ved punkt 104, ser ikke ut til å bli mer gjengrodd, men ser derimot ut til å ha en økning i trefritt areal.



Figur 16: Karbonlagre pr. m², arealendring og dybdeendringer for areal tilhørende de åtte prøvetatte punktene.

Tabell 4: Beregnet C-innhold for myra fra 1930 til 2008, dybde- og arealendringer fra 1930 til 2008/2010 ut fra de åtte prøvetatte punktene.

Punkt nr.	Areal 1930 – m2	Areal 2008 – m2	Endring m2	Dyp 1930, dm	Dyp 2010, dm	Endring, dm	Karbonmengde kg C - 1930	Karbonmengde kg C - 2008	Endring, kg C
102 (+91)	921,3	362,9	-558,4	12	10	-2	6 5 193	20 903	- 44 29 0
103 (+92)	912,8	862,8	-50,5	20	16	-4	100 712	75 227	- 2 5 48 5
104 (+93)	467,0	633,7	166,7	8	9	+1	16 123	25 461	93 38
112	449,8	432,1	-17,7	16	15	-1	52 918	47 519	- 5 399
113	900,0	900,0	0,0	35	34	-1	171 3 92	166 500	- 4 892
114	656,7	673,8	17,1	20	18	-2	77 28 5	70 928	- 6 3 57
123 (+122)	803,3	583,7	-219,6	23	26	+3	102 007	84 522	- 17 48 5
124	335,7	312,6	-23,1	16	13	-3	55 220	40 59 5	- 14 62 5
Sum:	5446,55	4761,03	-6 85,52	Avg. 18,75	Avg. 17,625	Avg. 1,125	6 40851	531656	-109195

Samlet resultat for Karlshaugen naturreservats myrer

I forbindelse med utarbeiding av mulige endringer i karbonlagre for myrene i Karlshaugen er det interessant å se på dybde og utstrekning til alle myrområdene fra 1930 og sammenligne med dagens tall. Fra Tabell 5 ser vi at det er en del variasjon i dybde ved noen punkt, men om myrdybden øker eller avtar varierer fra punkt til punkt. Åtte av punktene viser økt myrdybde, åtte andre viser redusert myrdybde, mens tre av punktene viser ingen endring. Gjennomsnittsdybden for begge målingene er 12 dm.

Tabell 5: Dybdemål utført ved myrpunkt i 1930 og 2010.

Punkt nummer	1930 myrdybde, dm	2010 myrdybde, dm
102	12	10
103	20	16
104	8	9
105	6	7
106	6	11
112	16	15
113	35	34
114	20	18
116	6	5
117	5	6
123	23	26
124	16	13
127	2	2
131	7	8
132	4	4
142	4	4
143	9	10
144	8	5
150	20	25
Gjennomsnitt	12	12

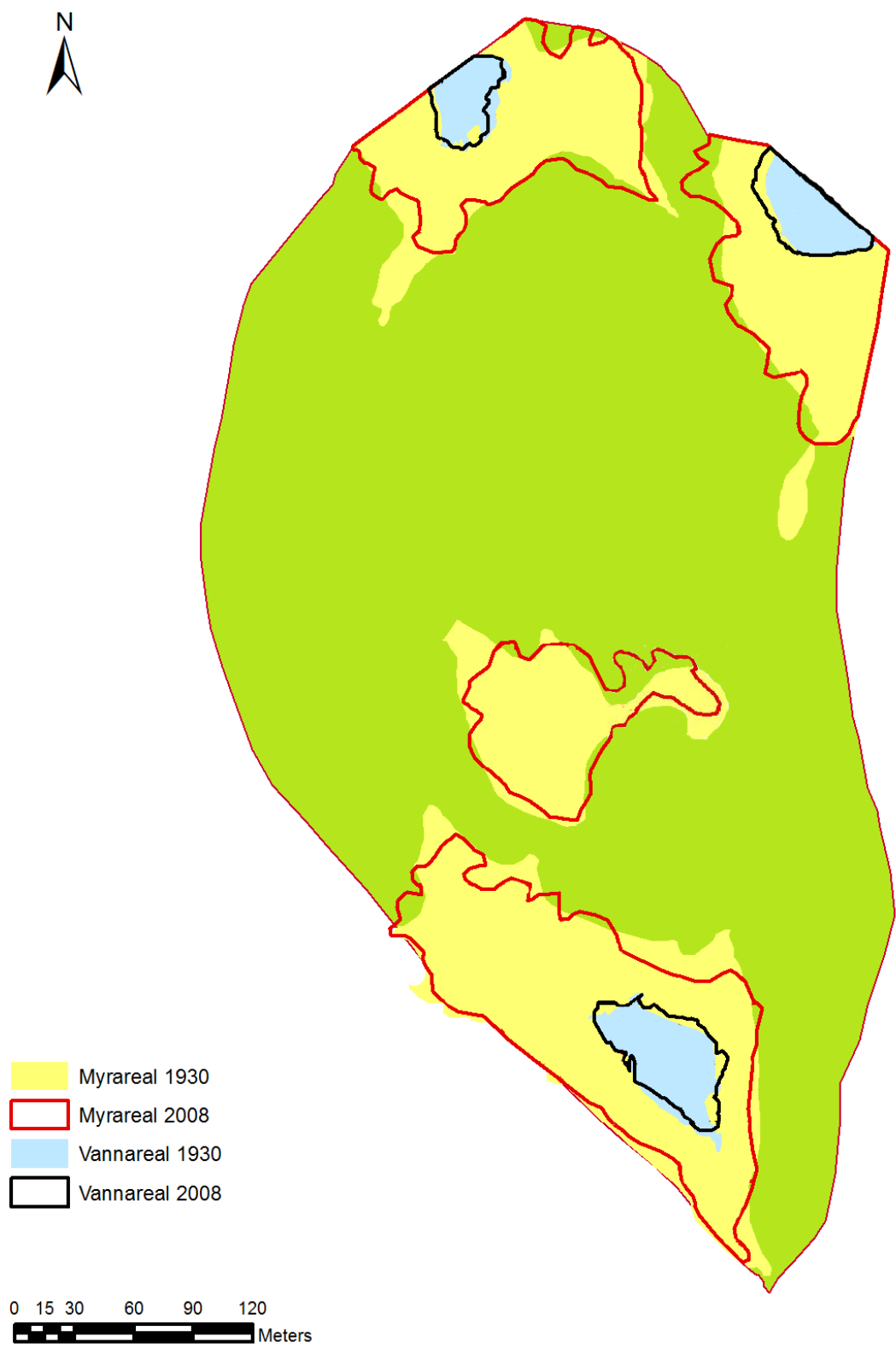
Generelt ser det ut til at vi har et tap av myrareal til skogkledd myr, mens vestre myra øker myrarealet noe. Vannareal ser ut til å ha gått noe opp for Østre og Søndre Karlshaugputt. Sommert areal og karbonlagre ved de ulike myrene vises i Tabell 6. Merk at for den midtre myra er nå hele arealet tatt med, i motsetning til beregningene i Tabell 4 hvor bare arealet tilhørende punktene 102(+91), 103(+92), 104(+93), 112, 113, 114, 123(+122) og 124 er med. Tabell 7 viser også karbonlagrene ved de ulike myrene, men her kun ned til dybder på 60 og 100 cm. Figur 17 illustrerer endring i areal på forenklet kart over Karlshaugen naturreservat. I prosent har vi en nedgang i karbonlagre på 2,48 %, mens det totale myrarealet ser ut til å ha gått tilbake med 8,4 %. Vannareal ser ut til å ha økt med 5,4 %. Midtre og søndre myr gjennomgår den største prosentvise endring i areal, med tap på hhv. 10,5 og 15,4 %.

Tabell 6: Totale areal og karbonlagringsendringer 1930-2008.

