



Norges miljø- og
biovitenskapelige
universitet

Masteroppgave 2020 60 stp

Fakultet for miljøvitenskap og naturforvaltning (MINA)

Kvartærgeologi og grunnvann i Mælingen-området Strekning 4 av Ringeriksbanen og ny E16

Quaternary geology and groundwater
in the Mælingen area

Distance 4 of the Ringerike Line and a new E16

Ingrid Austad Pottier

Miljø og naturressurser

Forord

Masteroppgaven setter punktum for to år med studier ved Norges miljø- og biovitenskapelige universitet (NMBU). Interessen for geologi startet da jeg som lita jente samlet steiner på stranda. Andre året på videregående valgte jeg geofag, og interessen for fagområdet ble ytterligere forsterket. Høsten 2015 startet jeg på en bachelorgrad i geofag, retning geologi ved Universitetet i Oslo og høsten 2018 en mastergrad i miljø og naturressurser retning geologi.

Først og fremst vil jeg takke veileder Mona Henriksen for verdifull veiledning i form av faglige diskusjoner, god bistand, nyttige tilbakemeldinger og ikke minst positiv motivasjon gjennom studieåret. En takk til biveileder Leif Vidar Jakobsen som har gitt verdifull hjelp i forbindelse med georadarundersøkelsene i felt, bearbeiding av data og tolkning av resultatene. I tillegg vil jeg takke biveileder Helen K French for god bistand i hydrogeologi.

En stor takk til Martin Austin Stormoen og Inger Lise Ullnaess i Bane NOR for en hyggelig velkomst og god veiledning. En takk til ansatte i Bane NOR for inkludering, finansiering og for å ha lært meg hvordan det er å jobbe i et prosjekt. Leapfrog 3D for lisensen til modelleringsprogrammet og veiledning. En takk til mine studiekamerater ved MINA, for en innholdsrik og uforglemmelig tid som student sammen med dere.

Norges miljø- og biovitenskapelige universitetet

Ås, 29.05.2020

Ingrid Austad Pottier

Sammendrag

Utredninger og planer for Ringeriksbanen startet tidlig på 1990-tallet, og i 2007 begynte prosessen for ny firefelts E16. I en tidlig fase av prøvetakingen ble det oppdaget svært varierende geologiske forhold i dypet på Mælingen-området i Ringerike kommune. Bane NOR ønsker en helhetlig geologisk og hydrogeologisk forståelse av området til bruk under planleggingen og utbyggingen av Ringeriksbanen og ny E16.

Datamateriale brukt i oppgaven er 71 totalsonderinger, 14 sylinderprøver og 3 elektriske poretrykksmålinger fra Mælingen-området. Forarbeid og innhenting av datamateriale er utført av rådgivningsgruppen NAA AS, som besto av Norconsult, AAS-Jakobsen og Asplan Viak med underleverandører. Det er supplert med egne georadarundersøkelser og feltarbeid i form av kartlegging av overflateløsmasser, og det er brukt LIDAR-data, flyfoto og satellittbilder.

Løsmassemodellen i Leapfrog 3D GEO viser de stratigrafiske lagene i 3D fra Helgelandsmoen over Storelva og Mælingen opp mot Prestmoen. Berggrunnen i området danner en U-dal, grenser i all hovedsak til overliggende morenelag og mektigheten til overliggende sedimenter er på mer enn 140 meter. Lagene over morenelaget veksler mellom siltig leire, siltig sand og sand, og er ifølge scenario 3 avsatt under isavsmeltingen under siste istid. Deltaet i Mælingen-området antas å være dannet i denne perioden, og store deler av deltaet har blitt erodert bort av elver etter siste istid. Det kvartærgeologiske kartet utarbeidet i oppgaven samsvarer i stor grad med eksisterende løsmassekart. Geologisk sett har landskapet blitt lite endret fra 1978 til 2019, og endringene skyldes i all hovedsak menneskelig aktivitet.

Grunnvannsmodellen i MODFLOW fra den nordlige delen av Mælingen simulerte at grunnvannsspeilet kan bli hevet og at grunnvannsstrømningene antas ikke å bli påvirket av utbyggingen av Ringeriksbanen og ny E16. En helhetlig geologisk og hydrogeologisk forståelse av Mælingen-området vil være til stor nytte for Bane NOR i byggeprosessen og i valg av byggemetoder.

Abstract

Preparations and planning for the Ringerike Line began early in the 1990s, and in 2007 began the process of making a new E16 highway. In an early phase of the sampling, it was discovered massive variations in the geological conditions in the depth in the area of Mælingen in Ringerike municipality. Bane NOR wants a complete geological and hydrogeological understanding of the area, for use during planning and building the Ringerike Line and a new E16.

The data material used in the thesis are 71 total soundings, 14 core samples and 3 electrical piezometers from the area of Mælingen. The engineering company NAA consisting of Norconsult, AAS-Jakobsen and Asplan Viak conducted the pre-work and collection of data material. The data material were supplemented with ground penetrating radar and fieldwork in the form of mapping of surface sediments, and it was also used LIDAR-data, aerial photography and satellite photo.

The sediment model in Leapfrog 3D GEO shows the stratigraphic layers in 3D from Helgelandsmoen by Storelva and Mælingen towards Prestmoen. The bedrock in the area forms a U-valley, borders mainly to the overlying moraine and the true thickness to the overlying sediments are more than 140 meters. The stratigraphic layers above the moraine vary between silty clay, silty sand and sand, and according to scenario 3 deposited during the melting of the last ice age. The delta in the Mælingen area is also believed to have been formed in this period, and big parts of the delta were eroded away by rivers after the last ice age. The quaternary geology map created in this thesis correspond to existing sediment maps available. Geologically the landscape has changed little between 1978 and 2019, and the changes that are presented are mainly due to human impact.

The groundwater model in MODFLOW from the northern parts of Mælingen simulated that the water table can be raised and that the groundwater flow would not be affected by the development of the Ringerike Line and a new E16. An overall geological and hydrogeological understanding of the area of Mælingen would benefit Bane NOR in the process of construction and in the selection of building methods.

Innhold

1. Innledning.....	1
1.1 Bakgrunn for oppgaven	1
1.2 Problemstillinger og hypoteser	2
1.3 Studieområdet, Ringeriksbanen og ny E16	4
2. Geologisk bakgrunn og teori	8
2.1 Områdebeskrivelse og landskap	8
2.2 Kwartærgeologiske avsetninger	10
2.3 Berggrunnsgeologi.....	11
2.4 Delta.....	12
2.5 Hydrogeologi	13
2.5.1 Generelt om grunnvann.....	13
2.5.2 Grunnvann tilknyttet Ringeriksbanen og ny E16.....	17
2.6 Deglasiasjonen på Østlandet under siste istid.....	19
2.7 Storskalaforsøket på Mælingen, fundamenteringsmetoder og geoteknikk	23
3. Metoder	25
3.1 Feltmetoder.....	25
3.1.1 Totalsonderinger	25
3.1.2 Elektriske poretrykksmålere	27
3.1.3 Sylinderprøver.....	27
3.2 Laboratorieundersøkelser	30
3.2.1 Kornfordelingsanalyser.....	30
3.3 Kwartærgeologisk kart og feltkartlegging.....	31
3.4 Georadar	32
3.4.1 Generelt om georadarundersøkelser	32
3.4.2 Prinsippene bak georadarundersøkelser.....	33
3.4.3 Oppsett	34
3.4.4 Etterarbeid av georadardataene.....	36
3.4.5 Kartlegging av georadarfacies	37
3.5 Løsmassemodell i Leapfrog 3D GEO	39
3.6 Grunnvannsmodell i ModelMuse (MODFLOW).....	40
4. Resultater.....	45
4.1 Observasjoner gjort i felt	45
4.2 Kwartærgeologisk kart	51
4.3 Georadar	55

4.3.1 Georadarprofiler for Mælingen.....	56
4.3.2 Georadarprofilet for Prestmoen	62
4.4 Løsmassemodell i Leapfrog 3D GEO	64
4.5 Setningsmålinger fra prøvefyllingene på Mælingen	71
4.6 Modellering av grunnvannet på Mælingen.....	72
5. Diskusjon.....	79
5.1 Det kvartærgeologiske kartet.....	79
5.2 Mælingen-området et tidligere deltaområde.....	80
5.3 Usikkerheter knyttet til løsmassemodellen i Leapfrog 3D GEO	85
5.4 Den kvartærgeologiske utviklingen i Mælingen-området med utgangspunkt i løsmassemodellen fra Leapfrog 3D GEO.....	86
5.5 Grunnvannet på Mælingen	91
5.6 Geologiske og hydrogeologiske observasjoner som kan brukes i planleggingsfasen og utbyggingen av Ringeriksbanen og ny E16.....	93
5.7 Kan en helhetlig geologisk forståelse av området redusere kostandene i planleggingsfasen til et utbyggingsprosjekt	94
6. Konklusjon	96
7. Bibliografi	97
8. Vedlegg	102
Vedlegg 1: Usikkerheter tilknyttet det kvartærgeologiske kartet.....	102
Vedlegg 2: Georadarprofiler.....	103
Vedlegg 3: Datagrunnlaget for løsmassemodellen.....	104
Vedlegg 4: Kart over totalsonderinger og sylinderprøver benyttet i løsmassemodellen...	119
Vedlegg 5: Poretrykksmålere brukt i grunnvannsmodellen for Mælingen	122
Vedlegg 6: Datagrunnlaget for grunnvannsmodellen.....	123
Vedlegg 7: Hydraulisk trykkehøyde for fin sand på Mælingen	124

1. Innledning

1.1 Bakgrunn for oppgaven

Overflateløsmassene i kommunene Ringerike og Hole er godt dokumentert (NGU, 2019a). Det er derimot knyttet stor usikkerhet til hva som eventuelt befinner seg under overflaten. I forbindelse med prøvetaking i en tidlig fase av planleggingen av Ringeriksbanen og ny E16, ble det oppdaget svært varierende geologiske forhold i dypet i Mælingen-området, som ligger sør for Hønefoss i Ringerike kommune. Bane NOR er interessert i en helhetlig geologisk og hydrogeologisk forståelse av Mælingen-området, som de kan benytte i planleggingen og utbyggingen av Ringeriksbanen og ny E16. Mælingen-området er i oppgaven brukt for området fra Helgelandsmoen over Storelva og Mælingen opp mot Prestmoen, og løsmassemodellen omfatter dette området.

Ringeriksbanen har vært utredet og vurdert i 30 år, og i 2007 ble det også satt i gang utredning om ny firefelts E16 fra Høgstaket til Hønefoss (Regjeringen, 2020a). I revidert nasjonalbudsjett mai 2020 ble det gitt signaler om at investeringsvedtaket først vil komme i 2021, og at utbyggingen vil bli ferdigstilt tidligst i 2028/2029 (Regjeringen, 2020b; Rønneberg, 2020). Utbyggingen er et fellesprosjekt mellom Statens vegvesen og Bane NOR, og en del av InterCity satsingen (Rønneberg, 2020).

Utbyggingen av ny 40 kilometer dobbeltsporet jernbane (Ringeriksbanen) fra Sandvika til Hønefoss vil redusere togreisen til 20 minutter, og reisetiden på Bergenbanen vil bli kortet ned med nesten én time (Regjeringen, 2020a). Planen omfatter også 16 kilometer ny firefelts motorvei fra Høgstaket i Hole kommune til Ve-krysset ved Hønefoss, og motorveien vil delvis gå parallelt med jernbanelinja (Regjeringen, 2020a).

Forarbeidet og innhenting av datamateriale under planleggingen av utbyggingen av Ringeriksbanen og ny E16 ble utført på oppdrag fra Bane NOR av rådgivningsgruppen NAA AS, bestående av Norconsult, AAS-Jakobsen og Asplan Viak med underleverandører, deriblant Norges Geotekniske Institutt (NGI). Av innsamlet datamateriale fra Mælingen-området ble det i oppgaven brukt 71 totalsonderinger, 14 sylinderprøver og 3 elektriske poretrykksmålinger. Det ble supplert med egne georadarundersøkelser og feltarbeid i form av kartlegging av overflateløsmasser, og LIDAR-data, flyfoto og satellittbilder.

1.2 Problemstillinger og hypoteser

Hovedfokuset i oppgaven er den kvartærgeologiske utviklingen i Mælingen-området med utgangspunkt i løsmassemodellen fra Leapfrog 3D GEO. Modellen viser den kvartærgeologiske utviklingen fra Helgelandsmoen over Storelva og Mælingen opp mot Prestmoen i form av stratigrafiske lag i 3D. Datagrunnlaget til løsmassemodellen er totalsonderinger, sylindrerprøver og kornfordelingsanalyser fra Bane NOR, supplert med egne georadarundersøkelser.

I hydrogeologidelen av oppgaven er det fokusert på hvordan tyngden av den nye jernbanetraséen og veien kan påvirke grunnvannsspeilet og grunnvannsstrømningene på Mælingen. Tyngden vil føre til sammenpressing av sedimenter som kan påvirke porestrukturen (magasinkoeffisienten, S) og vannledningsevnen (hydrauliske konduktiviteten, K). Dette legger grunnlaget for den første hypotesen om at grunnvannsspeilet kan bli hevet når Ringeriksbanen og ny E16 blir bygget.

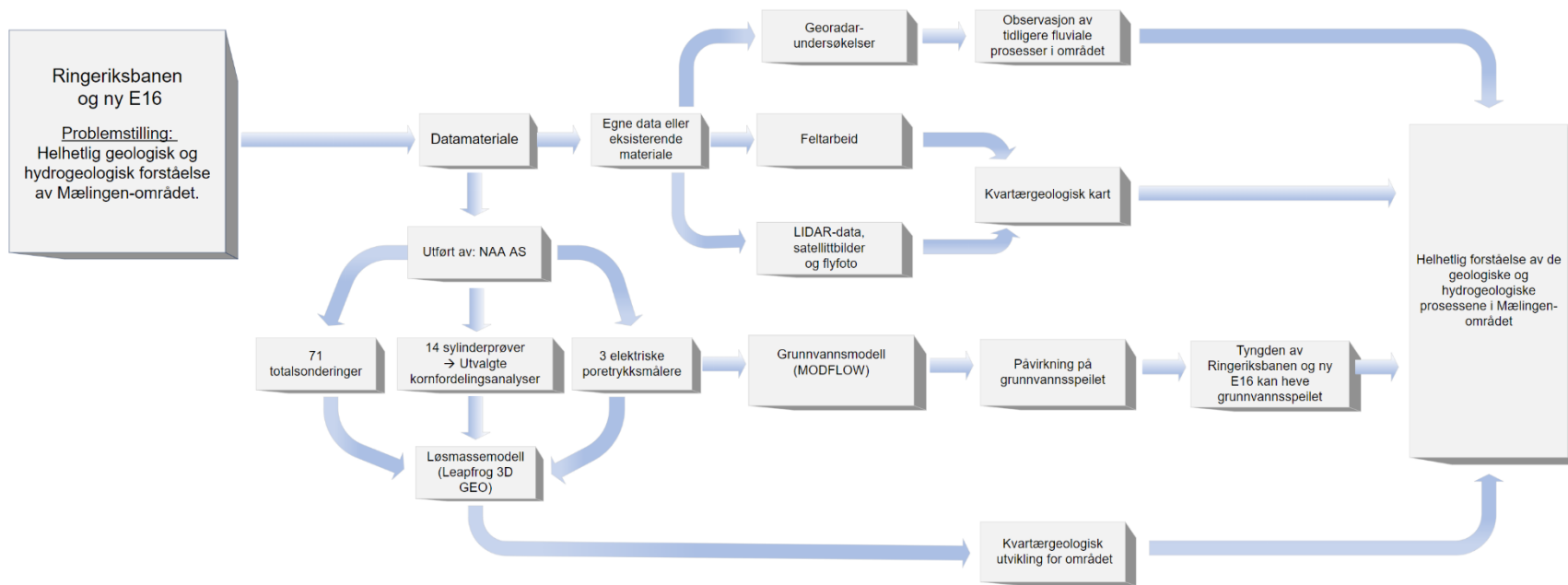
Arbeidet i oppgaven har vært å lage et kvartærgeologisk løsmassekart for strekning 4 fra Bymoen til Styggedalen, basert på kartlegging av overflateløsmassene gjort i felt og LIDAR-data med supplement fra satellittbilder, flyfoto og eksisterende kart.

Det kvartærgeologiske kartet ble sammenlignet med eksisterende løsmassekart. Datamateriale for løsmassekartet la grunnlaget for den andre hypotesen om at Mælingen-området tidligere var et delta hvor store deler av deltaet har blitt erodert bort.

Bane NOR er interessert i hvordan de geologiske og hydrogeologiske observasjonene i oppgaven vil påvirke planleggingen og utbyggingen av Ringeriksbanen og ny E16.

Det er av stor interesse for Bane NOR å få kunnskap om hvordan en helhetlig geologisk og hydrogeologisk forståelse av området kan være med å bidra til å redusere kostandene i planleggingsfasen av utbyggingen. Dette aspektet vil bli belyst under kapittel 5 i diskusjonsdelen.

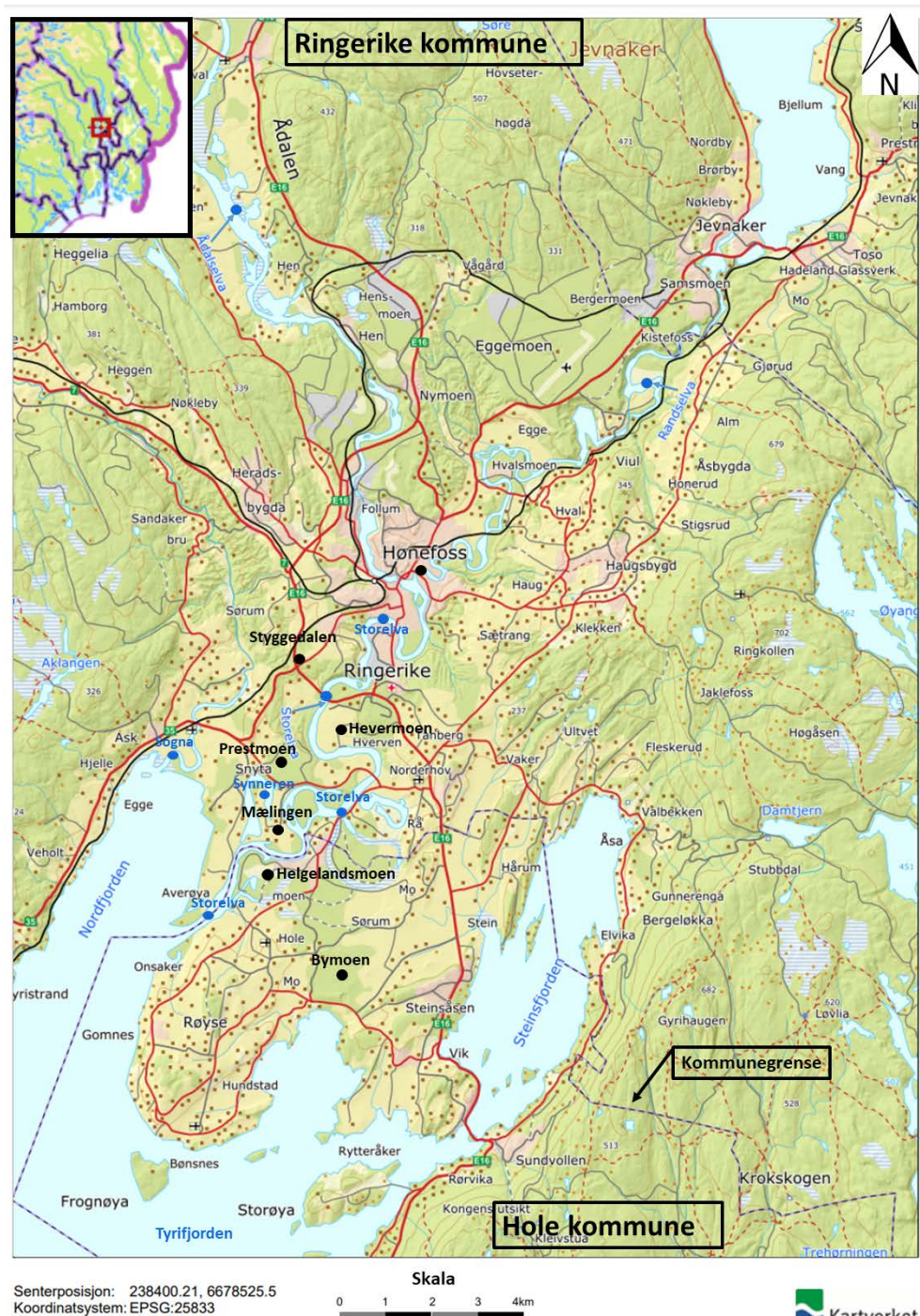
Figur 1.1 viser en skjematisk fremstilling av oppgaven som legger grunnlaget for en bedre forståelse av kvartærgeologien og hydrogeologien i Mælingen-området.



Figur 1.1: Skjematisk fremstilling av oppgaven.

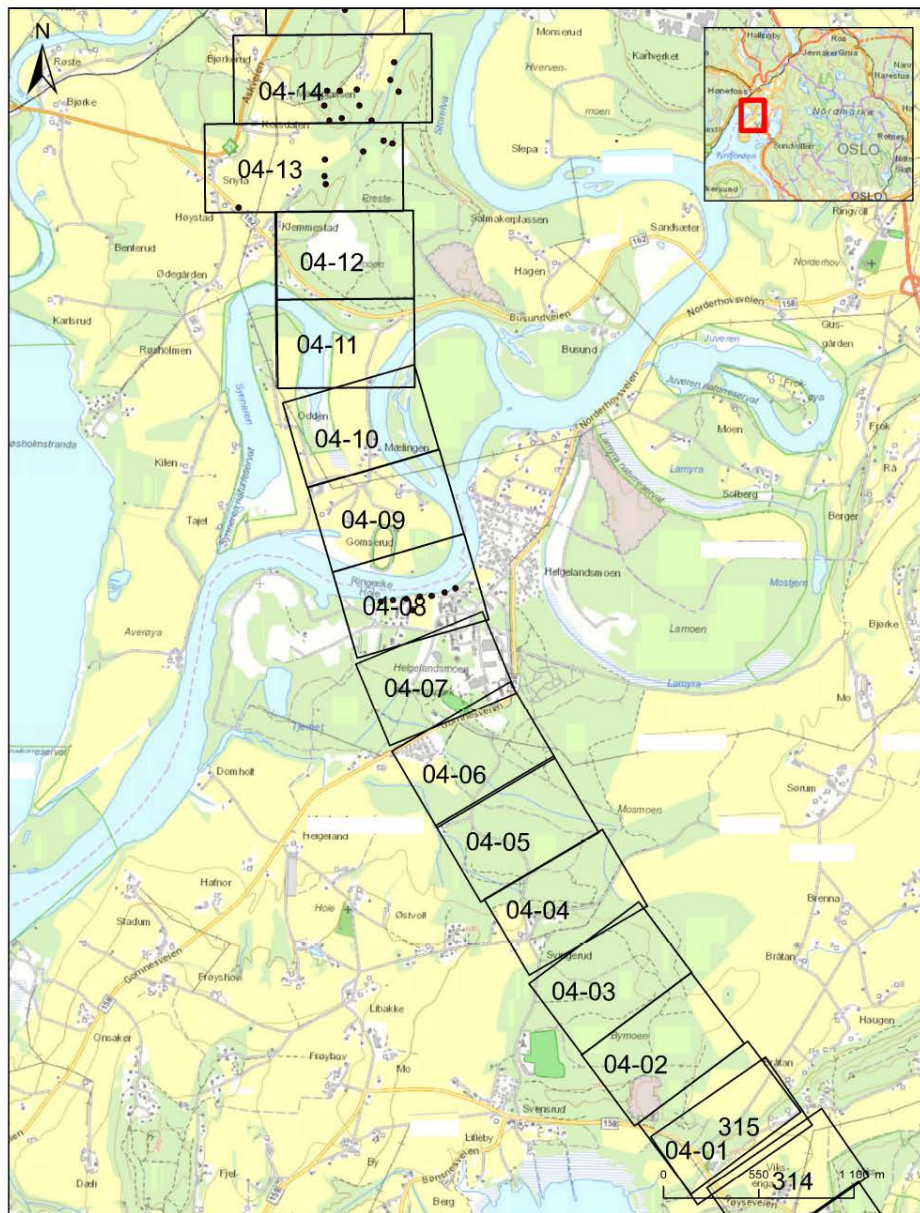
1.3 Studieområdet, Ringeriksbanen og ny E16

Studieområdet er lokalisert i kommunene Ringerike og Hole (figur 1.2), som ligger i Viken fylkeskommune. I Mælingen-området går kommunegrensa mellom Ringerike og Hole i Storelva sør for Mælingen.



Figur 1.2: Kart over studieområdet med de viktigste lokalitetene tilknyttet oppgaven. Modifisert fra Kartverket (2019a).

Hovedområdet for oppgaven er strekning 4 som er 7,5 kilometer (Kartverket, 2019a). Bane NOR har av praktiske årsaker delt strekning 4 inn i 14 blokker fra 04-01 til og med 04-14 (figur 1.3), og samme inndelinger brukes for å videreføre terminologien. Hovedområdet for løsmassemodellen er Mælingen-området som ligger i blokk 04-08 til begynnelsen av blokk 04-12. Området for strekning 4 blir i oppgaven brukt for hele området innenfor figur 1.3.



Legend

- Borpunkt
- ▭ Borplaner

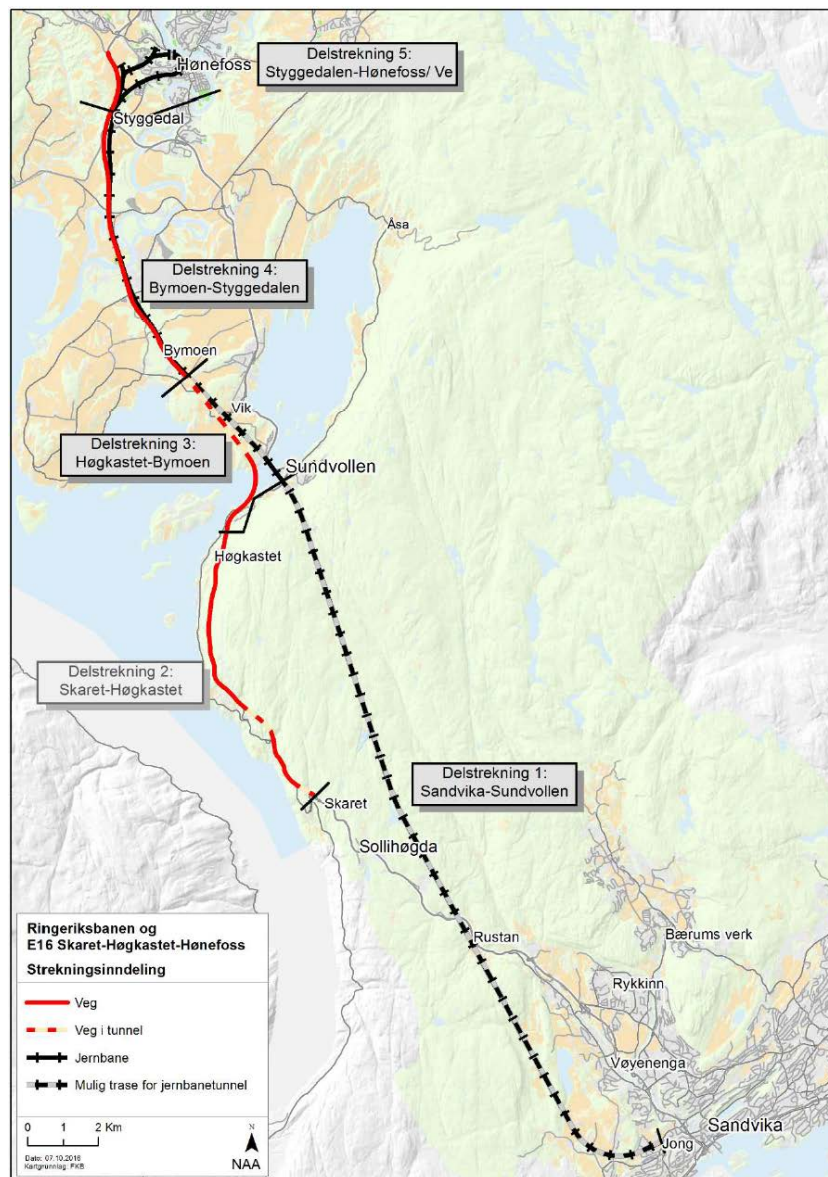
Målestokk (A3): 1:20 000 Datum: ETR599, Kartprojeksjon: NTM10

FRE16 - Avrop 8			
FRE16 - Ringeriksbanen	Prosjekt	20175500	Kart.no
	104		
Topografisk kart	Uttak	ML4	Dato
			2017-09-29
	Forfatter	KIK	Godkjent
		KIK	KIK
NGI			

Figur 1.3: Kart over traséen til Ringeriksbanen og ny E16 fra Bymoene til Styggdalen (strekning 4) inndelt i blokker (NGI, 2019a, s. 16).

Utbyggingen av Ringeriksbanen og ny E16 er delt inn i fem planstrekninger (figur 1.4).

- Strekning 1: Ringeriksbanen fra Jong (Sandvika) til Sundvollen.
- Strekning 2: Ny E16 fra Skaret til Høgstaket.
- Strekning 3: Ringeriksbanen fra og med Sundvollen stasjon og ny E16 fra Høgstaket til Bymoen.
- Streking 4: Ringeriksbanen og ny E16 fra Bymoen til Styggedalen, som er hovedfokuset i oppgaven.
- Strekning 5: Ringeriksbanen og ny E16 fra Styggedalen til og med Hønefoss stasjon og krysset på E16 ved Ve.



Figur 1.4: Traséen til Ringeriksbanen og ny E16 fra Sandvika til Hønefoss (NGI, 2019a, s. 4).

Ringeriksbanen og ny E16 er planlagt med flere lange bruer, og skal koble Ringeriksregionen nærmere Oslo (Rønneberg, 2020). Kommunene Bærum, Hole og Ringerike vil i stor grad bli påvirket av prosjektet. Det blir et samarbeidsprosjekt med de berørte kommunene, samt Statens vegvesen og Bane NOR. Forundersøkelser i Mælingen-området har vist svært varierende geologiske forhold i dypet, og to ulike løsninger for kryssing av jernbane og vei har vært vurdert. Alternativ A er å bygge en lang bru over Mælingen, og alternativ B er å bygge to bruer med en 600 meter lang fylling mellom bruene (Norconsult et al., 2019a, s. 52). Alternativ B ser ut til å bli det foretrukne valget (Regjeringen, 2020a).

2. Geologisk bakgrunn og teori

2.1 Områdebeskrivelse og landskap

I sentrum av Hønefoss i Ringerike kommune løper elvene Ådalselva (Begna) fra dalføret Valdres og Randselva fra Randsfjorden sammen (Kartverket, 2019a). Elvene kommer fra dalførene som går henholdsvis fra Begnadalen til Ådalen og fra Dokka til Randsfjorden. I elvemøtet i Hønefoss skifter elvene navn til Storelva (Kartverket, 2019a). Storelva meandrerer nedover i det relativt flate terrenget, og danner meanderbuer, kroksjøer som Synneren og forlatte elveløp (figur 2.1) (Sulebak, 2007, s. 134). Mælingen som er en sentral lokalitet i oppgaven er en elvenesbanke, og ligger ca. 65 høydemeter over havet mellom Synneren i vest og Storelva i øst (Kartverket, 2019a; Sulebak, 2007, s. 134). Nord for Mælingen er det en bratt skrent opp mot et høyere liggende område på Prestmoen (figur 2.1 rød sirkel).



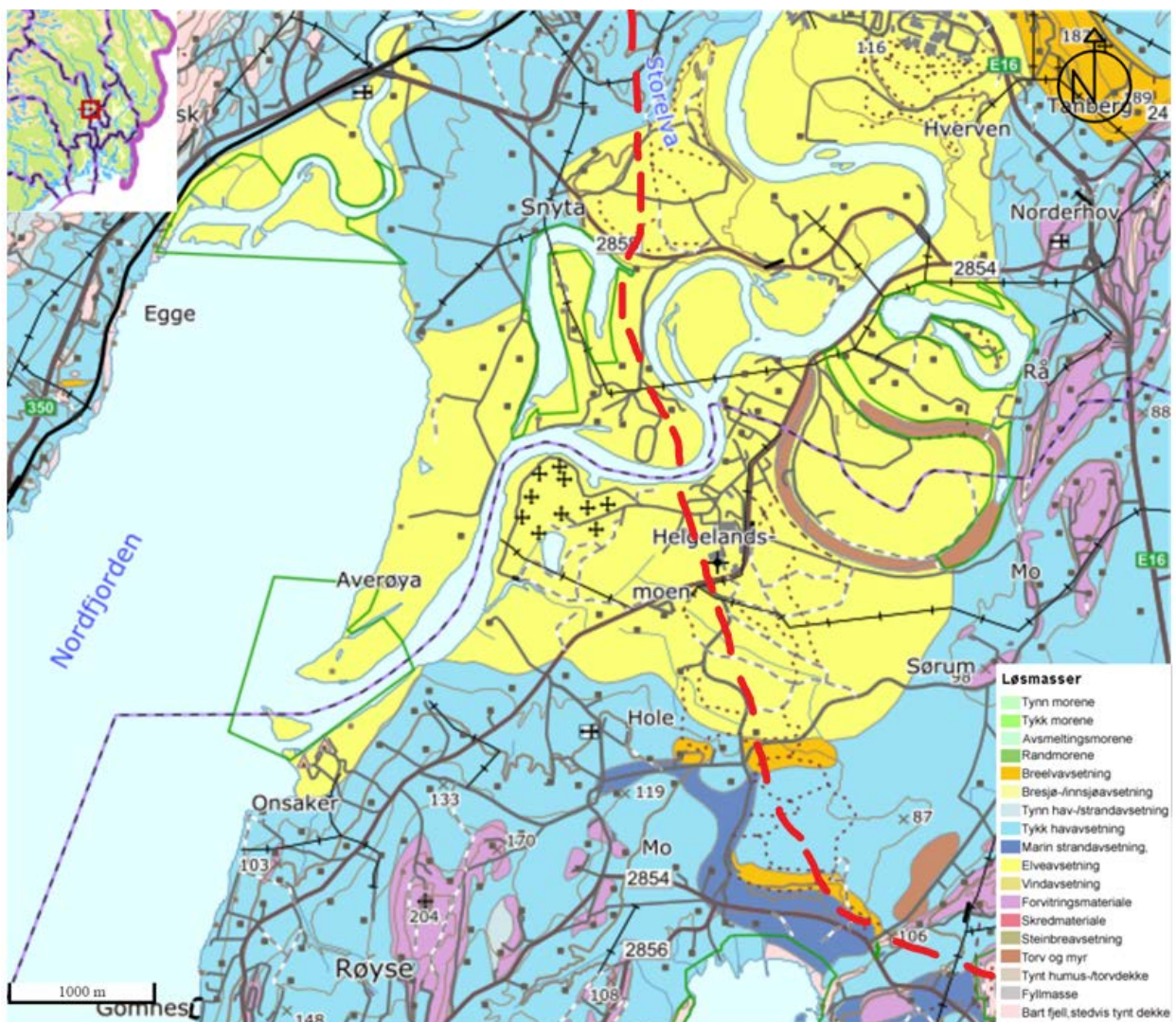
Figur 2.1: Kart over Storelva som meandrerer igjennom det relativt flate landskapet. 1) Kroksjø, en forlatt meandersving, 2) krokmyr, en gjenvokst kroksjø, 3) elvenesgjennombrudd, 4) elvenesbanker, 5) gammelt løp, 6) begynnelsen av kroksjø og 7) terrasseflate. Svart prikk viser lokaliteten Mælingen og rød sirkel den bratte skrenten opp mot Prestmoen. Modifisert fra Sulebak (2007, s. 134).

