



Norges miljø- og
biovitenskapelige
universitet

Masteroppgave 2022 60 stp

Fakultet for miljøvitenskap og naturforvaltning

Grunnvannsforhold og utvikling av Åsmåsan

Groundwater Conditions and
Development of Åsmåsan

Tveraa, Mads Erik
Miljø og naturressurser

Forord

En masteroppgave markerer slutten på en periode av livet der man finner seg selv, og leder i så måte opp til fortsettelsen og punktet der man for alvor trer inn i de voksnes rekker. I løpet av mine åtte år med studier kan det sies at jeg for alvor har hatt fokus på det å være student, og kanskje i mindre grad på det å være studerende. For å sitere noen vise Trondhjemsstudenter; «*Studetia har vært lang, æ har mora mæ*». Likevel har jeg klart å styre den skuta på riktig vei, både i turbulent farvann og i mer stillestående sjø.

Et slikt stykke arbeid blir ikke til av seg selv, og i så måte er det enkelte personer som skal takkes. Først, mine veiledere Mona Henriksen og Helen Kristine French for gode faglige diskusjoner og tilbakemeldinger. Slik faglig kompetanse har vært svært betryggende å ha i ryggen i denne prosessen. Jeg har også hatt en del hjelp fra andre studenter og ansatte NMBU både i felt og på lab, det må ikke glemmes. En som skal nevnes, er Mina Langfjord, som også alltid har vært behjelpelig ved kjemiske spørsmål jeg ikke finner svar på selv.

Til slutt vil jeg takke min familie for all støtten, og da spesielt min forlovede Marie Konstanse Mangersnes. Uten deg har jeg vanskelig for å se at Mads Erik fra noen år tilbake ville fått så orden på livet som han føler han nå har. Takk for alle glass med vin når vanlig motivasjon ikke strekker til, og all den tryggheten du tilfører. Det hadde virkelig ikke gått uten.

For livets glade gutter, går solen aldri ned!

Ås, 16. mai 2022

Mads Erik Tveraa

Sammendrag

Bruk av geofysiske metoder for kartlegging av myrområder er mye brukt. Myrområder i seg selv er viktige for jordas karbon-balanse, og kontrollering av vannstand i flomperioder. Det er derfor viktig med gode undersøkelser av myrers utbredelse og grunnforhold.

Åsmåsan, ved Ås i Viken, er en myr der det har blitt bygd opp et karbonlager i form av torv over flere tusen år. Myra er mye undersøkt av studenter og ansatte ved Norges miljø- og biovitenskapelige universitet (NMBU), både gjennom georadar (GPR), resistivitetsmålinger (ERT), kjerneprøver og grunnvannsundersøkelser. Under tidligere kartlegginger med georadar har signalet forsvunnet omtrent halvveis ned i myra, og hva som er grunn i dette er med på å danne grunnlaget for denne oppgaven. Det spekuleres i om dette kan knyttes til marine sedimenter under myrbassenget, eller omdanningen av organisk materiale i myra.

For å si noe om utviklingen av Åsmåsan, samt forklare hva som kan være skyld i forsvinnende georadar-signaler i dypet av myra, er det utført kjemisk og visuelle analyser av en torvkjerne hentet opp av myra. Undersøkelser med ERT ble også gjennomført, samt grunnvannsmålinger og modellering av grunnvann for å si noe om vannets oppholdstid i myra, og påvirkning fra årstidsvariasjoner av nedbør.

Det er funnet høye verdier av elektrisk ledningsevne (EC) på 110-120 $\mu\text{S}/\text{cm}$, og lave pH-verdier på 3,74, i øvre 2 m av myra. For dypere deler er det funnet forhøyede verdier av Na og EC på henholdsvis 18 mg/L og 130 $\mu\text{S}/\text{cm}$, som trolig kan knyttes til diffusjon fra underliggende marine sedimenter. Målte verdier av EC for øvre 3 m av myra ble benyttet til å beregne penetrasjonsdyp for georadar på 3,5-3,9 m, som samsvarer omtrent med dypet der georadar-signalet forsvinner. Grunnvannsmodellen viser grunnvannsstrømning fra sør mot nord i myra, og det er beregnet oppholdstid for vann mellom 3,5 og 10 år avhengig av dyp i myra. Torvkjernen viser variasjoner av torvtilvekst og nedbrytning, som beskriver et varierende klima fra myras dannelse og fram til i dag.

Abstract

Geophysical methods are heavily used for mapping of peatlands. Peatlands are an important part of the Earth's carbon cycle, and serve as a huge contribution to controlling the water balance in periods of flood. This proves the importance of good mappings of the extent and ground conditions in peatlands.

Åsmåsan, close to Ås in Viken, is a bog in which carbon, in the form of peat, have accumulated over thousands of years. The bog is deeply studied by both students and employees at the Norwegian University of Life Sciences (NMBU), by the means of ground-penetrating radar (GPR), electrical resistivity tomography (ERT), core sampling and groundwater surveys. Previous mappings with GPR show a weakening of signals approximately half way through the bog, and exploiting the reason for this is one of the goals of this research. This might link with marine sediments below the peat basin, or the decomposition of organic matter in the bog.

To explain the development of Åsmåsan, while finding out what is the reason for GPR signals disappearing half way through the bog, a peat core is studied and analyzed. The bog is surveyed with ERT, and measurements of the groundwater level and modelling of the groundwater flow are used to examine the retention time of water, and the effects from seasonal variations of precipitation.

It is found high values of electric conductivity (EC), 110-120 $\mu\text{S}/\text{cm}$, and as low values of pH as 3.74 in the upper 2 m of the bog. For deeper segments it is found raised values of Na and EC, as much as 18 mg/L and 130 $\mu\text{S}/\text{cm}$. This is thought to come from diffusion from marine sediments below. The measured values of EC for the upper 3 m of the bog are used to calculate a penetration depth for GPR at 3.5-3.9 m. This is in accordance with the approximate depth of the disappearing GPR signals. Groundwater modelling show groundwater flow from south to north, and the calculated retention time of water is between 3.5 and 10 years, depending on depth. The peat core show variations in peat growth and decomposition, reflecting a varying climate from the formation of the bog and until today.

Innhold

Forord.....	I
Sammendrag	II
Abstract.....	III
1. Innledning	1
1.1. Problemstilling	2
2. Områdebeskrivelse.....	3
2.1. Bergrunns- og kvartærgeologi.....	5
2.2. Hydrogeologi.....	8
2.3. Tidligere myrundersøkelser.....	10
3. Materiale og metode	14
3.1. Myr og torv.....	14
3.2. Feltundersøkelser	18
3.2.1. Russerbor	18
3.2.2. Georadar.....	18
3.2.3. Elektrisk Resistivitets-tomografi (ERT)	19
3.2.4. Grunnvannsmålinger.....	23
3.2.5. Slug-test	24
3.3. Labanalyser	24
3.3.1. Visuell beskrivelse	24
3.3.2. Von Post.....	24
3.3.3. Vannekstraksjon.....	25
3.3.4. Tørrstoff	26
3.3.5. Glødetap.....	27
3.3.6. Vannanalyser.....	28
3.4. Modellering	29
4. Resultat	34

4.1.	Feltundersøkelser	34
4.1.1.	Borkjerne.....	34
4.1.2.	ERT	36
4.1.3.	Grunnvannsmålinger.....	37
4.1.4.	Slug-test	39
4.2.	Labanalyser	39
4.2.1.	Tørstoff	40
4.2.2.	Glødetap.....	41
4.2.3.	Vannkjemi.....	41
4.3.	Modellering	44
5.	Diskusjon	48
5.1.	Utvikling av Åsmåsan	48
5.1.1.	Vannets sammensetning.....	53
5.2.	Geofysiske resultater	54
5.2.1.	Resistivitet.....	56
5.3.	Grunnvann.....	56
6.	Konklusjon.....	59
7.	Videre arbeid.....	61
	Referanser	62
A.	Vedlegg.....	66
B.	Vedlegg.....	81

1. Innledning

Myrer er verdifulle, men også sårbare. De er viktige ressurser med tanke på karbonlagring, ikke fordi de tar opp karbon raskt, men fordi de gjennom tusener av år har skapt et stort lager av karbon i form av organisk materiale som nå ligger under overflaten (Gorham, 1991; Yu, 2012). Myrer regnes som en del av våtmarker (Kløve, 1999), og fellesnevneren for disse er at de preges av høy grunnvannsstand (Jørgensen et al., 2013). Dette gir et anoksisk miljø, noe som fører til treg nedbrytning av organisk materiale (Forsgren et al., 2015). Hele 12% av Norges landareal består av våtmark, og 75% av disse er myr (Rekdal et al., 2016). Myrer, og andre våtmarksarealer, er kontinuerlig truet av økende utbygging av både infrastruktur og bebyggelse som er tenkt gjennom og i nærheten av disse områdene. Når det brytes opp i myrene blir det som å stikke hull på en ballong, og lagret karbon i form av den svært potente klimagassen metan (CH_4), som raskt omdannes til karbondioksid (CO_2) når det kommer i kontakt med oksygen, begynner å sive ut (Courouble et al., 2021; Gorham, 1991). Myrer fremstår også som gode flomhindringer, da organisk materiale generelt har god kapasitet for å ta opp vann (Jørgensen et al., 2013; Rezanezhad et al., 2016). Dette gir mindre overvann ved store nedbørshendelser eller under snøsmeltingen. Dette kan vise seg svært verdifullt i tiden som kommer med store klimaendringer, noe som vil medføre mer ekstremvær (Forsgren et al., 2015).

Myr består hovedsaklig av organisk materiale, i ulik grad av nedbrytning. Dess lengre organisk materiale er i kontakt med vann, dess mer karbon er å finne i løst form i vannet (Schlesinger & Bernhardt, 2013). Organisk materiale brutt ned i aerobt miljø, som deretter kommer i kontakt med vann, tenderer til å frigi mer løst organisk karbon (DOC) (Curtin et al., 2016). Avhengig av om grunnvannet i myrer mates av regnvann eller tilsig av grunnvann fra nærliggende løsmasser, vil vann i myr ha ulik kjemisk sammensetning og mengde næring (Moen, 1998). Den kjemiske sammensetningen til vann kan defineres av mengde DOC og konsentrasjon av løste ioner, som videre har stor betydning for pH og elektrisk ledningsevne (EC) (Hem, 1985).

En mye brukt metode for kartlegging av myrområder er georadar (Ground Penetrating Radar – GPR), der elektromagnetiske bølger (EM-bølger) sendes ned i bakken og reflekteres opp igjen. Denne metoden er effektiv om man ønsker å kartlegge torvtykkelse til ulike lag eller volum av myr, da den gir et sammenhengende bilde på endringer av torvsammensetning i dypet i form av reflektorer ned til så mye som 10 m dyp (Rosa et al., 2009). GPR er i

hovedgrad begrenset av EC, da høyere EC fører til at en større andel av EM-bølgene absorberes i stedet for å reflekteres. Organisk materiale er for det meste preget av lav EC, og skal derfor egne seg godt til kartlegging med GPR (Rosa et al., 2009).

Tidligere undersøkelser av Åsmåsan, en skogkledd torvmyr ved Ås i Viken, viser sterke GPR-reflektorer ned til 2-3 meters dyp. Under dette dypet er det en kraftig dempning av signalet, noe som tyder på høy EC og at mer av bølgene blir absorbert. Myra har et kjent dyp på omtrent 6 m fra tidligere innsamlet torvkjerne (Stavang, 2016), med underliggende lag av marin leire fra da området var dekt av hav etter siste istid. Dette danner grunnlaget for oppgavens problemstilling.

1.1. Problemstilling

Det stilles spørsmål til hva som er årsaken for at enkelte myrer, slik som Åsmåsan, gir kraftig dempning av GPR-signaler under et visst dyp. To mulige hypoteser er satt opp, der den ene baserer seg på at det kan knyttes til diffusjon av natrium (Na) og klorid (Cl) fra underliggende marine sedimenter, mens den andre rettes mot at det har tilknytning til endring av omdanningsgraden til det organisk materialet.

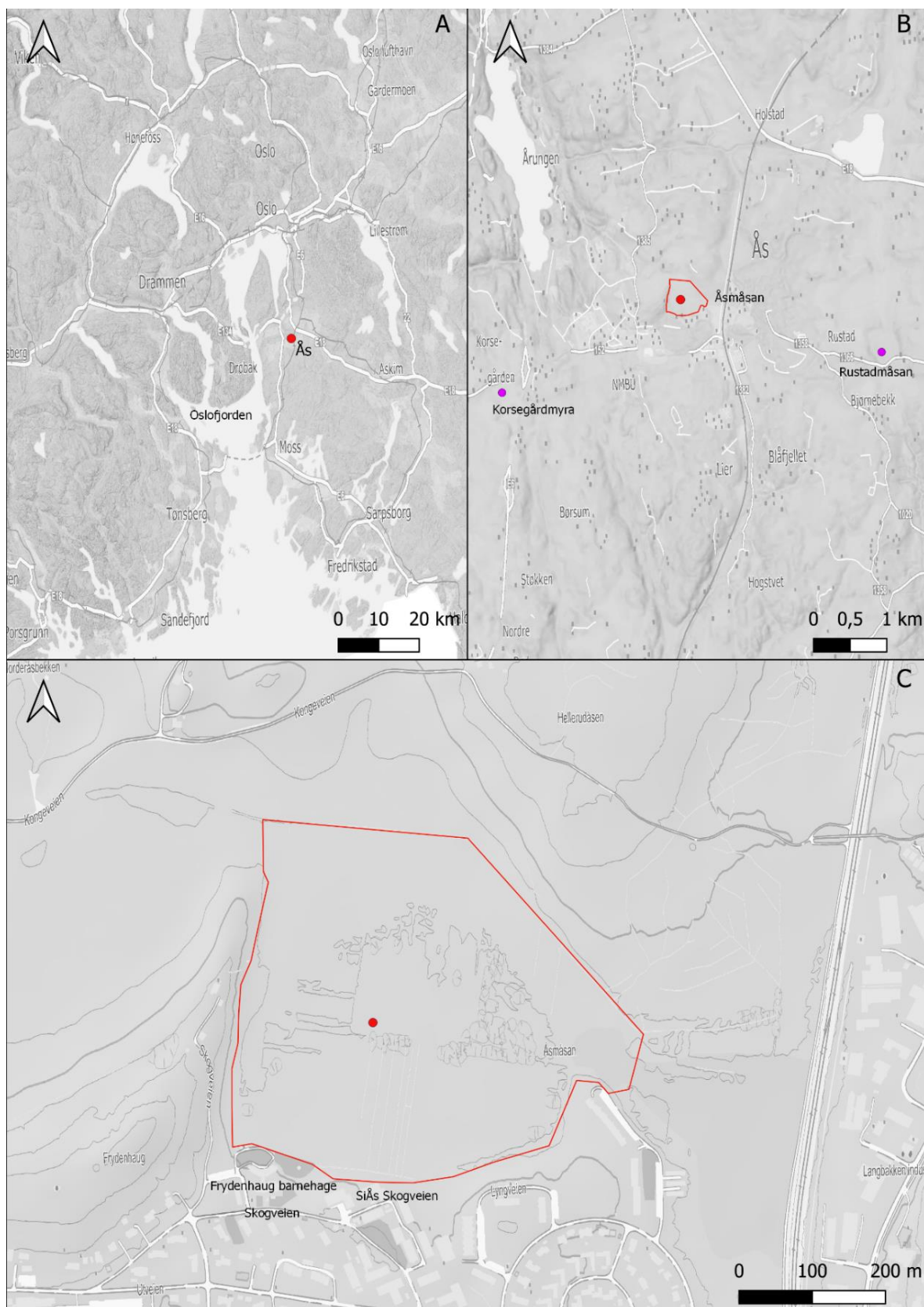
I denne oppgaven skal deler av Åsmåsan kartlegges ved hjelp av grunnvannsmålinger, elektrisk resistivitets-tomografi (ERT) og uthenting av torvkjerne. Grunnvannsmålinger skal sammenliknes med modellert grunnvannsbevegelse basert på nedbørshistorie og vannbalanse i nedbørsfelt. Disse dataene skal benyttes til å si noe om oppholdstid for vann i myra, som videre er med på å definere vannkjemien, og grunnvannsstrømningen. Torvkjernen skal visuelt beskrives, det skal undersøkes for tørrstoff og glødetap, samt at det skal tas vannprøver for kjemisk analyse. Dette skal brukes til tolkning av myras utvikling basert på omdanningsgrad, samt se sammenhenger mellom vannkjemien, omdanningsgrad og forsvinnende GPR-signaler. ERT-profiler skal supplere tidligere innsamlede profiler, samt sees i sammenheng med vannkjemien og GPR-profiler.

2. Områdebeskrivelse

Området som er studert er Åsmåsan, et myrområde i Ås kommune i Viken, tidligere Akershus. Ås kommune ligger øst for Oslofjorden, og omtrent 33 km sør for Oslo (Figur 2-1A). Koordinater for myren er 59.671° N og 10.785° E (*Norgeskart*, 2022). Området er avgrenset av dyrka mark og deler av Kongeveien i nord, Ås sentrum i sør, Frydenhaug i vest og til dels av Follobanen i øst (Figur 2-1C). Selve myren kan anses som todelt, med en østre og vestre del adskilt av et smalere parti, der området som er studert er i vest. Myren strekker seg omtrent 750 m fra Frydenhaug i vest til Follobanen øst, og den vestre delen av myra har en NS-utstrekning på i overkant av 450 m. Åsmåsan er anslått til å ha et totalareal på 485 da (Prestvik, 1975), som tilsvarer omtrent 485 000 m², men er også beregnet til 344 da i senere målinger (Often, 2006). Det undersøkte området er anslått å ha et areal på omtrent 200 000 m² (*Norgeskart*, 2022). Høyden til myra er anslått å være omtrent 95 moh. (Prestvik, 1975).

Den nord-østre delen av myra er beskrevet som næringsfattig sivevannsmyr, mens resten av myra er mosemyr og for det meste skogkledd (Prestvik, 1975). Største dyp er målt til 9 m i 1905 (Skaaraas, 1917), men endret seg til 6 m i 1975 (Prestvik, 1975). Det ble i 2016 tatt ut en kjerneprøve med russerbor i den vestre delen av myra. Her ble det funnet overgang mellom torv og leire mellom 5,5-6,25 m, med et overgangslag av gytje (Stavang, 2016). Dette laget diskuteres også, sammen med et tynt mergel-lag, av Olav Prestvik i Gunnar Sembs bok *Jorda i Ås* (Prestvik, 1975). Ut fra disse avsetningene (Prestvik, 1975), og landsskapsformene (Often, 2006), er det klart at det tidligere var en innsjø der Åsmåsan nå ligger, noe som også er beskrevet av M. Skaaraas i *Aasmyren* (Skaaraas, 1917). Det er også beskrivelser av åpne vannkanter fra så sent som 1826 (Often, 2006; Skaaraas, 1917), men dette kan trolig ikke knyttes til tidligere nevnte innsjøstadie. Årsnedbør i perioden 1991-2020 var på 892 mm, med en årstemperatur for samme periode på 6,3 °C (Wolff et al., 2021).

På midten av det 19. århundre ble det gravd grøfter i Åsmåsan til drenering av myra. Under grøfteprosessen ble det også oppdaget at deler av materialet egnet seg godt til bruk som strøtorv og brenntorv (Skaaraas, 1917), noe som førte til uthenting av torv fra 1874 og frem til 1947 (Often, 2006). Det er beskrevet at grøftingen medførte en innvandring av furu og bjørketrær, som etter hvert har ledet til at Åsmåsan i dag er helt skogkledd (Prestvik, 1975). Dette underbygges videre av at Åsmåsan var beskrevet som skogløs i 1855 (Skaaraas, 1917). I dag er området flittig brukt som rekreasjonsområde, med nær tilknytning til både Frydenhaug barnehage og Studentsamskipnaden i Ås (SiÅs) sine studentboliger i Skogveien.



Figur 2-1: Oversiktskart, med det undersøkte området avgrenset i rødt og lokasjon for torvkjerne som rødt punkt. A) Det undersøkte området ligger sør for Oslo og øst for Oslofjorden. B) Åsmåsan ligger nord for Ås sentrum. Nordvest for lokasjonen kan man se innsjøen Årungen. C) Området ligger nord for Frydenhaug Barnehage og SiÅs Skogveien, vest for jernbanen og øst for Frydenhaug, som er en del av Åsmorenen. Lokasjon torvkjerne er markert som rødt punkt, noen andre nærliggende myrer som lilla punkter. Bearbeidet fra WMS i QGIS (Geodata WMS, 2022; QGIS, 2022).

2.1. Bergrunns- og kvartærgeologi

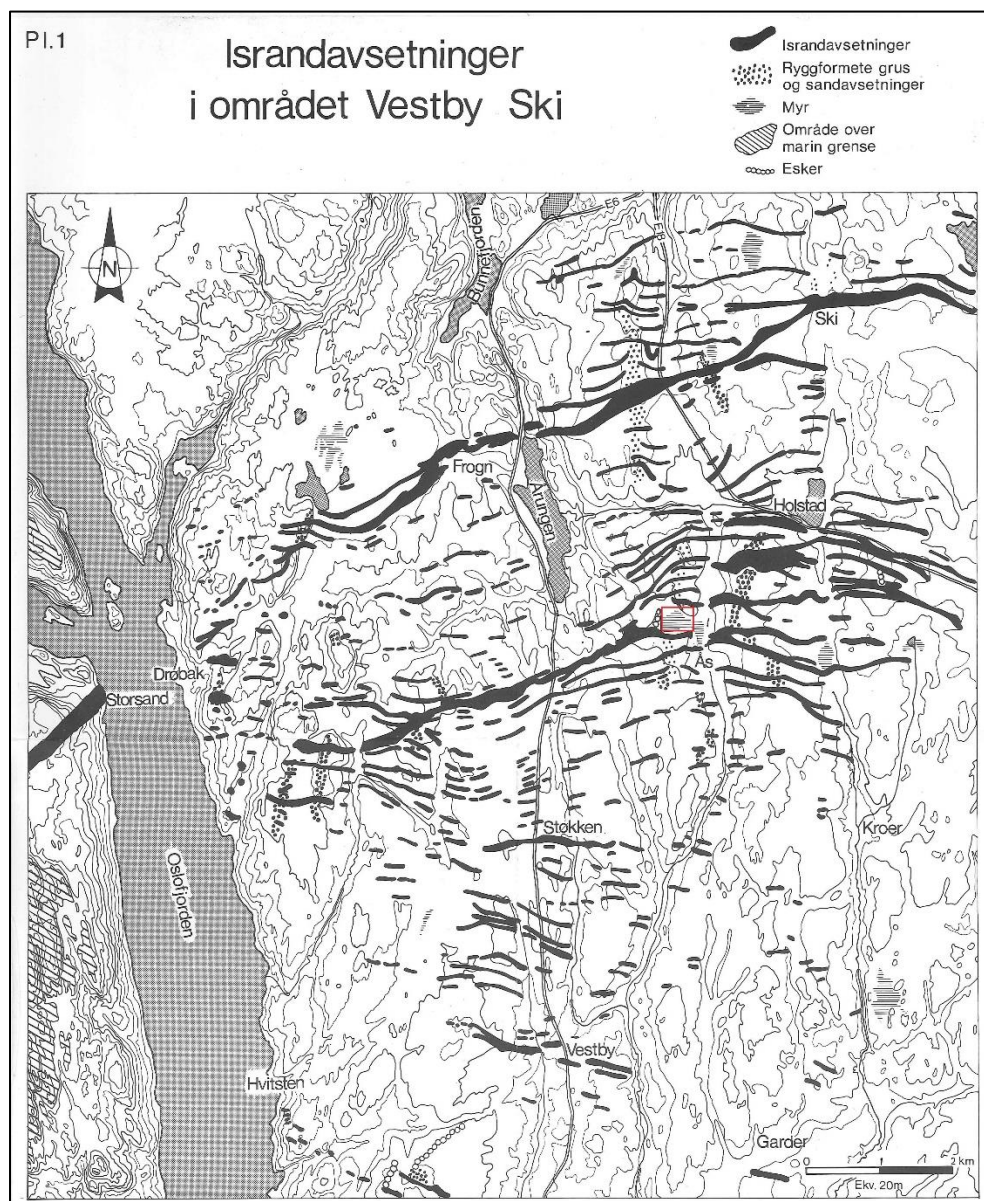
Berggrunnen i området rundt Ås er for det meste preget av (prekambrisk) grunnfjell fra svekonorvegisk orogenese (Berthelsen et al., 1996; Nordgulen & Andresen, 2013), med øyegneis, granittisk gneis og glimmergneis. Det er også spor etter riftestrukturer fra deler av dannelsen av Oslofeltet, med en nord-sørgående rombeporfyr-kropp like øst for innsjøen Årungen (Figur 2-2).



Figur 2-2: Berggrunnskart med Åsmåsan markert med rødt kvadrat. Berggrunnen Åsmåsan består av både granittisk gneis og øyegneis, begge dypbergarter fra prekambrisk tid. Kartet viser en NS-gående forkasting markert med rødstrek, der rombeporfyr har strømmet opp fra perioder med vulkansk aktivitet. Innsjøen Årungen er også tenkelig å ha oppstått over en slik NS-gående forkastning (Bergrunn - Nasjonal berggrunnsdatabase, 2022).

Ved slutten av siste istid lå innlandsisen over Ås, med havet helt inntil. Under isavsmeltingen hadde isen flere opphold der det ble avsatt flere randmorener i øst-vestretning (Bargel, 1997; Nordahl-Olsen, 1987; Sørensen et al., 2015), der den mest kjente av disse trolig er Raet som dateres til midt i yngre dryas, omtrent 12 650-12 350 kalibrerte år før nåtid (kal.år fn). I området rundt Ås og Åsmåsan finner vi rester etter Ås- og Ski-morenen, som vist i Figur 2-3. Disse er første tydelige stopp under isavsmeltingen nord for Raet (Jørgensen et al., 1997). Både Ås- og Ski-morenene er sammensatt av flere mindre morener fra flere opphold, da isen

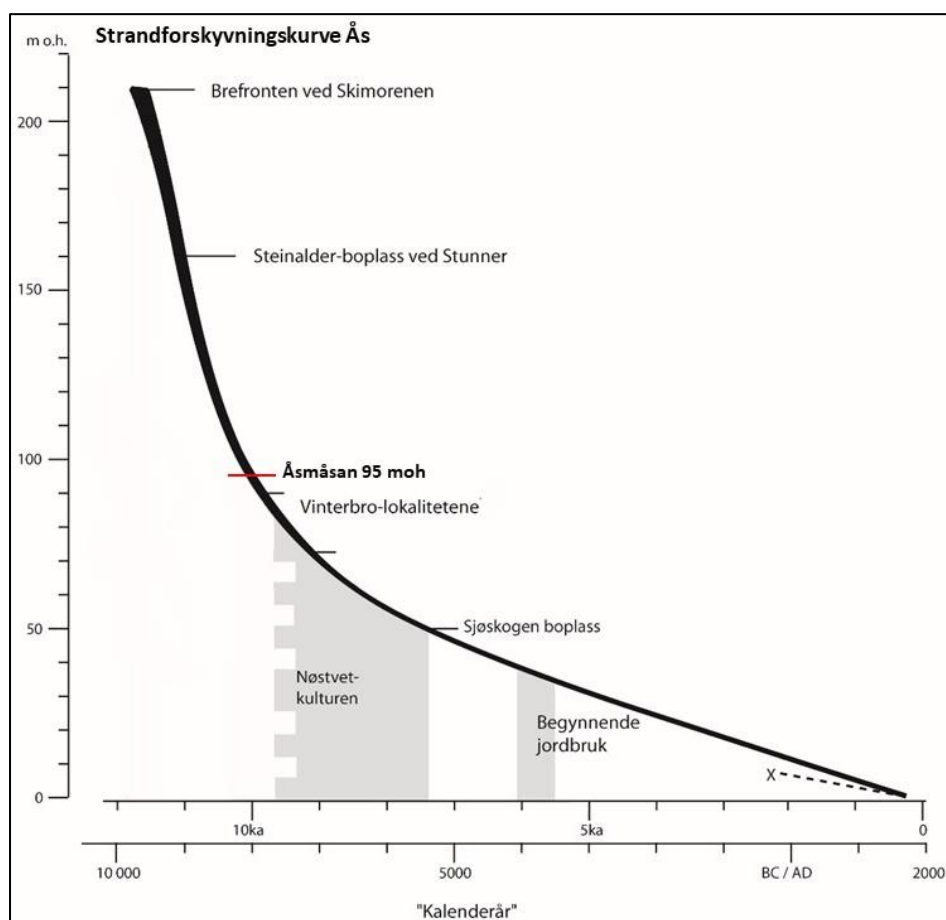
trakk seg tilbake i gjennomsnitt 30-40 m i året (Vorren & Mangerud, 2013). Morenene ble tidligere datert til preboreal tid, men i 1978 ble også disse datert til yngre dryas (Rosenfeld, 1978). Åsmorenen er datert til 11 800-11 650 kal.år fn (Vorren & Mangerud, 2013). Nærmest Åsmåsan finner man Frydenhaug (Figur 2-1C), som er en del av Åsmorenen og avgrenser myrbassenget i vest (Figur 2-5).



Figur 2-3: Israndavsetninger i området Vestby Ski (Rosenfeld, 1978). Åsmåsan merket i rødt, og tegnforklaring i høyre øvre hjørne.. På figuren er østlige deler av Frydenhaug markert som en esker.

Etter hvert som iskanten smeltet tilbake ble området oversvømt og det ble avsatt store mengder marine sedimenter, som i dag dominerer mye av landskapet. Nærmeste beskrevne marine grense er for Skimorenen (Figur 2-4), og er satt til omtrent 210 meter over havet

(Sørensen, 2006; Wensaas Lied, 2018). Etter isavsmeltingen begynte landet deretter å stige, som følge av glasi-isostasi. Ved å studere strandforskyvningskurver for området (Figur 2-4) kom Åsmåsan over havnivå for omtrent 10 300 kal.år fn, noe som videre er beskrevet også for Rustadmåsan (Figur 2-1B), som kan benyttes som en typelokalitet for torvmyrer i området (Sørensen et al., 2015). For Rustadmåsan er det beskrevet at rask landheving førte til at en forsenkning mellom moreneavsetninger ble et lite tjern. I løpet av omtrent 2000 år grodde dette tjernet igjen til et sumpstadie og videre derfra til myr (Sørensen et al., 2011), noe som også kan antas å være tilfellet for Åsmåsan.



Figur 2-4: Strandforskyvningskurve for Ås og Åsmåsan, revidert fra strandforskyvningskurve for Ski av Sørensen (Sørensen, 2006). Her er marin grense på 210 moh. vist med høyde for brefronten ved Skimorenen.

Generelt for området kan det sies å i dag være preget av et svakt undulerende landskap med dalfører fra oppsprekking fylt med tykke sedimentlag, og lave åsdrag med mindre løsmassedekke (Sørensen et al., 2015).



Figur 2-5: Kvartærgeologisk kart over Åsmåsan. Her vises tydelig fordelig av torv og myr som brunt, med tykk morene som avgrensner i vest og syd markert med grønn. Ellers er området preget av mye marine avsetninger fra da området var dekt av hav etter isavsmeltingen (Løsmasser - Nasjonal løsmassedatabase, 2022).

