



Norges miljø- og
biovitenskapelige
universitet

Masteroppgave 2024 30 stp

Fakultet for miljøvitenskap og naturforvaltning (MINA)

Karbonlagring i Heståsmyra nordvest

Silje Marie Bønøgård

Miljøvitenskap

Forord

Denne masteroppgaven markerer slutten på min studietid ved NMBU. En stor takk til min hovedveileder Line Tau Strand og biveileder Mona Henriksen for muligheten til å skrive en oppgave om karbonlagring i myr. Jeg vil takke for god hjelp til feltarbeidet og veiledning på laboratoriet, skrivearbeid og støtte underveis. Takk også til Irene E. Eriksen Dahl for god hjelp og veiledning på laboratoriet. Takk til Mona Mirgeloybayat og Tore Krogstad for bistand i laboratoriearbeidet. Takk til George Neil Furey for utlån av Nix Pro 2 og for hjelp til konvertering av fargene i RStudio. Takk til mamma og pappa for at vi fikk disponere hytta under feltarbeidet. Synne, takk for at du har vært en god sparringspartner underveis. Til slutt vil jeg takke Magnus for tålmodigheten og all støtte og hjelp du har gitt meg.

Norges miljø- og biovitenskapelige universitet

14.05.2024

Silje Marie Bønøgård

Sammendrag

Som følge av de globale klimaendringene er det en økende interesse for myra som karbonlager. For å bidra til ytterligere informasjon om temaet er karboninnholdet i den nordvestre delen av Heståsmyra på Sjusjøen i Innlandet fylke undersøkt i denne oppgaven. Dette er gjort ved hjelp av georadar, myrkjerner og naturtypekartlegging etter Natur i Norge-systemet.

Heståsmyra nordvest er kartlagt som jordvannsmyr og dekker et areal på 36 227,2 m². Volumet av myra ble funnet ved fire georadarmålinger, og er estimert til 50 174,75 m³. På grunn av liten penetrasjonsdybde er bare volumet for de øverste 2 meterne kartlagt. Det er tatt ut seks myrkjerner som er plassert i georadartransektene. Fire av disse har en dybde på 50 cm, mens to av de har dybde på 75 og 150 cm.

Analyser av myrkjernene viser et gjennomsnittlig karboninnhold på 51,72 % og en gjennomsnittstetthet på 0,13 g/cm³. Både tettheten og karboninnholdet øker med dybden. Som ventet ut fra resultatet av andre studier, er det funnet en sterk lineær sammenheng mellom karboninnhold og tetthet. Det er gjort fargemålinger med både Munsell fargekart og en digital fargemåler, Nix Pro 2. Basert på resultatene fra fargemålingene og korrelasjonsanalysene som er utført, ser det ut til at Nix Pro 2 gir like god informasjon som den tradisjonelle metoden. For begge metodene er det funnet en signifikant negativ korrelasjon mellom lysheten på jorda og karboninnholdet.

Karbonlageret i Heståsmyra er estimert til 40,35 kg/m². Karbonberegningene gjelder for de øverste 1,5 meterne. Det er stor usikkerhet knyttet til beregningene. Den største usikkerheten er knyttet til de dypeste lagene som følge av et svært lite prøveutvalg. Det totale karboninnholdet i Heståsmyra nordvest er estimert til 3358,28 ± 554,83 tonn. Det tilsvarer 12,32 Gg CO₂-ekvivalenter.

Abstract

As a result of global climate change, there is a growing interest in the peatlands as a carbon store. In order to contribute to further information on the topic, the carbon content in the north-western part of Heståsmyra on Sjusjøen in Innlandet county has been examined in this master thesis. This has been done with the help of ground-penetrating radar (GPR), peat cores and a mapping of nature types according to the “Natur i Norge”-system.

Heståsmyra northwest is classified as a minerogenic peat and covers an area of 36 227.2 m². The peat volume was found by the four transects in the GPR-survey and is estimated to 50 174.75 m³. Due to small penetration depth, the volume has been estimated for the top 2 meters only. The peat cores were sampled in the GPR-transects. Four of the cores have a depth of 50 cm, while the two others have a depth of 75 cm and 150 cm.

Analysis of the peat cores shows an average carbon content of 51.72 % and an average density of 0.13 g/cm³. Both the density and the carbon content increase with depth. As expected from the results of other studies, a strong linear relationship between carbon content and density has been found. The color of the peat samples has been measured with both Munsell color charts and a digital color sensor, Nix Pro 2. Based on results from the color measurements and correlation analysis that have been carried out, it appears that Nix Pro 2 provides just as good information as the traditional method. For both methods, a significant negative correlation has been found between the lightness of the soil and the carbon content.

The carbon stock in Heståsmyra is estimated at 40.35 kg/m². The carbon stock is estimated for the top 1.5 metres. There is great uncertainty connected to the calculations, including a small sample size for the deepest layers. The total carbon content in Heståsmyra northwest is estimated to 3358.28 ± 554.83 tons. This corresponds to 12.32 Gg CO₂ equivalents.

Innholdsfortegnelse

1	Innledning	1
1.1	<i>Målet/bakgrunn for oppgaven</i>	<i>1</i>
1.2	<i>Teori om myr.....</i>	<i>1</i>
1.3	<i>Teori om georadar.....</i>	<i>3</i>
1.4	<i>Områdebeskrivelse.....</i>	<i>6</i>
2	Materialer og metode	10
2.1	<i>Naturtypekartlegging.....</i>	<i>10</i>
2.2	<i>Georadar</i>	<i>11</i>
2.3	<i>Myrkjerner.....</i>	<i>14</i>
2.4	<i>Laboratorieanalyser.....</i>	<i>16</i>
2.5	<i>Utarbeiding av digitalt naturtypekart</i>	<i>21</i>
2.6	<i>Arealberegning</i>	<i>21</i>
2.7	<i>Volumberegning.....</i>	<i>21</i>
2.8	<i>Beregning av karboninnhold</i>	<i>24</i>
2.9	<i>Statistikk</i>	<i>24</i>
3	Resultater	26
3.1	<i>Naturtypekartlegging.....</i>	<i>26</i>
3.2	<i>Georadar</i>	<i>28</i>
3.3	<i>Myrkjerner.....</i>	<i>32</i>
3.4	<i>Arealberegninger.....</i>	<i>49</i>
3.5	<i>Volumberegninger.....</i>	<i>51</i>
3.6	<i>Beregning av karboninnhold</i>	<i>51</i>
4	Diskusjon.....	53
4.1	<i>Georadar</i>	<i>53</i>
4.2	<i>Naturtypekartlegging.....</i>	<i>57</i>
4.3	<i>Myrkjerner.....</i>	<i>58</i>
4.4	<i>Volumberegning.....</i>	<i>63</i>
4.5	<i>Beregning av karbonlageret</i>	<i>64</i>
5	Konklusjon.....	66
6	Forslag til videre undersøkelser	67
7	Referanseliste.....	68

1 Innledning

1.1 Målet/bakgrunn for oppgaven

Målet med denne oppgaven er å beregne karboninnholdet i en myr. Ved bruk av georadar vil man få informasjon om dybden og dermed volumet av myra. Det skal videre tas ut myrkjerner for å finne informasjon om karboninnhold og tetthet som brukes karbonberegninger. Videre er det ønskelig å se om det er en sammenheng mellom karboninnhold, tetthet og jordfarge.

Hovedårsaken til at Heståmyra ble valgt som lokalitet, er at undertegnede har en tilknytning og noe kjennskap til området. Med tilgang til hytte på Sjusjøen var også overnatting under feltarbeidet sikret. I tillegg var det avgjørende å finne en lokalitet over marin grense, fordi den høye ledningsevnen som følge av innholdet av salter demper signalet fra georadaren. Det vil derfor være begrenset hvor langt ned signalet når (NGI, 2023).

1.2 Teori om myr

Myr er en naturtype som danner torv og har høy grunnvannstand. En definisjon på myr er at torvlaget, som består av delvis nedbrutt plantemateriale, er tykkere enn 30 cm (Moen et al., 2011). Vegetasjonen består av torvmoser (*Sphagnum*) som er torvdannende og har en svært god evne til å holde på vann.

Karbonsyklusen i myr er nokså kompleks. Atmosfærisk karbon blir tatt opp gjennom plantenes fotosyntese, og slippes ut gjennom respirasjonen. Den dårlige tilgangen på oksygen gir levested for flere anaerobe organismer. Disse organismene slipper ut karbon i form av metan (CH₄) (Bartlett et al., 2020). På grunn av det høye grunnvannsspeilet og det lave oksygenivået går nedbrytningen svært sakte. Siden produksjonen er høyere enn nedbrytningen fører det til at plantematerialet akkumuleres, og til at store mengder organisk karbon lagres i jorda (Swindles et al., 2019). Myrer er derfor karbonsluk «sink», men også metankilder «source» under de klimaforholdene vi har i dag (Jaenicke et al., 2008; Slater & Comas, 2009).

Akkumulering av torv er en langsom prosess, og myrene danner omtrent 1 mm torv i året. Det tar derfor omtrent 1000 år å danne 1 meter med torv. De fleste myrene i Norge er dannet de siste 10 000 årene etter siste istids maksimum, og de dypeste myrene vi kjenner til er 10 meter (Moen et al., 2011).

I Norge dekker myr 9 % av det totale landarealet, og på verdensbasis er tallet 3 %. Myr er den naturtypen som lagrer mest karbon per arealenhet, med 53 kg C/m² (Bartlett et al., 2020). Til sammenlikning har jordsmonnet i skog en karbontetthet på 15 kg C/m² (Søgaard et al., 2019). Globalt er det anslått at det er lagret over 500 Gt karbon i myr (Yu et al., 2010). Basert på et myrareal på rundt 20 000 km² er det anslått at myrene i Norge lagrer rundt 1000 Mt karbon (Grønlund et al., 2010). De nyeste undersøkelsene viser et myrareal på 28 300 km², noe som er betydelig høyere enn tidligere anslått (Bryn et al., 2018). Det gir grunn til å tro at mengden karbon lagret i norske myrer er enda høyere.

Ved inngrep som utbygging og drenering vil vannstanden i myra senkes. Det fører til at oksygen kommer til og nedbrytningen går fortere. Karbonet som er lagret i myra vil med det slippes ut. Mange myrer har blitt drenert til jord- og skogbruksformål (Joosten et al.), og det tas fortsatt ut torv til dyrkingsformål (Øien et al., 2017). Det er anslått at det slippes ut 5,55 Tg CO₂-ekvivalenter hvert år fra 3618 km² drenert myr i Norge. Norge slapp ut 48,9 Tg CO₂-ekvivalenter i 2022 (Statistisk sentralbyrå, 2023). Det vil si at det totale utslippet fra ødelagte myrarealer utgjør 10,7 % av Norges totale karbonutslipp. Trolig er det reelle arealet for drenert myr så mye som 7000 km² (Joosten et al.). Det er derfor grunn til å tro at utslippet fra drenerte myrer er betydelig høyere.

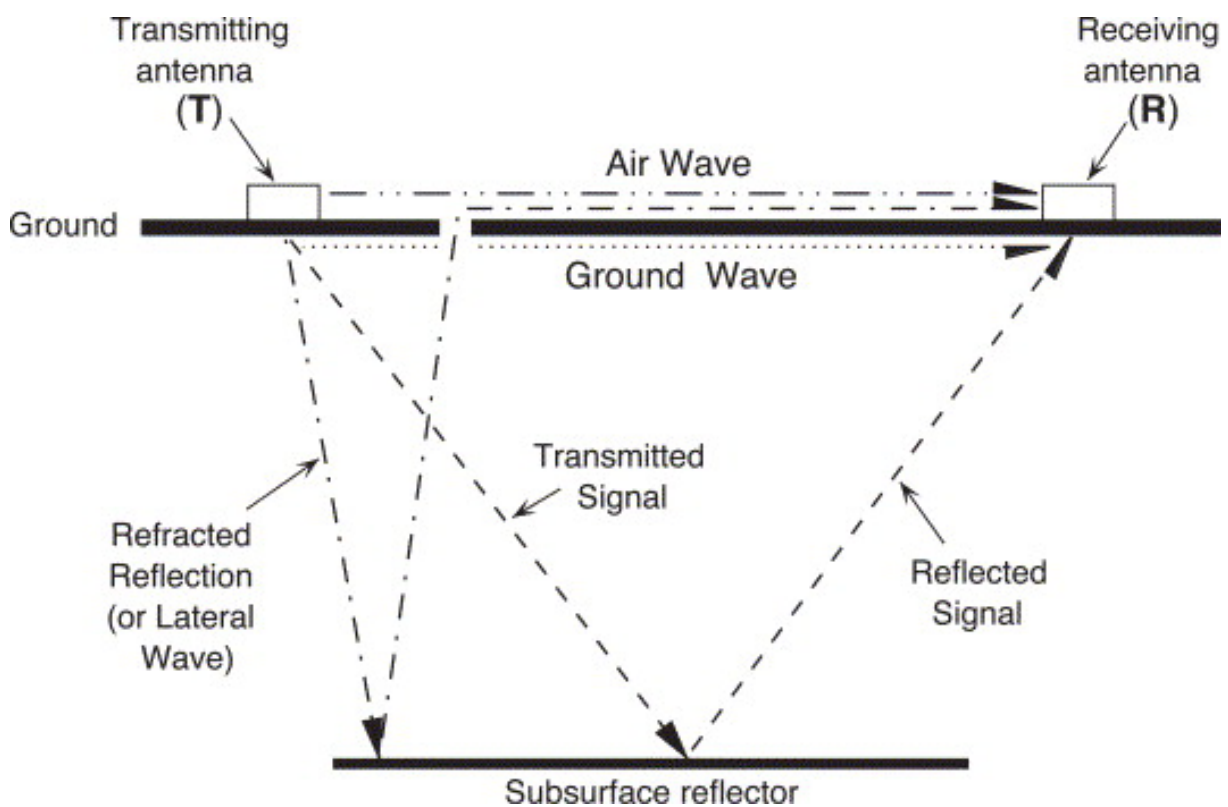
FNs klimapanel (IPCC) har slått fast at bevaring av karbonlagrene er det sikreste klimatiltaket vi kan gjøre i kampen mot klimaendringene (Riahi et al., 2022). Ved å la myrene ligge og ikke gjøre de om til jordbruksarealer er det estimert at utslippene kan reduseres med 25 Gg CO₂-ekvivalenter per km² myrarealer som holdes intakte (Bárcena et al., 2016). Dessuten er arealendringer den største trusselen for det biologiske mangfoldet (IPBES, 2019), og bevaring av myrområder vil derfor ha en positiv effekt på både klimaet og naturmangfoldet.

Drenering av myr til skogbruksformål ble forbudt i 2007, men det er tillatt å opprettholde allerede etablerte grøfter. I 2019 ble det forbudt med nydyrking av uberørte myrområder til jordbruksformål, men det gjøres unntak fra denne bestemmelse. Et nytt lovforslag om forbud

mot nedbygging av myr ble lagt fram i desember 2023 og sendt på høring (Miljødirektoratet, 2023). Saken er under behandling på dette tidspunktet (Regjeringen, u.å.).

1.3 Teori om georadar

Georadar, eller GPR (Ground-penetrating radar), er en ikke-destruktiv geofysisk metode som brukes til å få informasjon om den øverste delen av grunnen (hovedsakelig første 50 meter) (Neal, 2004). Georadaren består av en sender- og en mottakerantenne. Senderen, også kalt transmitteren, sender høyfrekvent elektromagnetisk stråling i området 10-2000 MHz ned i bakken som reflekteres tilbake til mottakerantennen (Cassidy, 2009). Transmitteren sender i tillegg elektromagnetiske pulser direkte til mottakerantennen gjennom luften (figur 1).



Figur 1: Transportveier for utsendte elektromagnetiske bølger fra transmitter til mottaker. Kilde: Neal, 2004

Tiden det tar fra et signal blir sendt ut til det reflekteres tilbake til mottakerantennen registreres. Dette kalles to-veis gangtid (TWT) (Rønning, 2023). I tillegg registreres styrken

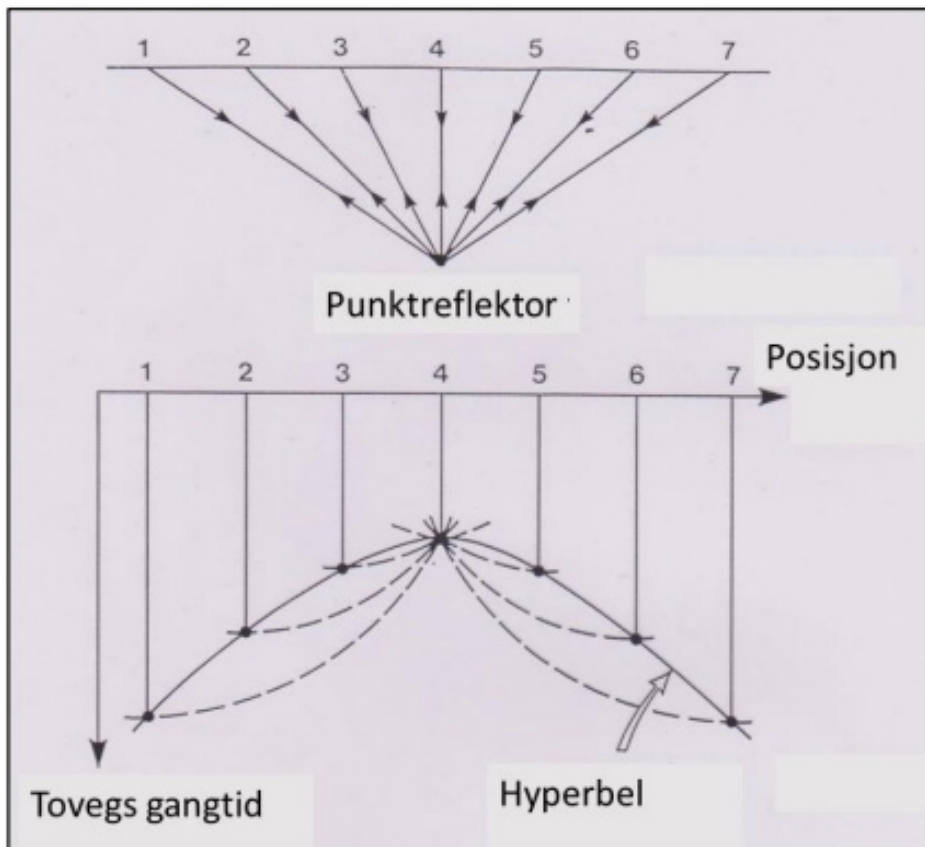
på signalet (amplitude). En kan bestemme hvor mange signal som skal sendes ut per avstandsenhet. Dette kalles registreringsfrekvens (Rønning, 2023).

Den elektriske ledningsevnen til materialet og antennefrekvensen på bølgene avgjør hvor dypt signalene kan gå. Lave frekvenser (f.eks. 50 MHz) har større dybderekkevidde, men dette går på bekostning av oppløsningen. Høye frekvenser (f.eks. 1000 MHz) penetrerer ikke like dypt som de lave, men gir høyere oppløsning (NGI, 2023). Penetrasjonsdybden minker med høyere elektrisk ledningsevne som følge av dempingen av signalet. Økende vanninnhold og innhold av løselige salter øker ledningsevnen, noe som kan påvirke georadarmålingen betraktelig (Doolittle & Butnor, 2009). Dette er som nevnt en av grunnene til at det var viktig å finne en lokalitet over marin grense.

De elektromagnetiske bølgene har ulik hastighet i ulike materialer (NGI, 2023). Når bølgene går over i et nytt materiale med andre elektromagnetiske egenskaper, endres hastigheten på bølgene. Ved plutselige forandringer vil noen av bølgene reflekteres, mens resten fortsetter videre ned i bakken (Neal, 2004).

Hastigheten (v) bestemmes av materialets dielektriske permittivitet (ϵ_r), den elektriske ledningsevnen (σ) og magnetisk permeabilitet (μ). Den dielektriske permittiviteten er igjen avhengig av blant annet frekvensen som benyttes, porøsiteten og dermed også vanninnholdet i materialet (Rønning, 2023). For å konvertere tiden i georadarprofilen til dybde må hastigheten til de elektromagnetiske bølgene være kjent.

En hyperbel oppstår ved punktreфлекtorer i bakken (Rønning, 2023). Signalene fra georadaren vil nå punktrefektoren selv om den ikke er rett over reflektoren. Jo nærmere georadaren er punktrefektoren, jo kortere tid vil det ta for signalet å reflekteres. Når georadaren beveger seg bort fra punktrefektoren igjen, vil den toveis gangtiden øke igjen (figur 2). En smal hyperbel tyder på lav hastighet, mens den brer seg utover med økende hastighet (Goodman et al., 2009).



Figur 2: Dannelse av hyperbel fra punktreflektor. Kilde: Rønning, 2023 (modifisert fra Kearey & Brooks, 1992)

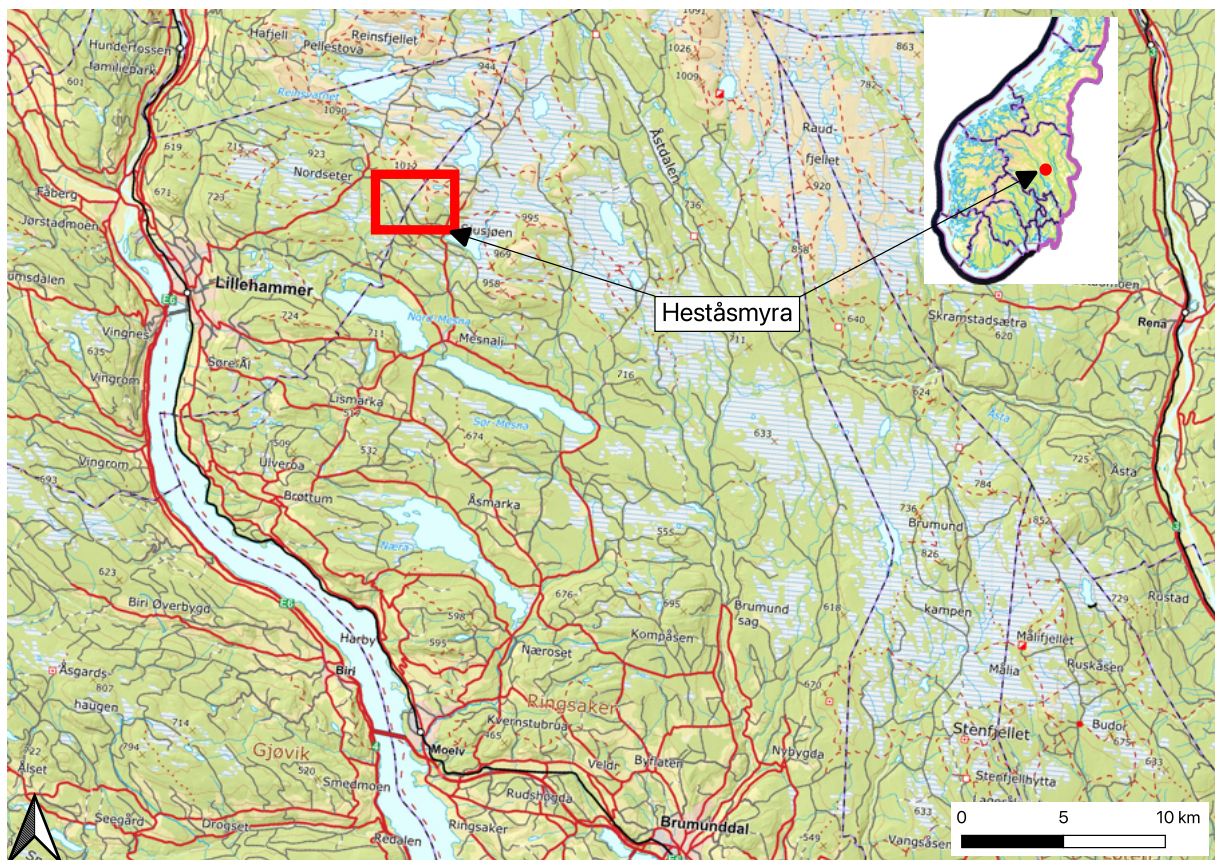
Multipler kan noen ganger sees på georadarprofiler og oppstår dersom et signal registreres flere ganger (to) av mottakerantennen. Dette skjer dersom et lag reflekterer en stor nok mengde energi slik at når signalet når overflaten, vil det gå ned til den samme reflektoren enda en gang (Rønning, 2023). Vi får en forstyrrelse i signalene som kan sees på georadarprofilet som to reflektorer der det siste, altså multippelen, ofte er svakere enn den første og med mer skråning (Rønning, 2023).

Elektromagnetiske bølger ble først tatt i bruk i 1904 til å lokalisere objekter i grunnen (Reynolds, 2011). Det var først innen glasiologien at elektromagnetiske pulser ble tatt i bruk. Etter at metoden ble allment tilgjengelig på 1980-tallet, har den siden 90-tallet blitt flittig brukt i flere fagfelt (Neal, 2004). Georadar har i dag en rekke bruksområder innen hydrogeologi, grunnvannsforurensning, kvartærgeologi/sedimentologi, arkeologi, bygg- og anleggsbransjen, kriminalteknikk, i tillegg til å bistå i oljeleting, lokalisering av rør og annen infrastruktur (Reynolds, 2011).

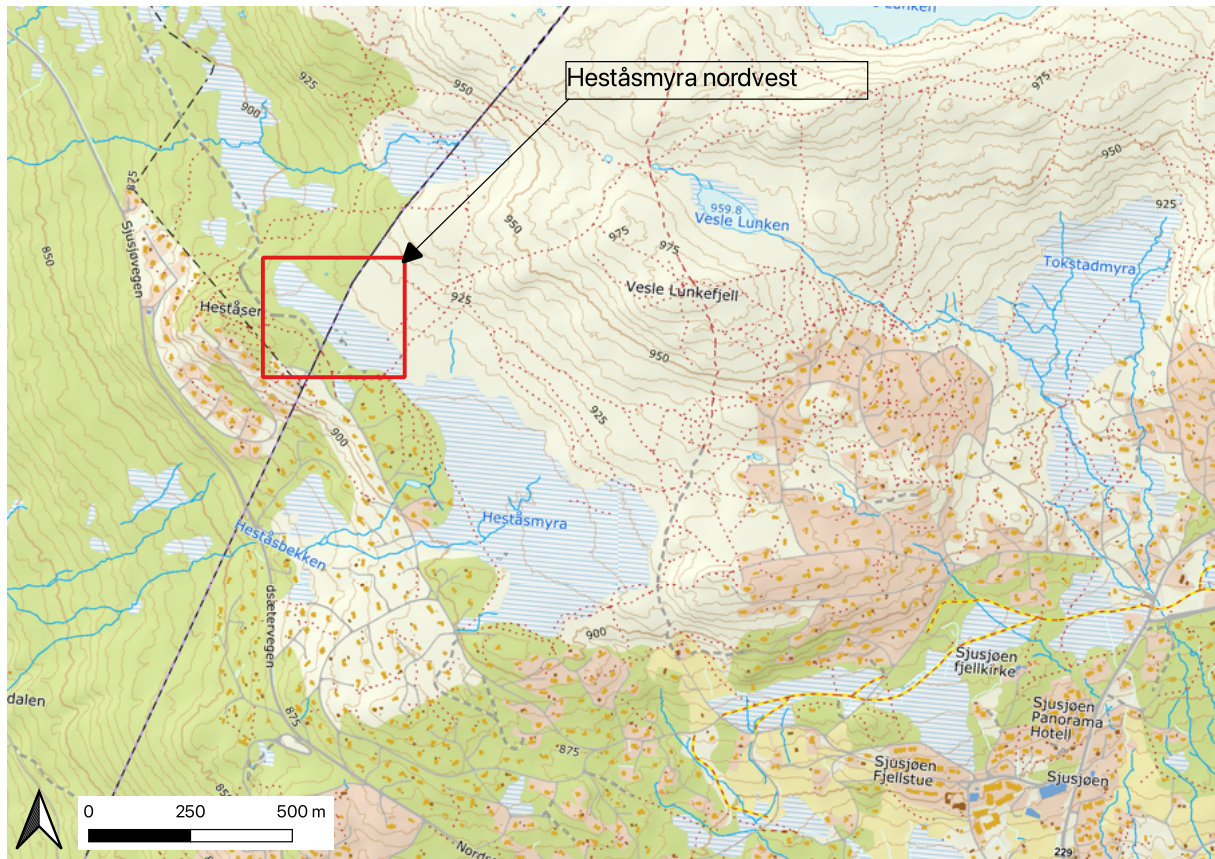
Georadar har blitt brukt til kartlegging av myrddybde i flere studier. Formålet har ofte vært å kartlegge myrddybden fordi det er drevet matproduksjon på myra. Blant annet er det benyttet i myrsynkingsprosjektet på Smøla (Dalsegg & Muring, 2000). De senere årene har det blitt mer vanlig å benytte georadar i forbindelse med karbonlagringsberegninger (Akumu & McLaughlin, 2013; Carless et al., 2021; Jaenicke et al., 2008; Sass et al., 2010).