Elva Sogna munner ut i den nordlige delen av Nordfjorden som er en del av Tyrifjorden. Mellom Storelva og Sogna er det et stort og sammenhengende deltaområde (Kartverket, 2019a). Det spesielle landskapet har ført til at flere steder er vernet som naturreservater innenfor området for strekning 4 (Miljødirektoratet, 2020). Fra elvemunningen i Tyrifjorden og oppover i terrenget er det terrasstrinn (Kartverket, 2019b), som representerer endringer av vannstands nivået i havet eller i Tyrifjorden opp igjennom tidene. Etter siste istid har elvene skåret seg igjennom terrassene, og i dag kan man observere rester etter trappetrinnene til terrasselandskapet i dalsidene (Kartverket, 2019b).

I de marine avsetningene innenfor strekning 4 er det lokalisert raviner, som kjennetegnes med V-formede daler og grøfter med tidvis rennende vann (Kartverket, 2019b). Den marine grensen, som er det høyeste nivået havet har stått etter siste istid, er på ca. 201 høydemeter over havet i Ringerike kommune (NGU, 2019c).

2.2 Kvartærgeologiske avsetninger

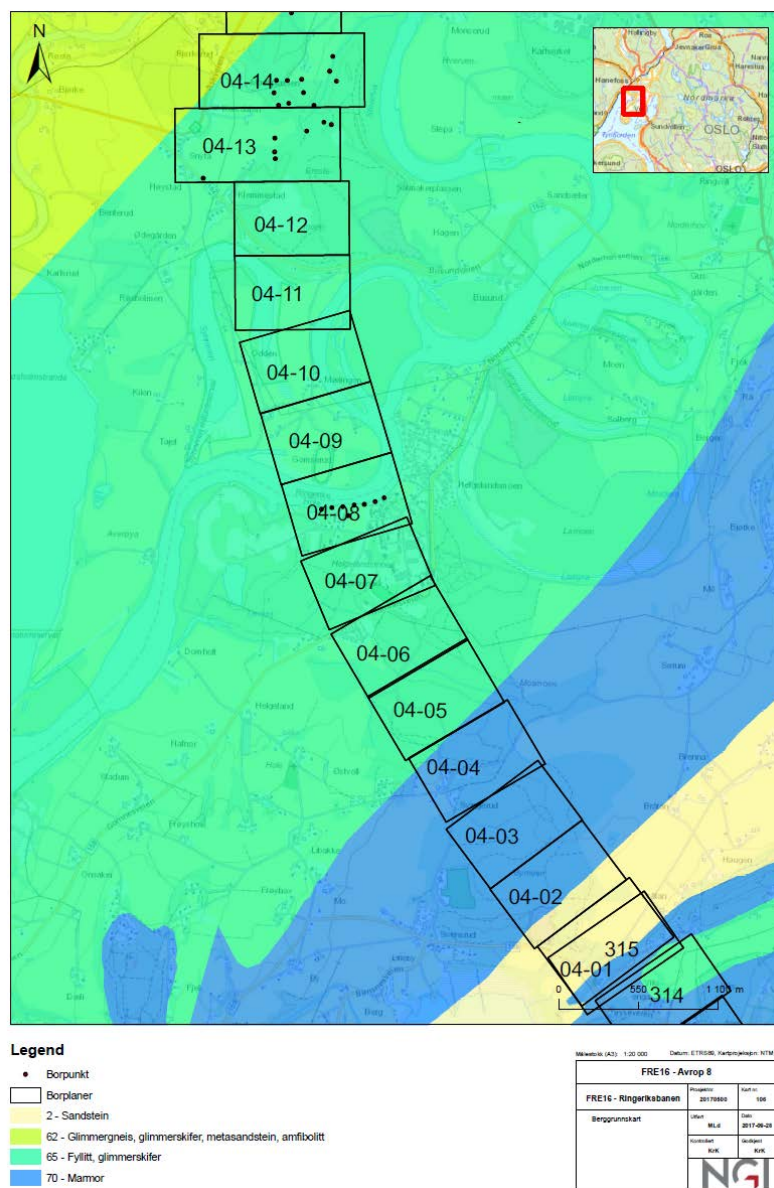
De kvartærgeologiske løsmassene i området for strekning 4 består for det meste av elve- og bekkeavsetninger og hav- og fjordavsetninger (figur 2.2) (NGU, 2019a). I den nordøstlige delen av strekning 4 er det et lite område med breelvavsetninger. I krokmyren øst for Helgelandsmoen og i et lite område i den sørlige delen av strekning 4 er det torv- og myravsetninger. Marine strandavsetninger er lokalisert ovenfor Steinfjorden i den sørlige delen av strekning 4. Det er små områder med fjellblotninger og store områder med forvittringsmateriale i den østlige og sørlige delen av strekning 4. Områdene rundt strekning 4 er dominert av de nevnte avsetningene i tillegg til morenemateriale (NGU, 2019a).



Figur 2.2: Løsmassekart over strekning 4 hvor rød stiptet linje er planlagt trasé. Modifisert fra NGU (2019a).

2.3 Berggrunnsgeologi

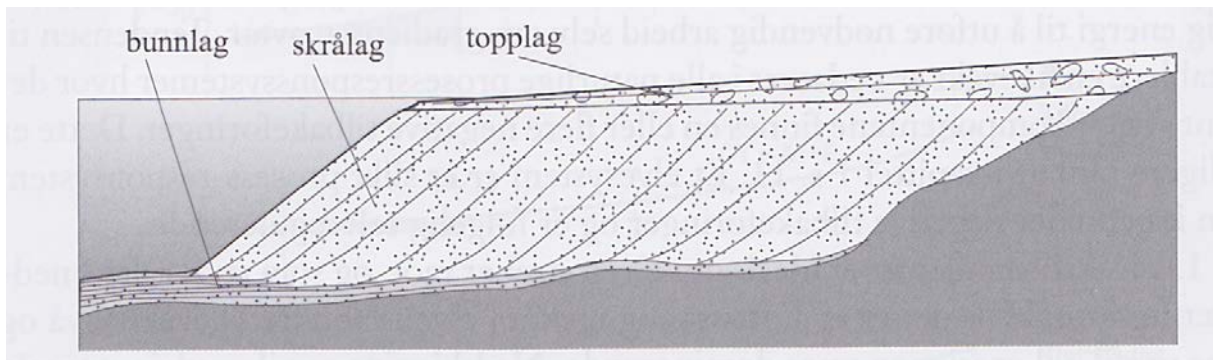
Mektigheten på sedimentene innenfor strekning 4 er stor, og totalsonderingene viser at berggrunnen ligger på mer enn 140 meter på det dypeste. Eksisterende kartlegging av berggrunnen har vært begrenset (NGU, 2019b; Zwaan & Larsen, 2003). NGI har på vegne av Bane NOR interpolert berggrunnskartet for området (NGI, 2019a, s. 17). Store deler av området innenfor strekning 4 er fyllitt eller glimmerskifer i tillegg til et større område med marmor (figur 2.3). I den sørøstlige delen av strekning 4 er det sandstein, fyllitt, glimmerskifer eller marmor. I et lite område i den nordvestlige delen er det glimmergneis, glimmerskifer, metasandstein eller amfibolitt.



Figur 2.3: Interpolering av antatte bergartgrenser innenfor strekning 4 med blokkinndeling (NGI, 2019a, s. 17).

2.4 Delta

Delta er en landform som blir dannet hvor elva munner ut i hav eller innsjø, og kan være fluvialt-, bølge- og tidevannsdominert (Sulebak, 2007, s. 143). Når sedimentene blir avsatt i vannet får deltaene en karakteristisk oppbygging med topplag, skrålag og bunnlag (figur 2.4). Ustabile elveløp kan gi en mer komplisert oppbygging av deltaet.



Figur 2.4: Snitt av et delta med topplag, skrålag og bunnlag (Sulebak, 2007, s. 143).

I topplaget blir de groveste sedimentene avsatt i et svakt hellende lag, og topplaget kan være vanskelig å observere i felt når kornstørrelsene stein og blokk dominerer (Sulebak, 2007, s. 143). Skrålaget skilles fra topplaget med en tydelig grense av partikler med kornstørrelse innenfor grus og sand (Sulebak, 2007, s. 143). Skrålaget blir dannet ved at sedimentene transporteres med elvene til fronten av deltaet, hvor sedimentene faller over kanten og ned i vannet. Kornstørrelsen i skrålagene er dominert av sand og grov silt, og skrålaget vokser utover bunnlaget som avsettes foran skrålaget. Bunnlaget er nederste del av deltaet og består av kornstørrelsene silt og leire som er transportert i suspensjon (Sulebak, 2007, s. 143).

2.5 Hydrogeologi

2.5.1 Generelt om grunnvann

Bane NOR er interessert i hvordan grunnvannsspeilet og grunnvannsstrømningene på Mælingen kan bli påvirket av tyngden til Ringeriksbanen og ny E16. En grunnvannsmodell kan være et godt verktøy for å simulere ulike scenarier for hvordan grunnvannsspeilet og grunnvannsstrømningene på Mælingen kan bli påvirket av utbyggingen i området.

Porøsiteten og permeabiliteten til sedimentene kan bli endret av tyngden til Ringeriksbanen og ny E16, og kan påvirke faktorer som den hydrauliske konduktiviteten (K) og magasinkoeffisienten (S). Grunnvannsspeilet er området hvor det hydrauliske trykket er likt det atmosfæriske trykket, det vil si nivået for grunnvannet i løsmasser eller berggrunn (Holzer, 2010).

Vannet på jordoverflaten infiltrerer igjennom løsmassene til den mettede sonen, hvor grunnvannet sirkulerer i alle sprekker og porerom (Schwartz & Zhang, 2003, ss. 1-2).

Det relativt flate området på Mælingen gjør at grunnvannet lett kan infiltrere. Når vannet har infiltrert igjennom løsmassene renses sedimentene vannet (Hensel et al., 2008).

Darcy's lov (1857) sier noe om hvordan vannstrømningen igjennom et porøst medium foregår i bakken (likning 1) (Schwartz & Zhang, 2003, ss. 44-45).

$$\text{Likning 1: } Q = -KA \left(\frac{\Delta h}{L} \right)$$

- Q = volumetrisk strømningshastighet, er volumet vann som strømmer inn og ut av det porøse mediet [L^3/T]
- K = hydraulisk konduktivitet [L/T]
- A = arealet av tverrsnittet av det porøse mediet [L^2]
- Δh = hydraulisk trykkehøyde [L]
- L = lengden på sandfilteret [L]
- $\left(\frac{\Delta h}{L} \right)$ = hydraulisk gradient [-]

L er lengde, T er tid og V er vekt. Minustegnet i likning 1 betyr at vannet strømmer fra høyt til lavt hydraulisk potensiale.

Den hydrauliske konduktiviteten (K) er kapasiteten til et medium til å overføre vann, og enheten er ofte [m/s] eller [cm/time] (Schwartz & Zhang, 2003, s. 53). Kornstørrelse, sorteringsgrad, pakningsgrad av sedimentene i løsmassene, leirinnhold, porøsitet og porestruktur er med på å bestemme den hydrauliske konduktiviteten (Ren & Santamarina, 2018). Den hydrauliske konduktiviteten er en funksjon av permeabilitet, væsketetthet og væskeviskositet, og formelen for hydraulisk konduktivitet skrives (Schwartz & Zhang, 2003, s. 52):

$$\text{Likning 2: } K = \left(\frac{k\rho_w g}{\mu} \right)$$

- k = permeabilitet [L^2]
- ρ_w = væsketetthet [V/L^3]
- g = gravitasjonskonstanten [L/T^2]
- μ = væskeviskositet [$V/(L \cdot T)$]

Permeabilitet handler om hvor lett en væske beveger seg igjennom et porøst medium (Schwartz & Zhang, 2003, s. 51). Høy permeabilitet er å finne i sand og grus, og har høy hydraulisk konduktivitet. Lav permeabilitet er knyttet til lav hydraulisk konduktivitet, og finnes i leire og silt (Schwartz & Zhang, 2003, s. 49). Porøsiteten til sedimentene sier noe om forholdet mellom volumet av porer i materialet og totalvolumet, og porøsiteten er ofte oppgitt i prosent (Schwartz & Zhang, 2003, s. 44).

Darcy's lov (1857) i likning 1 viser at det er en energigradient i vannbevegelsen $\left(\frac{\Delta h}{L}\right)$.

I felt brukes poretrykksmålerne til å måle energien i vannstrømmingen, og den tilgjengelige energien kalles hydraulisk trykkehøyde (*hydraulic head*) (Schwartz & Zhang, 2003, s. 46). Hydraulisk trykkehøyde består av potensiell, trykkbetinget og hastighetsbetinget trykkehøyde, og den lave hastigheten i grunnvannsstrømmingene gjør at den hastighetsbetingede trykkehøyden kan utelates (likning 3) (Schwartz & Zhang, 2003, s. 47).

Likning 3:
$$h = z + \frac{P}{\rho_w g}$$

- h = hydraulisk trykkehøyde [L]
- z = høyde [L]
- P = trykket fra vannkolonnen [V/L/T²]
- ρ_w = væsketetthet [V/L³]
- g = gravitasjonskonstanten [L/T²]

Det lokale maksimumet for hydraulisk trykkehøyde er grunnvannsskillet, som er grensen mellom to reservoarer (NGU, 2020). Endringer i hydraulisk trykkehøyde er den hydrauliske gradienten (i) (likning 4), som viser retningen på grunnvannsstrømningene (Schwartz & Zhang, 2003, s. 48). Grunnvannet strømmer fra områder med høy hydraulisk trykkehøyde til områder med lav hydraulisk trykkehøyde.

Likning 4:
$$i = -\frac{dh}{dl} = \frac{h_1 - h_2}{\Delta l}$$

- i = hydraulisk gradient [-]
- h_1 og h_2 = hydraulisk trykkehøyde for punkt 1 og punkt 2 [L]
- Δl = avstanden mellom punkt 1 og punkt 2 [L]

En akvifer er når sedimentene eller bergartene har tilstrekkelig porøsitet og permeabilitet til å forsyne vann til en brønn (Schwartz & Zhang, 2003, s. 1; NGU, 2020). Magasinkoeffisienten (S) til en akvifer er definert som, volumet av vann som en akvifer tar inn eller ut av lagring per enhet akviferoverflate ved å endre trykkehøyden med én meter (likning 5) (Schwartz & Zhang, 2003, s. 73; NGU, 2020).

Likning 5:
$$S = S_y + b \cdot S_s$$

- S = magasinkoeffisienten [-]
- S_y = drenerbart porevolum [L³]
- b = tykkelsen på akviferen [L]
- S_s = spesifikk lagring [L⁻¹]

Spesifikk lagring (S_s) er volumet av vann som en akvifer tar inn eller ut av lagring per enhet ved å senke trykkehøyden med én meter (Schwartz & Zhang, 2003, s. 73; NGU, 2020), og er avhengig av porestrukturen som igjen er påvirket av vertikal kompressibilitet og vannets tetthet (David et al., 2017). Spesifikk lagring er relatert til magasinkoeffisienten, likning 6 (Schwartz & Zhang, 2003, s. 73).

$$\text{Likning 6: } S_s = \frac{S}{b}$$

- S = magasinkoeffisienten [-]
- b = tykkelsen på akviferen [L]

I en åpen selvmatende akvifer som på Mælingen, «skjer nydannelsen av grunnvannet ved direkteinfiltrasjon av nedbør» (NGU, 2020). I berg og løsmasser i en åpen akvifer er trykkeffekten fra væske så lav at den kan utelates, og $S=S_y$ (Rackley, 2017, s. 388). Det drenerbare porevolumet (S_y) sier noe om vanninnholdet i jorda etter gravitasjonsdrenering, det vil si vanninnholdet ved pF 2 (NGU, 2020). Den effektive porøsiteten (n_E) settes ofte lik det drenerbare porevolumet, og er volumet av porer hvor vann kan strømme i forhold til totalvolumet (likning 7) (NGU, 2020).

$$\text{Likning 7: } S_y = n_E = \frac{V_d}{V_T}$$

- V_d = volumet av porer hvor vann kan strømme
- V_T = totalvolumet

Drenerbart porevolum er avhengig av hvor lenge vannet kan drenere i løsmasser eller berg, temperatur og mineralinnhold, og de fysiske parameterne som overflatespenninger, gravitasjon og viskositet (Johnson, 1967).

2.5.2 Grunnvann tilknyttet Ringeriksbanen og ny E16

Nedbørsfeltet til Storelva er på 8677 km², og kommer fra de store dalførene Begnadalen-Ådalen og Dokka-Randsfjorden, som munner ut i Tyrifjorden (Kartverket, 2019a; NVE, 2020) (figur 2.5).



**Norges
vassdrags- og
energidirektorat**

Kartbakgrunn: Statens Kartverk

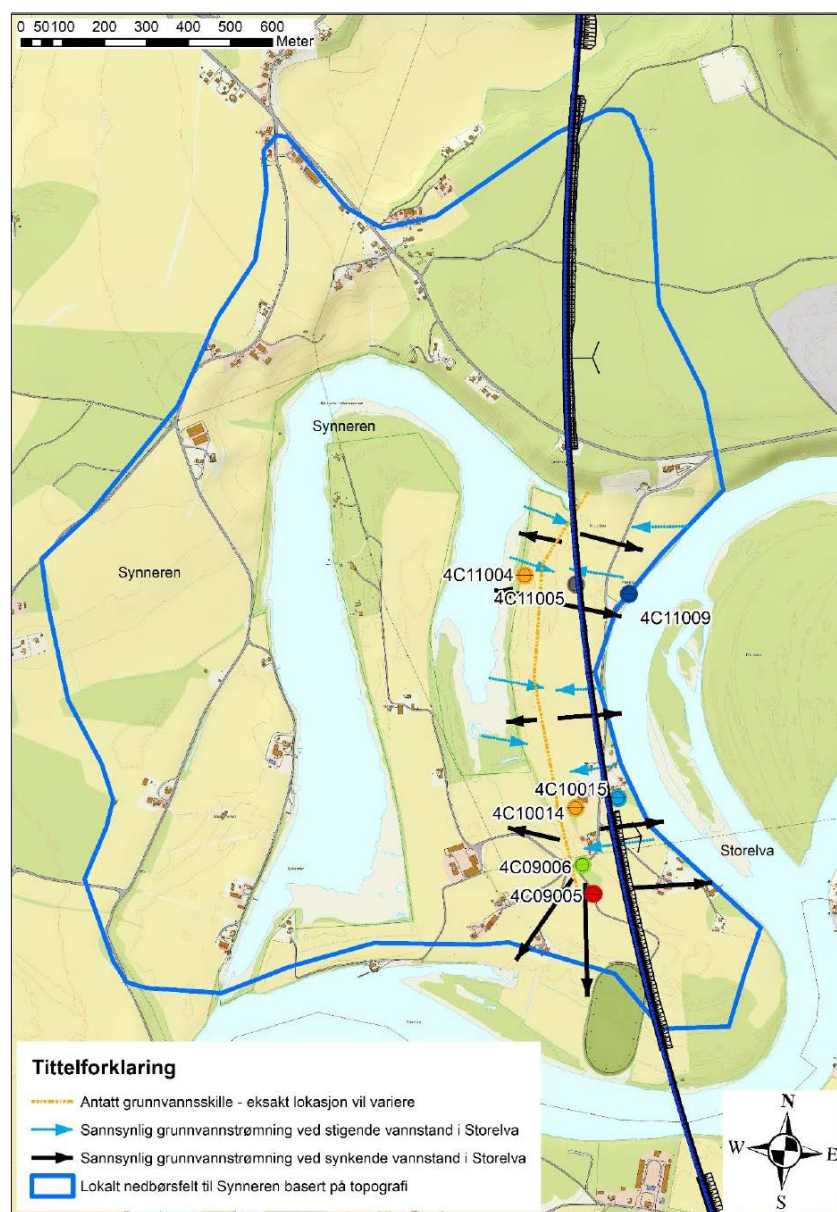
Kartdatum: EUREF89 WGS84

Projeksjon: UTM 33N

Beregn.punkt: 231973 E
6672143 N

Figur 2.5: Nedbørsfeltet for Storelva ved Averøya (NVE, 2020).

Synneren har utløp i Storelva igjennom en passasje i sør, og vannstands nivået i Synneren blir påvirket av Storelva (Norconsult et al., 2019a, s. 41). Norconsult et al. (2019b, s.16) har funnet ut at grunnvannsskillet på Mælingen befinner seg mot vest i perioder med avtakende eller relativt stabile forhold i Synneren og Storelva (figur 2.6). Grunnvannsstrømmingene fører til variasjoner i posisjonen til grunnvannsskillet, og eksakt posisjon vil variere. Lokaliseringen til grunnvannsskillet tyder på at det er lite sannsynlig med grunnvannsstrømninger fra Storelva gjennom Mælingen til Synneren, men at fluktuasjonene i Storelva og Synneren reflekterer grunnvannstands nivået som ligger 2-4 meter ned i bakken (Norconsult et al., 2019b, ss. 16,8).



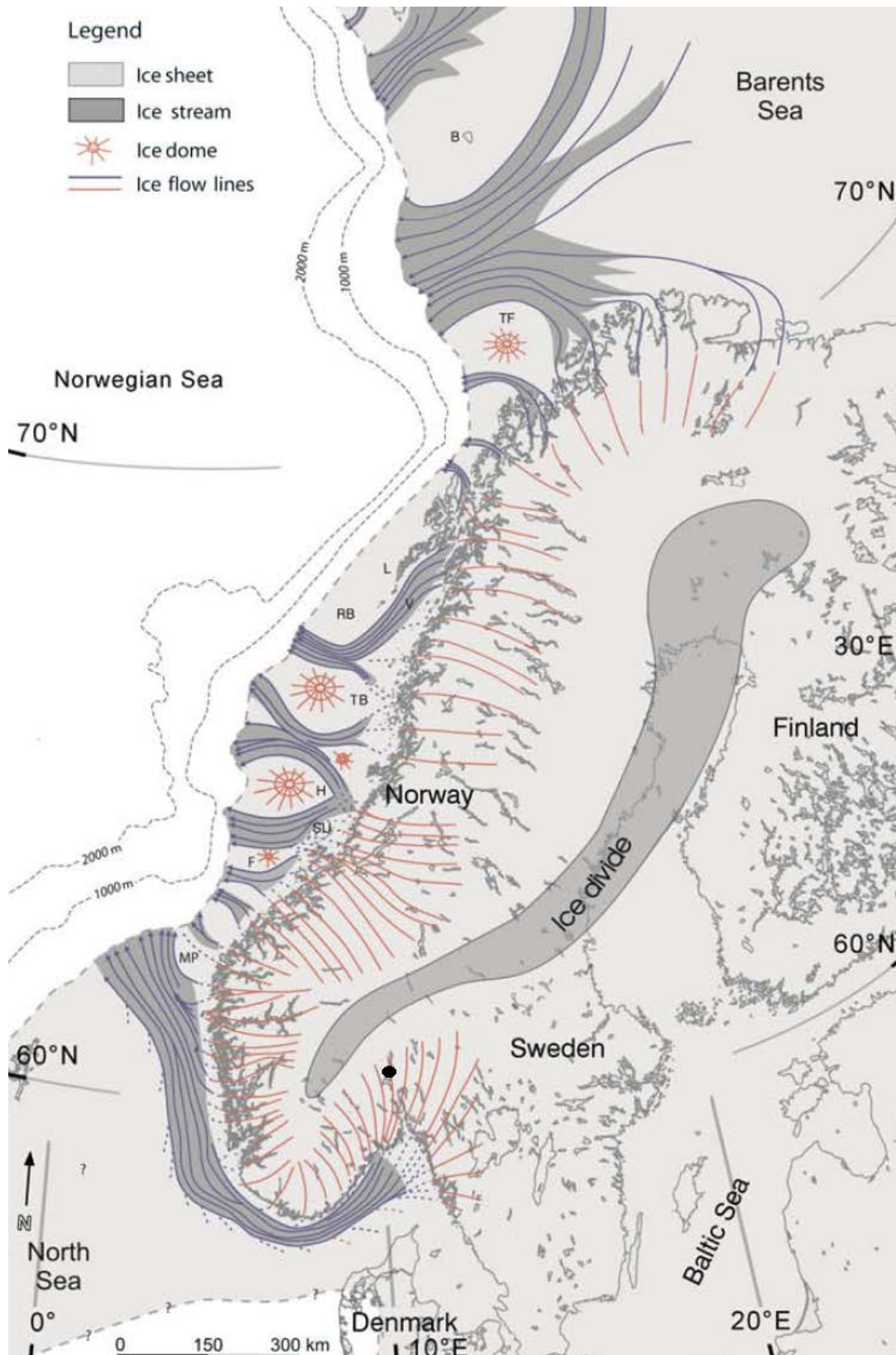
Figur 2.6: Antatte grunnvannsstrømninger under stigende og synkende vannstands nivå i Storelva. Prikker med ulike farger og tall med bokstaver (eks: 4C09005) er ulike måleinstrumenter installert i Mælingen-området. Svart linje viser den planlagte jernbanetraséen og veien (Norconsult et al., 2019b, s. 16).

I forbindelse med forarbeidet til utbyggingen av Ringeriksbanen og ny E16 laget Norconsult et al. (2019b) en hydrogeologirapport. Hovedkonklusjonen for Mælingen-området i rapporten er at eksisterende bekker og nedbørsfelt ikke vil bli påvirket av utbyggingen av jernbanetraséen og veien. Skjæringer ned i leire og silt under utbyggingen kan redusere grunnvannsspeilet i området, og kan føre til setninger i hus og infrastruktur i områdene rundt skjæringene.

Eksisterende vannforsyninger fra brønner i nærliggende områder ved Ringeriksbanen og ny E16 kan bli påvirket av avrenninger fra jernbane og vei, i form av nitrogen fra sprengsteinfyllinger og veisalt (Norconsult et al., 2019b, s. 4). Alternativ A og alternativ B for planlagte traséer vil ikke redusere tilsiget av grunnvann fra Storelva til Synneren (Norconsult et al., 2019b, s. 4). Alternativ B kan antas å føre til en liten reduksjon i grunnvannsnivået i områdene hvor fyllingene skjærer ned i de finkornede sedimentene.

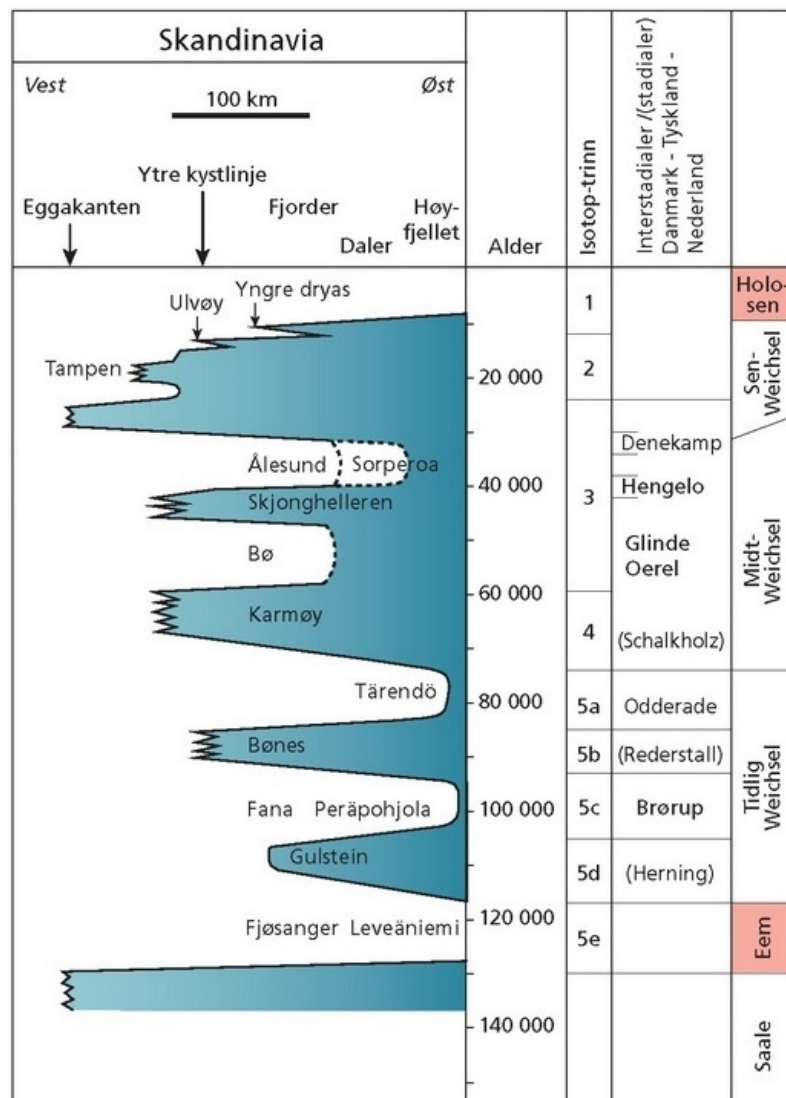
2.6 Deglasiasjonen på Østlandet under siste istid

Siste istid i Norge, kjent som weichsel, varte fra 117 000 til 11 700 år siden etterfulgt av dagens mellomistid, holocen (Vorren & Mangerud, 2013, s. 499). Isskillet under siste istid lå øst og sør for vannskillet slik at isen som lå over midtre og sørlige deler av Østlandet beveget seg sørover (figur 2.7) (Vorren & Mangerud, 2013, s. 526). Videre isbevegelser var ut i Norskerenna, som under siste istids maksimum (LGM - *The Last Glacial Maximum*) for 21 000–17 000 år siden var en aktiv isstrøm (Mangerud et al, 2011; Vorren & Mangerud, 2013, s. 527).



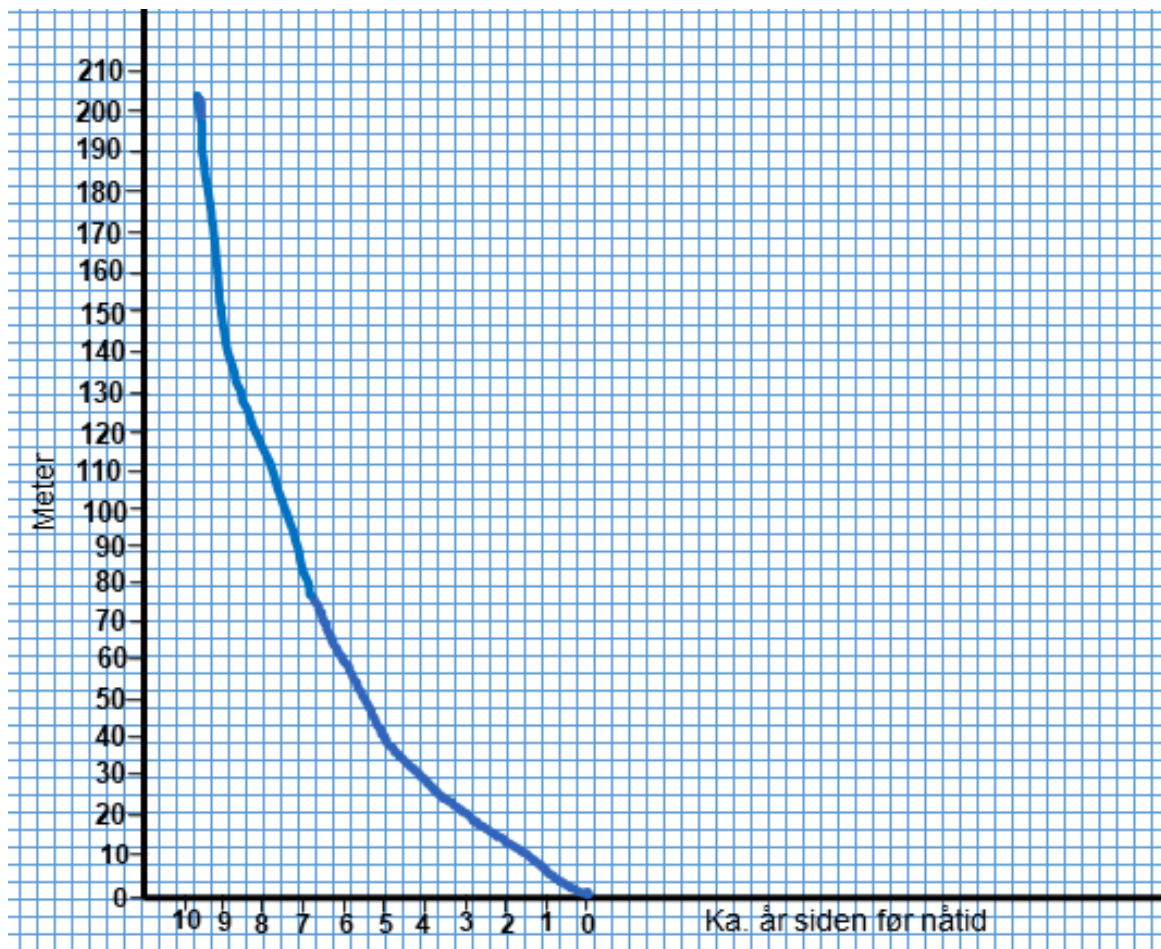
Figur 2.7: Utbredelsen av den skandinaviske innlandsis og isstrømmene i sen weichsel. Mølingen er markert med en svart prikk. Modifisert fra Ottesen et al. (2012).