2.2. Hydrogeologi

For å kunne danne seg et godt bilde av hvordan grunnvannsforholdene oppfører seg i Åsmåsan er det viktig å først forstå påvirkningene av nedbør og nedbørsfeltet. En av hypotesene for hva som kan påvirke georadar-signalene i dypet av Åsmåsan er omdanningen av organisk materiale, noe som videre vil påvirke vannkjemien avhengig av oppholdstid. Lengre oppholdstid for grunnvann medfører større påvirkning på vannkjemien fra grunnforholdene. Oppholdstiden kan knyttes opp mot vannbalanselikningen (beskrevet i Brattli (2018); Schlesinger & Bernhardt (2013)):

$$P = E + Q \pm \Delta M$$

Formel 2-1

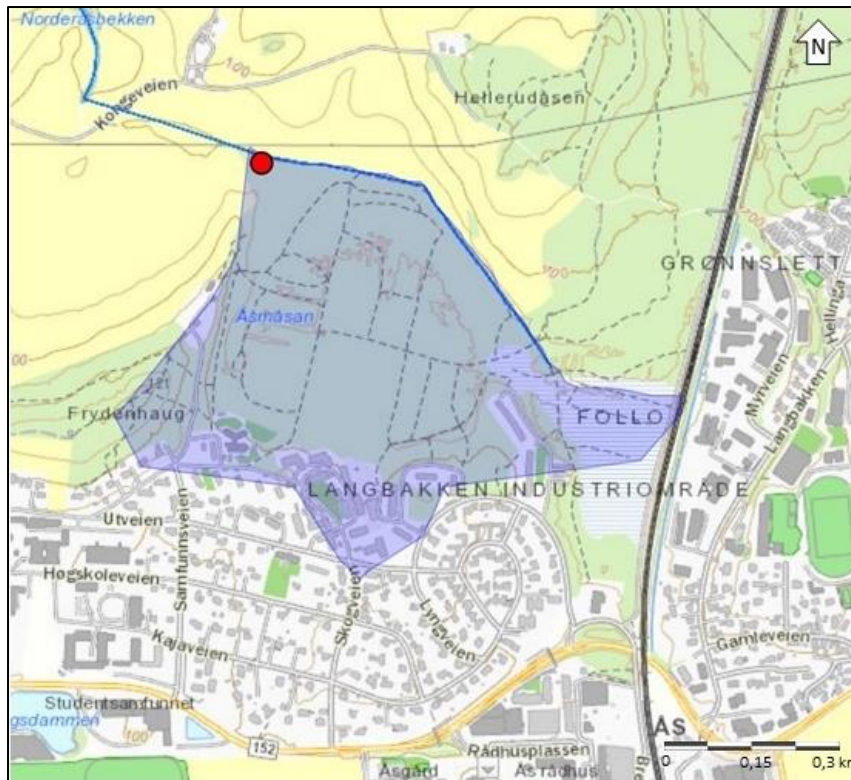
der

P = Nedbør [mm/døgn, måned, år]

E = Evapotranspirasjon [mm]

Q = Overflateavrenning og grunnvannsmating [m^3 , l/s]

ΔM = Endring grunnvannsmagasin



Figur 2-6: Nedbørsfelt for Åsmåsan hentet fra NEVINA. I NEVINA er det forslått et noe større nedbørsfelt, men det er antatt at vann nord for Åsmåsan vil ledes bort av Norderåsbekken, og vann øst for jernbane vil ledes bort av unavnigitt bekk. Ved interesse finnes uredigert nedbørsfelt i vedlegg. (NEVINA, 2022)

Det er ikke tilstrekkelig å bare vite påvirkning fra nedbør og nedbørsfelt, men det må også sees på hvordan vannet oppfører seg i grunnen. Henry Darcy fant ut at strømningsrate (Q) gjennom en sandsøyle er proporsjonal med søylens strømmingstverrsnitt (A) (beskrevet i Brattli (2018)). Fra dette ble Darcy's lov bestemt:

$$Q = -KA \frac{dh}{dL} = -KAI$$

Formel 2-2

der

Q = Strømningsrate [m^3/s]

K = Hydraulisk konduktivitet [m/s]

A = Strømmingstverrsnitt [m^2]

$I = dh/dL$ = Hydraulisk gradient

I denne oppgaven vil den hydrauliske konduktiviteten, som er et mål på hvor raskt en væske beveger seg gjennom et medium, være av størst interesse. Den kan videre defineres som:

$$K = -\frac{Q}{A}I$$

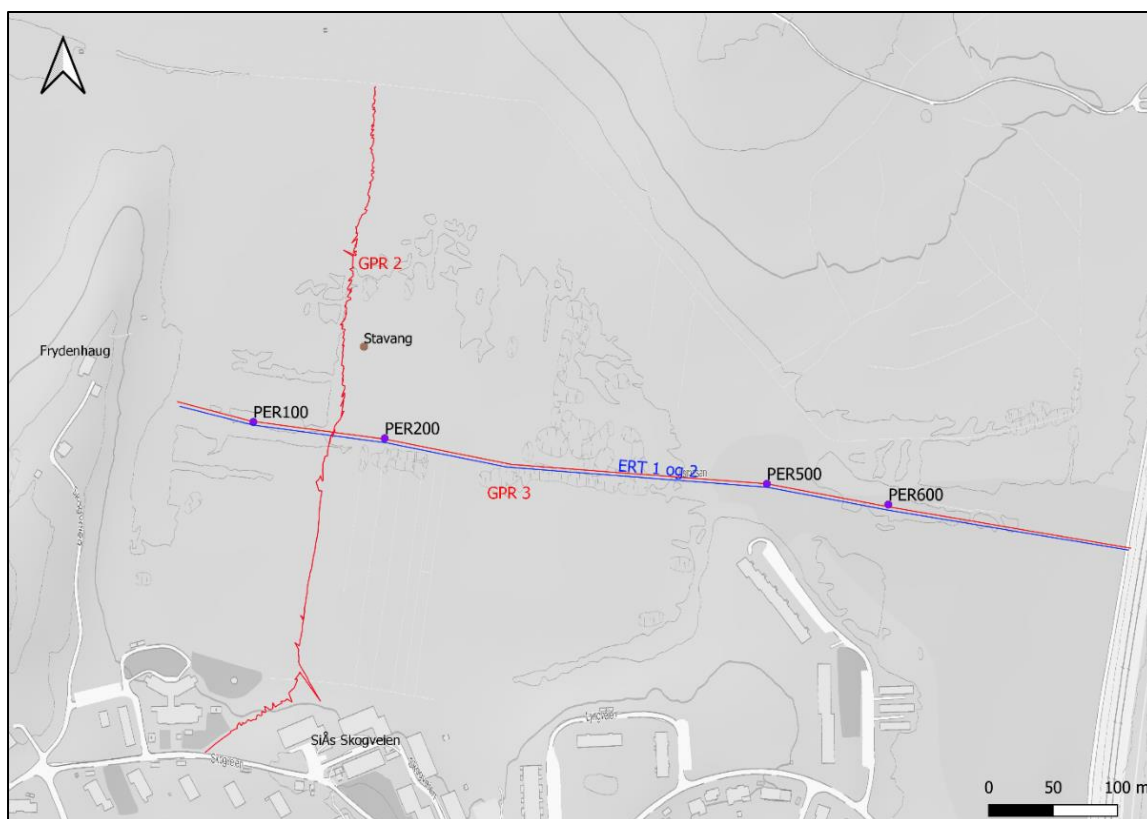
(2-1)

Det er fra tidligere, gjennom kurset GEO220 Hydrogeologi ved NMBU (French, 2016), installert målerør for grunnvann i Åsmåsan ved syv punkter med 100 m mellomrom mellom hvert punkt. Disse målingene strekker seg omtrent fra Frydenhaug i vest til jernbanen i øst (Figur 2-7). Disse punktene er nummerert PER100, PER200, PER300, PER400, PER500, PER600 og PER700, der tallene representerer distansen mot øst fra Frydenhaug. I 2021/2022 er det bare målerørene ved PER100, PER200, PER500 og PER600 som står igjen, muligens som følge av at rørene har sunket ned i myra eller blir dratt opp av lokale turgåere.

2.3. Tidligere myrundersøkelser

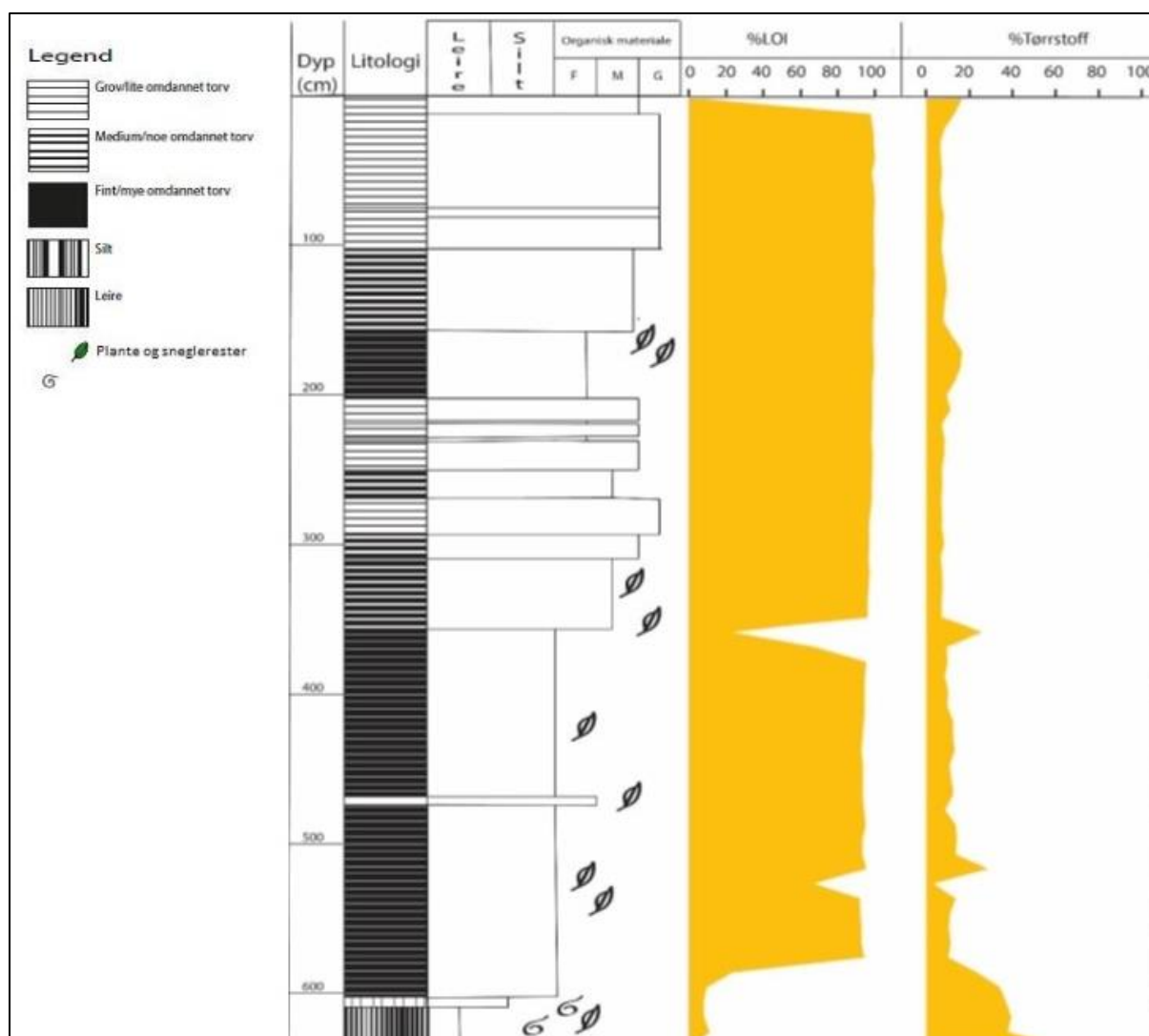
Åsmåsan har lenge vært av interesse for lokalboende i Ås-området, og da også av studenter og ansatte ved det som tidligere ble kalt Norges landbrugshøiskole, nå Norges miljø- og biovitenskapelige universitet (NMBU). Tilknyttet avhandlingen *Aasmyren*, av Marius Skaaraas (1917), ble det hentet ut flere torvkjerner og myrens utforming ble beskrevet. Her omtales myren fra bunn til topp som delt i flere lag, med fin leire nederst, omtrent 10 cm mergel fra skallrester, 2-3 m dekomponert brun-sort plantemasse bestående av mye omdannet og oppsmuldret tremasse, og over denne dekomponerte massen et tredelt lag ren mosetorv som varierer fra 2 til 5 m i mektighet, avhengig av hvor på myra man befinner seg. Dette laget er generelt beskrevet som lite omdannet, sett bort fra et midtre område ved omtrent 2 m dyp der torven er sterkere omdannet.

I nyere tid er det gjennomført geofysiske undersøkelser av Åsmåsan, både ved bruk av georadar (GPR) og Elektrisk Resistivitets-tomografi (ERT). Mye av dette er hentet inn av studenter ved NMBU, som en del av undervisningen i emnet GEO220. Resultatene fra en del av disse undersøkelsene er sammenstilt i en rapport til Ås kommune knyttet til deres utredning om mulighetene til utbygging i Åsmåsan (French, 2016).



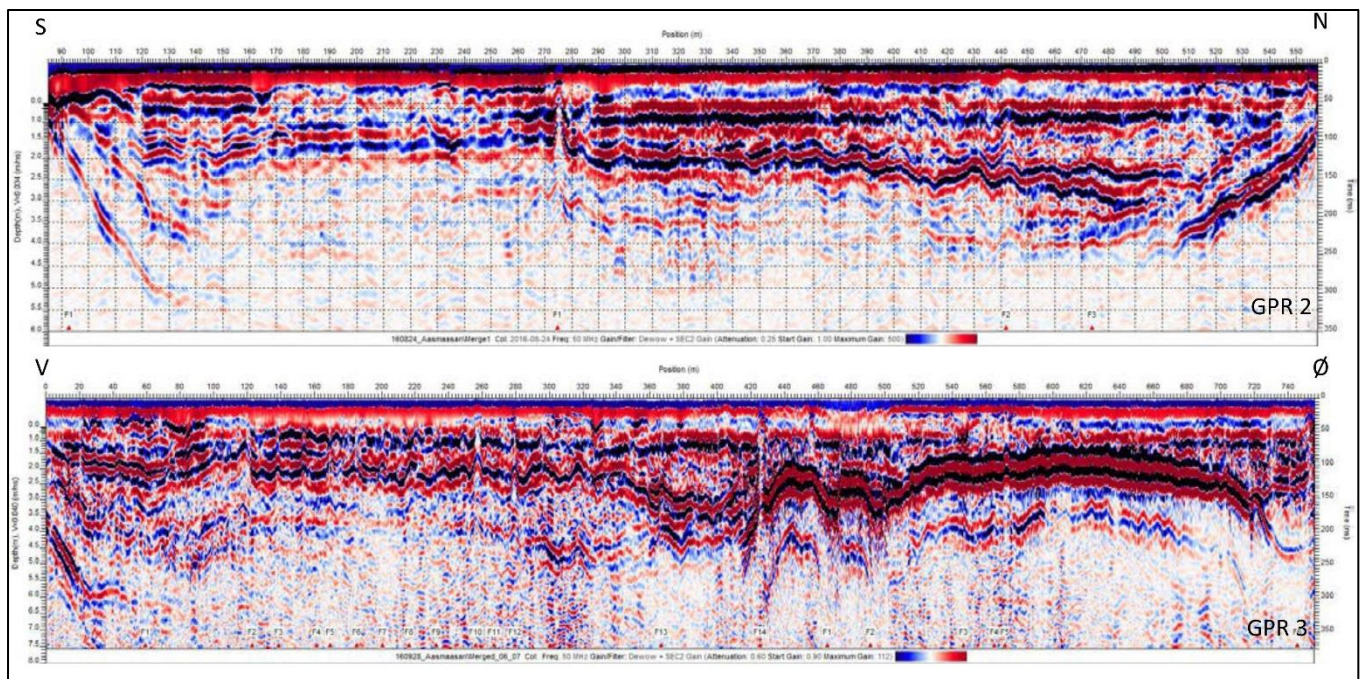
Figur 2-7: Kart over noen av tidligere gjennomførte undersøkelser i Åsmåsan. Lokasjon for Anne Stavangs torvkjerne markert som brunt punkt, GPR-linjer fra 2016 som røde linjer med original nummerering, ERT-linje i VØ-retning som blå linje og resterende peilebrønner PER100, PER200, PER500 og PER600 som lilla punkter. For GPR 2 er det målt opp faktisk linje med GPS. Bearbeidet fra WMS i QGIS (Geodata WMS, 2022; QGIS, 2022)

I 2016 gjennomførte Anne E. Stavang undersøkelser av den vestre delen av Åsmåsan som et spesialpensum i geologi for NMBU. I denne undersøkelsen ble det hentet opp en torvkjerne og utført kartlegging av tre ulike dybdeprofiler ved gjennomføring av fire georadar-målinger. Torvkjernen ble hentet opp ved punkt N59 40.277 E10 47.015 (Figur 2-7). Torvkjernen er beskrevet å ha en vekslende grad av omdanning i dypet, der øvre del er mindre omdannet og lysere, mens nedre del er mer omdannet og har en mørkere farge. I logg over torvkjernen (Figur 2-8) er det også tydelig funnet mer bevarte planterester i mer omdannede områder. Her er det også tatt med tørrstoff og glødetap for kjernen, der glødetap viser seg å være nokså stabilt, med en gradvis nedgang fra omtrent 98% og ned mot 80-85%, med noen variasjoner. Tørrstoff varierer for det meste fra 8-20%, men holder seg stort sett lavt. Helt i bunn av kjernen er det beskrevet et gytje-lag, noe som vises som en økning i tørrstoff og nedgang i glødetap. Kjernen er også sammenliknet med pollendiagram fra Rustadmåsan (Sørensen et al., 2015), der 350-595 cm dyp i Åsmåsan korreleres med 250-500 cm dyp i Rustadmåsan, som er datert med ^{14}C til 2500-7500 kal.år fn (Stavang, 2016). De øvre 250 cm av Rustadmåsan ble videre korrelert med de øvre 350 cm av Åsmåsan.



Figur 2-8: Torvkjerne fra Åsmåsan (Figur 2-7) hentet ut i 2016, med analysert glødetap og tørrstoff. Modifisert fra Stavang (2016).

Til georadar-målingene ble det brukt en GPR fra Sensors and Software Inc., bestående av en vogn med en datamaskin og to antenner. Det første profilet ble kartlagt april 2016. Andre profil ble først kartlagt 17. august 2016 ved 100 MHz, deretter 24. august 2016 ved 50 MHz da første måling ikke viste tydelig nok skille mellom torv og leire. Tredje profil ble kartlagt 28. september 2016. Det er valgt å fokusere på GPR 2 og GPR 3, da disse er ansett som mest relevante for området kartlagt i denne oppgaven. For GPR 2 er det beskrevet tydelige horisontale reflektorer i dypet som er antatt å visualisere endringer i torvsammensetning. Fra 2-3 meters dyp blir disse reflektorene mindre og mindre tydelige, noe som også kan sies å være tilfelle for GPR 3 (Figur 2-9).



Figur 2-9: GPR-profiler for GPR 2 og GPR 3 (Figur 2-7), modifisert fra Stavang (2016). For begge profiler vises det tydelige horisontale reflektorer i dypt som er antatt å representere endringer i torvsammensetning. I GPR 2 er det observert dyppende reflektorer som forsvinner i bunn både i sørlig og nordlige ende. Disse er antatt å vise form på bunn av myrbasseng. For GPR 3 er det en tydelig reflektor fra midten av myra og østover, ved omtrent tre meter dyp, som antas å være grunnfjell.

Høsten 2016 gjennomførte Vilde J. Øybekk undersøkelser av *Grunnvannet i Åsmåsan* knyttet til et spesialpensum i geologi (Øybekk, 2016). Her ble høyden til peilebrønnene innmålt ved bruk av nivellering, samt at høyden til grunnvannsspeilet ble kartlagt opp mot høyden til myren. Her ble det vist til et grunnvann som følger topografien, men med et toppunkt omtrent midt på myra, der den er på sitt smaleste. Under denne innmålingen ble det brukt to forskjellige fastpunkt til å måle brønnenes høyde, SSIR mellom Sørhellinga og TF-bygningen, tilknyttet Campus NMBU, og JBVO1312 under jernbanebru over Follobanen, omtrent 1 km nord for Ås Stasjon (Norgeskart, 2022). Målingene fra de to fastpunktene viste avvik fra hverandre med omtrent 5 m i høyde for innmålingene. Innmålinger fra fastpunkt SSIR ga høyde for PER100 på 96,2 moh. Innmålinger fra JBVO1312 ga høyde for PER200 på 102,5 moh., PER500 på 103,4 moh. og PER600 på 101,3 moh. Utfra dette kan det defineres at høyeste punkt på myra vil være i nærheten av PER500. Data fra Kartverket gir at høyden til Åsmåsan ligger mellom 95-96 moh. (Høydedata, 2022), det er derfor valgt å videre i oppgaven anta at den mest nøyaktige innmålingen er fra SSIR, og benyttet høyde for myra videre er 95 moh.

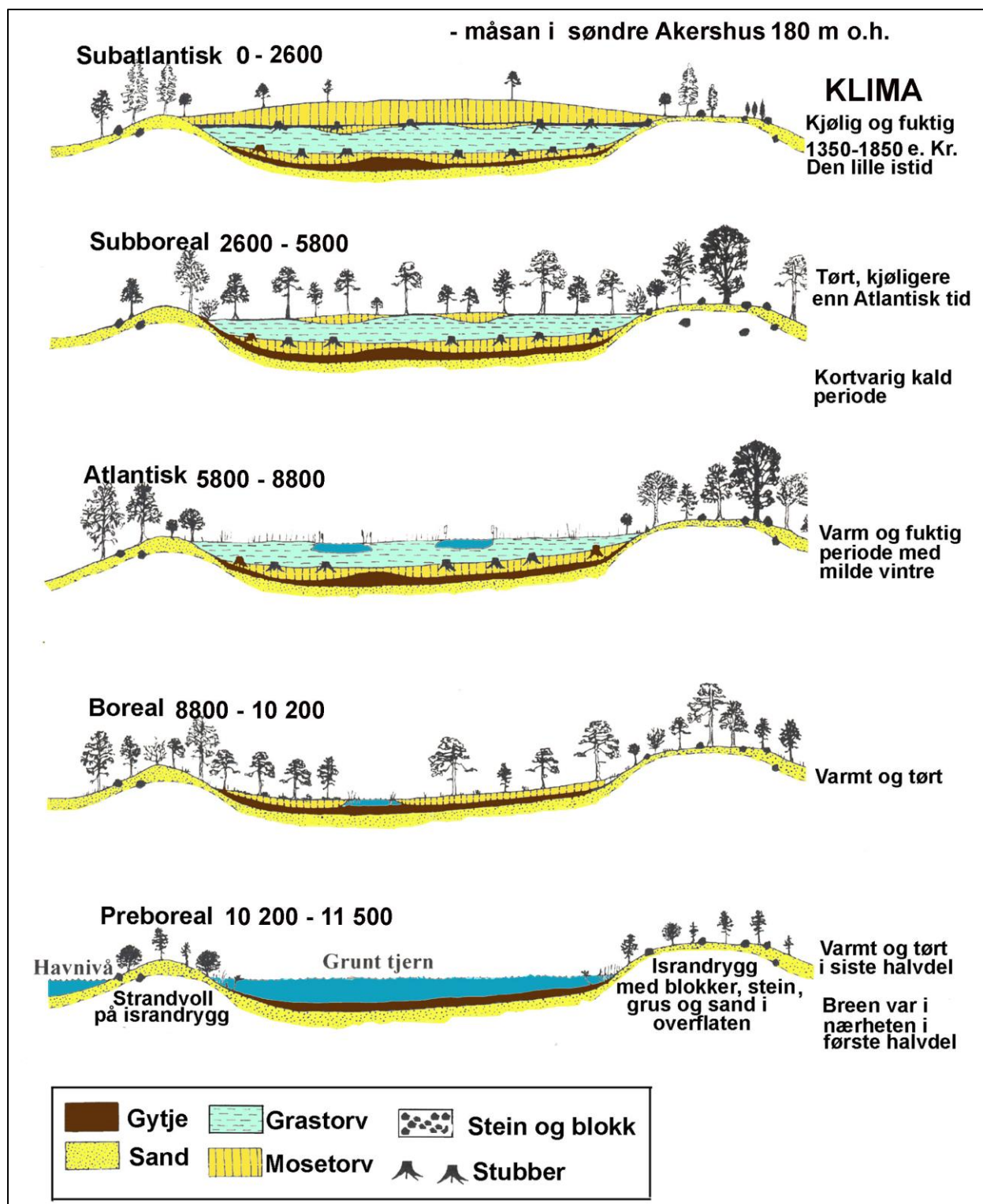
3. Materiale og metode

3.1. Myr og torv

En myr er regnet som et område med minimum 30 cm torv over annen mineralgrunn (Jørgensen et al., 2013; Prestvik, 1975). Når vann står høyt i jordsmonnet hindrer det tilgangen til oksygen, noe som videre fører til at nedbrytning av organisk materiale går tregt (Jørgensen et al., 2013). Myrer dannes gjennom opphoping av organisk materiale, som vil si at det er høyere produksjon av organisk materiale enn nedbrytning (Prestvik, 1975). Dette kan skje på flere måter, blant annet ved gjengroing av innsjøer eller tjern, eller i områder der vannet i grunnen står nært overflaten.

Det kan skilles mellom de to typene myr: jordvannsmyrer (minerotrofe myrer) og nedbørsmyrer (ombrotrofe myrer). Jordvannsmyrer mates fra både grunnvann og nedbør, mens nedbørsmyrer har vokst over grunnvannet og mates derfor bare av nedbør. I løpet av utviklingen til en myr kan det tidvis variere mellom disse to myrtypene, avhengig av klima (Jørgensen et al., 2013). Jordvannsmyrer finnes stort sett over hele landet, mens nedbørsmyrer er mest vanlig i sør-østlige deler av Norge (Kløve, 1999).

Vekstforhold i en myr varierer avhengig av klima, men samtidig er disse sterkt påvirket av næringstilførsel. For tilfeller med jordvannsmyrer føres mye næring inn i myrområdet med grunnvannet, noe som fører til at gress og andre arter som drar god nytte av tilgangen på næringsstoffer dominerer veksten. Dette er gjerne beskrivende for perioder som preges av et fuktig og varmt klima. I fuktige perioder vil torvveksten kunne regnes som stor, da nedbrytningen vil være lav som følge av anoksiske forhold, men opphopningen av organisk materiale vedvarer (Sørensen et al., 2015). Videre kan vekst av torvmoser føre til heving av myroverflaten og gjennom dette mindre tilføring av næring fra jordvann. I slike situasjoner vil dette føre til en endring av myrtype, der mosetorv og andre næringsgjerrige plantearter dominerer og henter det de trenger fra næringsfattig nedbør. I perioder med tørrere klima og lavere grunnvannsnivå kan slik mosetorv danne grunnlag for dannelse av skog på myra. Ved etterfølgende fuktigere perioder vil grunnvannet stige igjen og skogen vil dø. Dette er vist i overgang mellom boreal og atlantisk tid, og subboreal og subatlantisk tid, i Figur 3-1. Slike deler i utviklingen kan ofte sees som et stubbelag (Jørgensen et al., 2013).



Figur 3-1: Dannelse og utvikling av en typisk myr på Sør-Østlandet, avhengig av klima. Her vises det hvordan det etter at havnivået sank lå igjen et grunt tjern, som etter hvert vokste igjen i boreal tid og ble dekt av mosetorv. I atlantisk tid var det varmt og fuktig, noe som førte til høyt grunnvann og tilførsel av næringsrikt vann. I subboreal tid var det noe kjøligere enn i atlantisk tid, men tørt noe som førte til tilvekst av trær. I subatlantisk tid ble det fuktig igjen, og trærne døde og ble overvokst av mosetorv. Dette sees gjerne som et stubbelag, eller lag med mørk og godt omdannet torv i myrer i Akershus og Østfold. Tider er oppgitt i kal.år fn. (Jørgensen et al., 2013)

Våtmarker, som også dekker myr, er regnet som både viktige flomhindre og karbonfangere (Sørensen et al., 2015). En våtmark er beskrevet som et område der jorda er dekt med vann, enten konstant eller med sesongvariasjoner. Under dette begrepet inngår også områder som grunne tjern, samt både skogkledde og åpne sumper. Våtmarker alene står for lagringen av mer enn 50% av karbonen i jord i verden (Schlesinger & Bernhardt, 2013), der torvområder står for 20-30% av all karbon i jord i verden (Aminudin et al., 2018; Puranen et al., 1999).

For de fleste myrer i Norge kan vekst i torvmasse sies å ligge på 0,2-0,4 mm/år (Kløve, 1999). Samtidig må det tas høyde for at organisk materiale brytes ned, spesielt i perioder med lavt grunnvannsspeil. Nedbrytning av organisk materiale fører til at normalt nokså store porerom kollapser, og den generelle porøsiteten til et materiale blir lavere. Det medfører også komplikasjoner for ledningsevnen til materialet som vil bli lavere ettersom det er mindre porerom for vann å ledes gjennom. For omdannet organisk materiale kan mengden vann som dreneres ut sies å være så lav som 10%, der det for ikke-omdannet organisk materiale kan komme opp i hele 80% (Rezanezhad et al., 2016). Det er vanskelig å tallfeste hvor stor påvirkning på myrers volum komprimering har, da klima tenderer til å variere mye fra sted til sted. Forsøkt tallsatt komprimeres organisk materiale med en rate på 8-48 mm, med 100 mm som utgangspunkt. En kan derfor si at myrer «krymper» med en rate på 18-34 mm, med 100 mm som utgangspunkt (Rezanezhad et al., 2016). Dette underbygger videre påstander fra påmøtt lokalbefolkning i Åsmåsan om at de har observert at myra «synker».

Drenerte myrer tenderer til å oppføre seg annerledes enn myrer i normalstand. Under undersøkelser av Rustadmåsan (Figur 2-1B) er det vist til at grøfting av myrområder fører til en senkning av grunnvannsspeilet, som igjen fører til en raskere tilvekst og innvadering av myrområdet fra flere trær (Sørensen et al., 2015). Her er det vist til at om ikke grøftene tettes igjen vil det føre til delvis uttørking av myrområdene gjennom både avrenning og økt evapotranspirasjon fra flere trær, noe som igjen vil føre til raskere nedbrytning av organisk materiale og økt utslipp av CO₂. Dette kombinert med økt temperatur som følge av klimaendringer vil kunne vise seg å føre til store mengder nedbrytning av organisk materiale i myrene (Forsgren et al., 2015).