1.4 Områdebeskrivelse

Heståsmyra ligger på Sjusjøen i Ringsaker kommune i Innlandet. Den ligger omtrent to kilometer vest for Sjusjøen sentrum. Det er omtrent 11 kilometer ned til Lillehammer i vest og fire mil til Rena i øst (figur 3). Den nordvestre delen av myra som er undersøkt i denne oppgaven ligger i både Ringsaker og Lillehammer kommune. Heståsen hyttefelt ligger rett inntil myra i sør (figur 4).



Figur 3: Oversiktskart over studieområdets lokasjon (modifisert fra Kartverket).



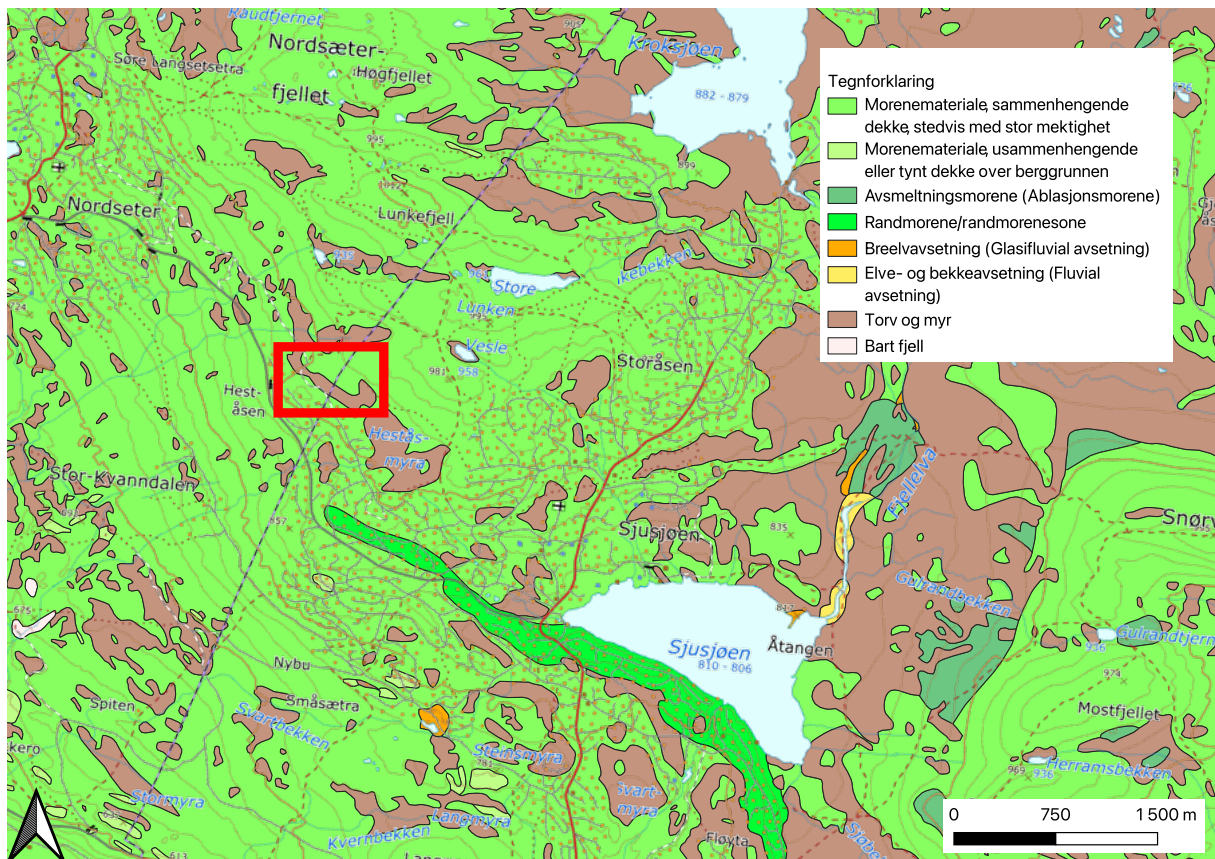
Figur 4: Kart over området rundt Heståsmyra (modifisert fra Kartverket).

Heståsmyra befinner seg omtrent 910 meter over havet, og er som navnet tilsier en myr. Den ligger i en sørvestvendt svak skråning ned fra Lunkefjell og Sjusjøfjellet i nordøst. Landskapet er åpent og domineres av store myrområder, skog og fjell hvor enkelte strekker seg opp mot 1100 meter over havet. Årsnedbøren på Sjusjøen har ligget på +/- 1000 mm med en middeltemperatur på 1-2 °C de siste to årene. De siste fire årene har det vært en maksimumstemperatur på 26,3 °C og en minimumstemperatur på -22,7 °C (Norsk klimaservicesenter, 2024; Yr, 2024). Det er ikke uvanlig at snøen ligger fra oktober/november og godt ut i mai.

Berggrunnen i området består av sandstein og delvis konglomerat. Det er en del av Brøttumformasjonen som ble dannet i proterozoikum (2500-541 millioner år siden, sen prekambrium) og er en del av Hedmarksgruppen (Englund, 1978).

Ringsaker- og Øyerfjellet domineres av morenemateriale sammen med torv og myr (figur 5). Det er også områder med bart fjell og tynt løsmassedekke, samt spredte forekomster av

breelavsetninger. Området rundt Heståsmyra består av tykk morene, torv og myr, og har et høyt blokkinnhold (Olsen & Follestad, 1982). Sør for Heståsen er det avsatt en endemorene som strekker seg langs Nordsætervegen og videre langs sørvestsiden av Sjusjøvannet (Olsen & Follestad, 1982).



Figur 5: Løsmassekart over Sjusjøen (modifisert fra Norges geologiske undersøkelse).

Sjusjøen er en populær vinterdestinasjon med sitt slake landskap og et løypenett på over 350 km (Destinasjon Sjusjøen, u.å.). Ringsakerfjellet hadde i 2018 godt over 6000 hytter, og det er ingen grunn til å tro at ikke antallet har økt de siste årene (Menon Economics, 2018).

Området nordøst for Heståsmyra (Lunkelia) har tidligere vært regulert til fritidsbebyggelsesformål i kommuneplanens arealdel (Ringsaker kommune, 2013). Grunneier Pihl AS ønsket å etablere 60 nye hytter i området. Tiltaket møtte sterke protester, og Norsk institutt for naturforskning (NINA) var en av de mange aktørene som sendte inn klage. Lunkelia ble vedtatt fjernet fra kommuneplanen i 2022 (Ringsaker kommune, 2022).

Heståsmyra er tidligere kartlagt av Norsk institutt for bioøkonomi (NIBIO) som dyp myr. Med dyp myr menes at torvlaget er over 100 cm (NIBIO, 2021). Det er også foretatt en

kartlegging av vegetasjonstype i 2002. Da ble vegetasjonstypen registrert som rismyr med bjønnskjegmyr som underordnet vegetasjonstype. Midt i myra er det et område som er kartlagt som ren bjønnskjegmyr, mens den sørøstre enden er kartlagt som grasmyr (Miljødirektoratet, u.å.). Den nordvestre delen av Heståmyra, som denne oppgaven tar for seg, er ikke inkludert i kartleggingen fra 2002. Dybden i denne delen er ukjent, men arealet er 35800 m². Den delen av myra som er kartlagt som dyp er oppgitt å dekke et areal på 198700 m².

2 Materialer og metode

Feltarbeidet ble utført 14. og 15. september 2023 av undertegnede og to veiledere. I løpet av de to dagene ble det tatt ut myrkjerner og benyttet georadar. Det ble også foretatt en naturtypekartlegging etter Miljødirektoratets instruks.

2.1 Naturtypekartlegging

Myra er kartlagt etter Natur i Norge (NiN) versjon 2.3 i målestokk 1:5000. Det ble gjennomført en forhåndskartlegging før jeg gikk ut i felt på bakgrunn av flyfotoer. Til dette brukte jeg historiske kart på FINN.no, Naturbase, Kilden og Norgeskart (Finn.no, u.å.; Kartverket, u.å.; Miljødirektoratet, u.å.; NIBIO, u.å.). Ved hjelp av norgeskart.no sin «tegn og mål»-funksjon tegnet jeg inn foreløpige grenser mellom naturtypene basert på flyfotoene.

Deretter gikk jeg ut i felt og foretok en nærmere kartlegging og tegnet inn og justerte underveis. Her ble feltveilederen (Bryn & Naas, 2021) og beskrivelse av kartleggingsenheter (Bratli et al., 2022) benyttet. Arter i de ulike områdene ble bestemt og registrert. Noen arter ble bestemt i felt mens andre ble tatt med tilbake i plastposer for nærmere undersøkelser på kvelden og påfølgende dag.

Til tegning i felt ble både pc og nettbrett benyttet med henholdsvis norgeskart.no (figur 6) og flyfoto på notatappen Notability (Ginger Labs, 2023). Myra ble endelig kartlagt ved hjelp av artslistene og feltnotater, og her ble også Artstabeller flittig brukt (Halvorsen et al., 2016).



Figur 6: Opptegning av grenser mellom naturtypene i norgeskart.no

2.2 Georadar

Til å kartlegge volumet av den nordvestre delen av Heståsmyra ble det utført målinger med en georadar av typen PulseEKKO Pro fra Sensors & Software Inc. Alle målingene ble utført med en frekvens på 200 MHz. Oppsettet er illustrert i figur 7, der antennene er montert på en SmartCart som man dytter foran seg.



Figur 7: Georadaroppsett. Transmitteren er montert foran på en SmartCart, mens mottakerantennen er plassert bak senderen. Øverst ved håndtaket er den digitale videologgeren montert.

Det er utført én måling på langs av myra, og to målinger på tvers av myra (figur 8). Transektet på langs går fra nordvest mot sørøst. Som følge av mye vann i myra måtte denne justeres noen meter midtveis, og den har derfor to ulike målinger; Line02 i nordvestre del og Line04 i sørøstre del. Line03 går fra sørvest til nordøst og krysser Line02. Det siste transektet, Line05, ble målt fra nordøst til sørvest og krysser Line04.



Figur 8: Oversikt over georadartransektene i Heståmyra. Line02 og Line04 går langs myra, mens Line03 og Line05 krysser myra på langs.

Underveis ble det gjort dybdemålinger med myrspyd for å kunne kontrollere dybden i etterkant. Dette ble utført ved å forsiktig presse myrspydet ned i myra til det treffer mineraljord eller berggrunn, og leser av dybden. Myrspydet som ble brukt under feltarbeidet var 1,2 meter langt. Der myrspydet ble presset helt ned, vet vi derfor bare at myra er dypere 1,2 meter. Dybdemålinger med myrspyd ble hovedsakelig gjort ved start og slutt for hvert GPR-transekt, samt i de to krysningspunktene. Myrspydet ble også brukt til å finne kanten av myra i visse områder. I enkelte studier er denne metoden alene brukt til å finne dybde og dermed beregne volum av myrområder (Akumu & McLaughlin, 2013).

Den innebygde GPS-en som er koblet til georadaren var ute av drift. Koordinater for start, slutt og krysningspunkt for hvert transekt ble derfor hentet inn ved hjelp Garmin Astro 220 og norgeskartapp på mobil.

For hvert profil ble det foretatt en måling av alle hyperbler som var synlig ved hjelp av verktøyet «Hyperbola Velocity Calibration» i programvaren EKKO Project – Line View.

Deretter ble gjennomsnittet av disse regnet ut for hvert profil. Gjennomsnittet til hvert profil ble så brukt til å finne gjennomsnittet av alle profilene. Til slutt ble også gjennomsnittet for alle hyperblene og alle profilene regnet under ett. Dette ga et gjennomsnitt på 0,059 m/ns. Hastigheten som ble brukt til å beregne dybden i georadarprofilene er derfor 0,060 m/ns.

Tverrsnittransektet Line05 ble snudd ved hjelp av verktøyet «reverse» slik at begge tverrtransektene går i samme retning (fra SV til NØ).

2.3 Myrkjerner

Myrkjernene ble hentet ut ved manuell prøvetaking med et Eijkelkamp russerbor. Til sammen er det tatt seks myrkjerner over de to feltdagene. Russerboret henter ut en halvsylinder på 5,5 cm med en lengde på 50 cm (figur 9). Boret presses ned i bakken til det er i den dybden prøven skal tas. Herfra vrir man boret 180 grader slik at prøven lukkes inne.

Prøvene ble lagt i halvsylindere av pleksiglass og pakket inn med plastfolie, aluminiumsfolie og deretter en tykk plast for å forhindre at luft slipper inn. Hver prøve ble teipet igjen med gaffateip. Prøvene ble merket med prøvenummer, dybde, navn og dato. Etter endt feltarbeid ble de lagt på kjølerom der de har ligget fram til analysene ble gjennomført i januar.

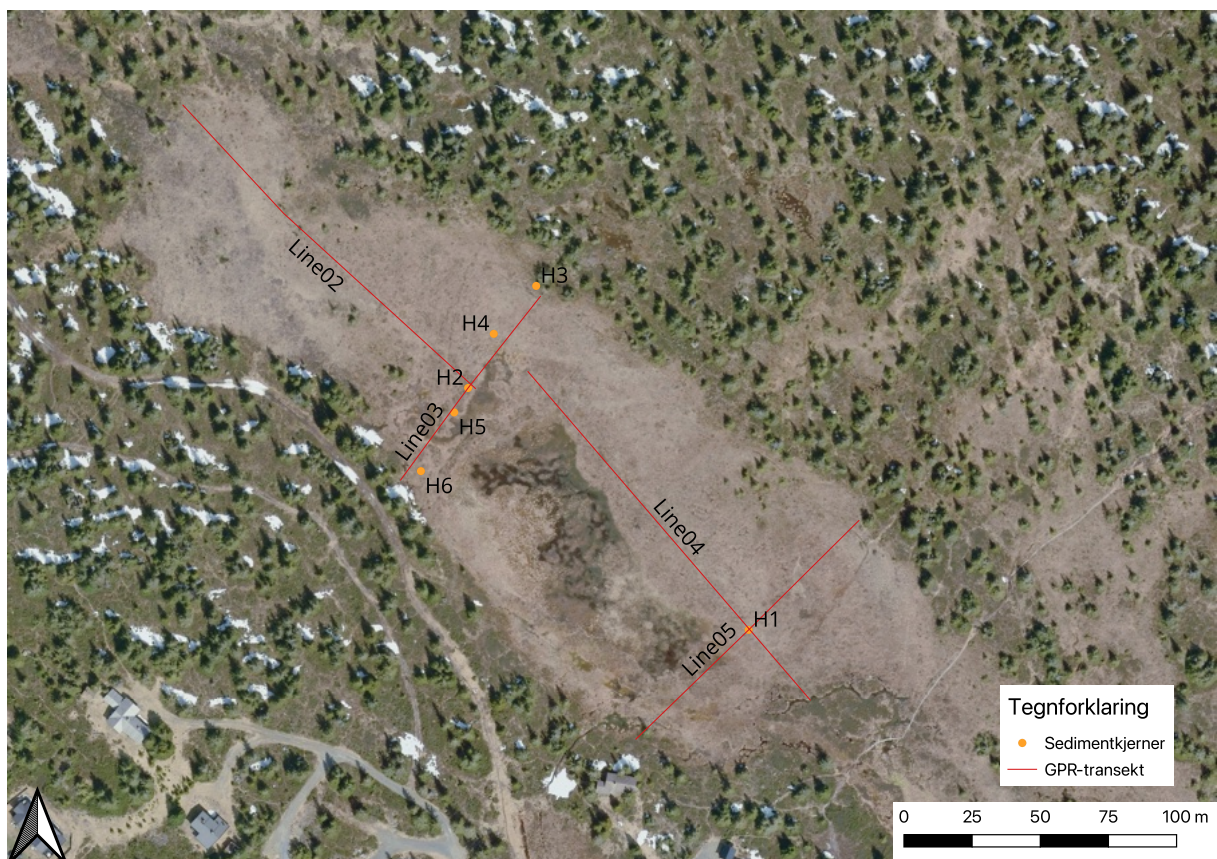


Figur 9: Myrkjerne på 50 cm hentet opp med russerbor.

To av kjernene ligger i krysningpunktene mellom den langsgående georadarmålingen og de to tverrgående transektene (figur 10). Her ble det tatt henholdsvis to og tre prøver med dybde

75 cm (kjerne H1) og 150 cm (kjerne H2). Som følge av at vi ikke kom dypere ned i myra med russerboret i kjerne H1 har vi her fått to overlappende prøver. Russerboret er 50 cm, og da vi skulle hente opp den andre kjernen her kom vi ikke dypere enn 75 cm. Det betyr at de øverste 25 cm i denne prøven er de samme som de nederste 25 cm i den første kjernen som ble hentet ut. Dette er løst ved å kun inkludere de som tilhører den første kjernen i karbonberegningene (H1-03 og H1-04), for så å behandle de to «ekstra» prøvene (H1-05 og H1-06) i diskusjonen.

Grunnet utfordringer med å få boret dypt nok ned i den sørøstre delen av myra ble de resterende kjernene tatt langs Line03. Her ble det hentet inn én prøve på 50 cm i hvert punkt. Kjerne H3 ble tatt 40 meter nord for H2 i kanten av myra. Mellom disse punktene, 22 meter nord for H2, ble kjerne H4 tatt. Kjerne H5 ble tatt 15 meter sør for H2, og H6 41 meter. Figur 10 illustrerer hvor myrkjernene ble hentet ut.



Figur 10: Oversikt over georadartransektene og plassering av myrkjernene i Heståsmyra.

2.4 Laboratorieanalyser

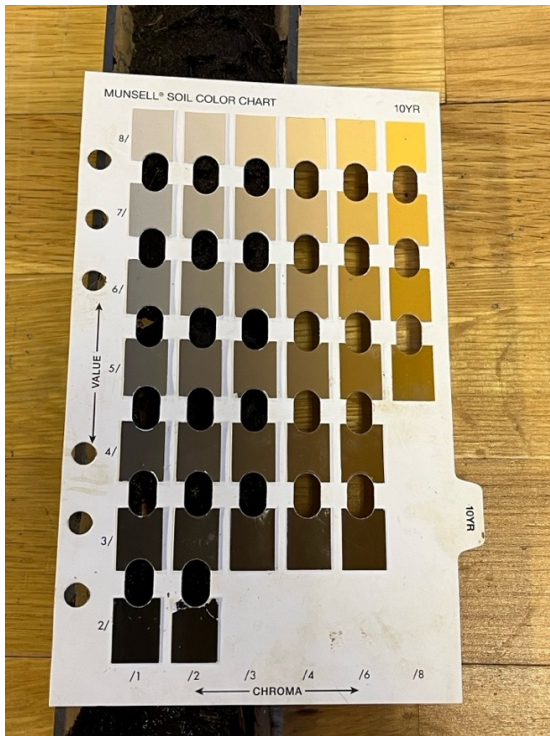
Kjernene som har stått på kjøling ble pakket opp og tatt prøver av enkeltvis for å unngå unødvendig oksygeneksponering.

2.4.1 Våte prøver

Det første som ble gjort på laboratoriet var å se på forskjeller i omdanningsgrad, farge, organisk materiale, og fasthet. Kjernen ble så delt opp basert på visuell bedømming og følbare endringer etter disse egenskapene. Inndelingen førte til omtrent fire nye prøver per kjerne, og 35 prøver totalt. Tykkelsen på hver prøve ble målt.

Fargemålingen ble gjennomført først siden fargen raskt kan endre seg ved lufteksponering og temperaturendringer. Målingene ble gjennomført ved hjelp av Munsell fargekart for jord (Munsell Color Company, 1975) og Nix Pro 2 (Nix Sensor, u.å) (figur 11 og 12). Sistnevnte er en digital fargemåler som en kobler til appen Nix Toolkit som lastes ned på en smarttelefon. På denne måten får man en objektiv bedømmelse av fargen i motsetning til Munsell. Innstillingene i appen ble endret slik at det ble gjennomført fem målinger av hver prøve som det deretter ble målt et gjennomsnitt fra.

Fargesystemet som ble brukt til registreringen med Nix Pro 2 er CIELAB. Det er Den Internasjonale kommisjon for belysning (CIE – la Commision Internationale de l'Eclairage) som har utviklet dette systemet som baserer seg på hvordan våre øyne oppfatter farger. L^* står for lyshet, a^* er rød-grønn-gradient og b^* er en blå-gul-gradient (Ly et al., 2020). Fargene som blir målt lagres i appen med selvvalgt navn og kan eksporteres som en csv-fil. Senere konvertert i RStudio (Posit Software PBC, 2022).



Figur 11: Fargemåling med Munsell fargekart



Figur 12: Fargemåling med Nix Pro 2 fargesensor.

Til å finne tettheten til prøvene ble en 5 ml åpen sprøyte. Denne ble fylt med jord som var representativ for de ulike prøvene. Dette tilsvarer 5 cm³. Jorden ble lagt i sprøyta slik den ligger naturlig i den urørte prøven, og ble altså ikke komprimert. Deretter ble den lagt i aluminiumsformer og tørket i tørkeskap på 105 °C . Da prøvene var tørre, ble de veid. Aluminiumsformene de lå i veide 2,1 g, og ble senere trukket fra. Videre ble vekta delt på 5 slik at tettheten er oppgitt i g/cm³.

Metoden som er brukt til å finne fiberinnholdet er basert på Lynn og McKenzie (1971) som er beskrevet i Haluschak (2006). Det er ikke brukt en dispersjonsløsning (natriumheksametafosfat) i denne oppgaven slik som beskrevet i metoden. Det er heller ikke gjort en egen måling for ugnidd fiberinnhold. En del av prøven ble tatt ut og rullet mellom tørkepapir for å få ut litt av fuktigheten. Prøven ble så forsiktig klemt sammen i en 5 ml sprøyte (5 cm³) slik at luften ble presset ut. Deretter ble 5 cm³ av prøven lagt i en 150 mikrometer sikt. Metoden bruker en 100 mesh sikt som tilsvarer 149 mikrometer, men det hadde vi ikke. Bruker vann i sikten og gnir prøven til det ikke vaskes ut noe mer av prøven. I den opprinnelige metoden blir prøven gnidd mellom fingrene, mens det her er brukt en hard slikkepott (figur 13). Det som er igjen av prøven samles i sikten. Legger tørkepapir under

bunnen av sikten og presser prøven mot papiret for å få ut det meste av vannet. Tar ut prøven og legger i den rengjorte sprøyten, komprimerer og presser den sammen, og Leser av volumet (figur 14). Regnes om til prosent ved formelen:

$$\text{Fiberinnhold} = \frac{\text{Volum}_{\text{etter}}}{\text{Volum}_{\text{før}}}$$



Figur 13: Måling av fiberinnhold med sikt og slikkepott.



Figur 14: Avlesing av fiberinnhold i en 5 ml sprøyte.

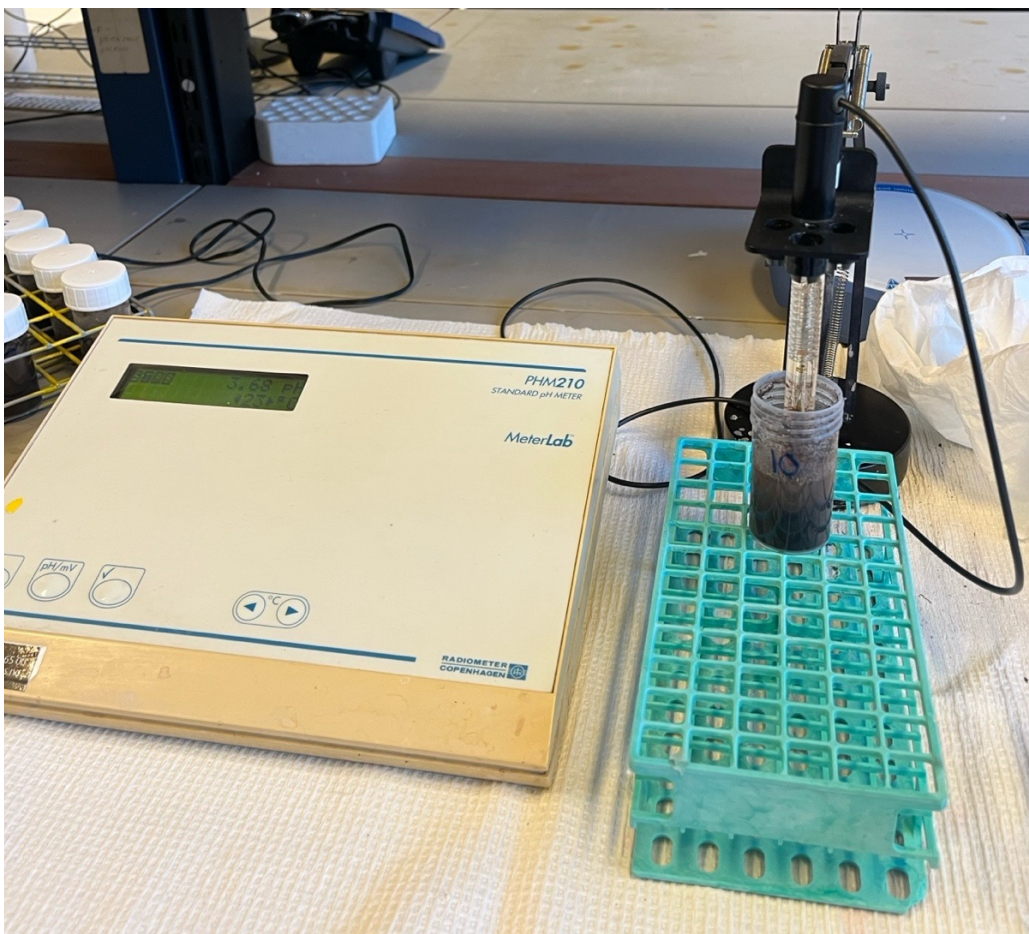
2.4.2 Tørre prøver

Det resterende prøvematerialet ble satt til tørking ved 40 °C over fire dager. Siden prøvene var såpass harde ble det bestemt at de skulle knuses i en kvern. Kvernen som ble benyttet er Micro Impact Mill fra Culatti (Culatti AG, u.å.) med den grovste sikten tilgjengelig som var 2 mm. Mellom hver prøve ble kverna nøye rengjort med støvsuger og trykkluftpistol for å forhindre kontaminering av de påfølgende prøvene.

Det ble også foretatt en fargemåling av de tørre prøvene som beskrevet for våte prøver. Fargemålingene av de våte og tørre prøvene med Nix Pro 2 ble eksportert som csv-fil. Prøvene ble så klargjort for videre analyser, og nummerert fra 1-35.

Til pH-målingen ble det tatt ut 10 ml av den ferdige knuste prøven med en måleskje og puttet i et plastrør. For at det skulle være nok materiale til de resterende analysene ble det bare tatt ut 5 ml av de prøvene med lite materiale. Dette gjelder prøve 2 og 20, altså H1-02 og H3-01.