Under isavsmeltingen for ca. 10 000 år siden hadde isfronten enkelte opphold forårsaket av topografiske forhold eller klimaforverring (figur 2.8). Enorme mengder med smeltevann ble dannet, og store mengder sedimenter ble transportert i breelvene. I kommunene Ringerike og Hole finnes mektige israndavsetninger, både endemorener og breelvmateriale (Huseby & Klemetsrud, 1980, s. 46). Hauer seter trinnet som er lokalisert på oversiden av Tyrifjorden, skiller seg fra de eldre israndavsetningene fordi det mangler morenemateriale og morenerygger (Vorren & Mangerud, 2013, s. 532). Hastigheten i smeltevannet avtok brått da smeltevannet i breelvene møtte det økende havnivået, og sedimentene ble avsatt i delta (Sulebak, 2007, s. 143). De groveste kornstørrelsene ble avsatt først, og finere sedimenter som silt og leire ble ført videre ut i Tyrifjorden.



Figur 2.8: Skjematisk glasiasjonskurve for det skandinaviske isdekke (Vorren & Mangerud, 2013, s. 522).

Den tykke innlandsisen hadde presset ned underliggende lag og førte til en isostatisk senkning av jordskorpen (Jørgensen et al., 1997, s. 42). De marine avsetningene ble avsatt da havet steg, og dannet grunnlaget for jordbruket i området. Under landhevingen begynte Begna og Randselva å grave seg ned igjennom israndavsetningene og de tidligere marine avsetningene (Huseby & Klemetsrud, 1980, s. 49). Sedimentene ble avsatt i nye delta, som ble bygget ut på stadig lavere nivåer etter som landet hevet seg. Strandlinjediagrammet i figur 2.9 viser en rekonstruksjon av havnivået i Hønefoss.



Figur 2.9: Strandlinjediagram for Hønefoss generert med en marine grense på 201 moh og dagens havnivå på 0 moh. Modifisert fra Møller & Holmeslet (2020).

2.7 Storskalaforsøket på Mælingen, fundamenteringsmetoder og geoteknikk

De usikre grunnforholdene på Mælingen har ført til at Bane NOR har satt opp tre prøvefyllinger og to prøvefelt for peler. Formålet med storskalaforsøket er å kartlegge graden av setninger og hvilke fundamenteringsmetoder som er best egnet for området (Bane NOR & Statens vegvesen, 2018). Prøvefyllingene på Mælingen er ca. 50 meter lange, ca. 40 meter brede og har en høyde på ca. 10 meter, og blir i en periode på 1,5 til 2 år overvåket med måleutstyr (Bane NOR & Statens vegvesen, 2018).

Sedimentsammensetningene har stor betydning for setningsforløpet i grunnen. Setninger i sand, grus og morenemateriale opphører relativt raskt, og gir ikke setningsproblemer ved utbygginger (Statens vegvesen, 2014). Leire, silt og løsmasser med høyt innhold av organisk materiale kan føre til store og langvarige setninger (Statens vegvesen, 2014). Dette på grunn av korthusstrukturen til leirpartiklene og nedbrytingen av organisk materiale. Forholdet mellom leire, silt og sand i de ulike lagene vil påvirke graden av setninger og tiden før sedimentene når makspunktet for setninger. Den siltige leiren i Mælingen-området er meget spesiell og det er ikke gjort erfaringer knyttet til denne type siltig leire (Bane NOR SF Utbygging, 2020, s. 3). Dette gjør det utfordrende å finne de beste fundamenteringsmetodene for området.

Valg av fundamentgeringsmetoder blir i stor grad påvirket av de geologiske forholdene i grunnen. Direktefundamentering blir brukt i områder med gode grunnforhold, og byggverket blir plassert direkte på undergrunnen (Riise, 1968, s. 99). Fundamentering på peler er en annen metode hvor peler fører belastningen fra byggverket videre til fjell, annet bæredyktig lag, eller at belastningen overføres til de lange pelene og pelespissene nede i bakken (friksjonspeler) (Riise, 1968, s. 99).

Prosessen med å pele ned til fjell er en veldig kostbar byggemetode. På Mælingen ligger berggrunnen på mer enn 140 meter, og Bane NOR håper at friksjonspeler kan benyttes for å redusere kostandene i utbyggingen. Bane NOR startet et storskalaforsøk på Mælingen hvor det ble installert friksjonspeler for å få et sikrere beregningsgrunnlag for pelekapasiteten og setningene til pelene (Bane NOR SF Utbygging, 2020).

Friksjonspeler fungerer ved at friksjonen fra leire, sand og grus holder tyngden av byggverket (Den Norske pelekommité, 1973, ss. 15-16). Det ble installert 5 prøvepeler med diameter på 400 mm og 800 mm i en dybde på 40-90 meter. Under opptrekking av friksjonspelene ble det for fire av pelene utført PDA-målinger (Pile Driving Analyser), som ga informasjon om ulike

geotekniske parametere tilknyttet pelene (Bane NOR SF Utbygging, 2020). Resultatene fra peleforsøket i Mælingen-området viste at DPA-verdiene for de geotekniske utregningene var lavere under opptrekkingen av friksjonspelene enn utregnet på forhånd (Bane NOR SF Utbygging, 2020). Bane NOR undersøker om årsaken til dette kan være andre faktorer enn sedimentinnholdet.

3. Metoder

3.1 Feltmetoder

I perioden fra 2017 til 2020 har NAA AS planlagt og utført grunnundersøkelser i felt på oppdrag fra Bane NOR, og i tillegg har det vært brukt underleverandører som Geovita, Multiconsult og NGI. Totalsonderinger og sylinderprøver samlet inn av disse firmaene utgjør hoveddelen av datamateriale for oppgaven. Feltmetodene er beskrevet basert på hvordan datamateriale ble brukt i oppgaven. Teknisk beskrivelse av feltmetodene finnes i Norsk geoteknisk forenings (NGF) meldinger og Statens vegvesens håndbok «R211 Feltundersøkelser».

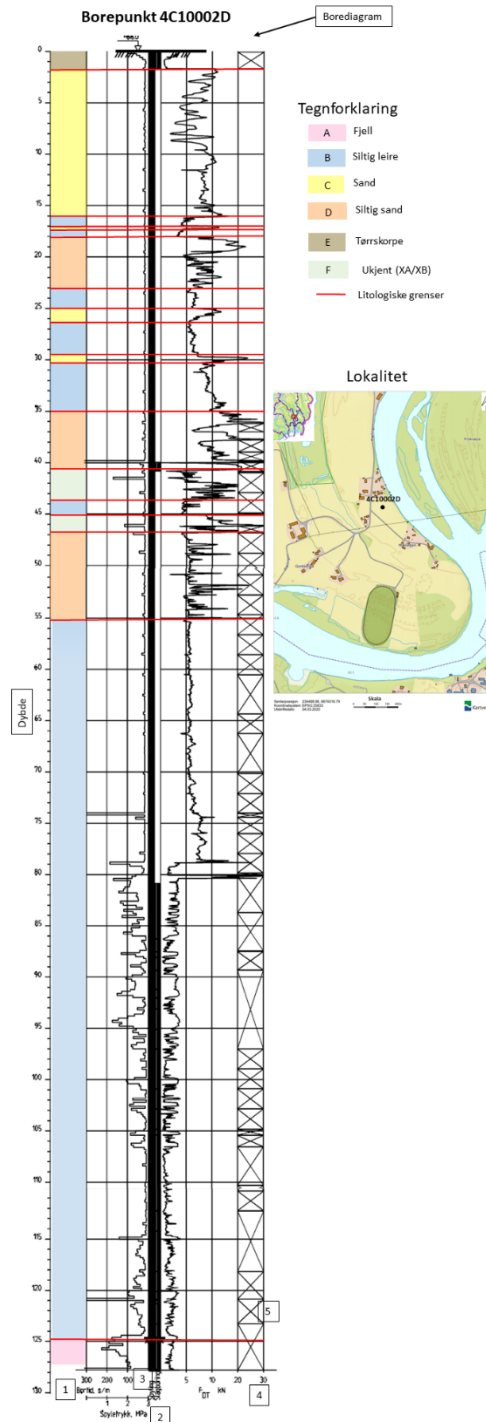
3.1.1 Totalsonderinger

Totalsondering er en metode som går ut på å presse og dreie en skrueformet spiss ned i bakken med konstant rotasjons- og nedpressingshastighet (Statens vegvesen, 2018, s. 6). Motstanden til spissen, spyletrykk, rotasjons- og nedpressingshastighet blir tegnet opp i et borediagram (figur 3.1). Borediagrammet gir informasjon om motstanden til lagene som kan gi en indikasjon på type løsmasser basert på grunnleggende kunnskap om massenes fasthet og laggrenser (NGF, 2010, s. 6). Dybde ned til berg blir fastslått ved å bore 3 meter i berg, og har stor sonderingsmotstand med tydelig takkete kurve (figur 3.1 A) (NGF, 2010, s. 4).

Leire eller andre bløte og løse kohesjonsjordarter vil i et borediagram vises med liten boremotstand og jevn sonderingskurve (figur 3.1 B) (NGF, 2010, s. 9). Kompakt leire vil få en høyere nedpressingshastighet i borediagrammet. Friksjonsmasser som silt, sand og grus kjennetegnes av en kurve med kontinuerlig takkete form (figur 3.1 C-D) (NGF, 2010, s. 10). Morener gir ofte stor sonderingsmotstand (NGF, 2010, s. 13). Dette er kun generelt og ulike lagkombinasjoner, effekten av spyling og økt rotasjon vil påvirke kurven i borediagrammet (NGF, 2010, ss. 7-8). Lagene i et område kan ofte korrelere, og det var viktig å sammenligne antatte laggrenser med nærliggende borepunkter.

Usikkerheten knyttet til totalsonderingene brukt i oppgaven ligger i tolkningen av laggrensene og sedimentinnholdet. Ulike lagkombinasjoner, spyling og økt rotasjon kan gi utslag på andre typer avsetninger enn det egentlig er. For godt sammenpressede lag som ofte er lokalisert i dypet kan det være vanskelig å fastsette sedimentinnholdet. Lagene gir utslag med høy sonderingsmotstand i borediagrammet hvor man for denne type løsmasser hadde forventet

lavere sonderingsmotstand. Det var vanskelig å observere tynne lag i borediagrammet, fordi totalsonderingene gir en for grov presentasjon av de stratigrafiske lagene. Firmaene som utførte totalsonderingene benyttet ulike typer borediagrammer. De lokale geologiske variasjonene gjorde det utfordrende å korrelere enkelte borepunkter mot nærliggende punkter.



Figur 3.1: Eksempel på tolkning av totalsonderingen 4C10002D.
 1) Boretid, 2) spyletrykk, 3) spyling/slagboring, 4) nedpressingskraft og 5) kryssene markerer hvor det er brukt økt rotasjon.
 Modifisert fra Norconsult et al. (2017 s. 77) og Kartverket (2019a).

3.1.2 Elektriske poretrykksmålere

En poretrykksmåler er et måleinstrument som brukes for å måle poretrykket i grunnvannet (NGF, 2017, s. 4). I utbyggingsprosessen av Ringeriksbanen og ny E16 ble det i 2017-2018 på vegne av Bane NOR installert 7 poretrykksmålere i hovedsak av typen Geotech PVT i Mælingen-området (NGI, 2019b, s. 5). De elektriske poretrykksmålerne ble installert etter metoden beskrevet i NGF melding 6 med nedpressing i løsmasser (NGI, 2019b, s. 5).

Poretrykksmålerne hadde automatiske vannstandsmålere med et porøst bronsefilter på 6 meters dyp, og hensikten var å kartlegge strømningsforholdene inn og ut av grunnvannsmagasinet (Norconsult et al, 2019a, s. 6; Kåsin, 2020). To ganger i døgnet klokken 00:00 og 12:00 sendte poretrykksmålerne informasjon om den hydrauliske trykkehøyden i brønnene. Det var lite med informasjon om hvem som hadde installert de elektriske poretrykksmålerne, hvilke modeller, type brønnfiltre, tekniske parametere og filterdybde. Dataene som ble hentet ut til oppgaven virket fornuftige, men var vanskelig å verifisere.

3.1.3 Sylinderprøver

Sylinderprøver er uforstyrrede sedimentprøver fra bakken, hvor hensikten er å studere sedimentsammensetningene og egenskapene til løsmassene i et laboratorium (Statens vegvesen, 2018, s. 92). På Mælingen ble sylinderprøvene hentet opp ved å bore ned en metallsyylinder, som ble fylt med uforstyrrede sedimentprøver (figur 3.2). Vakuemet i metallsyylinderen holdt igjen sedimentene ved hjelp av en gummipropp, og under prøvetaking ble det observert at sedimentene noen ganger falt ut. Dette var spesielt tydelig i sandavsetningene på Mælingen.

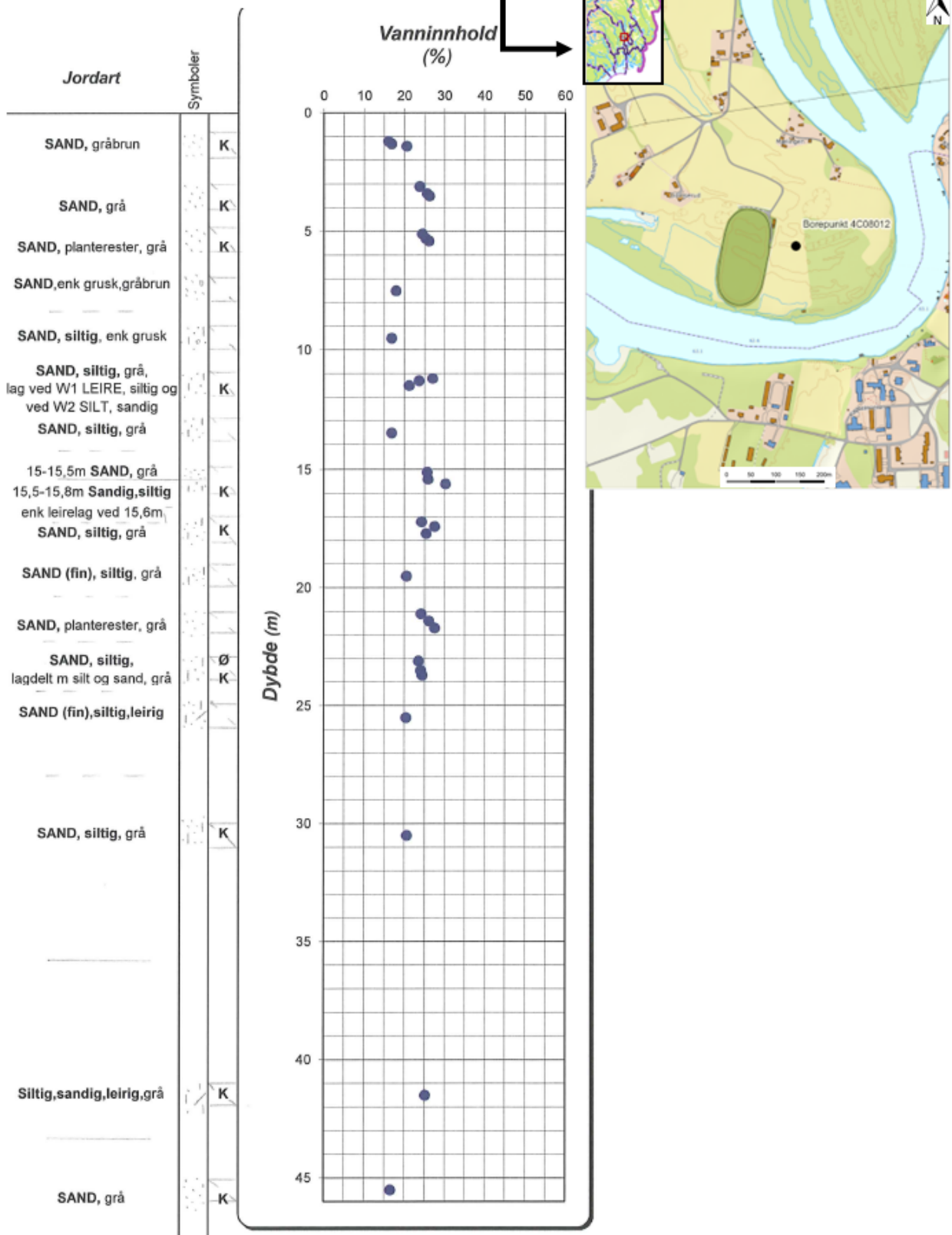
Metallsyylinderen ble ødelagt da syylinderen under boring støtte på større steiner i grunnen. I områder hvor det ikke var mulig å bore igjennom steinene, måtte det bores et nytt hull ved siden av, på samme dybde for å hente opp en ny prøve. Prøvesyylinderen ble tatt opp og tettet i begge ender, merket på tre ulike måter og tatt med til laboratoriet for videre undersøkelser. NGI og Løvlien Georåd har utført 14 detaljerte sedimentlogger av sylinderprøvene for Mælingen-området (figur 3.3).



Figur 3.2: Boremaskin fra NGI som tok sylinderprøver fra et jorde på Mælingen.
Foto: Pottier, Ingrid Austad

Sylinderprøvene ble hentet opp fra en grunnere dybde enn totalsonderingene. Datamateriale fra sylinderprøvene ble brukt for å verifisere antatte laggrenser og sedimentinnhold i borediagrammet til totalsonderingene. Sylinderprøvene som hadde høyt detaljnivå var vanskelig å sammenligne med totalsonderingene. Enkelte lag på sylinderprøvene var ikke synlige på totalsonderingene, og det var derfor utfordrende å fastsette laggrenser og sedimentinnhold. Sylinderprøvene kan bli påvirket under transport og håndtering, og kan ha innvirkning på analysene som seinere blir utført på sedimentene, hvor sensitive masser i størst grad kan bli påvirket (Statens vegvesen, 2018, s. 96). Sylinderprøvene kan også bli påvirket under innsamling ved at de blir forurenset av andre sedimenter.

Borepunkt 4C08012

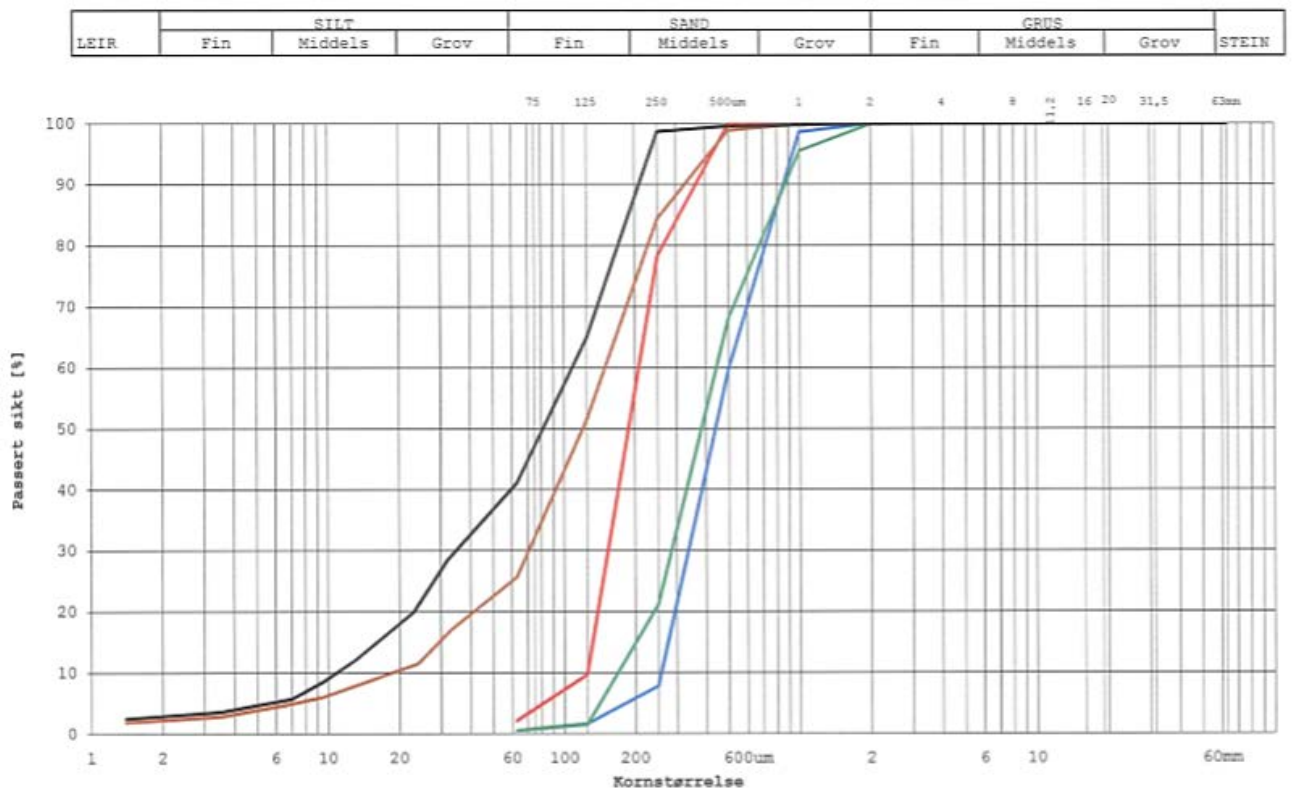


Figur 3.3: Eksempel på sedimentlogg for sylindrerprøven 4C08012 beskrevet av Løvlien Georåd og seinere brukt i oppgaven for å verifisere laggrenser og sedimentinnhold på totalsonderingene. Modifisert fra Norconsult et al. (2017, s. 114) og Kartverket (2019a).

3.2 Laboratorieundersøkelser

3.2.1 Kornfordelingsanalyser

Kornfordelingsanalysene er utført av Norconsult, Multiconsult, NGI og Løvlien Georåd AS, og de fleste prøvene er undersøkt på NGI sitt laboratorium i Oslo. Det er gjort kornfordelingsanalyser fra sylindrerprøver på ulike dypbder, og resultatene er brukt for å bekrefte antatte laggrenser og sedimenttyper i boreddiagrammet til totalsonderingene (figur 3.4). Kornfordelingsanalysene er utført i henhold til NS-EN 17892- 4:2016 og laboratorieprosedyre LLP008.



Figur 3.4: Eksempel på en kornfordelingsanalyse for borepunkt 4C08012 hvor figur 3.3 viser sylindrerprøver for samme borepunkt (Norconsult et al., 2017, s. 115).

3.3 Kwartærgeologisk kart og feltkartlegging

Feltkartleggingen ble gjennomført tre dager i august 2019 og to dager i mars 2020, og gikk ut på å undersøke løsmasseavsetninger, strukturer og landformer i området innenfor strekning 4 basert på overflateobservasjoner. I forkant av feltkartleggingen ble det utført forarbeid som gikk ut på å hente fram det topografiske kartet, studere eksisterende materiale om området, satellittbilder og flyfoto. De topografiske kartene ble hentet fra nettsidene til kommunene Ringerike og Hole (Ringerike kommune, 2019; Hole kommune, 2019), og inneholdt få detaljer for enklere å kunne tegne inn observasjoner gjort i felt. Bilderedigeringsprogrammet GIMP ble brukt for å redigere sammen de topografiske kartene.

En annen fase av forarbeidet var å utarbeide en plan for feltarbeidet, avklare fremkommelighet og innhente nødvendige tillatelser. Ekspropriering av privat eiendom har ført til en anspent situasjon i området, og det var utfordringer med å komme fram i felt på enkelte private eiendommer. Det har ikke vært mulig å kartlegge hele strekning 4. Første dagen i felt ble brukt til å rekognosere og bli kjent med området innenfor strekning 4. Metoden for feltarbeidet var å følge observerte geologiske grenser hvor dette var mulig, og markere disse på det topografiske kartet. Heltrukne linjer for områder med tydelige grenser, og stiplede linjer hvor geologiske grenser var uklare. Andre observasjoner ble markert med tall på feltkartet, og detaljert beskrevet i feltdagboka.

Skavelbor og stikkepinne ble brukt som hjelpemidler for å observere sedimentene som var under lag med organisk materiale og podsol fra vegetasjonen i området. Sedimentprøvene ble lagt i merkede poser og sammenlignet med andre prøver tatt i området. Fingertupptesten og eksempelfirkant ble benyttet for å finne kornstørrelsene. I sandblotninger ble murskje brukt for å lete etter strukturer, som for øvrig viste seg å være fraværende de fleste steder. Strøk- og fallmålinger ble utført i områder med bart fjell hvor dette var mulig. Vegetasjonen gir en god indikasjon på hvilke type avsetninger som finnes i området, og ble benyttet som et hjelpemiddel for å bestemme sedimenttypene (Coe et al., 2016, s. 231).

Innsamlet data ble bearbejdet samme dag som feltarbeidet ble gjennomført. Observerte grenser ble tegnet inn i nytt topografisk kart, og områder det var aktuelt å undersøke videre ble markert. Det håndtegnede kartet ble tegnet over i GIMP. Satellittbilder, flyfoto og eksisterende kart ble benyttet som supplement i områder som var vanskelige å kartlegge i felt, og hvor det var utfordrende å skille mellom de ulike avsetningene kun på observasjoner gjort i felt. Dette var spesielt i områder hvor det skulle skilles mellom elve- og bekkeavsetninger, strandavsetninger og breelvavsetninger.

Da det kvartærgeologiske kartet var ferdig tegnet inn på GIMP, startet arbeidet med å studere LIDAR-dataene (Kartverket, 2019b). Dataene ble brukt til å observere landformer og strukturer det ikke var mulig å se i felt. LIDAR-data (*Light Detection And Ranging*) er en fjernmålingsteknikk, som lager et kart basert på varigheten mellom det utsendte og det reflekterte lasersignalet (Arief et al., 2018). Ulike grader av skyggelegging, helningsgrad og hydeplott ble benyttet for å få fram de ulike strukturene og tydeligere grenser. I bilderedigeringsprogrammet GIMP ble observasjonene fra LIDAR-dataene tegnet inn, slik som nedskjæring fra elver, dreneringsspor etter elver og bekker, hauger og rygger av sedimenter, skredgroper og raviner.

Det kvartærgeologiske kartet utarbeidet i oppgaven har svakheter fordi det ikke var mulig å kartlegge alle aktuelle områder, og medførte bruk av interpolering og eksisterende materiale. Usikkerheten til posisjonene for de geologiske grensene og strukturene markert på det kvartærgeologiske kartet, var at de ble overført fra feltkart og LIDAR-data til GIMP, og at mobiltelefonen ble brukt som GPS.

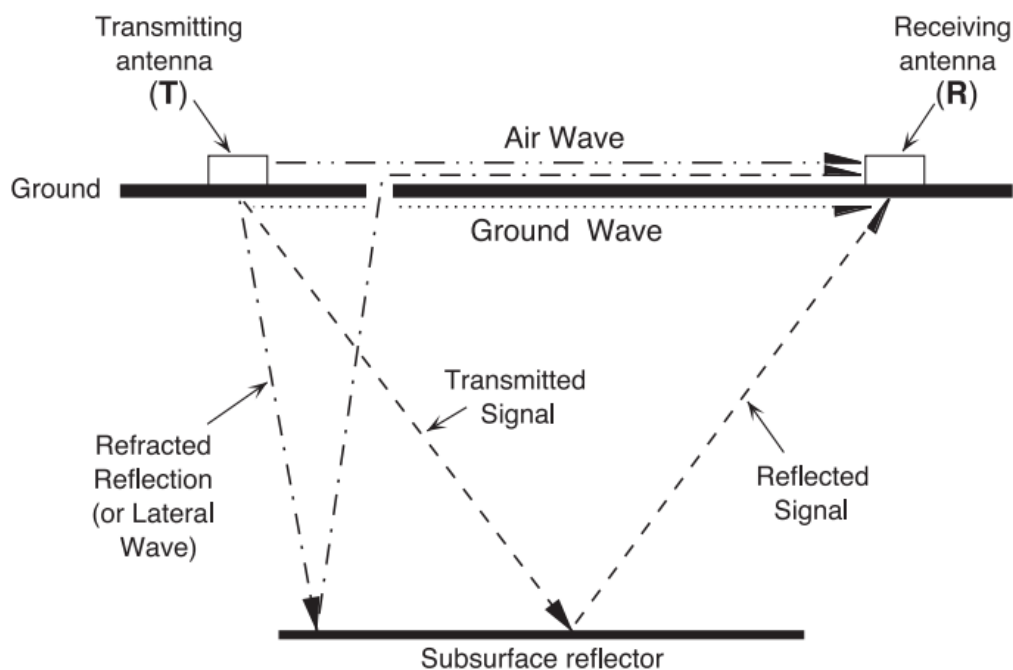
3.4 Georadar

3.4.1 Generelt om georadarunderskelsler

Georadar forkortes GPR (*Ground Penetrating Radar*), og er en ikke destruktiv geofysisk metode som under kartlegging raskt dekker et større område (Annan, 2003, s. 1). Metoden er vanlig å bruke på berggrunn, jord, sedimenter og i ferskvann. I oppgaven er georadarunderskelsler brukt for å kartlegge lagdelinger, sedimentinnhold og sedimentære strukturer, for bedre å forsta geologien i området (Bristow & Jol, 2003a, s. 1). Kryssjikt og erosjonsflater er strukturer det er mulig å observere på georadarundersøkelsene, og de kan benyttes til å si noe om avsetningsmiljø, jordartstyper og stratigrafi (Neal, 2004).

3.4.2 Prinsippene bak georadarundersøkelser

Metoden går ut på å sende elektromagnetiske bølger i gitte frekvenser mellom 10 MHz til 3 000 MHz ned i bakken, for å observere endringene i de dielektriske verdiene til sedimenter (figur 3.5) (Statens vegvesen, 2018, s. 305). Ulike sedimenter har definerte intervaller for dielektriske verdier, som er basert på mineralsammensetning, vanninnhold og porøsitet (Statens vegvesen, 2018, s. 305). Figur 3.5 viser at de elektromagnetiske bølgene blir reflektert tilbake når de treffer grenser med ulike dielektriske verdier. De elektromagnetiske bølgene som ikke blir reflektert tilbake fortsetter nedover i bakken og reflekteres tilbake når de møter sedimenter med annen dielektrisk verdi (Statens vegvesen, 2018, s. 305).



Figur 3.5: Skisse over de elektromagnetiske bølgene mellom sender og mottaker antennene for luftbølger, grunnbølger, refrakterte bølger og reflekterte bølger (Neal, 2004).

Frekvensen på georadaren og type sedimenter i grunnen påvirker dybde og detaljnivå oppnådd på georadarprofilen. Høyfrekvente elektromagnetiske bølger går grunnere ned i bakken sammenlignet med lave frekvenser, mens høyere frekvenser gir bedre detaljnivå på georadarprofilene (Annan, 2003, s. 1). I sedimenter med høyt innhold av vann som i leire blir de elektromagnetiske bølgene reflektert i alle retninger, og dette fører til kort dybde på dataene og få detaljer på georadarprofilene (Statens vegvesen, 2018, s. 307).

De elektromagnetiske bølgene kan bli påvirket av ulike gjenstander som strømmaster, metallrør i bakken og de geologiske forholdene i grunnen. Georadarundersøkelsene ble forsøkt utført i områder hvor det var minimalt med forstyrrelser. Mobiltelefonen ble slått av fordi den kunne påvirke de elektromagnetiske bølgene.

3.4.3 Oppsett

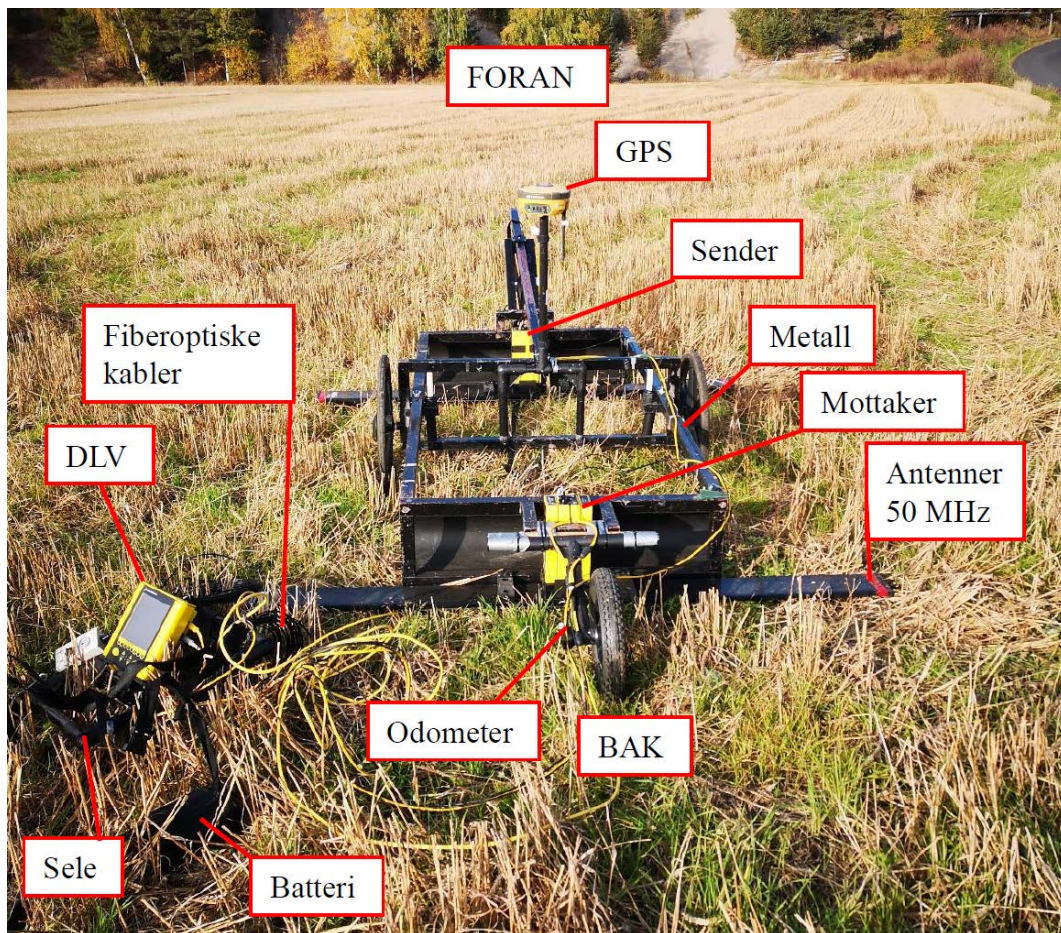
Georadaren som ble brukt i oppgaven var en Pulse Ekko Pro fra Sensors & Software Inc. Georadarapparatet består av sender, mottaker, GPS, antenner, DVL (digital video logger), batteri og odometer. På grunn av varierende terreng ble det brukt forskjellige typer vogner, og systemet var koblet sammen som vist i figur 3.6-3.7. Fiberoptiskekabler ble brukt for ikke å påvirke de elektromagnetiske bølgene, og var festet på en sender og en mottaker til DVL-en.