	1930	1930	1930	2008	2008	2008	Endring	Endring	Endring
Myr	Myr m ²	Vann m ²	kg C	Myr m ²	Vann m ²	Kg C	Myr m ²	Vann m ²	kg C
Østre	7283	1450	906232	7052	1706	910942	-231	+256	+4710
Vestre	9142	1182	792826	9260	1139	988615	+118	-43	+197589
Midtre	6450	0	676729	5774	0	614264	-676	0	-62465
Søndre	16154	2327	2411466	13660	2432	2154287	-2494	+105	-257179
SUM	39029	4959	4787253	35746	5277	4668107	-3283	+318	-117345

Tabell 7: Karbon lagret i myrene ned til 60 og 100 cm dyp, basert på 2008-areal. Prøver kortere enn 60 og 100 cm er regnet til sitt fulle dyp

Myr	Kg C/m ² - 60 cm	Kg C/m ² - 100 cm
Østre	25565	40686
Vestre	13115	22560
Midtre	11362	20901
Søndre	8158	13284



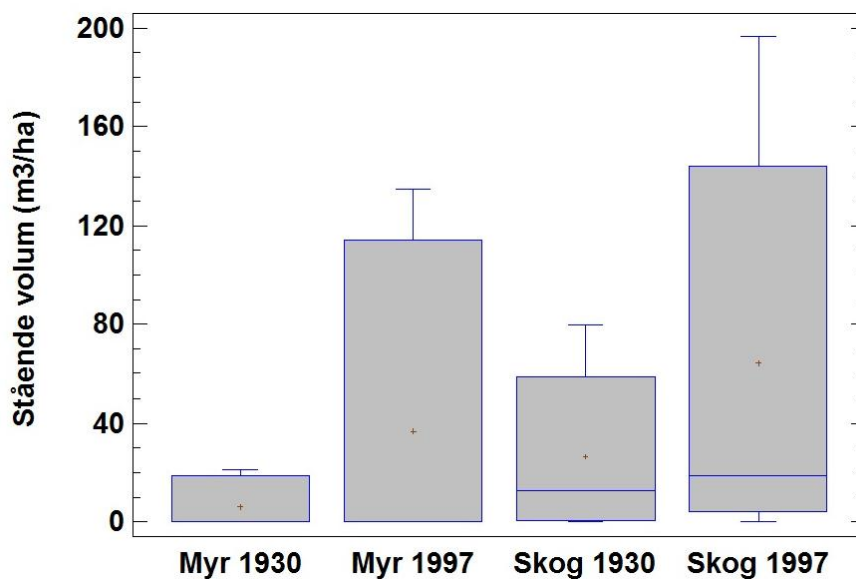
Figur 17: Endring myrareal 1930 - 2008 for hele Karlshaugen naturreservat vist ved 1 av 5 overlays i GIS ved bruk av ortofotoet fra 2008

For å finne eventuelle forskjeller i karbonlagringsevne ved overgang fra myr til skogkledt myr ble det forsøkt å sammenligne representative områder for disse to arealtypene ved bruk av "Uparet to-utvalgs T-test". Det fantes ingen signifikant forskjell i karbonlagre mellom ren myr (5 prøvepunkt) og skogkledt myr (6 prøvepunkt) ved dyp på 30 cm. Datasettet vises i Tabell 8.

Tabell 8: Datasett brukt i sammenligning av karbonlagre mellom myr og skogkledt myr.

Punkt	Kg C/m ²	Punkt	Kg C/m ²
Myr	30 cm	Skogkledt myr	30 cm
41	24,54	87	18,79
53	21,11	88	15,07
102	17,27	110	31,42
113	9,81	120	25,62
123	16,35	129	19,78
		138	10,52
Gj. Snitt:	17,82		20,20
Std. Dev:	5,54		6,80

Figur 18 viser endring i stående tre-volum fra 1930 til 1997, og viser heller ingen signifikant forskjell på stående volum mellom myr og skogkledt myr innen samme år. Tilveksten mellom 1930 og 1997 skyldes sannsynligvis enkelttrær som har komt til i vegetasjonsrutene.



Figur 18: Viser endring i stående volum for myr og skogkledt myr fra 1930 til 1997. Rødt punkt indikerer middel, mens median er markert ved horisontal linje (helt i bunn for myr).

Diskusjon

Areal- og karbonlagerendringer

Bunnvegetasjonsanalysene i smårutene som ble kartlagt i 1931 og igjen i 1962/63 indikerte at vegetasjonen generelt var stabil, men at det var tegn til gjengroing av myrene hvor man så større innslag av røsslyng og videre suksisjon mot blåbærskogsamfunn (Braathe, 1980). Vi ser tegn til det samme når vi sammenligner kart fra 1930 og 2008, der det ser ut til at kantsonen kryper inn på myra. Smale utstikkere ser særlig ut til å ha skiftet vegetasjonstype (Figur 17). Det ble også forsøkt å få en mer trinnsvis oversikt over gjengroing, men da flyfotoene som var tilgjengelige for tidsrommet mellom 1930 og 2008 ikke var georefererte, ble variasjon i areal stor og resultatene lite hensiktsmessige å bruke videre. Ortofotoet fra 2008 er av god nok kvalitet til å skille større enkelttrær og små grupper av mindre trær fra annen vegetasjon. Myr er derfor skilt fra skogvokst myr og ikke-myr etter om området er bevokst med trær eller ikke, og farge. Dette antas å være en god indikator på hvorvidt myra er i endring mot en tørrere jordtype.

Utrekninger av Tabell 6 gir et karboninnhold for 2008 på 130,6 tonn C/ daa. Dette er mye, også sammenlignet med gjennomsnittlige estimater for myr i Norge som ligger på rundt 47,5 tonn C/daa. Grunnen til dette er at området Karlshaugen er gunstig for myrdannelse, da topografien og klimaet er gunstig med tanke på vannmetning, nedbør, temperaturer og nedbrytningsforhold i det næringsfattige og varierte landskapet.

Trær som indikator på tørrhet bekreftes av Moore og Bellamy (1976), hvor de refererer til studier av vannstand når det drøftes bruksområder for myr; (O' Hare, 1970) og (Haikurainen, 1967). Man fant ved grøfting av høymyr at grunnvannsstanden var 40 cm lavere under Sitkagranskog (*Picea sitchensis*) enn ved nærliggende gressmark (O' Hare, 1970). Denne forskjellen i vannivå på drenert myr foreslås å komme av at mye av nedbøren aldri rekker ned til bakken på grunn av trekronene, og at vannet fordampes før det når bakken og infiltreres. (Haikurainen, 1967). Dette kalles intersepsjon og er særlig gjeldende om nedbøren kommer i byger, da vann fanges i trekronene og fordamper derfra. Ved langvarig nedbør vil nedbøren renne av trekronene, som raskt blir mettet med vann (Arnell, 2002). Skog som vokser nært myra vil også transpirere store mengder vann.

Et realistisk anslag for transpirasjon fra barskog kan være opp mot 200-400 mm av årlig total nedbør (Arnell, 2002), noe som er en ganske stor del av de rundt 1000 mm som årlig tilføres Karlshaugenområdet. Hvor stor transpirasjonen er vil avhenge av temperatur, vanntilgang og bestandstetthet. Summen av all evaporasjon og transpirasjon, evapotranspirasjon, er med og legger forholdene til

rette for videre gjengroing og suksesjon gjennom å bidra til tørrere jord, men det er en langsom prosess.

Kartgrunnlaget for 1930 var oppmåling og notering i felt, noe som muliggjør en mer presis vurdering av grenser for myr og omkringliggende terreng. På grunn av fargelikheter mellom myr og tørr grasmark er det mulig vi har en overestimering av myrareal noen steder. Tabell 6, som summerer opp areal og karbonlagre for myrene, viser at karbonlagring for den østre myra har gått opp på tross av at myrareal har sunket og vannarealet steget. Dette skyldes sannsynligvis at noe areal som tidligere ikke var definert som myr nå er definert som myr. Sannsynligvis er det gressmark som ligner på myrvegetasjon på ortofotoet som er feiltolket, og den store dybden for disse nye arealene gir større utslag på karbonlagrene enn det langt grunnere arealet i sør som ikke lenger defineres som myr (Figur 17). Denne feilkilden overskygges allikevel av den vestre myras store økning i karbonlagre.