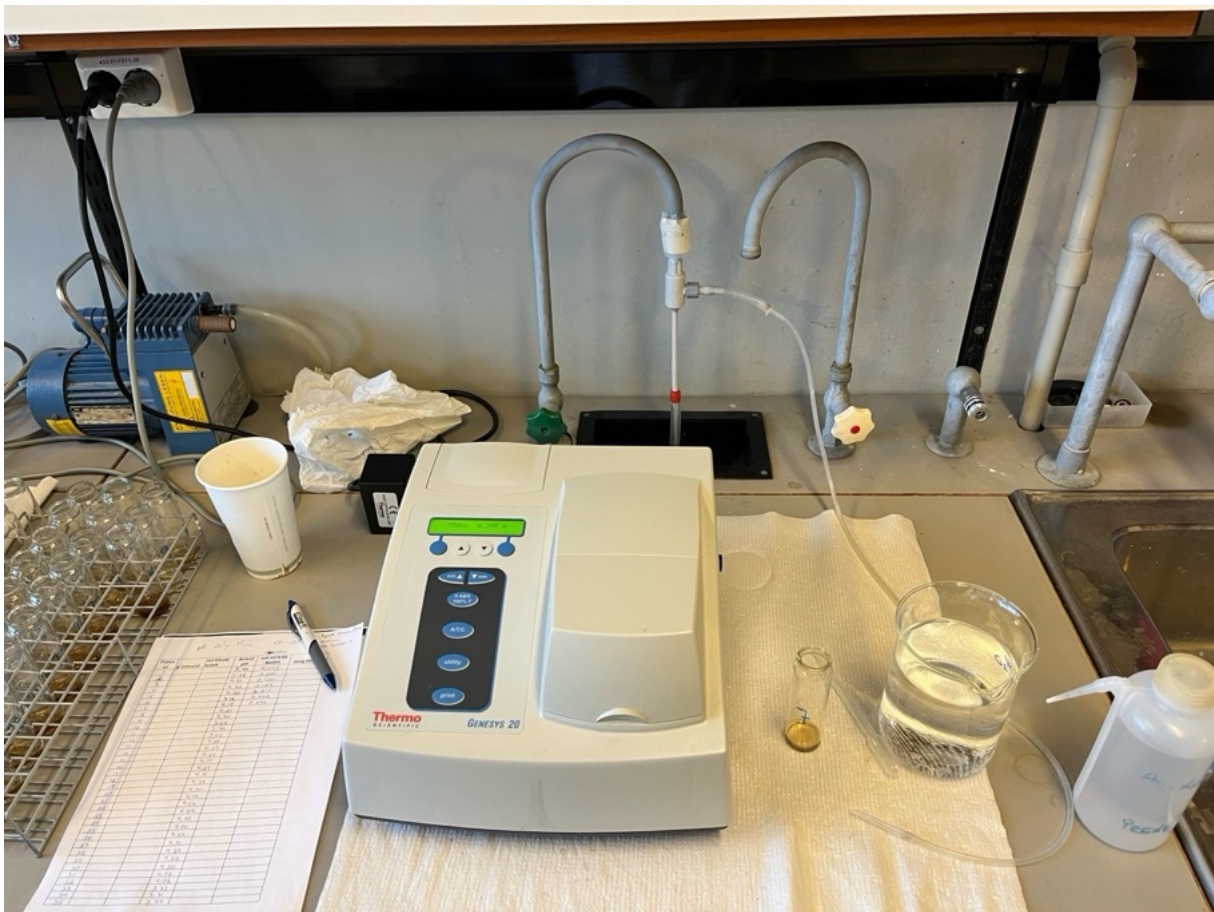
Dagen før pH-målingen tilsatte vi 25 ml deionisert vann til prøvene, (12,5 ml i de prøvene med bare 5 ml). Ristet de godt for hånd og lot de stå over natten. Ristet opp prøvene i to omganger på nytt og lot de hvile i en halvtime slik at det er en likevekt mellom H^+ -ionene i jord og vann, og jorda har sunket igjen. pH-måleren er Meterlab sin standard pH meter PHM210 (figur 15). Før bruk ble den kalibrert med to bufferløsninger med pH 4 og 7, og deretter kontrollert med en ROSS referanseløsning. Elektroden ble plassert i løsningen uten at den var nede i jorda på bunnen. Ventet til pH-meteret hadde stabilisert seg, og leste av pH-verdien. Skylte elektroden med destillert vann mellom hver prøve.



Figur 15: Måling av pH med et Meterlab pH-meter.

Metoden for å måle pyrofosfatindeksen er basert på Schnitzer og Desjardins (1965) som er beskrevet i Haluschak (2006). Målte opp 0,500 g av prøvene og hadde de over i glass. Vekta som ble brukt er Extend ED2202S-CW fra Sartorius. Det ble bare tatt ut 0,100 g av de prøvene det var veldig lite av. Dette gjelder prøve 20, 24 og 32 altså H3-01, H4-01 og H6-01. Tilsatte så 50 ml av en ferdig blandet 0,025 M pyrofosfatløsning ($Na_4P_2O_7$) (10 ml i de

prøvene med 0,100 g), og ristet over natten i 18 timer i en Edmund Bühler Universal Shaker SM 30. Dagen etter filtrerte vi prøvene gjennom et blåttbåndfilter fra Whatman. Så fortynnet vi prøvene fem ganger med deionisert vann. Deretter ble ca 3 ml av løsningen tatt ut med en pipette og hatt over i en 10 mm kyvette. Plasserte kyvetten i spektrofotometeret (Thermo scientific Genesys 20 Visible Spectrophotometer) og målte absorbansen ved bølgelengde på 550 nm (figur 16). Leste av resultatet og ganget med 100. Skylte pipetten og kyvetten med destillert vann etter hver måling for å forhindre kontaminering av prøvene.



Figur 16: Oppsett ved måling av absorbansen i et spektrofotometer.

Resten av de tørre og knuste prøvene ble sendt til analyse på jordlaboratoriet for måling av totalt karbon-, nitrogen og hydrogeninnhold. Analyseinstrumentet som ble brukt er Leco CHN628. Analysene for karbon og hydrogen ble gjennomført etter «dry combustion»-metoden (foreslått av Allison og beskrevet i Nelson & Sommers, 1982 (Nelson & Sommers, 1982)). Analysen av nitrogen er utført etter «Dumas»-metoden beskrevet i Bremmer & Mulvaney (Bremmer & Mulvaney, 1982). Omtrent 150 mg av prøven ble tatt ut og pakket inn i tinnfolie. Inne i instrumentet er det 1050 grader og vi får en fullstendig forbrenning. Det

betyr at all karbon (CO) oksideres til CO₂-gass som registreres og måles ved hjelp av en IR-celle. Hydrogenet med vanndamp (H₂O) bestemmes også ved IR-celle. Nitrogenforbindelsene (NO_x) vil reduseres ved hjelp av kobber til N₂-gass. Nitrogengassen måles ved en TC-celle, termisk konduktivitet. Resultatene er oppgitt i prosent for hver prøve.

2.5 Utarbeiding av digitalt naturtypekart

Kartet som ble tegnet i webtjenesten Norgeskart ble lastet ned og deretter lagt inn i QGIS (Open Source Geospatial Foundation, 2023). Så ble polygonene overført til et nytt shapefile-lag, der de fikk hver sin korrekte ID med kartleggingsenhet og tilhørende beskrivelse. De ble så klassifisert med hensyn på koden, slik at hver kode fikk hver sin farge. Arealet til hvert område ble hentet ut ved bruk av verktøyet «feltkalkulator» i attributt Tabellen.

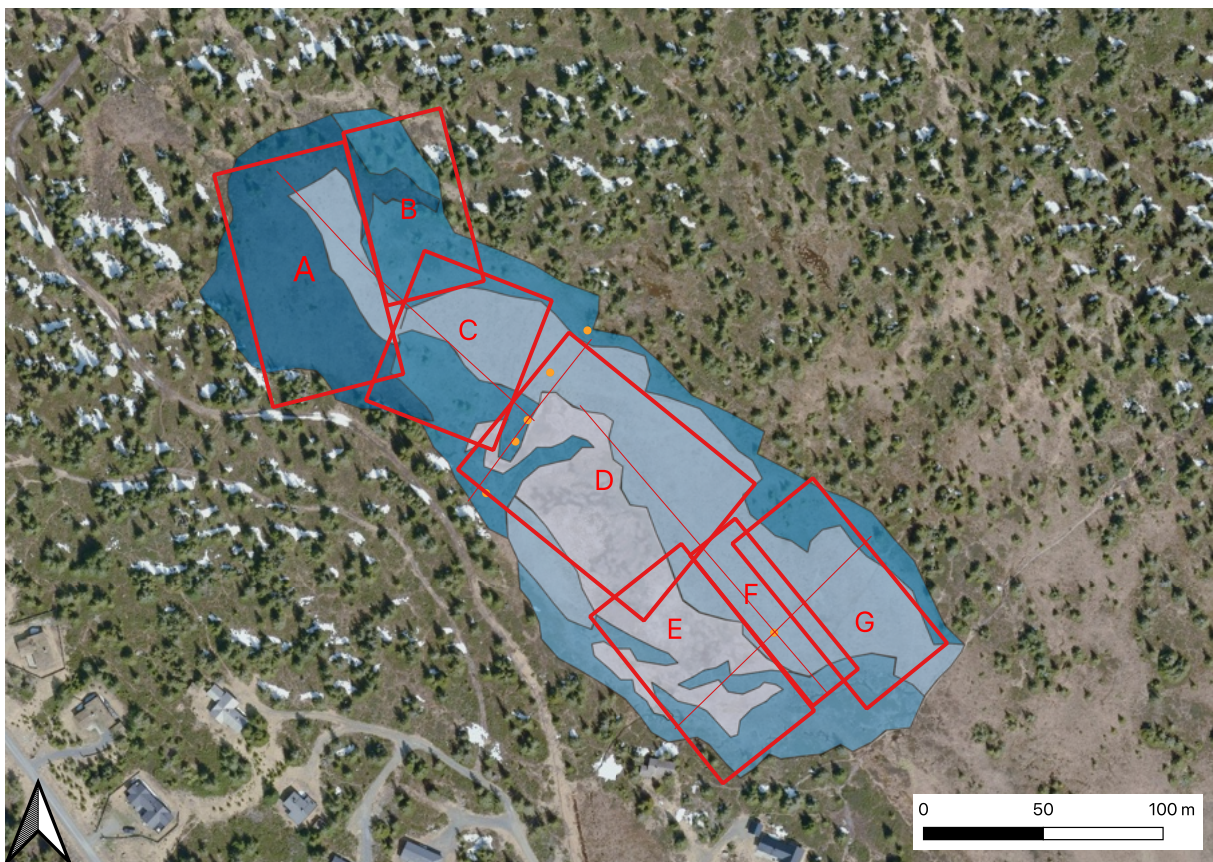
2.6 Arealberegning

Arealet for hele myra som er kartlagt ble beregnet ved hjelp av shapefile-laget som inneholder naturtypene i QGIS (Open Source Geospatial Foundation, 2023). De ulike polygonene (områdene) i naturtypelaget ble slått sammen til ett polygon ved «løs opp»-funksjonen i Geoprosesseringsverktøy. Omrisset av hele myra ble funnet ved funksjonen «mål linje», der det ble tegnet inn en linje rundt kanten av polygonet. Arealet av myra ble funnet ved å åpne «vis statistikk sammendrag», velge laget med naturtypene og deretter filtrere på arealfeltet som ble laget med feltkalkulatoren. Arealet til hele myra er hentet fra i «sum»-feltet i statistikk Tabellen.

2.7 Volumberegning

Til å beregne hvor mye karbon som er lagret i en myr er det nødvendig å vite dybden (Jaenicke et al., 2008). Georadarprofilene ble brukt til å lage forenklede modeller av dybden i ulike områder av myra. Modellene består av bokser som representerer ulike områder med ulik dybde. Eksempelvis er det et skille fra omtrent 50-65 meter inn i georadarprofilen til Line02.

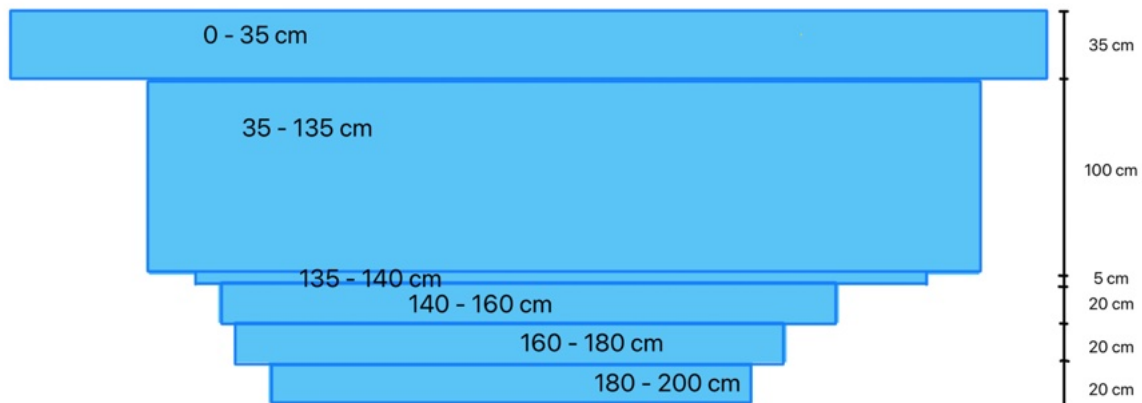
Dybden her er 36 cm målt med myrspyd. Boks A ble tegnet inn slik at den representerer det nordre bassenget som har en gjennomsnittsdypde på 1,4 meter, og krysser Line02 etter ca 50 meter. Videre befinner boks B seg i det grunne området på GPR-transektet, og representerer en gjennomsnittlig dypde på 35 cm. Boks C strekker seg fra 65-135 meter i georadartransektet der gjennomsnittsdypden er omtrent 1,6 meter. Altså er både lengden og posisjon på georadarprofilene og kontrollmålinger med myrspyd hensyntatt i dybdeberegningene. Volumet er bare beregnet for de øverste to meterne siden georadarsignalet ikke nådde dypere enn dette.



Figur 17: Boksene som er brukt til volumberegningen av myra. Boksene er plassert med hensyn til avstanden inn i georadartransektene og dybden.

Boksene ble tegnet inn i QGIS (Open Source Geospatial Foundation, 2023) for at arealet til hver boks skal kunne hentes ut nøyaktig (figur 17). Funksjonen «mål linje» ble brukt til å få riktig plassering av boksene med hensyn til avstanden i GPR-transektene. Arealet til hver boks og det samlede arealet til boksene ble hentet ut ved hjelp av statistikksammendraget som beskrevet i arealberegningene. For volumet for det øverste laget er arealet til hele myra som kommer frem av naturtypekartleggingen brukt i beregningen. De resterende dybdelagene er

beregnet for boksene i figur 17. Figur 18 viser hvordan dybdelaget er delt opp. De videre utregningene ble gjort i Microsoft Excel (Microsoft, 2024). Volumet ble først regnet ut enkeltvis for hvert lag, ved å gange tykkelsen på laget (m) med summen av arealet (m²) til boksene med den bestemte dybden. Volumet av alle lagene ble lagt sammen til slutt. Tabell 1 viser hvordan volumet av de ulike dybdelagene til myra er beregnet.



Figur 118: Prinsippskisse over dybdelagene. Skissen er kun til illustrasjon og representerer ingen av boksene.

Tabell 1: Volumutregning for de ulike dybdelagene i myra.

Dybde (m)	Volum (m ³)
0-0,35	$0,35 * A_{total}$
0,35-1,35	$1 * (A_A + A_C + A_D + A_E + A_F + A_G)$
1,35-1,4	$0,05 * (A_A + A_C + A_D + A_E + A_G)$
1,4-1,6	$0,02 * (A_C + A_D + A_E + A_G)$
1,6-1,8	$0,02 * (A_D + A_E + A_G)$
1,8-2,0	$0,02 * (A_D + A_G)$

2.8 Beregning av karboninnhold

Karboninnholdet i myra kan beregnes ved det estimerte volumet, karboninnhold i % og tettheten (Jaenicke et al., 2008). Dette ble gjort ved hjelp av likningen fra Robertson et al. (1999) omarbeidet av Akumu og McLaughlin (2013).

$$\text{Karboninnhold} \left(\text{kg} \frac{\text{C}}{\text{m}^2} \right) = C * \rho * MD ,$$

Der:

C = karbonkonsentrasjonen (kg/100 kg = %)

ρ = tetthet ($\text{g}/\text{cm}^3 = 1000 \text{ kg}/\text{m}^3$)

MD = myrddybde (m)

Karboninnholdet er beregnet for de øverste 150 cm, og delt inn i tre ulike lag. De prøvene som havnet mellom to lag, ble inkludert i laget den hadde størsteparten av tyngden sin i. For hvert lag er den gjennomsnittlige tettheten og karbonkonsentrasjonen regnet ut.

For å finne hvor mye karbon som er lagret totalt i hvert lag ble myrddybden i likningen over byttet ut med volumet for de respektive lagene. For å regne ut CO_2 -ekvivalenter er forholdstallet mellom den molekylære vekta til karbondioksid og karbon ganget med karboninnholdet, 3,67 (Bartlett et al., 2020).

2.9 Statistikk

Alle prøveresultatene ble lagt inn i Excel og importert til RStudio. For fargemålingene gjort med Nix Pro 2 ble csv-fila importert direkte inn i RStudio, der den ble slått sammen med de andre prøveresultatene. Korrelasjonsanalysene er gjort med «cor.test» i RStudio. Denne utfører en Pearson-test. For analysene er det brukt et signifikansnivå på 0,05. Det er også utført en lineær regresjonsanalyse for flere av korrelasjonene ved «lm»-funksjonen. I analysene er de overlappende kjernene H1-05 og H1-06 utelatt. Visualisering av resultatene er gjort i RStudio. Karbonberegningene ble gjort i RStudio der gjennomsnittet, standardavviket

for tetthet og totalt karboninnhold til hvert lag ble funnet og brukt til å beregne standardfeil og konfidensintervall.

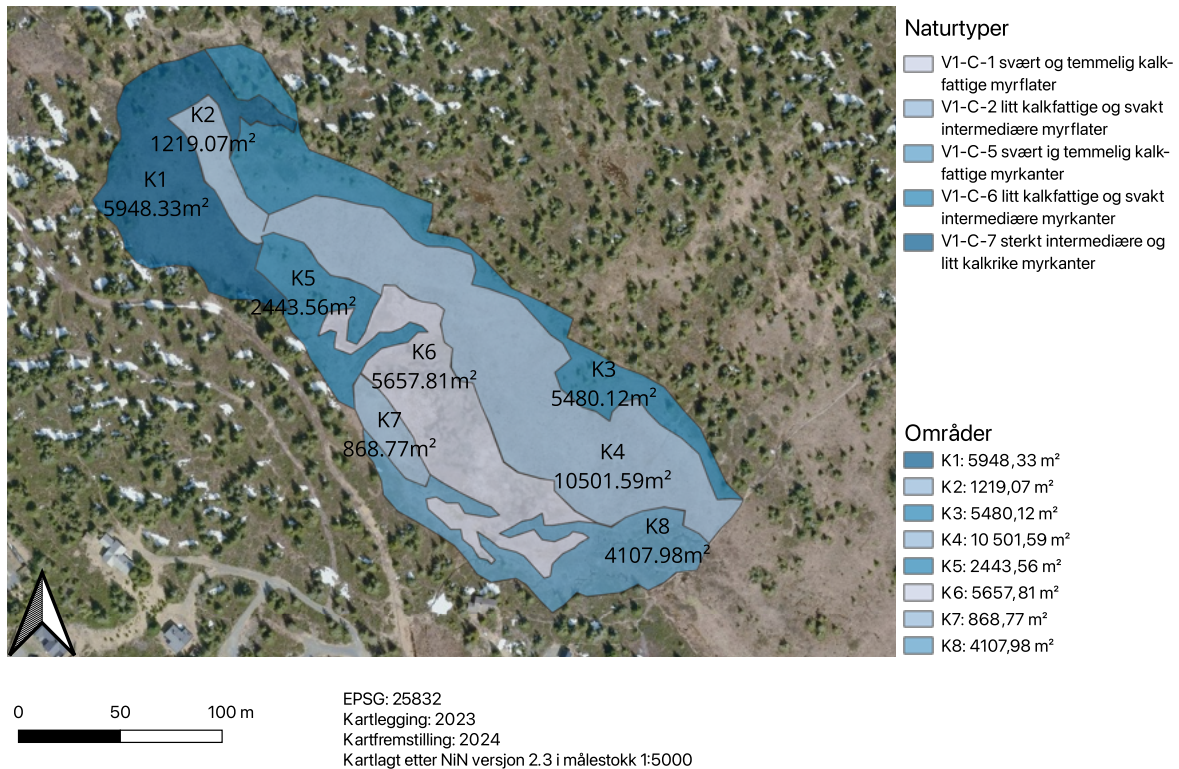
3 Resultater

3.1 Naturtypekartlegging

Heståsmyra nordvest er kartlagt som hovedtypen åpen jordvannsmyr (V1). Jordvannsmyr blir også kalt minerotrof myr. Det vil si at den får tilført næring både fra nedbør men også fra jordvann som har vært i kontakt med mineraljord (Clymo, 1987). Dette skiller den fra nedbørsmyrer som bare får tilført næring gjennom nedbør. Midten av myra er åpen uten noen trær. Stedvis langs myrkantene er det enkeltstående trær, noen over 2 meter, men de utgjør ikke en kronedekning på over 10 % som er skogdefinisjonen til hovedtypen V2 Myr og sumpskogsmark.

Myrvegetasjonen domineres av torvmose. Tilstedeværelsen av flere jordvannsindikatorer som duskull (*Eriophorum angustifolium*), sveltstarr (*Carex pauciflora*), flaskestarr (*Carex rostrata*) og tvaretorvmose (*Sphagnum russowii*) var også svært avgjørende. I tillegg var blåbær (*Vaccinium myrtillus*), røsslyng (*Calluna vulgaris*), dvergbjørk (*Betula nana*), multe (*Rubus chamaemorus*), småtranebær (*Oxycoccus microcarpus*), tyttebær (*Vaccinium vitis-idaea*), krekling (*Empetrum nigrum*) og torvmyrull (*Eriophorum vaginatum*) vanlige innslag i flere steder myra.

Videre er myra kartlagt til fem forskjellige kartleggingsenheter, basert på miljøvariablene KA kalkinnhold og MF myrflatepreg (figur 19). De fem grunntypene er V1-C-1 svært og temmelig kalkfattige myrflater, V1-C-2 litt kalkfattige og svakt intermediaære myrflater, V1-C-5 svært og temmelig kalkfattige myrkanter, V1-C-6 litt kalkfattige og svakt intermediaære myrkanter og V1-C-7 sterkt intermediaære og litt kalkrike myrkanter.



Figur 19: Resultat av NiN-kartleggingen for myra.

Område K1 befinner seg i den nordvestre delen av myra med et areal på 5948,33 m². K1 er kartlagt som V1-C-7. Dette området skilte seg klart fra resten av myra, med vierkratt og rikere vegetasjon med flere ulike arter enn de andre områdene. Særlig piperensermose (*Paludella squarrosa*) og stor myrflol (*Viola epipsila*) som er absolutte skillearter for miljøvariabelen kalkinnhold var avgjørende for kartleggingen i denne delen.

Område K2 er kartlagt som V1-C-2 med et areal på 1219,07 m². Denne delen av myra skiller seg klart fra myrkanten i område K2, ved at det er mye lavere vegetasjon og mer åpent. Tilstedeværelsen av bjørneskjegg (*Trichophorum cespitosum*) tilsier at dette er en myrflate og ikke myrkant.

Område K3 strekker seg langs hele nordkanten av myra og er kartlagt som V1-C-6. Det samlede arealet er 5480,12 m². Arten tepperot (*Potentilla erecta*) ble funnet her, noe som antyder et litt høyere kalknivå enn det vi finner i område K5.

Område K4 dekker store deler av midten av myra, og har det største arealet med 10 501,59 m². Dette området er kartlagt som V1-C-2, altså samme som K2. De to områdene er imidlertid ikke hele like da K4 har et mindre innslag av tuer enn det K2 har.

Område K5 er kartlagt som V1-C-6 og dekker et areal på 2443,56 m². Den skiller seg klart fra de omkringliggende områdene med myrflatepreg (K4, K6 og K7). Det er tørrere og mer innslag av lyngarter her.

Område K6 er et svært fuktig område med åpent vann flere steder. Det er kartlagt som V1-C1 med et areal på 5657,81 m². Vegetasjonen i dette området besto av omtrent bare torvmoser, sveltstarr og flaskestarr.

Område K7 er et lite område kartlagt som V1-C-2 og ligger inntil K6. Det dekker et areal på 868,77 m². Dette området er svært likt K4 både med tanke på utseendet og artssammensetningen.

Område K8 befinner seg langs sørkanten av myra og er kartlagt som V1-C-5. Det har et areal på 4107,98 m² og domineres av tuer. Denne delen er klart tørrere enn de omkringliggende K4 og K6.

3.2 Georadar

Den langsgående georadarmålingen har en total lengde på omtrent 305 meter. Line03 har en lengde på rundt 87 meter. Line05 har en lengde på 115 meter. Til sammen er det georadarmålinger på omtrent 507 meter.

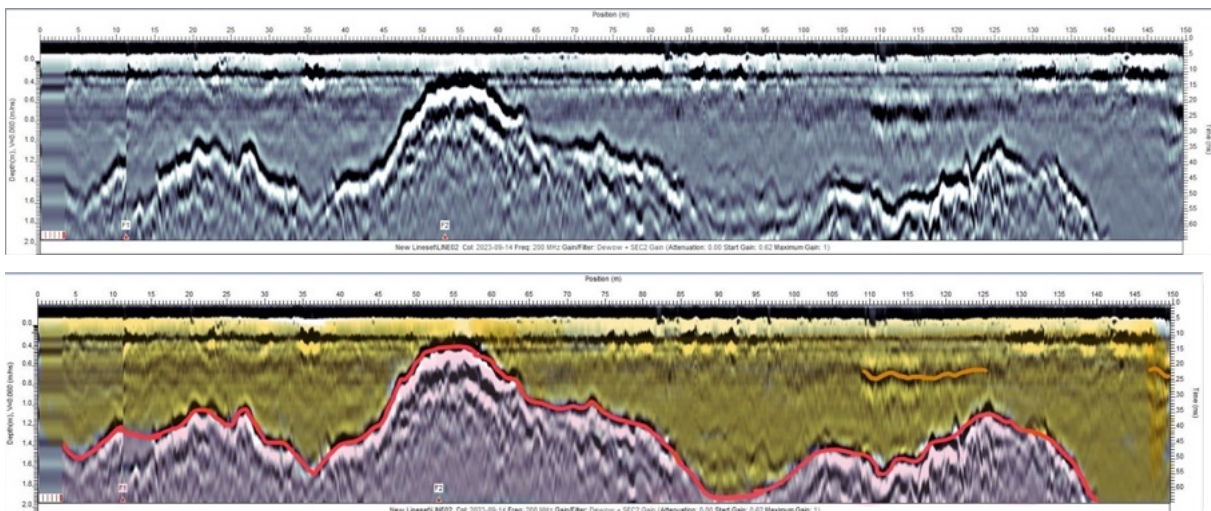
Georadarprofilene viser dybden i meter med en hastighet på 0,60 m/ns langs den venstre y-aksen. Den høyre y-aksen viser dybde med tiden (ns), altså toveis-gangtid. På x-aksen er avstanden/distansen fra startpunktet i meter vist. De langsgående målingene er presentert fra nordvest mot sørøst, mens tverrmålingene er presentert fra sørvest mot nordøst.

På alle georadarprofilene kommer det klart frem en tydelig reflektor. Reflektoren er markert med rød strek i tolkningen av profilene. Dette er tolket som overgangen mellom torv og

underliggende lag og dermed bunnen av myra. Bunnen av myra er markert med rød strek (figurer 20, 21, 22 og 24). Over den sterke reflektoren er det flere svakere reflektorer som er synlig med et mer eller mindre parallelt refleksjonsmønster. Dette er tolket som intern lagstruktur i myra og er markert med oransje strek i tolkningene. I den interne lagstrukturen er det en reflektor som er særlig sterk i forhold til de andre. Den ligger på rundt 75 cm dyp og er mer eller mindre synlig i alle profilene.

Georadarsignalet nådde ikke dypere enn 1,97 meter i noen av profilene. Der myra er dypere enn to meter er altså ikke bunnen synlig på georadarprofilene, og den totale dybden ukjent.