Ved feltmålinger av elektrisk ledningsevne (EC) i torv, er det vist å kunne variere fra noen få og til flere hundre mS/m (Ponziani et al., 2011), der 1 mS/m tilsvarer 10 µS/cm. EC er lineært avhengig av mengde løste ioner i vannet som metter torven, og kan sies å følge formelen (Hem, 1985; Puranen et al., 1999):

$$C = A \times \sigma$$

Formel 3-1

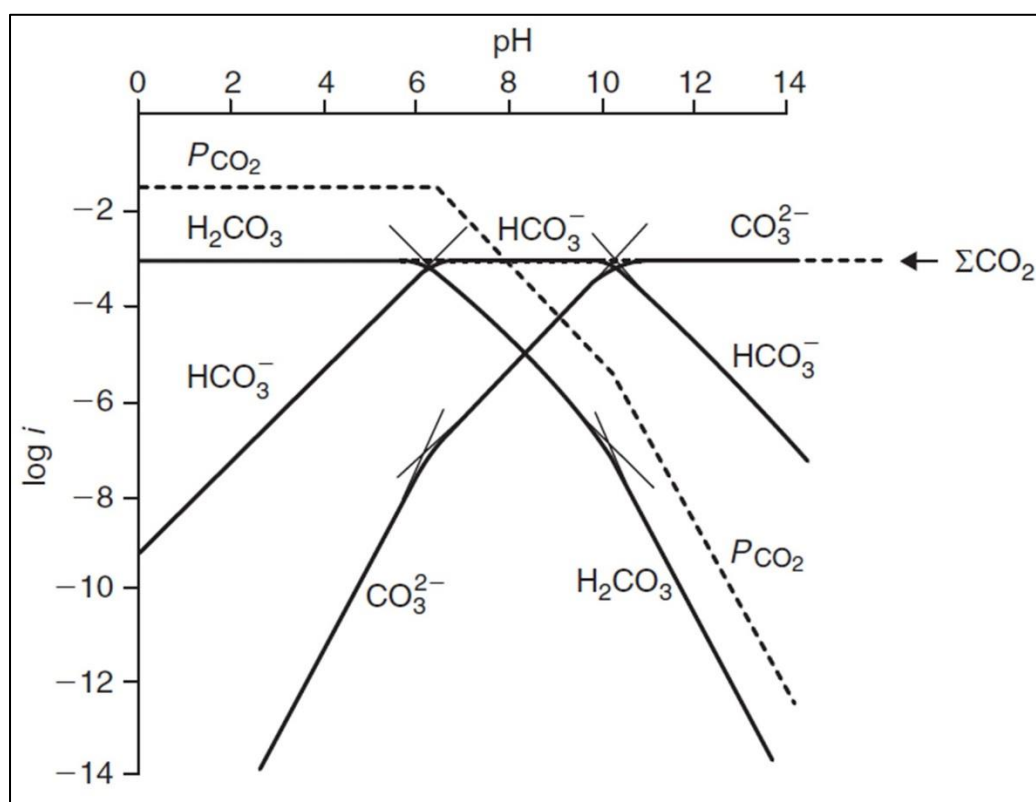
der

C = Konsentrasjonen av mengde løste stoffer [mg/L]

A = Koeffisient med verdi 5,4-9,6 for naturlig vann

σ = Elektrisk konduktivitet [mS/m]

EC kan i mindre grad bli påvirket av vanninnhold, løst organisk karbon (DOC), pH og kationbyttekapasiteten (CEC). Avhengig av hvilken form DOC opptrer vil dette kunne påvirke pH i ulik grad. På lik måte som konsentrasjon av ulike karbonater kan si noe om pH, kan pH si noe om konsentrasjon av ulike karbonater i grunnvann (Figur 3-2). Løseligheten til organisk materiale er også vist å øke med økt pH (Curtin et al., 2016). For surt myr vann er det vist at pH-verdier på 3,5, 4 og 4,5 tilsvarer en økning i EC på henholdsvis 96, 30 og 10 $\mu\text{S/cm}$. Først ved pH-verdier over 5 regnes denne påvirkningen som neglisjerbar (Puranen et al., 1999).



Figur 3-2: Tilstedeværelse av karbonater vist i diagram over aktivitet som funksjon av pH (Appelo & Postma, 2005). Diagrammet viser at karbonsyre (H_2CO_3) er dominerende for $\text{pH} < 6,3$, bikarbonat (HCO_3^-) for pH mellom 6,3 og 10,3 og karbonat (CO_3^{2-}) for $\text{pH} > 10,3$.

3.2. Feltundersøkelser

Her under er det beskrevet de ulike metodene benyttet i felt. Det er også forklart noe rundt metode for innhenting av georadar da dette er en viktig del av basisen for oppgaven, til tross for at denne metoden ikke ble benyttet i felt.

3.2.1. Russerbor

Det ble tatt ut borekjerne ved bruk av russerbor i aluminium av typen Eijkelkamp. Russerbor består av en kapsel som innhyller sedimentprøver når boret vrir seg. Kapselen er 0,5 m lang, har en diameter på 5 cm, og følger med en stang på 1 m. For å komme dypere ned ble det skjøttet på med ekstrastenger på 0,5 og 1 m, de fleste i aluminium, men noen i messing. Det ble øverst gravd av et lag på 0,25 m med torv og røtter ved hjelp av spade. Videre ble det benyttet russerbor som ble dyttet ned en halv meter av gangen, vridd om for å inneslutte prøve og deretter dratt opp. Det ble totalt tatt opp 4,5 m torvkjerne, mellom 0,25-4,75 m dyp. Det ble forsøkt å prøveta dypere, men ved omtrent 5 m dyp sa det stopp. Prøvene ble lagt i halve rør av hardplast på 0,5 m, tullet inn i plast og markert med øvre og nedre del, samt del av dybde. Prøvene ble videre transportert til kjølelager i kjelleren på Jordfagsbygningen ved NMBU for oppbevaring før analyser, som er beskrevet i Kapittel 3.3.

3.2.2. Georadar

Georadar (Ground Penetrating Radar – GPR) er en geofysisk kartleggingsmetode der elektromagnetiske bølger (EM-bølger) fra en senderantenne (transmitter) sendes inn i et medium en ønsker å undersøke. Bølgene blir reflektert av en grenseflate der de geofysiske egenskapene til mediumet endres. Dette kan være grunnvannsnivå eller geologiske lag. Etter å ha blitt reflektert mottas bølgene av en mottakerantenne (receiver). Tiden det tar fra en bølge blir sendt til den mottas kalles toveis gangtid (TWT) (Mauring et al., 1995; Rosa et al., 2009), og er et mål på avstand. Hvor lett lagene lar seg penetrere av bølgene bestemmes av EC for mediumet og ved hvilken frekvens bølgene blir sendt ut. Høy EC fører til høyere absorpsjon av bølgene, og gjennom dette lavere penetrasjonsdyp. Penetrasjonsdyp kan tilnærmet estimeres, foruten påvirkningen fra antennefrekvens, ved (beskrevet i Mauring et al. (1995));

$$d_{max} < \frac{35}{\sigma}$$

Formel 3-2

der

$d_{\max}$ = Maksimalt penetrasjonsdyp [m]

σ = Elektrisk ledningsevne (EC) [mS/m]

Torv er beskrevet å ha et maksimalt penetrasjonsdyp med GPR på 15-20 m, når det ikke tas hensyn til antennefrekvens (Mauring et al., 1995).

GPR er en mye brukt metode for kartlegging av myrer, og da spesielt med tanke på dyp og volum (Rosa et al., 2009). Etter som kunnskapen og metodene har utviklet seg har det også blitt brukt til kartlegging av strukturen i myrene.

Fuktig leire eller saltvann kan føre til komplikasjoner for GPR, ved at EM-bølgene absorberes og dermed ikke blir reflektert tilbake til mottakeren (Mauring et al., 1995). Vann er et polart molekyl, og når ioniske forbindelser er i kontakt med vann vil de kunne dissosieres til positivt og negativt ladde ioner. Når disse får bevege seg fritt i vann vil de lede strøm, og den elektriske ledningsevnen er proporsjonal med antallet løste ioner (Annan, 2003). Mange frie ioner fører altså til høy ledningsevne og at færre bølger penetrerer dypet. Dette vil altså kunne synes som en reflektor, og selv tynne lag av dette kan føre til mindre signaler i dypet (Mauring et al., 1995).

3.2.3. Elektrisk Resistivitets-tomografi (ERT)

Elektrisk Resistivitets-tomografi (ERT) går ut på at man sender elektrisk strøm (I) inn i jorda mellom to elektroder, for så å måle forskjell i spenningspotensial (ΔV) mellom to andre elektroder. Dette baserer seg på Ohms lov, som sier at resistansen (R) er avhengig av I og ΔV . Avhengig av R til ulike materialer i grunnen vil en altså kunne måle variasjoner i ΔV . Oppsettet brukt i disse undersøkelsene er Wenner, som baserer seg på lik avstand mellom alle elektroder (Wiwattanachang & Giao, 2011). Wenner har en geometrisk faktor $k = 2\pi a$, der a er avstanden mellom elektrodene (Figur 3-3). Når potensialet er kjent, kan en videre bruke Formel 3-3 til beregning av antatt resistivitet (beskrevet i Wiwattanachang & Giao (2011)):

$$\rho_a = 2\pi a \frac{\Delta V}{I} = kR$$

Formel 3-3

der

ρ_a = Antatt resistivitet

og Ohms lov (beskrevet i Brown & Musil (2004)):

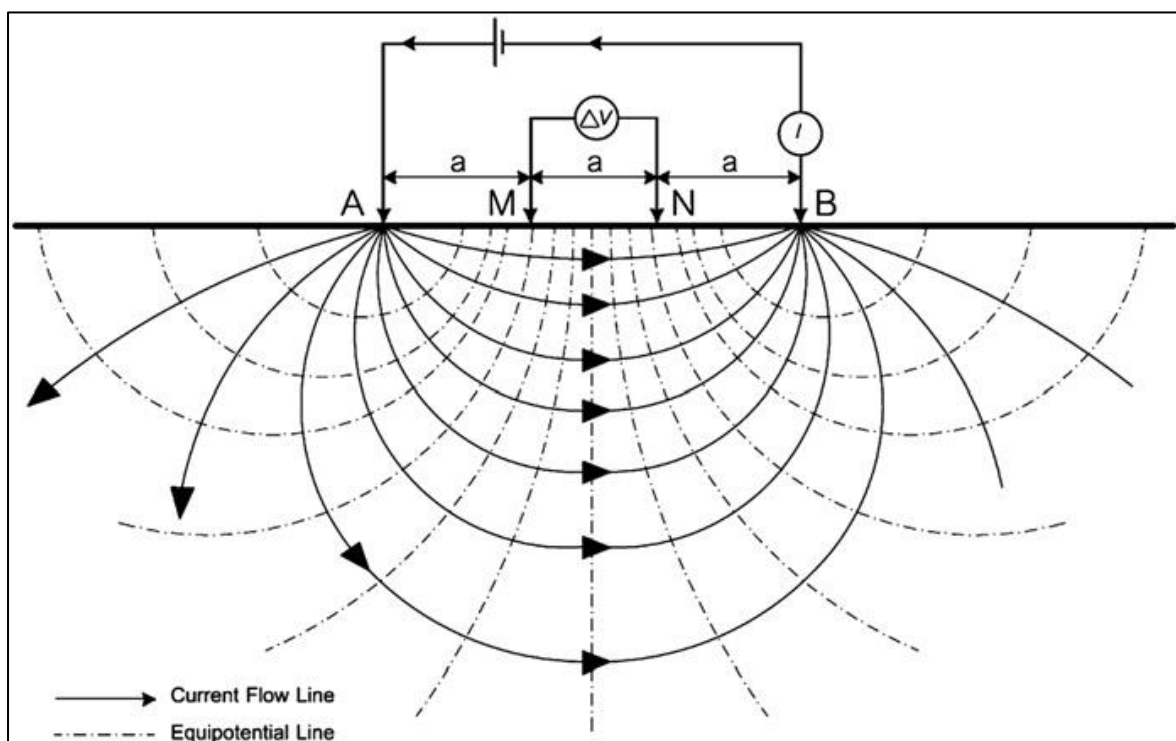
$$R = \frac{\Delta V}{I}$$

Formel 3-4

Resistivitet (ρ) er beskrevet som EC (σ) invertert, noe som er vist i formelen:

$$\rho = \frac{1}{\sigma}$$

Formel 3-5

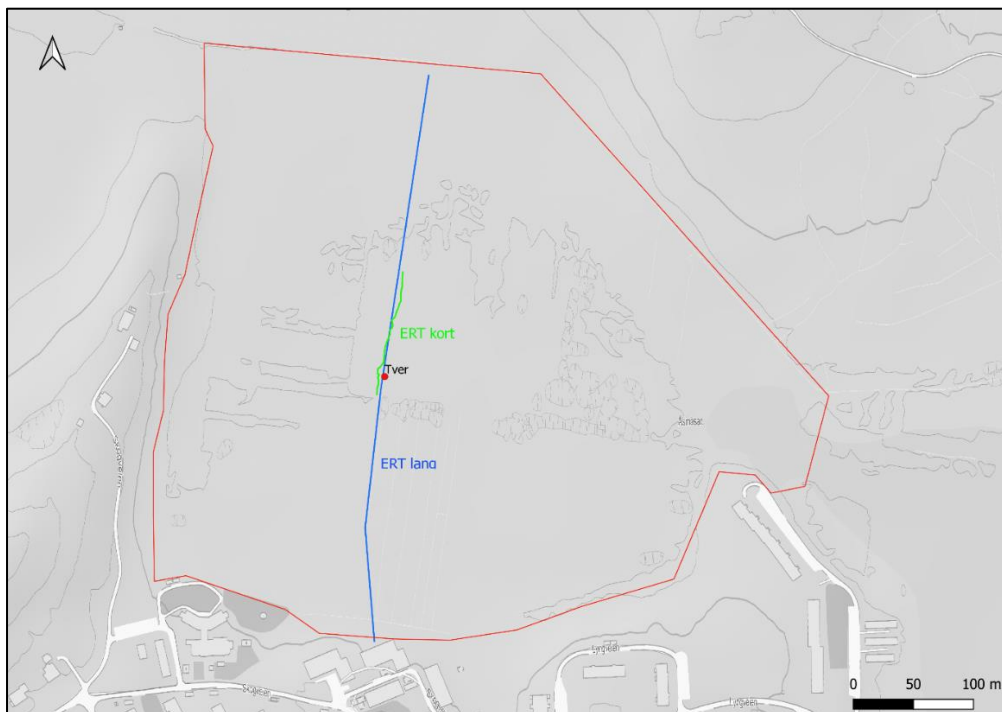


Figur 3-3: Oppsett for Wenner der elektrisk strøm (I) sendes mellom elektrodene A og B, og spenningspotensialet (ΔV) måles mellom elektrodene M og N. For Wenner er avstand mellom elektrodene (a) lik (Wiwattanachang & Giau, 2011).

Målingene settes opp ved at man har et likt antall elektroder på hver side av en signalboks. Elektrodene settes ned i bakken med en forhåndsbestemt avstand mellom hver elektrode, der avstanden avhenger av hvor dypt man ønsker å kartlegge. Større avstand mellom elektrodene gir større dyp (Wiwattanachang & Giau, 2011), men kan da gjøre det vanskeligere å

differensiere mellom ulike lag. Elektrodene kobles så til en signalkabel som strekkes langs profilet, og videre kobles til signalboksen på midten. Det brukes flere signalkabler på hver side av signalboksen, som skjøtes sammen.

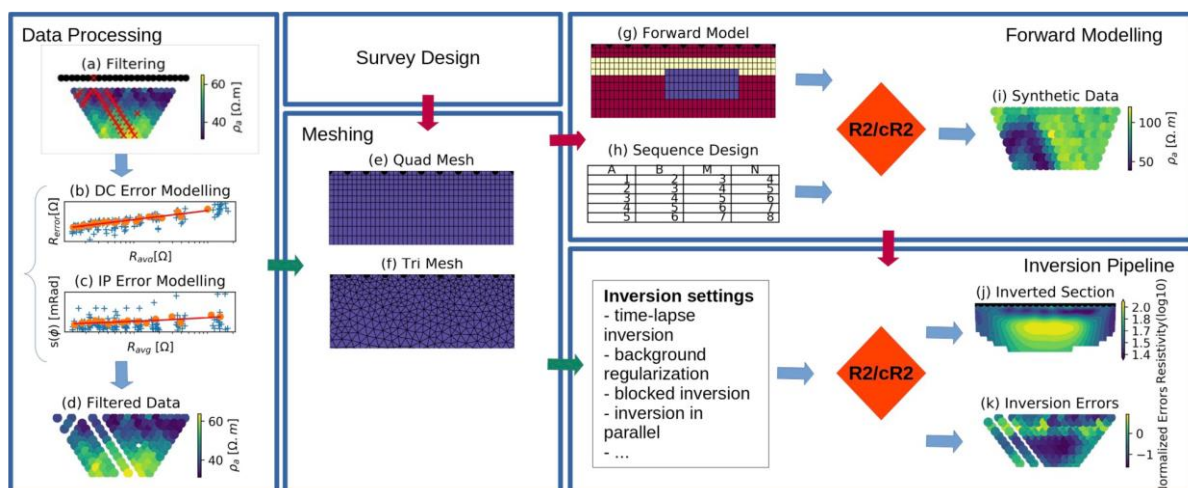
Det ble gjennomført to målinger, en måling torsdag 11. november 2021 og en måling onsdag 17. november 2021. Til målingene ble det benyttet en signalboks av typen Syscal Pro fra IRIS Instruments. Begge målinger ble gjennomført på 7 t og 54 min, pluss montering opp og ned. For begge målingene ble det brukt 96 elektroder, men med ulik avstand mellom elektrodene. Første måling ble gjennomført med 1 m mellom hver elektrode, og var en såkalt grunn og kort måling. Andre måling ble gjennomført med 5 m mellom hver elektrode, og var en dypere og lengre måling. Dette ga en totallengde for ERT-linjene på henholdsvis 95 og 475 m. Begge måletraseene gikk så godt det lot seg gjøre i en rett linje i NS-retning (Figur 3-4), med første elektrode plassert lengst sør, og supplerer tidligere profiler som bare gikk i ØV-retning. Disse profilene vil kunne gi en bedre forståelse av den romlige fordelingen av myra.



Figur 3-4: Kart med ERT-linjer og brønn, her markert som ERT kort og ERT lang. Beliggenhet til kjerne er omtrent 15 m nord for start ERT kort og 250 m sør for slutt ERT lang. Bearbeidet fra WMS i QGIS (Geodata WMS, 2022; QGIS, 2022).

Etter data for profiler er samlet inn må disse videre bearbeides for å finne sann resistivitet. Det er benyttet ResIPy, som er et gratis åpent kildekode-program, for intuitiv invertering,

modellering og visualisering av data (Balanchy et al., 2020). I ResIPy kan resultatene enkelt pre-prosesseres før invertering. For å luke unna unøyaktigheter kan det kjøres kvalitetskontroll ved å legge et filter på resultatene for resiprokalfeil. Dette gjøres for å fjerne anomalier, og punkter der målingene ikke er tilstrekkelig nøyaktige. Videre kan det bestemmes å bygge opp modellen med triangulært eller kvadrilateral mesh, der kvadrilateralt passer godt for enkle modeller der det ikke er for kompliserte strukturer, og triangulært passer godt der det er mer kompliserte strukturer og topografiske variasjoner. Her kan man også velge å sette opp en dybde for profilet, noe som er nyttig om man bare ønsker å se ned til et spesifikt dyp. Etter pre-prosesseringen kan målingene inverteres, for deretter å visualiseres som konduktivitet eller resistivitet. Etter invertering må det verifiseres om de inverterte resultatene er tilstrekkelig nøyaktige. Dette gjøres ved å sjekke om verdier av inverteringsfeil ligger på +/- 3%, som beskrevet i Binley et al. (1995). Dataene kan videre post-prosesseres til tilfredsstillende nøyaktig resultat er oppnådd.

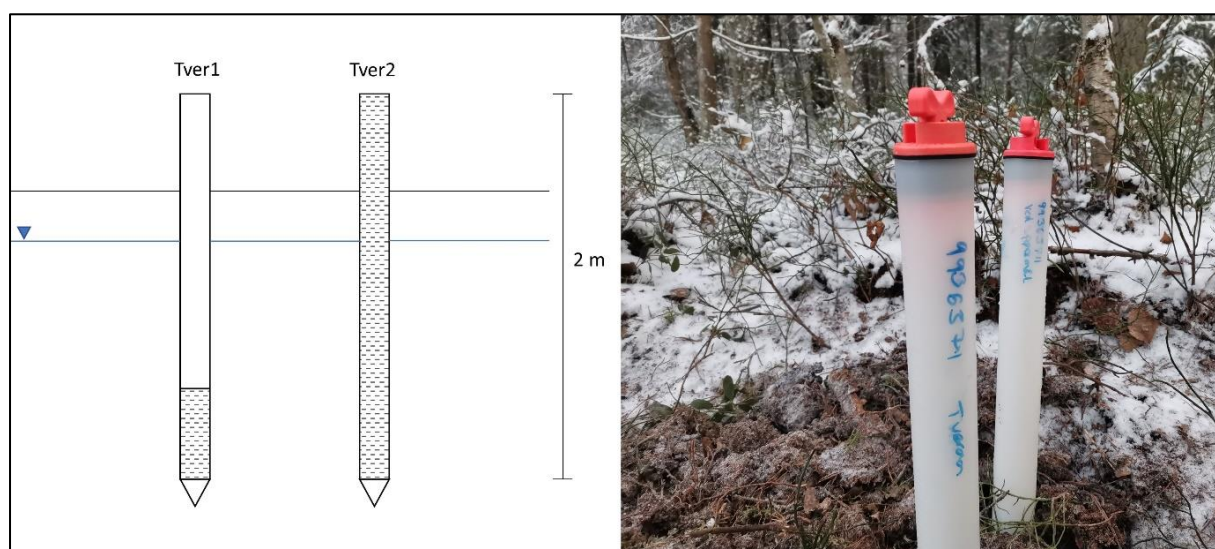


Figur 3-5: Oversiktsfigur over mulighetene for bearbeiding av data ved bruk av ResIPy. Røde piler viser prosessen ved design av profil i ResIPy, mens grønne piler viser prosessen ved importering av egne data og prosessering av disse. Ved import av data ser en først illustrering av muligheten til å filtrere vekk punkter som kan være forringet (a-d), videre valg av mesh mellom kvadrilateral (e) og triangulær(f). Deretter kan det styres hvordan dataene skal inverteres, hvordan modell kan se ut etter invertering (j) og bearbeiding av feil etter invertering (k) (Balanchy et al., 2020).

Målingene ble importert inn i ResIPy hver for seg. Det ble kjørt kvalitetskontroll med filter for resiprokalfeil på 5%. For begge målingene ble det benyttet triangulær mesh, for å få så nøyaktige konturer av grenser som mulig. Videre ble det satt grense for dyp for det lange profilet på 30 m og for det korte profilet på 10 m.

3.2.4. Grunnvannsmålinger

Det ble gjennomført målinger av grunnvannsstand i peilebrønner plassert ut av studenter under feltundersøkelser i emnet GEO220 (NMBU) i 2016, og i to selvmonterte markeringsrør der torvkjerne ble hentet ut (Tabell 3-1). Begge markeringsrørene er på 2 m, og montert slik at 30 cm stikker over bakken (Figur 3-6). Det ble satt ut et markeringsrør 1. desember 2021 med slisser nederste 50 cm og tett plast resten. Det andre røret er slisset hele lengden på 2 m, og ble montert 3. desember 2021. Målingene ble ikke gjennomført i noe fast interval, men spredt jevnt over perioden fra oktober 2021 til og med mars 2022. Disse målingene er ment til å lage en visuell oversikt over hvordan grunnvannsstanden i Åsmåsan endrer seg gjennom årstider og i perioder under og etter nedbør.



Figur 3-6: Markeringsrør Tver1 og Tver2 montert i Åsmåsan ved punkt for torvkjerne (Figur 3-4). Tver1 er slisset nederste 50 cm, Tver2 er slisset hele veien. Begge rørene er totalt 2 m. Foto: Mads Erik Tveraa.

Tabell 3-1: Koordinater for punkter i Åsmåsan der det ble gjennomført grunnvannsmålinger. Koordinatene for PER100, PER200, PER500 og PER600 er hentet fra Vilde J. Øybekks rapport om «Grunnvannet i Åsmåsan» (Øybekk, 2016) og konvertert til likt format som for punkt Tver. Se også kart i Figur 2-1 og Figur 2-7.

Punkt	E [°]	N [°]
PER100	10.781806	59.670778
PER200	10.783611	59.670639
Tver	10.783272	59.670767
PER500	10.788861	59.670250
PER600	10.790528	59.670083

3.2.5. Slug-test

Det ble gjennomført slug-test for å finne hydraulisk konduktivitet (K) i myra. Dette baserer seg på Hvorslevs metode, og går ut på at en kjent væske helles i et rør med kjent diameter, dybde og filterlengde. Grunnvannsstand logges før tilføring, og etter tilførsel frem til grunnvannsstand har normalisert seg, eller i det minste nådd 37% unna normalstand. Flere registrerte måletider fører til høyere nøyaktighet. Deretter beregnes K ved bruk av Formel 3-6, hentet fra Schwartz & Zhang (2003b):

$$K = \frac{r^2 \ln \left(\frac{L_e}{R} \right)}{2L_e t_{37}}$$

Formel 3-6

der

K = Hydraulisk konduktivitet [L/T][cm/s]

r = Radius brønnrør [cm]

R = Radius filter/slisset del [cm]

L_e = Lengde filter/slisset del [cm]

t₃₇ = Tid for grunnvannsnivå å nå 37% av endring [s]

3.3. Labanalyser

I dette delkapittelet vil metoder og analyser gjennomført på lab bli beskrevet.

3.3.1. Visuell beskrivelse

Det ble gjennomført visuell bedømmelse av farge i torvkjernen ved hjelp av Munsell Soil Color Charts (Munsell, 1975). Det ble samtidig tatt en evaluering av fibrigheten til prøvene, der det er delt inn i grov, medium og fin fibrighet. Visuell bedømmelse av farge og fibrighet kan gi et godt utgangspunkt mot tolkning av omdanningsgraden for torven i prøvene.

3.3.2. Von Post

For å bedømme grad av omdanning ble torvkjernen delt i segmenter på 10 cm, og det ble utført klemmetest der mengde væske, farge på væske og turbiditet ble sammenliknet med Von Post-skalaen (beskrevet i Brooks et al. (2014)). Skalaen strekker seg fra H1 til H10, der H1 er udekomposert og bare gir klar væske og H10 er fullstendig dekomposert, som vist i Tabell 3-2.

Tabell 3-2: Von Post-skala, fritt oversatt fra tabell 16 i "Conserving Bogs – The management handbook" (Brooks et al., 2014)

Stadie i omdanning	Mengde masse gjennom fingre	Beskrivelse	Tilstand plantemateriale	Tilstand utklemt væske
H1	Ingenting	Ikke omdannet	Uberørt plantestruktur	Klart gul-brunt vann
H2	Ingenting	Nesten omdannet	Distinkt plantestruktur	Nesten klart, gul-brun
H3	Ingenting	Svært lite omdannet	Distinkt plantestruktur; for det meste gjenkjennbart	Lett turbid brunt
H4	Ingenting	Svært lite omdannet	Distinkt plantestruktur; for det meste gjenkjennbart	Sterkt turbid vann
H5	Svært lite	Moderat omdannet	Klar plantestruktur, men mindre gjenkjennbar	Sterkt turbid, noe torv i suspensjon
H6	1/3	Godt omdannet	Udistinkt plantestruktur	Gjørmete, mye torv i suspensjon
H7	1/2	Sterkt omdannet	Udistinkt med få gjenkjennbare rester	Sterkt gjørmete
H8	2/3	Veldige sterkt omdannet	Svært udistinkt, bare plantefibre og trerester er gjenkjennbare	Tykk gjørme, lite fritt vann
H9	Tilnærmet alt	Nesten helt omdannet	Plantestruktur nærmest ugjenkjennbar	Null fritt vann
H10	Alt	Helt omdannet	Fullstendig amorft	Null fritt vann

3.3.3. Vannekstraksjon

Det ble hentet ut vannprøver fra 16 punkter i prøvekjernen til for å måle elektrisk ledningsevne til vannet i myra, samt for å se om det var høyere saltinnhold nær bunnen av myra. Det ble tatt ut 10 cm jord, av halve prøvesylindere, ved hvert prøvepunkt. Disse ble lagt i forhåndsveide kapsler nummerert fra 1 til 16, med lokk i begge ender. Kapsler med prøver ble deretter veid på nytt for totalvekt slik at de samme prøvene kunne brukes til beregning av tørrstoff etter vannekstraksjon. Fra 0,25-2,25 m ble det tatt ut en prøve per 0,5 m.

Videre fra 2,25-4,25 m ble det hentet ut to prøver per 0,5 m og fra den siste halve meteren med kjerne, fra 4,25-4,75 m, ble det hentet ut tre prøver. Eksakte dyp er vist i Tabell 3-3.

Tabell 3-3: Oversikt over dyp til vannprøver som ble ekstrahert fra torvkjerne. Vannprøvene er ekstrahert fra segmenter fra torvkjernen på 10 cm.

Prøve nr	Dyp fra [m]	Dyp til [m]
1	0,25	0,35
2	0,65	0,75
3	1,15	1,25
4	1,65	1,75
5	2,15	2,25
6	2,45	2,55
7	2,65	2,75
8	2,95	3,05
9	3,15	3,25
10	3,45	3,55
11	3,65	3,75
12	3,95	4,05
13	4,15	4,25
14	4,35	4,45
15	4,55	4,65
16	4,65	4,75

For å ekstrahere vann fra jordprøvene ble det først forsøkt brukt ekstraksjonsspinner, der det ved hjelp av plastpinner med små hull, et plastør og en enkel medisinsprøyte blir forsøkt ekstrahert vann ved hjelp av vakuum. Da dette ikke ga noen nevneverdig mengde prøvevæske til analyse ble det bestemt å benytte sentrifuge for ekstraksjon av vann fra jordprøvene.

Det ble brukt en sentrifuge fra Beckman Coulter av modellen Avanti JXN-26, med rotor 7500, som tar fire prøver om gangen. Prøvene ble sentrifugert ved en forhåndsinnstilt temperatur på 10 °C, dette for å unngå endringer i vannkjemi. Det ble først sentrifugert med 1500 omdreininger per minutt (RPM) i ti minutter. Dette ble ikke sett på som tilstrekkelig for å få ut nok væske, det ble derfor videre sentrifugert med 2000 RPM i 10 + 5 minutter.

Prøvekapslene, uten lokk i bunn, ble lagt i sentrifugeringskapsler med diameter på 55 mm og oppsamlingslokk for prøvevæske i bunn. Det ble brukt filter i bunn av kapsel av typen GE.

3.3.4. Tørrstoff

Det ble tatt ut 45 prøver fra borekjernen i sekvenser på 10 cm som ble brukt til beregning av tørrstoff og deretter glødetap. Tørrking av prøver ble gjennomført i to sekvenser, der det i

første omgang ble tørket de 29 sekvenser fra prøvekjernen som ikke gjennomgikk sentrifugering. I andre omgang ble resterende 16 sekvenser tørket, sammen med tre ekstra prøver for de dypeste usentrifugerte sekvensene da resultatene fra disse gikk tapt etter tørking.

Prøvene ble lagt i nummererte og forhåndsveide aluminiumsbakker fra 1 øverst i prøvekjernen til 45 nederst i prøvekjernen. Aluminiumsbakkene ble deretter veid med prøver, før prøvene ble tørket i varmeovn over natten, ved 105 °C. Etter tørking ble prøvene veid på nytt og tørrstoff-prosent ble beregnet ved bruk av Formel 3-7, hentet fra hefte for felt- og laboratorie-metoder i JORD200 (Krogstad & Børresen, 2015):

$$Tørrstoff [\%] = \frac{m_3 - m_1}{m_2} \times 100\%$$

Formel 3-7

m_1 = Masse av aluminiumsbakke [g]

m_2 = Masse av prøve før tørking [g]

m_3 = Masse av prøve og aluminiumsbakke etter tørking ved 105 °C

3.3.5. Glødetap

Glødetap undersøkes ved at prøver glødes i en ovn ved 550 °C i minimum tre timer (Krogstad & Børresen, 2015). Tørkede prøver ble malt opp for hånd og deretter omrørt for å homogenisere innholdet i prøvene. Det ble målt opp en halv spiseskje malt prøve i nummererte og forhåndsveide porselensdigler (Figur 3-7), før diglene ble veid på nytt med prøve. Disse ble satt i ovn til gløding, og ble glødet over en hel dag før lukket ovn fikk kjøle seg ned over natten. Morgen etter ble døren til ovnen åpnet og prøvene fikk kjøle seg ned i to timer. Prøver i digler ble veid på nytt og glødetap ble bestemt ved bruk av Formel 3-8, forenklet fra hefte for felt- og laboratorie-metoder i JORD200 (Krogstad & Børresen, 2015):

$$Glødetap [\%] = \frac{m_F - m_E}{m_F} \times 100\%$$

Formel 3-8

der

m_F = masse prøve før gløding [g]

m_E = masse prøve etter gløding [g]



Figur 3-7: Prøver i digler, før og etter glødetap. Foto: Mads Erik Tveraa.