Antagelsen om at der hvor vi har myr, rekker torva ned til målt myrdybde er en forenkling. Det er ikke realistisk, særlig for løsmymrområdene nærmest vannspeilet hvor man ofte har en uthuling under torvlaget, med torva flytende på toppen. Den store økningen i karbonlager her ved vestre myra kan skyldes at noe vannareal har grodd igjen. Fra Figur 17 ser det ut til at en gjengroing har skjedd på østsiden av tjernet. Her finner vi også det dypeste punktet til Karlshaugens myrer, 4,4 m, slik at denne lille arealøkningen får svært store konsekvenser for området totale karbonlager.

Vannarealenes økning kan skyldes hva som er definert som land og vann. I arealberegningene jeg har utført er ikke myr-øyene som flyter rundt regnet til å være land med mindre de er tydelig fastgrodd i landkanten, og uten antydning til å løsrive seg. Da det gjennom arealberegningene i GIS kan se ut til at myr-øyene som lå inntil kantene ble regnet til landareal ved måling i 1930, kan økning vannareal delvis tilskrives denne ulike målemetoden. Det har allikevel foregått en endring i tjernenes utforming og areal. Tilvekst og omfordeling av myr-øyer kan generelt se ut til å ha gjort ytterkantene i tjernene mer avrundet i form gjennom tetting av viker og løsrivelse av utstikkere. Søndre Karlshaugputt ser i tillegg ut til å bli noe bredere, mens vestre Karlshaugputt er noe mer gjengrodd, særlig i sørenden. På kartet fra 1930 ser det ut til at Vestre Karlshaugputt hadde åpent vannspeil ved utløpet i sørenden, mens dette nå ser ut til å være mer eller mindre gjengrodd. Østre Karlshaugputt ser ut til å ha økt i omkrets, og gjennomgått en liten omfordeling av myr-øyer, men holder stort sett fasongen.

For karbonlagringsestimaterne fra 40 cm og ned til bunn ved de tre myrene som ikke har gjennomgått detaljerte analyser og målinger, er gjennomsnittsverdien for 40-70 cm fra den midtre myra benyttet. Dette ble gjort fordi det ikke ble tatt ut prøver ved de fleste punktene rundt tjernene, og at prøvene her oftest var for grunne til å se en stabilisering slik at det var vanskelig å bestemme sannsynlig tetthet nedover. Antagelsen om at myrene i Karlshaugen naturreservat ligner på hverandre gir et

bedre anslag enn nasjonale gjennomsnittstall, siden myrene er dannet i samme klima og rundt samme topografi. Tettheten er nok i realiteten mye lavere nært de åpne vannspeilene, da det ikke var mulig å gå på deler av disse myrene mens man i den midtre myra kunne vi gå over hele uten å synke dypt. For utstikkeren nord-øst på den midtre myra er gjennomsnittsverdiene for tetthet og % C fra hele midtre myra benyttet i utregningene av C-lagre. Dette området ligger 3-5 meter høyere enn resten av myra, og det er ikke naturlig å sammenligne det bare med nærmeste prøvepunkt.

Dybdemålingene ble utført til nærmeste dm i både 1930 og 2010 rett over punktmerket. Det kunne være betydelige variasjoner ved målinger innen forholdsvis korte avstander fra punktmerket, men det er målingen rett over punktet som er brukt. Seks av åtte dybdemålinger ved myra viser en reduksjon i dyp på mer enn 1 dm, kun to punkter viser økning i myrdybde. Økningen ved punkt 123 fra 23 til 26 dm kan skyldes dybdevariasjon i området, da man her ikke fant fastmerket og i stedet var nødt til å måle seg inn med håndholdt GPS og kompass. For punktene hvor vi ikke har dybdemåling for 2010 er gammel dybde fra 1930 benyttet. Dette antas ikke å være helt galt, da vi ikke hadde noen endring i gjennomsnittlig myrdybde mellom punktene som er målt opp i både 1930 og 2010. For punktene som ligger i areal dekket av svært løs myr slik at prøvetaking og dybdemålinger ikke finnes, er dybden satt til å være lik det av de omkringliggende punkt som ligner mest. Da det ikke finnes andre jorddata fra 1930 utenom vegetasjonskartlegginger og dybdemålinger, ble resultater fra prøveanalysene for 2010 brukt i beregning av karbonmengde for både 1930 og 2010. Det antas derfor at endringer i myras egenskaper ikke har endret seg i større grad på de 80 årene det har gått mellom 1930-kartoppmåling og tidspunktet for prøvetaking.

Alt i alt er resultatet, med mindre karbon lagret i myr, som forventet med tanke på at arealet avtar som følge av gjengroing, og dermed også karbon lagret i myr. På tross av forenklinger og feilkilder i beregningene er resultatet atskillig bedre enn grove landsdekkende gjennomsnittsmålinger, og bidrar til en bedre beskrivelse av området. Den faktiske endring i karbonlager for området vil avhenge av hvordan karbonlagringsevnen endres når det kommer skog og annen vegetasjon til der hvor det før bare var myr.

Detaljstudiet av midtre myra

Detaljstudiet av myra i midten av reservatet ble utført fordi det er viktig å få et pålitelig resultat som er representativt for området med tanke på karbonlagring, samtidig som det også er av interesse å vite mest mulig om naturreservatet på grunn av dets vitenskapelige funksjon. Myrprøver av en viss dybde var viktig for å kunne få et godt nok grunnlag til å gjøre realistiske antagelser av myra.

Prøvene ved denne myra ble tatt ned til ett dyp på 80 cm eller så langt vi kom med myrboret, da kraftige røtter og mineralsjikt gjorde det for tungt å komme dypere. Det var lite tegn til kompresjon i prøvene som ble tatt opp unntatt i toppsjiktets 10 cm som besto av levende materiale. Dette kan skyldes at prøveboret hadde gode kniver og kun har tre vegger, noe som minsker friksjon og samtidig holder prøven på plass. Undersøkelsene viser at myra ikke er homogen over hele arealet. Flere faktorer spiller inn på dannelse og utvikling av myra, noe som vises av de ulike resultatene for prøver (tetthet, pH, glødetap osv.) tatt på forskjellige steder i myra. Spesielt godt ser man forskjeller i analyseresultatene for myr fra nærme kantene sett opp mot prøver tatt i mer åpent myrlandskap. Lengre ut på myra er omdanningsgraden lavere, og prøvene har lavere tetthet. Tetthet er, som vist i Figur 11, sterkt korrelert med mengde karbon lagret. Denne myra ble generelt klassifisert til å tilhøre den middels godt omdannede myrtypen mesisols. I Bioforsk-rapport av (Grønlund et al., 2010) ble gjennomsnittlig volumvekt 0,068, 0,085 og 0,15 kg/dm³ brukt for hhv. lite, middels og sterkt omdannet myr etter von Post skala når karbonlagre i myr for Norge skulle regnes ut. Tallet for middels omdannet myr ligner det vi fikk ved utregning av gjennomsnittlig volumvekt for den studerte myra, 0,11 kg/dm³. Målingene våre fra Karlshaugen er de beste for bestemmelse av karbonlagring i området, da Grønlund et al (2010) bare har tatt utgangspunkt i von Post-målinger ved besetemmelse av omdanningsgrad. Figur 7-Figur 9 og Figur 13 og Figur 14 viser en stabilisering fra av 40 cm og nedover, og gir oss ikke grunn til å tro noe annet enn at vår klassifisering basert på de nederste resultatene er relevant for også de dypere delene av myra.