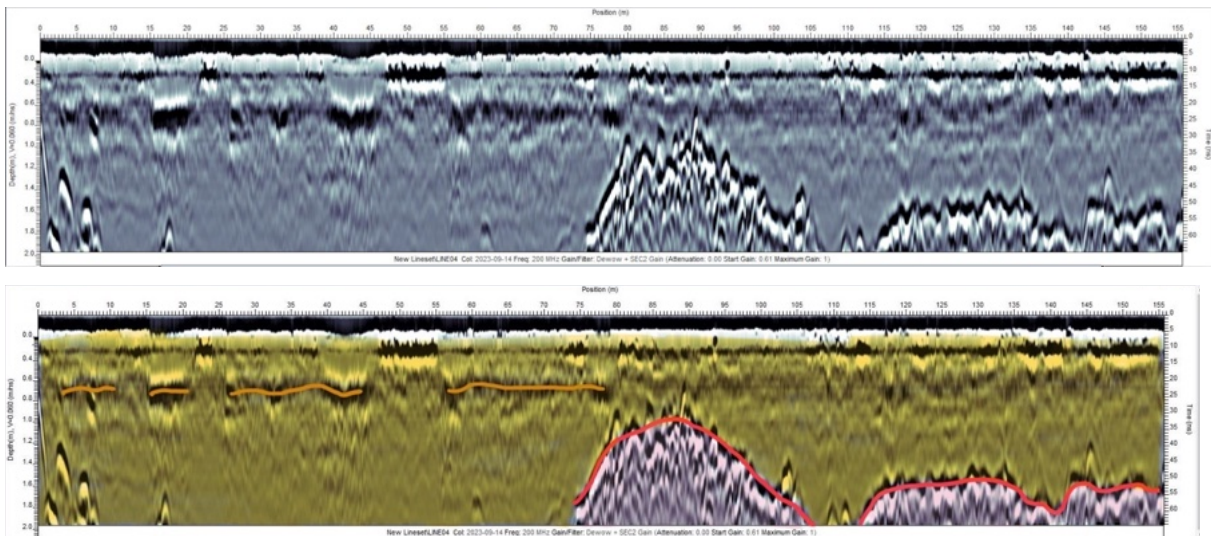
Den første delen av det langsgående profilet (Line02) har en lengde på 150 meter (figur 20). Det som er tolket som bunnen av myra kommer godt frem. Etter 13 meter er det en tydelig forstyrrelse i signalet. Dette er samme stedet som F1 som markerer at georadaren ble flyttet 2-3 meter sørover på grunn ujevnheter i bakken. Den første delen av myra ser ut til å ha en dybde på rundt 1,4 meter. Ved 50-65 meter inn i målingen er myra bare 35 cm dyp. Markeringen F2 ligger i dette området, og her ble dybden målt til 36 cm med myrspyd. Myra blir så dypere igjen med en gjennomsnittsdypde på 1,6 meter, før dybden øker ytterligere 135 meter inn i målingen. På slutten av georadaropptaket er myra dypere enn to meter.



Figur 20: Georadarprofilen Line02 med tolkning under. Den røde streken markerer myrbunnen. Den oransje streken viser den interne lagstrukturen. Det gule illustrerer myr, og det rosa er tolket som morene.

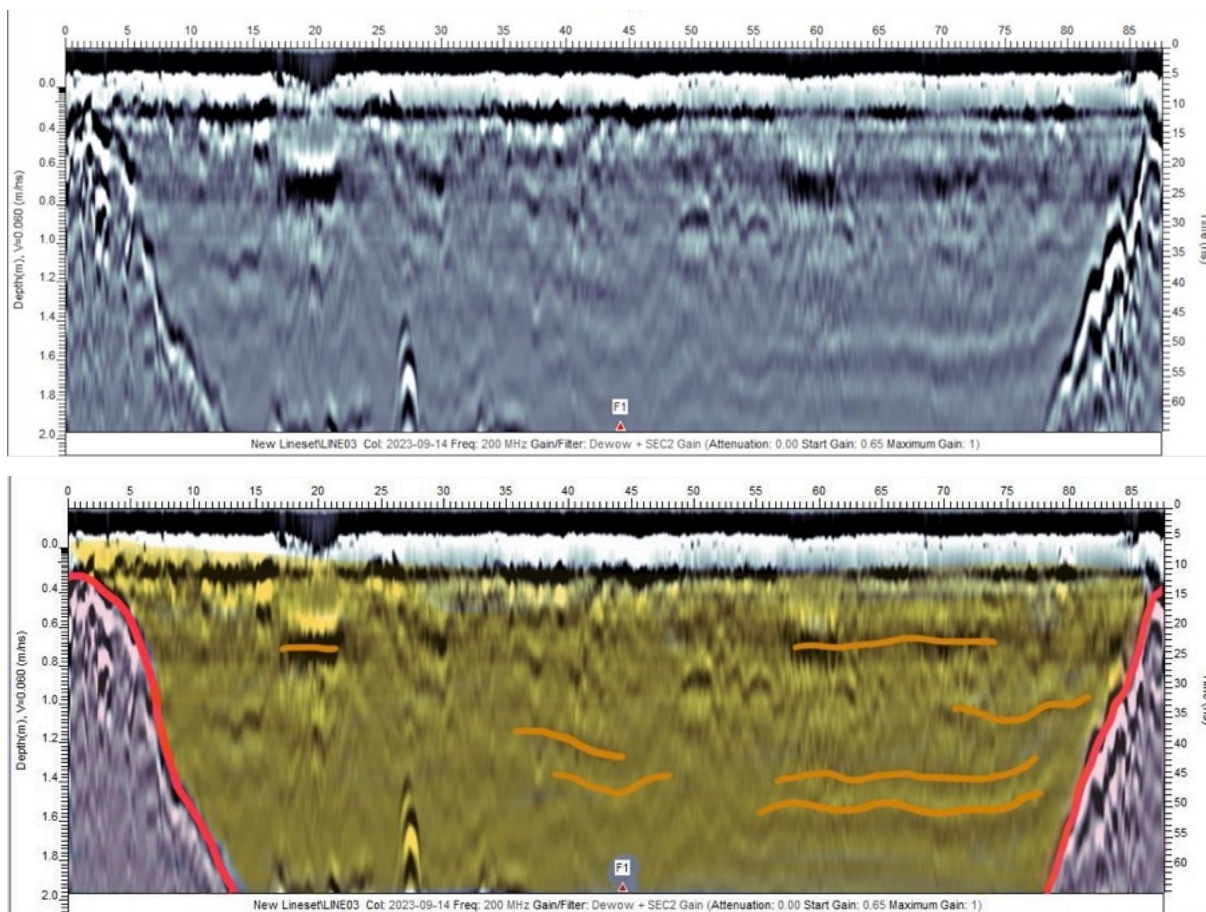
Lengdesnittet fortsetter med Line04 som har en total lengde på 155 meter (figur 21). Bunnen av myra blir først synlig 75 meter inn i målingen. Reflektoren stiger til omtrent 1 meters dyp,

før den synker igjen ved 100 meter. Dybden av myra er omtrent 1,8 meter ut målingen. Ved slutten av Line04 ble dybden målt til 1,15 meter med myrspyd, og ytterligere 2 meter SØ ble den målt til 80 cm. interne laget i myra som danner den sterke reflektoren er mest synlig i den midtre delen av lengdesnittet. Det ser ikke ut til at det nordre bassenget har et slikt lag (figur 20). I den søndre delen etter 80-90 meter inn i Line04 er reflektoren heller ikke like sterk.



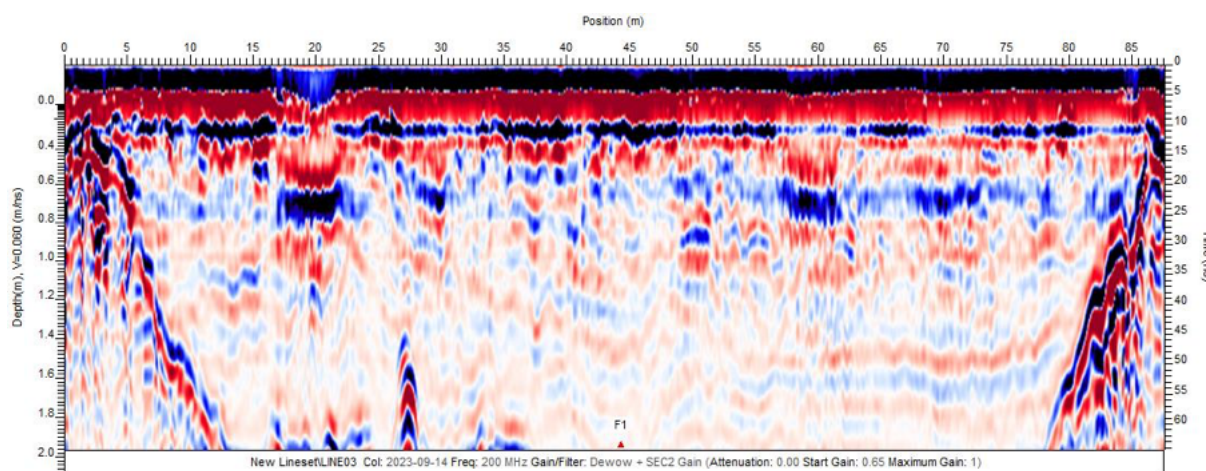
Figur 21: Georadarprofilen Line04 med tolkning under. Den røde streken markerer myrbunnen. Den oransje streken viser den interne lagstrukturen. Det gule illustrerer myr, og det rosa er tolket som morene.

I det nordre tverrtransektet (figur 22) er reflektoren bare synlig på hver side. Opptaket startet og sluttet i hver sin kant av myra. Ved startpunktet ble dybden målt til 15 cm med myrspyd. Det er grunt i starten, men dybden øker raskt. Etter 13 meter forsvinner reflektoren og dukker opp igjen 78 meter inn i målingen. Omtrent midt i transektet i punktet markert F1 krysser Line03 lengdetransektet Line02. Her ble dybden målt til mer enn 1,2 meter med myrspyd. Krysningpunktet mellom Line02 og Line03 er helt i slutten av opptaket Line02 der myradybden er mer enn 2 meter. Ved georadarmålingens slutt ble dybden av myra målt til 40 cm, og 2 meter før sluttpunktet ble den målt til 70 cm med myrspydet.



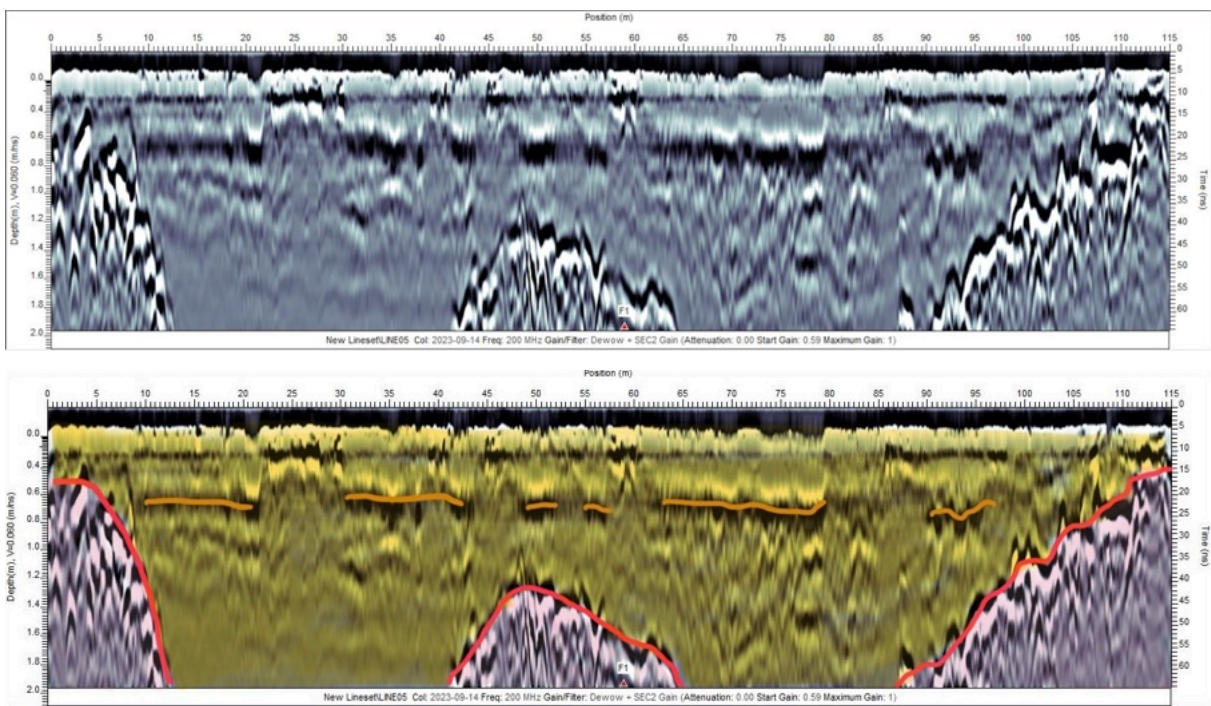
Figur 22: Georadarprofilen Line03 med tolkning under. Den røde streken markerer myrbunnen. Den oransje streken viser den interne lagstrukturen. Det gule illustrerer myr, og det rosa er tolket som morene.

Den interne lagstrukturen er godt synlig i dette transektet (figur 22 og 23). Laget som ligger rundt 75 cm dyp er også synlig her, og sees godt rundt 20, 60 og 70 meter inn i målingen.



Figur 123: Georadarprofilen Line03. Den interne lagstrukturen kommer godt fram i seismisk visning.

I det søndre tverrtransektet er den sterke reflektoren som markerer bunnen av myra godt synlig (figur 24). Etter 12 meter er ikke bunnen av myra synlig. Ved start ble myra målt til å være 30 cm dyp med myrspyd. Etter 11 meter er ikke bunnen synlig på georadarprofilen. Etter 40 meter inn i opptaket blir myra litt grunnere i 20 meter, der dybden ser ut til å være omtrent 1,35 meter. Myra blir så dypere enn to meter igjen, før den gradvis blir grunnere mot slutten av opptaket og kanten av myra. Ved slutt punktet er dybden målt til 50 cm med myrspyd. Punktet F1 i georadarprofilen til Line05 markerer kryssningspunktet med Line04. I dette punktet ble dybden målt til mer enn 1,2 meter med myrspyd. Det interne laget på rundt 75 cm dyp er mest sammenhengende og best synlig i dette transektet.



Figur 24: Georadarprofilen Line05 med tolkning under. Den røde streken markerer myrbunnen. De oransje strekene viser den interne lagstrukturen. Det gule illustrerer myr, og det rosa er tolket som morene.

3.3 Myrkjerner

Beskrivelse av myrkjernene er hovedsakelig basert på feltbilder og notater underveis. Forskjellene i farge var svært lite synlig da prøvene ble pakket opp for analyser og er lite synlig på bilder tatt under laboratoriearbeidet.

Kjerne H1 har mye torv og lite omdannet materiale i de øverste 20 cm. I felt er jorda nokså svart ved 23-30 cm dyp, før den blir mer rødbrun igjen. Etter 40 cm kan det skimtes en endring i omdanningsgrad, og etter 60 cm er det organiske materialet enda mer omdannet. Rundt 50-60 cm dyp ser det ut til å være noen røde flekker. Fra 65-75 cm er jorda enda mer kompakt.

Kjerne H2 har mye torvmoser de første 13 cm, og lyst, lite omdannet materiale videre ned til ca 35 cm dyp. Jorda blir deretter mørkere og det organiske materialet blir mindre synlig. Fra 50 cm dyp er jorda mer pakket og flere røde flekker blir synlige dypere ned, spesielt mellom 90-100 cm. Jorda har en mørkere farge mellom 110-120 cm, før det igjen blir mye synlige røde flekker (figur 25).



Figur 25: Kjerne H2 100-150 cm. Det er synlige røde flekker nederst i kjernen.

Kjerne H3 har omtrent 20 cm med torvmoser og svært lite omdannet materiale på toppen. Videre er jorda rødbrun ned til 45 cm. De siste 5 cm er det en klar fargeforskjell da jorda er mye svartere (figur 26).



Figur 26: Kjerne H3 0-50 cm. Det er mye torvmoser i toppen. De nederste 5 cm er det en tydelig fargeforskjell med overgang til svart jord.

Kjerne H4 har mye torvmoser de øverste 10 cm. Fra 10-30 cm er prøven veldig tynn og har lite materiale. Den blir litt fastere fra 30-40 cm, før den blir løsere igjen. Det er lite omdannet materiale gjennom hele kjernen.

Kjerne H5 er en svært våt prøve med lite materiale i toppen. De første 16 cm er nesten litt gulgrønnaktig. Fra 16 cm blir prøven fastere og etter 30 cm er jorda rødbrun.

Kjerne H6 er hentet i myrkanten og er ikke like bløt som de andre. De første 15-20 cm består av lite omdannede torvmoser. Det er et litt mørkere parti ved 25 cm. Fra 27-34 cm er jorda rødbrun, før den igjen blir mørkere. Ved 47 cm sees et litt lysere lag.

Fargemålinger med Munsell er presentert i tabell 2. Noen prøver har to fargeregistreringer for tørr farge. Årsaken er for å lettere kunne sammenlikne de i analysene. Fargen som står først er den mest korrekte.

Tabell 2: Resultatet av fargemålinger med Munsell fargekart for alle prøvene.

Prøvenavn	Dybde (cm)	Våt farge Munsell 10YR	Tørr farge Munsell
H1-01	0-10	4/3	6/4
H1-02	10-17	3/3	5/4
H1-03	17-38	3/2	3/6
H1-04	38-50	2/2	3/4
H1-05	25-38,5	2/2	3/6
H1-06	38,5-58	2/2	3/3
H1-07	58-67,5	2/1	3/3
H1-08	67,5-75	2/1	3/2
H2-01	0-12,5	3/3	5/4
H2-02	12,5-21,5	2/2	4/4
H2-03	21,5-38	3/3	4/4
H2-04	38-50	2/2	3/4
H2-05	50-66	2/2	3/3
H2-06	66-87	2/1	2/2
H2-07	87-100	2/1	3/4

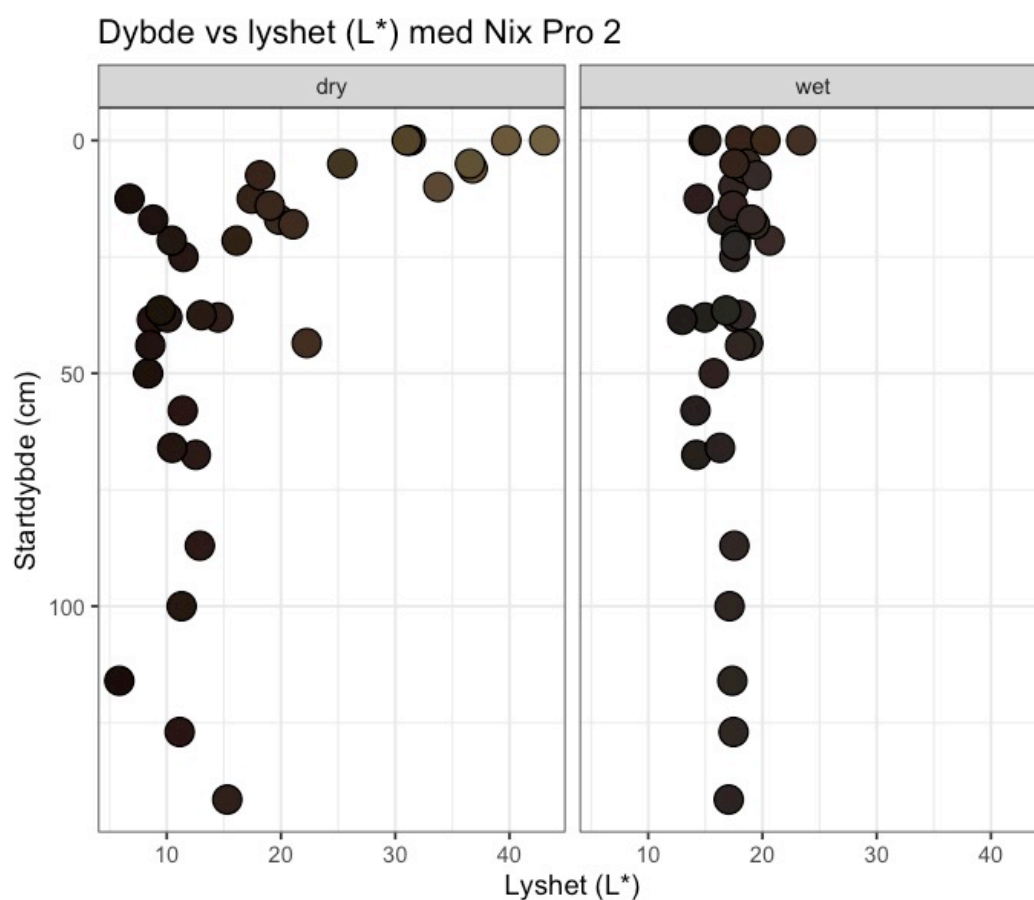
H2-08	100-116	2/1	3/2
H2-09	116-127	2/1	2/2
H2-10	127-141,5	2/1	3/3
H2-11	141,5-150	2/1	3/3
H3-01	0-6	4/3	5Y 6/4 (10YR 7/6)
H3-02	6-18	3/3	6/6
H3-03	18-43,5	3/2	4/3
H3-04	43,5-50	2/1	3/6
H4-01	0-5	4/3	5Y 8/6 (10YR 7/6)
H4-02	5-14	3/3	6/6
H4-03	14-21,5	3/2	3/4
H4-04	21,5-37,5	2/2	3/3
H4-05	37,5-50	2/1	2/2
H5-01	7,5-22,5	3/2	3/4
H5-02	22,5-36,5	2/1	2/2
H5-03	36,5-50	2/1	2/2
H6-01	0-5	4/4	5Y 7/6 (10YR 7/6)
H6-02	5-17	3/3	6/4
H6-03	17-44	3/2	3/3
H6-04	44-50	2/1	2/2

Det er en statistisk signifikant sammenheng mellom dybden og både metning/pigmentering (chroma) og lyshet (value) for både tørr og våt farge. Der en prøve har to fargeregistreringer er det fargen med hue 10YR som er brukt for å kunne sammenlikne de. Både metning og lyshet synker med økende dybde. Tabell 3 viser korrelasjonen r og p-verdien for farge og dybde.

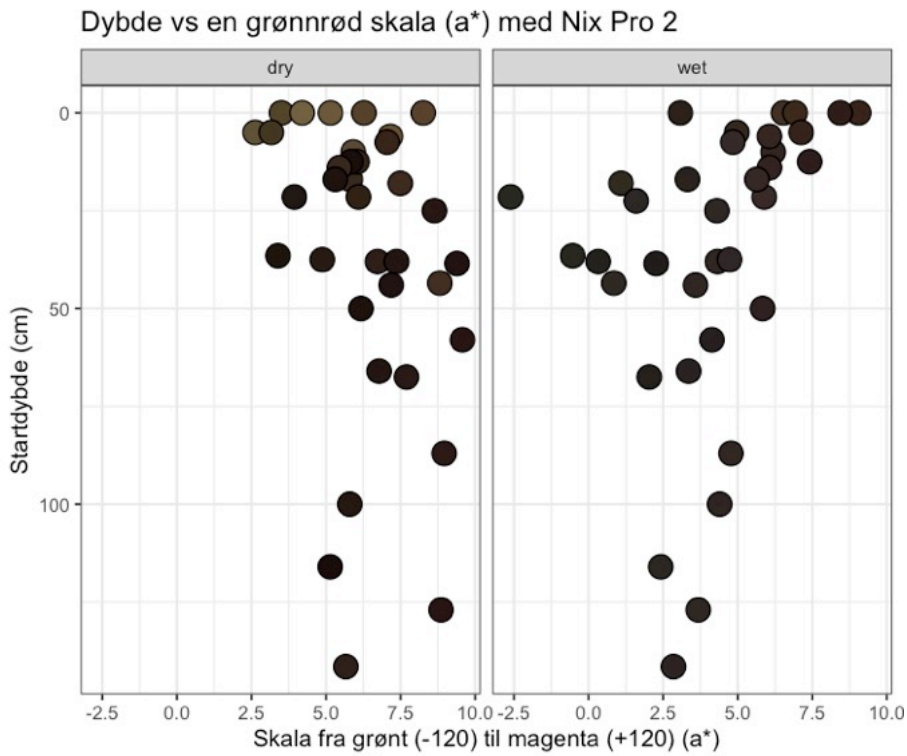
Tabell 3: Korrelasjonen mellom startdybden til kjernene og fargen på prøvene.

Startdybde og ...	Korrelasjonen r	p-verdi
Våt lyshet	-0,6386899	2,698e-09
Våt metning	-0,7464127	1,201e-13
Tørr lyshet	-0,5702816	2,555e-07
Tørr metning	-0,5339296	1,936e-06

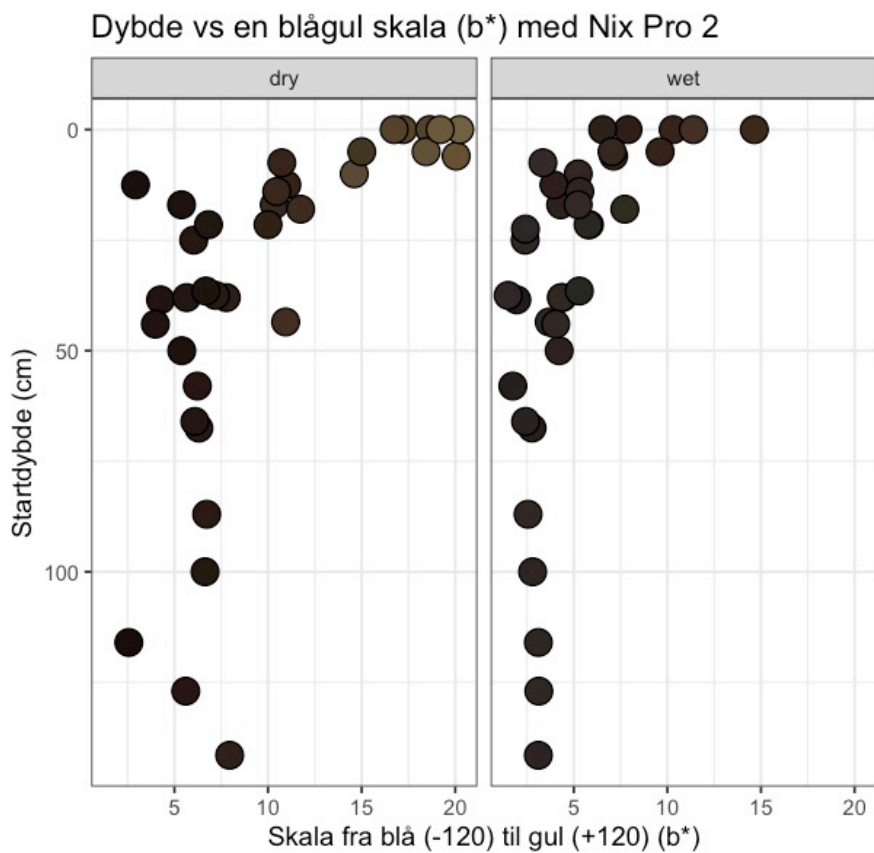
Fargemålingene med Nix Pro er presentert med den sanne fargen til prøvene (figurer 27-29). Det er funnet en negativ korrelasjon mellom lyshet (L^*) for tørr farge og dybde ($r = -0,5627737$, $p\text{-verdi} = 0,0004328$), men det er ikke funnet en sammenheng mellom våt L^* og dybde ($r = -0,2292426$, $p\text{-verdi} = 0,1853$). Det er ikke funnet en sammenheng mellom fargen på en grønnrød skala (a^*) og dybden, verken for våt eller tørr farge. For fargen på en blågul skala (b^*) og dybden er det funnet en negativ korrelasjon for både tørr og våt farge, med henholdsvis $r = -0,6035245$, $p\text{-verdi} = 0,000124$ og $r = -0,5738544$, $p\text{-verdi} = 0,0003131$. Altså blir fargen gulere med minkende dybde.



Figur 27: Plottet viser sammenhengen mellom dybde og lyshet for våt og tørr farge målt med Nix Pro 2.