3.3.6. Vannanalyser

Vannprøver fra sentrifugering ble levert til jord- og vannkjemi-laboratoriet ved NMBU for analyse. Det ble analysert for innhold av natrium (Na) og klorid (Cl), elektrisk konduktivitet (EC), løst organisk materiale (DOC) og pH. Det ble analysert for Na og Cl for å observere om det kan være høyre verdier av dette dypere ned i jorda, som videre kan knyttes til diffusjon av underliggende marine lag. Det ble analysert for DOC da dette har tilknytning til omdanningsgrad. EC styres av mengde løste ioner, og kan altså knyttes til både Na og Cl (Hem, 1985). Det hele kan også sees i sammenheng med pH. For bestemmelse av deteksjons- og kvantifiseringsgrense, samt ha kontroll på kontaminering, ble det også laget fire blindprøver som gikk gjennom samme filter i sentrifugekapsler. Resultatene ble deretter analysert videre og prosessert ved bruk av Excel.

Prøvene ble analysert for innhold av Na og Cl ved bruk av induktivt koblet plasmamassespektometri (ICP-MS). Analysene ble gjennomført på Agilent Technologies 8800 QQQ ICP-MS, og for å bestemme nøyaktighet til metoden ble det brukt referansemateriale Sangamon-03 (Canada, 2019). Før analyse ble prøvene konserverte og fortynnet. For analyse av Cl ble 2,00 mL vannprøve fortynnet med 2,00 mL 2% (V/V) NH_3 -løsning til et prøvevolum på 4,00 mL med sluttkonsentrasjon av NH_3 på 1% (V/V). For analyse av Na ble 0,25 mL vannprøve tilsatt 0,50 mL konsentrert HNO_3 og fortynnet til 5,00 mL med deionisert vann til en sluttkonsentrasjon av HNO_3 på 10% (V/V).

Referansematerialet gjennomgikk samme konservering og fortynning som vannprøvene.

For DOC ble vannprøvene først filtrert gjennom et filter med porevidde på 0,45 µm. Videre analyse ble gjennomført med et måleinstrument fra Shimadzu. De filtrerte vannprøvene ble behandlet med syre, for deretter å bli boblet gjennom med syntetisk luft for å fjerne uorganisk og flyktig organisk karbon. Til slutt ble det gjennomført en forbrenning ved 680°C, CO₂ gassen føres videre og leses av ved hjelp av en NDIR-detektor som måler infrarødt lys.

For EC og pH krevde det ingen bearbeiding av prøvene på forhånd. Det ble analysert for EC på et måleinstrument fra Metrohm, der en elektrode med to plater føres ned i prøven og måler den elektriske ledningsevnen. For pH ble dette målt på et Radiometer pH-meter, der en elektrode fra Thermo føres ned i prøve og måler pH.

3.4. Modelling

Grunnvannsmodellering er en numerisk metode som kan brukes for å simulere hvordan grunnvann oppfører seg i et område av interesse. Gjennom bruk av slike modeller kan en visuelt fremstille hvordan både enkle og mer komplekse systemer vil oppføre seg når ulike forhold spiller inn. En slik numerisk modell vil alltid være en forenkling av de faktiske forhold (Oude Essink, 2000). Dette kan gi et godt visuelt bilde av forholdene, samtidig som en slik modell kan benyttes til å bedømme effekter ulike grensebetingelser og fysiske forhold i myra har. Ved bruk av slike modeller kan en også simulere hvordan ting vil oppføre seg frem i tid, og gjennom dette gjøre vurderinger på om tiltak må gjøres med hensyn til for eksempel forurensning av grunnvann. Grunnvannsmodellering kan deles inn i to hoveddeler; konseptmodell, som er en idé-fremstilling av vår forståelse av hvordan det hydrogeologiske systemet fungerer, og matematisk modell, som er sammensatte grunnvannslikninger fremstilt i en modell (Middlemis, 2000).

Ved hjelp av numerisk modellering skal det simuleres hvordan grunnvannets høyde over havet endres gjennom ulike nedbørssesonger. Modellen må spesifiseres og finjusteres for å, så godt det lar seg gjøre, reflektere kjente forhold i myra. Etter at modellen regnes som tilstrekkelig nøyaktig skal det simuleres for grunnvannets høyde over havet gjennom ulike nedbørssesonger. Det skal videre simuleres for oppholdstiden til vann i myra.

Til modelleringen ble det brukt programmene ModelMuse, MODFLOW, GW_Chart, MODPATH og ModpathOutputExaminer, programmer utviklet av USGS (United States Geological Survey).

ModelMuse er en modelleringsplattform, og kan regnes som grunnprogrammet i en serie av programmer fra USGS. Programmet er et grafisk brukergrensesnitt, noe som gjør at plassering til underliggende programmer, som MODFLOW, kan spesifiseres slik at de kan kjøres på samme plattform (Winston, 2022).

MODFLOW er en underliggende modell til ModelMuse som disponeres til hydrogeologisk modellering (USGS, 2022). I MODFLOW finnes funksjonen MODPATH, som kan brukes til å simulere partiklers bevegelse gjennom en modell. Utilene fra MODPATH kan videre importeres til MODPATH Output Examiner, et analyse-program som blant annet kan benyttes til å beregne hastighet og bevegelsestid for partiklene (USGS, 2016), som igjen kan brukes til å si noe om oppholdstiden til vann i modellen.

GW_Chart er et program for visualisering av data fra grunnvannsmodeller i form av grafer (Winston, 2020). Programmet ble brukt til å vise variasjoner av grunnvannshøyde til ulike punkter i modellen som funksjon av tid.

Grunnvannslikningen i tre dimensjoner (Formel 3-9) kan defineres ut ifra vannbalanselikningen (Formel 2-1) og Darcys lov (Formel 2-2), og denne kan benyttes til å bestemme grunnvannsstrømning. Under stasjonær tilstand er $\frac{\partial h}{\partial t} = 0$ (beskrevet i Schwartz & Zhang (2003a)).

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(K_x \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_y \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_z \frac{\partial h}{\partial z} \right) = S_s \frac{\partial h}{\partial t}$$

Formel 3-9

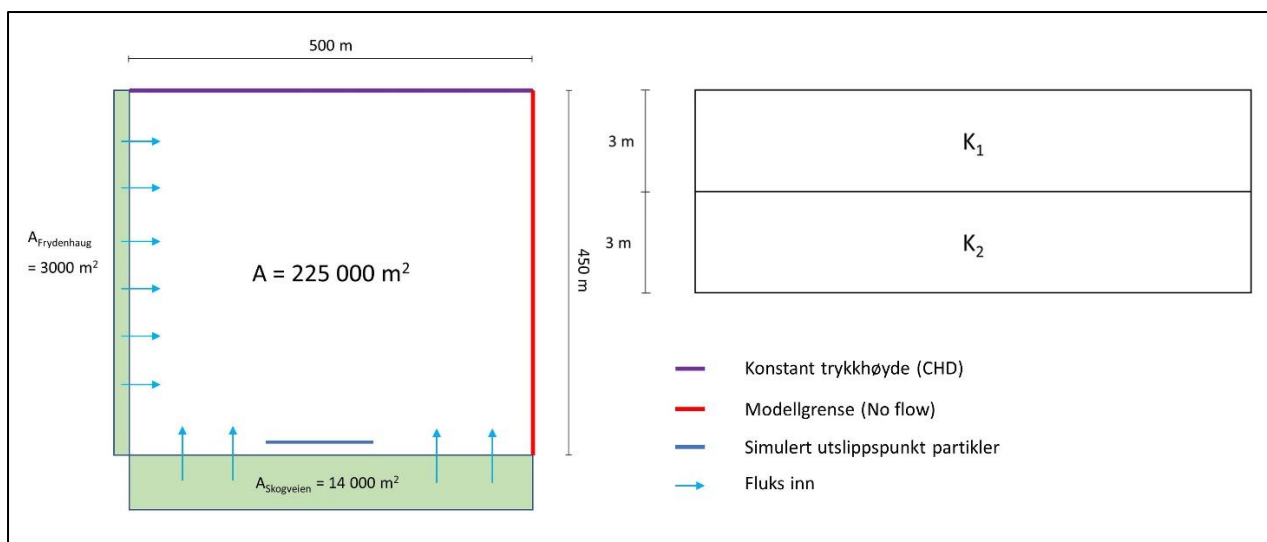
der

$K_{x, y, z}$ = Hydraulisk konduktivitet i henholdsvis x-, y- og z-retning [m/s]

S_s = Spesifik vannlagring i en akvifer [m^{-1}]

h = Hydraulisk trykkehøyde [m]

Det man ønsker å få ut av modellen er et forenklet bilde på hvor lenge vann oppholder seg i myra, samtidig som det er ønsket en modellert visualisering av grunnvannsnivå i myra for å kunne sammenlikne med fysiske målinger av grunnvann. Det ble bestemt å lage en forenklet modell for å simulere grunnvannet i den vestre delen av Åsmåsan, som er vist i Figur 3-8. Modellens avgrensning ble definert ut ifra myrbassengets avgrensning i kvartærgeologisk kart for området (Figur 2-5).



Figur 3-8: Konseptmodell for modelleringsområdet. Figur til venstre viser forenklet modell fra fugleperspektiv, med potensielle matesoner Frydenhaug og Skogveien, samt grensebetingelser konstant trykkehøyde øvert og "no flow" til høyre. Konseptmodell er definert ut ifra kvartærgeologisk kart i Figur 2-5. Figur til høyre viser forenkling med todelt myr fra siden, med en øvre og nedre hydraulisk ledningsevne (K).

Lengden til modellen i NS-retning ble satt til 450 m, mens lengde i ØV-retning ble satt til 500 m. Dette tilsvarer et modell-areal på $225\,000\text{ m}^2$. Modellen er delt inn i et rutenett med ruter på $10 \times 10\text{ m}$ i horisontalretningen. Videre forenkling ble gjort for definering av modellens topp og bunn. Modellens topp ble bestemt ut ifra terrengmodeller hos høydedata.no. Disse terrengmodellene viste at høyden for området lå på 95 moh., kun med små variasjoner, og det ble bestemt å benytte dette som fast høyde for modellen. For bunn av modellen ble det bestemt å benytte dyp definert av Prestvik og Stavang på 6 m (Prestvik, 1975; Stavang, 2016). Det ble valgt å definere to lag for modellen med ulik hydraulisk ledningsevne (K), hver med en tykkelse på 3 m (Figur 3-8) basert ut ifra dybde for forsvinnende GPR-signaler (Figur 2-9).

Det er definert flere grensebetingelser for modellen. I nordre del av Åsmåsan er det en dyp grøft med vannløpet Norderåsbekken (Figur 2-6), tilknyttet Årungenelva (NEVINA, 2022), som kan defineres som en konstant trykkehøyde (CHD). Høyden til denne grøfta varierer fra omtrent 90 moh. til 93,5 moh. (Høydedata, 2022). I vestre og sørlige avgrensing av myrmodellen er det morenerygger knyttet til Åsmorenen, Frydenhaug i vest og Skogveien i sør. Areal for moreneryggene er beregnet ved bruk av tegneløsning over kvartærgeologisk kart sammenliknet med nedbørsfelt fra NEVINA (Figur 2-6), og er omtrent 3000 m^2 for Frydenhaug og $14\,000\text{ m}^2$ for Skogveien. For definering av disse arealene er det bare valgt å ta utgangspunkt i delene som er i kontakt med myrbassenget, noe som er spesielt viktig for Frydenhaug (Figur 2-5). Disse er satt til henholdsvis 450 m og 500 m lengde i modellen, og

består av løsmasser med en generelt høy vannledningsevne, noe som gjør at det kan antas at disse tilfører en del vann inn i systemet. For å avgrense modellen i øst er det valgt å definere denne siden som en «no-flow»-grense da det trolig er et grunnvannsskille her (Øybekk, 2016). Dette vises visuelt i Figur 3-8.

I en modelleringsprosess er det sjeldent at de første premissene satt for en modell gir de resultatene som stemmer best overens med de faktiske hydrologiske forholdene. Dette leder til en del finjustering av modellen, med prøving og feiling for å verdier som er både fysisk mulige og gir mening.

Tilføring av vann fra nedbør og inn i myrmodellen kan beregnes ut ifra data om avrenning fra NEVINA. Denne tar høyde for at noe av vannet fra nedbør går tapt i evapotranspirasjon. Verdien benyttet for området er 511 mm/år (NEVINA, 2022), en noe lavere verdi enn årsnedbøren på 892 mm/år (Wolff et al., 2021). Forholdstall mellom disse verdiene ble beregnet til 0,57, for forenklete beregninger senere i modelleringen. For å kunne bruke verdien som grunnvannsmating i modellen ble 511 mm/år omgjort til $1,6204 \times 10^{-8} \text{ m/s}$. Dette tilsettes over hele myrarealet. For å beregne tilførsel fra Frydenhaug og Skogveien må en ta utgangspunkt i verdiene for nedbør, multiplisere det med de faktiske arealene til moreneryggene for så å dividere dette med modell-arealene. Dette gir forholdstall på 0,67 for Frydenhaug og 2,8 for Skogveien. Det ble benyttet verdier på $1,0803 \times 10^{-8} \text{ m/s}$ for Frydenhaug og $4,537 \times 10^{-8} \text{ m/s}$ for Skogveien. Disse tre verdiene ble brukt under stasjonær tilstand, altså uten fluktuasjoner i nedbørsmengde gjennom året.

Normalt vil grunnvannsstanden variere med årstiden. For å se hvordan en modell forandrer seg over tid vil det derfor være viktig å benytte seg av årstidsvariasjoner. Året ble delt inn i de fire årstidene høst, vinter, vår og sommer. Høst-perioden strekker seg fra september til november, vinter-perioden fra desember til februar, vår-perioden fra mars til mai og sommer-perioden fra juni til august. Varigheten for hver periode blir da henholdsvis 91, 90, 92 og 92 dager (Tabell 3-4). Nedbørssraten for periodene er hentet fra Meteorologiske data for Ås (Wolff et al., 2021). For å ta høyde for evapotranspirasjon, og å finne faktisk mengde vann inn i modellen, er det benyttet tidligere nevnte forholdstall 0,57 ved beregning av grunnvannsmating i m/s. For vinterperioden er det antatt tele i bakken, og derfor ingen mating fra nedbør. Mengde nedbør i vinter-perioden er derfor tatt med i berengingen av grunnvannsmating for vår-perioden. Det er likevel antatt noe restmating fra moreneryggene tilknyttet Frydenhaug og Skogveien. Disse er derfor satt til 10% av stasjonær flux.

Tabell 3-4: Verdier for årstidsvariasjoner brukt i transient modell. Her er høst definert som september-november, vinter som desember-februar, vår som mars-mai og sommer som juni-august. Data for nedbør hentet ut fra Meteorologiske data for Ås (Wolff et al., 2021).

Årstid	Måneder	Dager	Nedbør [mm]
Stasjonær	-	0	-
Høst	September Oktober November	91	294
Vinter	Desember Januar Februar	90	212
Vår	Mars April Mai	92	157
Sommer	Juni Juli August	92	255

For å beregne oppholdstiden og transportveier ble MODPATH benyttet. Her tilsettes partikler i modellen fra ønsket sted i myra. Partiklene ble lagt til langs en linje helt sør i modellen, i raden nord for tilførsel fra Skogveien (Figur 3-8). Det ble valgt å legge til partikler i både øvre og nedre lag, dette for å se på forskjeller i bevegelsesmønster avhengig av konduktivitet.

For å beregne oppholdstiden til vannet i modellen ble utfilen til modellen importert i MODPATH Output Examiner. Der kan det bestemmes hvilke punkter i modellen som ønskes analysert, og det ble bestemt fire punkter ut ifra reell plassering for brønnene PER100, Tver, PER200 og PER500.

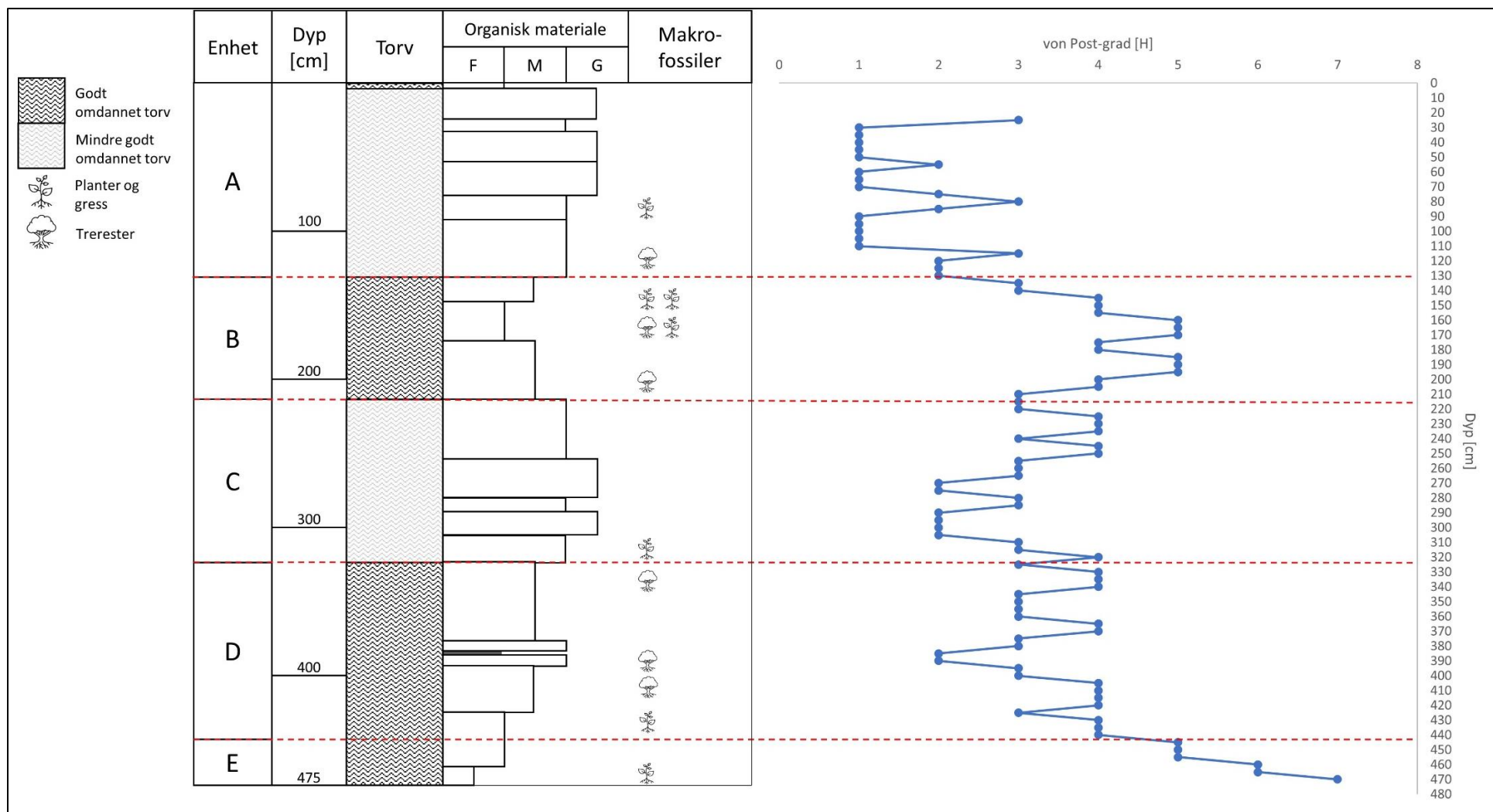
4. Resultat

4.1. Feltundersøkelser

4.1.1. Borkjerne

Borkjernen er tatt ut på Åsmåsan ved 59.670768° N og 10.783273° E (Figur 3-4), er 475 cm dyp og består hovedsakelig av organisk materiale av varierende omdanningsgrad, for det meste *Sphagnum*-mose. Kjernen kan deles inn i fem enheter etter omdanningsgrad, og den vil bli beskrevet fra topp til bunn. Logg over torvkjernen vises i Figur 4-1.

I enhet A, 0-130 cm dyp, har det organiske materialet grov, med noe i overgang medium-grov, struktur og er lite omdannet. Helt øverst i enheten er det et tynt lag med mudrete rester av nokså godt omdannet organisk materiale. Von Post omdanningsgrad for enheten, definert i Tabell 3-2, er for det meste på grad 1 og 2 med noen få innslag av grad 3. Enheten er stort sett preget av en rødlig brun farge, bestemt til 5YR2.5/2 og 5YR3/3 (Munsell, 1975). I enhet B, 130-215 cm dyp, er det organiske materialet mer omdannet med omdanningsgrad for det meste på 4 til 5, men også deler i topp og bunn av enheten på grad 3. I denne enheten har det organiske materialet for det meste en mellomgrov struktur, med en del i overgangen medium-fin fra 15-175 cm dyp. Fargemessig domineres enheten for det meste av en mellomting av 5YR3/1 og 5YR2.5/1. I enhet C, 215-325 cm dyp, er det et område med lavere grad av omdanning, stort sett av grad 3, men med noe innslag av grad 2 og 4. Det organiske materialet har i dette området for det meste struktur i overgangen grovt-mellomgrovt, med noen innslag mer grovt materiale ved 256-281 cm dyp og 291-308 cm dyp. Fargemessig domineres enheten for det meste av 5YR2.5/1, med et lite innslag av 5YR3/2 ved 291-308 cm dyp. I enhet D, 325-440 cm dyp, har materialet en mer mellomgrov struktur, med gradvis forfining fra 425-440 cm dyp til en fin struktur. Det er to tynnere lag ved 380-385 cm dyp og 386-391 cm dyp med mellomgrov-grov struktur, med et mellomliggende godt omdannet lag med fin struktur ved 385-386 cm dyp. Det organiske materialet er i denne enheten mer omdannet igjen, med omdanningsgrad for det meste på 4, men med noe innslag av grad 3 og grad 2 ved 345-400 cm dyp. Området med grad 2 er samme parti som med grovere struktur, ved 380-385 cm dyp og 386-391 cm dyp. Enhet E, ved 440-475 cm dyp, er den dypeste delen av kjernen og er preget av en gradvis forhøyende grad av omdanning med dyp. I bunn av prøven, ved 475 cm dyp, er omdanning bedømt til grad 7. Fargemessig domineres enhetene D og E for det meste av 5YR2.5/1, med innslag av 5YR3/2 ved 380-385 cm dyp og 386-391 cm dyp.



Figur 4-1: Logg over torvkjerne med inndeling av fibrigheten til den organiske materialet i fin (F), medium (M) og grov (G), samt funn av makrofossiler. Torvkjernen er delt inn i enheter A-E etter von Post-omdanningsgrad (Tabell 3-2), som er grafisk fremstilt til høyre for logg over torvkjerne.

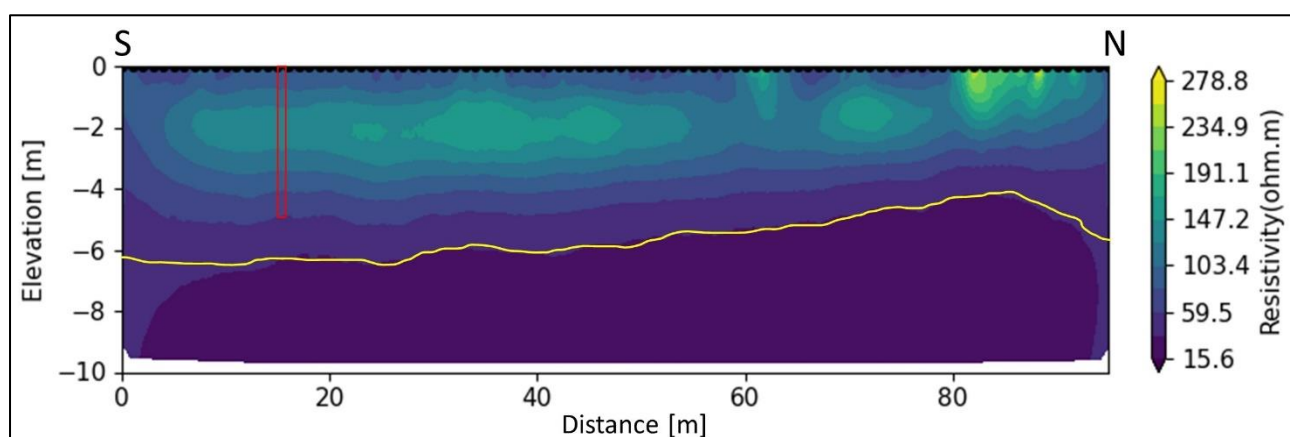
4.1.2. ERT

Det ble gjennomført målinger av to resistivitetsprofiler i Åsmåsan, et kort og et langt. Disse er kalt deretter, og lokasjon er vist i Figur 3-4.

Kort resistivitetsprofil i Figur 4-2 med elektrode-avstand 1 m viser at det i et øvre lag på 5-6 m, med variasjoner mellom omtrent 80-191 ohmm, er en høyere resistivitet enn underliggende lag. Dette underliggende laget strekker seg ned til bunnen av profilet ved omtrent 10 m. Øvre lag er tolket å være torv, mens underliggende lag er tolket å være marin leire. Målingene viser også noe usikkerhet i området 80-86 m, der det vises en anomali med noe høyere antatt resistivitet.

Verdier av resistivitet fra Figur 4-2 satt inn i Formel 3-5 gir beregnet konduktivitet for torven på omtrent 12,5 mS/m ved 1 m dyp og omtrent 7 mS/m ved 2 m dyp. Disse verdier inn i Formel 3-2 gir penetrasjonsdyp med georadar på henholdsvis 2,8 m og 5 m.

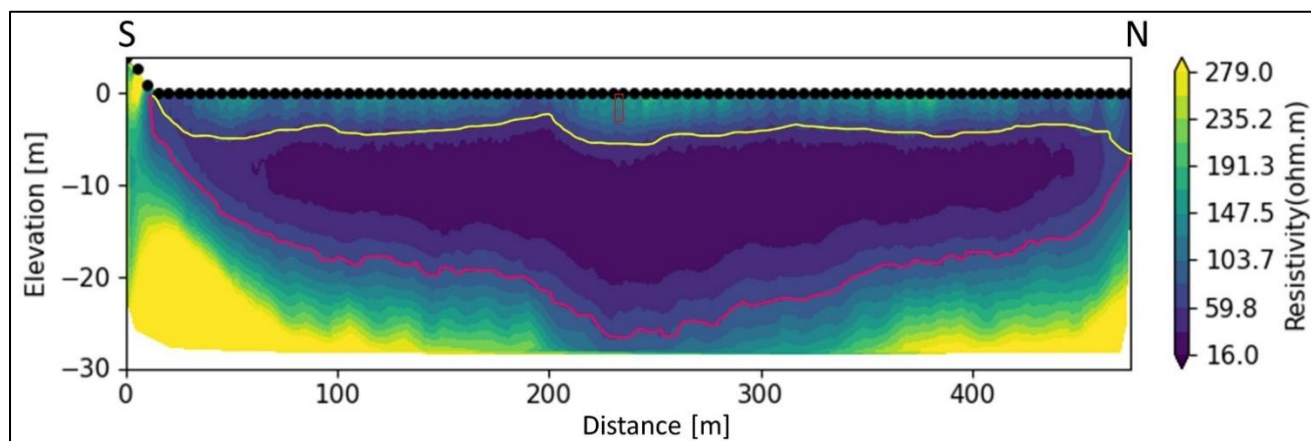
Det ble fjernet en del punkter i post-prosesseringen for det korte profil, for å få feilverdier mellom -3 og 3. Dette var ikke nødvendig for det lange profilet, der punktene med for store feil ble luket vekk i pre-prosesseringen.



Figur 4-2: Elektrisk resistivitetsprofil for kort linje med elektrode-avstand på 1 m. Rødt rektangel markerer lokasjon for torvkjerne i profilet, mens gul linje er antatt overgang torv og marin leire. Høyde 0 i profilet tilsvarer høyden til myra på omtrent 95 moh. Profilene er basert ut ifra en resiprokalfeil på 5%. Verdier på fargeskala i ohmm.

Langt resistivitetsprofil i Figur 4-3 med elektrodeavstand 5 m viser antydning til et tynt øvre lag med noe forhøyet resistivitet over et tykkere lag med lavere resistivitet. Disse er tolket til henholdsvis torv og marin leire. Dybden til dette tykkere laget varierer fra omtrent 18 m til nærmere 27 m dyp. Under laget med lavere resistivitet er det observert et tykt lag med høyere resistivitet. For området under de tre første elektrodene, ved 0-15 m, er det observert

betraktelig høyere resistivitet enn for tilsvarende dyp i resten av profilet. Denne delen av profilet er tolket til morenemateriale.

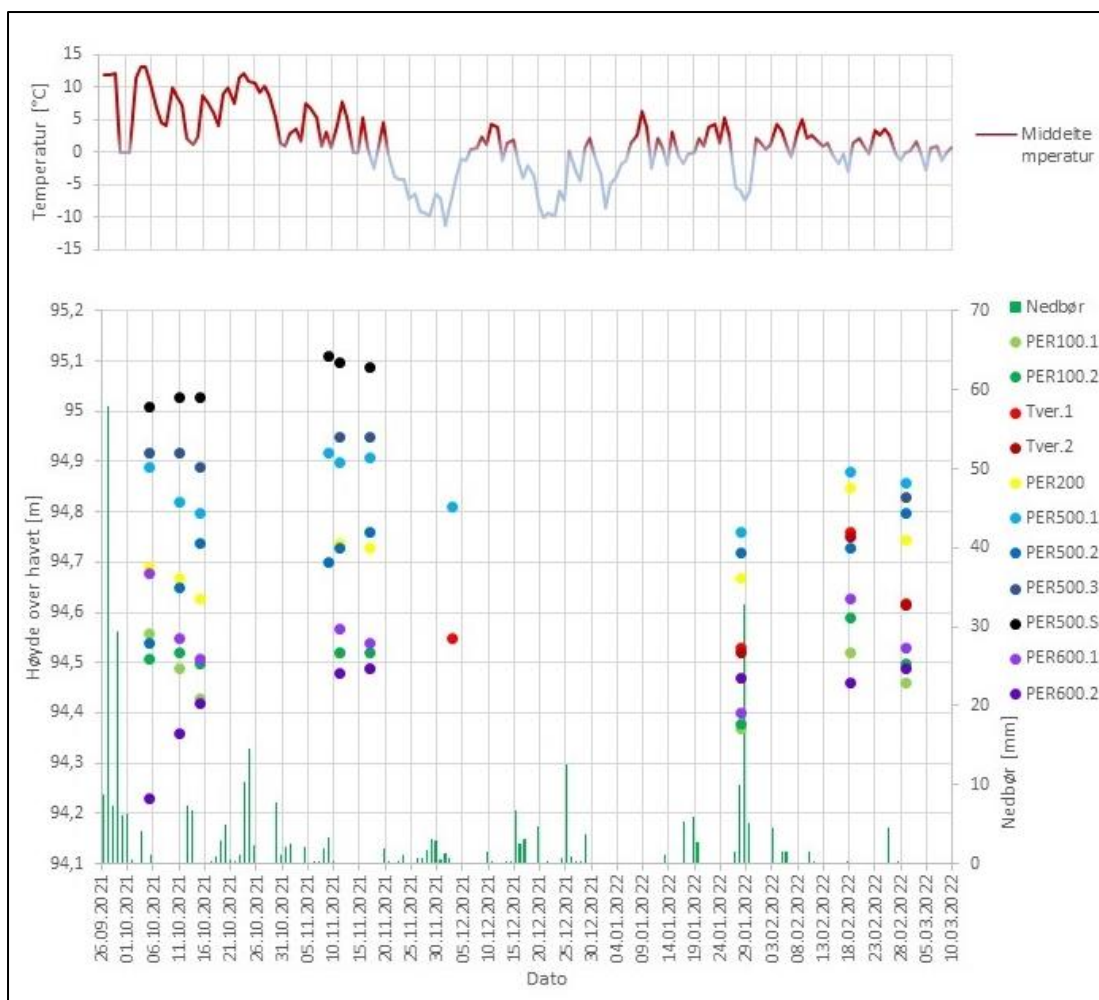


Figur 4-3: Elektrisk resistivetsprofil for lang linje, med elektrode-avstand på 5 m. I profilet er det tatt høyde for høydeforskjell fra normal for de tre første elektrodene. Høyde 0 i profilet tilsvare høyden til myra på omtrent 95 moh. Rødt rektangel markerer lokasjon for torvkjerne i profilet, gul linje er antatt overgang torv og marin leire og rød linje er antatt bunn marin leire. Profilet er basert ut ifra en resiprokalfeil på 5%. Verdier på fargeskala som ohmm.