Noen av prøvene tatt skiller seg fra flertallet, blant annet prøvene tatt ved punkt 104 og 112. Disse har noe høyere pH og glødetap. Ved punkt 104 ligger glødetapet mellom 94-78 %, synkende fra toppsjiktet, og ved punkt 112 er glødetapet på 70 % ved prøven over mineralprøven. Til sammenligning ligger glødetapet for stort sett alle andre prøver mellom 95 og 97 %. Myra er i utgangspunktet svært sur på grunn av det organiske materialets funksjonelle syregrupper som kan dissosiere og frigjør H⁺, men ved innslag av mineraljord vil H⁺ forbrukes i blant annet forvitring av mineralmateriale og bidra til en høyere pH (Brady and Weil, 2002 kap. 9 p. 270). Det er derfor rimelig å anta at det er innslag av mineralmateriale i prøvene 104 og 112 som forårsaker disse pH- og glødetapsverdiene. Mineraljordssjiktet ved punkt 112 er sannsynligvis ikke av stor mektighet da det gikk greit å måle dybden til 15 dm, og er derfor ignorert i beregningene av karbonlagre. Det antas å være lokalt og stamme fra for eksempel bekketransportert materiale, da topografien nord og eventuellet øst for myra ser ut til å kunne ha støttet vannføring. Avskjæringsgrøfta like nordvest for myra kan se ut til å ha til hensikt blant annet å lede vann nordfra utenom myra. Punkt 104 ligger helt i myrkanten med helning ned mot seg. Et jevnt tilsig av mineralt materiale i nedbørsavrenning ovenfra er derfor ikke utenkelig.

Da C-lager pr. m² bestemmes av faktorene tetthet, tykkelse og % C ble en korrelasjonsanalyse av disse faktorene kjørt for å se hvilken enkeltfaktor som best forklarer karbonlageret. Hver for seg er R-verdiene fra korrelasjonsanalysen er svært gode til å forklare mengde karbon pr. m², men tetthet skiller seg klart ut som den mest signifikante og best korrelerte verdien, og forklarer ved de fleste dyp mestesa og si hele karboninnholdet selv. Om de skulle benyttes sammen i en regresjonsmodell er det høy multikollinearitet mellom faktorene på grunn av at de alle er faktorer i beregningen av karbonlageret. Reduksjonen i C:N-forholdet nedover i profilet (Figur 14) de første 40 cm skyldes sannsynligvis omdanningsgraden, der karbon respireres ut av mikroorganismer mens nitrogenet holdes tilbake bundet i mikroorganismer (Brady and Weil, 2002).

Ser vi på Figur 15 ser det ut til at vi har en økning i % C nedover i profilet, stikk i strid med hva vi skulle forvente med tanke på nedbrytning og utgassing av karbon over tid. Forventet resultat var en ganske rett linje nedover, muligens med en liten reduksjon i % C på grunn av nedbrytning og utgassing av CO₂ og CH₄. Det er derfor rimelig å anta at andre faktorer spiller inn på karboninnholdet, og den mest sannsynlige forklaringen er at vi har hatt et vegetasjonsskifte som gir en annen substratkvalitet. Den nye vegetasjonen må altså ha hatt bedre substratkvalitet som fremmer nedbrytning. Da vil vi ha en stabilt høyere karbonprosent med opphav i nedbrytningsresistent Sphagnum, med et skifte til for eksempel større innslag av vaskulære planter i toppsjiktet. Det hadde vært interessant og hatt en datering på noen av makrofossilene som ble funnet for å datere de øverste 40 cm og se om dette sammenfaller med klimaendringer. En grov datering basert på tilvekst av torv gir 20-80 cm torv pr 1000 år (Moore and Bellamy, 1976), men det er vanskelig å si noe konkret uten videre undersøkelser.

Andre feilkilder

På grunn av de detaljerte studiene av myrprøvene fra denne myra har vi fått dannet oss et godt bilde av myras egenart, men noen feilkilder er verd å nevne. Ortofotoet fra 2008 har utydigheter ved seg knyttet til skygger fra trær helt sør og øst i myra, men er ellers godt. Ved punkt 104 var det mest sannsynlig en prøvetanknings- eller målefeil, da tettheten var spesielt lav ved 50 cm. Denne ble erstattet med gjennomsnittsmåling av resultatene for 40 og 60 cm.

Myra i midten av reservatet som undergikk detaljstudie ble prøvetatt to ganger. En gang med myrboret og en gang med 2,7cm x 40 cm jordprøvebor. Ved sammenligning av prøvene tatt ved samme punkt ligger tettheten til prøvene tatt med jordboret gjennomsnittlig 0,02 kg/dm³ over de prøvene tatt med myrboret for de øverste 30 cm. Myrprøvene ved de resterende myrene er kun tatt med vanlig jordbor. Ved utregning av karbonlagre for disse myrene er det ikke korrigert for kompresjon i de øverste 30 cm, men fra 40 cm og ned benyttes gjennomsnittlig tetthet fra 40-70 cm

fra midtre myra, hvor verdiene er mer sikkert beregnet. Antagelsen er da at disse myrene er sammenlignbare.

Myrområdenes fremtid med klimaendringer

Om vi sammenligner myrareals karbonlagre med andre typer jord ser vi at myr er et stort karbonlager i forhold til arealet det omfatter. For den midterste myra som ble grundigst studert i naturreservatet, sitter vi med et gjennomsnittstall på $111,7 \text{ kgC/m}^2$, noe som gir 111,7 tonn C/daa for myra basert på 2008-areal og myrprøvene. Til sammenligning er estimerte gjennomsnittstall på biomasse for ulike markslag for eksempel 150 og 500 kgC/daa for åker og gressmark, mens uproduktiv og produktiv skog, og skog på organisk jord ligger rundt 12,5, 13,2 og 24 tonn C/daa. Åpen fastmark, som fjell og vidde, ligger på rundt 750 kg C/daa (Grønlund et al., 2010). Tatt i betraktning den store karbonreserven myr lagrer på små areal, er det viktig med rett forvaltning av disse områdene siden utslippene kan øke ved menneskelige inngrep og forstyrrelser.

En annen side ved gjengroing av myrområder er effekten ny vegetasjonstype har på refleksjonsevnen av sollys. Sett opp mot Jordas strålingsbudsjett, som er det grunnleggende for klimaet vårt, og hvor mye en viss mengde CO_2 i atmosfæren påvirker klima, er det usikkert om bruk av skog til karbonlager alltid gir en gunstig effekt på klimaet (Betts, 2000). Sammenligning av Spahgnum- og blåbærlyng-granskog mot Sphagnum-myr viser at myra har dobbelt så høy albedo som granskogen i vekstsesongen, slik at myr har en avkjølende effekt på klima (Vygodskaya et al., 2007). Det er allikevel hovedsakelig om vinteren albedoforskjellen er størst, når arealene er snødekte (Betts, 2000). Snødekt jordbruksareal, som kan antas har samme albedo som myr når begge er snødekt, har en albedo på 0,78 (Betts, 2000). Skulle så skog komme til, kan snødekt tett barskog ha en albedo ned mot 0,26. For tilfellet på Karlshaugen, som er et mindre produktivt område hvor skogen ikke blir veldig tett, vil vi sannsynligvis ikke få så kraftig endring i albedo, men det peker i den retningen. Det anslås at den reduserte albedoeffekten utgjør et større varmepotensial enn hva som oppnås ved den aktuelle fangst av CO_2 i skogen (Betts, 2000).

Det er forventet at vi frem mot år 2100 vil merke klimaendringer gjennom endrede temperaturer, nedbørsmengder og nedbørsfordeling (RegClim, 2005). Gjennomsnittstemperaturen i Norden vil i følge RegClim stige med opp mot $1 \text{ }^\circ\text{C}$ i innlandet, og gi mildere vintre - opp mot $2,5\text{-}4 \text{ }^\circ\text{C}$ varmere. Sommertemperaturen regnes til å stige med 2-3 grader, og nedbøren kan øke med mellom 5-20 %. Høstnedbør øker med 15-20 % på Østlandet, mens somrene blir noe tørrere. Klimaendringsdebatten har åpnet for mange studier av sensitivitet av ulike økosystem. En temperaturendring på $2\text{-}4 \text{ }^\circ\text{C}$ vil kunne forårsake opp til 30-60 % økte CO_2 -flukser på boreal myr, noe som skyldes den økte respirasjon

og avtagende vannstand som følge av temperaturøkningen (Silvola et al., 1996). Man så en lineær økning i CO₂-fluks med vannstandsreduksjon på 30-40 cm i myr, men en utjevning og stabilisering etter dette. En reduksjon av vannspeilet med 1 cm måltes til å gi gjennomsnittlig økte årlige utslipp på rundt 25g CO₂ m⁻² (Silvola et al., 1996) mens enkelte klimascenarier predikerer en mulig vannstandssenkning med 14-22 cm (Roulet et al., 1992). Om dette blir tilfellet, vil vi kunne få en 50-100 % økning av CO₂-utslipp fra myr. Om man bruker drenerte myrområder som referanse for hva som skjer ved varig nedsatt vannstand, tyder det på at utslippsendringene er langvarige, og potensielt økende over tiårsperioder (Silvola et al., 1996). Som sagt i innledningen, er klimaendringens dynamikken et komplisert system hvor vi også vil kunne få økt karbonbinding på noen områder. For Norges del vil økte utslipp fra myr og eventuelt også annen jord bidra til at vi må kutte CO₂-utslipp andre steder enn gjennom «LULUCF», om forventet effekt av denne «gratistjenesten» fra naturens side skulle avta. Med karbonbindende effekt på 62-96 gCO₂/m²/år for urørt myr (Uppenberg et al., 2001) vil altså verdien av myrområder som karbonbindende areal avta, og muligens også kanskje bli kilde netto utslipp.