Da vogna ble dratt bortover ble georadarprofilen generert på DVL-en basert på toveis reisetid fra de reflekterte signalene. Det ble satt inn standardverdier for hastigheten på lagene i området basert på en antagelse om at det var sandavsetninger (Bristow & Jol, 2003b, s. 15). Det var mulig å endre hastigheten til lagene under prosesseringen av data.

De elektromagnetiske bølgene ble sendt ned vertikalt for å unngå tilbakevendte signaler, og på den måten minimere støyen (Bristow & Jol, 2003b, s. 15). Senderen var montert foran på vogna og mottakeren bak, og begge var koblet direkte på antennene. De reflekterte signalene ble registrert av en mottakerantenne på overflaten, og ble overført til en forsterker (DVL).

På Mælingen ble georadarundersøkelsene utført på et jorde med kupert terreng, og høytuster som stakk opp reduserte fremkommeligheten til vogna. Det ble brukt en robust vogn som ble dratt bortover forfra (figur 3.6). DVL-en var montert i en sele på en person som gikk bak vogna, med batteriet i et belte rundt magen. Georadarprofilen med 50 MHz antenner hadde en avstand på 2 meter mellom antennene.

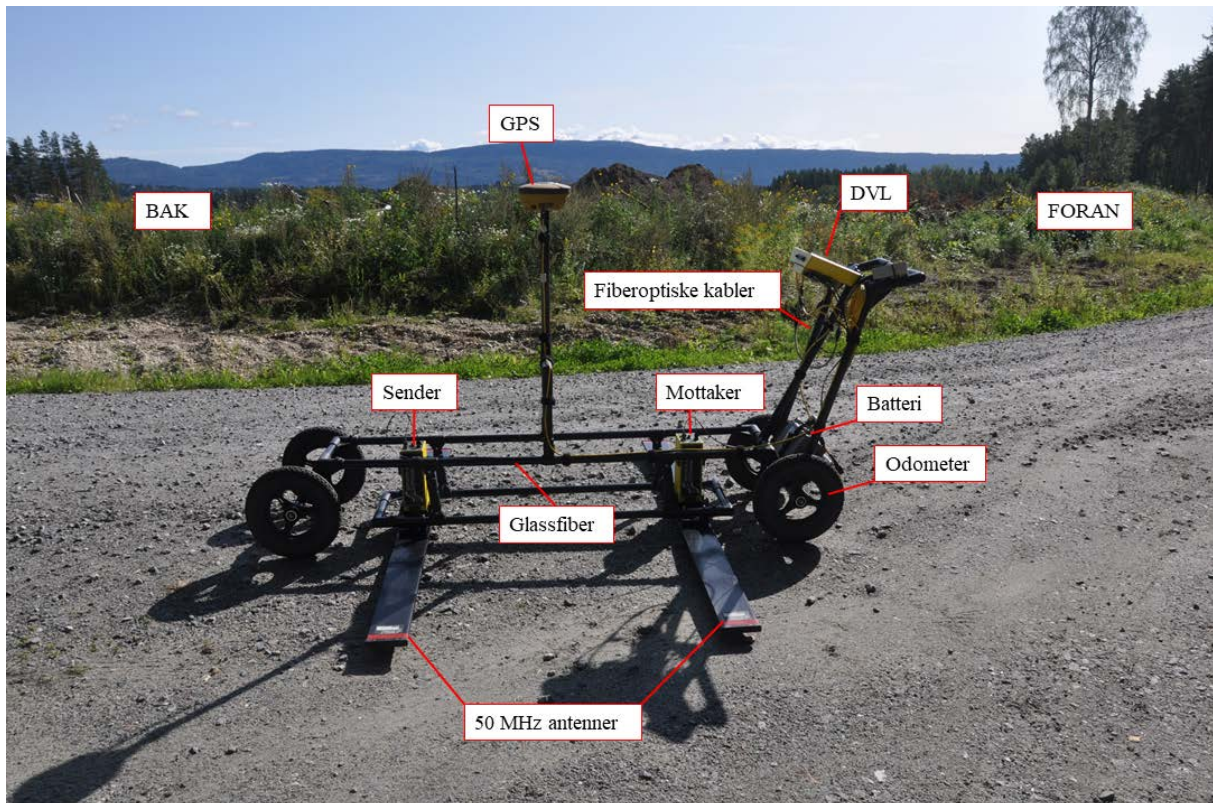
Tidsvinduet på 720 nanosekunder ble brukt for å utelukke signaler som ikke var av interesse for våre data, og på den måten redusere støyen (Bristow & Jol, 2003b, s. 13). Flytteavstanden var på 0,51 meter, som var avstanden mellom innsamlet data målt fra odometeret på hjulet (Bristow & Jol, 2003b, s. 13). Området hvor de reflekterte signalene blir samlet er basert på formelen $\lambda / \text{frekvens}$ og blir kalt for tidsinnsamlingsintervall, for de 50 MHz antennene var den på 1600 picosekunder (Bristow & Jol, 2003b, s. 13). For 200 MHz var tidsvinduet på 340 nanosekunder, avstanden mellom antennene på 0,50 meter, flytteavstanden på 0,10 meter og tidsinnsamlingsintervallet på 400 picosekunder.



Figur 3.6: Oppsettet for georadaren brukt på et jorde på Mælingen med 50 MHz antenner. 200 MHz antenner hadde samme oppsett, men mindre antenner og kortere avstand mellom mottaker og sender. Foto: Pottier, Ingrid Austad.

På Prestmoen ble georadaren montert på en SmartCart bestående av glassfiber laget for å undersøke store overflater (figur 3.7). Antennene som var montert på vogna var både 50 MHz og 100 MHz. Avstanden mellom sender og mottaker var på 1 meter som var for kort for 50 MHz, og det oppsto støy i det øverste laget. På Prestmoen hadde GPS-en problemer med å komme i kontakt med satellittene på grunn av tett skog på deler av strekningen. En ekstern GPS ble brukt som supplement til elevasjonsdata for å oppnå bedre topografi.

Georadarprofilen generert med 50 MHz antenner på Prestmoen hadde et tidsvindu på 1120 nanosekunder, en flytteavstand på 0,50 meter og et tidsinnsamlingsintervall på 1600 picosekunder. For 100 MHz målingene utført på Prestmoen ble det brukt et tidsvindu på 780 nanosekunder, flytteavstand på 0,25 meter og et tidsinnsamlingsintervall på 800 picosekunder.



Figur 3.7: Georadaren brukt på Prestmoen med antenner på 50 MHz montert. Tilsvarende avstand og oppsett ble brukt ved 100 MHz antenner som var kortere. Foto: Pottier, Ingrid Austad.

3.4.4 Etterarbeid av georadardataene

Dataprogrammet *EKKO_Project 5* ble brukt for å arbeide med georadarprofilene, og gjorde det enklere å fremstille, redigere, prosessere og tolke georadardataene (Sensors & Software Inc., 2015, s. 1). *Dewow* er utført på alle georadarprofilene, og prosessen fjerner veldig lave frekvenskomponenter (Annan, 2003, s. 159). *LineView* visualiserer tverrsnittet av georadaropptakene, og er en del av programvarepakka til *EKKO_Project 5* (Sensors & Software Inc., 2015, s. 1). I *LineView* var det mulig å endre fargenyansene på georadarprofilene for å få fram tydeligere laggrenser og strukturer avhengig av fargenyansene som ble brukt.

Georadarprofilene på Mælingen utført med 50 MHz og 200 MHz hadde ulike traséer, og prosesseringen «*restore point*» ble benyttet. Prosesseringen var todelt og besto i å finne et nytt startpunkt og rekalkulere flytteavstanden basert på GPS posisjonene, for at profilene skulle ha like traséer. På Prestmoen ble det utført georadarundersøkelser med 50 MHz antenner, og på vei tilbake ble det byttet til 100 MHz antenner. Under bearbeiding av data ble profilet på

100 MHz antenner reversert for å få samme startposisjon som profilet med 50 MHz antenner. I *LineView* ble dybder i georadarprofilene som ikke var relevante fjernet for å få frem de viktigste dataene.

3.4.5 Kartlegging av georadarfacies

Tidligere i oppgaven ble det nevnt at endringer i de dielektriske verdiene fører til refleksjon av de elektromagnetiske bølgene, som gir ulike lagdelinger og strukturer på georadarprofilene. Dette danner grunnlaget for å kjenne igjen de ulike georadarfacies, og arbeidet med georadarprofilene var å gjenkjenne disse (figur 3.8). Georadarfacies er beskrevet basert på refleksjonskontinuitet, form, amplitude, interne refleksjonskonfigurasjoner og eksterne former (Èkes & Friele, 2003, s. 92). Bildebehandlingsprogrammet GIMP ble benyttet for å markere lagdelingene og strukturene observert på georadarprofilene tilknyttet georadarfacies i figur 3.8.

Refleksjonsmønster	Skisse	Fargekode	Beskrivelse
			Grenseflater
			Horisontale eller svakt hellende subparallele reflektorer
			Kaotiske refleksjonsmønstre
			Hellende lag
			Hyperbler

Figur 3.8: Refleksjonskonfigurasjoner med tolkninger av georadarfacies.
Modifisert fra Neal (2004).

3.5 Løsmassemodell i Leapfrog 3D GEO

Leapfrog 3D GEO er et modelleringsprogram som interpolerer laggrenser basert på datagrunnlaget og genererer en 3D-modell. Løsmassemodellen ble basert på detaljnivået til totalsonderingene. Sylinderprøvene, kornfordelingsanalysene og georadarprofilene ble brukt som supplement for å bestemme sedimenttyper og laggrenser på totalsonderingene. For lag under 40 meter ble det brukt totalsonderinger ettersom de andre metodene ikke gikk så dypt.

Dataene ble tolket og registrert i tre ulike Excel dokumenter «*collar*», «*geology*» og «*survey*» i formatet CSV. Dokumentene inneholdt navn på borehull, koordinater (x,y,z), lagdelinger, dybde, helning og asimut for borepunktene. Traséen med borepunkter gikk i en bueform og programmet genererte modellen i et blokkformat, som omkranset geologien i løsmassemodellen. Programmet interpolerte i områder uten borepunkter.

På grunn av interpolering i store deler av løsmassemodellen ble det generert et rutenett av overflaten i form av hjørner og trekanter i 3D basert på koordinatene i datagrunnlaget, og topografien ble generert basert på rutenettet. Koordinatsystemet til Bane NOR var ikke kompatibelt med DTM og TIF filene som ble lastet ned fra internett, og det var ikke mulig å omgjøre koordinatsystemet.

De ulike sand-, siltig leire- og siltig sandlagene fikk forskjellige navn for at programmet skulle tolke de som selvstendige lag. Siltig leire blir i oppgaven brukt om avsetninger som inneholder kornstørrelsene silt og leire, og noen ganger består lagene kun av leire. Siltig sand er avsetninger med kornstørrelse innenfor silt og sand. Laggrensene i løsmassemodellen ble generert med «*surface chronology → new deposit → from base lithology*». I de fem øverste lagene ble laggrensene generert med «*surface chronology → new deposit → from offset surface*» basert på overliggende litologier, fordi interpoleringen i programmet medførte at lagene ikke dekket hele området som forventet. Problemet oppsto spesielt på Prestmoen som lå høyere i terrenget enn Mælingen.

Da løsmassemodellen ble generert ble oppløsningen på de øverste laggrensene justert for at lagene skulle dekke hele modellen. Usikkerheten i løsmassemodellen var knyttet til tolkningen av grunndataene, spesielt fastsettingen av laggrensene, sedimentinnhold på totalsonderingene og korrelasjon mot nærliggende borepunkter. Programmet interpolerte i store områder og dette medførte at små lag forsvant, og at andre lag ble tykkere eller tynnere enn forventet.

3.6 Grunnvannsmodell i ModelMuse (MODFLOW)

Grunnvannsmodellen bygger på de tre nordligste elektriske poretrykksmålerene 4C11004, 4C11005 og 4C11009 i figur 3.9 på Mælingen, plassert på en linje tilnærmet vest-øst for grensebetingelsene Synneren og Storelva (Kartverket, 2019a). De elektriske poretrykksmålere er beskrevet i «3.1.2 Elektriske poretrykksmålere».

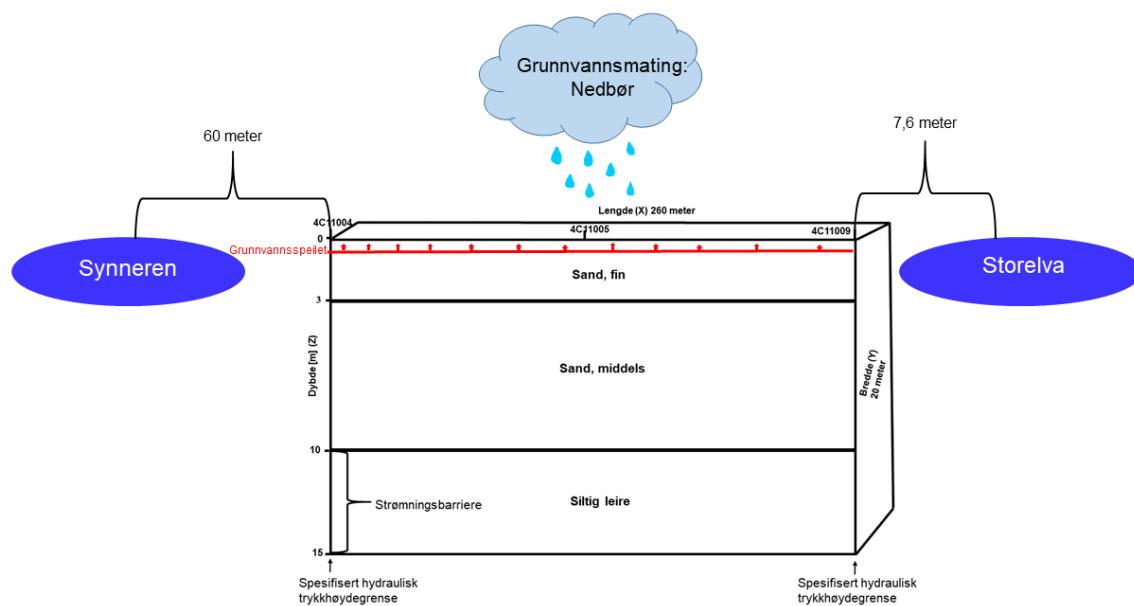
Modelleringsprogrammet ModelMuse versjon 5 ble benyttet gjennom programpakken MODFLOW (USGS, 2018a). Tilleggspakken GW_Chart ble brukt for å hente ut data for endringer i hydraulisk trykkehøyde, og dataene ble overført til Excel for å generere grafer (USGS, 2018b).



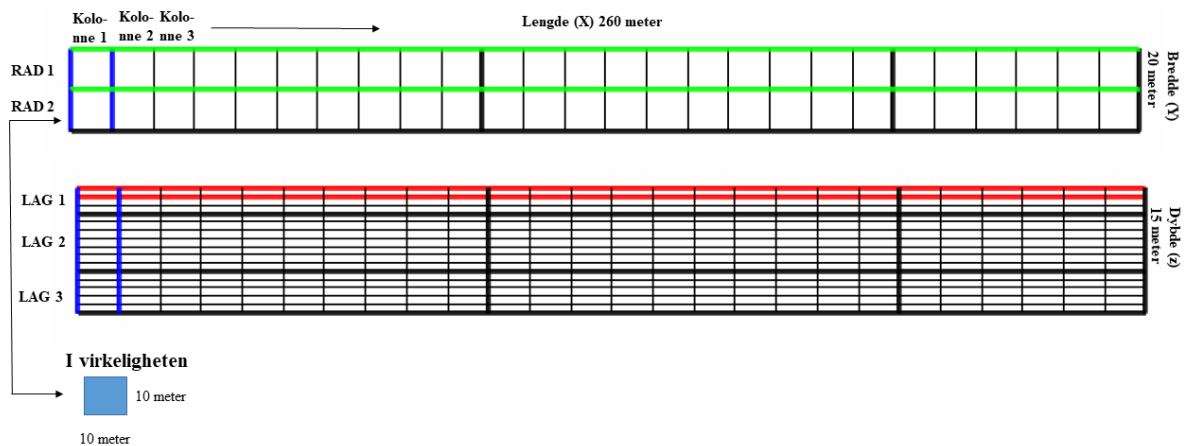
Figur 3.9: De elektriske poretrykksmålerene 4C11004, 4C11005 og 4C11009 på Mælingen hvor den sorte firkanten viser området for grunnvannsmodellen. Rød stiplet linje viser den planlagt traséen. Modifisert fra Norconsult et al. (2019c).

Vannstands nivået i Storelva og Synneren har ikke blitt overvåket, det har ikke vært installert måleinstrumenter i disse elvene. Den elektriske poretrykksmåleren 4C11004 ligger ca. 60 meter sør for Synneren og måleren 4C11009 ca. 7,6 meter vest for Storelva, og antas å representere elv nivåene (Kartverket, 2019a). Storelva og Synneren kontrollerer det generelle grunnvannsnivået på Mælingen, og infiltrasjonen mellom de to grensene vil kontrollere fluktuasjonen og høyden på grunnvannstanden for de ulike månedene. Det er forventet at grunnvannsstrømmingene på Mælingen vil foregå i de øverste 10-15 meterne med sedimenter (Norconsult et al., 2019b, s. 17).

Grunnvannsmodellen består av tre lag hvor de øverste 3 meterne er fin sand etterfulgt av et lag på 7 meter med middels sand, og fra 10-15 meter ned i grunnen et siltig leirelag (figur 3.10). Sandlagene simuleres som åpne akviferer (*convertible*) i grunnvannsmodellen. Siltig leirelaget med liten til ingen vannledningsevne vil fungere som en strømningsbarriere, og simuleres i modellen som en lukket akvifer (*confined*). Storelva og Synneren simuleres i grunnvannsmodellen med en spesifisert hydraulisk trykkehøydegrense (*specified head*). I MODFLOW ble modellen bygget opp med $x=260$ som lengde og $y=2$ som bredde, og dannet et rutenett med kolonner og rader på 10 meter x 10 meter (figur 3.11). Hvert lag ble inndelt i små lag på 1 meter (z-retning).



Figur 3.10: Konseptuell skisse av grunnvannsmodellen i MODFLOW.



Figur 3.11: Oppbyggingen av grunnvannsmodellen i MODFLOW.

Den initiale trykkehøyden til MOFLOW ble satt til å være vannstandsni vået i Storelva på 63 høydemeter over havet (Kartverket, 2019a). Simuleringene i MODFLOW ble kjørt med utregninger av den hydrauliske trykkehøyden én gang i måneden i ett år. Nedbørsmengden i 2019 for området ble hentet fra yr.no (Yr, 2019), og dataene ble sjekket mot verdiene på eKlima (Meteorologisk institutt, 2019). Grunnvannsmodellen simulerer den mettede sonen, og 50 % av nedbøren blir til grunnvann basert på avrenningen for området, og dominerende kornstørrelse er sand (Karlsruud, et al., 2001; NVE, 2020). På Mælingen kan Storelva under flomperioder fungere som grunnvannsmating, men dette ble ikke tatt med i grunnvannsmodellen.

Verdiene for endringer i den hydrauliske trykkehøyden ble hentet fra den automatiske avlesningen på internett (NGI, 2019c). For hvert borepunkt ble det regnet ut et månedlig gjennomsnitt i endringene for hydraulisk trykkehøyde. Verdiene ble trukket fra terrenghøyden, og brukt som datagrunnlag i grunnvannsmodellen for hydraulisk trykkehøyde.

Dagens situasjon blir brukt om grunnforholdene slik de er i dag basert på utregninger og antagelser for Mælingen (tabell 1). Den hydrauliske konduktiviteten for sand på Mælingen ble regnet ut av Norconsult et al. (2019b, s.17) ved bruk av Hazens formel (1911) basert på kornfordelingsanalysene. For siltig leire ble den hydrauliske konduktiviteten satt til å være middelverdien etter Schwartz & Zhang (2003, s. 51). Grunnvannet strømmer i tre dimensjoner (x, y, z) i anisotropiske forhold, og den hydrauliske konduktiviteten er retningsavhengig ved endringer i vannstrømningen (Schwartz & Zhang, 2003, s. 55). Den hydrauliske konduktiviteten er satt inn i K_x i MODFLOW, $K_y=K_x$ og K_z er $1/10K_x$.

Det eksisterer ingen data for spesifikk lagring og drenerbart porevolum for Mælingen. For spesifikk lagring ble minimumsverdien for kompakt sand og medium siltig leire etter Batu (1998, s.61) benyttet. For drenerbart porevolum ble middelsverdien for fin sand og middels sand, og middelsverdien mellom silt og leire etter Johnson (1967, s.1) benyttet. Verdiene ble valgt fordi det antas at sedimentene i de øverste 10 meterne er lite kompaktert, og dette indikerer at vannet kan strømme igjennom de store porene. I en åpen akvifer er det drenerbare porevolumet lik den effektive porøsiteten (NGU, 2020).

Simuleringene i grunnvannsmodellen etter utbyggingen er basert på hvordan hydraulisk konduktivitet, spesifikk lagring og drenerbart porevolum kan bli påvirket av tyngden til Ringeriksbanen og ny E16 (tabell 1). Porøsiteten og permeabiliteten til sedimentene kan bli endret av tyngden til jernbanen og veien, og kan påvirke faktorer som den hydrauliske konduktiviteten og magasinkoeffisienten. Simuleringene ble gjort med samme grunnvannsmating som før utbyggingen.

Ren & Santamarina (2018) sitt studie viser at graden av kompaksjon og vanninnhold har betydning for hvor mye porestrukturen og porevolumet blir redusert. Reduksjon av hydraulisk konduktivitet under økende kompaksjon skyldes reduksjon i porestørrelse og porestruktur (Ren & Santamarina, 2018). Videre viser forsøkene at sammenpressing av sedimenter i liten grad endrer den hydrauliske konduktiviteten, men at lokale forhold som sedimentinnhold, porevolum, porestruktur og sortering har betydning (Ren & Santamarina, 2018). Den hydrauliske konduktiviteten antas å få en liten reduksjon etter utbyggingen.

Likning 6 viser at spesifikk lagring er avhengig av tykkelsen til akviferen, og at sammenpressing av masser vil føre til reduksjon i tykkelsen og mer kompakterte sedimenter. Maksverdien for sand og for medium leire ble brukt for spesifikk lagring etter Batu (1998, s.61). Bahmani og Bayram (2018) sier at vannstrømningene foregår i de største porene, som ved sammenpressing av sedimentene vil bli lukket først. De små porene blir ofte ikke komprimert under kompaksjon av sedimenter (Bahmani & Bayram, 2018). Basert på dette brukes laveste verdi for sand og laveste verdi mellom leire og silt etter Johnson (1967) for det drenerbare porevolumet.

Tabell 1: Verdier som ble brukt i grunnvannsmodellen.

Parametere	Dagens situasjon	Etter utbyggingen av Ringeriksbanen og ny E16
Hydraulisk	Sand: $1 \cdot 10^{-4}$ m/s	Sand: $1 \cdot 10^{-5}$ m/s
konduktivitet (K)	Siltig leire: $1 \cdot 10^{-10}$ m/s	Siltig leire: $1 \cdot 10^{-11}$ m/s
Spesifikk lagring (S_s)	Fin sand: $4,92 \cdot 10^{-4}$ m ⁻¹	Fin sand: $1,02 \cdot 10^{-3}$ m ⁻¹
	Middels sand: $1,28 \cdot 10^{-4}$ m ⁻¹	Middels sand: $2,03 \cdot 10^{-4}$ m ⁻¹
	Siltig leire: $9,19 \cdot 10^{-4}$ m ⁻¹	Siltig leire: $1,28 \cdot 10^{-3}$ m ⁻¹
Drenerbart porevolum (S_y)	Fin sand: 21 %	Fin sand: 11 %
	Middels sand: 26 %	Middels sand: 16 %
	Siltig leire: 2 %	Siltig leire: 1 %

Grunnvannsmodellen ble verifisert ved å sammenligne resultatene fra simuleringene med det definerte punktet for den elektriske poretrykksmåleren 4C11005. Et lite avvik i dagens situasjon for poretrykksmåleren 4C11005 kan indikere at simuleringene i grunnvannsmodellen er reelle. Modellen kan benyttes til å simulere hvordan utbyggingen av Ringeriksbanen og ny E16 kan påvirke grunnvannet.

Genererte data i MODFLOW ble åpnet i GW_Chart som lager spesialiserte grafer til bruk i grunnvannsstudier (USGS, 2018b). Filene ble åpnet i formatet *fhd, lagret som tekstdokument og overført til Excel for bearbeiding av dataene. Svakheten ved grunnvannsmodellen er at den bygger på forenklinger av de geologiske forholdene og modelleringstekniske løsninger. De tynne siltig leirelagene som ble observert på totalsonderingene og på sylinderprøvene i Mælingen ble ikke tatt med i modellen.

4. Resultater

4.1 Observasjoner gjort i felt

Elve- og bekkeavsetninger (fluviale avsetninger)

I elve- og bekkeavsetningene var dominerende kornstørrelse sand med innslag av grus (figur 4.1). Prøver hentet opp med stikkepinne og skavelbor viste en variasjon i farger fra grå og brun til brunrød med godt avrundede korn. Observasjoner gjort i felt viste at sorteringene av elve- og bekkeavsetningene ble finere fra nord mot sør ut mot Tyrifjorden. Vegetasjonen i områder med elve- og bekkeavsetninger var furutrær og busker eller åpent landskap som ofte var lokalisert i nærheten av vann. I skogen lå det et lag med organisk materiale eller podsol over de fluviale avsetningene, opptil én meter. Elve- og bekkeavsetningene med antatt stor mektighet ble observert i et sammenhengende dekke, og i områder med et tynt dekke var det marine avsetninger under.



Figur 4.1: A) Elve- og bekkeavsetninger langs vannkanten på Røsholmstranda. B) Elve- og bekkeavsetninger i skogen ved Røsholmstranda. Svart prikk viser hvor prøven ble hentet, og skogen lå like ved vannkanten. Foto: Pottier, Ingrid Austad. Modifisert fra Kartverket (2019a).

Breelvavsetninger (glasifluviale avsetninger)

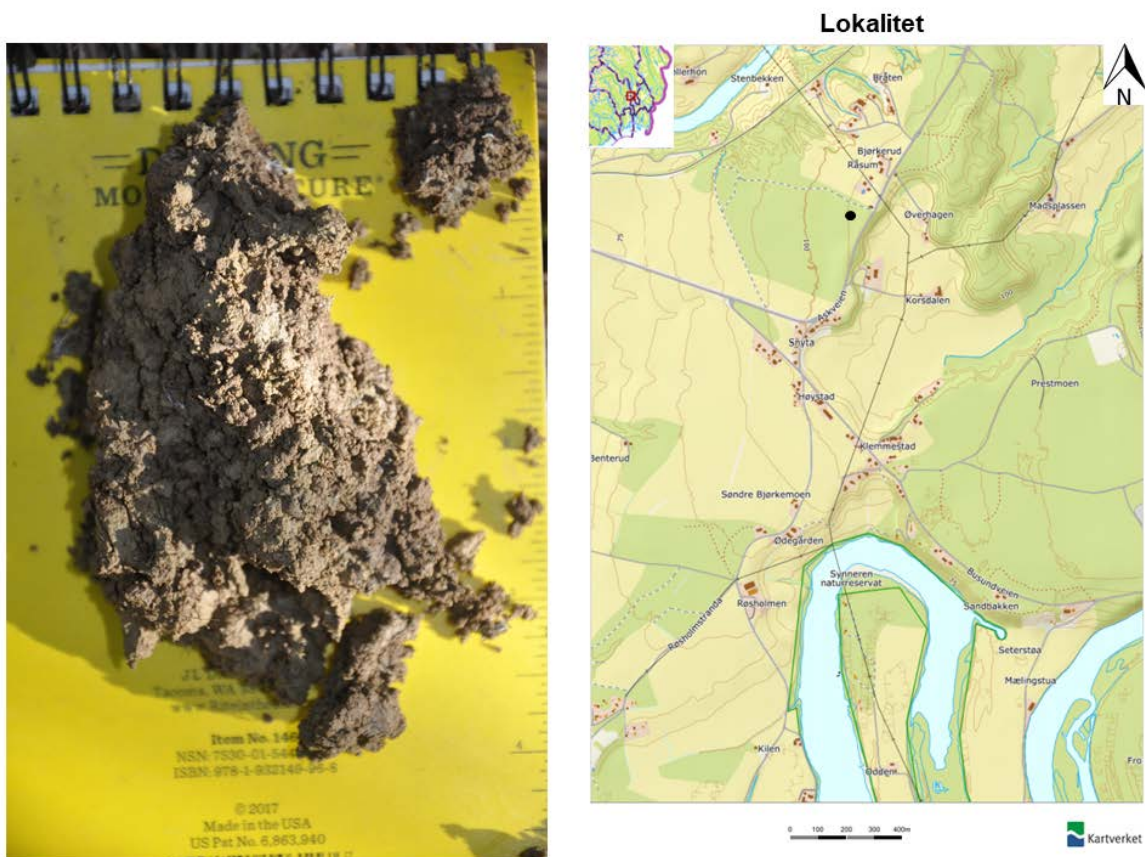
Figur 4.2 viser et eksempel på en prøve av breelvavsetninger tatt ved Tanberg. Observasjoner gjort i felt viste at breelvavsetningene i grove trekk var dårligere sortert og mindre avrundet sammenlignet med elve- og bekkeavsetningene. Breelvavsetningene hadde samme farge som elve- og bekkeavsetningene, og det var vanskelig i felt å skille mellom de ulike avsetningene. Det ble også observert skråstilte lag enkelte steder, og disse lagene hadde ofte en svak helning. Kornstørrelsene til breelvavsetningene var sand, men det ble også observert både finere og grovere sedimenter i små blotninger. Vegetasjonen i områder med breelvavsetninger var dominert av relativt tett furuskog, og terrenget var mer kupert enn i områder med elve- og bekkeavsetninger.



Figur 4.2: Breelvavsetninger fra Tanberg, svart prikk viser lokaliteten til prøven.
Foto: Pottier, Ingrid Austad. Modifisert fra Kartverket (2019a).

Hav- og fjordavsetninger (marine avsetninger)

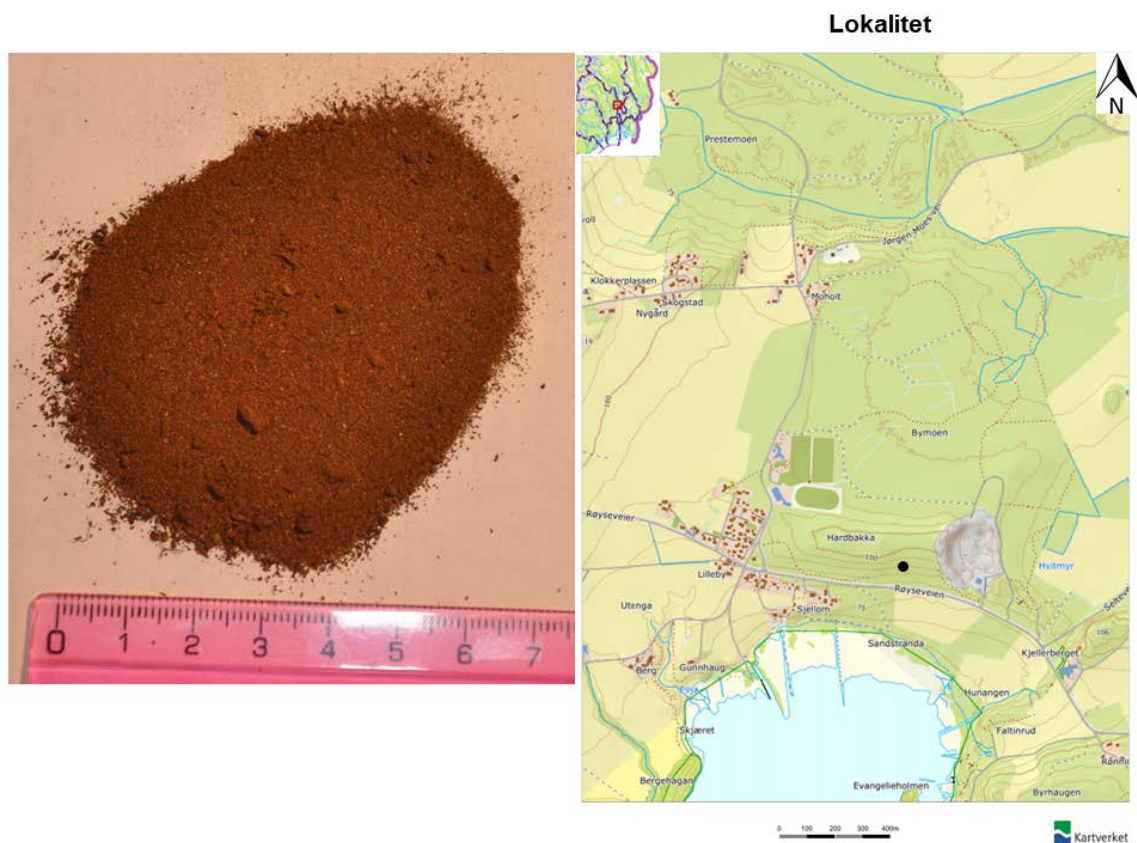
De marine avsetningene var finkornet sedimenter innenfor silt og leire (figur 4.3). Fargen på sedimentene var mørk grå mot mørk blå og enkelte prøver samlet seg i en klump. Områder med marine avsetninger var dominert av jordbruk, men det var også områder med trær og busker. Noen steder var det innslag av forvitningsmateriale og fjellblotninger. Mektigheten antas å være stor basert på observasjoner gjort i felt, og de marine avsetningene var for det meste i et sammenhengende dekke.