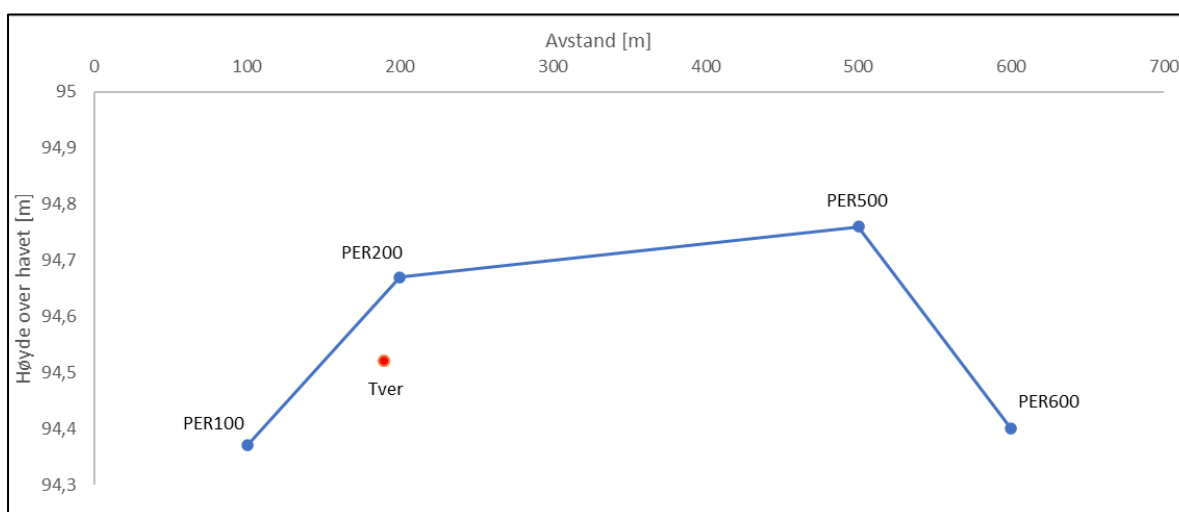
4.1.3. Grunnvannsmålinger

Målinger av grunnvann i Åsmåsan ble gjennomført i perioden oktober 2021 til og med mars 2022, og kan sees i Figur 4-4. En periode fra slutten av november 2021 til midten av januar 2022 var det problemer med at korkene til peilebrønnene var fastfrosset, noe som begrenset mulighetene for målinger.

I Figur 4-4 observeres det at brønnene ved PER100, PER200 og Tver (Tabell 3-1) viser en tendens til høyere trykkehøyde i perioden januar-mars 2022 enn perioden oktober-desember 2021. Brønnene ved PER500 viser motsatt tendens, med generelt høyere verdier i perioden oktober-desember 2021 enn perioden januar-mars 2022. Generelt kan det sies at jo lengre øst brønnene står, noe som også vil si nærmere midten av myra (Figur 2-7), jo høyere er trykkehøyden for brønnen. Et unntak er brønnene ved PER600, der målt trykkehøyde generelt er lavere enn for PER500. Dette er observert som en trend ved at brønnene ved PER500 stort sett har de høyeste målte verdiene, samtidig som brønnene ved PER100 stort sett har de laveste målte verdiene. Et eksempel for dette fra 28. januar 2022 er vist i Figur 4-5. Et unntak fra dette er brønnene ved PER600, der trykkehøyden generelt er mer lik brønnene ved PER100.



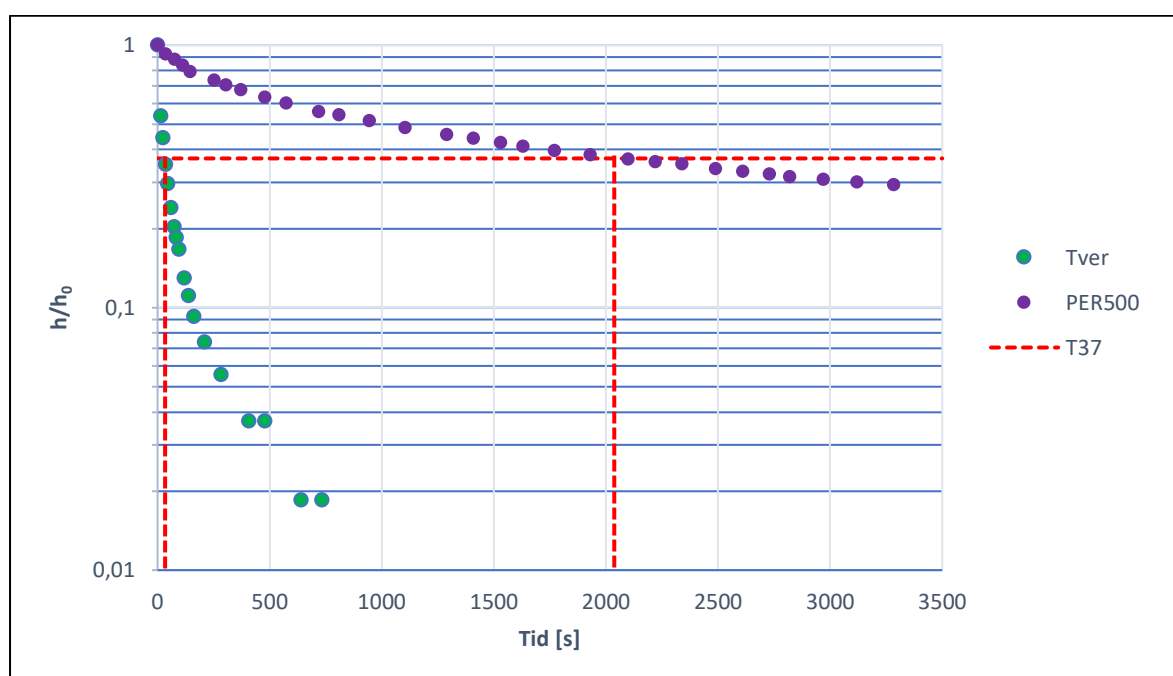
Figur 4-4: Grunnvannsmålinger for Åsmåsan fra oktober 2021 til og med mars 2022 som punkter gjengitt i meter over havet, med utgangspunkt i Åsmåsans høyde på 95 meter over havet. Målingene er satt opp mot dagnedbør i mm for Ås som grønne søyler og dagtemperatur øverst som egen linje. PER500.S er stålrør i nærheten av PER500. Meteorologiske data fra Meteorologisk institutts klimaservicesenter (Norsk klimaservicesenter, 2022).



Figur 4-5: Eksempelfigur for grunnvannsstand i myra med hensyn på avstand og dyp, fra grunnvannsmålinger utført 28. januar 2022. Måling for Tver (Figur 3-4) er valgt å legge utenfor hovedgraf, da brønn ligger omtrent 20 m nordvest for linjen til de andre brønnene Figur 2-7. Koordinater for punkter i Tabell 3-1.

4.1.4. Slug-test

Det ble gjennomført slug-test ved to brønner på Åsmåsan 18. februar 2022, begge med dybde på 2 m. Undersøkelsene ble gjennomført i brønn PER500.2 og Tver.1 (koordinater i Tabell 3-1). Før gjennomføring av testen hadde brønn PER500.2 grunnvannsnivå på 68 cm fra toppen av røret, mens brønn Tver.1 hadde grunnvannsnivå på 54 cm fra toppen av røret. Grunnvannsnivået for PER500.2 var nådd tilstrekkelig høyde på 48 cm ved 54 minutter og 45 sekunder etter tilføring av vann. Grunnvannsnivået i Tver.1 hadde stabilisert seg og nådd startverdi på 54 cm fra topp 20 minutter og 8 sekunder etter tilføring av vann. Det ble observert ved gjennomføring av test at vannet forsvant ned i hullet ved en betydelig høyere hastighet i Tver.1 enn ved PER500.2. T_{37} ble bestemt til 32 s for Tver.1 og 2031 s for PER500.2. Fra målingene ble det beregnet hydraulisk konduktivitet for Tver.1 på $5,851 \times 10^{-5} \text{ m/s}$ og for PER500.2 på $9,219 \times 10^{-7} \text{ m/s}$, ved bruk av Hvorslevs formel (Formel 3-6).



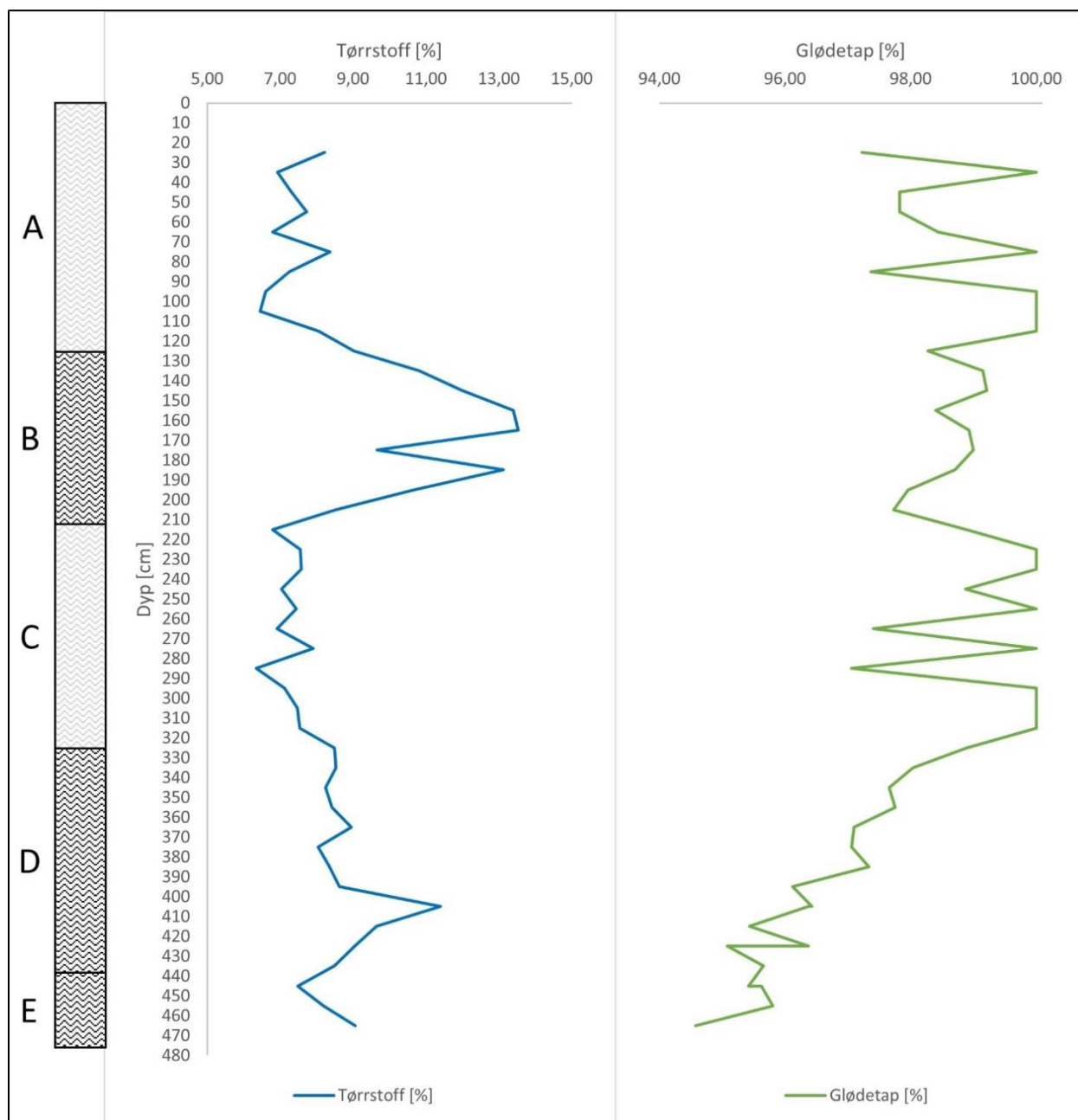
Figur 4-6: Grafisk fremstilling av resultater fra slugtest for lokasjon Tver og PER500 (Tabell 3-1), fremstilt med logaritmisk skala på y-aksen. T_{37} for Tver og PER500 på henholdsvis 32 s og 2031 s, vist ved røde stiplede linjer ned mot x-aksen.

4.2. Labanalyser

Det ble gjennomført labanalyser på torvkjernen fra Åsmåsan (Figur 3-4). Det ble gjennomført vannanalyser på 16 vannprøver hentet ut fra ulike dyp i torvkjernen (Tabell 3-3), mens det for tørrstoff og glødetap ble analysert 45 prøver hentet fra kjernen i sekvenser på 10 cm.

4.2.1. Tørrstoff

Tørrstoff for torvkjernen er presentert i Figur 4-7, og ligger for det meste mellom 6-10 %. Det er observert forhøyede verdier av tørrstoff ved to sekvenser i kjernen. Ved 130-210 cm dyp ligger andelen tørrstoff ved 10-14%, og ved 405-415 cm dyp er det målt en andel tørrstoff pålydende 11,4%. Høyeste andel tørrstoff er målt til 13,53% ved 165-175 cm dyp, mens laveste andel tørrstoff er målt til 6,34% ved 285-295 cm dyp.



Figur 4-7: Resultater for tørrstoff og glødetap i prosent, grafisk fremstilt i forhold til dyp og enhetsinndeling.

4.2.2. Glødetap

Beregnet glødetap for kjernen er presentert i Figur 4-7, og er for det meste veldig høyt med verdier liggende mellom 97-100%. Dette gir et generelt høyt innhold av organisk materiale. Det er observert et område med noe lavere verdier ved omtrent 120-220 cm dyp, omringet av områder med høyere glødetap ved 25-120 cm dyp og 220-320 cm dyp. Ved 320-475 cm dyp er det observert en jevn nedadgående trend i glødetap. Laveste verdi er observert i bunn av torvkjernen, med 94,57 % LOI ved 465-475 cm dyp.

4.2.3. Vannkjemi

Resultater av vannprøver fra ICP-MS er presentert i Figur 4-8, sammen med resultater for løst organisk karbon (DOC), elektrisk ledningsevne (EC) og pH. Resultater fra ICP-MS viser en gradvis forhøyende grad av totalnatrium (Na) fra toppen av torvkjernen og videre nedover i dypet. Laveste verdi på 4,4 mg/L Na er observert øverst i kjernen. Fra toppen er det en gradvis økning ned mot omtrent 180 cm, der det stabiliserer seg rundt 10 mg/L Na. Dette er stabilt frem til omtrent 260 cm dyp, der nok en gradvis økning, denne gangen noe raskere, forekommer frem til omtrent 370 cm dyp der verdiene igjen kan sies å stabilisere seg mellom 17-18 mg/L Na. Høyeste observerte verdi Na er 18 mg/L, ved 375, 425, 465 og 475 cm dyp.

For klorid (Cl) viser målingene et noe varierende innhold i kjernen, med verdier mellom 6,4-11 mg/L Cl. I toppen observeres det en gradvis økning av Cl fra 6,8 mg/L til 11 mg/L ved 125 og 175 cm dyp. Deretter følger en reduksjon mot 8,1 mg/L Cl ved 255 cm dyp før det igjen følger en liten økning til 9,5 mg/L ved 305 cm dyp. Det følger en noe tydelig økning til 10 mg/L ved 375 cm dyp, før verdiene går noe ned igjen og varierer lett mellom 6,5-8 mg/L mot bunn på 475 cm dyp. Høyeste målte verdi Cl er på 11 mg/L ved 125 og 175 cm dyp. Laveste målte verdi Cl er 6,4 mg/L ved 355 cm dyp.

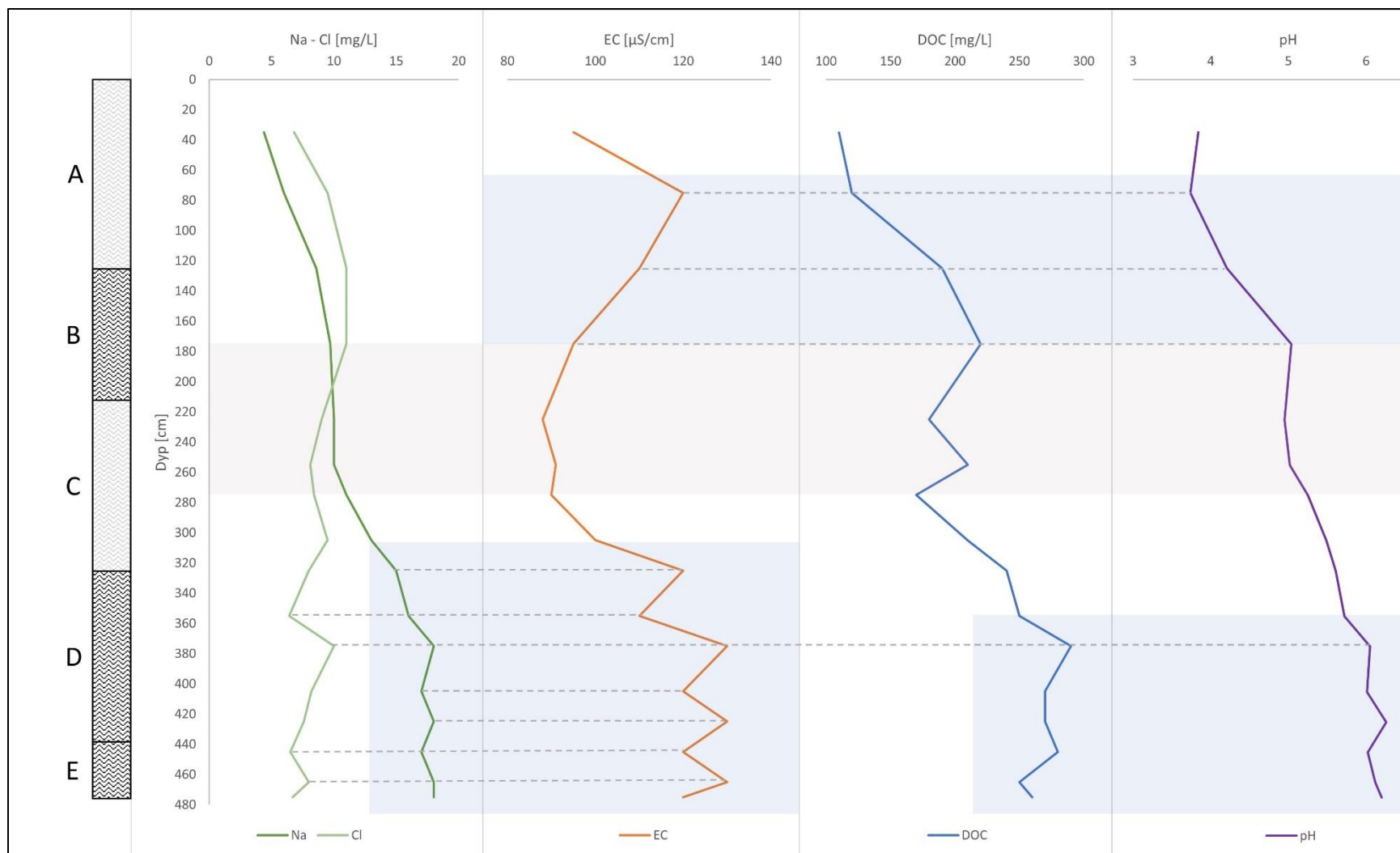
Resultatene for DOC viser at laveste verdi på 110 mg/L er observert øverst i torvkjernen, ved 25-35 cm dyp. Høyeste verdi er 290 mg/L, og er observert ved 365-375 cm dyp. Mengde DOC kan sies å ha en økende trend med dyp, men med noe reduserte verdier i deler av det som er definert som enhet 3 ved 210-330 cm dyp.

Resultatene for EC i vannfasen viser at laveste verdi på 88 $\mu\text{S}/\text{cm}$ er observert ved 215-225 cm dyp, og høyeste verdi på 130 $\mu\text{S}/\text{cm}$ er observert tre steder, ved 365-375, 415-425 og 455-465 cm dyp. Det er observert to forhøyede verdier ved 65-75 og 115-125 cm dyp på henholdsvis 120 og 110 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Sett bort fra disse kan kjernen sies å være todelt, med verdier

opp til 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ fra toppen av kjernen og ned til omtrent 300 cm dyp, og verdier for det meste rundt 120 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ved 300-475 cm dyp.

Beregnet gjennomsnittsverdi av EC i vannfasen for de tre øverste metrene av torvkjernen er 98,63 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Ved bruk av denne verdien ble penetrasjonsdyp for myra beregnet til 3,5 m ved bruk av Formel 3-2.

Resultatene for pH viser at laveste observerte verdi er på 3,74 ved 65-75 cm dyp, og høyeste observerte verdi er på 6,26 ved 415-425 cm dyp. Det kan generelt sies for pH at det er en stigende trend med dyp, med et lite område med liten endring ved 175-255 cm dyp.



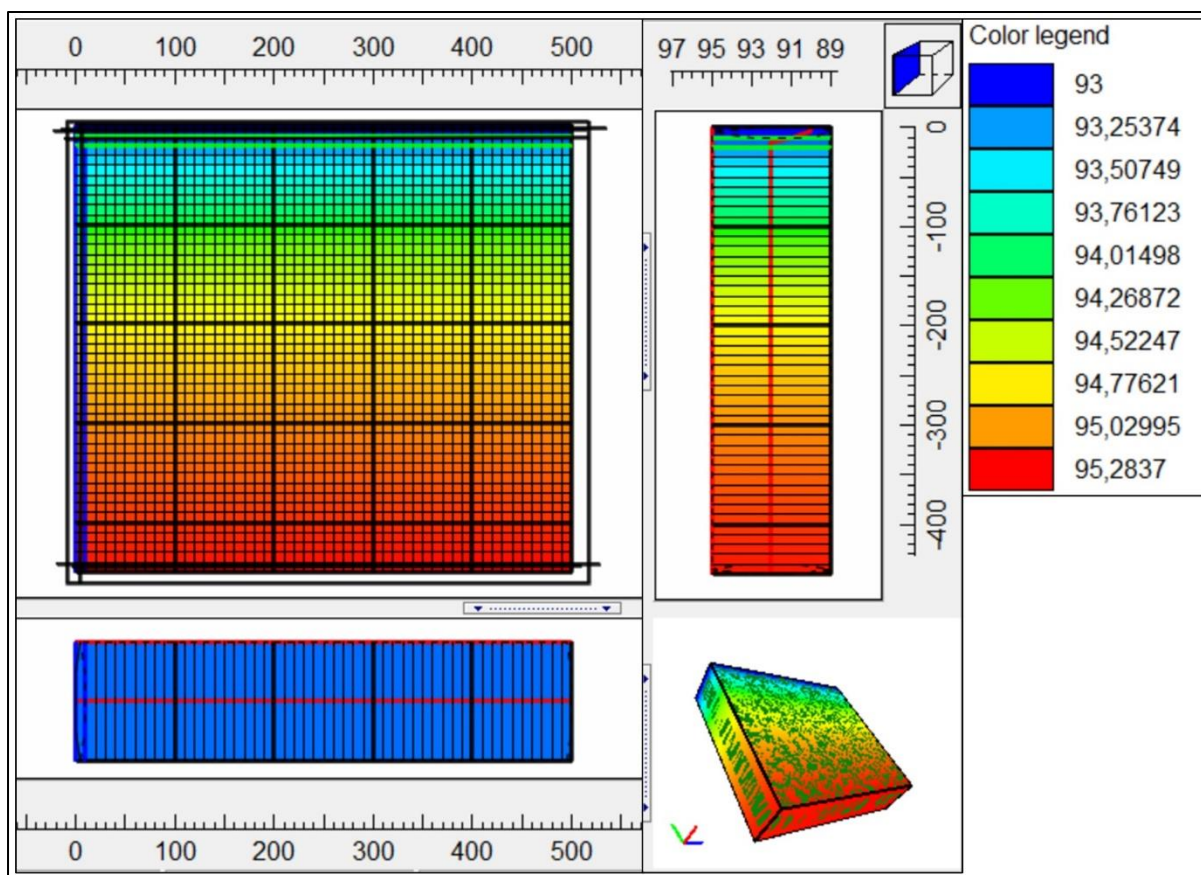
Figur 4-8: Verdier for Na, Cl, EC, DOC og pH grafisk fremstilt med hensyn på dyp, med enhetsinndeling for torvkjernen på venstre side. Tolkninger av korrelerende trender er markert med overliggende soner, der grå sone markerer sammenfallende stagningstrend. Korrelasjonssoner er tydeliggjort med korrelasjonslinjer.

4.3. Modellering

Det ble først bestemt å benytte hydraulisk ledningsevne beregnet fra slug-test i Kapittel 4.1.4. Etter antagelser om høyere ledningsevne i øvre del av myra, ble det bestemt å først teste med $5,851 \times 10^{-5} \text{ m/s}$ for øvre lag og $9,219 \times 10^{-7} \text{ m/s}$ for nedre lag. Dette viste seg å føre til at for mye vann ble værende igjen i modellen, og området flommet over. Det ble antatt at en må ta høyde for at det helt øverst i myrlaget potensielt kan være en noe høyere ledningsevne enn det som er målt to meter ned i myra (Kløve, 1999). Det er må også tas høyde for at myra er grøftet, noe som vil medføre at mer vann dreneres ut av myra. Det ble testet med ulike verdier for hydraulisk ledningsevne i det øvre laget, der beste resultat uten at modellen tørket ut ble oppnådd ved en ledningsevne i øvre lag på $4 \times 10^{-4} \text{ m/s}$, og at $K_z = \frac{K_x}{1,8}$ (Rezanezhad et al., 2016).

Det ble testet ut ulike variasjoner av konstant trykkehøyde for grøfta nord i modellen. For stasjonær modell ble det funnet at en konstant trykkehøyde på 92 moh. ga de beste resultatene. For videre modell-versjoner, med fluktasjoner i nedbør avhengig av årstid, ble det fra starten testet med variasjoner fra 94 moh. for høst og vår til 92 moh. om vinter og sommer. Dette viste seg å gi ekstreme utslag. Trykkehøyden i grøfta ble justert frem til trykkehøyde for myra ble sett på som akseptabel (Figur 4-9), ved variasjoner mellom 93,25 moh. for høst og vår til 93 moh. for vinter og sommer.

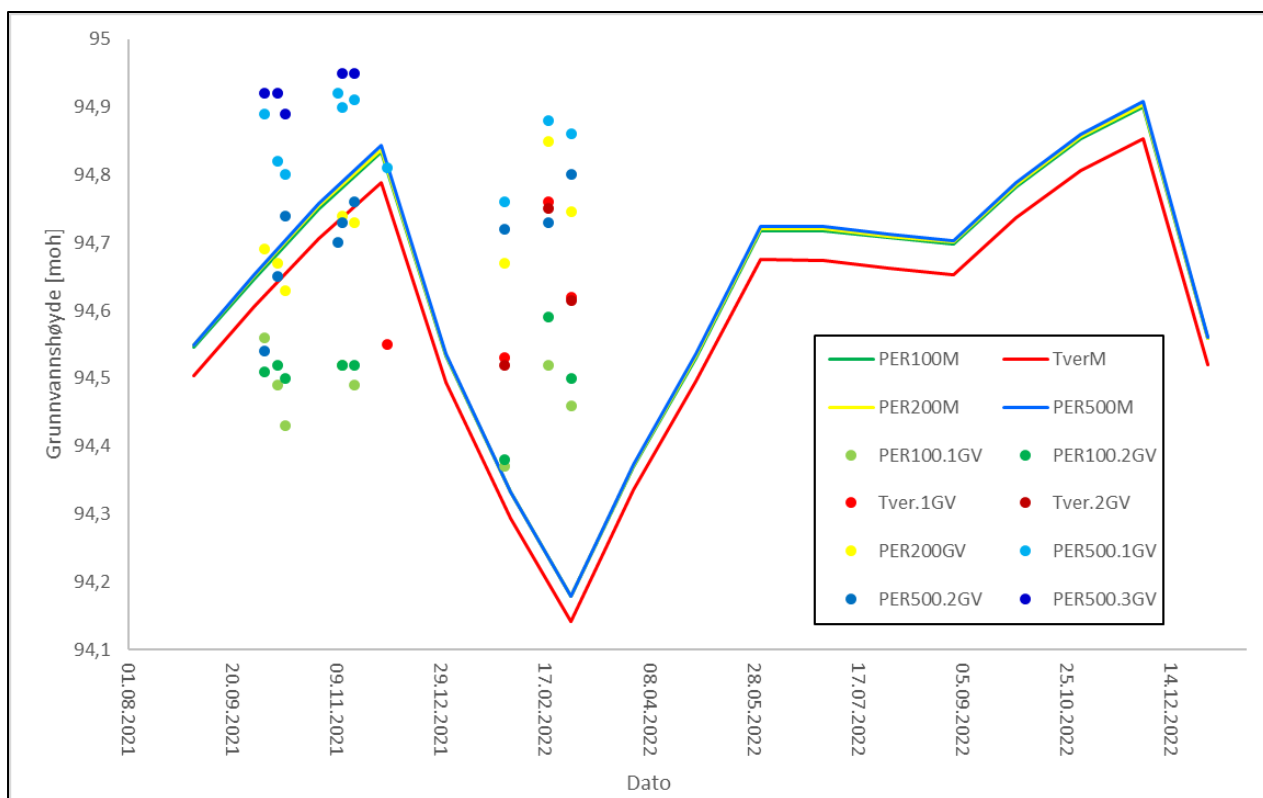
I Figur 4-9 er importerte resultater for modellert trykkehøyde vist i modellen. Resultatene viser en tydelig endring i trykkehøyde fra lengst sør i modellen og nordover, om man tar utgangspunkt i konseptmodell i Figur 3-8.



Figur 4-9: Modell-layout basert på konseptmodell i Figur 3-8 etter kjørt modell, med importerte resultater for modellert trykkhøyde i modellen vist som fargekoder i moh. Øverst til venstre er modellen i fugleperspektiv, nederst til venstre sett langs med x-akse, øverst til høyre sett langs y-akse og nederst til høyre er modellen sett i 3D.