Om man ville hatt et estimat for utslipp ved områdene forbundet med myrene og overgangssonene er det utarbeidet en metode hvor man bruker vegetasjon på myra som proxydata for klimagassutslipp (t CO₂-ekv ha⁻¹ år⁻¹) (Couwenberg et al., 2011). Grunnen til at dette er mulig er at vegetasjonen bestemmes av grunnvannsnivå, og grunnvannsnivået er den viktigste enkeltfaktoren i bestemmelse av klimagassutslipp fra myr. Samtidig indikerer vegetasjonen, med sine særegne krav, andre vekstforhold som pH og næringstilgang som også er med å bestemme artssammensetning, nedbrytning og CO₂-utslipp. En slik «vegetasjonsvurdering» av klimagassutslipp har også den fordel at den representerer normaltstanden som dominerer over tid, og er til en viss grad mulig å vurdere fra flyfoto og er rimelig billig i bruk. Metoden gir en generell idé for utslippene til et område og er brukenes på vanlig myr, selv om den egentlig er utarbeidet med tanke på opptjening av klimakvoter ved gjenskaping av myrområder som har vært drenert og/eller høstet. Trær er utelatt, da de i for stor grad er skjøttet og kunstig til stede. At trærne er utelatt gir gode muligheter til å anslå karbonbinding av trær etter hva som er passende for området.

Klimaendringenes effekt vil allikevel ofte komme best til syne i lokal og regional skala, da effektene vil kunne variere fra sted til sted avhengig av for eksempel topografi og avstand til kysten (RegClim, 2005). En økning i ekstremvær kan føre til alvorlige konsekvenser for lokalsamfunn, særlig om man i tillegg ikke er beredt på dette. Nedbygging av våtmark og asfaltering vil fjerne naturlige buffringssområder for større nedbørsmengder, slik at man får en forsterkning av vær. Sommert kan klimaet for Nord-Europa og Norge mot år 2100 beskrives som «Varmere, våtere – noen ganger tørrere – men ikke så mye mer vind» (RegClim, 2005).

Konklusjon

Resultatene viser tendenser til at vi har en gjengroing av myrområdene hvor kantvegetasjonen kryper inn på myra. Særlig er det «utstikkere» i myrkantene som er utsatt. Dette vil direkte påvirke karbonlagrene i myr, da skogkledt myr er en egen klasse når en regner på karbonlagre, og derfor ikke telles med i kategorien karbonlager i myr. En fikk ikke signifikante resultat når en prøvde å sammenligne karbonlagre i skogkledt myr med karbonlagre på ren myr. Det er beregnet et karbontap på 109,2 tonn C på grunn av arealendring for den midtre myra som ble grundigst undersøkt. For hele området gir beregningene ett tap på 117,3 tonn C. Sistnevnte tall er nok høyere, da noe myrareal sannsynligvis er overberegnet i GIS fra ortofotoet. Samtidig gir tilvekst i tjern over dype områder veldig store utslag, noe som resulterer i tillegg til karbonlagrene. Alle myrene unntatt den vestre myra avtok i areal.

Totalt er det beregnet at det i dag ligger rundt 4668 tonn karbon lagret i Karlshaugen naturreservats myrer. Gjennomsnittlig kg C/m² ligger ett sted mellom 112 og 130 kgC/m², som er gjennomsnittsverdiene henholdsvis for den midtre myra, og alle myrene samlet.

På sikt vil karbonlagrene kunne endres som følge av gjengroing, da trær og vegetasjon gjennom evapotranspirasjon kan påvirke myrenes hydrologi, og slik fremme egne vekstvilkår. Et eventuelt tap som følge av redusert vannstand og økt nedbrytning vil allikevel kunne kompenseres for gjennom den økte stående trebiomassen, men om det til slutt vil dreie seg om netto tap eller binding av karbon krever nøyere studier.

Man så heller ingen stor endring i dyp for myrene. Gjennomsnittsdypet var likt for både 1930- og 2010-målingene. De fleste punktene viste en endring i dybde, men om myrddybden økte eller avtok var mer tilfeldig.

I det store og hele ser det ut til at økosystemet rundt myrene er svært stabile, og endringene som vises er ikke overraskende store.

Kilder

- ACECSS, A. C. E. C. O. S. S. 1987. The Canadian System of Soil Classification. 2nd ed.
- ARNELL, N. 2002. *Hydrology and Global Environmental Change*, Pearson Education Limited.
- BETTS, R. A. 2000. Offset of the potential carbon sink from boreal forestation by decreases in surface albedo. *Nature*, 408, 187-190.
- BILLINGS, W. D., LUKEN, J. O., MORTENSEN, D. A. & PETERSON, K. M. 1982. Arctic tundra: A source or sink for atmospheric carbon dioxide in a changing environment? *Oecologia*, 53, 7-11.
- BILLINGS, W. D., LUKEN, J. O., MORTENSEN, D. A. & PETERSON, K. M. 1983. Increasing atmospheric carbon dioxide: possible effects on arctic tundra. *Oecologia*, 58, 286-289.
- BRAATHE, P. 1980. Karlshaugen, et fredet skogområde i Nittedal. *Meddelelser fra Norsk institutt for skogforskning*, 36, 1-69.
- BRADY, N. C. & WEIL, R. R. 2002. *Elements of the Nature and Properties of Soils*, Pearson Education.
- COUWENBERG, J., THIELE, A., TANNEBERGER, F., AUGUSTIN, J., BARISCH, S., DUBOVİK, D., LIASHCHYNSKAYA, N., MICHAELIS, D., MINKE, M., SKURATOVICH, A. & JOOSTEN, H. 2011. Assessing greenhouse gas emissions from peatlands using vegetation as a proxy. *Hydrobiologia*, 674, 67-89.
- DEN NORSKE NOBELKOMITE. 2011. *Nobels Fredspris* [Online]. Available: http://nobelpeaceprize.org/nb_NO/laureates/laureates-2007/ [Accessed].
- EKLIMA. 2011. *eKlima* [Online]. Available: http://sharki.oslo.dnmi.no/portal/page?_pageid=73,39035,73_39049&_dad=portal&_schema=PORTAL [Accessed 11.04.2011].
- FREMSTAD, E. 1997. *Vegetasjonstyper i Norge - NINA Temahefte*.
- FROLKING, S. & ROULET, N. T. 2007. Holocene radiative forcing impact of northern peatland carbon accumulation and methane emissions. *Global Change Biology*, 13, 1079-1088.
- GOGO, S. & PEARCE, D. M. E. 2009. Carbon, cations and CEC: Interactions and effects on microbial activity in peat. *Geoderma*, 153, 76-86.
- GORHAM, E. 1957. The development of peat lands. *The Quarterly Review of Biology*, 32, 145-166.
- GORHAM, E. 1991. Northern Peatlands: Role in the Carbon Cycle and Probable Responses to Climatic Warming. *Ecological Applications*, 1, 182-195.
- GRØNLUND, A., BJØRKELO, K., HYLEN, G. & TOMTER, S. 2010. CO₂-opptak i jord og vegetasjon i Norge: Lagring, opptak og utslipp av CO₂ og andre klimagasser.: Bioforsk.
- HAIKURAINEN, L. 1967. On the influence of cutting on the water economy of drained peatlands. *Acta for. Fenn.*, 82 (2).