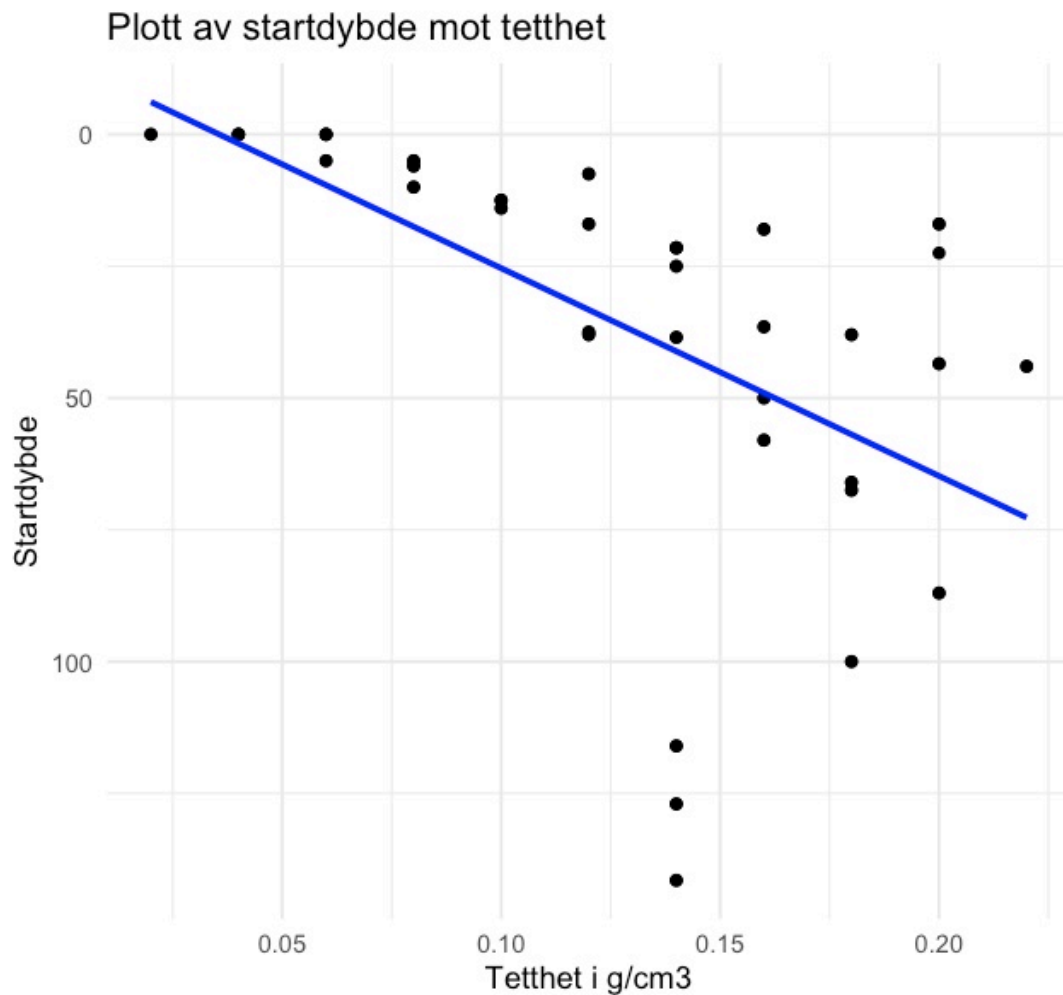


Figur 28: Plottet viser sammenhengen mellom dybde og fargen på grønnrød skala (a*) for våt og tørr farge målt med Nix Pro 2.

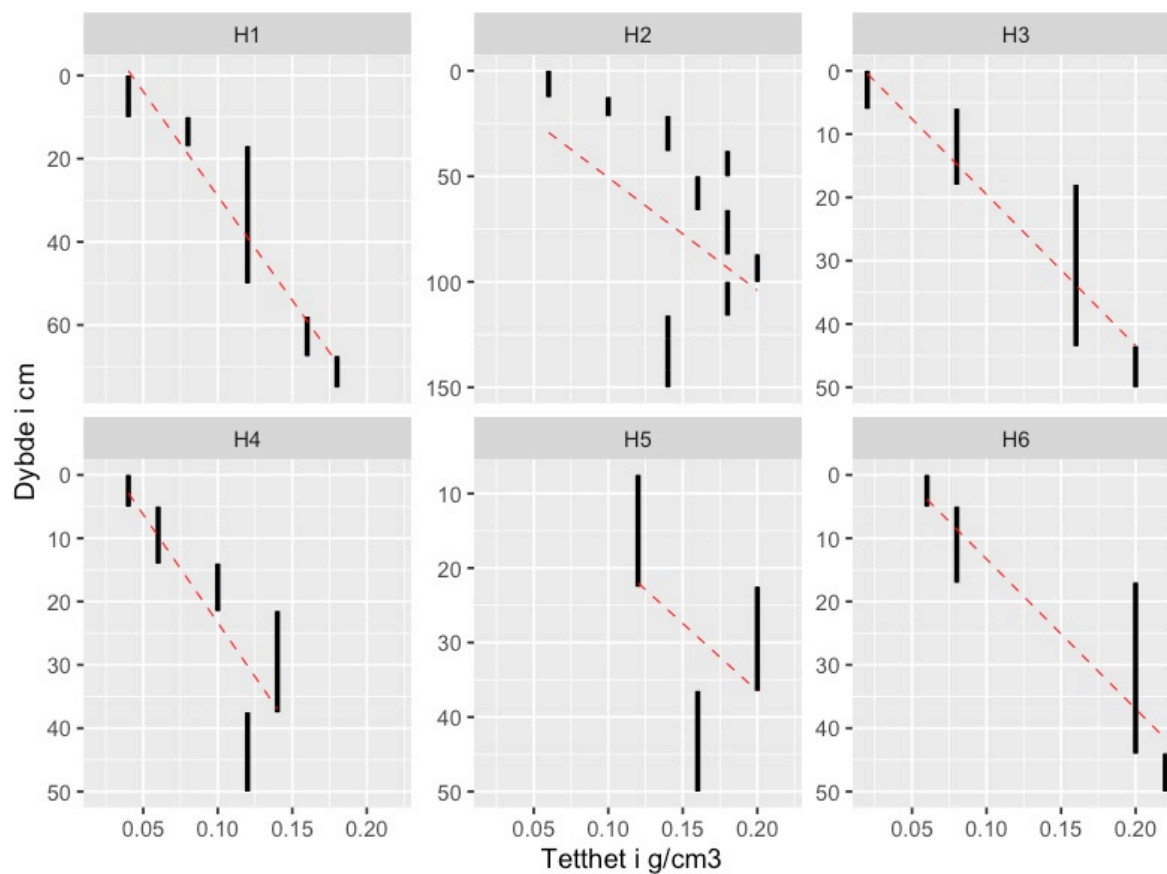


Figur 29: Plottet viser sammenhengen mellom dybde og farge på blågul skala (b*) for våt og tørr farge målt med Nix Pro 2.

Prøvene har en tetthet som varierer fra 0,02 – 0,22 g/cm³. Gjennomsnittsverdien for alle prøvene er 0.13 g/cm³, og medianen er 0,14 g/cm³. Tettheten øker generelt jo dypere en kommer (figur 30), og det er funnet en positiv korrelasjon med r-verdi = 0,542123 og p-verdi = 1,252e-06. Den dypeste prøven i kjernene H2, H4 og H5 har en lavere tetthet enn den overliggende prøven i samme kjerne (figur 31). H5 er den som har høyest gjennomsnittlig tetthet, mens kjerne H4 har den laveste. Kjerne H3 og H6 har størst sprik i tetthetene.



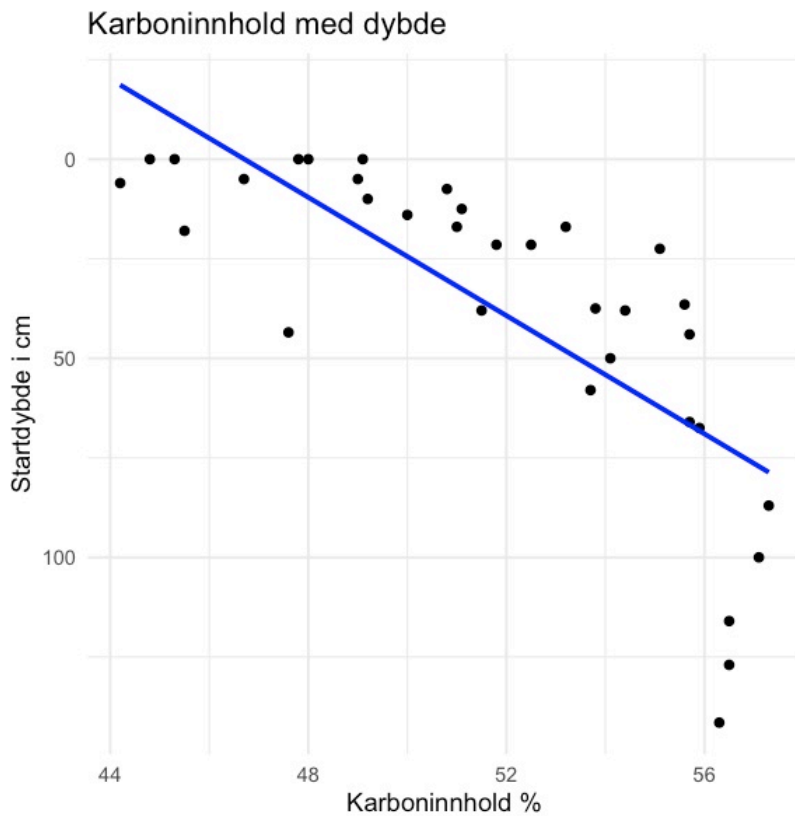
Figur 130: Plott som viser sammenhengen mellom tettheten og dybde. Den blå streken viser den lineære regresjonslinja.



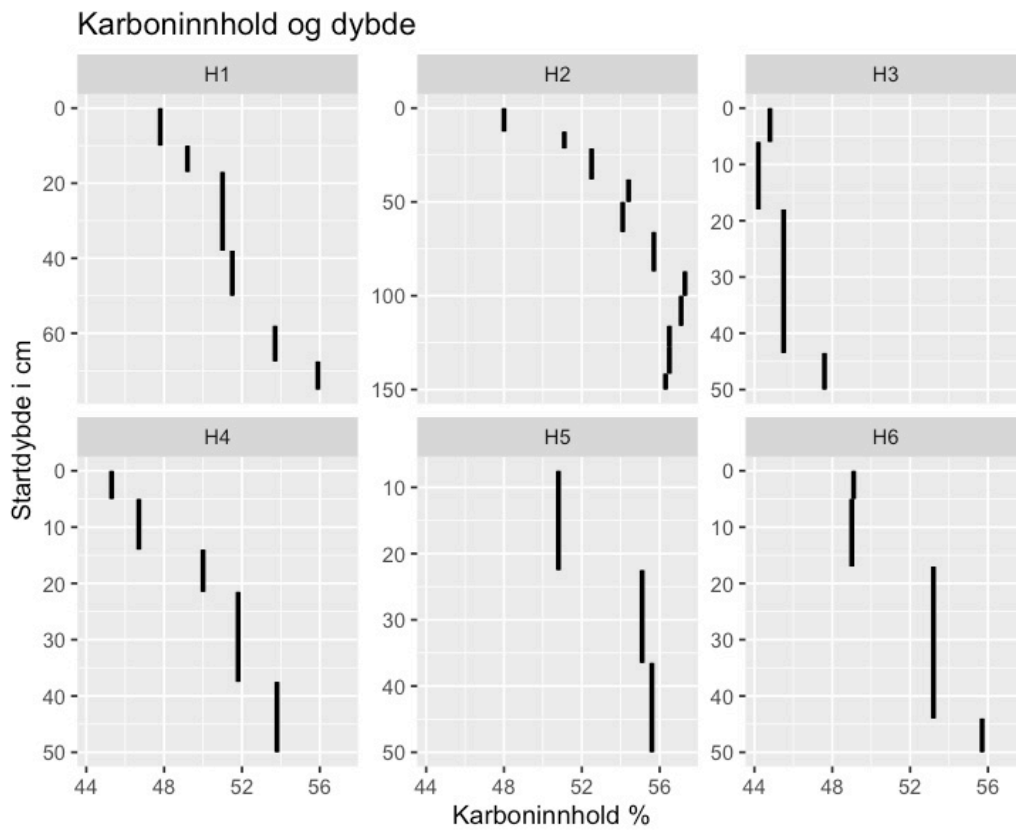
Figur 31: Plottet viser utviklingen av tettheten med dybden for hver myrkkjerne. Den stiplede røde linjen viser trenden.

Karboninnholdet ligger på mellom 44,2 og 57,3 % (figur 32). Gjennomsnittsverdien er 51,72 %, og medianen er 51,8 %. Kjerne H2 har høyest andel karbon, mens kjerne 3 har lavest.

Det er en sterk positiv korrelasjon mellom karboninnhold og dybde ($r = 0,7640499$, $p\text{-verdi} = 1,425e-14$). Karboninnholdet i de ulike kjernene vises i figur 33.

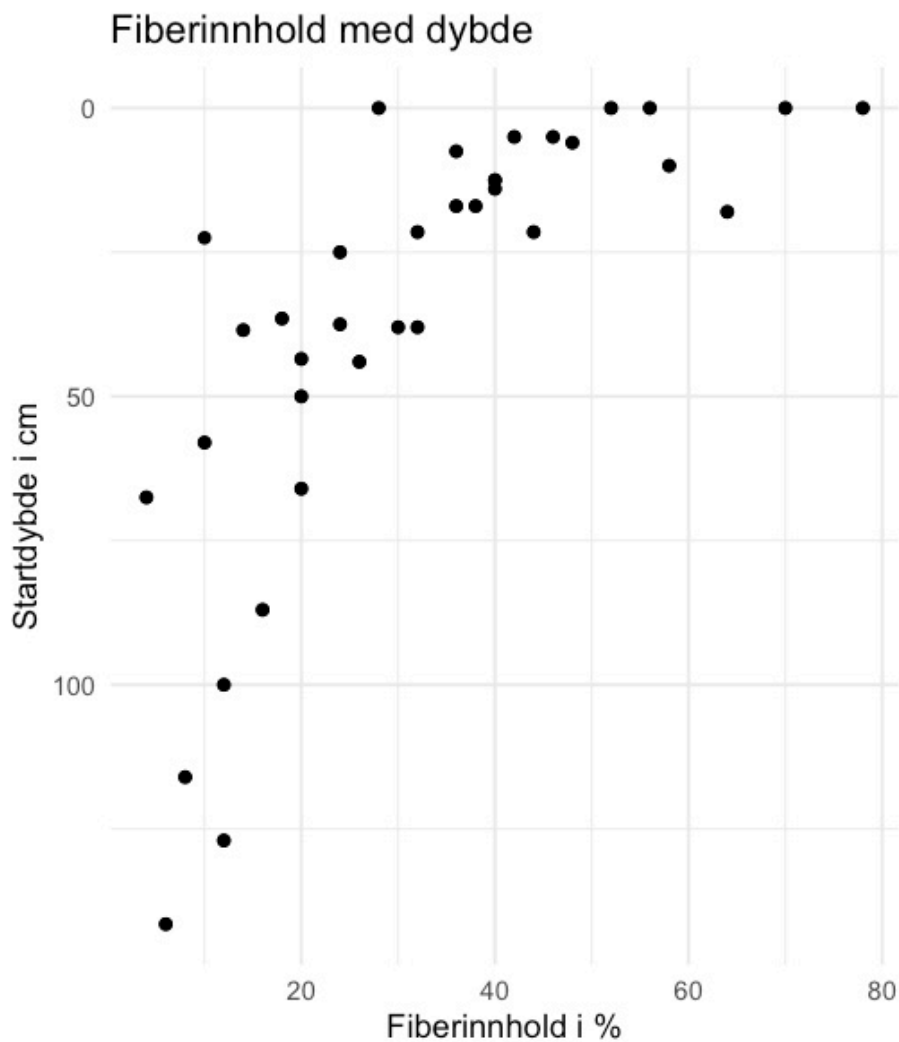


Figur 32: Plott som viser sammenhengen mellom karboninnhold og dybde. Den blå streken viser den lineære regresjonslinja.

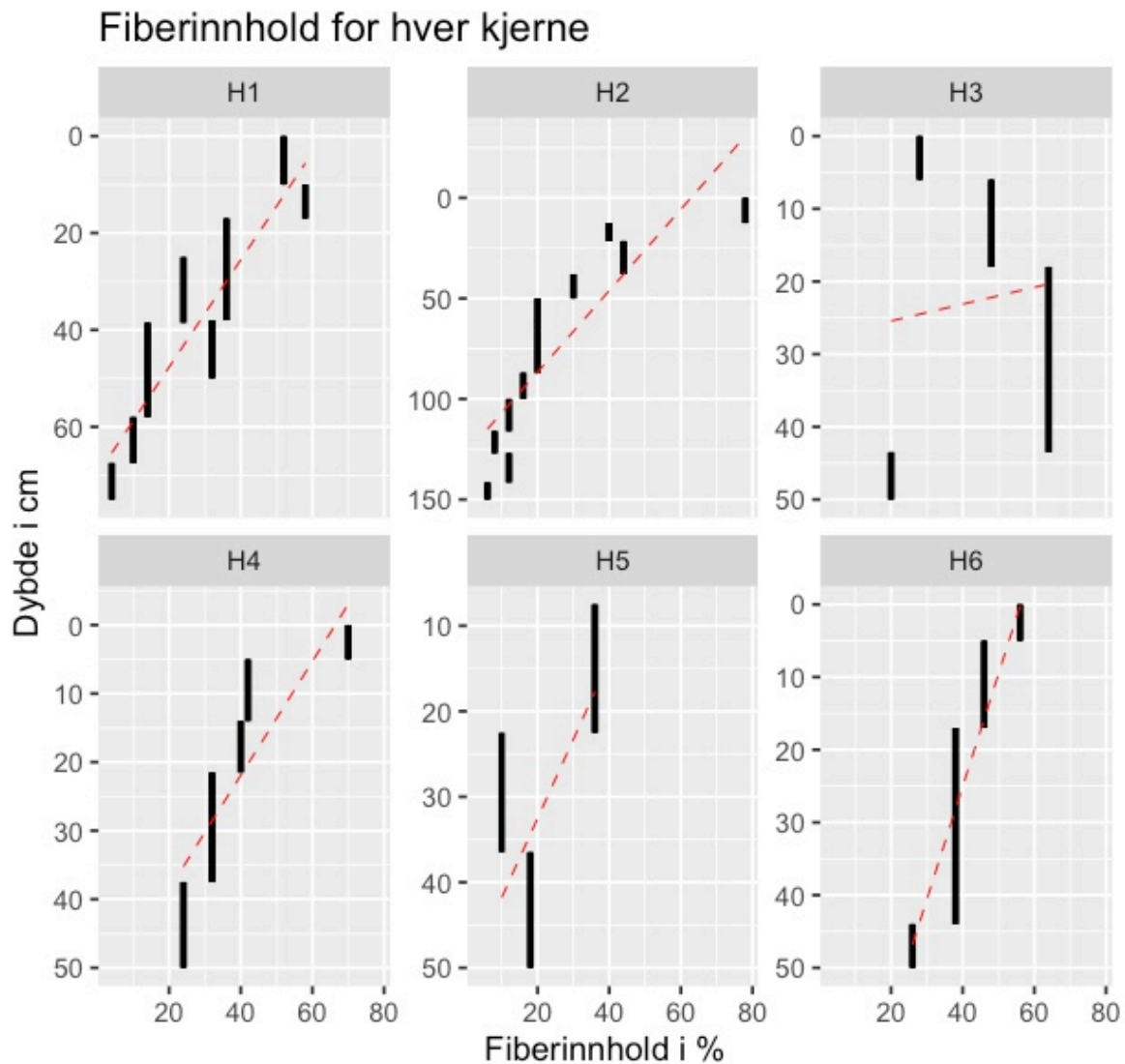


Figur 33: Plottet viser utviklingen av karboninnholdet med dybden for hver myrkerjerne.

Fiberinnholdet i prøvene varierer fra 4-78 % (figur 34). Gjennomsnittet er 32,6 % og medianverdien er 32 %. Prøven med høyest fiberinnhold er topplaget i kjerne H2, mens den dypeste prøven i kjerne H1 har lavest fiberinnhold. Kjerne H5 skiller seg klart fra de andre kjernene med et gjennomsnitt på bare 21,3 % (figur 35). Fiberinnholdet avtar med dybden og det er funnet en sterk negativ korrelasjon med $r = -0,7523944$ og $p\text{-verdi} = 5,948e-14$.

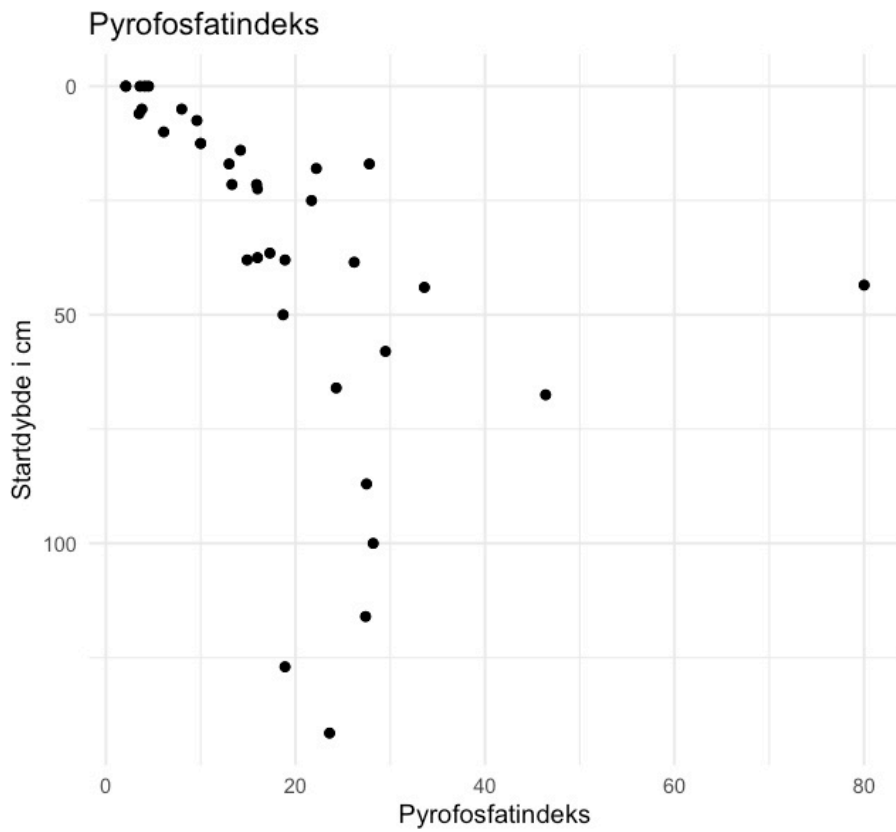


Figur 34: Plott som viser sammenhengen mellom fiberinnhold og dybde.

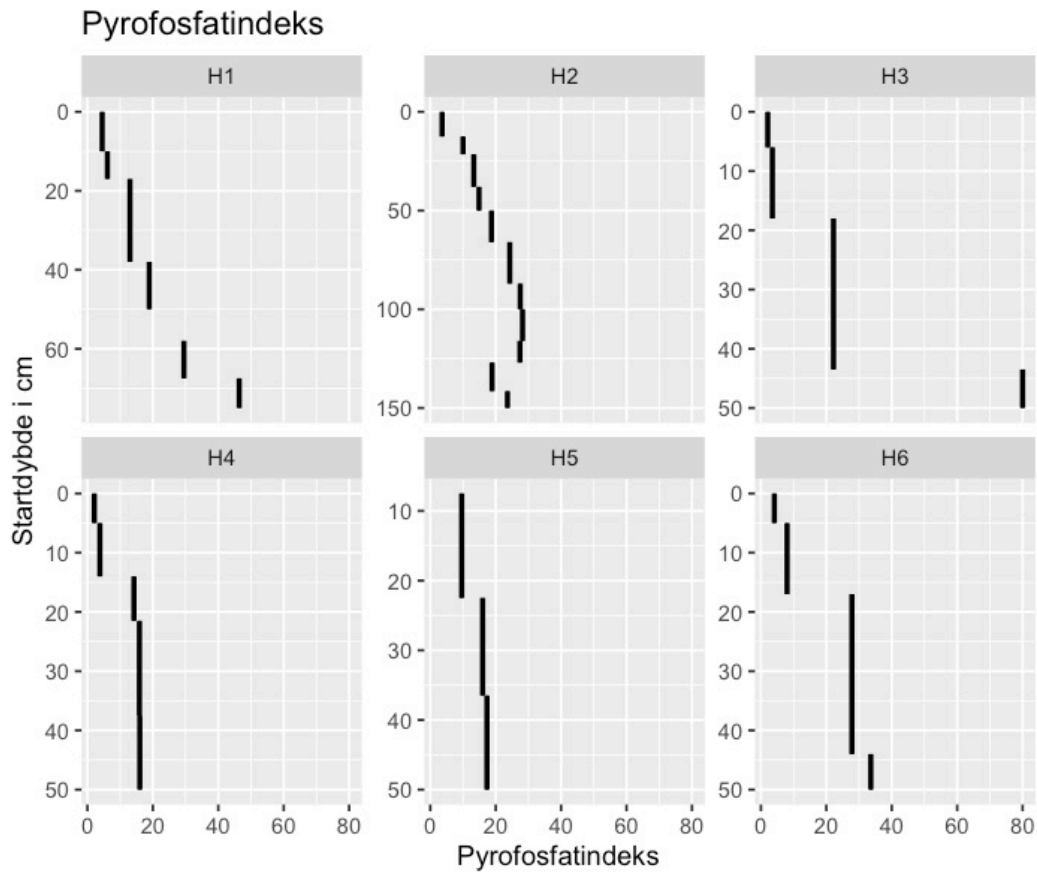


Figur 35: Plottet viser utviklingen av fiberinnholdet med dybden for hver myrkjerne. Den stiplede røde linjen viser trenden.

Resultater for pyrofosfatindeks er presentert i figur 36. Det er funnet en signifikant positiv sammenheng mellom pyrofosfatindeks og dybden ($r = 0,4756219$, $p\text{-verdi} = 3,168e-05$). Altså øker pyrofosfatindeksen jo dypere en kommer. Pyrofosfatindeksen varierer fra 2,1-80, med et gjennomsnitt på 18,33. Den nederste prøven i kjerne H3 skiller seg ut med en verdi på 80 (figur 37). Kjerne H4 har den laveste gjennomsnittsverdien.



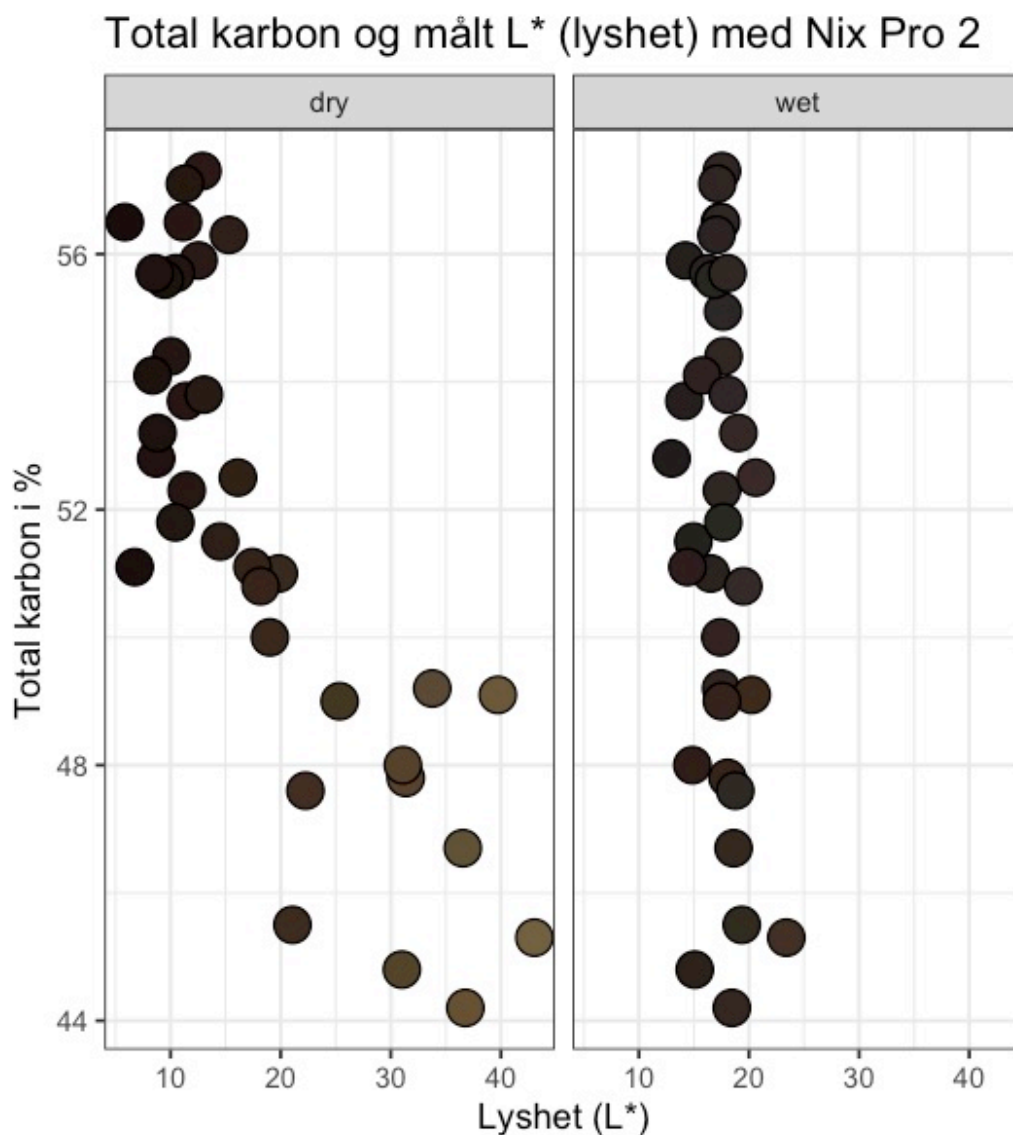
Figur 36: Plott som viser sammenhengen mellom pyrofosfatindeksen og dybde.