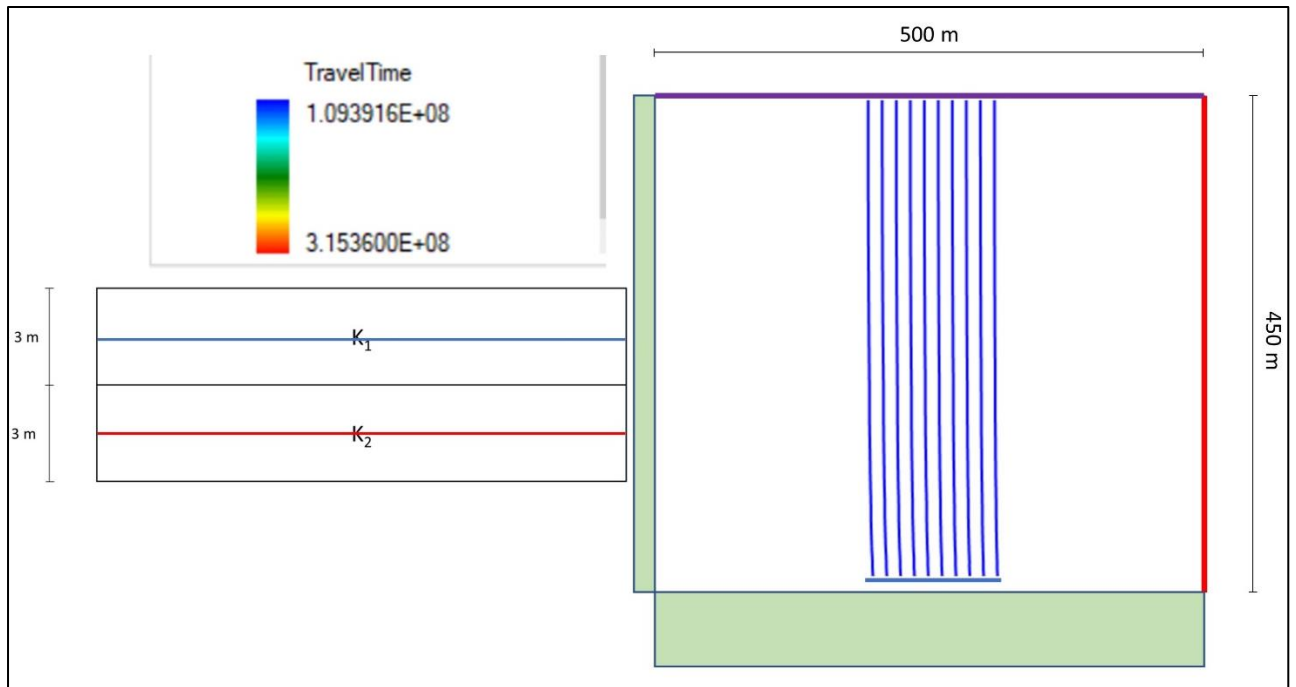
Det ble benyttet grensebetingelser for årstidsvariasjoner, vedlagt i Tabell A-10, for å kjøre modellen og analysere hvordan trykkhøyden i myra endret seg med varierende mating. Resultater fra modellen er hentet inn fra punkter som representerer brønnlokasjonene PER100, PER200, PER500 og Tver (koordinater i Tabell 3-1).

I Figur 4-10 er resultatene for modellert grunnvannshøyde for disse fire punktene grafisk fremstilt, satt opp mot grunnvannsmålingene for de samme punktene fra Figur 4-4, for en periode på litt over et år. Resultatene er hentet fra GW_Chart og importert inn i Excel for enklere bearbeiding. Fra de modellerte resultatene kan vi se at grunnvannshøyden fluktuerer med mating, der høyeste verdi nås 30. november hvert år og knyttes til høstmating, og laveste verdi nås 1. mars og representerer slutten på vinter-periode uten mating. Det observeres en noe liknende økning i november både for modellerte og målte resultater. Samtidig er det for både modellerte og målte resultater observert en trend med lavere målte verdier for vinter-perioden enn for høstperioden.



Figur 4-10: Modellert grunnvannsnivå (M) for punktene PER100, Tver, PER200 og PER500, satt opp mot faktiske grunnvannsmålinger (GV) for de samme punktene. Koordinater for punkter er gjengitt i Tabell 3-1.

Det ble tilført partikler i modellen for å bedømme oppholdstiden til vannet. Ved bruk av MODPATH ble det generert pathlines. Disse ble videre importert inn i Modpath Output Examiner, der oppholdstid ble beregnet til $1,043 - 1,044 \times 10^8$ s, noe som tilsvarer omtrent 3,3 år, ved stasjonær modell. For transient modell ble det testet tilførsel av partikler både i øvre og nedre lag. For øvre lag ble oppholdstid beregnet til $1,094 \times 10^8$ s, som tilsvarer omtrent 3,5 år, mens det for nedre lag ble beregnet en oppholdstid på $3,154 \times 10^8$ s, som tilsvarer omtrent 10 år (Figur 4-11).



Figur 4-11: Pathlines ved fluktasjoner i nedbør mellom årstider, med en modellengde på ti år. Simulering er gjennomført med utgangspunkt i utslippspunkt for partikler i Figur 3-8, simulert i Modpath Output Examiner for å beregne oppholdstid, her i oppgitt i sekunder. Partikkellinjer for nedre lag er gjemt under linjer for øvre lag i fugleperspektiv-profilet, dette er forsøkt forenklet vist i profil fra siden.

5. Diskusjon

I denne delen er resultatene fra forrige kapittel diskutert og forsøkt satt i sammenheng. Videre er det forsøkt å knytte resultatene opp mot andre undersøkelser. Det er også gjennomgått mulige feilkilder i metodene.

5.1. Utvikling av Åsmåsan

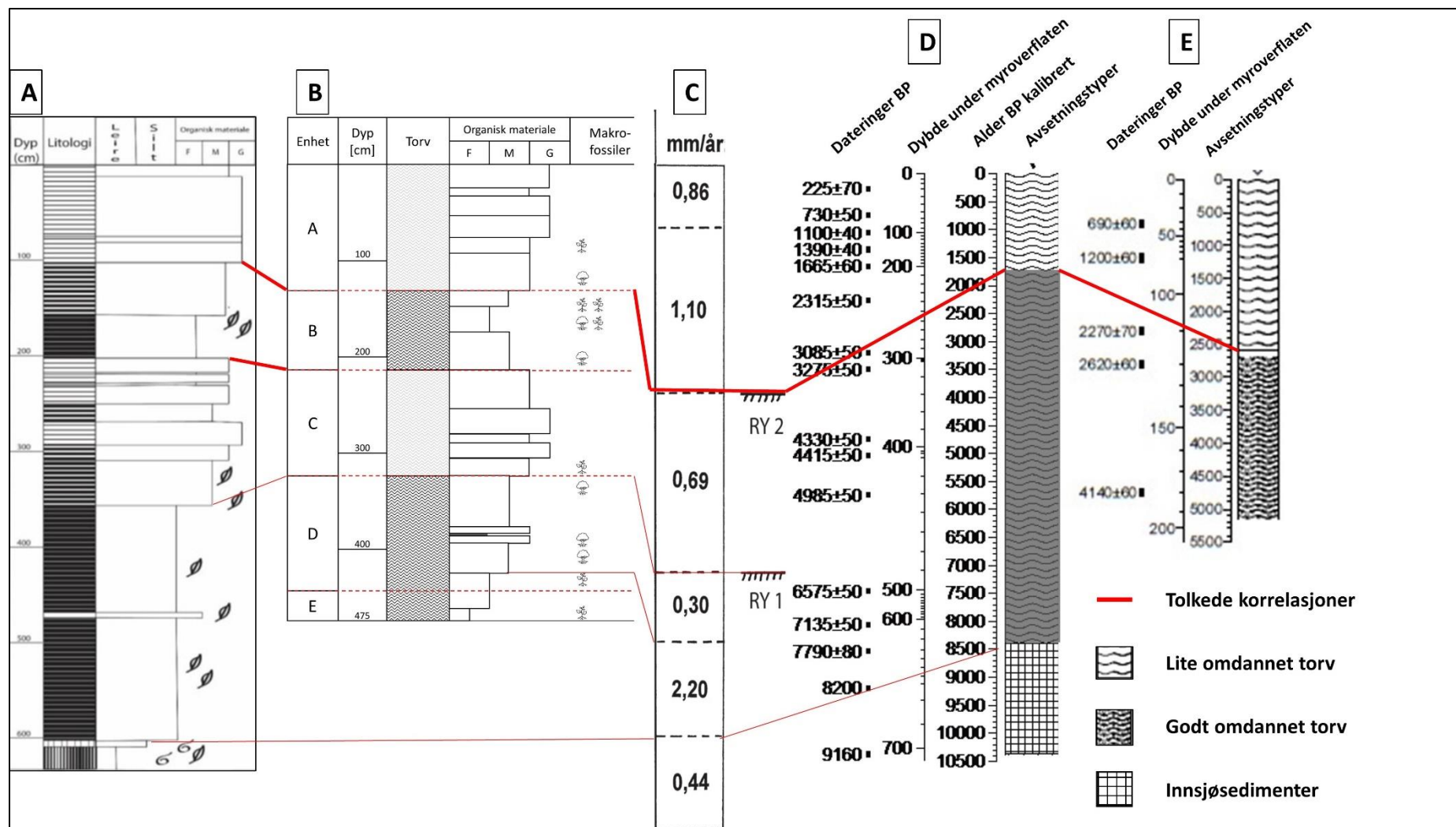
Fra torvkjernen (Figur 4-1) kan en fra endringen i omdanningsgrad tolke hvordan klimaet har vært. I kapittel 3.1 er det beskrevet hvordan omdanning av organisk materiale er styrt av klima, og da spesielt med hensyn til temperatur og nedbør. Ved å se på enhetene i torvkjernen, og deres omdanning, kan det tolkes at det for enhet A og C generelt har vært lavere temperaturer og potensielt mer anaerobe forhold, som har ført til lavere grad av omdanning. Enhetene B, D og E er preget av høyere omdanningsgrad, noe som forteller at det må ha vært mer tilgang på oksygen og at omdanningen må ha skjedd mer effektivt (Jørgensen et al., 2013). Mer tilgang på oksygen betyr lavere grunnvannsstand, noe som videre tyder på et tørrere, og potensielt varmere, klima (Figur 3-1). For enhetene med høyere omdanningsgrad er det også observert flere spor av plante- og tre-rester enn i enhetene med lavere grad av omdanning, spesielt tre-rester i enhetene D og E (Figur 4-1). Det har trolig vært et varmere klima i disse periodene, og mer gunstige vekstforhold for planter og kanskje spesielt for trær.

Ved å sammenlikne omdanningsgrad i Figur 4-1 med tørrstoff og glødetap i Figur 4-7, kan en se tydelige korrelasjoner spesielt med tanke på mengde tørrstoff i enhet B, men også for mengde glødetap i enhet A og C. For tørrstoff er det observert en betydelig økning i enhet B, som er preget av høyere omdanningsgrad. Det er også for denne enheten målt et noe lavere glødetap. Det vises også til en noe forhøyet mengde tørrstoff for enhetene D og E, disse også preget av høyere omdanningsgrad. Sammen med glødetap ser man en tydelig nedgang for disse to enhetene. Det er generelt høyere andel glødetap for de delene av torvkjernen med organisk materiale som er vurdert til mindre omdannet. Samtidig observeres det også trender av lavere glødetap i de mer omdannede delene av kjernen. I enhet B er glødetapet fortsatt det som kan beskrives som svært høyt, fra 98 til 99%, men det observeres ingen deler med 100% glødetap slik som i enhet A og C (Figur 4-7). Høyere mengde tørrstoff kan vise til høyere produksjon av plantemateriale, samtidig som det sammen med en høyere omdanningsgrad viser til et generelt lavere grunnvannsnivå og mer nedbrytning. Et lavere grunnvannsnivå betyr ofte at planteproduksjonen for en myr vil være annerledes enn i mer fuktige perioder,

og kan gjerne være preget av trær og skog. For enhet A og C observeres det variasjoner mellom 97 og 100% glødetap, og det er en risiko for at dette skyldes forurensning av prøvematerialet ved forflytning fra ovn til veiestasjon. Restene i diglene besto mest av aske, og noe av prøvematerialet kan ha beveget seg mellom diglene. Det knyttes også usikkerhet til veiingen, da dette ble gjennomført uten avlukke.

I Kapittel 2.3 er deler av M. Skaaraas (1917) sin avhandling *Aasmyren* gjort rede for, der det er beskrevet en oppdeling av Åsmåsans profil som kan likne på det beskrevet i Figur 4-1. I avhandlingen er det beskrevet en midtre del i et tredelt mosetorvlag som er sterkere omdannet enn resten av mosetorvlaget. Dette midtre laget er det som er beskrevet som enhet B i torvkjernen (Figur 4-1), mens de to resterende delene av mosetorvlaget henspiller enhet A og C. Videre kan det da tolkes at enhet D og E korrelerer godt med det sterkere omdannede laget av dekomponert plantemasse fra avhandlingen. Øverste lag er fra Bjørlykke & Løddesøl (1930) tolket å stamme fra subatlantisk tid, midtre mosetorvlag fra subboreal tid og nedre mosetorvlag fra slutten av atlantisk tid.

For Rustadmåsan (Figur 2-1B) er det beskrevet at over marin leire er det avsatt gytje i en innsjø, noe som også er beskrevet for Åsmåsan (Stavang, 2016). For gjengroingsperioden av innsjøen i Rustadmåsan er det beskrevet en tilvekstsrate på 2,2 mm/år, og avsetning av mykmatte- og våt fastmatte-torv (Figur 5-1), under første halvdel av atlantisk tid (8950-5800 kal.år fn) (Sørensen et al., 2015). For de neste 2500 år er det beskrevet lav tilvekst på 0,3 mm/år. Det oppfattes slik at dette insinuerer høyere grad nedbrytning, noe som også kan tolkes til at deler av det organiske materialet fra første halvdel har blitt omdannet og komprimert. Dette underbygges videre av at det organiske materialet fra perioden med 2,2 mm/år i torvtilvekst omtales som komprimert, og vanskelig å komme gjennom med boreutstyr. Det korrelerer godt med bunn av egen torvkjerne, der det ikke lyktes å komme dypere enn 4,75 m grunnet nevnte vanskeligheter.



Figur 5-1: Sammenstilling av logg fra Stavang (2016) (A) og egen logg fra Åsmåsan (B), mot torvtilvekst for Rustadmåsan (C), lang torvkjerne fra Rustadmåsan (D) (modifisert fra Sørensen et al. (2015) og Sørensen et al. (2021)), og kort torvkjerne fra Korsegårdmyra (E) (Figur 2-1B), hentet fra Sørensen et al. (2021). Kjernene A-C er plottet for samme dybde, mens kjernene D og E er plottet med hensyn på tid. RY 1 markerer lokal uttørkningshorisont på slutten av atlantisk tid, mens RY 2 markerer regional uttørkningshorisont fra slutten av subboreal tid (Sørensen et al., 2015). Tegnforklaring for A og B finnes i henholdsvis Figur 2-8 og Figur 4-1.

I Figur 5-1 er det valgt å sette logg over torvkjerne (Figur 4-1) opp mot logg over kjerne fra Stavang (2016), torvtilvekst for Rustadmåsan fra Sørensen et al. (2015) og torvkjerner for de nærliggende myrene Rustadmåsan og Korsegårdmyra (Figur 2-1B), hentet fra Sørensen et al. (2021). Beliggenhet for 2016-kjernen (Figur 2-7) er omtrent 60 m nordøst for beliggenheten til denne undersøkelsens torvkjerne (Figur 2-1), og det er funnet likheter mellom disse. Rustadmåsan, som er beskrevet som typelokalitet for myrene i området, og Korsegårdmyra viser også likheter, spesielt ved sammenlikninger av lag med høyere omdanningsgrad i øvre del av myrene.

Fra Figur 5-1 ser vi at 2016-kjernen kan deles inn i det som ser ut som fire enheter. Likt som i egen torvkjerne, observeres det en øvre enhet med mindre omdannet organisk materiale, en enhet med mer omdannet organisk materiale, enda en enhet med mindre omdannet organisk materiale og i bunn en nedre del med høyere grad av omdanning. De tre øvre enhetene korrelerer godt med egne enheter A, B og C, og nedre enhet med høy omdanningsgrad kan korreleres med enhet D og E. Det observeres at overgangene mellom de ulike lagene ligger noe dypere for egen torvkjerne enn for 2016-kjernen, samtidig som det for Rustadmåsan kan tolkes å ligge enda dypere igjen. For 2016-kjernen er det ikke observert noen mellomgrad for fibrigheten til strukturene. Vurdert fibrighet ligger enten på grense mellom medium og grovt, som er definert som medium, eller grense mellom fint og medium, som er definert som fint. Dette gjør at noen av overgangene mellom det som kan tolkes som enheter vil kunne avvike litt fra hverandre. Sett bort fra dette, viser de to kjernene høy grad av korrelasjon, spesielt om man sammenlikner område med høy omdanning like over 2 m dyp og område med lavere omdanning like over 3 m dyp. Kan også se korrelasjoner for økende grad planterester i områder med høyere grad av omdanning.

Høyden for Rustadmåsan er 105 moh., altså 10 m høyere enn Åsmåsan på 95 moh. Det kan være tenkelig at utviklingen disse to myrene imellom vil kunne vises som forskjøvet. Samtidig er det beskrevet i Sørensen et al. (2011) at landhevingen skjedde veldig raskt for området, så det er mulig dette bare har noe å si for tykkelse av tidligere nevnte gytje-lag fra før gjengroingsperioden. Likevel er det viktig å påpeke at utvikling myrer imellom vil kunne variere mye som følge av ulike størrelser på forsenkninger og tilførsel av organisk materiale fra omliggende planter, tross likt klima. Med dette i tankene kan det tolkes at overgang mellom enhet A og B korrelerer bedre med overgang mellom lite omdannet og omdannet materiale i Korsegårdmyra enn i Rustadmåsan (Figur 5-1).

For de fleste myrer på Sør- og Østlandet er det beskrevet et stubbelag som ligger ved 1,5-2,5 m dyp, som representerer en klimaendring for omtrent 2700-2200 år siden der klimaet ble varmere og tørrere (Jørgensen et al., 2013). Ikke alle myrer viser dette som et stubbelag, og i Rustadmåsan er det beskrevet som et gjennomgående mørkt lag med mer omdannet materiale (Sørensen et al., 2011). Et liknende lag med mer omdannet materiale, som følge av en tørrere periode, er også beskrevet for myrene Stömyren og Kortlandsmossen i Sør-Sverige (Borgmark, 2004). Om dette tas i betraktning når en vurderer torvkjernene i Figur 5-1 opp mot hverandre, kan dette tolkes å korrelere med deler av enhet B. Enhet B viser ikke noe tydelig stubbelag, men det ble funnet spor av tre og noe kvist. Dette gjennomgående laget er i Rustadmåsan også beskrevet å skulle gi tydelig utslag på georadar-undersøkelser som uttørkningshorisont (RY 2), og markerer avslutningen på en periode med torvtilvekst på 0,7 mm/år i siste del av subboreal tid (Sørensen et al., 2015). Tilsvarende reflektor finnes omtrent ved 2 m dyp i GPR-profil 2 i Åsmåsan (Figur 2-9). Under denne grenseflaten ser en også at signalene blir svakere, dette spesielt ved omtrent 3 m dyp. En slik tydelig grenseflate der det er observert godt omdannet organisk materiale styrker teorien om at omdanningsgrad kan ha noe å si for mengde elektromagnetiske signaler som klarer å penetrere dypet av myra. En liknende grenseflate kan trolig knyttes til lokal uttørkningshorisont RY 1 like under 4 m dyp i Rustadmåsan. Denne kan tolkes å korrelere omtrent med overgangen mellom enhet C og D (Figur 5-1). Om man videre knytter dette opp mot vannkjemien, kan man se i Figur 4-8 at det er en tydelig økning i DOC for omtrent dette dypet. Dette kan videre sammenliknes med verdier av EC for området, som viser en lavere trend ved 1,75-2,75 m dyp. Dette viser seg også å sammenfalle med stagningen av målt mengde Na.

Under behandling av torvkjerne for visuell analyse, og ved klargjøring av prøver til tørking, ble dette utført i et rom med normalt høy innendørstemperatur. Dette kan muligens ha ført til fordampning av noe av væsken i prøvene, og er en mulig feilkilde. Det ble observert endring av vekt hos prøvene ved tilfeldig etterveiing, noe som forsterker denne mistanken. Etter opptak av torvkjernen har også det organiske materialet kommet i kontakt med luft, etter å ligget lagret i bakken i det som kategoriseres som et anaerobt miljø. Selv om det ikke er snakk om mange minuttene i kontakt med luft før kjernene ble pakket inn i plast, kan dette ha medført noe omdanning av materialet, som potensielt kan synes på materialets farge. Da kjernen ble tatt opp ble det observert at planterester, som liknet på røtter, hadde en klar rødlig farge. Torven hadde også stedvis en mer rødlig brun farge, men da prøvene senere ble visuelt analysert hadde både torven og de andre planterestene en mørk brun farge.

5.1.1. Vannets sammensetning

Ved å se på resultatene fra vannkjemien i Figur 4-8 sammen kan en se tydelige korrelasjoner. Den markant høye målte verdien av EC på 120 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ved 0,75-0,85 meters dyp korrelerer godt med de laveste verdiene av pH på 3,74. Disse verdiene er også nærliggende en trend av noe forhøyede verdier målt Cl ved 0,75-2,25 m dyp, men det meste av den høye EC-verdien forklares her av pH. En pH på 3,74 kan forklare så mye som 30-96 $\mu\text{S}/\text{cm}$ av økningen i EC (Puranen et al., 1999). Slike lave verdier av pH høyt oppe i en myr kan muligens knyttes til frigjøring av hydrogenion (H^+) fra kationbytte under vekst av *Sphagnum*-mose (Vitt, 2008). Siden verdier av pH over 5 vil være å regne som neglisjerbare (Kapittel 3.1), vil pH trolig ha lite å si for EC i dypet av myra. Dette vises også godt fra 1,75 m dyp og nedover, der pH har nådd 5,0 og EC viser noen av sine laveste verdier. Fra 1,75-3,05 m dyp er mesteparten av de laveste verdiene for EC målt, og denne sekvensen korrelerer godt med en nedgang i målt Cl, samtidig som verdier av Na ligger stabilt rundt 10 mg/L. Om man setter verdiene for Na, DOC, EC og pH opp mot hverandre, observeres det en sammenfallende trend fra omtrent 3 m dyp, ned mot bunnen av torvkjernen. Dette vises som korrelasjonssoner i Figur 4-8. Siden EC er sterkt avhengig av mengde løste ioner (Formel 3-1), er det derfor nærliggende å tenke at mye av økningen av EC i dypet forklares av økningen i Na. Dette vises ved korrelasjoner i enheter D og E, der endringer for Na og EC tenderer til å følge hverandre. En jevn stigning av Na med dyp styrker teorien om diffusjon fra underliggende marine lag, selv om verdiene for Cl i dypet ikke viser en like tydelig trend. Det er dog viktig å få frem at Na og Cl inngår i ulike kjemiske prosesser, og deler av Cl kan være bundet opp i torv (McCarter et al., 2019).

Dypet på 3 m er som nevnt det området i myra hvor georadar-signalere blir mindre tydelige, som kan sees i Figur 2-9. I kapittel 3.2.2 er det forklart at høyere EC vil føre til en tydelig reflektor, og at selv et tynt lag med dette vil føre til at færre av de elektromagnetiske bølgene når dypet. Som nevnt øker verdier av EC fra omtrent 3 m dyp, sammenfallende med økning i Na (Figur 4-8), noe som gjør at dette kan se ut til å stemme. Samtidig ser vi for dette dypet i torvkjernen at omdanningsgrad (Figur 4-1) og mengde DOC (Figur 4-8) er høy. Fra dette kan det sies at både teorien om at de dårlige GPR-resultatene er knyttet til diffusjon og omdanningsgrad er styrket.

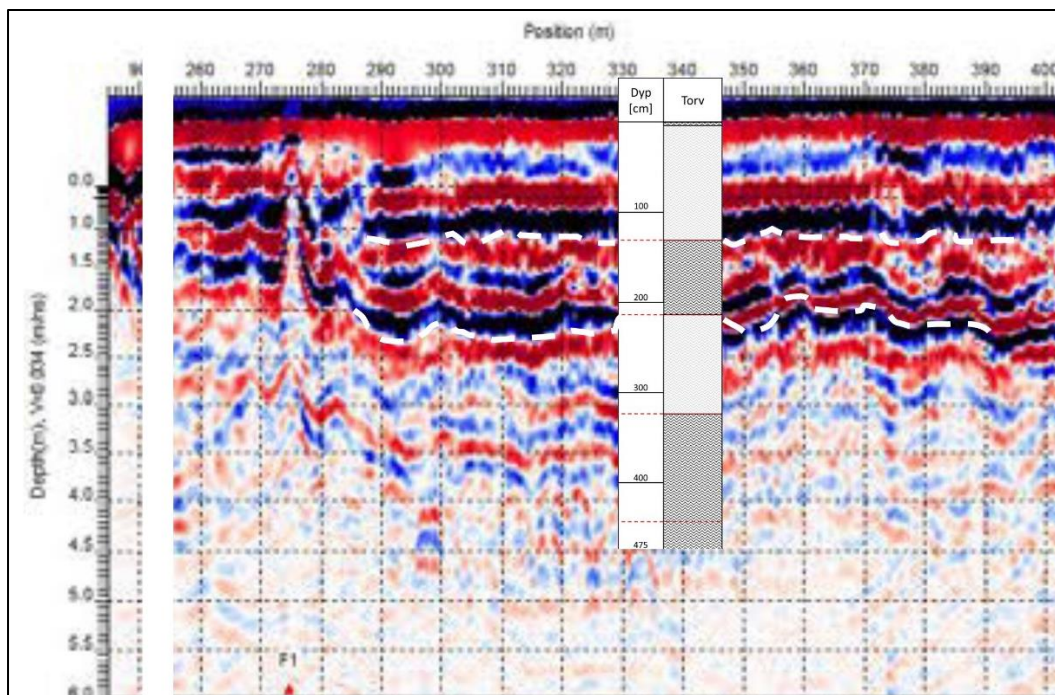
For pH er det observert stigende trend med dyp, men med mer stabile verdier ved 1,75-2,55 m dyp (Figur 4-8). Dette kan korreleres med det tidligere nevnte stubbelaget som knyttes til en periode med varmere og tørrere klima for 2700-2200 år siden (Jørgensen et al., 2013). Dette området kan også korreleres med verdiene av DOC som er målt nokså stabile, rundt

200 mg/L for samme dyp. Videre i dypet er det en korrelerende økning mellom DOC og pH, noe som stemmer godt overens med at løseligheten til organisk materiale tenderer til å øke med økt pH (Curtin et al., 2016).

Det ville vært interessant å se på konsentrasjonen av frie ioner av Na og Cl, og ikke bare totalkonsentrasjonen i vannprøvene, sammen med ionekonsentrasjon av for eksempel kalium, kalsium, magnesium, jern, sulfat og hydrogenkarbonat. Dette kan være nyttig for å gjennomføre beregninger av ionekonsentrasjonen i myra og videre sette dette opp mot ledningsevnen (Formel 3-1). I denne undersøkelsen ble det valgt å undersøke totalkonsentrasjon av Na og Cl for å se om det ble vist en tydelig diffusjon av dette i dypet, altså jo nærmere marin leire man kom. Dessverre kan ikke disse direkte relateres til ledningsevnen, men de vil kunne gi en god pekepin. Tross en tydelig økning av spesielt Na i dypet, som kan sies å sees nokså lik endring i ledningsevne, knyttes det usikkerhet til om disse endringene er tilstrekkelig betydelige til å forklare den forhøyede ledningsevnen alene. Dette forsterkes ved testing av verdier for Na, Cl, pH og EC inn i Formel 3-1. Der forholdstall A skal ligge på 5,4-9,6 for naturlig vann, ligger det her stort sett rundt 2. Dette viser at det er mer som påvirker ionekonsentrasjonen (C) i forhold til hvor høye verdier det er av ledningsevne.

5.2. Geofysiske resultater

I Kapittel 4.2.3 ble det beregnet et penetrasjonsdyp på 3,5 m basert på gjennomsnittlig EC-verdi i vannfasen (Figur 4-8) for de tre øverste metrene i myra. Det ble også beregnet penetrasjonsdyp i Kapittel 4.1.2, her med hensyn på beregnede verdier av EC fra resistivitetsmålinger (ERT) (Figur 4-2). Disse beregningene viste mulige penetrasjonsdyp på 2,8 m og 5 m. Det er vanskelig å gi et eksakt mål på penetrasjonsdypet, da EC endrer seg i dypet. En medianverdi på beregningene fra ERT gir 3,9 m, noe som ikke er for langt unna beregningen fra EC i vannfasen. Likevel viser dette at ikke alt av EC forklares ved vannkjemien, men at EC i vannfasen gir en god pekepin for de faktiske endringene. Det beregnede penetrasjonsdypet og EC-verdiene kan altså sies å korrelere godt med tidligere undersøkelser med GPR (Figur 2-9), der reflektorene blir mindre og mindre tydelige fra omtrent 3 m og nedover.



Figur 5-2: Del av torvkjerne (Figur 4-1) med omtrentlig posisjon (Figur 3-4) over utsnitt av GPR 2 (Figur 2-9). Tolkninger som hvite stiplede linjer som indikerer korrelasjon mellom grenseflater og overganger mellom lite omdannet og omdannet torv.

I Figur 5-2 er det tolket korrelasjon mellom grenseflater fra GPR 2 (Figur 2-9) og overganger mellom omdanningslag i torvkjerne (Figur 4-1). Har fra Kapittel 3.2.2 at endringer i jordsammensetning vil synes som grenseflater under kartlegging med georadar. En slik endring i jordsammensetning kan være endring i omdanningsgrad for torv, og korrelasjon kjerne og profil imellom kan tolkes deretter. Øverste markerte grenseflate kan også sies å korrelere med omtalte grenseflate for myrer på Sør- og Østlandet i Sørensen et al. (2015). En annen vesentlig faktor er det faktum at jo mer bølger som reflekteres, desto færre vil kunne penetrere dypere i profilet (Mauring et al., 1995). Selv om reflektorene i toppen er nokså like kraftige, kan de også sies å avta noe i styrke seg imellom.

For GPR 2 (Figur 2-7), som sammenfaller med kort og langt ERT-profil i denne oppgaven (Figur 3-4), er det kartlagt med en frekvens på 50 MHz. Profilet ble først forsøkt kartlagt med 100 MHz, men det viste seg å ikke gi tilfredsstillende tydelige reflektorer øverst i profilet (Stavang, 2016). En frekvens på 50 MHz skal gi tydeligere reflektorer grunt i profil, og et heller lavere penetrasjonsdyp, enn ved bruk av høyere frekvenser (Mauring et al., 1995). For kartlegging av overganger mellom lag med ulik omdanningsgrad kan dette sies å være effektivt, men for kartlegging av myrddybde må det anses som fordelaktig å prioritere et høyere penetrasjonsdyp og heller høyere frekvenser.

5.2.1. Resistivitet

Fra det korte profilet i Figur 4-2 er det i Kapittel 4.1.2 antydnet et lag ned til 5-6 m dyp. Dette laget viser en høyere resistivitet enn underliggende lag som i profilet er tolket ned til omtrent 12 m dyp. Laget med høyere resistivitet er tolket til torv, mens underliggende lag er tolket til marin leire, fra det at marin leire kjent har høyere ledningsevne enn torvavsetninger. For torvkjerne i Figur 4-1 er det beskrevet torv i hvert fall ned til 4,75 m dyp. I torvkjerne fra Stavang (2016) i Figur 2-8 og i Prestvik (1975) er det beskrevet et overgangslag av gytje ved omtrent 6 m dyp, noe som stemmer godt overens med tolkningen av overgang fra torvavsetning til marin leire i ERT-profil.

For torven i det korte profilet kan det tolkes en noe lavere resistivitet ned til 1 m dyp, et område med høyere resistivitet ved 1-3 m dyp før resistiviteten blir gradvis lavere ned mot det som er tolket som leire ved 5-6 m dyp. Ved å sammenlikne økt resistivitet ved omtrent 1-3 m dyp med resultatene for EC i Figur 4-8, korrelerer dette godt med lavere verdier for EC ved dette dypet som følge av Formel 3-5.

Fra det lange profilet i Figur 4-3 er det i Kapittel 4.1.2 antydnet et tynt øvre lag med høyere resistivitet over et tykkere lag, ned til et varierende dyp mellom 18 og 27 m dyp, med lavere resistivitet. På samme grunnlag som i det korte profilet tolkes det øvre laget som torv og det tykke laget som marin leire. Ved å sette dette profilet opp mot ERT-1 og ERT-2 (Figur 2-7) i Vedlegg B (Figur B-2), tidligere kartlagt av studenter i emnet GEO220 ved NMBU, kan det korreleres mellom tolket dyp av marin leire. Profilene krysser hverandre ved omtrent 210 m nord for start av det lange profilet (Figur 3-4). For krysningspunktet mellom profilene er dybde for tolket marin leire anslått til 18 m for begge profiler. Disse kan altså korreleres.