- IPCC 2007. Climate Change 2007: Synthesis Report. *In*: ABDELKADER ALLALI, R. B., SANDRA DIAZ, ISMAIL ELGIZOULI, DAVE GRIGGS, DAVID HAWKINS, OLAV HOHMEYER, & BUBU PATEH JALLOW, L. K. K.-B., NEIL LEARY, HOESUNG LEE, DAVID WRATT (eds.). IPCC.
- IPCC. 2011. *IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change* [Online]. Available: <http://www.ipcc.ch/organization/organization.shtml>
http://www.ipcc.ch/organization/organization_history.shtml [Accessed].
- MINKKINEN, K. & LAINE, J. 1998. Long-term effect of forest drainage on the peat carbon stores of pine mires in Finland. *Canadian Journal of Forest Research*, 28, 1267-1275.
- MOORE, P. D. 2002. The future of cool temperate bogs. *Environmental Conservation*, 29, 3-20.
- MOORE, P. D. & BELLAMY, D. J. 1976. *Peatlands*, London, Elek Science.
- NGU. 1991. *Kvartærgeologisk kart over Norge, tema jordarter*.
- NGU. 2011. *Berggrunnskart Norge* [Online]. NGU. Available: <http://www.ngu.no/kart/bg250/> [Accessed 24.03.2011 2011].
- NYGAARD, P. H. & ODEGAARD, T. 1999. Sixty years of vegetation dynamics in a south boreal coniferous forest in southern Norway. *Journal of Vegetation Science*, 10, 5-16.
- O' HARE, P. J. 1970. A comparison of the effect of young forest and grassland on the water table in blanket peat. *Agric. Meteorol.*
- REGCLIM 2005. Norges klima om 100 år - Usikkerheter og risiko.
- ROULET, N., MOORE, T., BUBIER, J. & LAFLEUR, P. 1992. Northern fens - Methane flux and climatic-change. *Tellus Series B-Chemical and Physical Meteorology*, 44, 100-105.
- RYPDAL, K., BLOCH, V. V. H., FLUGSRUD, K., GOBAKKEN, T., HOEM, B., TOMTER, S. M. & AALDE, H. 2005. Emissions and removals of greenhouse gases from land use, land-use change and forestry in Norway. NIJOS.
- SFT 2006. National inventory report 2006 - Norway
Greenhouse gas emissions 1990-2004 reported according to the UNFCCC reporting guidelines.
SFT, SSB, CICERO & NISK 2006. Annex 1, National Greenhouse Gas Inventory System in Norway. SFT, SSB, CICERO, NISK.
- SILVOLA, J., ALM, J., AHLHOLM, U., NYKANEN, H. & MARTIKAINEN, P. J. 1996. CO₂ Fluxes from Peat in Boreal Mires under Varying Temperature and Moisture Conditions. *Journal of Ecology*, 84, 219-228.
- STATENS KARTVERK 2010. Arealstatistikk - tall for kommuner og fylker. Statens Kartverk.
- STATENS KARTVERK. 2011. *Norgeskart.no*.
- TARNOCAI, C. 2006. The effect of climate change on carbon in Canadian peatlands. *Global and Planetary Change*, 53, 222-232.

UNFCCC. 2011. *United Nations Framework Convention on Climate Change* [Online]. Available: <http://unfccc.int/2860.php>

http://unfccc.int/press/fact_sheets/items/4978.php

<http://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpeng.pdf>

http://unfccc.int/kyoto_protocol/items/2830.php [Accessed 14/9 2011].

UPDEGRAFF, K., PASTOR, J., BRIDGHAM, S. D. & JOHNSTON, C. A. 1995. ENVIRONMENTAL AND SUBSTRATE CONTROLS OVER CARBON AND NITROGEN MINERALIZATION IN NORTHERN WETLANDS. *Ecological Applications*, 5, 151-163.

UPPENBERG, S., ZETTERBERG, L. & ÅHMAN, M. 2001. Climate impact from peat utilisation in Sweden. IVL Svenska Miljöinstitutet AB.

VAN BREMEN, N. 1995. How *Sphagnum* down other plants. *Tree*, 10, 270-275.

VYGODSKAYA, N. N., GROISMAN, P. Y., TCHEBAKOVA, N. M., KURBATOVA, J. A., PANFYOROV, O., PARFENOVA, E. I. & SOGACHEV, A. F. 2007. Ecosystems and climate interactions in the boreal zone of northern Eurasia. *Environmental Research Letters*, 2.

WHITING, G. J. & CHANTON, J. P. 1993. Primary production control of methane emission from wetlands. *Nature*, 364, 794.

WIEDER, R. K., VITT, D. H. & BENSCOTER, B. W. 2006. *Peatlands and the Boreal Forest*, Springer.

ÅS KOMMUNE 2011. Kommuneplanen 2011-2023. Ås.

Vedlegg

Vedlegg 1: Analyseresultat for farge, von Post, glødetap, tetthet, %C, %N, C:N

Vedlegg 2: Analyseresultater for kg C/m², kg N/m² og pH.

Vedlegg 3: Klassifikasjon, areal 1930/2008, dyp 1930/2008, sum kgC/m² for total dyp, 80 cm og 60 cm dyp.

Vedlegg 4: Korrelasjonsmatrise fra Minitab, Blå ruter indikerer signifikans.

Vedlegg 1: Analyseresultat for farge, von Post, glødetap, tetthet, %C, %N, C:N

Pr. sted	Dyp	Farge	von Post	Glødetap	Tetthet	Tot. C	C	Tot. N	N	C:N
				T.s.	T.s.	Ts. korr		Ts. korr.		
	cm			%	g/cm ³	%	kg/kg	%	kg/kg	
102	0-10	10YR 3/4	2	98,0	0,045	52,6	0,53	1,1	0,01	46,8
	20	10YR 3/1	4	97,1	0,085	51,9	0,52	1,5	0,02	34,6
	30	10YR 3/2	3	96,7	0,095	52,4	0,52	1,7	0,02	30,7
	40	10YR 3/2	3	98,0	0,136	56,1	0,56	1,7	0,02	32,3
	50	10YR 3/2	3	98,6	0,097	55,2	0,55	1,2	0,01	46,3
	60	10 YR 2/2	4	97,9	0,114	57,6	0,58	1,5	0,02	38,2
	70	10 YR 3/2	6	98,2	0,125	58,3	0,58	1,3	0,01	44,3
	80	10 YR 2/2	5	98,3	0,100	58,5	0,59	1,3	0,01	43,7
	84	10 YR 2/1	5	97,6	0,113	58,5	0,58	1,9	0,02	31,6
103	0-10	10 YR 3/2	2	94,2	0,061	49,7	0,50	1,4	0,01	36,1
	20	10 YR 2/1	4	93,3	0,091	50,5	0,51	1,9	0,02	26,8
	30	10 YR 3/1	3	95,6	0,109	52,5	0,53	2,1	0,02	24,7
	40	10 YR 3/2	4	95,3	0,078	52,3	0,52	1,9	0,02	26,9
	50	10 YR 3/2	5	95,8	0,115	55,4	0,55	2,1	0,02	26,4
	60	10 YR 2/1	5	96,0	0,113	56,1	0,56	2,3	0,02	24,4
	70	10 YR 2/1	4	95,5	0,097	54,7	0,55	2,0	0,02	26,9
	81	10 YR 2/1	5	95,4	0,103	55,4	0,55	2,2	0,02	25,7