Figur 4.3: Hav- og fjordavsetninger hentet vest for Askveien markert med svart prikk.
Foto: Pottier, Ingrid Austad. Modifisert fra Kartverket (2019a).

Strandavsetninger (marine aggradasjonavsetninger)

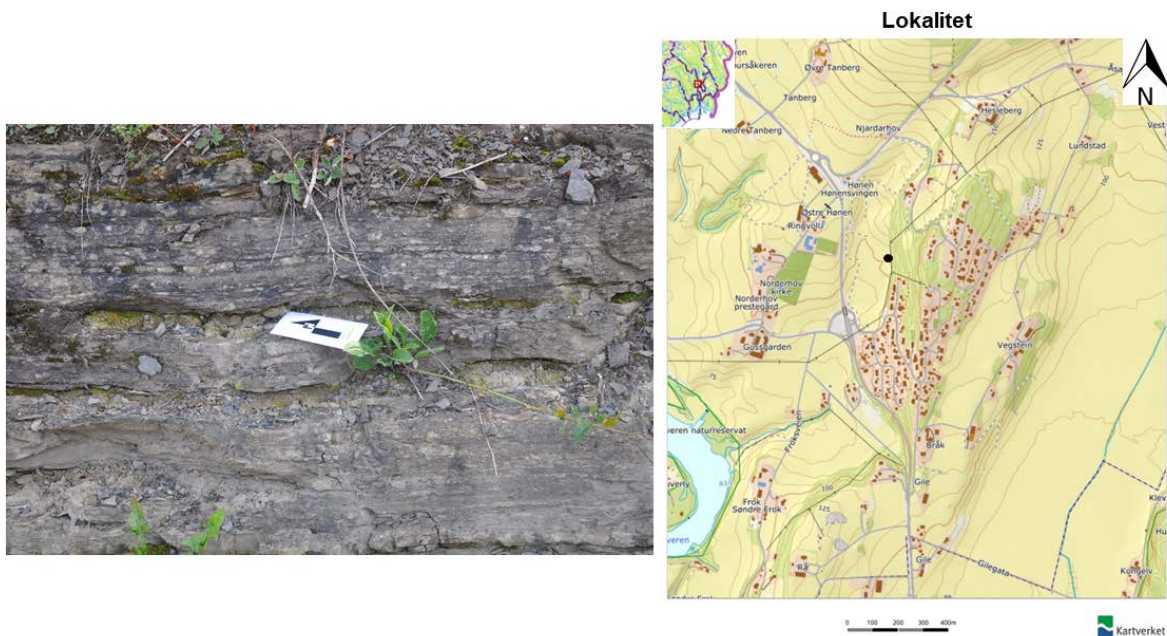
Figur 4.4 viser et eksempel på en prøve med strandavsetninger hentet ovenfor Røyseveien. Strandavsetningene var i et sammenhengende dekke lokalisert i den sørlige delen av strekning 4. Sedimentene var godt avrundet og sortert med en observert kornstørrelse innen sand, og lå som et tynt dekke over de marine avsetningene. Prøver tatt i området med strandavsetninger hadde en lyse brun til brun farge og området var dominert av furuskog. I felt var det vanskelig å skille mellom strandavsetninger, elve- og bekkeavsetninger og breelvavsetninger fordi avsetningene var ganske like.



Figur 4.4: Strandavsetninger tatt ved Røyseveien (svart prikk).
Foto: Pottier, Ingrid Austad. Modifisert fra Kartverket (2019a).

Forvittringsmateriale og bart fjell

Forvittringsmateriale lå ofte i et usammenhengende eller et tynt dekke over fjell. Innenfor strekning 4 er det ulike bergarter (figur 2.3). Observasjoner gjort i felt viste at deformert marmor er en dominerende bergart som består av tynne lag med lyse knoller i en mørkere matriks av skifer (knollekalk) (figur 4.5). De lyse knollene var i enkelte områder linseformet med grå til svart skifer imellom hver linse. Den deformerte marmoren hadde tilnærmet like strøkmålinger med varierende fall, og lå horisontalt med enkelte skråstilte lag. Forvittringsmateriale til den deformerte marmoren var forvitret i kløvretningen, og ble flere steder observert som blyantkløv. Sandstein ble observert i små områder i den sørøstlige delen av strekning 4, og hadde en rødlig farge.



Figur 4.5: Bart fjell i området innenfor strekning 4 med strøk på 357 grader og fall på 24 grader. Svart prikk viser hvor prøven ble hentet. Foto: Pottier, Ingrid Austad. Modifisert fra Kartverket (2019a).

Torv og myr

Torv- og myrmateriale var å finne i mindre områder tilknyttet vann eller i områder hvor det tidligere hadde vært vann. Det største området med torv- og myrmateriale ble observert ved Lamyra.

Prestmoen grustak

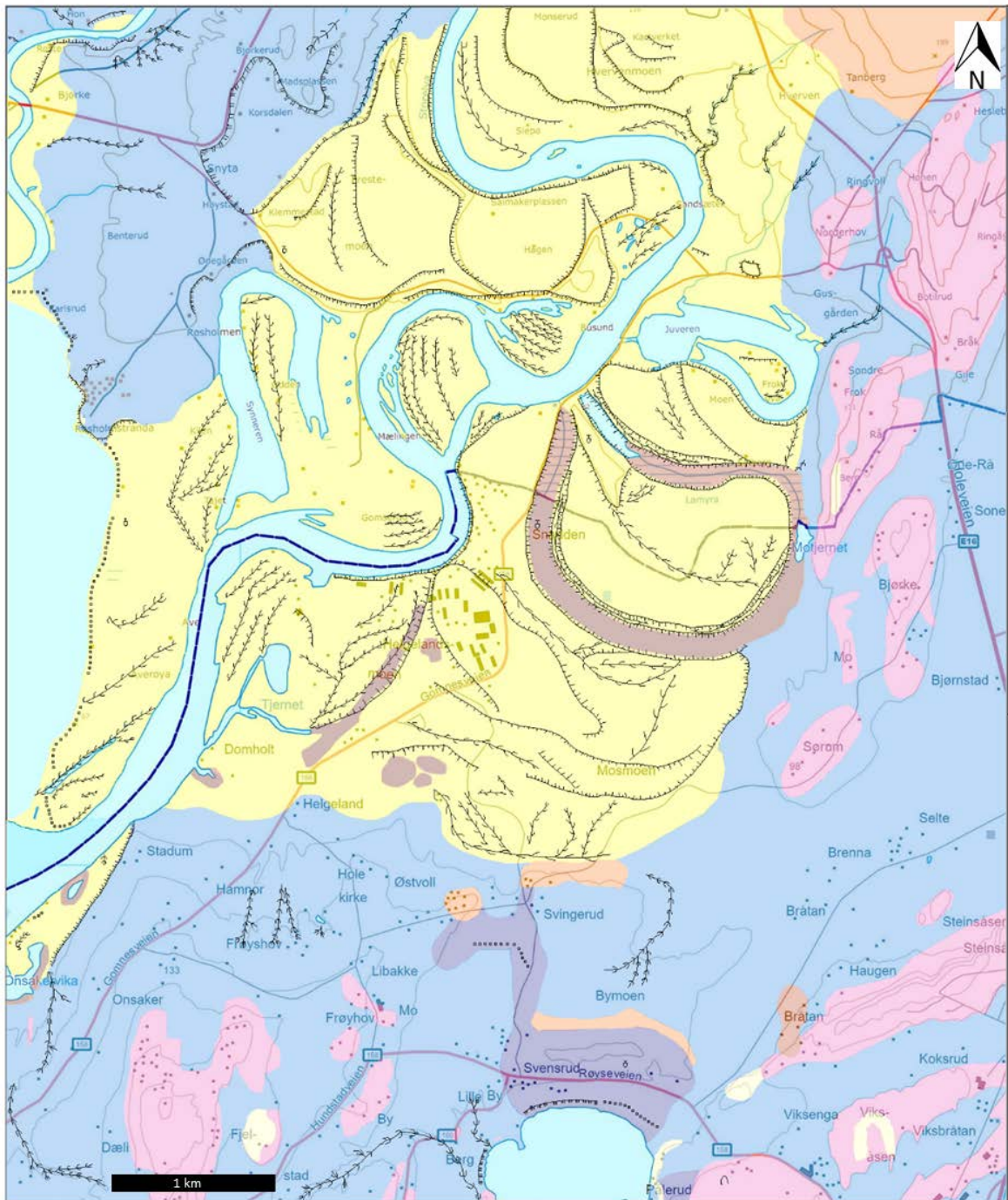
Blotningene på Prestmoen grustak viste lagdelingene i området bestående av vekslende lag med fin til grov sand og enkelte jordlag. Andre steder i blotningen var det grovere sandpartikler i en finere matriks av sand. Figur 4.6 viser at det øverste laget ligger som en bue over skrålagene, som alle heller samme vei. Skrålagene antas å være den midtre delen av deltaet, som tidligere dekket store deler av området innenfor strekning 4.



Figur 4.6: Blotning i grustaket på Prestmoen hvor de røde strekene viser skrålagene.
Foto: Pottier, Ingrid Austad.

4.2 Kvartærgeologisk kart


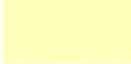
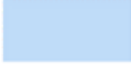



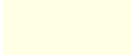
Det kvartærgeologiske kartet i figur 4.7 med tegnforklaring i figur 4.8 er basert på overflateobservasjoner gjort i felt og LIDAR-data. Satellittbilder, flyfoto og eksisterende kart er brukt som supplement. Figur 4.9 viser eksempler på hvordan LIDAR-dataene er tolket. Vedlegg 1 viser hvilke områder som har vært kartlagt for det kvartærgeologiske kartet.



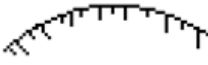
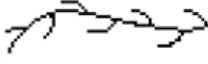



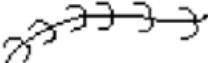

Figur 4.7: Det kvartærgeologiske kartet. Modifisert fra NGU (2019a).

Tegnforklaring

LØSMASSER

	Breelvavsetninger (Glasifluviale avsetninger)
	Elve- og bekkeavsetninger (Fluviale avsetninger)
	Hav- og fjordavsetninger (Marine avsetninger) Sammenhengende dekke, ofte med stor mektighet.
	Strandavsetninger (Marine aggradasjonavsetninger) Sammenhengende dekke.
	Forvittringsmateriale Usammenhengende eller tynt dekke over bart fjell.
	Torv og myr (Organisk materiale)
	Bart fjell

ANDRE SYMBOLER

	Nedskjæring av elv (Fluvial nedskjæring)
	Dreneringsspor etter elv eller bekk i løsmateriale
	Hauger og rygger av sedimenter
	Skredgrop
	Grustak
	Raviner
	Kommunegrense

Figur 4.8: Tegnforklaring til det kvartærgeologiske kartet. Modifisert fra NGU (2019a).

Tolkning av LIDAR-dataene gikk ut på å kjenne igjen landformer og strukturer, som nedskjæringer fra elver, dreneringsspor etter elver og bekker, hauger og rygger av sedimenter, skredgroper og raviner. Nedskjæringer fra elvene i området hadde en bratt forsenkning ned til et flatere parti i de fluviale avsetningene. Observert stort sett i nærheten av allerede eksisterende elver som ved Storelva og kroksjøen til Storelva ved Lamyra (figur 4.9 A).

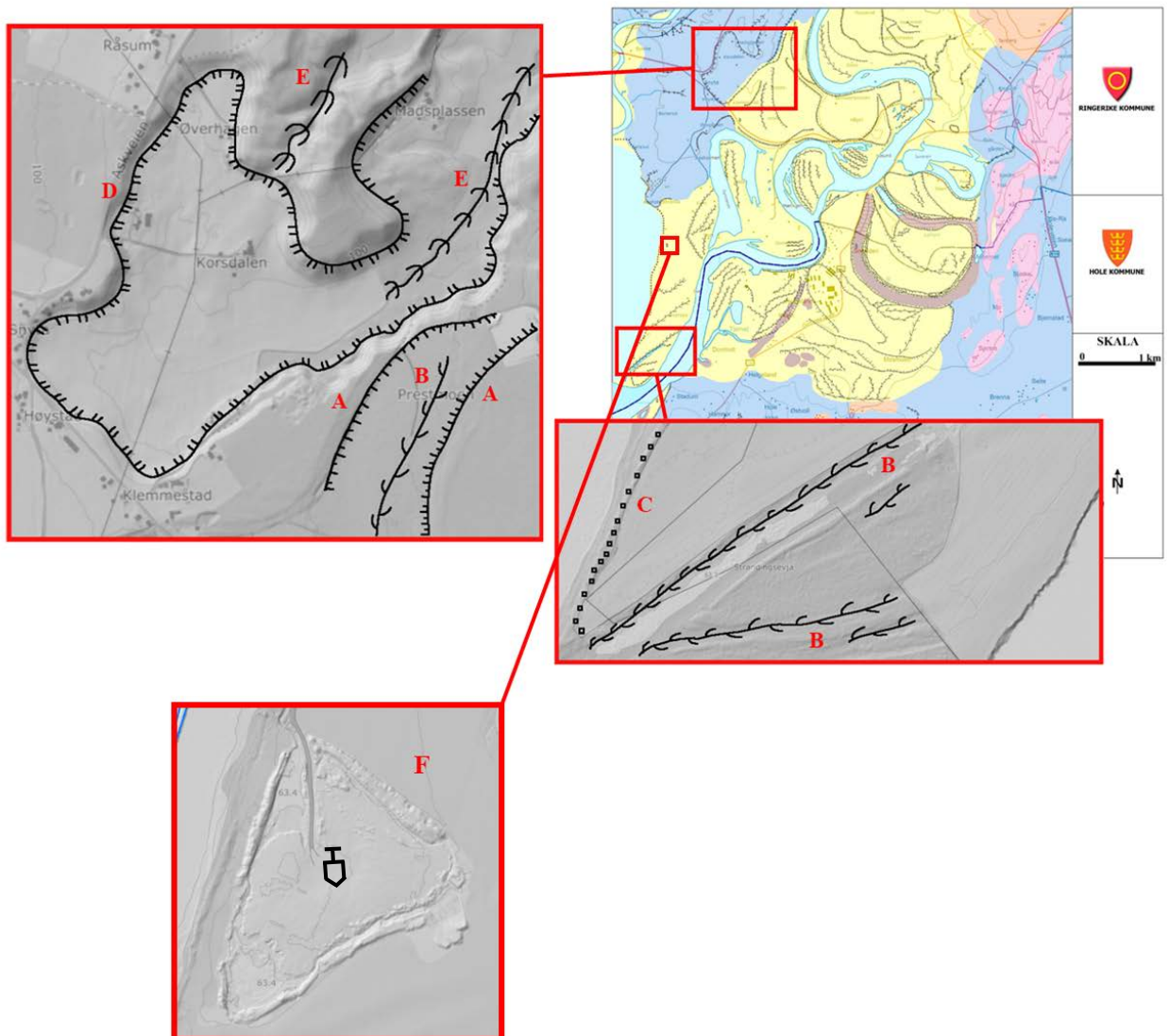
Dreneringsspor etter elver og bekker ble observert som kanaler med svake forsenkninger med en mild kant opp i de fluviale avsetningene (figur 4.9 B). Kanalene til dreneringsspor etter elver og bekker viste hvor vannet hadde gått. Flere steder kunne de følges et lite stykke, og noen endte i dagens elver og andre midt i de fluviale avsetningene. På elvenesbanken på Gomserud, Mælingen hvor området var relativt flatt lå dreneringsspor etter elver og bekker tilnærmet parallelt.

Dette ble også observert på Busund, Tjernet og kroksjøen ved Mælingen, og andre relativt flate områder. Dreneringsspor etter elver og bekker var noen steder så svake at de var vanskelige å observere i stor skala på LIDAR-dataene. Det ble brukt en høy grad av zooming, ulike grader av helning og skyggerelieff for å observere de svake strukturene. Menneskenes bearbeiding av jordoverflaten har fjernet dreneringsspor etter elver og bekker spesielt i jordområder.

Hauger og rygger av sedimenter ble observert som opphøyninger i terrenget. Ryggene kunne ofte følges et stykke, som på Averøya langs vannkanten mot Tyrifjorden og nordover (figur 4.9 C). Skredgroper er tydelige forsenkninger i terrenget med helning innover i en tilnærmet oval form, ofte med en åpning i den ene enden. På Korsdalen er skredgropen relativt lukket med en åpning i den nordlige enden (figur 4.9 D). Andre steder som på Ødegården har skredgropene en halv oval form, og viser at formen på skredgropene kan variere.

Skredgroper og raviner i de marine avsetningene kan tyde på kvikkleireområde hvor det har gått skred (figur 4.9 E). Innenfor strekning 4 var raviner lokalisert i de marine avsetningene og noen i de fluviale avsetningene. Forsenkningene til ravinene kunne følges et stykke og var tydelige i terrenget med bratte kanter opp fra en tynn forsenkning (figur 4.9 E). Ravinene hadde flere steder forgreininger ut fra hovedforsenkningen.

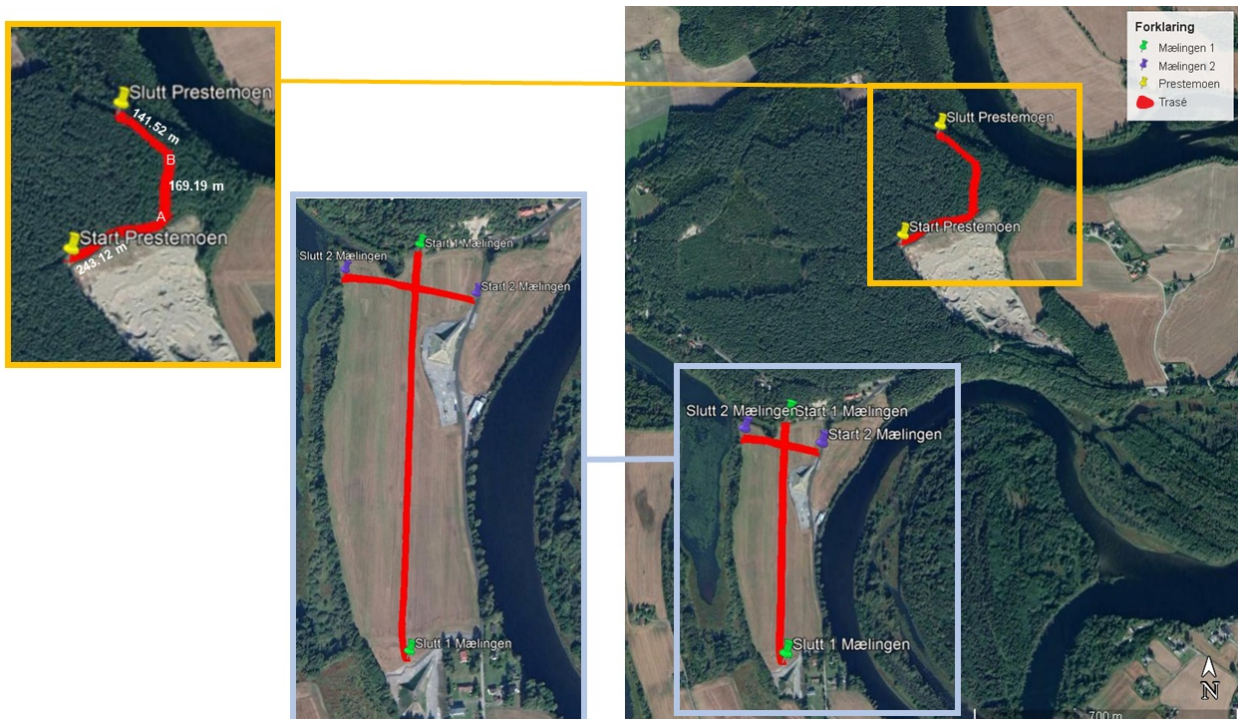
Grustakene hadde tydelige sandblotninger og de var lettest å observere på flyfoto.
På LIDAR-dataene hadde grustakene tilnærmet rund forsenkning, og en bratt helning ned i forsenkningen (figur 4.9 F).



Figur 4.9: Tolkning av LIDAR-data med eksempler fra det kvartærgeologiske kartet.
Modifisert fra Kartverket (2019b)

4.3 Georadar

Georadarundersøkelsene ble utført langs to kryssende linjer på lokaliteten Mælingen, og langs én linje på Prestmoen (figur 4.10). For å komme så dypt som mulig og for å få flere detaljer, ble det på Mælingen samlet inn georadarprofiler med både 50 MHz og 200 MHz antenner. På Prestmoen ble det benyttet både 50 MHz og 100 MHz antenner. Georadarprofilene tatt med 100 MHz og 200 MHz antenner ble kun brukt som supplement (vedlegg 2). Figurene 4.11, 4.12 og 4.15 viser georadarprofilene med beskrivelse og tolkninger av grenseflater og geologiske strukturer basert på georadarfacies i figur 3.8.



Figur 4.10: Oversiktskart med strekningene for georadarprofilene for Mælingen og Prestmoen. A og B markerer svingene i georadarprofilet på Prestmoen. Modifisert fra Google Earth (2019).

4.3.1 Georadarprofiler for Mælingen

Tolkning og beskrivelse av georadarprofilet med start 1 til slutt 1, Mælingen

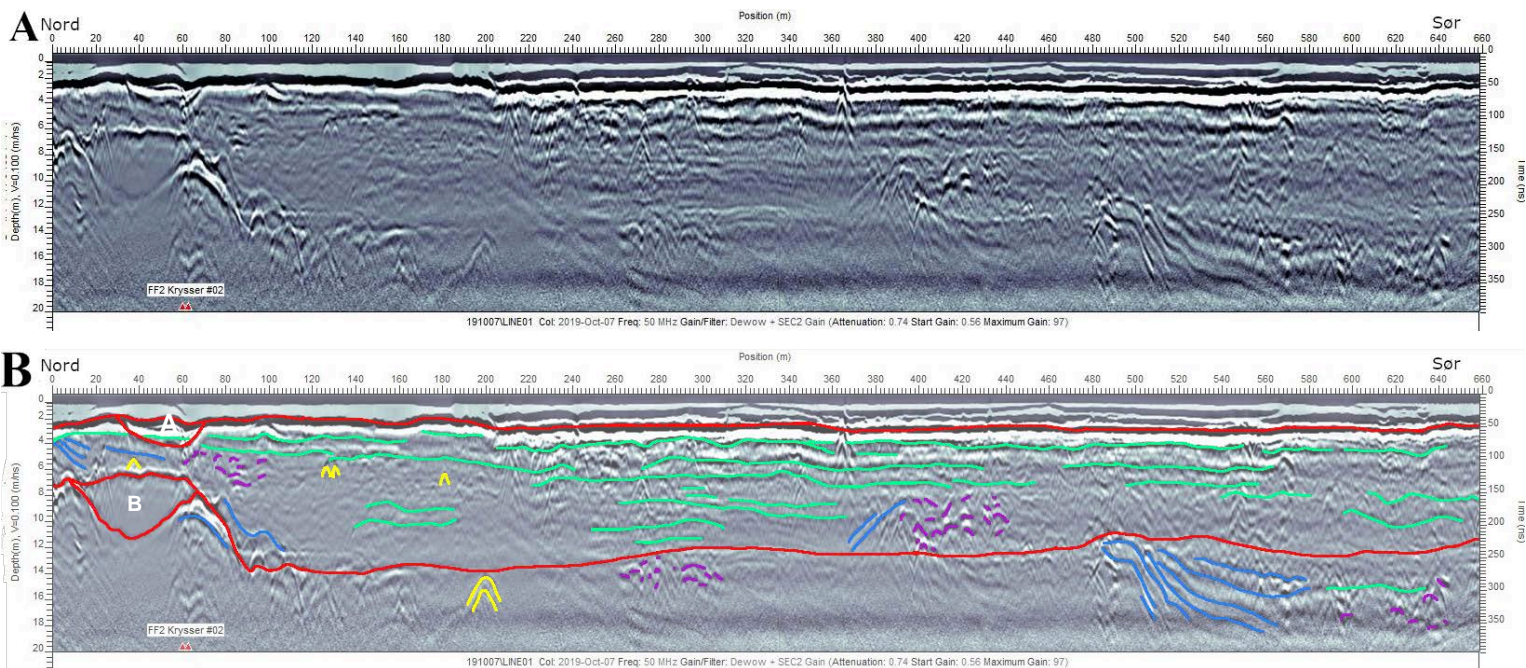
Georadarprofilet med start 1 til slutt 1, Mælingen ble utført fra nord mot sør (figur 4.11). Profilet har to grenseflater med start på henholdsvis 3 meter og 7,5 meters dyp med tydelige reflektorer (figur 4.11 rød), som går tilnærmet parallelt i horisontal utbredelse. Begge grenseflatene har konkave grenseflatekurver i det nordlige området på georadarprofilet. Bredden på den øverste konkave grenseflatekurven er ca. 40 meter (figur 4.11 A) og ca. 60 meter på den nederste (figur 4.11 B). De konkave grenseflatekurvene i georadarprofilet i figur 4.11 kan tyde på å være et tidligere elveløp med retning fra vest mot øst som har skåret seg ned i underliggende sedimenter.

Grunnvannsspeilet i området ligger på mellom 2-4 meters dyp (Norconsult et al., 2019b, s. 8), og øverste grenseflate på 3 meters dyp kan representere grunnvannsspeilet på Mælingen. Grenseflaten har en kraftig refleksor som er tilnærmet horisontal og kutter igjennom eksisterende strukturer. Nederste grenseflate med start på 7,5 meter ned i bakken får en bratt helning etter den konkave grenseflatekurven mellom 65-90 meter fra nord mot sør. Grenseflaten ligger da på 14 meters dyp, og tyder på å være et tidligere elveløp fra nord mot sør. Under grenseflaten er det kraftig redusert penetrasjon, som oftest forårsaket av de dielektriske verdiene til leire og silt. Grenseflaten med start på 7,5 meters dyp antas å vise skillet mellom et sandlag og et siltig leirelag.

Horisontale eller svakt hellende subparallele reflektorer (figur 4.11 grønn) ble lokalisert i området mellom de to grenseflatene på ulike dybder. Reflektorene viser endringer i de dielektriske verdiene i form av lag med likt sedimentinnhold, og tyder på samme hastighet under avsetning. Diskontinuiteter i de horisontale eller svakt hellende subparallele reflektorene som ble observert enkelte steder, kan tyde på endringer i hastigheten til avsatte sedimenter forårsaket av endringer i vannføring i elva, havnivå eller landheving.

I den nordlige delen av georadarprofilet i en dybde på 4-6 meter er det flere hellende lag mot nord (figur 4.11 blå), og noen grenser til en horisontal subparallell refleksor i en topplapp. Under grenseflaten på 14 meters dyp i området 450-580 meter er det også flere hellende lag mot nord. I de sentrale delene av georadarprofilet 300-400 meter fra nord mot sør heller lagene motsatt vei. De hellende lagene kan være sandbanker, som har bygget seg opp i de tidligere elvekanalene.

Kaotiske refleksjonsmønstre (figur 4.11 lilla) ble observert på varierende dybder i de fire områdene 58-100 meter, 260-310 meter, 390-440 meter og 590-650 meter. Stedvis kaotiske refleksjonsmønstre kan bety lommer med grus, som kan indikere en periode med høyere vannføring. De kaotiske refleksjonsmønstrene kan også være små rifler eller kryssjikt. Hyperblene (figur 4.11 gul) ble observert på varierende dybder i de første 210 meterne fra nord mot sør i georadarprofilen, og tyder på større partikler i form av grus, stein eller blokker nede i grunnen.



Figur 4.11: Georadarprofil med start 1 til slutt 1 på Mælingen (figur 4.10) med 50 MHz antenner.
 A) Etter prosessering og B) markering av reflektorer basert på georadarfacies i figur 3.8.
 F1 og F2 viser hvor figur 4.11 krysser figur 4.12.

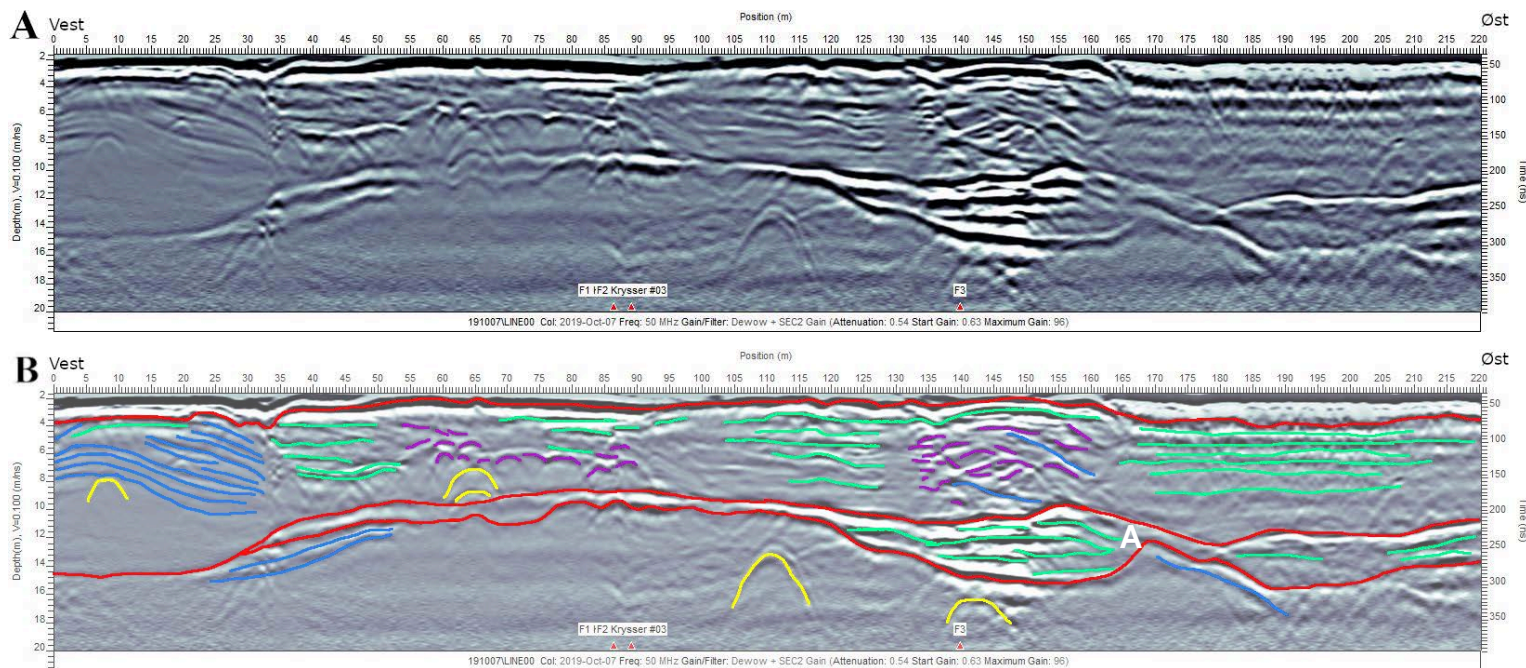
Tolkning og beskrivelse av georadarprofilet med start 2 til slutt 2, Mælingen

Georadarprofilet for Mælingen med start 2 til slutt 2 har retning fra vest mot øst med en grenseflate som starter på 3 meter og en på 14,7 meter ned i grunnen (figur 4.12 rød).

Grenseflaten med start på 3 meter har en kraftig reflektor, som kutter igjennom eksisterende strukturer og ligner på den øverste grenseflaten i figur 4.11. Nederste grenseflate på 14,7 meters dyp skråer svakt oppover til den deler seg i to linjer ved 30 meter fra vest mot øst. De to grenseflatelinjene fortsetter omtrent parallelt til 120 meter fra vest mot øst, hvor den nederste grenseflaten får en konkav grenseflatekurve med en bredde på ca. 50 meter i en dybde på 10-16 meter ned i grunnen (figur 4.12 A). Den konkave grenseflatekurven i georadarprofilet i figur 4.12 kan være et tidligere elveløp med retning fra nord mot sør, som har skåret seg ned i de tidligere avsetningene. Grenseflaten med start på 14,7 meter reduserer penetrasjonen, og kan være laggrensen mellom et sandlag og et siltig leirelag, og antas å være et tidligere elveløp fra vest mot øst.