5.3. Grunnvann

Fra grunnvannsmålingene i Figur 4-10 er det tolket en trend der grunnvannet generelt er målt til å være høyere på det som kan kategoriseres som midten av myra, ved PER500 (Figur 2-7). Dette er også det området der myra bare er målt til å være 3 m dyp, i motsetning til bassenget der det ble gjennomført ERT og hentet ut torvkjerne hvor dybden er målt å være omtrent 6 m.

Det kan se ut til at modellert grunnvannsendring er noe større enn den faktiske endringen i myra (Figur 4-10). Fluktuasjonene fra feltmålingene tenderer til å være betydelige, men dette er et godt eksempel på at endringene i trykkehøyde ikke er så A4 som vist i denne modellen. Samtidig kan det se ut til at det faktiske grunnvannsnivået er begynt å synke noe tidligere enn

det modellerte grunnvannsnivået. Det kan altså tolkes at høstmatingen som er modellert ikke varte helt frem til 30. november akkurat dette året, og at bakken frøs litt tidligere enn antatt. Om en ser på grunnvannsmålingene i februar, kan det se ut til at det var en økning i grunnvannsnivå fra 28. januar til 18. februar 2022. Det kan altså se ut til at noe vann har trengt inn i myra, og at det trolig var en mildere periode der myra kan ha delvis tint. Om dette også sammenliknes med temperaturgraf i Figur 4-4, kan en se at det var en kuldeperiode fra 20. november 2021. Det kan altså tenkes at det kom frost i myra allerede ved denne dato, noe som kan medføre en viss feilmargin for modellert grunnvann. Det er observert en noe varmere periode i begynnelsen av januar, og iløpet av denne perioden er det også observert en del nedbør i form av regn. Dette kan potensielt kan ha trengt inn i myra. Fra målinger gjennomført 28. januar 2022 til målinger 18. februar 2022 er det observert en generelt økende trykkehøyde for alle punkter. Sett sammen med temperatur og nedbør for denne perioden, er det observert en betydelig mengde nedbør, og generelt for perioden er det også temperaturer over frysepunktet. Det er derfor tenkelig at deler av denne nedbøren kom i form av regn, og ikke snø som ble antatt for hele perioden i modellen.

En annen faktor som ikke ble tatt helt høyde for under modelleringen er påvirkningen av grøftene. Grunnvannsmodellen gir det som antas å være en riktig strømmereetning, fra sør mot nord, noe som også følger grøfteretningen. Det må tas med i betraktningen at vannet i myrpartiene mellom grøftene trolig vil ledes mot grøftene før det ledes videre nordover, et fenomen beskrevet i Kløve (1999). Det kan også tenkes at dette er tilfellet for antatt vanntilførsel fra Frydenhaug og Skogveien (Figur 3-8). I kvartærgeologisk kart i Figur 2-5 kan det helt i sør av myrbassenget observeres deler av en ØV-gående grøft, og selv om det ikke vises i kartet er dette også tilfellet like ved Frydenhaug i vest. En oversikt over grøfter fins som vedlegg (Figur B-1). Tross at dette ikke er vist i modell, kan det tenkes at disse grøftene leder en del av den tenkte vannmatingen fra Frydenhaug og Skogveien vekk fra modellområdet, slik at det i modellen må vurderes en feilkilde rundt grunnvannsmatingen. Det kan altså tenkes at Åsmåsan i mye større grad er å regne som en nedbørsmyr. Om denne tanken sees sammen med GPR-profiler i Figur 2-9, kan en se grenseflater tydeligere i dypet av profilene både helt sør i GPR 2 og vest i GPR 3. Tilførsel av vann fra mineraljord kan ofte bære preg av høyere pH (Fitts, 2002), som vil sørge for mindre påvirkning på EC og da vil kunne gi et større penetrasjonsdyp. Dette er likevel bare observert for en liten del, så de kan altså tenkes at dette vannet bare mater ytterkantene av myra. Dette leder til anbefaling mot en

grundigere undersøkelse av pH i myra sammen med vannstrømning i ytterkant sett opp mot mating fra moreneryggene Frydenhaug og Skogveien.

Ved å se på modellert oppholdstid for myra i Figur 4-11 kan en se at disse varierer nokså stort seg imellom. For beregningen der det er tatt høyde for årstidsvariasjoner varierer det mellom 3,5 år i øvre del av myra og 10 år i nedre del av myra. Det kan altså tolkes at en lavere hydraulisk konduktivitet (K) i bunn av myra medfører lengre oppholdstid. Jo lengre vannet oppholder seg i myra jo mer påvirket vil vannet kunne bli av grunnforholdene i myra. Dette kan også knyttes til vannkjemi (Figur 4-8), der det observeres en generell økning av både DOC, Na, Cl og EC i den nedre delen av myra, der vannet står lengre. Den lengre oppholdstiden i bunn av myra kan altså være med på å forklare økningen i konsentrasjon av spesielt Na, trolig fra diffusjon, men også DOC.

I etterkant av montering av peilebrønner ved lokalisjonen for torvkjernen kom det frem at det kunne vært interessant å se på trykkehøyde og K dypere ned i myra, da gjerne i det laget som er blitt karakterisert som mer omdannet. Peilebrønner med slisser bare nedre del burde altså vært montert til minimum 3 m dyp, noe som da også ville gitt mer nøyaktige verdier for K til modelleringen i ModelMuse.

Under gjennomføring av slug-test for Tver.1 ble det observert at vannet trakk veldig mye raskere inn i myra enn hva som var tilfellet for slug-test gjennomført i PER500.2. Det kan tenkes at torven rundt peilebrønner ikke hadde fått tilstrekkelig tid til å sette seg igjen, og at vannet derfor bevegede seg noe raskere enn det ville gjort etter lengre tid. En annen mulighet kan være at peilebrønner sprakk under montering. Grunnlaget for disse tankene er at målt verdi av K på $5,851 \times 10^{-5} \text{ m/s}$ for brønner er betraktelig mye høyere enn verdi på $6,31 \times 10^{-6} \text{ m/s}$ for nærliggende brønn PER200 (Figur 2-7) fra målinger gjennomført i 2016 av studenter i emnet GEO220, NMBU (Øybekk, 2016). Det skal dog kommenteres at verdi for PER200 trolig er litt misvisende, da dette røret er helslisset.

6. Konklusjon

Åsmåsans utvikling er preget av variasjonene i klima gjennom holocen. Da området ble isfritt, og steg opp av havet for omtrent 10 300 kal.år fn, ble noe vann liggende igjen i en nedsenkning skapt av innlandsisen og skapte en liten innsjø. Innsjøen ble etter hvert ferskvann der det ble avsatt gytje, og i begynnelsen av atlantisk tid (8950-5800 kal. år fn) nådde innsjøen sitt gjengroingsstadie. Gjengroingsstadiet vises som et svært komprimert lag (Sørensen et al., 2015), og er vurdert som årsaken for at man ikke kom dypere enn 4,75 m med russerbor. I subboreal tid (5800-2650 kal. år fn) regnes tilveksten som stabil, og på slutten blir Åsmåsan skogkledd. Dette vises av et tydeligere omdannet lag, med noe trerester, på omtrent 1 m tykkelse, og markerer toppen av enhet B i torvkjerne. Videre mot toppen av myra er torven mindre omdannet, og viser til økning av torvtilvekst gjennom subatlantisk tid (2650 kal. år fn - nå). Enhet A er noe komprimert som følge av senkning av grunnvannsspeilet, og lavere torvtilvekst, fra grøfting av myra på 1800- og 1900-tallet. Grøftingen gjorde også Åsmåsan mer gjestmild for planter og trær, og myra er i dag nærmest helt skogkledd.

Det er vanskelig å si om omdanningsgraden i seg selv er nok til å forklare tap av elektromagnetiske bølger med dypet, ved bruk av georadar (GPR), men det er vist at enhet B sammenfaller med sterke reflektorer over dypet i myra der mengde elektromagnetiske bølger reflektert minsker drastisk. Reflektorer fører til at potensialet for bølger til å penetrere dypet minsker, og omdanningsgraden kan altså konkluderes med å påvirke GPR-resultatene.

For målinger av elektrisk ledningsevne (EC) i vannfasen kan det konkluderes med at disse høye verdier er sterkt avhengig av lave verdier pH i vannfasen i øvre deler av kjernen. Dette kommer trolig fra kationbytte under vekst av *Sphagnum*-mose, eller atmosfæriske påvirkninger. I midtre del synker EC som følge av økning i pH, før det i bunn av kjernen viser seg at EC er sterkere styrt av diffusjon av Na og Cl fra underliggende marine sedimenter, og da spesielt Na. Selv om høye verdier av EC ikke bare kan forklares av disse løste ionene, gir de en god pekepin på de geokjemiske forholdene. Det kan altså ikke sies at diffusjon av Na og Cl fra underliggende marine sedimenter er skyld i forhøyet EC i toppen av myra.

Et beregnet penetrasjonsdyp på 3,5-3,9 m, fra verdier av EC for toppen av kjernen, reflekterer problemet med forsvinnende GPR-signaler ved 2-3 m dyp. Høye verdier av EC har altså ført til at mye av de elektromagnetiske bølgene er blitt absorbert, og dette knyttes sterkt til lav pH.

En samlet konklusjon vil da være at forsvinnende GPR-signaler kan forklares av forhøyet EC i øvre del av myra, sammen med høy grad reflekterte bølger som følge av omdanningsgrad.

Tross forsvinnende GPR-signaler ned i myra, gir slike målinger et godt bilde av endringen i omdanningsgrad for de øverste metrene av myra. Kombineres resultatene med målinger av resistivitet (ERT), kan myrforholdene portretteres på en måte som reflekterer myrprofil fra torvkjernen godt.

Grunnvannsmålinger over tid viser at området er sterkt påvirket av nedbør.

Modelleringsforsøkene viser at en grøftet myr, slik som Åsmåsan, ikke lar seg forenkle på samme måte som det er gjort i denne undersøkelsen, men at modellen gjenspeiler forholdene nokså godt. Det hydrologiske kretsløpet viste seg å være langt mer komplisert enn hva modellen ble forenklet til. Likevel lyktes det å modellere en strømmereining som gir mening i forhold til nedbørsfelt og elveløp. Beregnet oppholdstid for øvre og nedre del av myra ga henholdsvis 3,5 og 10 år, og viser sterk korrelasjon med påvirkning fra grunnforhold på vannkjemi. Dette viste seg å være styrt av den hydrauliske ledningsevnen (K) for lagene.

7. Videre arbeid

Noen tanker rundt videre arbeid er allerede reflektert rundt i diskusjonskapittelet, men det vil i denne delen samles og gjøres mer oversiktlig.

Det er tenkt at mye av de forhøyede verdiene av EC i toppen av myra kan forklares av lav pH. Likevel viser det seg at kartlegging med GPR fungerer bedre i noen deler av myra enn andre. Det anbefales derfor en videre kartlegging av pH i myra, spesielt i de deler nærmere moreneryggene Frydenhaug og Skogveien. Tilknyttet disse vil det også være interessant å se på strømmereiningen for vannet fra disse moreneryggene når de møter dreneringsgrøfter i kanten av myra. Det vil altså anbefales en grundigere undersøkelse med fokus på grøftenes påvirkning på grunnvannets bevegelsesretinger, eller målinger av vannføring i grøftene.

EC styres sterkt av mengde løste ioner, og selv om fokuset for denne undersøkelsen var å undersøke om forhøyningen i myra kunne forklares av diffusjon fra underliggende marine sedimenter, viste det seg underveis at det ville vært interessant å se på konsentrasjonen av flere ioner i myrvannet. Et videre anbefalt arbeid er derfor å se på om det er noen andre høye konsentrasjoner av grunnstoffer og forbindelser i myra som er med på å påvirke vannkjemien.

I Puranen et al. (1999) er det undersøkt for temperaturvariasjoner og endring i EC for en myr i Finland. En slik undersøkelse kunne vært interessant også for Åsmåsan, der man kunne gjennomført geofysiske undersøkelser ved ulike årstider og satt dette opp mot temperaturvariasjoner både i topp og bunn av myra. Det kan også være interessant med målinger av EC *in situ* på samme tid som det gjennomføres undersøkelser av temperatur.

For nærliggende myrer som Rustadmåsan og Korsegårdmyra er det gjennomført pollenanalyse og karbondatering. Dette er ikke tilfelle for Åsmåsan. For å danne seg et enda bedre bilde av utviklingen til Åsmåsan, samt korrelasjon myrene imellom, anbefales det derfor gjennomføring av pollenanalyse og karbondatering av torvlag.

Gjennom denne undersøkelsen og tidligere undersøkelser av Åsmåsan, fra feltkurs i GEO220 (NMBU), er det samlet mye data ved bruk av geofysiske metoder, med de er ikke sammenstilt på noen god måte. Det vil derfor anbefales et prosjekt å sette sammen alle disse profilene, og produsere et 3D-profil over grunnforholdene i myra.

Referanser

- Aminudin, A., Hasanah, T. R., & Iryati, M. (2018). The Characteristics of Electrical and Physical Properties of Peat Soil in Rasau Village, West Kalimantan. *IOP Conf. Series: Journal of Physics*, 7. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1013/1/012178>
- Annan, A. P. (2003). *Ground Penetrating Radar: Principles, Procedures & Applications*. S. S. Inc.
- Appelo, C. A. J., & Postma, D. (2005). 5: Carbonates and Carbon Dioxide. In *Geochemistry, groundwater and pollution* (2nd ed.). A.A. Balkema Publishers.
- Balanchy, G., Saneiyan, S., Boyd, J., McLachlan, P., & Binley, A. (2020). ResIPy, an intuitive open source software for complex geoelectrical inversion/modeling. *Computers and Geosciences*, 137, 12. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0098300419308192>
- Bargel, T. H. (1997). *Oslo og Akerhus. Løsmassekart - M 1:250 000*. Norges Geologiske Undersøkelse.
- Berggrunn - Nasjonal berggrunnsdatabase. (2022). Norges Geologisk Undersøkelse (NGU). https://geo.ngu.no/kart/berggrunn_mobil/
- Berthelsen, A., Olerud, S., & Sigmond, E. M. O. (1996). *Geologisk kart over Norge, berggrunnskart OSLO 1:250000*. Norges Geologisk Undersøkelse.
- Binley, A., Ramire, A., & Daily, W. (1995). Regularised Image Reconstruction of Noisy Electrical Resistance Tomography Data. *Process Tomography*, 10.
- Bjørlykke, K. O., & Løddesøl, A. (1930). *Jorden i Ås*. Norges landbrukshøiskole.
- Borgmark, A. (2004). Holocene climate variability and periodicities in south-central Sweden, as interpreted from peat humification analysis. *The Holocene*, 15(3), 9.
- Brattli, B. (2018). Fysisk og kjemisk hydrogeologi: Anvendelse og metodikk. In NTNU (Ed.), (3 ed.): Akademika.
- Brooks, S., Stoneman, R., Hanlon, A., & Thom, T. (2014). *Conserving bogs - The management handbook* (2nd ed.).
- Brown, P., & Musil, S. A. (2004). Automated Data Acquisition and Processing. In J. Artiola, I. L. Pepper, & M. L. Brusseau (Eds.), *Environmental Monitoring and Characterization* (pp. 53-67). Elsevier Academic Press. <https://www.pdfdrive.com/environmental-monitoring-and-characterization-e184075214.html>
- Canada, E. a. C. C. (2019). Environmental Matrix Reference Material Sangamon-03, lot 0618. In.
- Courouble, M., Davidson, N., Dinesen, L., Fennessy, S., Galewski, T., Guelmami, A., Kumar, R., McInnes, R., Perennou, C., Rebelo, L. M., Robertson, H., Segura-Champagnon, L., Simpson, M., & Stroud, D. (2021). *Global Wetland Outlook: Special Edition 2021* (Convention of Wetlands, Issue. www.global-wetland-outlook.ramsar.org/
- Curtin, D., Peterson, M. E., & Anderson, C. R. (2016). pH-dependence of organic matter solubility: Base type effects on dissolved organic C, N, P, and S in soils with contrasting mineralogy. *Geoderma*, 271, 12. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0016706116300593>
- Fitts, C. R. (2002). Chapter 9. Groundwater chemistry. In *Groundwater Science* (pp. 279-338). Academic Press - An imprint of Elsevier Science.
- Forsgren, E., Aarrestad, P. A., Gundersen, H., Christie, H., Friberg, N., Jonsson, B., Kaste, Ø., Lindholm, M., Nilsen, E. B., Systad, G., Veiberg, V., & Ødegaard, F. (2015). *Klimaendringenes påvirkning på naturmangfoldet i Norge - NINA Rapport 1210* (1210).

- French, H. K. (2016). *Sammendragsrapport om hydrologien i Åsmyra*.
- Geodata WMS. (2022). www.geodata.no
- Gorham, E. (1991). Northern Peatlands: Role in the Carbon Cycle and Probable Responses to Climatic Warming. *Ecological Applications*, 1, 14.
- Hem, J. D. (1985). *Study and Interpretation of Chemical Characteristics of Natural Water* (3 ed.). US Geological Survey.
- Høydedata. (2022). Kartverket. <https://hoydedata.no/LaserInnsyn/>
- Jørgensen, P., Sørensen, R., & Haldorsen, S. (1997). *Kvartærgeologi* (2nd ed.). Landbruksforlaget.
- Jørgensen, P., Sørensen, R., & Prestvik, O. (2013). Torv - en organisk jordart. In *Norske jordarter* (pp. 91-96). Jordforeningen. http://www.jordforeningen.no/wp-content/uploads/2018/05/Norske_jordarter.pdf
- Kløve, B. (1999). *The Effect of Peatland Drainage and Afforestation on Runoff Generation - Consequences on Floods in River Glomma* (4). N. Hydra.
- Krogstad, T., & Børresen, T. (2015). JORD200 - Field and laboratory methods. In: Department of Environmental Sciences, Norwegian University of Life Sciences.
- Løsmasser - Nasjonal løsmassedatabase. (2022). Norges Geologiske Undersøkelse (NGU). https://geo.ngu.no/kart/losmasse_mobil/
- Mauring, E., Koziel, J., Lauritsen, T., Rønning, J. S., & Tønnesen, J. S. (1995). *Målinger med georadar. Teori, anvendelse, teknikker og eksempler på opptak*. (94.024). NGU.
- McCarter, C. P. R., Rezanezhad, F., Gharedaghloo, B., Price, J. S., & Van Cappellen, P. (2019). Transport of chloride and deuterated water in peat: The role of anion exclusion, diffusion, and anion adsorption in a dual porosity organic media. *Journal of Contaminant Hydrology*, 225, 13.
- Middlemis, H. (2000). *Groundwater flow modelling guideline I*. A. C. P. Ltd.
- Moen, A. (1998). *Vegetasjon* (A. Lillethun, Ed.). Statens Kartverk.
- Munsell. (1975). *Munsell Soil Color Charts* (1975 edition ed.). Munsell Color.
- NEVINA. (2022). Norges Vassdrag- og Energidirektorat (NVE). <https://nevina.nve.no/>
- Nordahl-Olsen, T. (1987). *SKI 1914 III - Kvartærgeologiske kart 1:50 000*. Norges Geologiske Undersøkelse.
- Nordgulen, Ø., & Andresen, A. (2013). Kapittel 3: De eldste bergartene dannes - Jordas urtid; 4600-850 millioner år. In I. B. Ramberg, I. Bryhni, A. Nøttvedt, & K. Rangnes (Eds.), *Landet blir til - Norges geologi* (2 ed., pp. 65-119). Norsk Geologisk Forening (NGF).
- Norgeskart. (2022). Kartverket. <https://www.norgeskart.no>
- Norsk klimaservicesenter. (2022). Meteorologisk institutt (MET). <https://seklima.met.no/>
- Often, A. (2006). Åsmyra som nesten gikk opp i røyk - Brukshistorie og karplanter 1826-2006. *Follominne*
- Oude Essink, G. H. P. (2000). *Groundwater modelling*.
- Ponziani, M., Slob, E. C., Ngan-Tillard, D. J. M., & Vanhala, H. (2011). Influence of water content on the electrical conductivity of peat. *International Water Technology Journal*, 1(1), 8.
- Prestvik, O. (1975). Myrene i Ås. In G. Semb (Ed.), *Jorda i Ås - Beskrivelse til jordbunnskaret over Ås herred, Akershus fylke* (pp. 96-107). Landbruksforlaget.
- Puranen, R., Mäkilä, M., & Säävuori, H. (1999). Electric conductivity and temperature variations within a raised bog in Finland: Implications for bog development. *The Holocene*, 9 (1), 11. <https://doi.org/10.1191/095968399669634350>
- QGIS. (2022). *QGIS Geographic Information System*. In [Open Source Geospatial Foundation]. <https://www.qgis.org>
- Rekdal, Y., Angeloff, M., & Bryn, A. (2016). Myr i Noreg. *NIBIO POP*, 2(1), 2.

- Rezanezhad, F., Price, J. S., Quinton, W. L., Lennartz, B., Milojevic, T., & Van Cappellen, P. (2016). Structure of peat soils and implications for water storage, flow and solute transport: A review update for geochemists. *Chemical Geology*, 429, 10. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0009254116301243>
- Rosa, E., Larocque, M., Pellerin, S., Gagné, S., & Fournier, B. (2009). Determining the number of manual measurements required to improve peat thickness estimations by ground penetrating radar. *Earth surface processes and landforms*, 34, 7. <https://doi.org/10.1002/esp.1741>
- Rosenfeld, H. J. (1978). *Israndavsetninger i området Vestby-Ski* (6).
- Schlesinger, W. H., & Bernhardt, E. S. (2013). Wetland Ecosystems. In *Biogeochemistry : An analysis of global change* (3 ed., pp. 233-274). Elsevier.
- Schwartz, F. W., & Zhang, H. (2003a). Chapter 5: Theory of ground-water flow. In *Fundamentals of Ground Water* (pp. 23). John Wiley & Sons, Inc.
- Schwartz, F. W., & Zhang, H. (2003b). *Fundamentals of Ground Water*. John Wiley & Sons, Inc.
- Skaaraas, M. (1917). *Aasmyren - med bidrag av tidligere undersøkelser av O. Juvkam og Wilh. Klose*. Den geologiske avdeling ved Norges landbrukshøiskole.
- Stavang, A. E. (2016). *Dannelse og utvikling av Åsmåsan* [Spesialpensum].
- Sørensen, R. (2006). Fortidsfolket kommer. In B. Løvland (Ed.), *Sørmarka* (pp. 44-54). Andresen & Butenschøn.
- Sørensen, R., Høeg, H. I., & Borch, H. (2021). Utvikling av landbruket i Follo fra steinalder til nåtid. *Follominne*, 16.
- Sørensen, R., Høeg, H. I., & Pedersen, A. (2011). Utviklingen av plantelivet og klima i Follo gjennom 10 000 år. *Follominne*.
- Sørensen, R., Høeg, H. I., & Pedersen, A. (2015). Holocen vegetasjonshistorie og utviklingen av en myr i søndre Akershus. *Blyttia, Norges Botaniske Annaler*, 73, 175-191.
- USGS. (2016, 28.12.16). *MODPATH Output Examiner*. USGS. <https://water.usgs.gov/ogw/modpath/moe.html>
- USGS. (2022, 03.03.22). *MODFLOW and Related Programs*. USGS. <https://www.usgs.gov/mission-areas/water-resources/science/modflow-and-related-programs>
- Vitt, D. H. (2008). *Encyclopedia of Ecology* (S. E. Jørgensen & B. D. Fath, Eds.). <https://www.sciencedirect.com/topics/agricultural-and-biological-sciences/sphagnum>
- Vorren, T. O., & Mangerud, J. (2013). Kapittel 15: Istider kommer og går - Pleistocen; 2,6 millioner - 11 700 år. In I. B. Ramberg, I. Bryhni, A. Nøttvedt, & K. Rangnes (Eds.), *Landet blir til - Norges geologi* (2 ed., pp. 496-547). Norsk Geologisk Forening (NGF).
- Wensaas Lied, E. K. (2018). *Risiko for kvikkleireskred i Ski, Ås, Vestby og Frogn kommuner* (Regional kvikkleirekartlegging, Issue. N. v.-o. energidirektorat.
- Winston, R. B. (2020, 26.06.20). *GW_Chart: A Program for Creating Specialized Graphs Used in Groundwater Studies*. USGS. <https://www.usgs.gov/software/gwchart-program-creating-specialized-graphs-used-groundwater-studies>
- Winston, R. B. (2022, 18.03.22). *ModelMuse: A Graphical User Interface for Groundwater Models*. USGS. <https://www.usgs.gov/software/modelmuse-graphical-user-interface-groundwater-models>
- Wiwattanachang, N., & Giao, P. H. (2011). Monitoring crack development in fiber concrete beam by using electrical resistivity imaging. *Journal of Applied Geophysics*, 75(2), 10. <https://doi.org/10.1016/j.jappgeo.2011.06.009>
- Wolff, M., Thue-Hansen, V., & Grimenes, A. A. (2021). *Meteorologiske data for Ås 2020* (ISBN 978-82-7636-034-9). NMBU.

- Yu, Z. (2012). Northern peatland carbon stocks and dynamics: a review. *Biogeosciences Discussions*, 9, 35.
- Øybekk, V. J. (2016). *Grunnvannet i Åsmåsan* Norges miljø- og biovitenskapelige universitet].

A. Vedlegg

I vedlegg A er finnes egne tabeller og figurer som det menes er vesentlig å ha med i oppgaven, men som enten tok for mye plass eller ikke er nødvendig portrettert i selve oppgaven.

Tabell A-1: Tolkninger av fargeendringer med dyp for torvkjerne ved bruk av Munsell fargeskala (Munsell, 1975), samt bedømmelser av struktur og observasjoner av innhold.

Dyp [cm]	Munsell	Struktur	Innhold
25-32	5YR3/3-2.5/2	G/M	Barnåler
32-52	5YR4/6	G	Tydelig mose,
52-57	5YR3/3	G	Tydelig mose
57-69	5YR2.5/2	G	Mose, noen små røtter
69-75	5YR3/4-7.5YR3/4	G	Mose
75-92	5YR2.5/2	G/M	Noe gress
92-118	5YR3/3	G	Tydelig mose
118-125	5YR2.5/2-3/2	G/M	Bit av tre
125-131	5YR3/3-2.5/2	G/M	
131-138	5YR3/2-3/1	M	Litt gress
138-150	5YR3/1	M	Mer gress
150-175	5YR3/1	M/F	Litt gress og kvist
175-191	5YR2.5/1	M	
191-214	5YR2.5/1	M	Noe kvist og røtter
214-225	5YR2.5/1	G/M	
225-256	5YR2.5/1	G/M	Nokså tydelig mose med røtter
256-275	5YR2.5/1	G	Tydelig mose
275-281	5YR2.5/1	G	Tydelig mose, noe kvist
281-291	5YR2.5/1	G/M	
291-308	5YR3/2	G	Tydelig innslag av strå
308-325	5YR2.5/1	G/M	Ant. Røtter
325-331	5YR2.5/1	M	Noe strå
331-375	5YR2.5/1	M	Røtter og kvist
375-380	5YR2.5/1	M	Tydelig mose
380-385	5YR3/2	G/M	Noe røtter
385-386	5YR2.5/1	M/F	
386-393	5YR3/2	G/M	Noe røtter
393-406	5YR2.5/1	M	Innslag kvist/rør
406-425	5YR2.5/1	M	Innslag kvist/rør
425-450	5YR2.5/1	M(/F)	Trerester og bark med spor
450-461	5YR2.5/1	M/F	
461-464	5YR2.5/1	F	
464-475	5YR2.5/1	F	Tydelig skille over i mer ommdannet, noe som likner på vannplanter

Tabell A-2: Tolkninger av von Post-omdanningsgrad (Tabell 3-2) med dyp for torvkjerne.

Dyp [m]	von Post
0,25	H3
0,3	H1
0,35	H1
0,4	H1
0,45	H1
0,5	H1
0,55	H2
0,6	H1
0,65	H1
0,7	H1
0,75	H2
0,8	H3
0,85	H2
0,9	H1
0,95	H1
1	H1
1,05	H1
1,1	H1
1,15	H3
1,2	H2
1,25	H2
1,3	H2
1,35	H3
1,4	H3
1,45	H4
1,5	H4
1,55	H4
1,6	H5
1,65	H5
1,7	H5
1,75	H4
1,8	H4
1,85	H5
1,9	H5
1,95	H5
2	H4
2,05	H4
2,1	H3
2,15	H3
2,2	H3
2,25	H4
2,3	H4
2,35	H4
2,4	H3

2,45	H4
2,5	H4
2,55	H3
2,6	H3
2,65	H3
2,7	H2
2,75	H2
2,8	H3
2,85	H3
2,9	H2
2,95	H2
3	H2
3,05	H2
3,1	H3
3,15	H3
3,2	H4
3,25	H3
3,3	H4
3,35	H4
3,4	H4
3,45	H3
3,5	H3
3,55	H3
3,6	H3
3,65	H4
3,7	H4
3,75	H3
3,8	H3
3,85	H2
3,9	H2
3,95	H3
4	H3
4,05	H4
4,1	H4
4,15	H4
4,2	H4
4,25	H3
4,3	H4
4,35	H4
4,4	H4
4,45	H5
4,5	H5
4,55	H5
4,6	H6
4,65	H6
4,7	H7

Tabell A-3: Dyp og veieresultater fra vannekstraksjon av torvkjerneprøver.

Nr	Dyp [m]	Totalvekt [g]	Kapselvekt [g]	Prøvevekt [g]	Vekt etter sentr. [g]
1	0.25-0.35	81,2	37,4	43,8	58,1
2	0.65-0.75	90,6	36,1	54,5	63
3	1.15-1.25	87,8	35,7	52,1	66,1
4	1.65-1.75	83,3	36	47,3	71,9
5	2.15-2.25	85	40,8	44,2	65,7
6	2.45-2.55	91,8	36,4	55,4	70
7	2.65-2.75	85,6	36,4	49,2	66,6
8	2.95-3.05	90,8	40,2	50,6	65,8
9	3.15-3.25	93,5	40,4	53,1	75,5
10	3.45-3.55	85,1	35,4	49,7	62,5
11	3.65-3.75	84,3	36,3	48	63,5
12	3.95-4.05	89,2	35,9	53,3	69,7
13	4.15-4.25	91,2	40,4	50,8	71,8
14	4.35-4.45	82,3	36,4	45,9	65,4
15	4.55-4.65	70,5	36,3	34,2	57,1
16	4.65-4.75	70,9	35,6	35,3	57,5

Tabell A-4: Vektmålinger tilknyttet beregning av tørrstoff (Formel 3-7) for torvkjernen. For prøver der det før (F) tørking ble brukt sentrifuge til vannekstraksjon er det også tatt med prøvevekt etter (E) sentrifugering. For dyp 405, 425 og 445 cm er det to verdier da analyse måtte gjennomføres to ganger grunnet teknisk feil.