Pr. sted	Dyp cm	Farge	von Post	Glødetap	Tetthet	Tot. C	C	Tot. N	N	C:N
				T.s.	T.s.	Ts. korr		Ts. korr.		
				%	g/cm ³	%	kg/kg	%	kg/kg	
104	0-10	10 YR 3/2	2	94,6	0,057	51,1	0,51	1,1	0,01	45,1
	20	10 YR 2/2	2	93,2	0,072	48,1	0,48	1,2	0,01	39,3
	30	10 YR 2/2	3	92,0	0,052	46,8	0,47	1,3	0,01	37,3
	40	10 YR 2/1	4	89,8	0,079	47,1	0,47	1,8	0,02	26,3
	50	10 YR 2/1	5	85,6	0,016	46,0	0,46	1,9	0,02	24,0
	60	10 YR 2/1	7	70,9	0,121	45,3	0,45	1,8	0,02	24,7
	62	10 YR 2/1	8	77,9	0,195	45,7	0,46	1,5	0,02	30,3
112	0-10	10 YR 3/2	3	96,6	0,075	53,4	0,53	1,8	0,02	30,0
	20	10 YR 2/2	4	94,9	0,120	53,9	0,54	2,0	0,02	27,1
	30	10 YR 3/1	3	95,3	0,155	54,6	0,55	2,0	0,02	27,2
	40	10 YR 3/1	4	97,7	0,116	57,3	0,57	1,7	0,02	33,4
	50	10 YR 3/2	6	97,8	0,124	59,9	0,60	1,6	0,02	37,9
	60	10 YR 3/2	6 or 7	98,0	0,120	59,3	0,59	1,6	0,02	37,9
	70	10 YR 3/2	6 or 7	95,0	0,143	59,5	0,59	1,9	0,02	32,2
	78	10 YR 2/2	8	70,0	0,160	44,4	0,44	1,1	0,01	40,3
	87				11,1	0,591	6,9	0,07	0,2	0,00

Pr. sted	Dyp	Farge	von Post	Glødetap	Tetthet	Tot. C	C	Tot. N	N	C:N
				T.s.	T.s.	Ts. korr		Ts. korr.		
	cm			%	g/cm ³	%	kg/kg	%	kg/kg	
113	0-10	10 YR 3/3	1	95,7	0,029	49,1	0,49	0,8	0,01	62,5
	20	10 YR 3/2	2	94,9	0,068	51,7	0,52	1,5	0,01	35,1
	30	10 YR 3/2	5	90,8	0,176	51,9	0,52	2,5	0,03	20,4
	40	10 YR 3/2	3	97,2	0,130	55,8	0,56	1,7	0,02	32,1
	50	10 YR 3/2	3	97,2	0,109	55,4	0,55	1,5	0,02	36,6
	60	10 YR 3/2	4	97,7	0,096	55,8	0,56	1,3	0,01	43,9
	70	10 YR 3/2	5	97,3	0,102	56,5	0,56	1,5	0,01	38,3
	81,5	10 YR 3/2	4	94,9	0,093	56,0	0,56	1,2	0,01	45,6
114	0-10	10 YR 4/3	2	90,4	0,032	48,0	0,48	0,9	0,01	54,9
	20	10 YR 4/2	2	95,1	0,054	49,2	0,49	1,2	0,01	40,5
	30	10 YR 2/2	3	93,8	0,098	52,3	0,52	2,0	0,02	26,4
	40	10 YR 2/1	4	94,9	0,154	55,6	0,56	2,1	0,02	25,9
	50	10 YR 2/2	5	96,3	0,127	57,3	0,57	2,0	0,02	28,5
	60	10 YR 2/2	5	96,5	0,119	57,6	0,58	1,7	0,02	33,5
	70	10 YR 2/2	6	96,0	0,102	56,7	0,57	1,8	0,02	31,7
	77	10 YR 2/2	5	95,7	0,089	55,5	0,55	1,4	0,01	39,9

Pr. sted	Dyp	Farge	von Post	Glødetap	Tetthet	Tot. C	C	Tot. N	N	C:N
				T.s.	T.s.	Ts. korr		Ts. korr.		
	cm			%	g/cm ³	%	kg/kg	%	kg/kg	
123	0-10	10 YR 4/3	2	97,0	0,035	49,6	0,50	0,7	0,01	70,7
	20	10 YR 3/2	3	96,6	0,049	49,3	0,49	1,0	0,01	51,7
	30	10 YR 3/2	3	95,6	0,053	49,7	0,50	1,1	0,01	47,2
	40	10 YR 3/4	4 or 5	95,3	0,125	54,6	0,55	2,0	0,02	27,0
	50	10 YR 2/2	3	95,1	0,121	54,9	0,55	2,1	0,02	26,6
	60	10 YR 2/2	3	96,5	0,111	56,2	0,56	1,5	0,02	36,5
	70	10 YR 2/2	3	96,7	0,099	56,9	0,57	1,8	0,02	32,2
	80	10 YR 3/3	5	97,5	0,099	58,3	0,58	1,9	0,02	31,4
	83	10 YR 2/2	5	97,7	0,101	58,7	0,59	1,6	0,02	36,4
124	0-10	10 YR 2/2	3	97,5	0,097	55,6	0,56	1,5	0,01	38,2
	20	10 YR 2/2	3	95,8	0,138	54,6	0,55	1,9	0,02	28,2
	30	10 YR 2/2	3	97,0	0,151	56,2	0,56	2,0	0,02	28,3
	40	10 YR 2/2	4 or 5	97,8	0,131	58,7	0,59	1,8	0,02	31,8
	50	10 YR 3/3	5	97,5	0,141	58,7	0,59	2,1	0,02	28,1
	60	10 YR 2/2	5	97,5	0,140	58,1	0,58	1,8	0,02	31,7
	70	10 YR 2/2	5	97,0	0,129	58,5	0,58	1,9	0,02	30,5
	77	10 YR 2/2	5	97,3	0,377	59,2	0,59	1,8	0,02	33,1

Vedlegg 2: Analyseresultater for kg C/m², kg N/m² og pH.

Pr. sted	Dyp	C	N	pH
	cm	kgC/m ²	kgN/m ²	
102	0-10	2,38	0,05	3,8
	20	4,40	0,13	3,4
	30	4,96	0,16	3,4
	40	7,63	0,24	3,5
	50	5,36	0,12	3,6
	60	6,59	0,17	3,7
	70	7,29	0,16	3,6
	80	5,83	0,13	3,6
	84	2,64	0,08	3,8
103	0-10	3,03	0,08	4,1
	20	4,57	0,17	3,9
	30	5,72	0,23	3,9
	40	4,05	0,15	4,0
	50	6,36	0,24	4,0
	60	6,34	0,26	4,1
	70	5,28	0,20	4,1
	81	6,28	0,24	4,1

Pr. sted	Dyp	C	N	pH
	cm	kgC/m²	kgN/m²	
104	0-10	2,89	0,06	4,5
	20	3,47	0,09	4,6
	30	2,42	0,06	4,6
	40	3,72	0,14	4,6
	50	0,72	0,03	4,8
	60	5,48	0,22	4,8
	62	1,79	0,06	4,8
112	0-10	4,02	0,13	3,8
	20	6,47	0,24	3,6
	30	8,46	0,31	3,6
	40	6,66	0,20	3,7
	50	7,40	0,20	3,7
	60	7,11	0,19	3,7
	70	8,49	0,26	3,9
	78	5,69	0,14	4,1
	87	3,65	0,08	4,4

Pr. sted	Dyp	C	N	pH
	cm	kgC/m²	kgN/m²	
113	0-10	1,41	0,02	4,2
	20	3,50	0,10	3,8
	30	9,16	0,45	3,8
	40	7,28	0,23	3,9
	50	6,06	0,17	4,0
	60	5,33	0,12	3,9
	70	5,78	0,15	4,0
	81,5	5,99	0,13	4,0
114	0-10	1,52	0,03	4,3
	20	2,63	0,07	4,1
	30	5,15	0,19	4,0
	40	8,56	0,33	4,0
	50	7,28	0,26	4,1
	60	6,85	0,20	4,1
	70	5,81	0,18	4,2
	77	3,47	0,09	4,2

Pr. sted	Dyp	C	N	pH
	cm	kgC/m ²	kgN/m ²	
123	0-10	1,72	0,02	4,1
	20	2,43	0,05	3,9
	30	2,61	0,06	4,0
	40	6,84	0,25	3,8
	50	6,64	0,25	4,0
	60	6,23	0,17	4,0
	70	5,64	0,18	4,0
	80	5,78	0,18	4,0
	83	1,77	0,05	4,0
124	0-10	5,41	0,14	3,6
	20	7,55	0,27	3,6
	30	8,49	0,30	3,7
	40	7,66	0,24	3,8
	50	8,27	0,29	3,8
	60	8,13	0,26	3,8
	70	7,57	0,25	4,0
	77	15,63	0,47	4,0