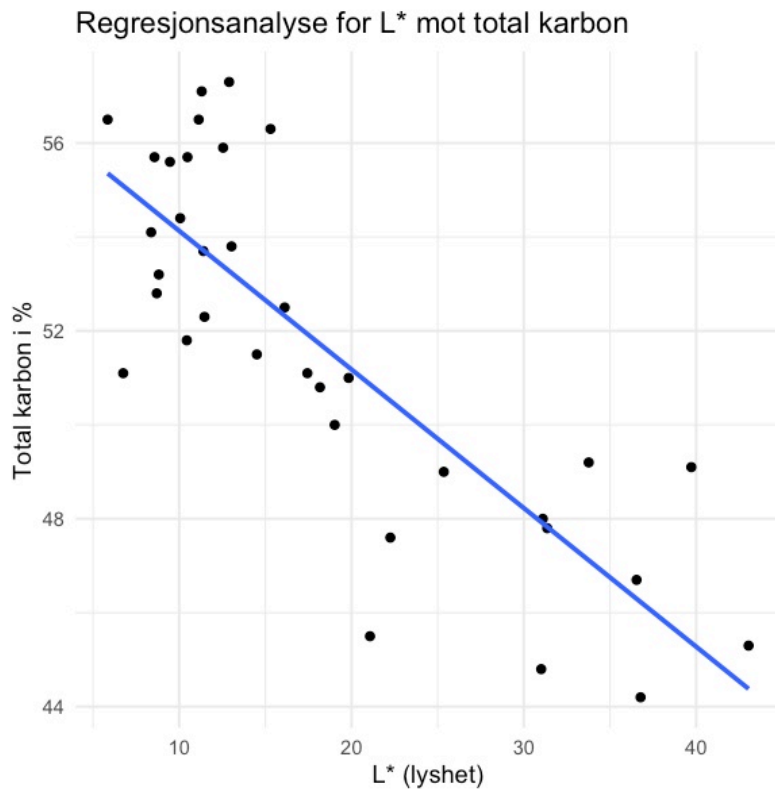
Figur 37: Plottet viser utviklingen av pyrofosfatindeksen med dybden for hver myrkjerne.

Alle prøvene har en pH mellom 3,68 og 4,62. Kjerne H3 har høyest pH i gjennomsnitt, og kjerne H6 har den laveste. En fullstendig oversikt over resultatene fra laboratorieanalysene kan sees i vedlegg 1.

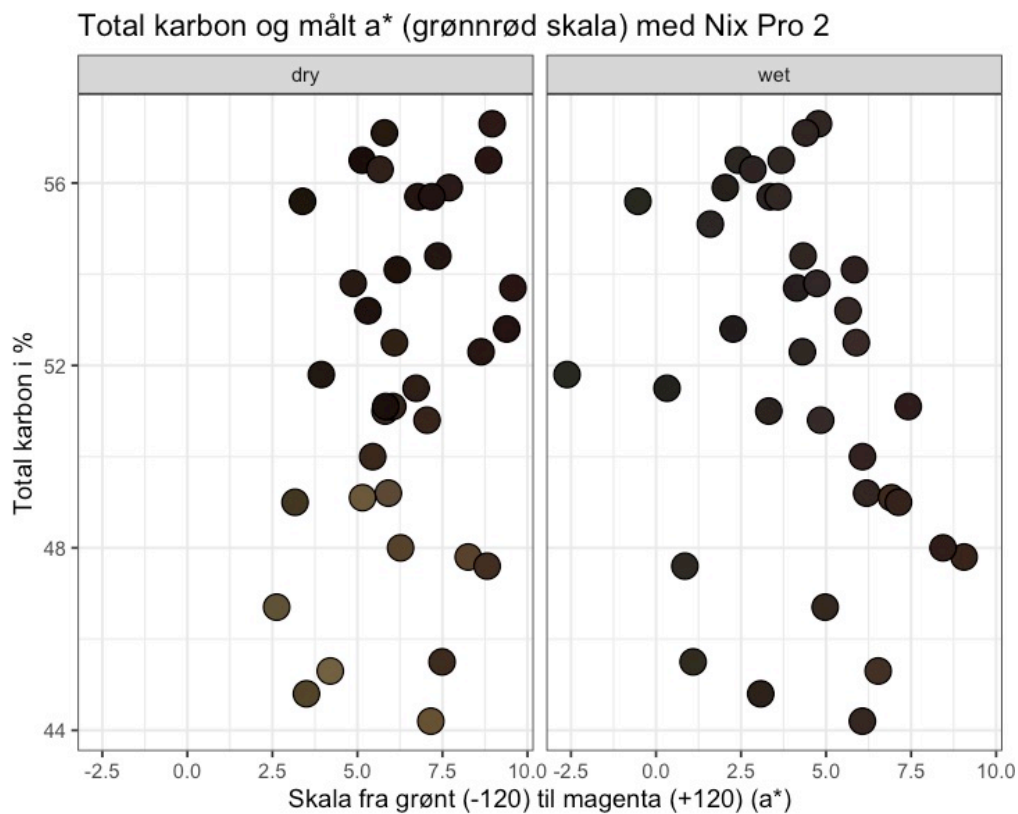
Det er også gjort korrelasjonsanalyser for farge målt med Nix Pro 2 og karboninnhold. For lysheten (L^*) er det en sterk negativ korrelasjon for tørre prøver ($r = -0,815593$, $p\text{-verdi} = 2,404e-09$) (figur 38 og 39). Det er ikke funnet en sammenheng mellom a^* og karboninnhold (figur 40). For b^* og karboninnhold er det funnet en negativ korrelasjon for både tørre og våte farger (henholdsvis $r = -0,8395564$, $p\text{-verdi} = 2,923e-10$ og $r = -0,6709071$, $p\text{-verdi} = 1,031e-05$) (figur 41).



Figur 38: Plottet viser sammenhengen mellom lysheten (L^*) og karboninnholdet for både tørr og våt farge. Fargene som er brukt er de samme fargene til prøvene.

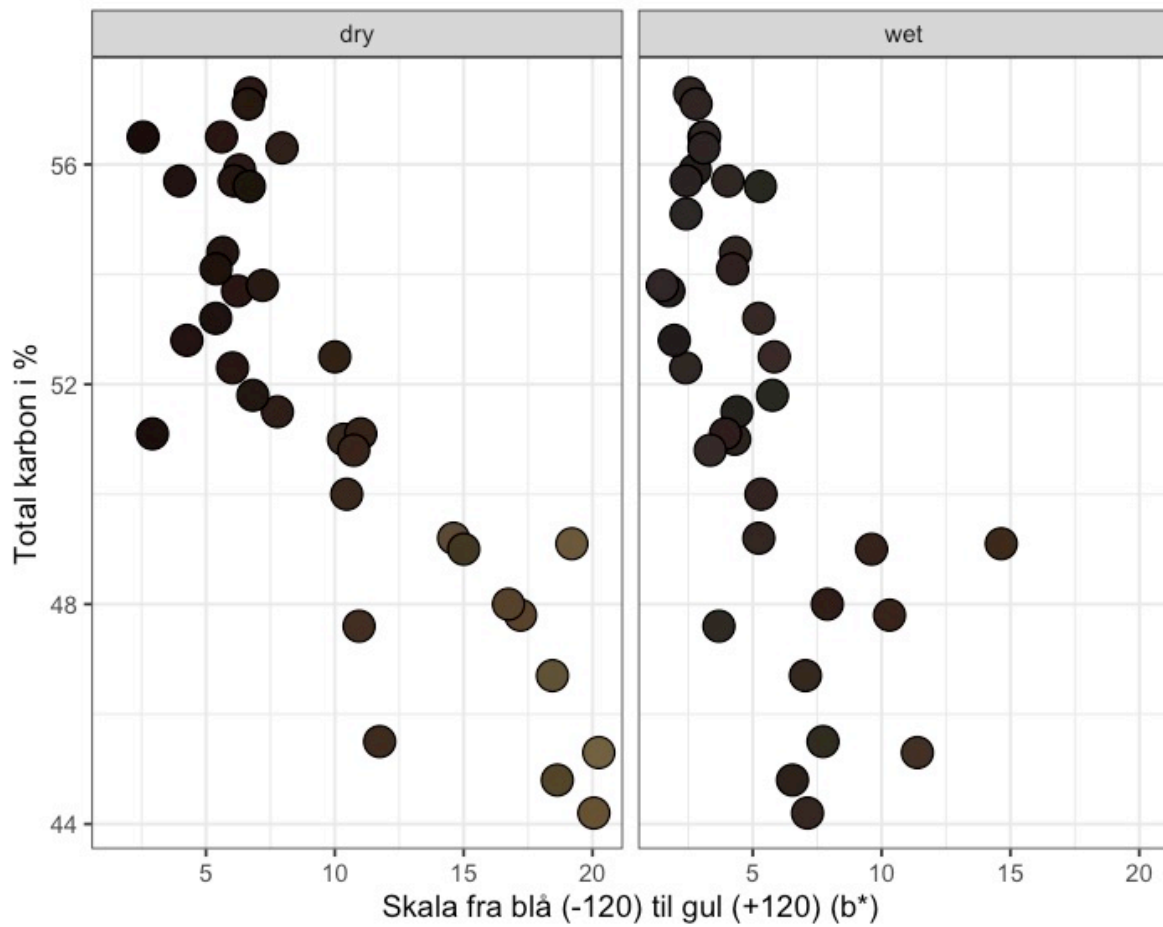


Figur 39: Plottet viser sammenhengen mellom lysheten (L^*) og karboninnholdet for tørr farge med regresjonslinje. Det er en sterk lineær sammenheng.



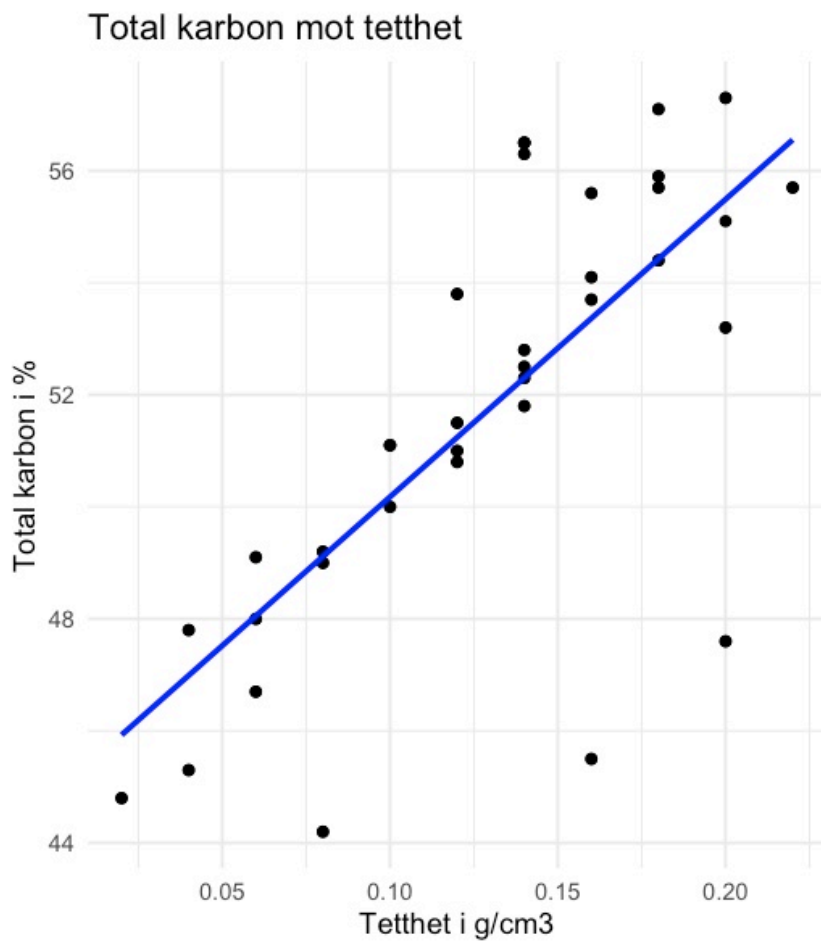
Figur 140: Plottet viser forholdet mellom karboninnhold og farge på grønnrød skala (a^*) for våt og tørr farge målt med Nix Pro 2. Det er ikke funnet en sammenheng her.

Total karbon og blågul skala (b*) med Nix Pro 2



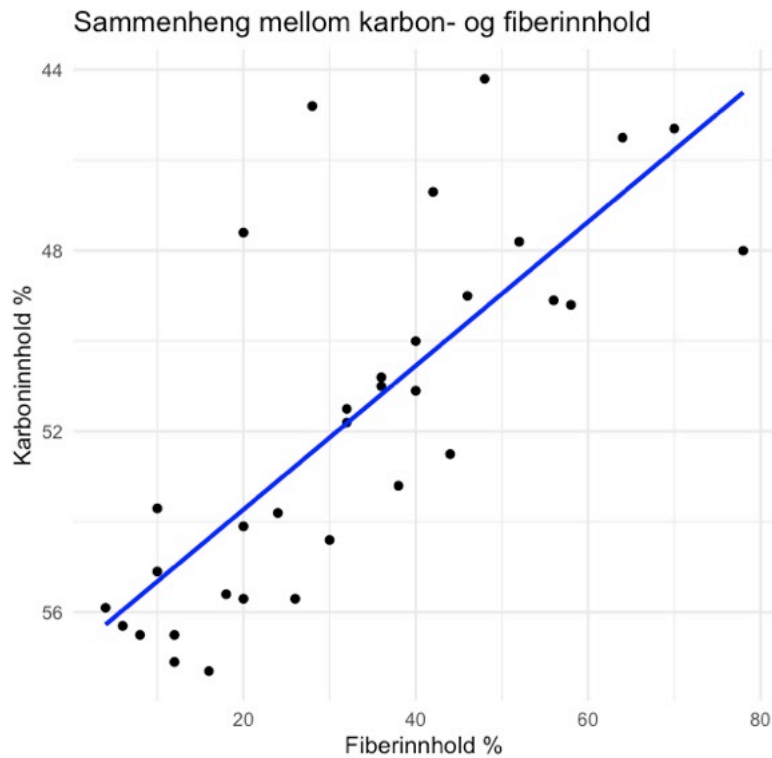
Figur 41: Plottet viser sammenhengen mellom karboninnhold og farge på blågul skala(b*) for våt og tørr farge målt med Nix Pro 2.

Karboninnhold og tetthet har en positiv korrelasjon ($r = 0,7207951$, $p\text{-verdi} = 1,981e-12$).
Karboninnholdet øker altså med økende tetthet (figur 42).



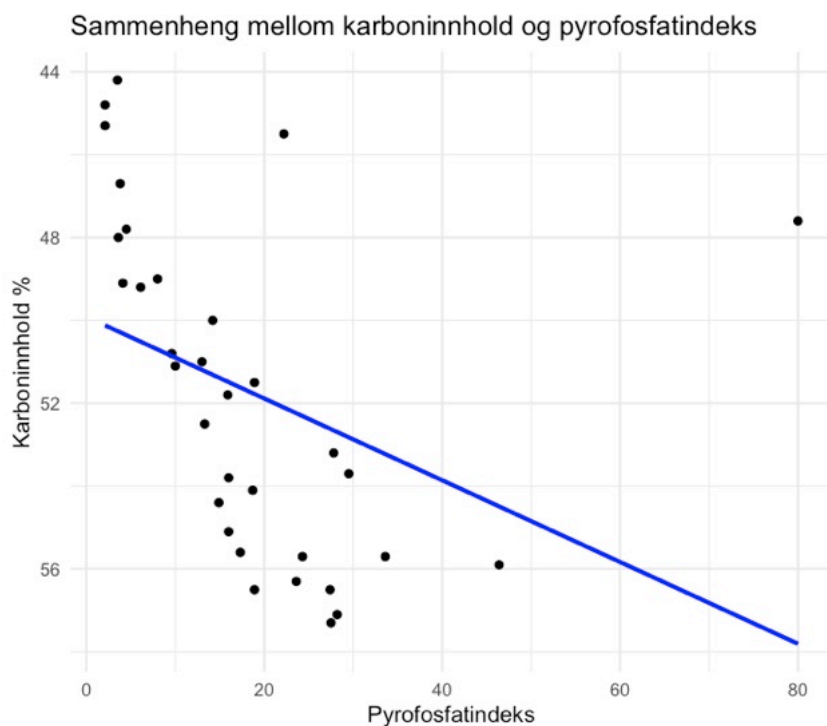
Figur 42: Den sterke sammenhengen mellom total karbon og tetthet med regresjonslinje.

Det er en sterk negativ korrelasjon mellom karbon- og fiberinnhold ($r = -0,764043$, $p\text{-verdi} = 1,427e-14$), som betyr at karboninnholdet øker med minkende fiberinnhold (figur 43).



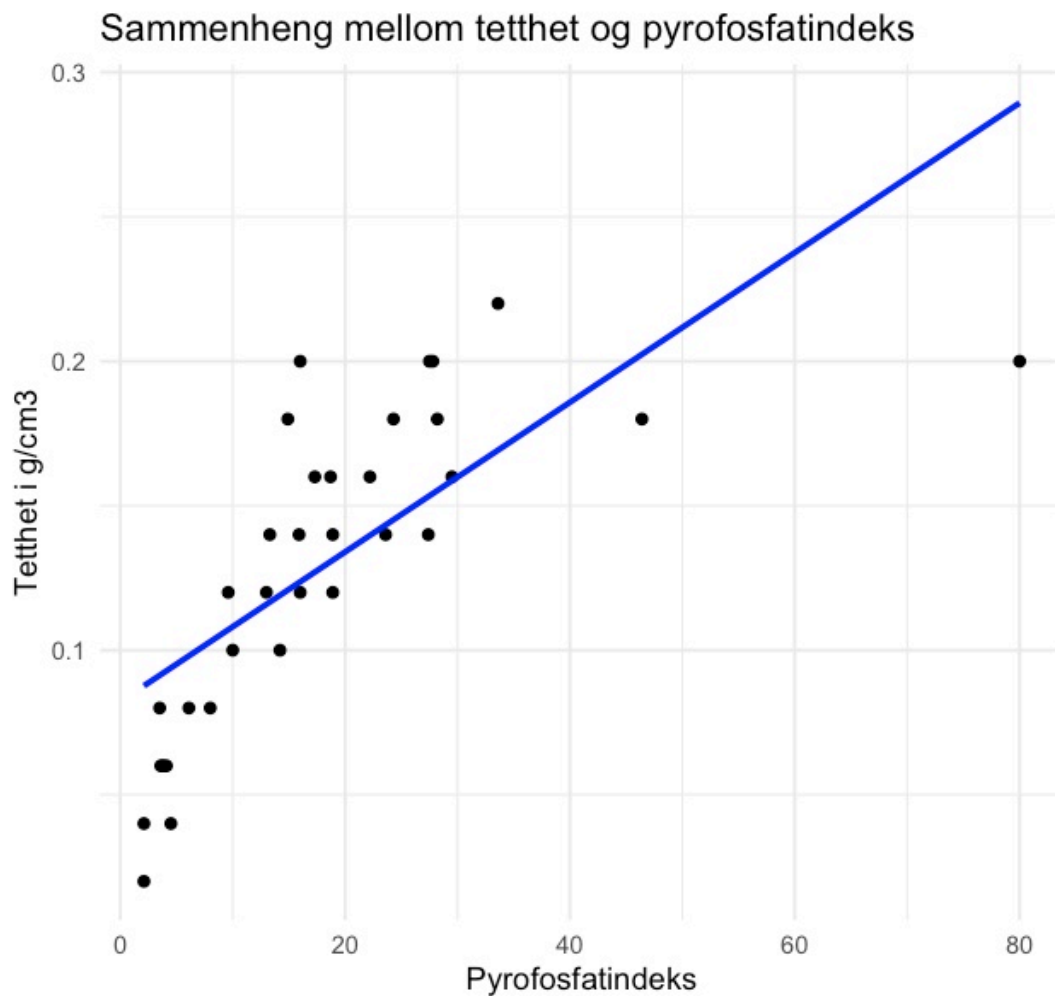
Figur 43: Sammenhengen mellom karboninnhold og fiberinnhold med regresjonslinje.

Det er funnet en svak positiv sammenheng mellom karboninnhold og pyrofosfatindeks ($r = 0,3858191$, $p\text{-verdi} = 0,0009717$) (figur 44). Sammenhengen ser ikke ut til å være lineær.



Figur 44: Sammenheng mellom karboninnhold og pyrofosfatindeks med lineær regresjonslinje.

Det er også funnet en positiv korrelasjon mellom pyrofosfatindeks og tetthet ($r = 0,7272461$, $p\text{-verdi} = 1,635e-06$) (figur 45).



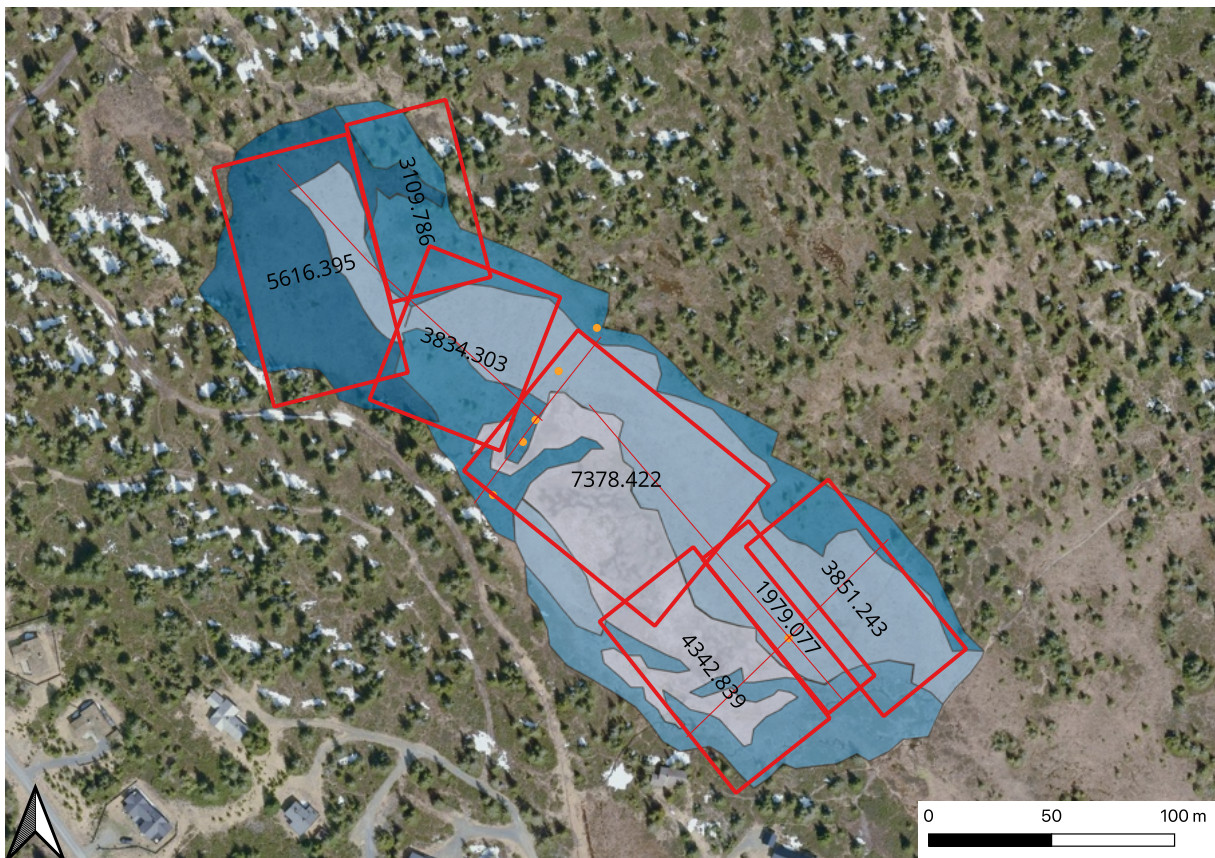
Figur 45: Sammenheng mellom tettheten og pyrofosfatindeksen med regresjonslinje.

3.4 Arealberegninger

Arealet til de ulike boksene er vist i figur 46. Det totale arealet for hele myra er vist i tabell 4. Boksene har et areal på $30\,112,065\text{ m}^2$, altså mer enn 6000 m^2 mindre enn resultatet fra naturkartleggingen. Totalt areal av hele myra er kartlagt til $36227,2\text{ m}^2$.

Tabell 4: Arealet til hver boks som er brukt i volumberegningen.

Område	Areal (m ²)
Hele myra	36227,2
A	5616,395
B	3109,786
C	3834,303
D	7378,422
E	4342,839
F	1979,077
G	3851,243



Figur 46: Plassering og areal til de ulike boksene brukt til å beregne volumet av myra.

3.5 Volumberegninger

Det beregnede myrvolumet for hvert dybdelag er vist i tabell 5. Det totale volumet av de øverste 35 cm er 12 679,52 m³. Det totale beregnede volumet for de øverste 2 meterne av den nordvestre delen av Heståsmyra er 50 174,75 m³.

Tabell 5: Beregnet volumet for hvert dybdelag.

Dybde (m)	Areal (m ²)	Volum (m ³)
0-0,35	36227,2	12679,52
0,35-1,35	27002,28	27002,28
1,35-1,4	25023,20	1251,16
1,4-1,6	19406,81	3881,36
1,6-1,8	15572,50	3114,50
1,8-2,0	11229,67	2245,93

3.6 Beregning av karboninnhold

Gjennomsnittlig karboninnhold og tetthet som er brukt for utregningen for hvert lag er vist i tabell 6.

Tabell 6: Gjennomsnittlig tetthet og karboninnhold for hvert av lagene, samt den utregnede karbontettheten.

Dybde	Tetthet (kg/m ³)	Karboninnhold	Karbon (kg/m ²)
0-0,35 m	100	0,4917222	17,21028
0,35-1,40 m	167,1429	0,5467143	95,9483843
1,40-1,50 m	140	0,563	7,882

Dette gir et gjennomsnittlig karboninnhold på $40,35 \pm 4,408$ kg/m² (95 % konfidensintervall: 31,39 , 49,31).

Beregnet totalt karboninnhold for hele myra er vist i tabell 7.

Tabell 7: Beregnet totalt karboninnhold for hvert dybdelag.