Nr	Startdyp [cm]	Totalvekt [g]	TotalvektE sentrifuge [g]	Skålvekt [g]	PrøvevektF [g]	TotalvektE [g]	PrøvevektE [g]	Tørrstoff [%]	Vanninnhold [%]
1	25	50,3	26,9	6,5	43,8	10,1	3,6	8,22	91,78
2	35	48,4		6,5	41,9	9,4	2,9	6,92	93,08
3	45	69,7		6,7	63	11,3	4,6	7,30	92,70
4	55	64,7		6,5	58,2	11	4,5	7,73	92,27
5	65	61,1	33,2	6,6	54,5	10,3	3,7	6,79	93,21
6	75	54,3		6,5	47,8	10,5	4	8,37	91,63
7	85	60,3		6,5	53,8	10,4	3,9	7,25	92,75
8	95	68,7		6,6	62,1	10,7	4,1	6,60	93,40
9	105	56,3		6,7	49,6	9,9	3,2	6,45	93,55
10	115	58,7	36,6	6,6	52,1	10,8	4,2	8,06	91,94
11	125	62		6,6	55,4	11,6	5	9,03	90,97
12	135	58,5		6,7	51,8	12,3	5,6	10,81	89,19
13	145	56,6		6,6	50	12,6	6	12,00	88,00
14	155	54,3		6,5	47,8	12,9	6,4	13,39	86,61
15	165	53,8	42,2	6,5	47,3	12,9	6,4	13,53	86,47
16	175	56,3		6,6	49,7	11,4	4,8	9,66	90,34
17	185	58,3		6,5	51,8	13,3	6,8	13,13	86,87
18	195	54,4		6,5	47,9	11,6	5,1	10,65	89,35
19	205	51,2		6,6	44,6	10,4	3,8	8,52	91,48
20	215	50,7	31,2	6,5	44,2	9,5	3	6,79	93,21
21	225	54,5		6,8	47,7	10,4	3,6	7,55	92,45
22	235	67,3		6,6	60,7	11,2	4,6	7,58	92,42
23	245	61,8	39,9	6,4	55,4	10,3	3,9	7,04	92,96
24	255	52,2		6,5	45,7	9,9	3,4	7,44	92,56
25	265	55,8	36,6	6,6	49,2	10	3,4	6,91	93,09
26	275	54,6		6,5	48,1	10,3	3,8	7,90	92,10

27	285	53,9		6,6	47,3	9,6	3	6,34	93,66
28	295	57,1	31,8	6,5	50,6	10,1	3,6	7,11	92,89
29	305	50,8		6,6	44,2	9,9	3,3	7,47	92,53
30	315	59,7	41,5	6,6	53,1	10,6	4	7,53	92,47
31	325	63,1		6,6	56,5	11,4	4,8	8,50	91,50
32	335	66,4		6,6	59,8	11,7	5,1	8,53	91,47
33	345	56,3	33,4	6,6	49,7	10,7	4,1	8,25	91,75
34	355	52,9		6,6	46,3	10,5	3,9	8,42	91,58
35	365	54,5	33,5	6,5	48	10,8	4,3	8,96	91,04
36	375	63,7		6,5	57,2	11,1	4,6	8,04	91,96
37	385	55,7		6,6	49,1	10,7	4,1	8,35	91,65
38	395	59,8	40	6,5	53,3	11,1	4,6	8,63	91,37
39	405			6,4	-6,4	12,3	5,9	-	-
39.1	405	29,2		6,4	22,8	9	2,6	11,40	88,60
40	415	57,2	37,7	6,4	50,8	11,3	4,9	9,65	90,35
41	425			6,6	-6,6	11	4,4	-	-
41.1	425	26,5		6,6	19,9	8,4	1,8	9,05	90,95
42	435	52,5	35,4	6,6	45,9	10,5	3,9	8,50	91,50
43	445			6,6	-6,6	10,2	3,6	-	-
43.1	445	25,3		6,6	18,7	8	1,4	7,49	92,51
44	455	40,7	27,2	6,5	34,2	9,3	2,8	8,19	91,81
45	465	41,8	28	6,5	35,3	9,7	3,2	9,07	90,93

Tabell A-5: Vektmålinger tilknyttet beregning av glødetap (Formel 3-8) for torvkjernen, med veiinger før (F) og etter (E) gløding. For dyp 405, 425 og 445 cm er det to verdier da analyse måtte gjennomføres to ganger grunnet teknisk feil.

Nr	DigelNr	Startdyp [cm]	Digelvekt [g]	TotalvektF [g]	PrøvevektF [g]	TotalvektE [g]	PrøvevektE [g]	Glødetap [%]
1	1	25	12,36	12,72	0,36	12,37	0,01	97,22
2	8	35	12,63	13,02	0,39	12,63	0	100,00
3	15	45	13,35	13,81	0,46	13,36	0,01	97,83
4	19	55	12,56	13,02	0,46	12,57	0,01	97,83
5	25	65	13,13	13,77	0,64	13,14	0,01	98,44
6	26	75	16,06	16,77	0,71	16,06	0	100,00
7	31	85	13,36	13,74	0,38	13,37	0,01	97,37
8	35	95	13	13,4	0,4	13	0	100,00
9	36	105	13,06	13,49	0,43	13,06	0	100,00
10	39	115	13,37	14,09	0,72	13,37	0	100,00
11	40	125	12,89	13,47	0,58	12,9	0,01	98,28
12	41	135	13,01	14,19	1,18	13,02	0,01	99,15
13	43	145	13,41	14,68	1,27	13,42	0,01	99,21
14	44	155	13,24	14,49	1,25	13,26	0,02	98,40
15	45	165	13,44	15,3	1,86	13,46	0,02	98,92
16	47	175	16,38	17,38	1	16,39	0,01	99,00
17	48	185	13,82	16,14	2,32	13,85	0,03	98,71
18	49	195	13,17	14,15	0,98	13,19	0,02	97,96
19	54	205	14,04	14,92	0,88	14,06	0,02	97,73
20	56	215	12,66	13,56	0,9	12,67	0,01	98,89
21	57	225	13,27	14,09	0,82	13,27	0	100,00
22	59	235	13,35	14	0,65	13,35	0	100,00
23	62	245	14,85	15,74	0,89	14,86	0,01	98,88
24	65	255	13,61	14,39	0,78	13,61	0	100,00
25	67	265	13,54	14,31	0,77	13,56	0,02	97,40
26	77	275	12,79	13,59	0,8	12,79	0	100,00
27	78	285	13,17	13,85	0,68	13,19	0,02	97,06

28	81	295	17,46	18,37	0,91	17,46	0	100,00
29	86	305	17,52	18,02	0,5	17,52	0	100,00
30	94	315	13,76	14,78	1,02	13,76	0	100,00
31	96	325	12,77	13,67	0,9	12,78	0,01	98,89
32	97	335	13,34	14,36	1,02	13,36	0,02	98,04
33	100	345	13,55	14,83	1,28	13,58	0,03	97,66
34	101	355	12,91	13,8	0,89	12,93	0,02	97,75
35	103	365	12,95	14,33	1,38	12,99	0,04	97,10
36	104	375	13,73	14,75	1,02	13,76	0,03	97,06
37	120	385	12,82	13,57	0,75	12,84	0,02	97,33
38	123	395	12,71	14	1,29	12,76	0,05	96,12
39	124	405	15,8	17,2	1,4	15,85	0,05	96,43
39.1	126	405	15,99	17,37	1,38	16,04	0,05	96,38
40	129	415	15,76	17,73	1,97	15,85	0,09	95,43
41	141	425	12,51	14,44	1,93	12,58	0,07	96,37
41.1	146	425	13,81	15,03	1,22	13,87	0,06	95,08
42	147	435	13,21	15,51	2,3	13,31	0,1	95,65
43	154	445	12,22	13,53	1,31	12,28	0,06	95,42
43.1	167	445	12,35	13,72	1,37	12,41	0,06	95,62
44	176	455	16,05	17,48	1,43	16,11	0,06	95,80
45	188	465	13,32	14,61	1,29	13,39	0,07	94,57

Tabell A-6: Resultater fra analyser av vannkjemi for torvkjernen.

PrøveNr	Cl [mg/L]	Na [mg/L]	DOC [mg/L]	EC [µS/cm]	pH	Dyp [cm]
Blank 1	<1,4	<1,3	1,9			
Blank 2	<1,4	<LOD	1,4			
Blank 3	<LOD	<LOD	1			
Blank 4	<LOD	<LOD	1,4			
1	6,8	4,4	110	95	3,84	35
2	9,5	6	120	120	3,74	75
3	11	8,6	190	110	4,21	125
4	11	9,7	220	95	5,04	175
5	9	10	180	88	4,95	225
6	8,1	10	210	91	5,02	255
7	8,4	11	170	90	5,25	275
8	9,5	13	210	100	5,49	305
9	8	15	240	120	5,61	325
10	6,4	16	250	110	5,72	355
11	10	18	290	130	6,05	375
12	8,2	17	270	120	6,01	405
13	7,6	18	270	130	6,26	425
14	6,5	17	280	120	6,02	445
15	8	18	250	130	6,12	465
16	6,7	18	260	120	6,20	475

Tabell A-7: Grunnvannsmålinger for peilebrønner i Åsmåsan målt i meter over havet.

Dato	PER100.1	PER100.2	Tver.1	Tver.2	PER200	PER500.1	PER500.2	PER500.3	PER500.S	PER600.1	PER600.2
05.10.2021	94,56	94,51			94,69	94,89	94,54	94,92	95,01	94,68	94,23
11.10.2021	94,49	94,52			94,67	94,82	94,65	94,92	95,03	94,55	94,36
15.10.2021	94,43	94,5			94,63	94,8	94,74	94,89	95,03	94,51	94,42
09.11.2021						94,92	94,7		95,11		
11.11.2021	94,52	94,52			94,74	94,9	94,73	94,95	95,1	94,57	94,48
17.11.2021	94,49	94,52			94,73	94,91	94,76	94,95	95,09	94,54	94,49
03.12.2021			94,55			94,81					
28.01.2022	94,37	94,38	94,53	94,52	94,67	94,76	94,72			94,4	94,47
18.02.2022	94,52	94,59	94,76	94,75	94,85	94,88	94,73			94,63	94,46
01.03.2022	94,46	94,5	94,62	94,615	94,745	94,86	94,8	94,83		94,53	94,49

Tabell A-8: Resultater fra gjennomføring av slug-test i brønn Tver.1.

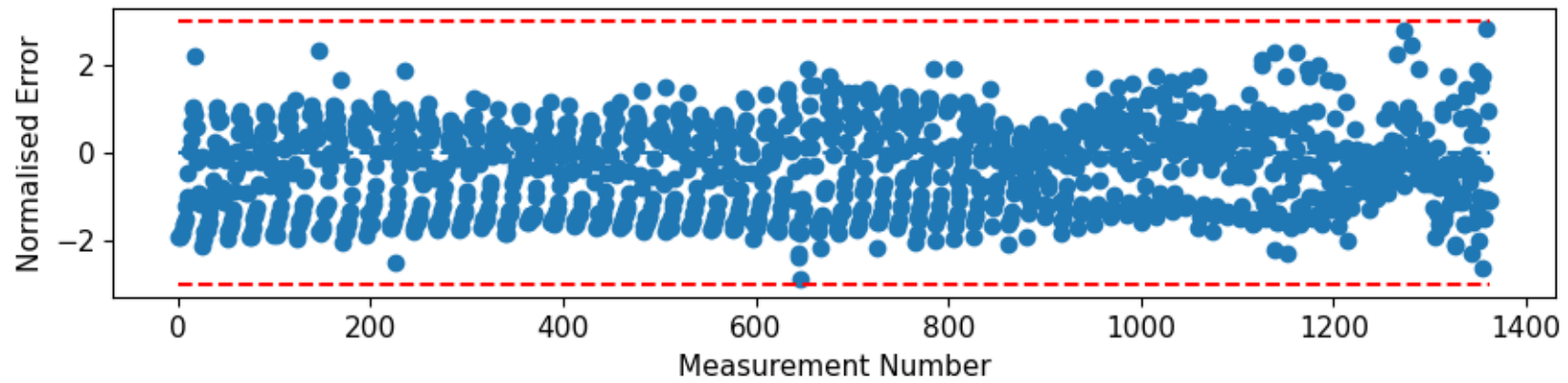
Tid [s]	Grunnvann [cm]	h [cm]	h/h ₀
0	0	54	1
16	25	29	0,537037
24	30	24	0,444444
37	35	19	0,351852
47	38	16	0,296296
61	41	13	0,240741
74	43	11	0,203704
85	44	10	0,185185
97	45	9	0,166667
119	47	7	0,12963
139	48	6	0,111111
163	49	5	0,092593
210	50	4	0,074074
283	51	3	0,055556
409	52	2	0,037037
480	52	2	0,037037
641	53	1	0,018519
733	53	1	0,018519
1015	53,5	0,5	0,009259
1208	54	0	0

Tabell A-9: Resultater fra gjennomføring av slug-test i brønn PER500.2.

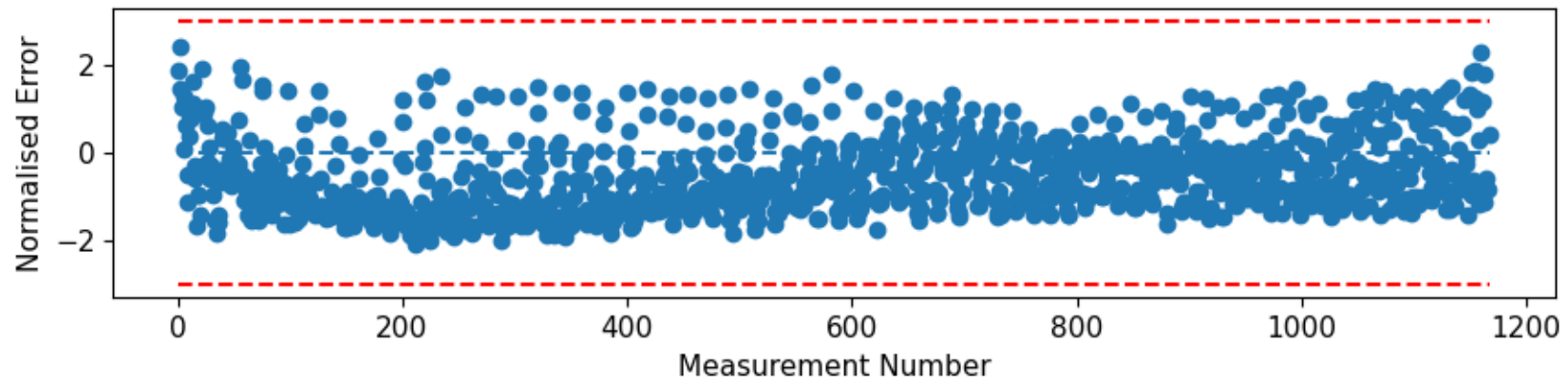
Tid [s]	Grunnvann [cm]	h [cm]	h/h ₀
0	0	68	1
36	5	63	0,926471
76	8	60	0,882353
113	11	57	0,838235
145	14	54	0,794118
252	18	50	0,735294
305	20	48	0,705882
371	22	46	0,676471
480	25	43	0,632353
574	27	41	0,602941
720	30	38	0,558824
810	31	37	0,544118
945	33	35	0,514706
1105	35	33	0,485294
1290	37	31	0,455882
1410	38	30	0,441176
1530	39	29	0,426471
1631	40	28	0,411765
1770	41	27	0,397059
1930	42	26	0,382353
2100	43	25	0,367647
2220	43,5	24,5	0,360294
2340	44	24	0,352941
2490	45	23	0,338235
2610	45,5	22,5	0,330882
2730	46	22	0,323529
2820	46,5	21,5	0,316176
2970	47	21	0,308824
3120	47,5	20,5	0,301471
3285	48	20	0,294118

Tabell A-10: Verdier benyttet til modellering med hensyn på tid og grunnvannsmating. For grunnvannsmating er det benyttet forholdstall 0,57 for å finne faktisk mengde vann inn i modellen. Grunnvannsmating for vår tilsvarer samlet verdi av nedbør for vinter og vår. For stasjonær er det benyttet verdi på 511 mm/år (NEVINA, 2022).

Årstid	t [s]	Nedbør [mm]	Mating [m/s]	Frydenhaug [m/s]	Skogveien [m/s]
Stasjonær	1	-	$1,6204 \times 10^{-8}$	$1,0803 \times 10^{-8}$	$4,537 \times 10^{-8}$
Høst	7862400	294	$2,131 \times 10^{-8}$	$1,4277 \times 10^{-8}$	$5,9668 \times 10^{-8}$
Vinter	7776000	212	0	$1,0803 \times 10^{-9}$	$4,537 \times 10^{-9}$
Vår	7948800	157	$2,646 \times 10^{-8}$	$1,7728 \times 10^{-8}$	$7,4088 \times 10^{-8}$
Sommer	7948800	255	$1,829 \times 10^{-8}$	$1,2254 \times 10^{-8}$	$5,1212 \times 10^{-8}$



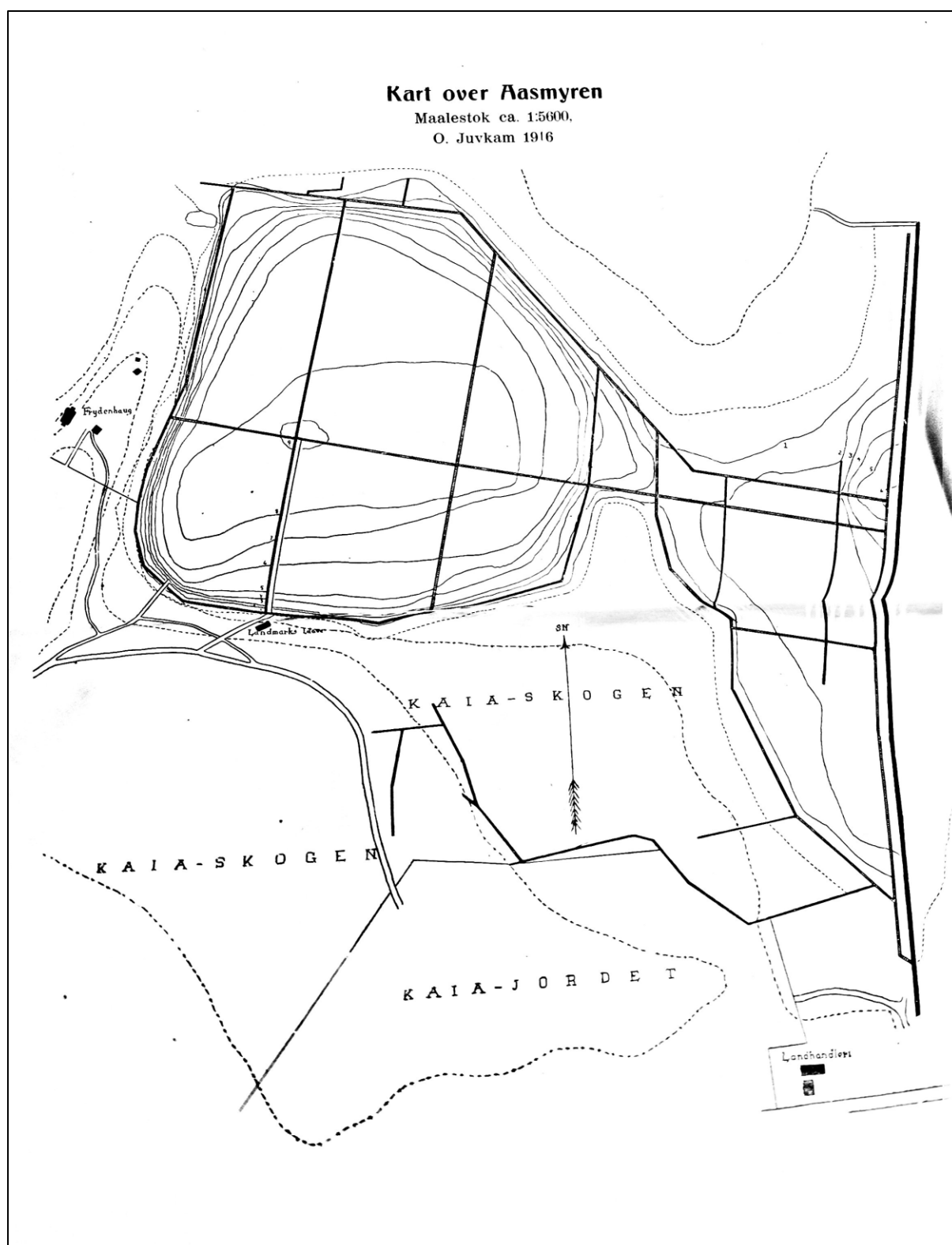
Figur A-1: Normalised Error kort profil.



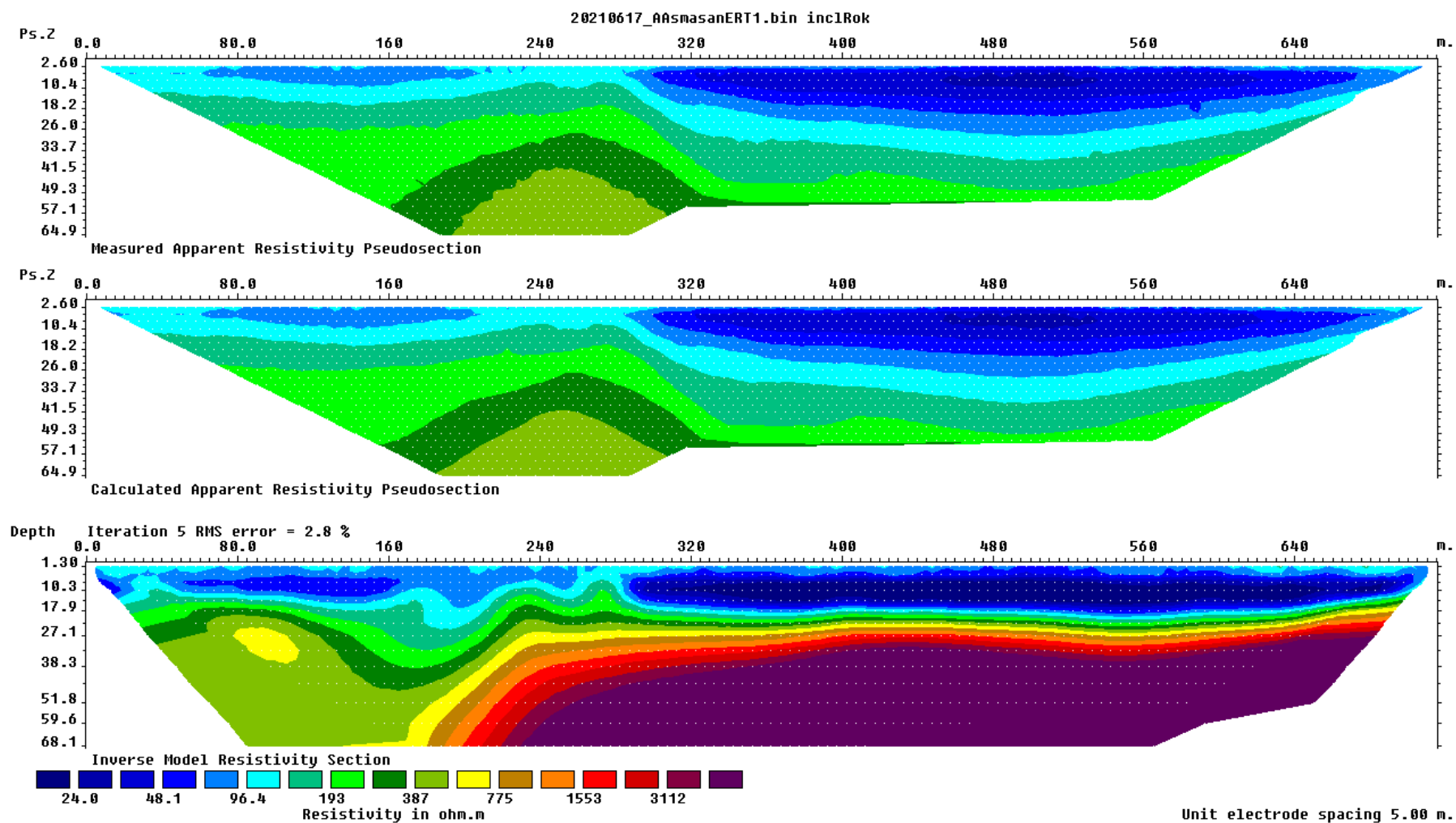
Figur A-2: Normalised Error langt profil.

B. Vedlegg

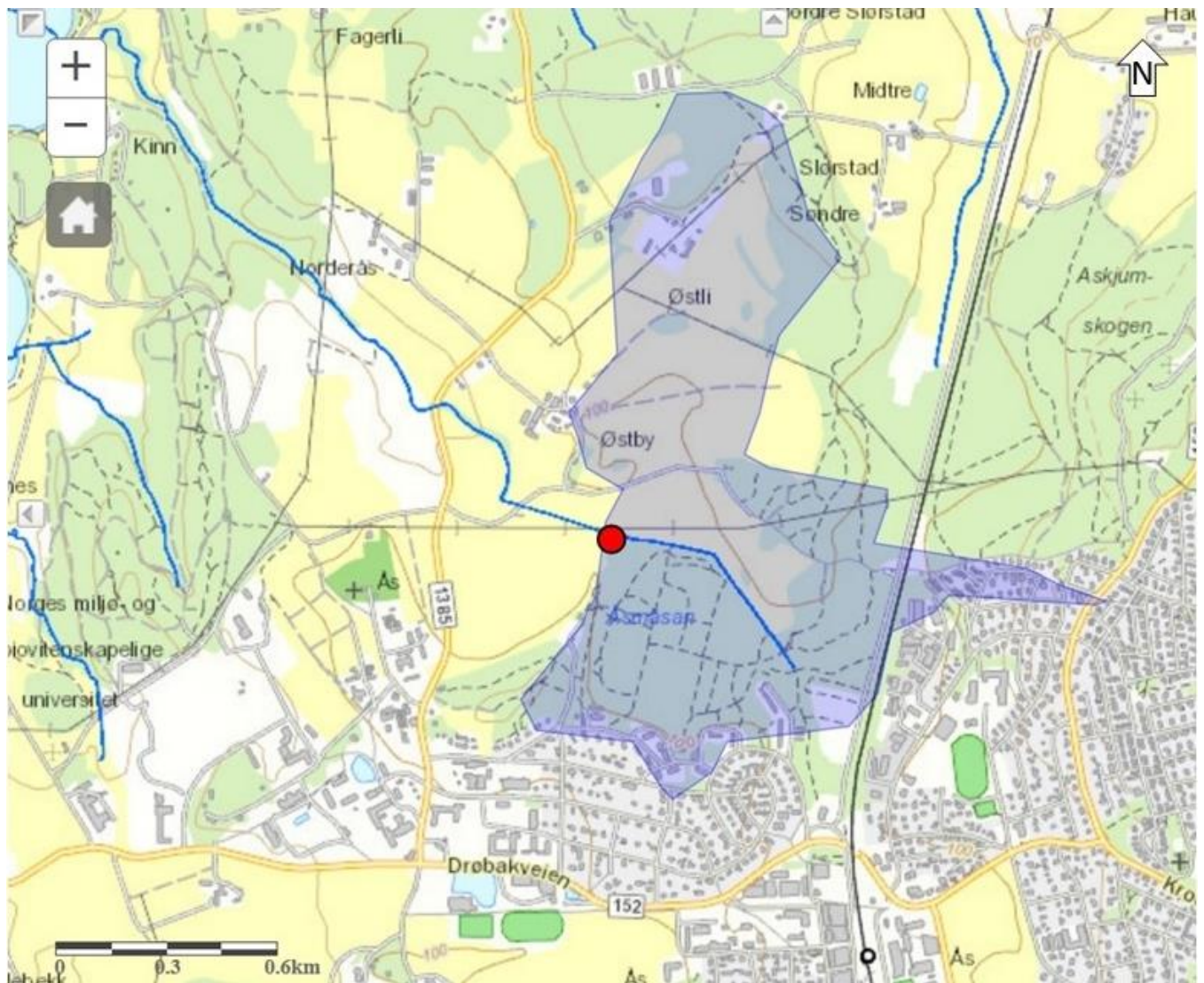
Her følger andre vedlegg som kan være relevante for oppgaven, men som ikke nødvendigvis behøver å vises i selve oppgaven.



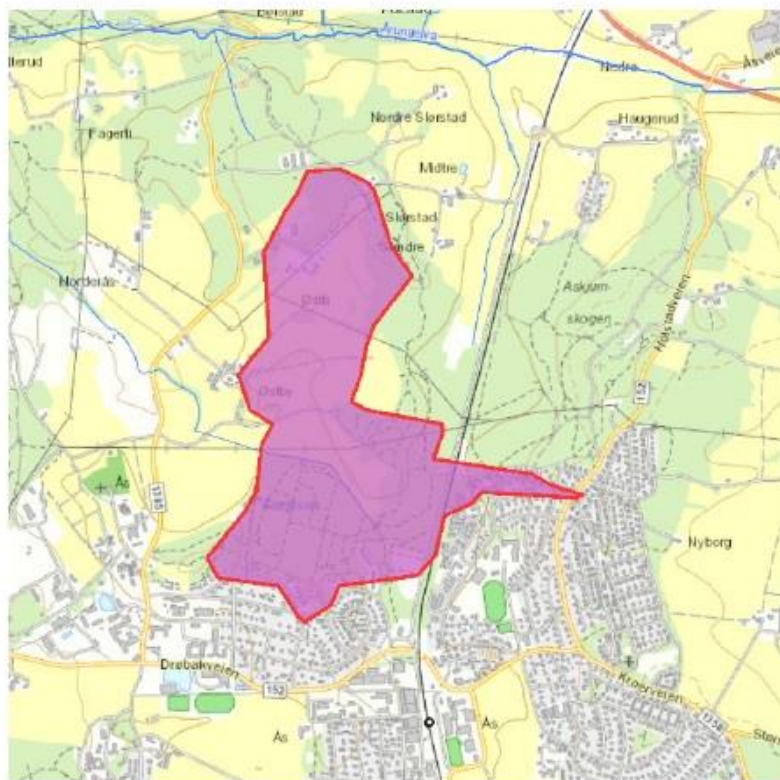
Figur B-1: Kart over grøfter i Åsmåsan (Skaaraas, 1917).



Figur B-2: ERT-profil 1 og 2 fra undersøkelser i GEO220, NMBU, i 2021. Nederste profil er en sammenstilling av disse to.



Figur B-3: Uredigert nedbørfelt for Åsmåsan hentet fra punkt i Norderåsbekken som leder til Årangelva (NEVINA, 2022).



Norges
vassdrags- og
energidirektorat

Kartbakgrunn: Statens Kartverk
Kartdatum: EUREF89 WGS84
Projeksjon: UTM 33N
Beregnpunkt: 262455 E
6622563 N

Nedbørfeltgrenser og feltparametere er automatisk generert og kan inneholde feil.
Resultatene må kvalitetssikres.

Nedbørfeltparametere

Vassdragsnr.: 005.3B
Kommune.: Ås
Fylke.: Viken
Vassdrag.: Årungelva

Feltparametere

Areal (A)	1.2	km ²
Effektiv sjø (A_{SE})	0	%
Elvleengde (E_L)	0.7	km
Elvegradient (E_G)	0.0	m/km
Elvegradient ₁₀₈₅ ($E_{G,1085}$)	2.0	m/km
Helning	1.9	°
Dreneringstetthet (D_T)	0.6	km ⁻¹
Feltlengde (F_L)	1.3	km

Arealklasse

Bre (A_{BRE})	0	%
Dyrket mark (A_{JORD})	34.5	%
Myr (A_{MYR})	0	%
Leire (A_{LEIRE})	24.8	%
Skog (A_{SKOG})	54.0	%
Sjø (A_{SJO})	0	%
Snaufjell (A_{SF})	0	%
Urban (A_U)	4.5	%
Uklassifisert areal (A_{REST})	7.3	%

Hypsografisk kurve

Høyde _{MIN}	97	m
Høyde ₁₀	99	m
Høyde ₂₀	-	m
Høyde ₃₀	100	m
Høyde ₄₀	-	m
Høyde ₅₀	101	m
Høyde ₆₀	104	m
Høyde ₇₀	109	m
Høyde ₈₀	115	m
Høyde ₉₀	120	m
Høyde _{MAX}	136	m

Klima- /hydrologiske parametere

Avrenning 1961-90 (Q_N)	16.2	l/s*km ²
Sommernedbør	381	mm
Vinternedbør	399	mm
Årstemperatur	5.2	°C
Sommertemperatur	13.2	°C
Vintertemperatur	-0.5	°C

Figur B-4: Nedbørfeltparametre for komplett nedbørfelt for Åsmåsan, basert ut ifra punkt i Norderåsbekken som leder til Årungelva (NEVINA, 2022).



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

Postboks 5003
NO-1432 Ås
Norway