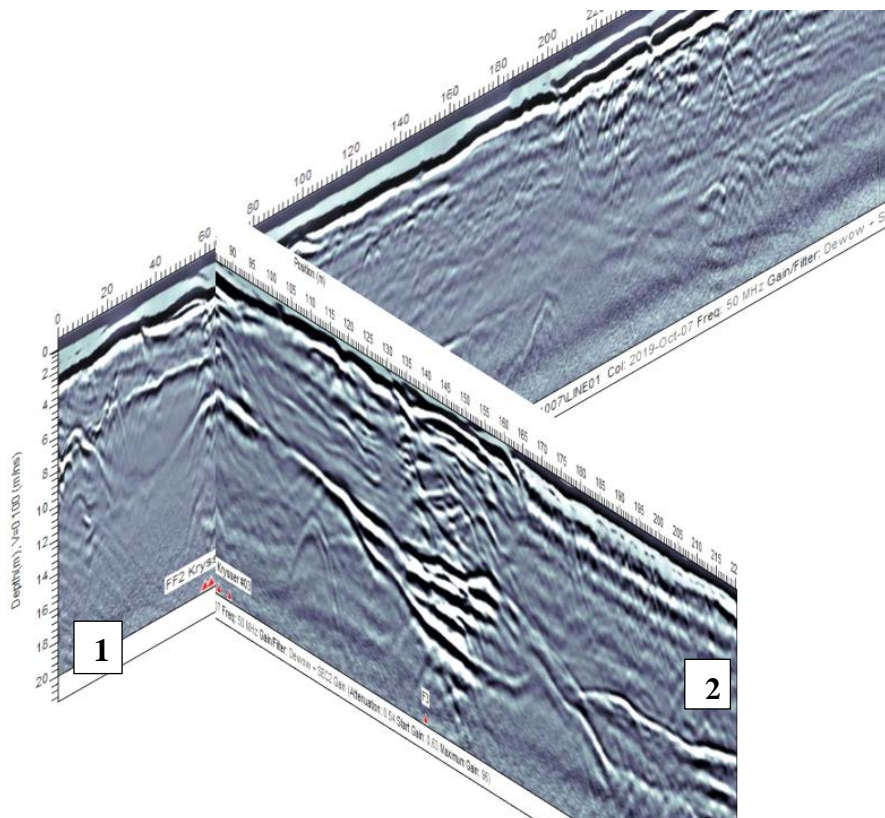
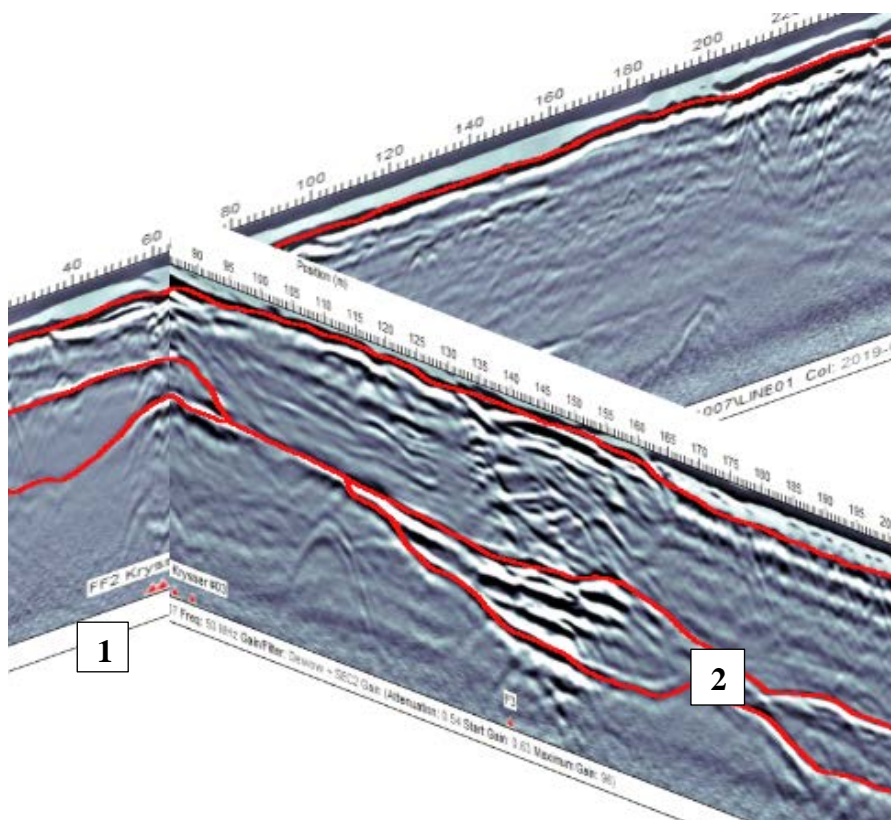
De horisontale eller svakt hellende subparallele reflektorene (figur 4.12 grønn) ble lokalisert i områdene 34-55 meter og 67-220 meter. De ligner på de horisontale eller svakt hellende subparallele reflektorene i figur 4.11, og sier noe om avsetningsmiljøet. De hellende lagene (figur 4.12 blå) ble lokalisert vest i georadarprofilet med helning mot vest. Under grenseflaten på 14,7 meter i området 20-55 meter fra vest mot øst heller lagene mot øst. Enkelte hellende lag ble også observert i midten av georadarprofilet med helning mot vest. De hellende lagene kan være sandbanker, som har bygget seg opp i tidligere elveløp eller rester fra delta.

På 4-10 meters dyp, i områdene 54-90 meter og 132-160 meter mot øst, ble det lokalisert kaotiske refleksjonsmønstre (figur 4.12 lilla), som kan være linser med gruspartikler, små rifler eller kryssjikt. Hyperblene (figur 4.12 gul) er jevnt fordelt i georadarprofilet, og viser områder med større partikler som grus, stein eller blokk i grunnen.



Figur 4.12: Georadarprofil med start 2 til slutt 2 på Mælingen (figur 4.10) med 50 MHz antenner. A) Georadarprofil etter prosessering og B) markering av reflektorer basert på georadarfacies i figur 3.8. F1 og F2 viser hvor figur 4.11 og figur 4.12 krysser og F3 viser en dam på jorden på Mælingen.

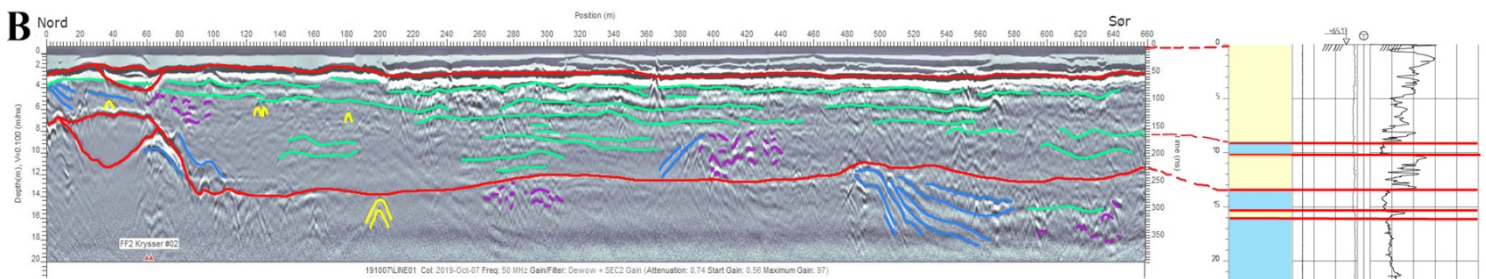
Figur 4.13 er en sammenslåing av lengdeprofilen fra nord mot sør utført fra start 1 til slutt 1 på Mælingen (figur 4.13 B1), og tversnittprofilen fra vest mot øst med start 2 til slutt 2 på Mælingen (figur 4.13 B2) i området hvor de korrelerer. Grenseflatene på 3 meter ned i grunnen korrelerer sammen på de to georadarprofilene. Det samme gjør også nederste konkave grenseflatekurve som ble tolket til å være et tidligere elveløp med retning fra vest mot øst i figur 4.13 B1, fortsetter fra vest mot øst i figur 4.13 B2. De kryssende georadarprofilene viser horisontal og vertikal utbredelse av lagene og grenseflatene, og gjør det mulig å kartlegge forskjellige retninger på ulike deler av det samme elveløpet. Dette viser at det tidligere også var et meanderende elveløp i området.

A**B**

Figur 4.13: Lengdeprofilen med start 1 til slutt 1 på Mælingen, og tversnittprofilen med start 2 til slutt 2 på Mælingen korrelert sammen. A) Uten grenseflater og B) med grenseflater (røde linjer).

Figur 4.14 viser korrelasjon mellom georadarprofilet i figur 4.11 og totalsonderingen til borepunktet S4-10003 som ligger ca. 50 meter sør for georadarprofilet (Kartverket, 2019a). Grenseflaten på 3 meters dyp på georadarprofilet var ikke synlig på totalsonderingene, som forventet fordi grenseflaten antas å være grunnvannsspeilet i området. Observasjoner av horisontale eller subparallele reflektorer tolkes til å være homogene sandavsetninger i georadarprofilet 3-9 meter ned i grunnen. Dette observeres også på totalsonderingene.

Det siltig leirelaget på 9-10 meters dyp på totalsonderingene er for tynt til å være synlig som en grenseflate på georadarprofilet. De horisontale eller subparallele reflektorene på ca. 9 meters dyp har redusert penetrasjon, og kan være et siltig leirelag. Etter ca. 10 meter på georadarprofilet er det diskontinuiteter i de horisontale eller subparallele reflektorene som tyder på sandavsetninger, og samsvarer med observasjoner gjort på totalsonderingen. Grenseflaten med start på 7,5 meter som etter hvert ligger på 14,7 meter på georadarprofilet korrelerer godt med siltig leirelaget på totalsonderingene som starter på 13,5 meter.



Figur 4.14: Eksempel på korrelasjon av georadarprofilet med start 1 til slutt 1 på Mælingen med totalsonderingen S4-10003 ca. 50 meter sør for georadarprofilet.

4.3.2 Georadarprofilen for Prestmoen

Tolkning og beskrivelse av georadarprofilen for Prestmoen

På Prestmoen ble georadarundersøkelsene utført på en grusvei ovenfor Prestmoen grustak (figur 4.15). Georadarprofilen i figur 4.15 ble delt i to på 275 meter for å få lesbare figurer i Word. Traséen besto av to svinger som kan påvirke observasjoner gjort i georadarprofilen (figur 4.10 A-B). Den øverste delen av georadarprofilen var støyete, og kan skyldes materiale som grusveien er laget av.

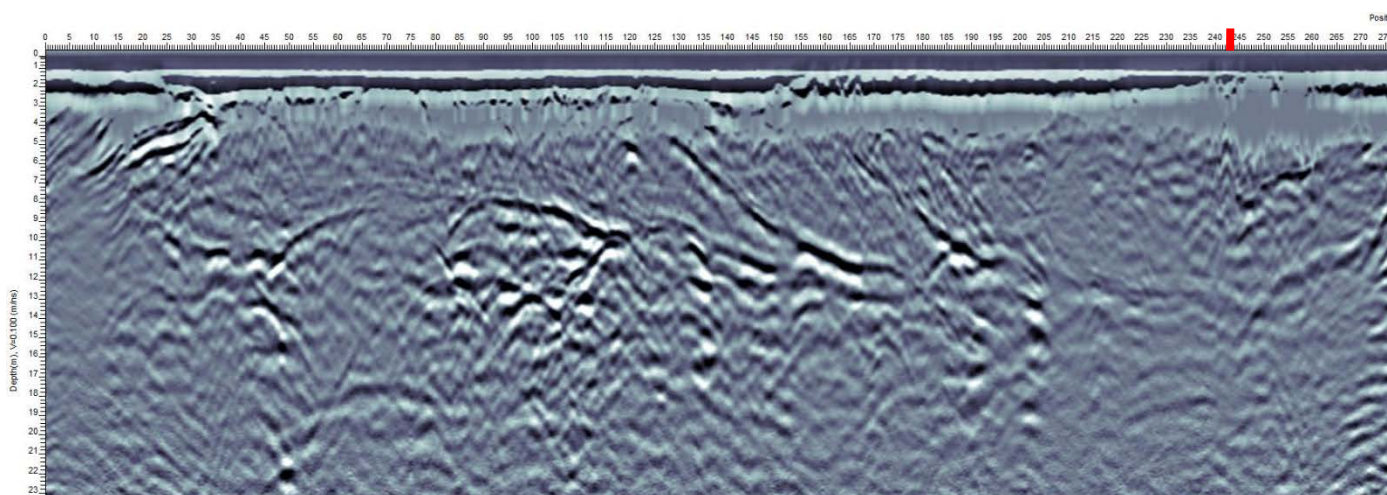
Georadarprofilen har tre grenseflater med start på 2 meter, 12 meter og 15,5 meter ned i bakken (figur 4.15 rød). Grenseflaten på 2 meters dyp er tilnærmet horisontal fra start til slutt, og kan være skiltet mellom grusveien og sandavsetningene. Grenseflatene på 12 meter og 15,5 meter ned i bakken starter parallelt med å skrå svakt oppover til 20 meter, flater ut og deler seg på 25 meter. Nederste grenseflate får en konkav grenseflatekurve med en lengde på 77 meter på 8,5-19 meters dyp, og inneholder kaotiske refleksjonsmønstre fra 76-137 meters dyp (4.15 lilla). Deler av det kaotiske refleksjonsmønsteret er utenfor den konkave grenseflatekurven, og tyder på avsetninger av sand i kryssjikt eller ulike skråninger på lagene.

Grenseflaten med start på 12 meters dyp fortsetter horisontalt til en pålapp på slutten av den konkave grenseflaten på 117 meter. De to grenseflatene møtes og fortsetter fra 117 meter sammen som én grenseflate i en svak bølgeform frem til 240 meter. Laget skråer bratt oppover på 240 meter, og ender i toppplappen til grenseflaten på 2 meters dyp.

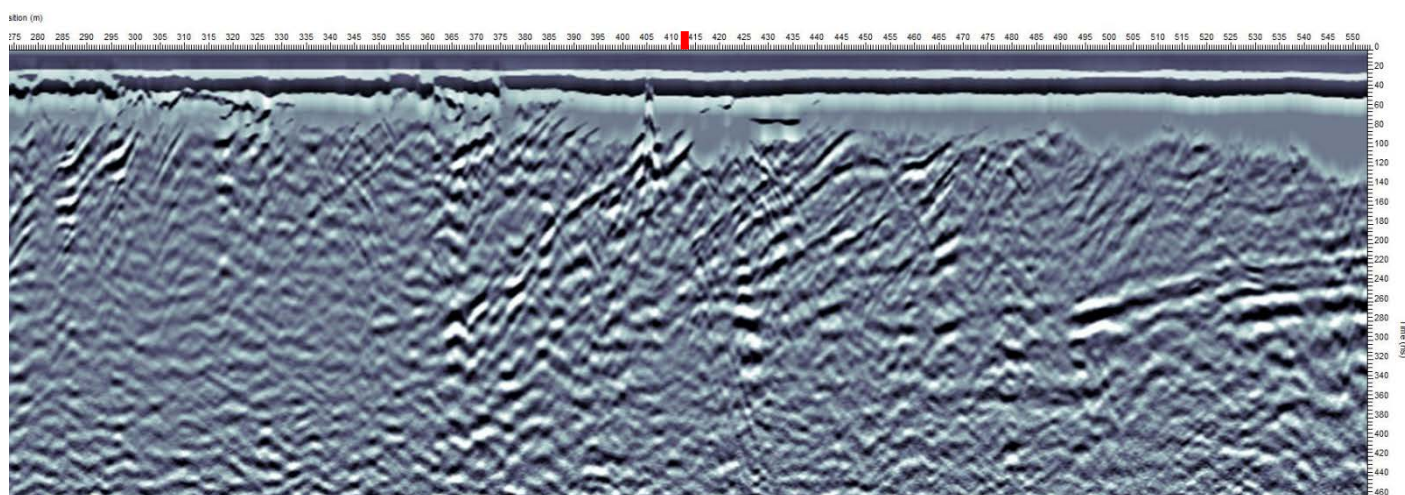
Horisontale eller svakt hellende subparallele reflektorer (figur 4.15-grønn) ble observert i områdene 27-76 meter som svakt bølgete, 300-345 meter som horisontale og 450-550 meter som svakt hellende. De svakt bølgete og svakt hellende reflektorene tyder på avsetninger med små variasjoner i hastighet i vannet eller tilførsel av sedimenter. De horisontale reflektorene antas å ha samme avsetningsmiljø med samme type sedimenter og lik hastighet i vannet. Diskontinuiteter i de horisontale eller svakt hellende subparallele reflektorene kan tyde på endringer i hastigheten til transporterte sedimenter, havnivåendringer eller landheving.

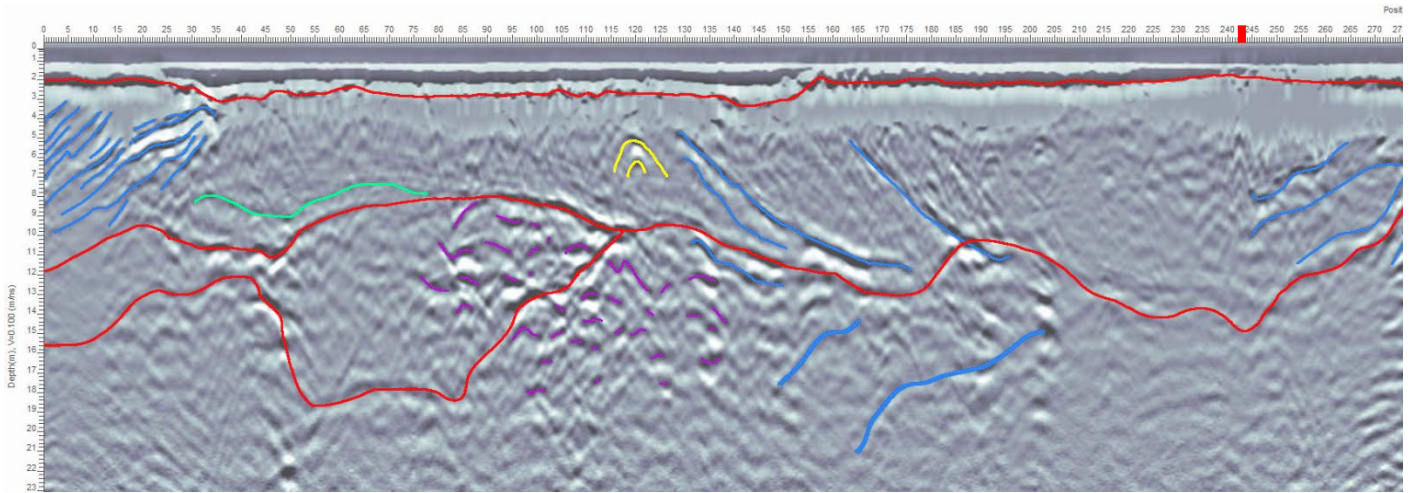
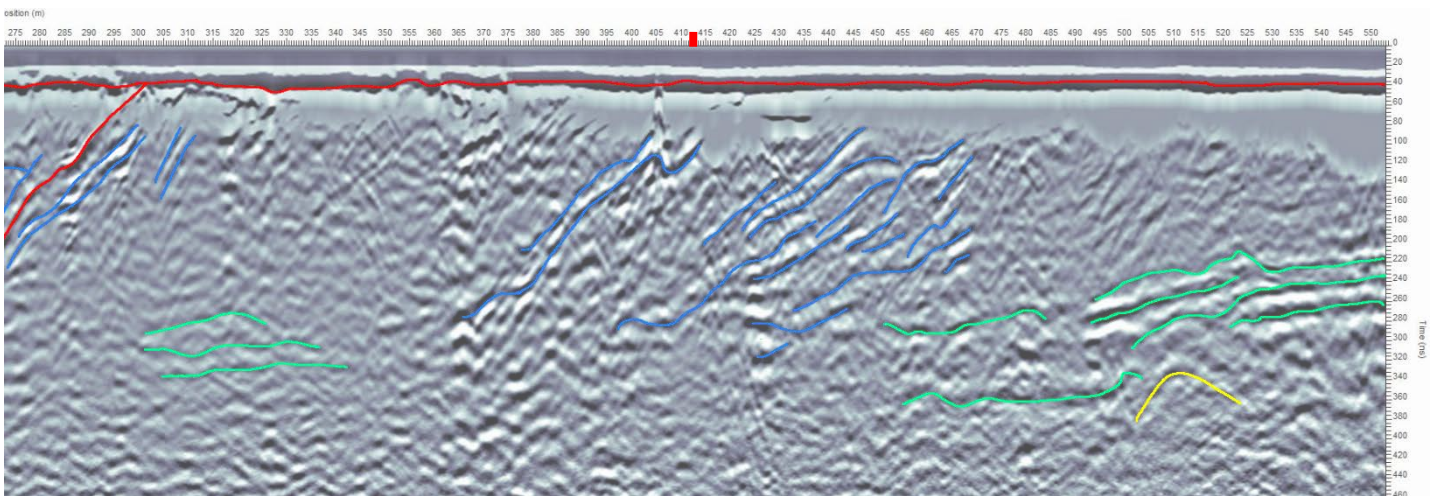
I områdene 0-36 meter, 129-204 meter, 244-312 meter og 365-470 meter ble det lokalisert hellende lag (figur 4.15 blå). På 0-36 meter og 129-204 meter over grenseflaten på 15,5 meter heller lagene mot slutten av georadarprofilet. Lagene heller mot starten av georadarprofilet i området 129-204 meter under grenseflaten på 15,5 meter. I området 244-312 meter og 365-470 meter heller lagene mot slutten av profilet under den øverste grenseflaten på 2 meter. De hellende lagene er skrålaget til deltaet i området. Hyperblene (figur 4.15 gul) er sporadiske i georadarprofilet og antas å representere områder med større partikler som grus, stein eller blokker.

A



A'



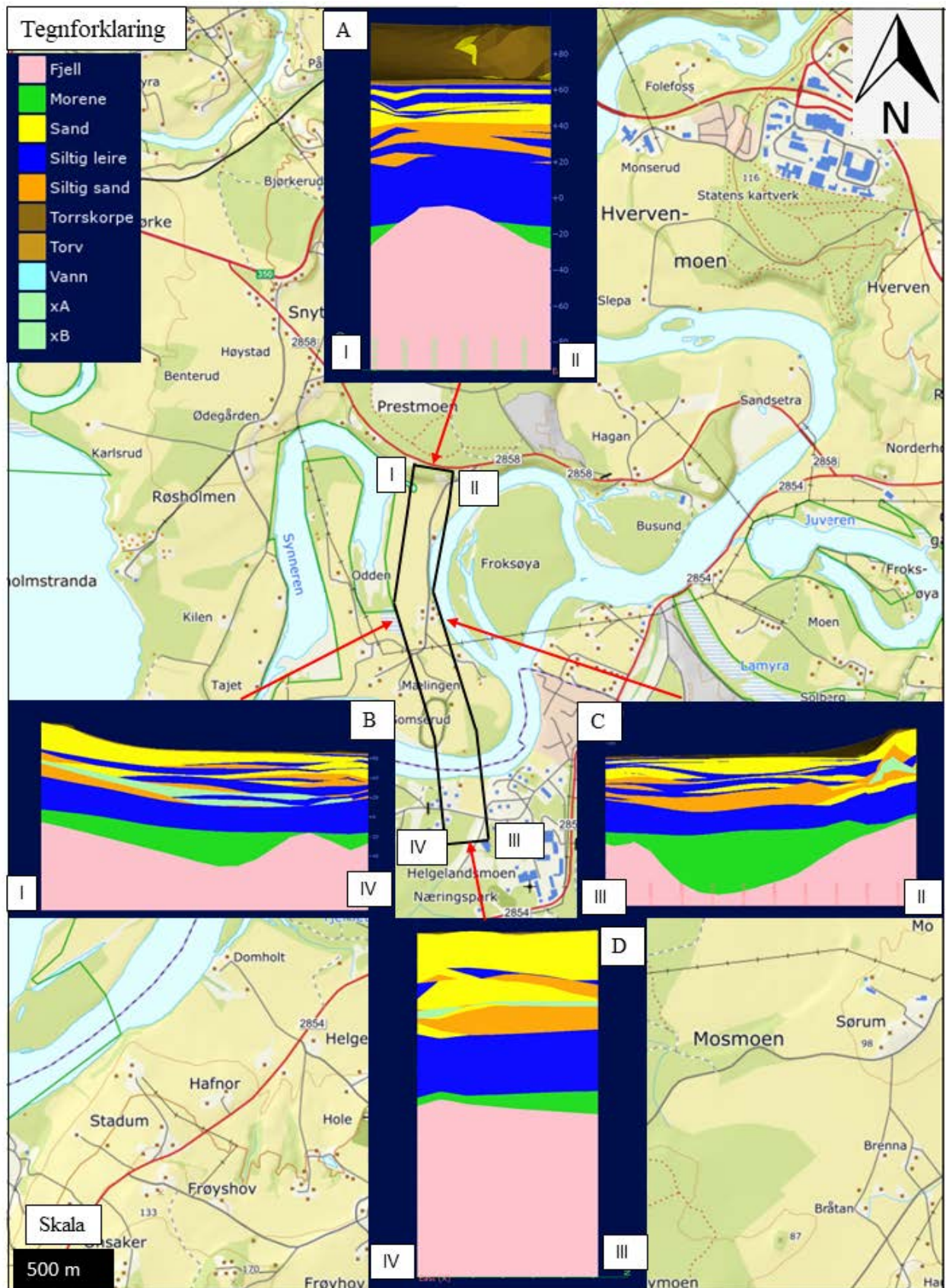
B**B'**

Figur 4.15: Georadarprofil med start til slutt Prestmoen (figur 4.10) med 50 MHz antenner. A og A') Georadarprofilen etter prosessering B og B') markering av reflektorer basert på georadarfacies i figur 3.8. Korte røde vertikale linjer øverst på georadarprofilene viser svingene på traséen til georadarprofilen.

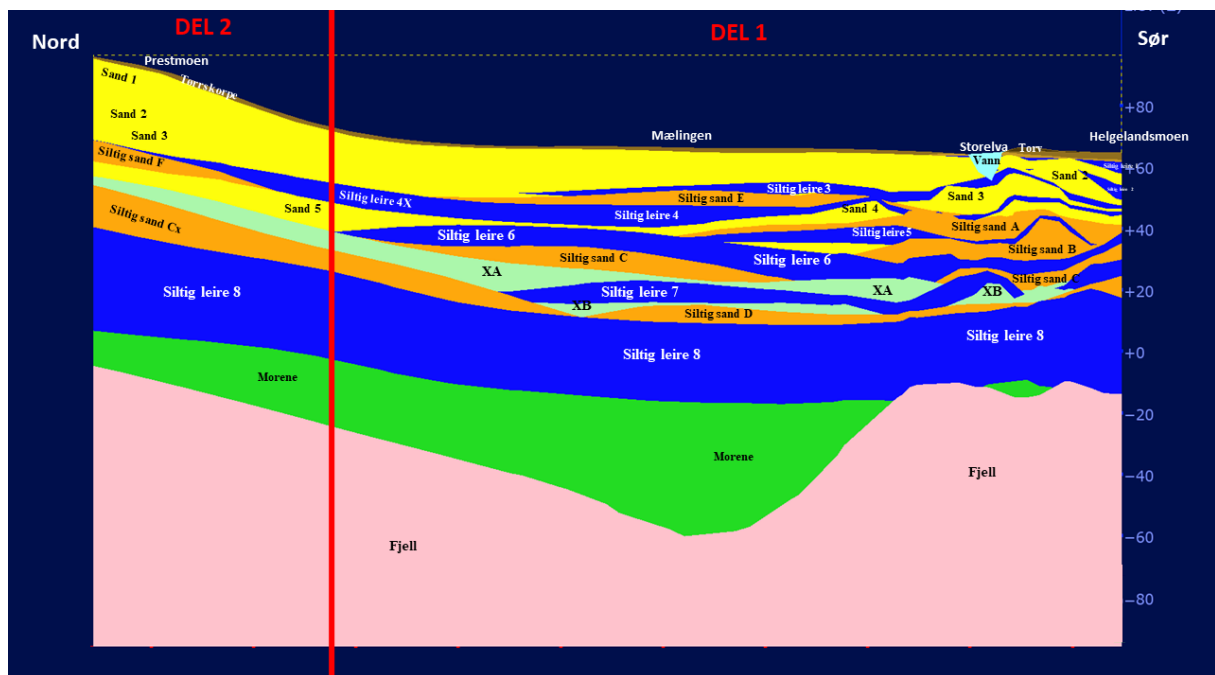
4.4 Løsmassemodell i Leapfrog 3D GEO

Løsmassemodellen omfatter blokkene fra 04-08 til begynnelsen av blokk 04-12 fra Helgelandsmoen over Storelva og Mælingen mot Prestmoen (figur 4.16).

Figur 4.19 til 4.23 viser forskjellige retninger, kutt og vinkler fra løsmassemodellen i Leapfrog 3D GEO. Vedlegg 3 inneholder informasjon om tolkninger av totalsonderingene som danner grunnlaget for løsmassemodellen, og vedlegg 4 viser kart over totalsonderingene og sylinderprøvene brukt i modellen.

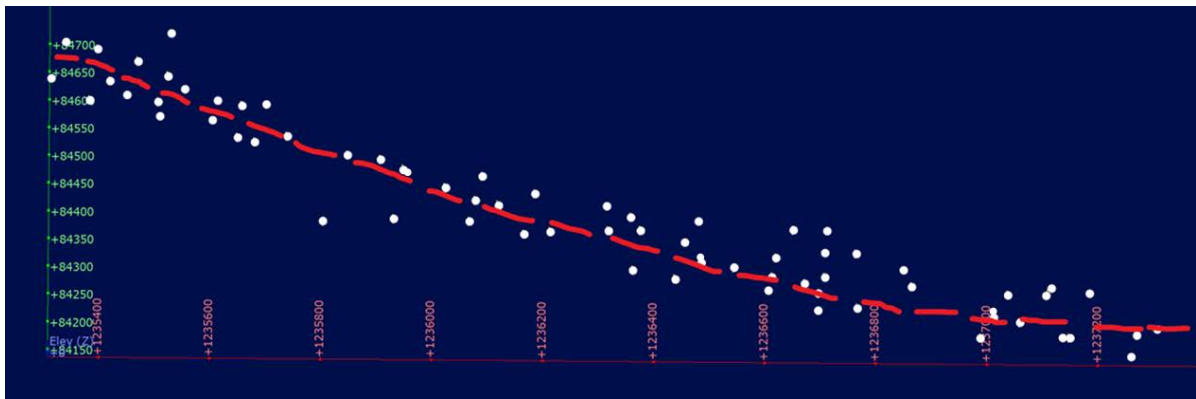


I Leapfrog 3D GEO måtte alle selvstendige lag ha ulike navn (figur 4.17). Lagene fikk navn i kronologisk rekkefølge hvor de yngste lagene fikk lavest tall, utenom siltig sand F og siltig sand E. Siltig leirelagene som lå under sandlagene fikk samme nummer som overliggende sandlag. Den samme tankegangen ble brukt for siltig sandlagene, men her ble det brukt bokstaver. Figur 4.17 ble delt i to for enklere å kunne beskrive de geologiske endringene i løsmassemodellen.



Figur 4.17: Løsmassemodell fra Leapfrog 3D GEO i forhold 6:1 med navn på de ulike lagene og stedene. Modellen er delt opp i del 1 og del 2 for å markere skillet hvor lagoppbyggingene endres. Sand 7, sand 8 og sand 3x er ikke synlige på denne siden av løsmassemodellen.

I løsmassemodellen ble det ikke observert kutting av eksisterende eller snudde lag. Dannelsen av området følger loven om superposisjonsprinsippet hvor yngre lag ligger over eldre lag, samt prinsippet om opprinnelige horisontale lag. Borepunktene til totalsonderingene følger den planlagte traséen, men Leapfrog 3D GEO lager løsmassemodellen i et rektangel (figur 4.18).



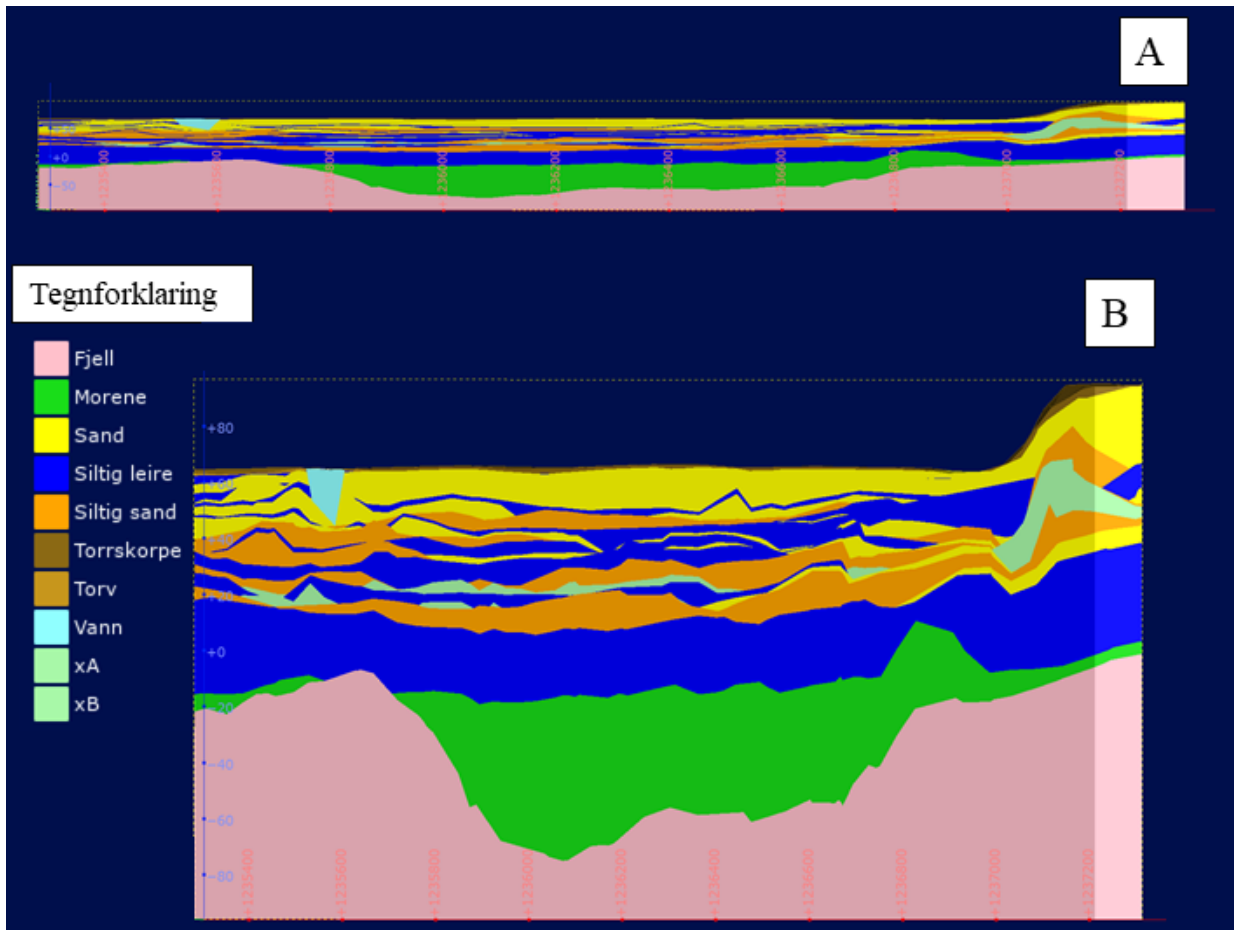
Figur 4.18: Borepunkter (hvite prikker) i løsmassemodellen fra Leapfrog 3D GEO hvor rød stiptet linje viser planlagt trasé.