Dybde (m)	Volum (m ³)	Karbon (kg)	Karbon (tonn)
0-0,35 m	12679,52	623480,147	623,4803
0,35-1,35 m	27002,28	2467452,51	2467,45251
1,35-1,40 m	1251,16	114330,267	114,330267
1,40-1,50	1940,68	152964,398	152,964398

Det totale karboninnholdet for den øverste 1,5 m i Heståsmyra nordvest er beregnet til 3358,277 ± 554,83 tonn. 95 % konfidensintervall: 1592,496 , 5123,958 tonn.

Dette tilsvarer 12,32 Gg CO₂-ekvivalenter.

4 Diskusjon

4.1 Georadar

Georadar har vist seg å være en velegnet metode til å kartlegge myrdybde, og er både kostnads- og tidseffektivt sammenliknet med andre metoder (Carless et al., 2021). Dessuten tillater georadar å undersøke myra uten fysiske inngrep som kan føre til senket grunnvannsstand og økt oksygentilgang. Forskjellen i de elektromagnetiske egenskapene, hovedsakelig som følge av forskjellen i vanninnhold, i myr og mineraljord gjør georadar godt egnet til å finne myrdybde (Comas et al., 2005).

Det er likevel usikkerheter ved denne metoden, og det ble derfor foretatt kontrollmålinger av dybden med myrspyd som er anbefalt i Parry et al. (2014). Myrspydet var 1,2 meter langt, og begrenser kontrollmålingene til områdene der myra er grunnere enn 1,2 meter. Vi får likevel informasjon om at myra er dypere enn 1,2 meter der myrspydet ble presset helt ned uten å treffe bunnen. I tillegg har myrspydet et langsgående «spor» som gjør at noe av materialet blir tatt med opp igjen. Det var dermed lett å se om myrspydet hadde truffet mineraljord. Den interne lagstrukturen i myra kan likevel føre til feilmålinger. Et hardere og mer kompakt lag gir mer motstand når myrspydet presses ned, og kan feiltolkes som bunnen av myra. Det samme vil skje om trerester eller annet materiale er begravd i myra (Proulx-McInnis et al., 2013). Dette resulterer i en underestimering av dybden. På den andre siden kan dybden overestimeres. Om for eksempel underliggende lag er morene med blokker, vil det være mulig å føre myrspydet mellom blokkene uten å møte sterk motstand. I en studie der dybdemålinger med georadar og myrspyd ble sammenliknet ble det funnet at måling med myrspyd ga 35 % grunnere dybdemålinger enn målingene foretatt med georadar (Parry et al., 2014). I samme studie var det hele 9 % av de 162 målepunktene som hadde en uoverensstemmelse på over en meter mellom de to metodene.

Usikkerhetene knyttet til georadar er først og fremst hastigheten som brukes for de elektromagnetiske bølgene. Hastigheten som ble beregnet fra hyperblene var 0,06 m/ns og ble kontrollert med kjente verdier for hastigheten i myr. Det var noe sprik i verdier mellom de ulike tabellene, og mellom tabellverdiene og hyperbelverdiene. Parry et al. (2014)

sammenliknet hastigheter i flere studier og fant en gjennomsnittshastighet 0,038 m/ns. Dette er betydelig lavere enn det som er brukt for Heståsmyra. Tabellverdiene ble derfor bare brukt veiledende. Verdien for hastighet i våt jord i EkkoProject sin brukerveileder er 0,06 m/ns (Sensors & Software Inc., 2016), og viser at hastigheten brukt i denne studien kan forsvares. Også Neal (2004) viser til flere studier der en hastighet mellom 0,03 og 0,06 for myrer, men med en lavere frekvens på 80-100 MHz. Det er imidlertid viktig å være klar over at om den reelle hastigheten til de elektromagnetiske bølgene er lavere enn den som brukes, vil man få en underestimert dybde. Dessuten kan vanninnholdet og porøsiteten variere fra myr til myr, og vi valgte derfor hastigheten beregnet fra hyperbler. Dette er også en av metodene som anbefales i rapporten fra NGU og i flere lærebøker om GPR (Goodman et al., 2009; Rønning, 2023). En bør også ta i betraktning at det er benyttet lik hastighet for hele myra. Vanninnhold, tetthet, omdanningsgrad og ionekonsentrasjonen kan variere fra sted til sted i myra, og det er derfor ikke sikkert at hastigheten er lik over hele studiestedet (Carless et al., 2021). Likevel viser hyperblene lite variasjon i hastighetene, så forskjellen antas å være liten.

Hastigheten stemmer også godt overens med dybdemålingene gjennomført med myrspyd. I punktet F2 i georadarprofilen Line02 er differansen i dybde målt med myrspyd og georadar 1 cm. For Line04 stemmer ikke de ulike målingene like godt. Her viser georadarmålingen en dybde på omtrent 1,5 meter mens den ble målt til 1,15 meter med myrspyd. Dette kan forklares med at myrspydet har truffet noe annet internt i myra. Det kan også se ut som at dybden minker raskt på slutten av Line04. Dette underbygges med at dybden er målt til 80 cm 2 meter videre sørøst med myrspydet. For begge tverrtransektene ser dybdemålingene ut til å stemme svært godt overens. Selv om de ulike dybdemålingene er sammenliknet og kontrollert er det fortsatt usikkerhet knyttet til dybden og dermed også volumberegningen av Heståsmyra.

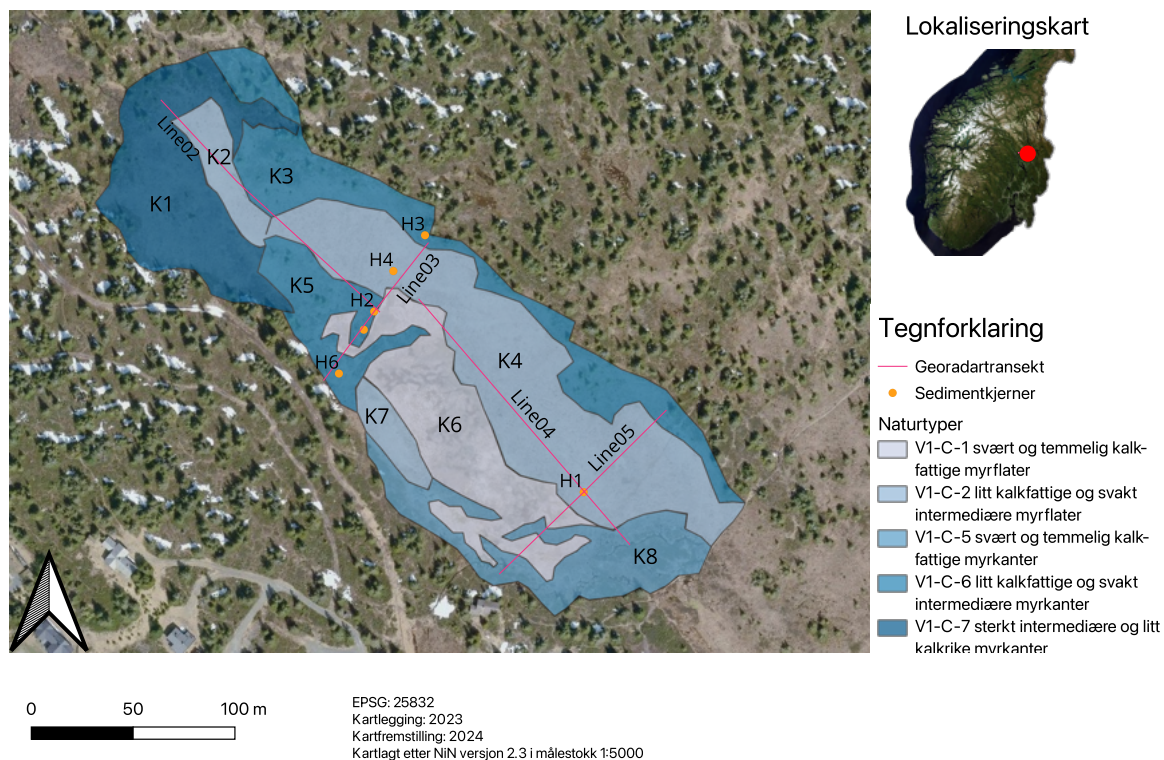
Bunnen av myra vises ikke flere steder i georadarprofilene som følge av at signalene ikke når langt nok ned. Maks penetrasjonsdybde er rett under 1,97 meter. Dalsegg og Mauring (2000) støtte på samme problem under måling med 200mHz. En studie fra Canada fant også at signaler på 200 MHz ikke penetrerte gjennom en 2 meter tykk myr, i motsetning til et signal på 100 MHz (Theimer et al., 1994). For å nå dypere ned i myra kunne det blitt brukt en lavere frekvens enn 200 MHz, for eksempel 100 MHz, som tillater en større penetrasjonsdybde. Dette ville muligens gått på bekostning av oppløsningen slik at den interne lagstrukturen i myra ikke hadde vært like synlig. Det ville derfor vært ønskelig å utføre en måling med lavere frekvens i tillegg til måling med 200 mHz for å danne et bedre bilde av myrddybden. Målinger

med to ulike antennefrekvenser vil ta dobbelt så lang tid, og tidsbruken er ikke forsvarlig i denne oppgaven. En annen faktor som kan ha hatt betydning for penetrasjonsdybden er mye nedbør som følge av ekstremværet «Hans» i forkant av feltarbeidet. Økende vanninnhold bremser energien til de elektromagnetiske bølgene, og gir en lavere hastighet (Rønning, 2023) Det var opphold da georadarmålingen ble gjennomført, men myra var nok fuktigere enn vanlig.

Nedbørsmyrer har generelt høyere penetrasjonsdyp enn jordvannsmyrer. Både høyere pH, større andel basekationer, samt tilførsel av løselige salter med grunnvann som gjør at penetrasjonsdybden blir mindre i jordvannsmyrer (Doolittle & Butnor, 2009). Av naturtypekartleggingen kommer det frem at dette er en jordvannsmyr, og støtter denne forklaringen.

Grunnet vegetasjon og ujevnt underlag måtte georadaren løftes opp i starten av det første transektet. Forstyrrelser i georadarsignalet som følge av dette er synlig i starten av Line02. Kort avstand fra antennene til bakken gir best resultat.

GPS-koordinatene til georadarundersøkelsene er samlet inn med Garmin Astro 220. Den har en nøyaktighet på +/- 2 meter. I tillegg er det utfordrende å skulle gå på en rett linje i felt selv i myr. En kan derfor ikke stole fullt på linjene tegnet opp på kartet, da disse bare er trukket gjennom punktene registrert med håndholdt GPS. Unøyaktigheten kommer til syne i kartet som viser undersøkelsene av myra figur 47. Alle sedimentkjernene er tatt i georadartransektene. Georadaren etterlot synlige spor som følge av at vegetasjonen ble presset ned. Plasseringen av kjerne H2 tyder på at GPS-en forårsaker uoverensstemmelsen i plassering. Avviket for de resterende kjernene langs Line03 kan også forklares med at målingen ikke ble gjort på rett linje.



Figur 47: Kart over undersøkelsene som er gjennomført i studien. Georadartransektene er markert med røde linjer. De oransje prikkene er plasseringen av sedimentkjernene. De blå områdene viser inndelingen i naturtyper.

Det kommer klart frem en tydelig reflektor i alle profilene som er tolket som overgangen fra myr til underliggende lag. For å danne en så sterk reflektor må det være en stor forskjell i de elektromagnetiske egenskapene til de to enhetene. På bakgrunn av georadarprofilene og undersøkelsene med myrspyd er det underliggende laget tolket som et tynt lag med mineraljord (morene) over grunnfjell.

På bakgrunn av georadarprofilene ser det ut som myra har en intern lagstruktur. Dette kan komme av endringer i vanninnhold, tetthet, eller materiale som gir lagene ulike elektromagnetiske egenskaper. Lagdelingen har varierende synlighet og flere usammenhengende lag. Dessuten er den interne lagstrukturen best synlig fra 50 cm dyp og nedover. Det medfører at lagene ikke kan korreleres med sedimentkjernene, da det bare er to av sedimentkjernene som er dypere enn 50 cm.

Det er særlig ett horisontalt lag som kommer tydelig fram i alle profilene, og som gir en sterk refleksjon. Dette laget ligger rundt 75 cm dyp i alle profilene. Det var svært vanskelig å få

russerboret dypt nok ned til å ta prøver i dette laget, og tyder på at vi har et mer kompakt lag. Dette gjelder særlig i kjerne H1. Utfordringer med å få presset russerboret dypere er hovedgrunnen til at det ble tatt flere korte myrkjerner. Kjerne H2 og til dels kjerne H1 kan brukes til å undersøke hva dette laget er.

4.2 Naturtypekartlegging

Å sette naturen i system er noe vi mennesker har prøvd i lang tid. Det har imidlertid vist seg vanskelig da naturen er dynamisk og ikke har klare grenser. Det gjør det utfordrende å kartlegge en naturtype, men Natur i Norge-systemet er et omfattende verktøy som erstatter DN-Håndbok 13. Det er likevel et kjent problem at selv erfarne kartleggere kan komme til ulike konklusjoner. For å minimere sjansen for feilkartlegging burde to eller flere erfarne kartleggere kartlagt området på egenhånd først, for så å korrigere de etterpå. En så stor tid- og ressursbruk til dette er ikke forsvarlig i en oppgave av denne typen, der hensikten er å få et bilde av forskjeller i myra.

Naturtypekartleggingen ble gjennomført i midten av september. Dette er sent i vekstsesongen, spesielt i fjellet. Det medfører at flere planter er avblomstret, og kan gjøre det vanskelig å oppdage de i felt, og eventuelt artsbestemme de. Kartleggingen burde derfor vært gjennomført tidligere på sommeren for å fjerne dette usikkerhetsmomentet, men på grunn av uværet «Hans» måtte det utsettes til september.

Det er noe variasjon de ulike delene av myra som hovedsakelig går på kalkinnhold og myrflate eller myrkant. Med en myr av denne størrelsen er det å forvente at vi har myrflater. Ikke unaturlig er det at det er kantene av myra som er kartlagt som nettopp myrkant. Når det gjelder kalkinnholdet er det høyest i K1 i nordvestenden av myra, og delvis i kantene som grenser til denne (K5 og K3).

Sedimentkjernene ligger dessverre bare plassert i to forskjellige naturtyper, V1-C-2 litt kalkfattige og svakt intermediaære myrflater og V1-C-6 litt kalkfattige og svakt intermediaære myrkanter. Altså består hovedforskjellen i myrflate- eller myrkantpreg. Det er ikke foretatt en

sammenligning av de ulike myrkjernene, noe som burde vært gjort for å undersøke om naturtype har betydning for karboninnholdet i jorda.

4.3 Myrkjerner

Prøvetaking med russerbor gir en uforstyrret prøve siden prøven blir låst inne og holdt på plass av lukkemekanismen. På lik linje som annen prøvetaking er heller ikke dette en metode uten feilkilder. Eksempelvis kan dybdene på prøvene leses av feil, eller det tas flere prøver i lik dybde.

På grunn av vanskeligheter med å få russerboret dypt nok ned fikk vi i kjerne H1 overlappende prøver. De to nederste prøvene i kjernen fra 0-50 cm overlapper med de to øverste i kjernen fra 25-75 cm. H1-05 overlapper med H1-03 og H1-06 overlapper med H1-04. Det er ikke observert like målinger for de overlappende kjernene. Dette kan forklares med at prøvene ble forstyrret da russerboret ble trukket opp igjen. Det kan føre til strekking og komprimering av materialet, og det er derfor antatt at prøvene som tilhører den første kjernen er mest uforstyrret og gjenspeiler virkeligheten bedre enn de fra den andre kjernen. Til analysene i RStudio ble disse prøvene derfor utelatt.

Analysene av prøvene på laboratoriet i etterkant av feltarbeidet er gjort etter kjente metoder. Alt utstyr ble rengjort mellom hver prøvetaking, og nøyaktige måleinstrumenter ble brukt. En er likevel ikke sikret mot feilmålinger. Det kan være feil med måleinstrumentene som ikke er oppdaget, og det kan gjøres menneskelige feil ved oppmåling og avlesing. Den største feilkilden i denne delen av studien anses å være den skjønnsmessige oppdelingen av kjernene. Dette ble gjort etter at prøvene hadde ligget på kjølerom i nesten fire måneder. Uten noe særlig erfaring fra visuell bedømmelse var det vanskelig å finne tydelige forskjeller i omdanningsgrad, farge og tetthet. Siden oppdelingen er utført av samme person, anses kjernene å være delt opp på likt observert grunnlag, og ikke tilfeldig.

Korrelasjonsanalysene av prøveresultatene i RStudio tar ikke hensyn til forskjeller i de ulike kjernene, men de kan sees i figurene.

4.3.1 Karboninnhold

Det er en sterk positiv korrelasjon mellom karboninnhold og dybde. Det vil si at karboninnholdet øker jo dypere ned i myra en kommer. Dette samsvarer med hva som er funnet i andre studier. Warren et al. (2012) fant en sterk lineær sammenheng mellom karboninnhold og dybde for tropisk myr. Resultatene for Heståsmyra bygger oppunder dette funnet, og tyder på at forholdene for boreale myrer er nokså likt.

Karboninnholdet for prøvene tatt i Heståsmyra varierer fra 44,2-57,3 %, med et gjennomsnitt på 51,72 %. Til sammenlikning er gjennomsnittet 51,7 % i canadiske myrer (Gorham, 1991). For Norge er karboninnholdet antatt å ha et gjennomsnitt på 48,5 % (Grønlund et al., 2010). Undersøkelser av myrer i Ontario i Canada viser svært like egenskaper som Heståsmyra. Gjennomsnittlig tetthet er målt til 0,013 g/cm³, identisk med Heståsmyra. Det er noe høyere prosentvis karboninnhold i Heståsmyra enn i de 65 undersøkte canadiske myrene, og forskjellen er på 3,2 % (Akumu & McLaughlin, 2013). Det er antatt å være nokså like klimatiske forhold og det tyder på at beregningene i denne studien er nyttige for å finne karboninnhold.

Tatt i betraktning den sterke lineære sammenhengen mellom karboninnhold og dybde er det ikke overraskende at det er H2 som har høyest karboninnhold. Det burde vært foretatt en analyse der en sammenlikner karboninnholdet for de øverste 50 cm i hver kjerne.

4.3.2 Tetthet

Det er funnet en sammenheng mellom tetthet og dybde der tettheten øker jo dypere ned en kommer. Gjennomsnittet er 0,13 g/cm³ som tilsvarer 113 kg/m³, og alle prøvene har tettheter som ligger mellom 20 og 220 kg/m³. Dette er i tråd med verdier som er funnet i andre studier. I Canada er gjennomsnittlig tetthet for boreale og subarktiske myrer beregnet til 112 kg/m³ (Gorham, 1991). For tropiske myrområder i Indonesia er tallet mellom 80 og 160 kg/m³ (Sinclair et al., 2020).

En finner de laveste tetthetene i toppen av prøvene, og kjerne H4 har den laveste av disse. I denne prøven var det svært mye torvmoser i toppen. Dette gjelder alle prøvene med unntak av

H5. På grunn av dette kan en ikke stole blindt på de øverste tetthetsmålingene. Tettheten ser ut til å stabilisere seg i de dypeste lagene. I kjerne H4 og H5 har er tettheten fra 40-50 cm lavere enn 20-40 cm dybde. Også i H2 kan en se en lignende utvikling, der H2-05 (50-66 cm) har lavere tetthet enn prøven over. Så øker tettheten igjen ved 66-116 cm (H2-06 til H2-08). De tre dypeste prøvene (H2-09 til H2-11) har lik tetthet på 140 kg/m^3 . (Thompson & Waddington, 2014) fant at den største økningen i tetthet skjer i de øverste 75 cm av myra. Resultatene i denne oppgaven tyder på å at det er lignende utvikling for Heståsmyra, men siden det bare er én kjerne som er dypere enn 75 cm kan en ikke trekke en sikker slutning.

De overlappende prøvene fra den andre kjernen i H1 (H1-05 og H1-06) har en tetthet som er 10 kg/m^3 høyere enn prøvene fra den første. Det kan forklares med at prøven har blitt komprimert av russerboret når det ble ført ned i myra for andre gang.

Det er observert et nokså stort hopp for tetthet for prøvene i H3 og H6. Dette skjer ved henholdsvis 18 og 17 cm dyp der tettheten øker fra 80 til henholdsvis 160 og 200 kg/m^3 . Det kan tolkes som at vi har minst to ulike lag innenfor de 50 øverste cm av myra på disse lokalitetene. Det kan også tyde på at vi har et lag med organisk jord under myra i disse områdene. Begge disse kjernene ligger i hver sin kant av myra, så det er sannsynlig at dette skillet markerer grensen mellom myr og det underliggende laget. Det er observert en sterk fargeforskjell for de dypeste 5 cm i H3, der jorda går fra brun til svart.

Det er observert en økt tetthet og karboninnhold for prøvene i laget som er observert på georadarprofilene. For kjerne H2 synker tettheten igjen forbi dette laget. Det gir grunn til å tro at dette laget har en høyere tetthet og er mer kompakt enn myra rundt. Et slikt lag vil ha lavere vanninnhold, og vil derfor medføre en godt synlig reflektor i georadarmålingen.

Fiberinnholdet ved 75 cm dyp i H1 er under 5 %. Dette er svært lavt og tyder på en høyere omdanningsgrad i dette laget enn materialet over (Plado et al., 2011). For H2 er ikke fiberinnholdet like lavt, og laget er heller ikke synlig på georadarprofilet i dette punktet. Det var også lettere å få russerboret dypere ned her. Det tyder på at laget ved 75 cm dyp ikke er kontinuerlig og at det er interne forskjeller i myra.

4.3.3 Fargemåling

Det er fra tidligere studier vist at Munsell kan brukes til å få informasjon om innholdet av organisk materiale, karboninnhold og nedbrytningsgraden for jord (Jorge et al., 2021). En annen studie viser også at innholdet av organisk materiale har en negativ korrelasjon med både lyshet og metning i Munsell fargekart for både våte og tørre farger (Minh et al., 2020). Mørke farger er korrelert med et høyere karboninnhold (Pretorius et al., 2017).

Fargemålinger med Munsell fargekart viser at jorda blir både mørkere og mindre pigmentert jo dypere ned i myra en kommer. Denne korrelasjonen er signifikant for både våt og tørr farge. For de tørre fargene er det likevel en usikkerhet knyttet til metoden, da det øverste laget for flere av kjernene inneholdt svært mye torvmoser og medførte at prøvene fikk en grønn gul farge registrert med hue 5Y. Disse registreringene er ikke tatt med i analysen, men de ble registrert med den fargen på 10YR som var mest lik. Dette har sannsynligvis liten innvirkning på korrelasjonstesten da det gjelder topplaget som også er lysere enn de underliggende prøvene for andre kjerner som alle ble registrert med 10YR.

I denne oppgave ble det i tillegg benyttet en digital fargemåler, Nix Pro 2, som registrerer farger i CIE $L^*a^*b^*$. En studie fra 2021 demonstrerer at denne metoden kan brukes til å beregne karboninnhold i jord i våtmark (Schmidt & Ahn, 2021). For Heståsmyra ble det funnet at lysheten L^* minker med økende dybde for tørr farge. For våt farge er det derimot ikke funnet en sammenheng. Det er ikke funnet en sammenheng med dybden på en skala fra grønn til rød (a^*) for hverken tørr eller våt farge. Derimot er det funnet en signifikant sammenheng med fargen på en blågul skala (b^*) for både våt og tørr farge. Fargen er gulere i de øverste lagene og beveger seg mot blått jo dypere ned en kommer.

4.3.4 Fiberinnhold

Fiberinnholdet for prøvene varierer voldsomt fra 4-78 %. Gjennomsnittet er 32,6 %. Kjerne H5 har det laveste fiberinnholdet som kan forklares med at det var svært lite materiale i toppen av denne prøven, som er der innholdet er høyest. Det er en sterk negativ korrelasjon med dybden.

4.3.5 Pyrofosfatindeks

Pyrofosfatindeks kan brukes til å bestemme humifiseringsgraden (Schnitzer & Desjardins, 1965). Årsaken er at humusstoffer absorberer mye lys, og fargen til jorda vil bli mørkere med økende humus, og dermed humifiseringsgrad (Vodyanitskii & Savichev, 2017). Det er derfor ikke overraskende at det er funnet en negativ korrelasjon mellom pyrofosfatindeks og dybde.

4.3.6 pH

pH over 4,5 tyder på jordvannsmyr, under tyder på nedbørsmyr (Clymo, 1987). Dette tyder på at Heståsmyra er en nedbørsmyr. Dette strider med kartleggingen som er foretatt. Clymo (1987) sin beskrivelse av vegetasjonen for jordvannsmyr er svært lik som Heståsmyra. En mulig forklaring på dette er mangel på kontakt med kalkrike bergarter.

4.3.7 Sammenheng med karboninnhold

For å se om farge kan brukes til å si noe om karboninnholdet er det kjørt korrelasjonsanalyser med fargene registrert med Nix Pro 2. Det ble funnet at lysheten L^* for tørre prøver har en sterk negativ korrelasjon med dybden, og vil derfor kunne være egnet til å si noe om karboninnholdet i jorda. Fargen på en grønnrød skala (a^*) kan ikke brukes til dette formålet. Derimot viser den gulblå skalaen (b^*) seg å være velegnet til dette. Den sterkeste korrelasjonen er for tørre farger, men våte farger viser det samme. Det er viktig å være klar over at det øverste laget i kjernene inneholder mye torvmose, og at denne fargen muligens kan gi en forsterket sammenheng. Likevel er trenden den samme om en tar bort de øverste prøvene.

Det er også undersøkt om tettheten kan si noe om totalt karboninnhold. Korrelasjonsanalysen viser en sterk lineær sammenheng, der karboninnhold øker med økende tetthet. Også fiberinnholdet viser seg egnet til å forutsi karboninnholdet da det er funnet en sterk negativ sammenheng også her. For pyrofosfatindeks er det en svak signifikant positiv korrelasjon med karboninnhold, og bør brukes med forsiktighet for å anslå karboninnhold. Pyrofosfatindeksen

har likevel en sterk positiv korrelasjon med tettheten, som igjen har en sterk sammenheng med karboninnhold.

På bakgrunn av korrelasjonsanalysene og er det grunn til å tro at tetthet, fargemålinger, pyrofosfatindeks og til dels fiberinnhold kan brukes til å si noe om totalt karboninnhold. For å minimere usikkerheten ved slike anslag vil det likevel være fordelaktig å kjenne til enten tettheten eller karboninnholdet. Tørr lyshet (L^*) ser ut til å kunne gi et godt estimat for karboninnhold siden regresjonsanalysen avdekker en lineær sammenheng. Resultatene i denne oppgaven er kun basert på 33 prøver, og det vil være ønskelig å undersøke forholdene mellom de ulike faktorene nærmere med et høyere prøveantall. Først da kan man si sikkert om de eventuelt egner seg til å brukes som proxy for karboninnhold.

4.4 Volumberegning

Volumet av myra er basert på fire georadarmålingene og er beregnet for de øverste 2 meterne. Arealet fra naturtypekartleggingen er brukt som utgangspunkt. Denne gir et areal som er 1,2 % høyere enn kartleggingen utført av NIBIO i 2002. De fire georadarmålingene gir ikke tilstrekkelig med informasjon for å kunne foreta en nøyaktig beregning av volumet. For å få til dette ville det vært ønskelig å gjennomføre flere georadarmålinger i grid. Dette var imidlertid ikke hensiktsmessig med tanke på tiden til rådighet. Dessuten er det en usikkerhet i hastighet til de elektromagnetiske bølgene som fører til unøyaktighet i dybdemålingene.

Volumet av det øverste laget ned til 35 cm dyp er beregnet til 12 679,52 m³. Dette volumet anses som et sikkert estimat. Usikkerheten i volumberegningen øker jo dypere en kommer på grunn av færre observasjoner som kan kontrolleres med myrspyd og myrkjernene. Det har likevel vært mulig å få et bilde av hvordan myra er bygd opp ved georadarmålingene, og beregnet volum for hvert dybdelag.

Totalt er volumet estimert til 50 174,75 m³. Dette er kun for de øverste 2 meterne som vises på georadarmålingene. Ut fra georadarprofilene ville det vært mulig å estimere bunnen av myra der den er dypere enn 2 meter. Særlig Line05 ser dette ut til å være mulig å få en omtrentlig beregning. I Line03 blir myra plutselig veldig dyp på begge sidene. Fra 17-35

meter kan det se ut som bunnen av myra viser seg og har flatet ut. Det er for usikkert å si om dette er tilfelle eller ikke. Skulle en beregnet dybden under 2 meter her ville en derfor kunne fått to helt ulike resultater.