Vedlegg 3: Klassifikasjon, dyp 1930/2008, sum kgC/m² for total, 80 cm og 60 cm dyp og areal 1930/2008

	Klassifikasjon	Dybde 1930 dm	Dybde 2010 dm	Σ kgC 80 cm pr. m ²	Σ kgC 60 cm pr. m ²	Σ kgC Tot. dyp pr. m ²	Areal 1930 m ²	Areal 2008 m ²
102	TY.M	12	10	44,4	31,3	57,60	921	363
103	TY.M	20	16	41,1	30,1	87,24	913	862
104	THU.M	8	9	--	18,7	40,18	467	634
112	HU.M	16	15	--	40,1	109,98	450	432
113	FI.M	35	34	43,7	32,7	185,00	900	900
114	TY.M	20	18	--	32,0	105,26	657	674
123	ME.F	23	26	37,9	26,5	144,81	803	584
124	TY.M	16	13	--	45,5	129,88	336	313

Vedlegg 4: Korrelasjonsmatrise fra minitab. Blå ruter indikerer signifikans.

10 cm	Tetthet	% C	% N	C:N	kgC/m2	kgN/m2	pH
% C	0,868 0,005						
% N	0,853 0,007	0,712 0,048					
C:N	-0,800 0,017	-0,623 0,099	-0,959 0,000				
kgC/m2	0,998 0,000	0,892 0,003	0,835 0,010	-0,775 0,024			
kgN/m2	0,973 0,000	0,837 0,010	0,937 0,001	-0,864 0,006	0,967 0,000		
pH	-0,653 0,079	-0,810 0,015	-0,574 0,137	0,441 0,274	-0,683 0,062	-0,675 0,066	
vonPost	0,844 0,008	0,761 0,028	0,783 0,022	-0,681 0,063	0,846 0,008	0,862 0,006	-0,633 0,092

**Pearson correlation
P-Value**

20 cm	Tetthet_1	% C_1	% N_1	C:N_1	kgC/m2_1	kgN/m2_1	pH_1
% C_1	0,859 0,006						
% N_1	0,895 0,003	0,807 0,015					
C:N_1	-0,816 0,014	-0,693 0,057	-0,964 0,000				
kgC/m2_1	0,998 0,000	0,885 0,004	0,889 0,003	-0,801 0,017			
kgN/m2_1	0,989 0,000	0,871 0,005	0,939 0,001	-0,852 0,007	0,989 0,000		
pH_1	-0,486 0,222	-0,793 0,019	-0,504 0,203	0,389 0,341	-0,521 0,185	-0,509 0,198	
vonPost_1	0,503 0,204	0,499 0,208	0,590 0,124	-0,482 0,227	0,498 0,209	0,541 0,166	-0,665 0,072

30 cm	Tetthet_2	% C_2	% N_2	C:N_2	kgC/m2_2	kgN/m2_2	pH_2
% C_2	0,759 0,029						
% N_2	0,889 0,003	0,622 0,100					
C:N_2	-0,809 0,015	-0,567 0,143	-0,967 0,000				
kgC/m2_2	0,997 0,000	0,803 0,016	0,868 0,005	-0,789 0,020			
kgN/m2_2	0,980 0,000	0,647 0,083	0,932 0,001	-0,845 0,008	0,962 0,000		
pH_2	-0,619 0,102	-0,806 0,016	-0,489 0,219	0,405 0,319	-0,640 0,087	-0,535 0,172	
vonPost_2	0,568 0,142	-0,021 0,961	0,597 0,118	-0,476 0,234	0,506 0,201	0,697 0,055	-0,135 0,751

40 cm	Tetthet_3	% C_3	% N_3	C:N_3	kgC/m2_3	kgN/m2_3	pH_3
% C_3	0,749 0,032						
% N_3	0,241 0,565	-0,048 0,910					
C:N_3	0,310 0,455	0,673 0,067	-0,770 0,025				
kgC/m2_3	0,991 0,000	0,829 0,011	0,187 0,657	0,398 0,328			
kgN/m2_3	0,940 0,001	0,607 0,111	0,553 0,155	-0,012 0,977	0,911 0,002		
pH_3	-0,585 0,127	-0,858 0,006	0,202 0,632	-0,701 0,053	-0,656 0,077	-0,403 0,322	
vonPost_3	-0,330 0,424	-0,224 0,594	0,516 0,190	-0,535 0,172	-0,319 0,441	-0,091 0,831	0,433 0,284

50 cm	Tetthet_4	% C_4	% N_4	C:N_4	kgC/m2_4	kgN/m2_4	pH_4
% C_4	0,947 0,000						
% N_4	0,123 0,772	-0,073 0,864					
C:N_4	0,180 0,669	0,363 0,376	-0,946 0,000				
kgC/m2_4	0,996 0,000	0,965 0,000	0,120 0,777	0,184 0,663			
kgN/m2_4	0,910 0,002	0,777 0,023	0,521 0,186	-0,235 0,576	0,904 0,002		
pH_4	-0,758 0,029	-0,821 0,013	0,450 0,263	-0,703 0,052	-0,755 0,030	-0,471 0,239	
vonPost_4	-0,001 0,998	0,160 0,706	0,384 0,348	-0,346 0,401	0,069 0,870	0,138 0,744	0,213 0,612

60 cm	Tetthet_5	% C_5	% N_5	C:N_5	kgC/m2_5	kgN/m2_5	pH_5
% C_5	0,051 0,905						
% N_5	0,430 0,288	-0,185 0,662					
C:N_5	-0,474 0,235	0,527 0,179	-0,915 0,001				
kgC/m2_5	0,809 0,015	0,628 0,095	0,224 0,593	-0,056 0,894			
kgN/m2_5	0,752 0,031	-0,120 0,778	0,916 0,001	-0,872 0,005	0,515 0,191		
pH_5	0,006 0,988	-0,930 0,001	0,331 0,423	-0,639 0,088	-0,544 0,164	0,249 0,552	
vonPost_5	0,432 0,285	-0,525 0,181	0,402 0,324	-0,576 0,135	0,025 0,953	0,482 0,227	0,574 0,137

70cm		Tetthet_6	% C_6	% N_6	C:N_6	kgC/m2_6	kgN/m2_6	pH_6
	% C_6	-0,653 0,079						
	% N_6	-0,308 0,458	0,230 0,584					
	C:N_6	-0,088 0,837	0,325 0,433	-0,837 0,010				
	kgC/m2_6	-0,436 0,280	0,959 0,000	0,228 0,586	0,306 0,461			
	kgN/m2_6	-0,440 0,276	0,852 0,007	0,630 0,094	-0,144 0,733	0,897 0,003		
	pH_6	0,600 0,116	-0,906 0,002	0,014 0,974	-0,551 0,157	-0,878 0,004	-0,667 0,071	
	vonPost_6	0,822 0,012	-0,421 0,298	-0,381 0,352	0,109 0,797	-0,217 0,606	-0,303 0,466	0,433 0,284

80 cm	Tetthet_7	% C_7	% N_7	C:N_7	kgC/m2_7	kgN/m2_7	pH_7
% C_7	0,109 0,798						
% N_7	0,152 0,720	0,538 0,169					
C:N_7	-0,197 0,640	-0,249 0,552	-0,943 0,000				
kgC/m2_7	0,951 0,000	0,330 0,425	0,327 0,429	-0,295 0,478			
kgN/m2_7	0,886 0,003	0,368 0,370	0,566 0,143	-0,550 0,158	0,959 0,000		
pH_7	-0,003 0,995	-0,386 0,345	0,095 0,823	-0,268 0,522	-0,143 0,735	-0,041 0,923	
vonPost_7	0,055 0,897	-0,511 0,195	-0,038 0,930	-0,196 0,641	-0,035 0,934	0,009 0,983	0,043 0,919