Berggrunnen ligger på mer enn 140 meter på det dypeste og danner en dalform hvor sedimentene har blitt avsatt i forsenkningen. Berggrunnen grenser til overliggende morenelag utenom i et lite område under Storelva hvor den grenser til siltig leire 8, som er et tykt lag på ca. 40 meter. På totalsonderingene var siltig leire 8 godt kompaktert sammenlignet med de andre siltig leirelagene i området, og tyder på overlaging av store mengder med materiale.

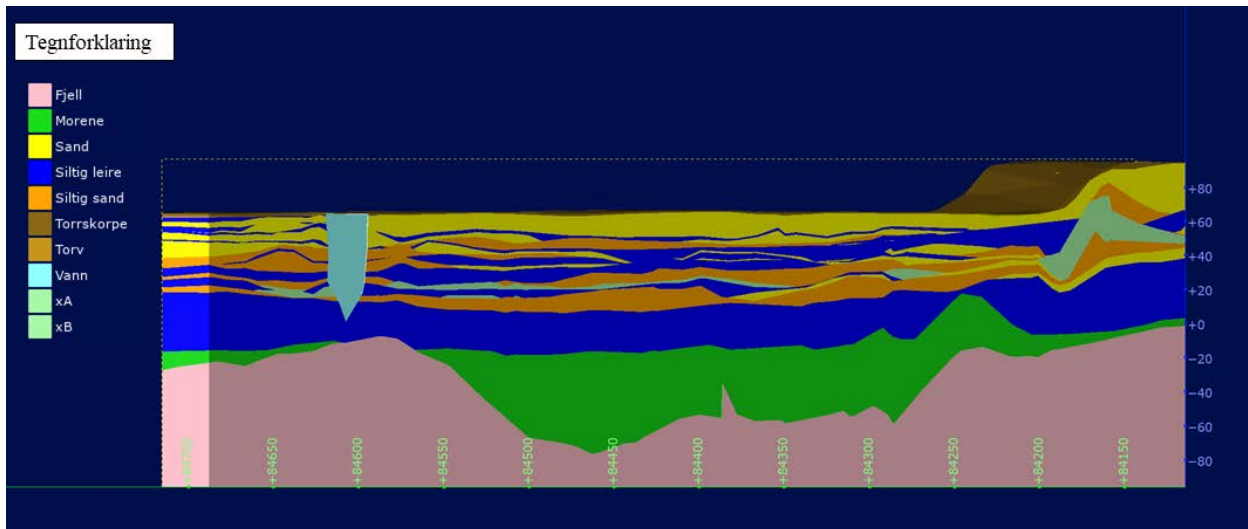
Siltig sand D ligger over siltig leire 8 før XB, adskilt med siltig leire 7 fra overliggende XA som ligger mellom 49-26,5 meter ned i grunnen. XA og XB ga for det meste utslag med høy sonderingsmotstand i borediagrammet til totalsonderingene. Avhengig av lokalitetene til totalsonderingene for lagene XA og XB kan sonderingsmotstanden tolkes til å være siltig sand, sand eller morenemateriale. I diskusjonsdelen av oppgaven blir prosessene for avsetningene av lagene diskutert.

Fra XA og opp til 3,5 meter i del 1 av løsmassemodellen er det vekslende lag med siltig sand og siltig leire opp til sand 4, hvor det er vekslende sandlag og siltig leirelag. Sylinderprøvene indikerer at de fleste siltig leirelagene er marint avsatt. Fra 3,5 meter til overflaten er det vekslende sandlag og siltig leirelag, og sylinderprøvene viser at siltig leirelagene er fluvialt avsatt. Siltig leire 1 og siltig leire 2 ligger i området rundt Storelva, og kan tenkes å være avsatt under flomperioder da elva gikk over sine bredder. Torvlaget på 0,5-1 meter ved Storelva ligger under tørrskorpelaget som dekker hele overflaten av løsmassemodellen.

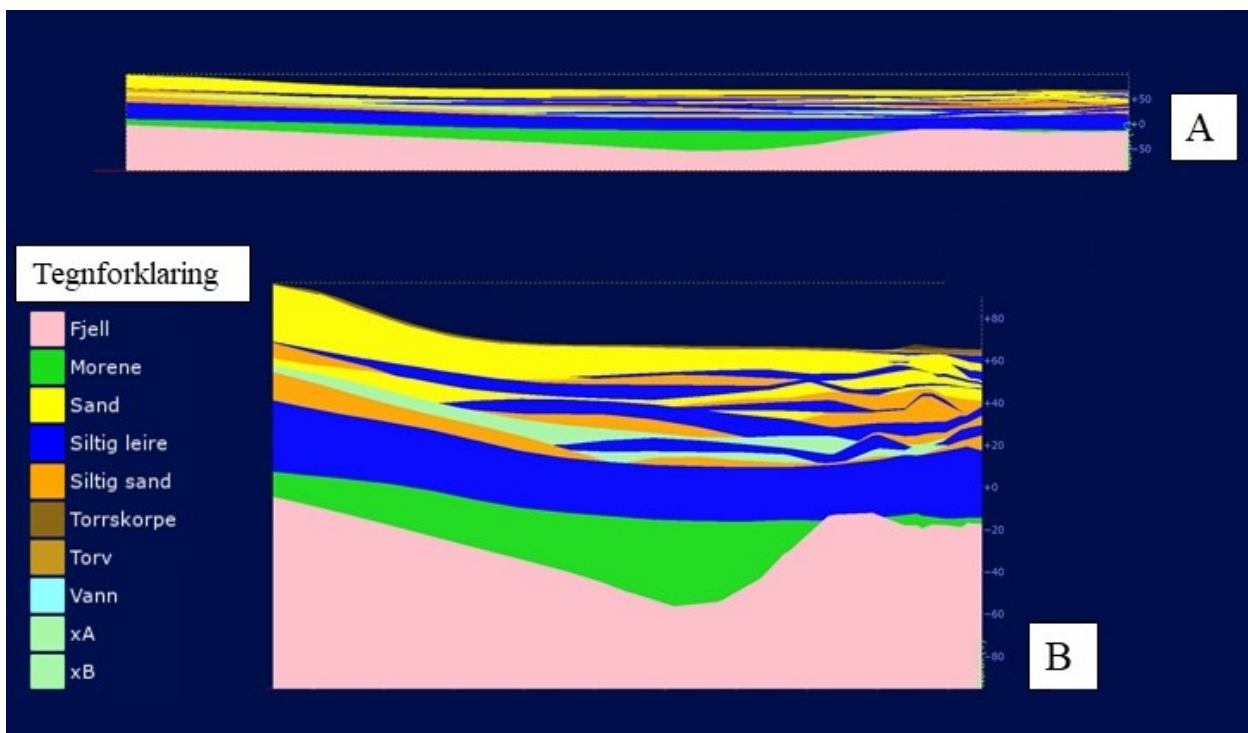
Del 2 i figur 4.17 ligger ca. 30 meter høyere i terrenget enn del 1. Årsaken til færre siltig leirelag er at havnivåendringene ikke i like stor grad som i del 1 har påvirket avsetningene i området. Overliggende lag fra XA er dominert av sandlag med innslag av siltig leire og siltig sand.



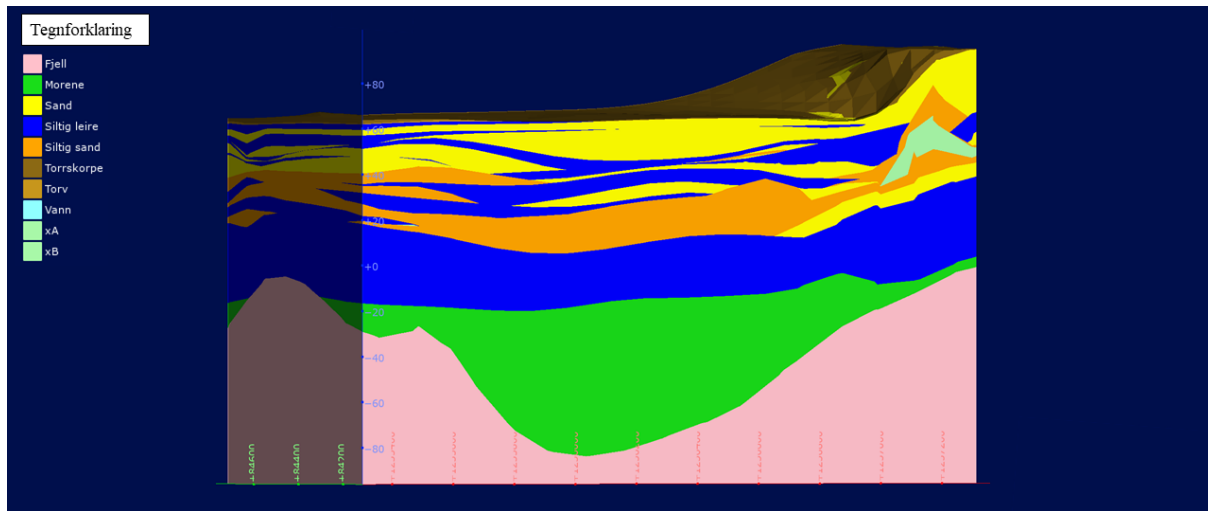
Figur 4.19: Traséen til Ringeriksbanen og ny E16 fra Leapfrog 3D GEO sett nord mot sør med vinkling mot øst i forhold 1:1 (A) og 6:1 (B).



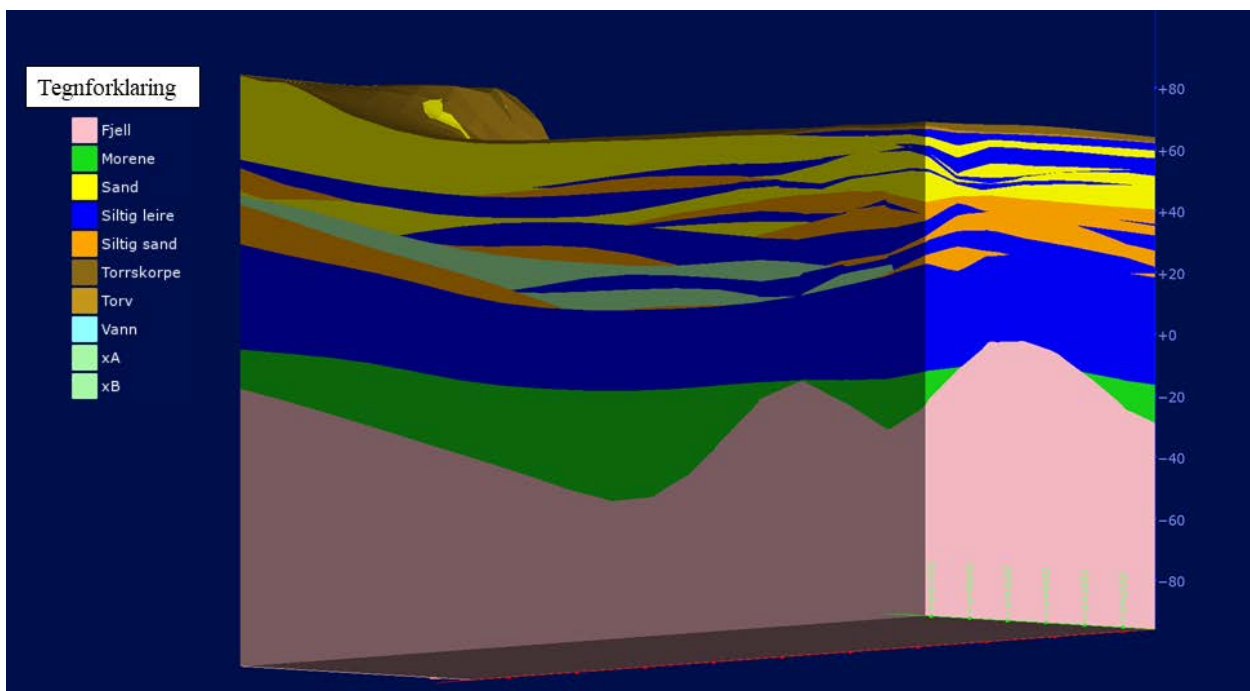
Figur 4.20: Traséen fra Leapfrog 3D GEO sett fra nord mot sør med vinkling mot sør i forhold 6:1.



Figur 4.21: Traséen fra Leapfrog 3D GEO sett fra nord mot sør i forhold 1:1 (A) og 6:1 (B).



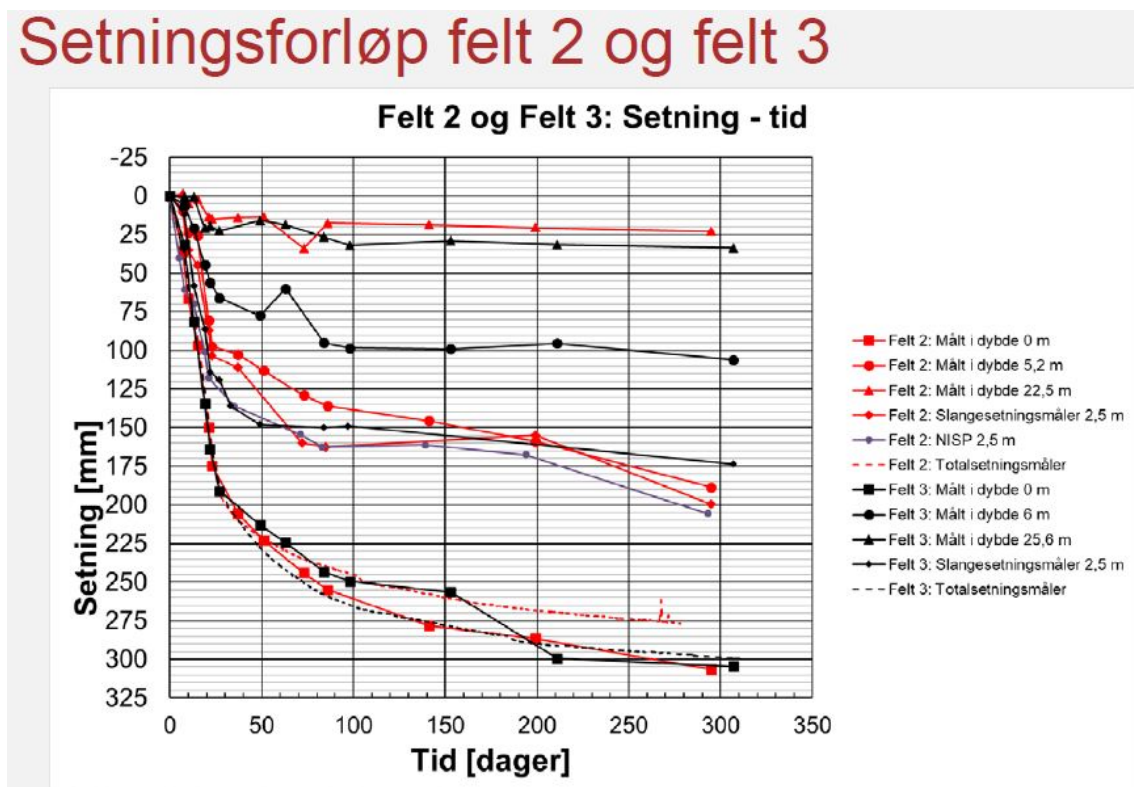
Figur 4.22: Løsmassemodellen fra Leapfrog 3D GEO i forhold 6:1 retning nord-sør med vinkling mot sørvest.



Figur 4.23: Løsmassemodellen fra Leapfrog 3D GEO i forhold 6:1 retning nord sør med vinkling mot øst.

4.5 Setningsmålinger fra prøvefyllingene på Mælingen

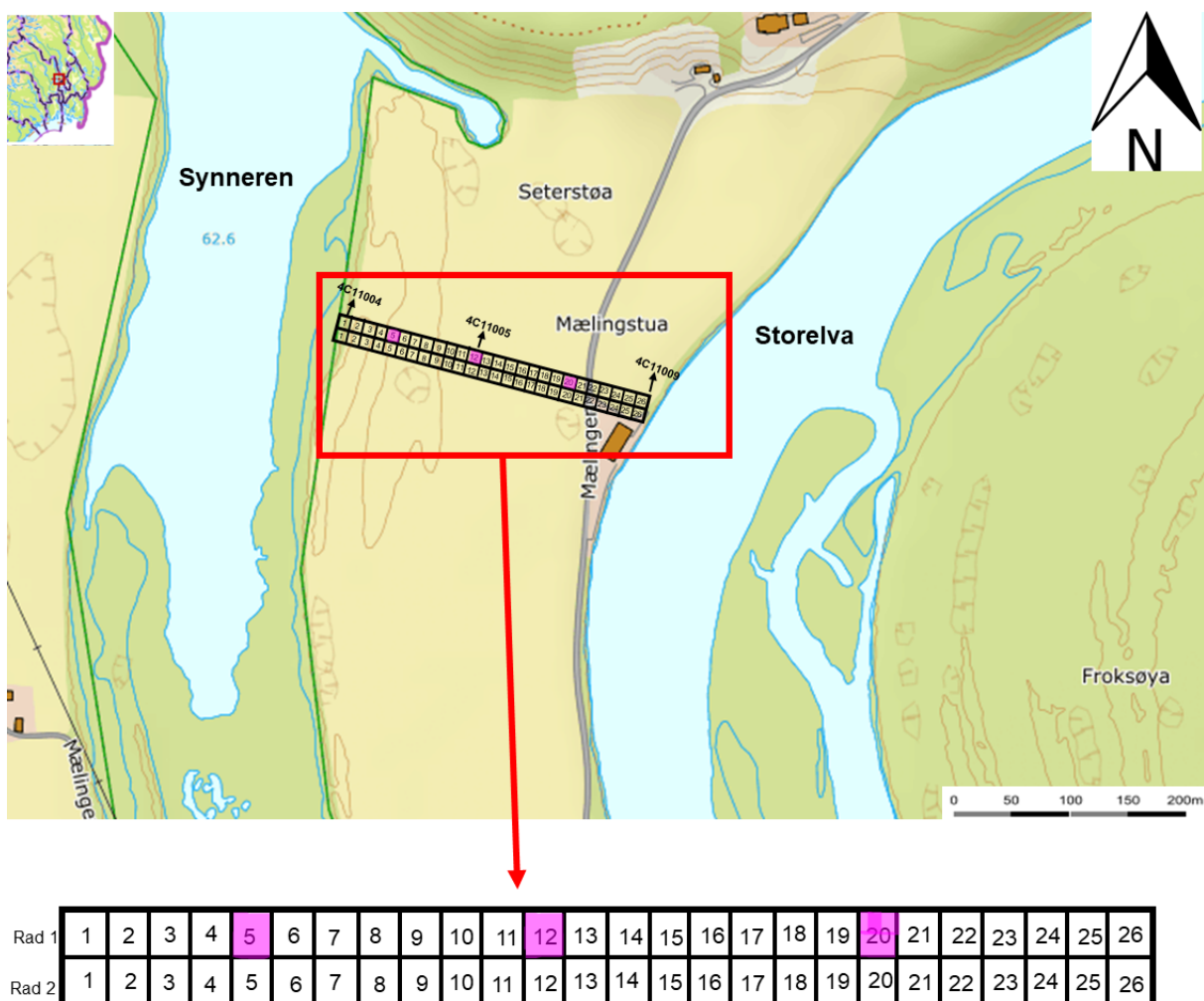
Tidligere i oppgaven ble det nevnt at NGI på vegne av Bane NOR hadde installert setningsmålere i sedimentene under prøvefyllingene på Mælingen. De første resultatene fra setningsmålerne er vist i figur 4.24. Kurven viser hurtige setninger for de øverste lagene på 0 meters, 5,2 meters og 6 meters dyp før grafen flater ut og indikerer at setningene opphører. De dypere lagene på 22,5 meter og 25,6 meter har en lavere grad av setning enn overliggende lag, og grafen flater saktere ut. Dypere liggende lag har ofte lavere grad av setninger på grunn av tidligere overlageringer. Som observert på 5,2 meter tar setninger i leire og silt lang tid før de opphører. Setninger i sand opphører relativt raskt, som observert på 6 meter, 22,5 meter og 25,6 meter.



Figur 4.24: Setningsmålinger fra prøvefyllingene på Mælingen (Hishe & Bane NOR, 2019).

4.6 Modellering av grunnvannet på Mælingen

Resultatene fra simuleringene av den hydrauliske trykkehøyden for de definerte punktene 5, 12 og 20 vises i grunnvannsmodellen (figur 4.25). Figur 4.26 fremstiller resultatene av hydraulisk trykkehøyde for fin sand (lag 1) for dagens situasjon, og for et tenkt scenario når Ringeriksbanen og ny E16 blir bygget. De definerte punktene 5, 12 og 20 ble valgt for best mulig å presentere endringene i den hydrauliske trykkehøyden for Mælingen. Vedlegg 5 viser informasjon om poretrykksmålerne. Vedlegg 6 inneholder datagrunnlaget til grunnvannsmodellen. Vedlegg 7 presenterer grafene for hydraulisk trykkehøyde.



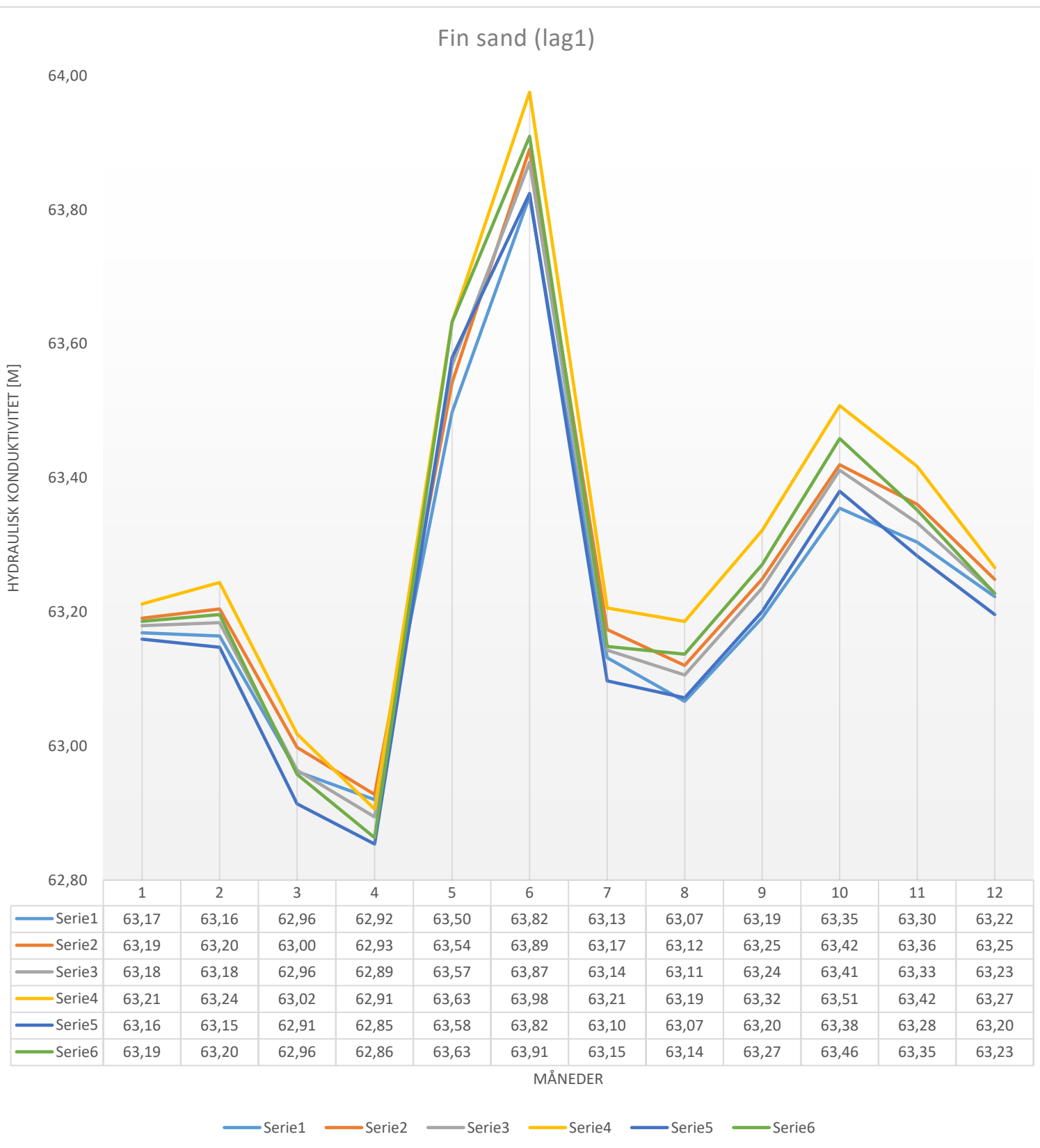
Figur 4.25: Grunnvannsmodellen lokalisert på et kart med rutenett for de definerte punktene og områdene hvor poretrykksmålerne er installert. De lilla rutene er punktene som er vist i grafen i figur 4.26. Modifisert fra Kartverket (2019a).

Grunnvannsmodellen består av to rader (figur 4.25) og resultatene fra simuleringene viser liten forskjell mellom de to radene, og kun rad 1 blir omtalt og diskutert i oppgaven.

Under dagens situasjon har fin sand (lag 1) høyest hydraulisk trykkehøyde og deretter følger middels sand (lag 2), og siltig leire har lavest hydraulisk trykkehøyde (lag 3).

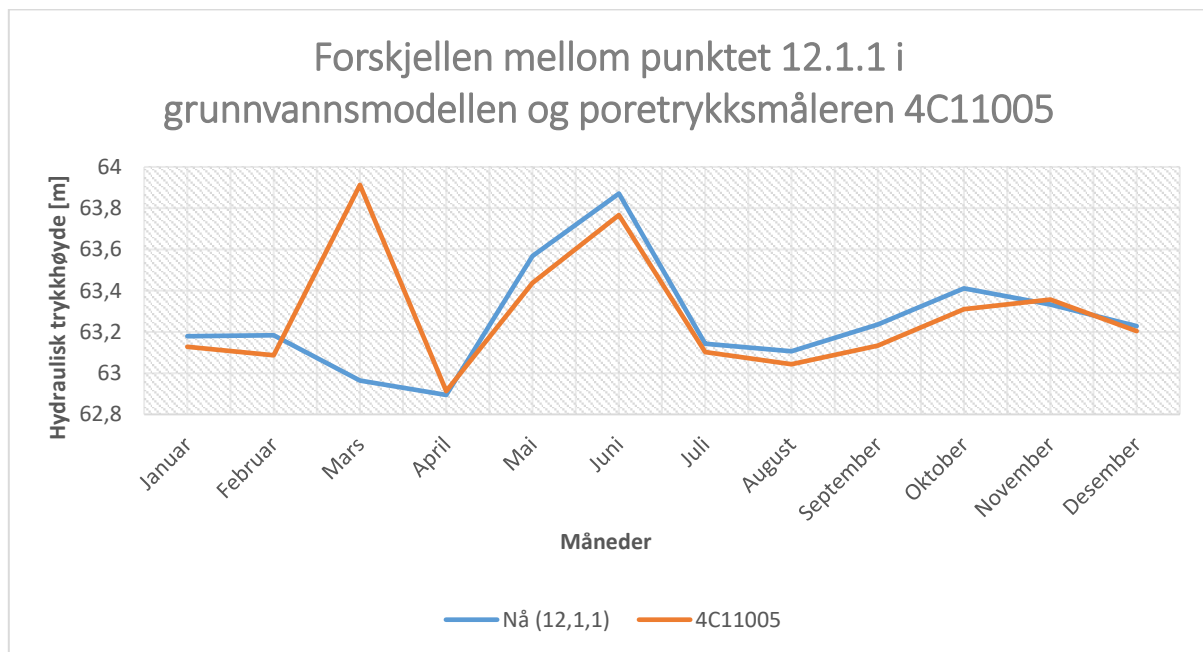
Tyngden av Ringeriksbanen og ny E16 vil føre til sammenpressing av underliggende sedimenter, og resultatene fra grunnvannsmodellen viser at den hydrauliske trykkehøyden vil øke. Områdene i nærheten av Storelva og Synneren får ingen endringer. Den hydrauliske trykkehøyden for fin sand får en økning på mellom 0 meter til ca. 1 meter, middels sand fra 0 meter til ca. 0,7 meter, og siltig leire fra 0 meter til ca. 0,025 meter. Verdiene til den hydrauliske trykkehøyden tyder på at det er horisontale strømminger i grunnvannssonen, og kun resultatene for fin sand fra GW_Chart blir fremstilt i dette delkapittelet.

Trenden for endringer i hydraulisk trykkehøyde er den samme for dagens situasjon og etter utbyggingen av Ringeriksbanen og ny E16 (figur 4.26). Forskjellen er at den hydrauliske trykkehøyden vil være høyere etter utbyggingen. Den hydrauliske trykkehøyden reduseres svakt i januar, og fra februar til april er det en raskere reduksjon og lavest verdi. Fra mai til juni er det en bratt økning og høyest hydraulisk trykkehøyde. Det er en rask reduksjon i juli, og fra august til oktober en økning og nest høyeste hydraulisk trykkehøyde. Fra november til desember er det en liten reduksjon.



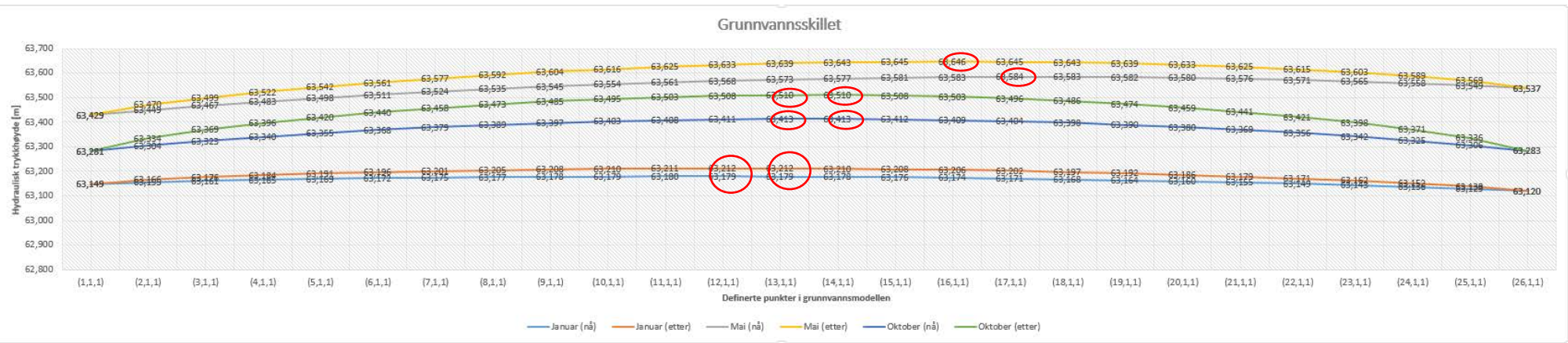
Figur 4.26: Endringer i hydraulisk trykkhøyde for fin sand (lag 1) for hver måned i de definerte punktene 5, 12 og 20 (figur 4.25) i grunnvannsmodellen under dagens situasjon (nå) og etter utbyggingen av Ringeriksbanen og ny E16 (etter).

For å verifisere grunnvannsmodellen ble den hydrauliske trykkehøyden for punktet 12.1.1 sammenlignet med poretrykksmåleren 4C11005. Figur 4.27 viser at verdiene for det definerte punktet 12.1.1 ligger mellom -0,94 meter til 0,12 meter fra poretrykksmåleren 4C11005. Grunnvannsmodellen har store geologiske og modelleringstekniske forenklinger, og forskjellen mellom resultatene for punkt 12.1.1 og 4C11005 er akseptabel. Det største avviket er i februar til april, og kan indikere feilmålinger ved den elektriske poretrykksmåleren eller feil i simuleringene i grunnvannsmodellen.



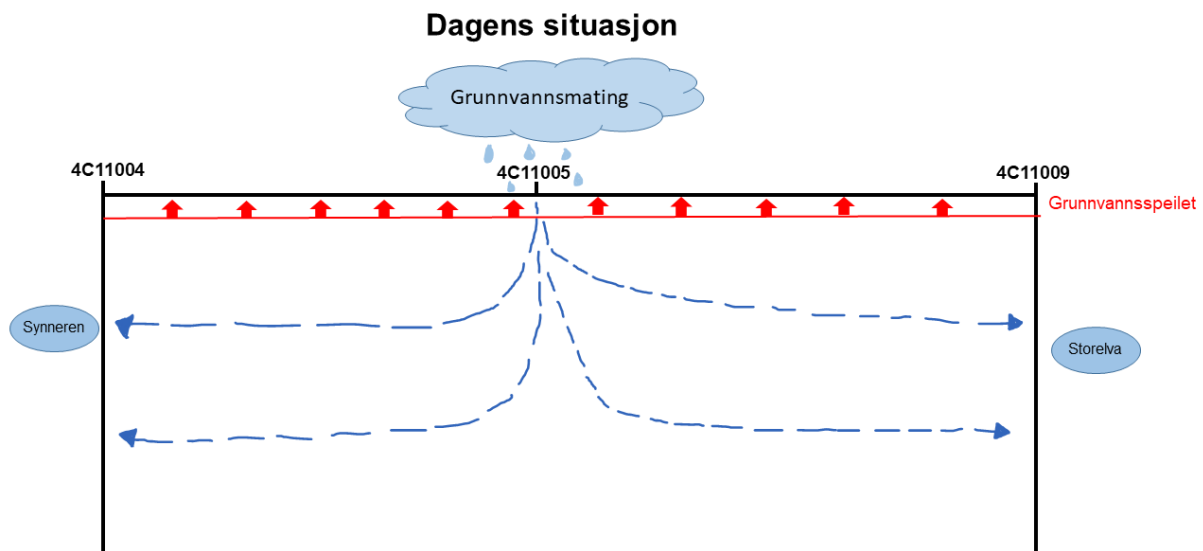
Figur 4.27: Forskjellen mellom det definerte punktet 12.1.1 i grunnvannsmodellen (figur 4.25) og poretrykksmåler 4C11005.