Det har vist seg mulig å gjennomføre en svært forenklet beregning av myrvolumet. Beregningene er basert på veldig forenklete modeller, og de ulike dybdelagene har ulik tykkelse. For en mer nøyaktig og standardisert beregning ville det vært ønskelig å ha lik tykkelse på lagene. Siden det er en betydelig usikkerhet knyttet til hastigheten brukt til dybdemålingene anses det ikke som hensiktsmessig å bruke mye tid på dette, da volumet uansett ikke kan beregnes nøyaktig.

4.5 Beregning av karbonlageret

Karbonberegningene bygger videre på det estimerte volumet og har allerede en stor usikkerhet. I karbonberegningene er det bare usikkerheten knyttet til totalt karboninnhold i prosent og tettheten for prøvene tatt med. Karboninnholdet og tettheten er også beregnet ut fra et relativt lite utvalg på 33 prøver. Utregningen for det nederste laget fra 140-150 cm baserer seg kun på én prøve (H2-11). Usikkerheten fra tetthetsmålingene og karboninnholdet i myrkjernene er inkludert i karbonberegningen. Volumet av de øverste 2 meterne for myra har av de ovennevnte grunnene en stor grad av usikkerhet i seg. Dette medfører også en stor usikkerhet i karbonberegningene som ikke er tatt med i denne beregningen.

Heståsmyra er beregnet til å ha et karboninnhold på $40,35 \pm 4,408 \text{ kg/m}^2$. Dette er litt lavere enn det som kommer fram i NINA-rapporten om karbonlagring i norske økosystemer, der mengden var 50 kg/m^2 (Bartlett et al., 2020). Anslagene vil variere med hvilken dybde som er undersøkt. Grønlund et al. (2010) beregnet at det er lagret 88 kgC/m^2 i dyp myr, altså myrer med dybde på 2 meter. For en 40-100 dyp myr er det beregnet et karboninnhold på 45 kg/m^2 (Grønlund et al., 2010). Dette er et høyere karboninnhold enn det som er funnet i denne studien. Siden karboninnhold og tetthet varierer internt i myra er det nødvendig å gjennomføre en ny karbonberegning for de ulike lagene i Heståsmyra for å kunne sammenlikne de ulike verdiene med hverandre. Det er også kjent at karboninnholdet per arealenhet varierer stort i ulike områder (Beilman et al., 2008). Karboninnholdet som er

beregnet for Heståsmyra demonstrerer likevel godt de enorme mengdene karbon som lagres i myr. Den laveste verdien innenfor et 95% konfidensintervall er 31,39 kg/m², og er fremdeles dobbelt så høyt som karbontettheten i skog på 15 kg/m² (Søgaard et al., 2019).

Det er anslått at det totale karboninnholdet er 3358,27 ± 554,83 tonn for de øverste 1,5 meterne. Beregningen bygger på volumberegningene til hvert lag. Det er en stor usikkerhet i utregningen og den totale mengden ligger mellom 1592,5 og 5124 tonn med 95 % sikkerhet. Et karbonlager på 3358,27 tonn tilsvarer 12,32 Gg CO₂-ekvivalenter i de øverste 1,5 meterne. Til sammenlikning tilsvarer dette klimaavtrykket til 950 innbyggere, med et fotavtrykk på 13 tonn hver i 2020 (Wood et al., 2023).

5 Konklusjon

- Georadar er en tids- og kostnadseffektiv metode til å beregne volumet av myrområder.
- Karboninnholdet i Heståsmyra er 51,7 %, og øker med dybden.
- Det er en sterk signifikant lineær sammenheng mellom karboninnhold og tetthet.
- Fargemålinger med Nix Pro 2 ser ut til å være like verdifullt som det tradisjonelle Munsell fargekartet.
- Det er en sterk signifikant negativ korrelasjon mellom lysheten (L^*) og karboninnhold i jord.
- Det er funnet en karbontetthet på 40 kg/m^2 for Heståsmyra. Til sammenlikning har skog en karbontetthet på 15 kg/m^2 .
- Totalt karboninnhold i Heståsmyra nordvest er beregnet til 3358,27 tonn. Estimater har stor usikkerhet.

6 Forslag til videre undersøkelser

- For å få et mer nøyaktig estimat av volumet av myra anbefales det nye georadarundersøkelser som gjøres i grid. For å være sikker på at signalet når ned til myrbunnen samtidig som intern struktur avdekkes, anbefales det måling med antennefrekvens på både 200 og 100 MHz.
- Uttak av flere dype myrkjerner fra andre deler av myra for å få et større prøveantall og bedre grunnlag til videre karbonberegninger.
- Videre bruk av digital fargemåler som Nix Pro 2 for bedre bevisgrunnlag.
- Ny kartlegging etter Natur i Norge sin nye versjon, NiN versjon 3, tidligere i vekstsesongen. Det anbefales at kartleggingen gjennomføres av flere kartleggere. med flere kartleggere som sammenlikner resultater.
- Se nærmere på ulikheter og forskjeller mellom de ulike myrkjernene for å kunne avdekke en sammenheng med naturtype.

7 Referanseliste

- Akumu, C. E. & McLaughlin, J. W. (2013). Regional variation in peatland carbon stock assessments, northern Ontario, Canada. *Geoderma*, 209-210: 161-167. doi: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2013.06.021>.
- Bárcena, T. G., Grønlund, A., Hoveid, Ø., Sjøgaard, G. & Lågby, R. (2016). *Kunnskapsgrunnlag om nydyrking av myr*. NIBIO Rapport 2 (43): Norsk institutt for bioøkonomi.
- Bartlett, J., Rusch, G. M., Kyrkjeeide, M. O., Sandvik, H. & Nordén, J. (2020). *Carbon storage in Norwegian ecosystems (revised edition)*. NINA Rapport 1774b. Trondheim: Norsk institutt for naturforskning.
- Beilman, D. W., Vitt, D. H., Bhatti, J. S. & Forest, S. (2008). Peat carbon stocks in the southern Mackenzie River Basin: uncertainties revealed in a high-resolution case study. *Global Change Biology*, 14: 1221 - 1232. doi: 10.1111/j.1365-2486.2008.01565.xr2008 The Authors Journal compilation © 2008 Blackwell Publishing Ltd.
- Bratli, H., Halvorsen, R., Bryn, A., Arnesen, G., Bendiksen, E., Jordal, J. B., Svalheim, E. J., Vandvik, V., Velle, L. G., Øien, D.-I. & Aarrestad, P. A. (2022). *Beskrivelse av kartleggingsenheter i målestokk 1:5000 etter NiN versjon 2.3 – Natur i Norge (NiN) Kartleggingsveileder: 4 (utgave 2): 1–413*. Trondheim: Artsdatabanken.
- Bremner, J. M. & Mulvaney, C. S. (1982). Nitrogen-total. I: Page, A. L., Miller, R. H. & Keeney, D. R. (red.) *Methods of Soil Analysis Part 2 Agronomy 9*, s. 595-624. Madison, Wisconsin, USA: American Society of Agronomy, Inc. .
- Bryn, A., Strand, G.-H., Angeloff, M. & Rekdal, Y. (2018). Land cover in Norway based on an area frame survey of vegetation types. *Norsk Geografisk Tidsskrift - Norwegian Journal of Geography*, 72 (3): 131-145. doi: 10.1080/00291951.2018.1468356.
- Bryn, A. & Naas, A. E. (2021). *Feltveileder for kartlegging av terrestrisk naturvariasjon etter NiN (2.3) – tilpasset målestokk 1:5 000 og 1:20 000, utgave 2 oppdatert mars 2022, kartleggingsveileder nr 2.*, / 978-82-92838-57-0. Trondheim: Artsdatabanken.
- Carless, D., Kulesa, B., Booth, A. D., Drocourt, Y., Sinnadurai, P., Alayne Street-Perrot, F. & Jansson, P. (2021). An integrated geophysical and GIS based approach improves estimation of peatland carbon stocks. *Geoderma*, 402 (115176). doi: 10.1016/j.geoderma.2021.115176.
- Cassidy, N. J. (2009). Electrical and Magnetic Properties of Rocks, Soils and Fluids. I: Jol, H. M. (red.) *Ground Penetrating Radar: Theory and Applications*, s. 41-67. Oxford, UK: Elsevier Science.
- Clymo, R. S. (1987). The ecology of peatlands. *Science Progress*, 71 (4): 593-614.
- Comas, X., Slater, L. & Reeve, A. (2005). Geophysical and hydrological evaluation of two bog complexes in a northern peatland: Implications for the distribution of biogenic gases at the basin scale. *Global Biogeochemical Cycles*, 19 (4). doi: 10.1029/2005GB002582.
- Culatti AG. (u.å.). *Micro Impact Mill*. Tilgjengelig fra: <https://culatti.ch/language/en/products/micro-impact-mill/> (lest 06.02.2024).
- Dalsegg, E. & Mauring, E. (2000). *Georadarmålinger ved myrkartlegging på Toppmyra, Frostahaia, Smøla, Møre og Romsdal*. NGU rapoort 2000.111.
- Destinasjon Sjusjøen. (u.å.). *Destinasjon Sjusjøen*. Tilgjengelig fra: <https://www.visitsjusjoen.no/visit-sjusjoen/destinasjon-sjusjoen/> (lest 10.05.2024).

- Doolittle, J. A. & Butnor, J. R. (2009). Soils, Peatlands, and Biomonitoring. I: Jol, H. M. (red.) *Ground Penetrating Radar: Theory and Applications*, s. 179-197. Oxford, UK: Elsevier Science.
- Englund, J.-O. (1978). LILLEHAMMER. Berggrunnsgeologisk kart 1817 II - M. 1 : 50 000: Norges geologiske undersøkelse. Tilgjengelig fra: <https://www.ngu.no/FileArchive/196/B18172.pdf>.
- Finn.no. (u.å.). Finn Kart. Tilgjengelig fra: <https://kart.finn.no/?finnkode=70204517&lat=59.4185&lng=5.26039&showPin=0&bl=1>.
- Goodman, D., Piro, S., Nishimura, Y., Schneider, K., H., H., Higashi, N., Steinberg, J. & Damiata, B. (2009). GPR Archaeometry. I: Jol, H. M. (red.) *Ground Penetrating Radar: Theory and Applications*, s. 479-506. Oxford, UK: Elsevier Science.
- Gorham, E. (1991). Northern Peatlands: Role in the Carbon Cycle and Probable Responses to Climatic Warming. *Ecological Applications*, 1 (2): 182-195. doi: 10.2307/1941811.
- Grønland, A., Bjørkelo, K., Hysten, G. & Tomter, S. (2010). CO₂-opptak i jord og vegetasjon i Norge. Lagring, opptak og utslipp av CO₂ og andre klimagasser. Bioforsk Rapport 5 (162): Bioforsk.
- Haluschak, P. (2006). *Laboratory methods of soil analysis*.
- Halvorsen, R., Bendiksen, E., Bratli, H., Moen, A., Norderhaug, A. & Øien, D. I. (2016). NiN natursystem versjon 2.1.1. Artstabeller og annen tilrettelagt dokumentasjon for variasjonen langs viktige LKM. – Natur i Norge, Artikkel 9 (versjon 2.1.1): 1-125. Trondheim: Artsdatabanken.
- IPBES. (2019). *Summary for policymakers of the global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services*. I: Díaz, S., Settele, J., Brondízio E.S., Ngo, H. T., M. Guèze, M., Agard, J., Arneeth, A., Balvanera, P., Brauman, K. A., Butchart, S. H. M., et al. (red.). Bonn, Tyskland.
- Jaenicke, J., Rieley, J. O., Mott, C., Kinnman, P. & Siegert, F. (2008). Determination of the amount of carbon stored in Indonesian peatlands. *Geoderma*, 147: 151-158. doi: 10.1016/j.geoderma.2008.08.008.
- Joosten, H., Barthelmes, A., Couwenberg, J., Hassel, K., Moen, A., Tegetmeyer, C. & Lyngstad, A. *Metoder for å beregne endring i klimagassutslipp ved restaurering av myr*. Naturhistorisk rapport 2015-10: NTNU Vitenskapsmuseet
- Jorge, N. F., Clark, J., Cárdenas, M. L., Geoghegan, H. & Shannon, V. (2021). Measuring Soil Colour to Estimate Soil Organic Carbon Using a Large-Scale Citizen Science-Based Approach. *Sustainability*, 13, 11029. doi: 10.3390/su131911029.
- Kartverket. (u.å.). Norgeskart. Tilgjengelig fra: <https://www.norgeskart.no/#!?project=norgeskart&layers=1002&zoom=11&lat=6788563.13&lon=266435.03&markerLat=6788563.12911435&markerLon=266435.0293520349&p=searchOptionsPanel> (lest 14.09.2023).
- Ly, B. C. K., Dyer, E. B., Feig, J. L., Chien, A. L. & Bino, S. D. (2020). Research Techniques Made Simple: Cutaneous Colorimetry: A Reliable Technique for Objective Skin Color Measurement. *Journal of Investigative Dermatology*, 140: 3-12. doi: 10.1016/j.jid.2019.11.003.
- Lynn, W. C. & McKenzie, W. E. (1971). *Field test for organic soil materials*. Lincoln, Nebraska. Menon Economics. (2018). *Ringsakerfjellet*.
- Miljødirektoratet. (2023). *Høringsnotat om forbud mot nedbygging av myr*.

- Miljødirektoratet. (u.å.). *Naturbase kart*. Tilgjengelig fra: <https://geocortex02.miljodirektoratet.no/Html5Viewer/?viewer=naturbase> (lest 13.09.2023).
- Minh, V. Q., Khoa, L. V., Du, T. T., Vu, P. T. & Tri, L. Q. (2020). Prediction of Orchard Soils Degradation using Munsell Soil Color. *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering* 9(6): 338-343.
- Moen, A., Lyngstad, A. & Øien, D.-I. (2011). *Faglig grunnlag til handlingsplan for høgmyr i innlandet (typisk høgmyr)*. Rapport botanisk serie 2011-3: NTNU Vitenskapsmuseet
- Munsell Color Company. (1975). *Munsell Soil Color Charts*. Baltimore: Munsell Color Company.
- Neal, A. (2004). Ground-penetrating radar and its use in sedimentology: principles, problems and progress. *Earth-Science Reviews*, 66 (3-4): 261-330. doi: 10.1016/j.earscirev.2004.01.004.
- Nelson, D. W. & Sommers, L. E. (1982). Total Carbon, Organic Carbon and Organic Matter. I: Page, A. L., Miller, R. H. & Keeney, D. R. (red.) *Methods of Soil Analysis Part 2 Agronomy 9*, s. 539-579. Madison, Wisconsin, USA: American Society of Agronomy, Inc. .
- NGI. (2023). *Georadar*. Tilgjengelig fra: <https://www.ngi.no/forskning-og-radgivning/grunnundersokelser-container/geofysiske-grunnundersokelser/georadar/> (lest 22.03.2024).
- NIBIO. (2021). *Arealtype myr*. Tilgjengelig fra: <https://www.nibio.no/tema/jord/arealressurser/arealressurskart-ar5/arealtype-myr> (lest 26.04.2024).
- NIBIO. (u.å.). *Kilden*. Tilgjengelig fra: <https://kilden.nibio.no/?topic=arealinformasjon&zoom=0&x=7219344&y=383375&bgLayer=graatone> (lest 14.09.2023).
- Nix Sensor. (u.å.). *Compare Nix Devices*. Tilgjengelig fra: <https://www.nixsensor.com/compare-nix/> (lest 05.05.2024).
- Norsk klimaservicesenter. (2024). *Seklima observasjoner og værstatistikk*. Tilgjengelig fra: <https://seklima.met.no/observations/> (lest 23.04.2024).
- Olsen, L. & Follestad, B. A. (1982). *LILLEHAMMER, kvartærgelogisk kart 1817 II - M. 1 : 50 000*: Norges geologiske undersøkelse. Tilgjengelig fra: <https://www.ngu.no/FileArchive/198/K18172.pdf>.
- Parry, L. E., West, L. J., Holden, J. & Chapman, P. J. (2014). Evaluating approaches for estimating peat depth. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, 119: 567-576. doi: 10.1002/2013JG002411.
- Plado, J., Sibulb, I., Mustasaara, M. & Jöelehta, A. (2011). Ground-penetrating radar study of the Rahivere peat bog, eastern Estonia *Estonian Journal of Earth Sciences*, 60 (1): 31-42. doi: 10.3176/earth.2011.1.03.
- Pretorius, M. L., Van Huyssteen, C. W. & Brown, L. R. (2017). Soil color indicates carbon and wetlands: developing a color-proxy for soil organic carbon and wetland boundaries on sandy coastal plains in South Africa. *Environ Monit Assess*, 189 (11). doi: 10.1007/s10661-017-6249-z.
- Proulx-McInnis, S., St-Hilaire, A., Rousseau, A. N. & Jutras, S. (2013). *Progress in Physical Geography: Earth and Environment*, 137 (6): 767-786. doi: 10.1177/0309133313501.
- Regjeringen. (u.å.). *Høyering - forslag til lov om oppheving av lov om endring av jordlova (oppheve forbudet mot nydyrking av myr - lov-2021-06-11-82)*. Tilgjengelig fra:

- <https://www.regjeringen.no/no/dokumenter/hoyring-forslag-til-lov-om-oppheving-av-lov-om-endring-av-jordlova/id3018737/?expand=horingsinstanser&lastvisited=> (lest 10.05.2024).
- Reynolds, J. M. (2011). *An Introduction to Applied and Environmental Geophysics*. 2. utg. Chichester: John Wiley & Sons. Tilgjengelig fra: https://www.geokniga.org/bookfiles/geokniga-introduction-applied-and-environmental-geophysics_1.pdf (lest 23.03.2024).
- Riahi, K., Schaeffer, R., Arango, J., Calvin, K., Guivarch, C., Hasegawa, T., Jiang, K., Kriegler, E., Matthews, R., Peters, G. P., et al. (2022). *Mitigation pathways compatible with long-term goals*. I: Shukla, P. R., Skea, J., Slade, R., Fradera, R., Pathak, M., Al Khourdajie, A., Belkacemi, M., van Diemen, R., Hasija, A., Lisboa, G., et al. (red.). IPCC, 2022: Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, UK and New York, NY, USA.
- Ringsaker kommune. (2013). *Planbeskrivelse med konsekvensutredning. Revidert med hensyn på kommunestyrets vedtak 20.11.2013, K.sak 90/2013*.
- Ringsaker kommune. (2022). *Kommuneplanens arealdel - revisjon 2022 - sluttbehandling. Arkivsak 20/5544, dokumentnr. 124*.
- Robertson, G. P., Sollins, P., Ellis, B. G. & Lajtha, K. (1999). Exchangeable Ions, pH, and Cation Exchange Capacity. I: Robertson, G. P., Coleman, D. C., Bledsoe, C. S. & Sollins, P. (red.) *Standard Soil Methods for Long-term Ecological Research*, s. 106-114. Oxford, New York, USA: Oxford University Press.
- Rønning, J. S. (2023). *Georadar. Anvendelse, teori, utførelse og eksempler fra undersøkelser*. NGU rapport 2023.002.
- Sass, O., Friedmann, A., Haselwanter, G. & Wetzal, K.-F. (2010). Investigating thickness and internal structure of alpine mires using conventional and geophysical techniques. *Catena*, 80 (3): 195-203. doi: 10.1016/j.catena.2009.11.006.
- Schmidt, S. A. & Ahn, C. (2021). Predicting forested wetland soil carbon using quantitative color sensor measurements in the region of northern Virginia, USA. *Journal of Environmental Management*, 300. doi: 10.1016/j.jenvman.2021.113823.
- Schnitzer, M. & Desjardins, J. G. (1965). Carboxyl and phenolic hydroxyl groups in some organic soils and their relation to the degree of humification. *Canadian Journal of Soil Science*, 45: 257-264. doi: 10.4141/cjss65-036.
- Sensors & Software Inc. (2016). *EKKO_Project Lineview & Interpretation Modules*.
- Sinclair, A. L., Graham, L. L. B., Putra, E. I., Saharjo, B. H., Applegate, G., Grover, S. P. & Cochrane, M. A. (2020). Effects of distance from canal and degradation history on peat bulk density in a degraded tropical peatland. *Science of The Total Environment*, 699. doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.134199.
- Slater, L. & Comas, X. (2009). The Contribution of Ground Penetrating Radar to Water Resource Research. I: Jol, H. M. (red.) *Ground Petrating Radar: Theory and Applications*, s. 203-246. Oxford, UK: Elsevier Science.
- Statistisk sentralbyrå, S. (2023). *Utslipp til luft*. Tilgjengelig fra: <https://www.ssb.no/natur-og-miljo/forurensning-og-klima/statistikk/utslipp-til-luft> (lest 09.05.2024).
- Swindles, G., Morris, P., Mullan, D., Payne, R., Roland, T., Amesbury, M., Lamentowicz, M., Turner, E., Gallego-Sala, A., Sim, T., et al. (2019). Widespread drying of European peatlands in recent centuries. *Nature Geoscience*, 12: 922–928. doi: 10.1038/s41561-019-0462-z. .

- Søgaard, G., Allen, M., Astrup, R., Belbo, H., Bergseng, E., Blom, H. H., Bright, R., Dalsgaard, L., Fernandez, C. A., Gjerde, I., et al. (2019). *Effekter av planting av skog på nye arealer. Betydning for klima, miljø og næring*. . NIBIO Rapport 5 (3): Norsk institutt for bioøkonomi.
- Theimer, B. D., Nobes, D. C. & Warner, B. G. (1994). A study of the geoelectrical properties of peatlands and their influence on ground - penetrating radar surveying. *Geophysical Prospecting*, 42 (3): 179-209. doi: 10.1111/j.1365-2478.1994.tb00205.x.
- Thompson, D. K. & Waddington, J. M. (2014). A Markov chain method for simulating bulk density profiles in boreal peatlands. *Geoderma*, 232-234: 123-129. doi: 10.1016/j.geoderma.2014.04.032.
- Vodyanitskiia, Y. N. & Savichev, A. T. (2017). The influence of organic matter on soil color using the regression equations of optical parameters in the system CIE-L*a*b*. *Annals of Agrarian Science*, 15 (3). doi: 10.1016/j.aasci.2017.05.023.
- Warren, M. W., Kauffman, J. B., Murdiyarto, D., Anshari, G., Hergoualc'h, K., Kurnianto, S., Purbopuspito, J., Gusmayanti, E., Afifudin, M., Rahajoe, J., et al. (2012). A cost-efficient method to assess carbon stocks in tropical peat soil. *Biogeosciences Discussions*, 9 (6): 4477-4485. doi: 10.5194/bg-9-4477-2012.
- Wood, R., Stadler, K., Rasul, K. & Hertwich, E. (2023). *CaFEAN: Carbon Footprint of the Economic Activity of Norway*. Oppdragsrapport M-2651.
- Yr. (2024). *Sjusjøen historikk*. Tilgjengelig fra: <https://www.yr.no/nb/historikk/graf/5-12960/Norge/Innlandet/Ringsaker/Sjusj%C3%B8en?q=siste-13-m%C3%A5neder> (lest 23.04.2024).
- Yu, Z., Loisel, J., Brosseau, D. P., Beilman, D. W. & Hunt, S. J. (2010). Global peatland dynamics since the Last Glacial Maximum. *Geophysical Research Letters*, 37. doi: 10.1029/2010GL043584.
- Øien, D.-I., Fandrem, M., Lyngstad, A. & Moen, A. (2017). *Utfasing av torvuttak i Norge - effekter på naturmangfold og andre viktige økosystemtjenester*. Naturhistorisk rapport 2017-6: NTNU Vitenskapsmuseet.

Dataprogrammer

- Ginger Labs. (2023). *Notability*.
- Microsoft. (2024). *Microsoft Excel* (Versjon 16.83).
- Open Source Geospatial Foundation. (2023). *QGIS* (Versjon 3.32.3-Lima).
- Posit Software PBC. (2022). *RStudio* (Versjon 2023.12.1+402).

Laboratorieresultater

Prøvenr	Kjerne	Prøvenavn	Dybde (cm)	Lengde i cm	Fiberinnhold i %	Tetthet (g/cm3)	Pyrofosfatindeks	pH	Total C %	Total N %	Total H %
1	H1	H1-01	0-10	10	52	0,04	4,5	3,96	47,8	0,88	5,76
2	H1	H1-02	10-17	7	58	0,08	6,1	3,78	49,2	1,33	5,97
3	H1	H1-03	17-38	21	36	0,12	13	4,01	51,0	2,06	5,96
4	H1	H1-04	38-50	12	32	0,12	18,9	4,22	51,5	1,69	6,02
5	H1	H1-05	25-38,5	13,5	24	0,14	21,7	4,2	52,3	1,74	6,15
6	H1	H1-06	38,5-58	19,5	14	0,14	26,2	4,18	52,8	1,48	6,19
7	H1	H1-07	58-67,5	9,5	10	0,16	29,5	4,19	53,7	1,61	6,46
8	H1	H1-08	67,5-75	7,5	4	0,18	46,4	4,24	55,9	1,94	6,51
9	H2	H2-01	0-12,5	12,5	78	0,06	3,6	3,94	48,0	0,91	5,55
10	H2	H2-02	12,5-21,5	9	40	0,1	10	3,68	51,1	1,45	5,95
11	H2	H2-03	21,5-38	16,5	44	0,14	13,3	3,76	52,5	2,47	6,27
12	H2	H2-04	38-50	12	30	0,18	14,9	3,98	54,4	2,50	6,33
13	H2	H2-05	50-66	16	20	0,16	18,7	4,09	54,1	2,24	6,31
14	H2	H2-06	66-87	21	20	0,18	24,3	4,23	55,7	2,61	6,47
15	H2	H2-07	87-100	13	16	0,2	27,5	4,29	57,3	2,33	6,63
16	H2	H2-08	100-116	16	12	0,18	28,2	4,19	57,1	2,11	6,49
17	H2	H2-09	116-127	11	8	0,14	27,4	4,27	56,5	2,01	6,29
18	H2	H2-10	127-141,5	14,5	12	0,14	18,9	4,41	56,5	2,38	6,54
19	H2	H2-11	141,5-150	8,5	6	0,14	23,6	4,39	56,3	2,46	6,42
20	H3	H3-01	0-6	6	28	0,02	2,1	4,3	44,8	0,99	5,68
21	H3	H3-02	6-18	12	48	0,08	3,5	4,42	44,2	1,08	5,51
22	H3	H3-03	18-43,5	25,5	64	0,16	22,2	4,55	45,5	2,34	5,70
23	H3	H3-04	43,5-50	6,5	20	0,2	80	4,62	47,6	2,24	5,89
24	H4	H4-01	0-5	5	70	0,04	2,1	4,4	45,3	0,84	5,25
25	H4	H4-02	5-14	9	42	0,06	3,8	4,26	46,7	1,47	4,97
26	H4	H4-03	14-21,5	7,5	40	0,1	14,2	4,22	50,0	2,10	5,76
27	H4	H4-04	21,5-37,5	16	32	0,14	15,9	4,16	51,8	2,31	6,01
28	H4	H4-05	37,5-50	12,5	24	0,12	16	4,29	53,8	1,84	6,25
29	H5	H5-01	7,5-22,5	15	36	0,12	9,6	4,22	50,8	2,97	6,23
30	H5	H5-02	22,5-36,5	14	10	0,2	16	4,3	55,1	2,49	6,40
31	H5	H5-03	36,5-50	13,5	18	0,16	17,3	4,42	55,6	2,70	6,40
32	H6	H6-01	0-5	5	56	0,06	4,1	4,02	49,1	1,28	5,78
33	H6	H6-02	5-17	12	46	0,08	8	3,73	49,0	1,50	5,42
34	H6	H6-03	17-44	27	38	0,2	27,8	3,71	53,2	2,48	6,29
35	H6	H6-04	44-50	6	26	0,22	33,6	3,97	55,7	2,49	6,65



Norges miljø- og biovitenskapelige universitet
Noregs miljø- og biovitenskapelige universitet
Norwegian University of Life Sciences

Postboks 5003
NO-1432 Ås
Norway