Grunnvannsskillet på Mælingen er området med høyest hydraulisk trykkehøyde, og er lokalisert i de definerte punktene 11-14 i rad 1 i grunnvannsmodellen (figur 4.25). Makspunktet for den hydrauliske trykkehøyden vil variere avhengig av månedene. Figur 4.28 viser grunnvannsskillet for utvalgte måneder før og etter utbyggingen. Simuleringene i MODFLOW angir at grunnvannsskillet endres 1-2 ruter mot øst etter utbyggingen for månedene januar, februar, mars, juli og desember. I mai flyttes grunnvannsskillet en rute mot vest og i månedene april, juni, august, september, oktober og november endres ikke posisjonen.

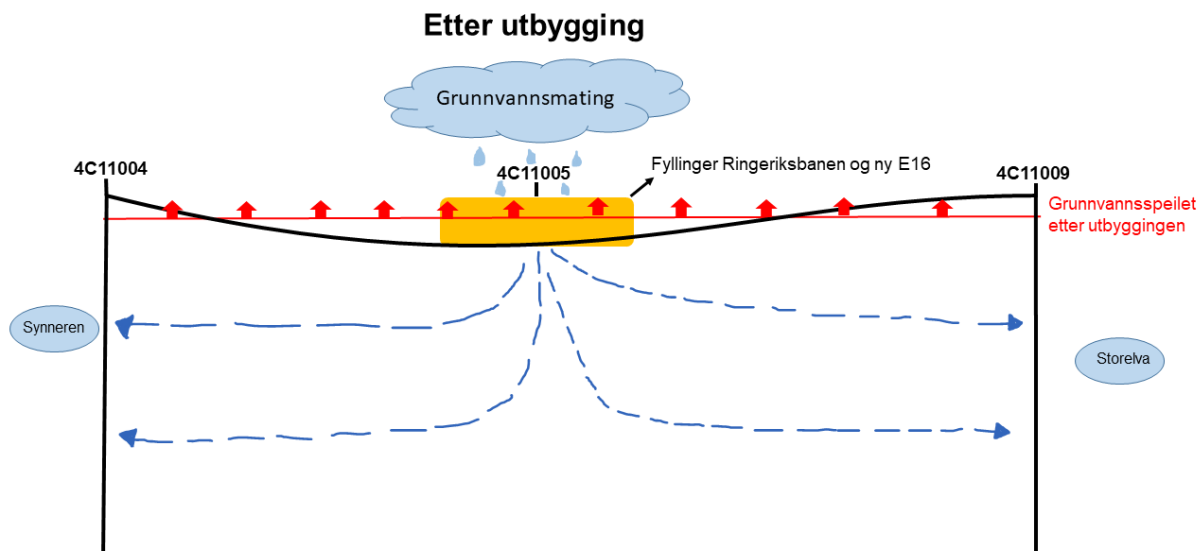


Figur 4.28: Grunnvannsskillet for utvalgte måneder under dagens situasjon og etter utbyggingen av Ringeriksbanen og ny E16. Rød sirkler viser grunnvannsskille.

Figurene 4.29 og 4.30 viser hvordan strømningslinjene til grunnvannet og grunnvannsspeilet kan bli påvirket av utbyggingen av Ringeriksbanen og ny E16. Figur 4.29 viser grunnvannsstrømningene basert på at grunnvannet strømmer fra områder med høy hydraulisk trykkehøyde til områder med lav hydraulisk trykkehøyde. Grunnvannsstrømningene sirkulerer mellom grunnvannsskillet og Synneren i vest og Storelva i øst basert på den hydrauliske trykkehøyden. Grunnvannsspeilet på Mælingen styres av fluktusjonene mellom Synneren i vest og Storelva i øst og vannstands nivået i de to elvene. Sammenpressing av sedimentene fører til en reduksjon av porer hvor grunnvannet kan sirkulere, og kan gi et høyere grunnvannsspeil (figur 4.30).



Figur 4.29: Skisse av strømningslinjene mellom punktene 4C11004 og 4C11009 basert på resultatene fra den hydrauliske trykkehøyden for dagens situasjon.



Figur 4.30: Skisse av strømningslinjene mellom punktene 4C11004 og 4C11009 basert på resultatene fra den hydrauliske trykkhøyden etter utbyggingen av Ringeriksbanen og ny E16.

5. Diskusjon

Bane NOR er interessert i en helhetlig geologisk og hydrogeologisk forståelse av Mælingen-området til bruk i planleggingen og utbyggingen av Ringeriksbanen og ny E16. Dette blir belyst i diskusjonsdelen ved det kvartærgeologiske kartet (figur 4.7), løsmassemodellen i Leapfrog 3D GEO (figurene 4.19-4.23) og resultatene fra simuleringene i MODFLOW (figur 4.26). Basert på innsamlet og eksisterende datamateriale blir det diskutert om Mælingen-området er et tidligere deltaområde. Det blir drøftet hvordan observasjoner gjort i arbeidet med oppgaven vil kunne være med å påvirke planleggingen og utbyggingen av Ringeriksbanen og ny E16. Hvordan en helhetlig geologisk vurdering av området i planleggingsfasen vil kunne være med å bidra til å redusere kostnadene i et utbyggingsprosjekt.

5.1 Det kvartærgeologiske kartet

Det kvartærgeologiske kartet (figur 4.7) samsvarer i stor grad med eksisterende kart som «Kvartærgeologisk kart 1815 III- M. 1:50 000» (Østmo et al., 1978) og NGU (2019a). Kartet til NGU (2019a) har et høyt detaljnivå og er basert på Østmo et al. (1978), og oppdatert med nye observasjoner. Små variasjoner i de ulike kartene kan skyldes usikkerheter knyttet til kartleggingen gjort i felt, metoder og kartleggingsmålestokk. En svakhet ved det kvartærgeologiske kartet i figur 4.7 er at store områder var utilgjengelige, og medførte interpolering og bruk av eksisterende løsmassekart.

På Helgelandsmoen var ikke torv- og myrdannelser markert på eksisterende kart, på grunn av kartlegging i en større skala (1:50 000) enn i oppgaven. Ravinene i området er ikke tegnet inn på kartet til Østmo et al. (1978), men noen er markert på kartet til NGU (2019a).

Fjellblotningene rundt sandstranda i Svarstadvika på kartet til NGU (2019a) er ikke observert på andre kart, og kan forklares med høy vannstand under feltkartlegging. Menneskelig aktivitet som jordbruk, utbygging og planering av områder har fjernet landformer som elvenedskjæringer, dreneringsspor, hauger og rygger av sedimenter og skredgroper. Dette er særlig tilfelle langs Onsakervika og på Mælingen. Landskapet har endret seg lite geologisk fra 1978 til 2019, og enkelte små endringer skyldes menneskelig aktivitet.

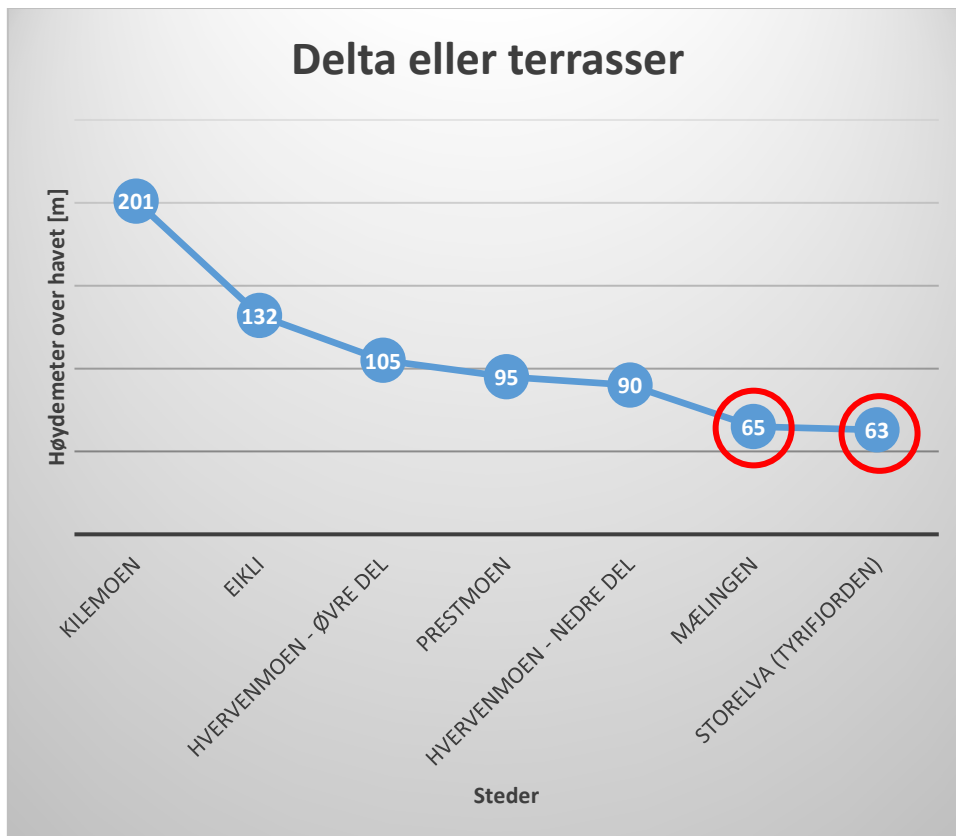
De mektige elve- og bekkeavsetningene i området er gunstige for utvinning av sand og grus. Grustaket på Hvervenmoen er nedlagt, og forsenkningen er omgjort til et industriområde. På Prestmoen er ett av to grustak fortsatt i drift. Grustaket ovenfor Busund er nedlagt. I det tidligere grustaket på Mosmoen har de begynt å dyrke trær. På Averøya er det åpnet et nytt grustak.

5.2 Mælingen-området et tidligere deltaområde

En hypotese i oppgaven er at Mælingen-området tidligere var et delta hvor store deler har blitt erodert bort. Delta blir avsatt i områder hvor elvene munner ut i havet eller i innsjøer.

Da landet hevet seg etter at deltaene var dannet ble de eroderte av elvene. De tidligere deltaområdene kan i dag observeres som terrasser og gjenkjennes i terrenget med trappetrinnformede trinn i løsmassene. Grensen mellom terrasseflate og skråning kalles for terrassekant (Sigmond et al., 2013, s. 390). Elver kan erodere og danne terrassekanter, som kan ligne på primære terrassekanter dannet av tidligere havnivå. Figur 5.1 viser observasjoner av delta eller terrasser fra Kilemoen (marin grense) og ned til dagens delta hvor Storelva munner ut i Tyrifjorden.

Deltadannelse og terrasser nedover i terrenget kan gjenspeile hvordan havnivået har blitt endret gjennom tidene. Det kan tenkes at deltaene fra Kilemoen til nedre del av Hvervenmoen ble avsatt da elvene munnet ut i havet, og at Mælingen og Storelva ble avsatt da elva møtte innsjøen (Tyrifjorden). På Kilemoen kan man observere mesteparten av deltaet, og i Mælingen-området er det bare rester igjen etter det tidligere deltaet.

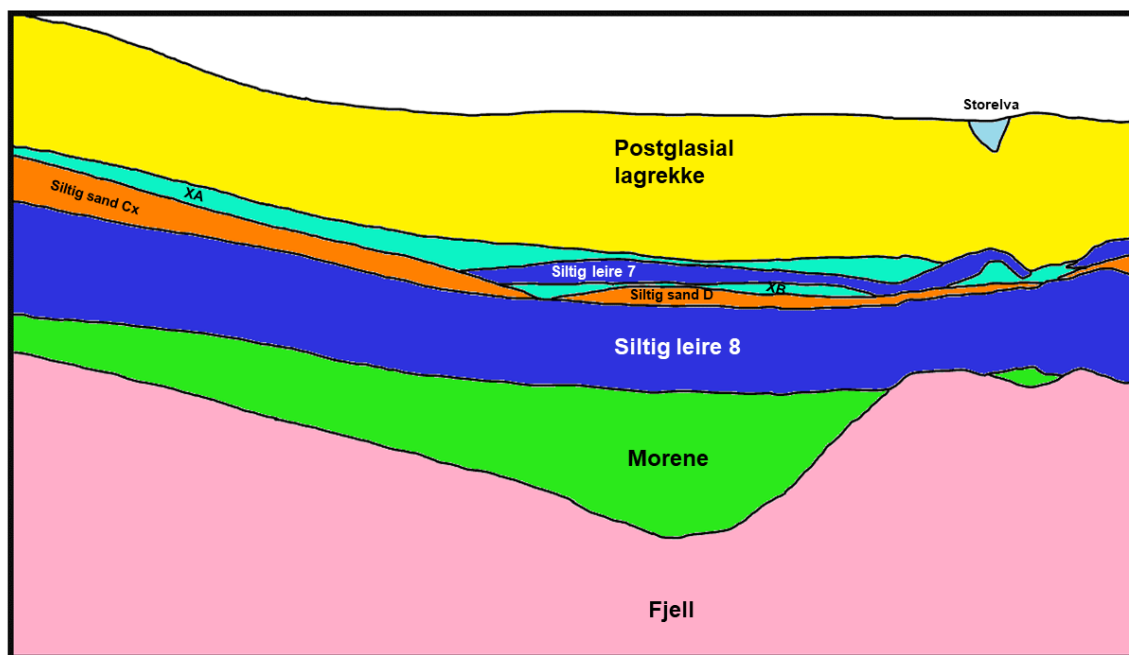


Figur 5.1: Høyde over havet til delta eller terrasser fra Kilemoen (marin grense) til dagens delta ved Storelva (Tyrifjorden). Avstanden mellom stedene er ikke reel. Røde sirkler viser stedene med delta som ble avsatt i innsjøen og de øvrige ble avsatt i havet.

Strandforskyvningskurven i figur 2.9 viser alder for deltaområdene eller antatte tidligere deltaområder (terrasser) basert på hvor i terrenget de ligger i dag (figur 5.1). Erosjon av deltaene gir en yngre alder ved avlesning på kurven. Strandforskyvningskurven har ikke tatt høyde for landhevingen som gir en eldre alder for områdene. Erosjonen og landhevingen kan i en viss grad ha utjevnet hverandre, og alderen avlest på kurven vil kunne gi en tilnærmet alder for områdene.

Ut ifra strandforskyvningskurven ble Kilemoen dannet for ca. 9600 år siden før nåtid, Eikli for ca. 8400 år siden før nåtid, Hvervenmoen øvre del for ca. 7700 år siden før nåtid, Prestmoen for ca. 7500 år siden før nåtid, Hvervenmoen nedre del ca. 7000 år siden før nåtid og Mælingen ca. 6000 år siden før nåtid. Tyrifjorden ble en innsjø for ca. 5900 år siden før nåtid, og er trolig litt yngre enn forventet. Det antas at Tyrifjorden ble dannet da havnivået steg, og innsjøen ble isolert av de store endemorene i området på slutten av eller rett etter siste istid. Sedimenttilførselen ut i Tyrifjorden har ført til at den flytter seg lengre fra land, og sedimenter observert på land kan ha blitt avsatt i fjorden.

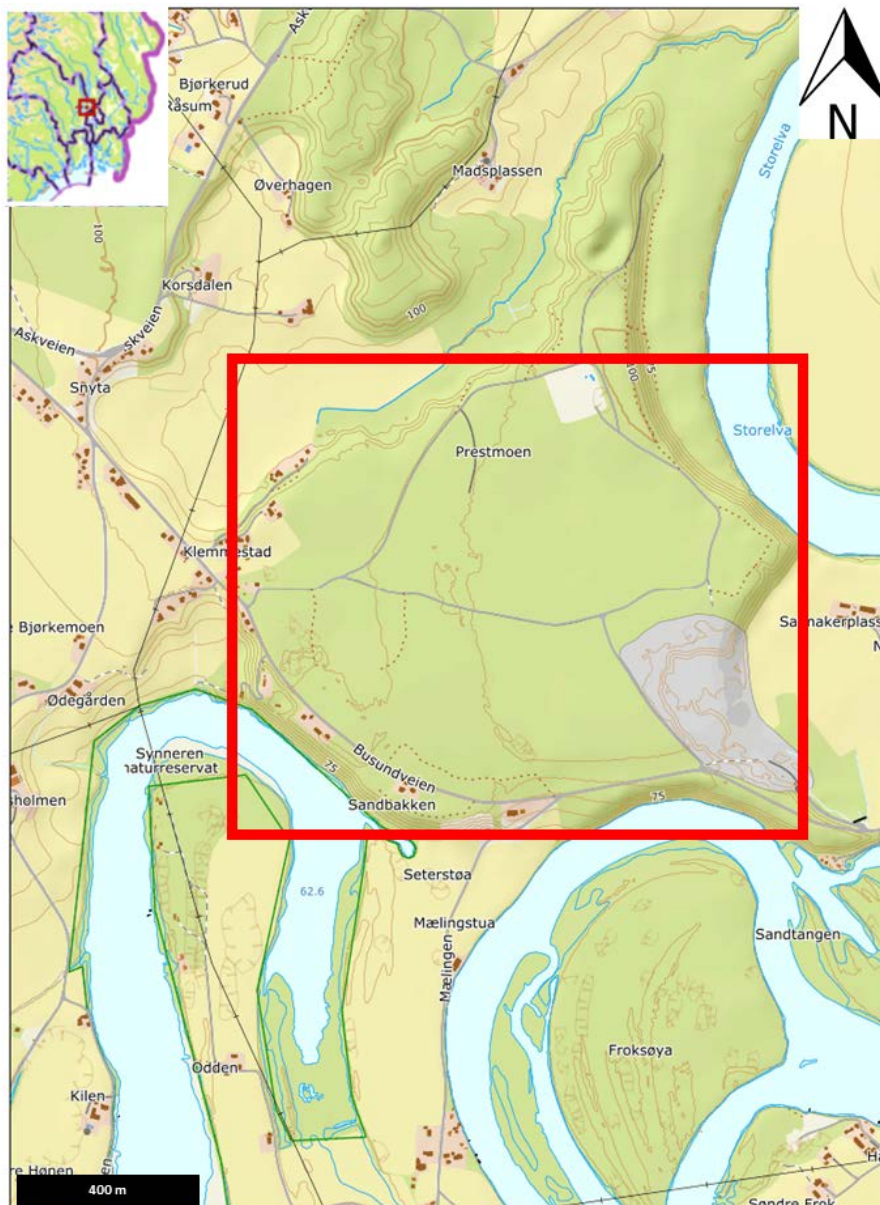
De overliggende lagene fra siltig leire 8 til den postglasiale lagrekken er siltig sand D, siltig sand Cx, XB, siltig leire 7 og XA hvor sedimentinnholdet i lagene XA og XB er ukjent (figur 5.2). I den postglasiale lagrekken er det ikke observert karakteristiske delta kjennetegn. Lagrekken ble sannsynligvis avsatt etter at store deler av deltaet var erodert bort. Lagene fra siltig leire 8 til den postglasiale lagrekken i Mælingen-området kan enten være rester fra deltaet (teori 1), eller være avsatt etter at sedimentene var erodert bort av elvene etter siste istid (teori 2).



Figur 5.2: Forenklet skisse over lagdelingene i Mælingen-området basert på løsmassemodellen i Leapfrog 3D GEO.

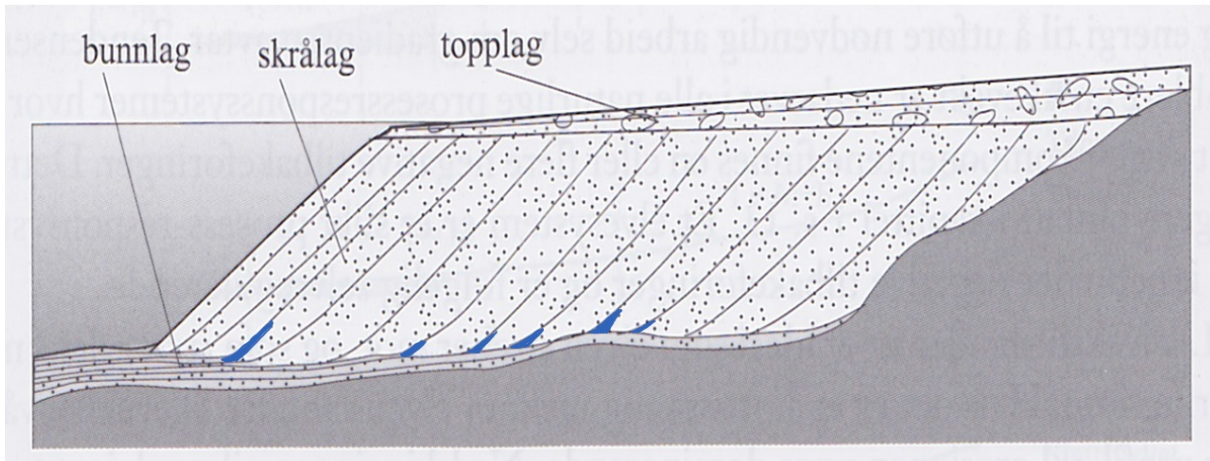
Teori 1

Teorien er at lagene fra siltig leire 8 til den postglasiale lagrekken i Mælingen-området kan være rester fra deltaet. På Prestmoen ble det observert skrålag på georadarprofilen og i blotningene i grustaket, som kan være den midtre delen av deltaet. Siltig leire 8 i løsmassemodellen kan være bunnlaget til deltaet, og flaten på Prestmoen kan utgjøre deltatoppflaten (figur 5.3).



Figur 5.3: Flate nord for Mælingen som kan være en deltatoppflate. Modifisert fra Kartverket (2019a).

Løsmassemodellen viser at lagene fra siltig leire 8 til den postglasiale lagrekken har en svak helning. Sedimenter avsatt rett over bunnlaget i deltaet er ofte finere enn i skrålagene, som observert i Mælingen-området med siltig sand D. Siltig leire 7 som ligger over siltig sand D kan ha blitt avsatt på dypere hav i en periode med transgresjon (figur 5.4).



Figur 5.4: Prinsipiell skisse over hvordan siltig leirelag (blå) kan bli avsatt i et delta under transgresjon. I Mælingen-området vil lagene ha en svak helning, og kan vises som et lag i løsmassemodellen. Modifisert fra Sulebak (2007, s. 143).

Høydeforskjellen på ca. 30 meter mellom Prestmoen og Mælingen var dekket av skrålaget til deltaet før det ble erodert bort. Siltig leire 8 er godt kompaktert av tyngden til sedimentene som utgjorde deltaet i Mælingen-området, som observert på totalsonderingene. Deltaene høyere opp i terrenget ble erodert, og elvene transporterte materiale som ble resedimentert i nye delta lengre ned. Rester fra deltaet som kan observeres i dag er fra siltig leire 8 til den postglasiale lagrekken. Strandforskyvningskurven viser at deltaet i Mælingen-området ble dannet for ca. 6000 år siden før nåtid. På grunn av erosjon vil deltaet få en yngre alder enn forventet på strandforskyvningskurven. Deltaet i Mælingen-området kan ha blitt dannet i forbindelse med isavsmeltingen under siste istid.

Teori 2

Teorien er at lagene etter siltig leire 8 til den postglasiale lagrekken i Mælingen-området kan være avsatt etter at sedimentene var erodert bort av elvene etter siste istid.

Overlagring av masser fra deltaet vil føre til at siltig leire 7 og siltig leire 8 får omtrent samme grad av kompaksjon. Observasjoner gjort på totalsonderingene viser at siltig leire 8 som ligger litt dypere enn siltig leire 7 er mere sammenpresset. Dette kan indikere at siltig leire 7 er avsatt etter at deltaet var erodert bort. Hvis denne teorien stemmer ble siltig sandlagene som ligger over siltig leire 8 avsatt på grunnere havnivå under regresjon. Siltig leire 8 antas å være bunnlaget til deltaet.

Mest sannsynlig teori

Teori 1 er den mest sannsynlige teorien for dannelsen av delta i Mælingen-området. Teorien forklarer på en logisk måte hvordan lagene i løsmassemodellen kan kobles opp mot deltaet. Deltaet som en gang lå i Mælingen-området dekket et mye større areal enn strekning 4 som oppgaven omhandler. Undersøkelser av områdene utenfor strekning 4 kunne ha vært utført for å få en bedre forståelse av utbredelsen til deltaet.

5.3 Usikkerheter knyttet til løsmassemodellen i Leapfrog 3D GEO

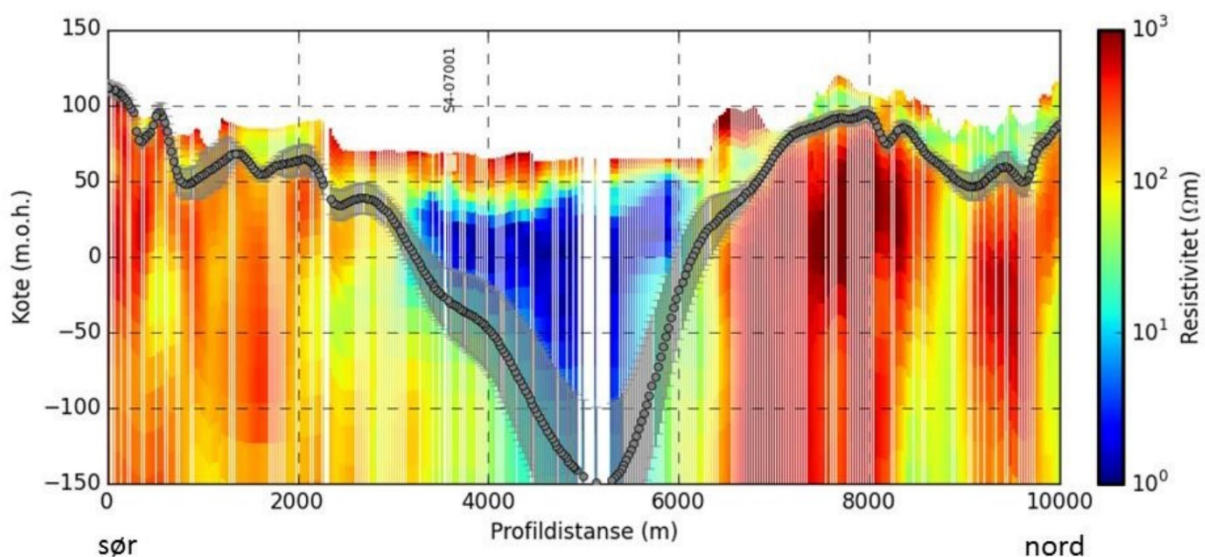
Løsmassemodellen i Leapfrog 3D GEO gir et innblikk i lagdelingene fra Helgelandsmoen over Storelva og Mælingen mot Prestmoen. Oppsettet i modelleringsprogrammet Leapfrog 3D GEO gjorde det utfordrende å lese av lagtykkelsene i løsmassemodellen. Borepunktene følger traséen til Ringeriksbanen og ny E16 i en buform (figur 4.18). Leapfrog 3D GEO lager løsmassemodellen i et rektangel, som fører til interpolering i store områder hvor det ikke er borepunkter.

Under modellering i Leapfrog 3D GEO tynnes lagene ut og blir borte når det ikke er borepunkter i nærheten. Interpoleringen i Leapfrog 3D GEO fører til at noen lag kun er synlige i området hvor borepunktene er plassert, selv om det er forventet at lagene skal ligge over hele løsmassemodellen. Tykke lag kan observeres som tykkere enn forventet. Ved å sammenligne figur 4.16 som viser sidene på løsmassemodellen og figur 4.19 som angir den planlagte traséen hvor borepunktene er lokalisert, ser man tydelig hvordan programmet interpolerer og at områder uten borepunkter mister lag. For å oppnå ønsket lagdeling kunne en løsning ha vært å lage fiktive borepunkter.

Svakheter ved interpoleringen i Leapfrog 3D GEO førte til at tørrskorpelaget ikke dekket hele løsmassemodellen, og at sandlaget under var synlig enkelte steder på modelloverflaten. Dette gjaldt spesielt området i den bratte skrenten opp mot Prestmoen. Storelva fra Helgelandsmoen og over til Mælingen har blitt generert som en dam, men egentlig krysser den tvers over hele løsmassemodellen. Tross usikkerheten knyttet til lagenes posisjon og mektighet, gir løsmassemodellen et godt innblikk i den kvartærgeologiske utviklingen i området og angir relativ alder til lagene.

5.4 Den kvartærgeologiske utviklingen i Mælingen-området med utgangspunkt i løsmassemodellen fra Leapfrog 3D GEO

Berggrunnsoverflaten danner en U-dal med en dybde på 72 meter til mer enn 140 meter i Mælingen-området, og er i hovedsak dannet av glasiale prosesser. AEM-målingene utført fra fly i figur 5.5 måler den elektriske resistiviteten, og kan gi indikasjoner på sedimentinnhold og laggrenser i grunnen (Anschütz & Lysdahl, 2016, s. 5).



Figur 5.5: AEM-målinger (luftbåren elektromagnetisme) over strekning 4 med grå linje som viser berggrunnen. Høy resistivitet kan indikere sedimenter som tørr sand, grus eller berggrunn, mens lav resistivitet kan være leire (Anschütz & Lysdahl, 2016, ss. 8, 47).

Den kvartærgeologiske utviklingen i Mælingen-området har tre ulike scenarier for avsetninger av lagene fra berggrunnen til og med XA (figur 4.17). Lagene XA og XB som er adskilt med siltig leire 7 viser store variasjoner i sedimentinnhold på totalsonderingene, og danner grunnlaget for de tre ulike scenariene. På totalsonderingene kan lagene XA og XB tolkes å være siltig sand, sand eller morenemateriale. Det ble observert stor sonderingsmotstand for lagene XA og XB i borediagrammet. Den postglasiale lagrekken er avsetninger fra toppen av XA til modelloverflaten avsatt uavhengig av scenariene.

Scenario 1

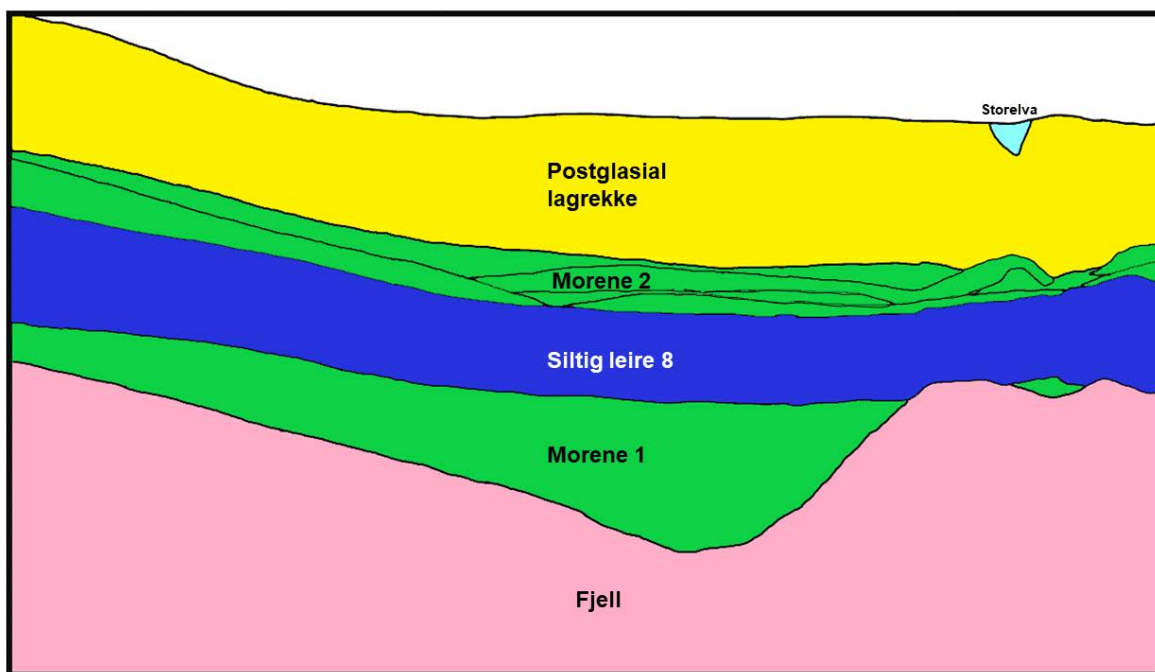
I scenario 1 ble morene 1 (figur 5.6) som grenser til berggrunnen, avsatt i saale (254 000 – 130 000 år siden) eller tidlig weichsel (115 000-75 000 år siden) til midtre weichsel (75 000-25 000 år siden) under kaldere klimaforhold (Lang et al., 2018; Andersen & Borns, 1997, s. 51). I tidlig weichsel var det tre veldig varme perioder og to stadialer (figur 2.8). I midtre weichsel var det en rask avkjøling etterfulgt av en lengre kald periode (Andersen & Borns, 1997, ss. 52-53).

Overliggende lag fra morene 1 er siltig leire 8 som kan ha blitt avsatt på dypere havnivå under transgresjon i en av de tre veldig varme periodene i tidlig weichsel, eller under interstadialen i midtre weichsel (figur 2.8). På dypere havnivå er det ingen til veldig liten energi i vannet, og leire og silt som holdes i suspensjon kan avsettes. Avsetninger av det mektige siltig leire 8 laget kan indikere store mengder med sedimenter i suspensjon, stor tilførsel av sedimenter og/eller en lengre periode med høyt havnivå. Overliggende lag fra siltig leire 8 er siltig sand Cx, siltig sand D, XB, siltig leire 7 og XA, og tolkes i scenario 1 som et morenelag, morene 2.

Avsetninger av morenemateriale i morene 2 tyder på at klimaet ble kaldere med isframstøt, og kan ha skjedd i Tampen i sen weichsel (25 000-10 000 år siden) (Andersen & Borns, 1997, s. 51). I en bunnmorene kan det være vann fra breisen som sorterer sedimentene (Jørgensen et al., 1997, s. 80). Det kan tenkes at siltig sand Cx, siltig sand D og siltig leire 7 er sorterte lag eller linser i en ellers usortert bunnmorene, og at lagene XA og XB er usorterte morenelag.

Alternativt kan siltig leire 7, som er et tynt lag bestående av leire og silt med tilnærmet samme retning som isbevegelsen, ha blitt avsatt da isen beveget seg på en tynn vannfilm (Halvorsen, 1977, s. 25). En svakhet ved scenario 1 er at de sorterte lagene siltig sand Cx, siltig sand D og siltig leire 7 er tykkere enn forventet for sorterte lag i en usortert bunnmorene.

Morene 1 og morene 2 antas å være bunnmorener på grunn av mektighet, langstrakte former og sorterte lag (Epshtein, 2017). Morene 1 er en tykk morene og tykkelsen kan forklares med at den er avsatt i forsenkningen til U-dalen. Morene 2 er rundt 10 meter tykk i gjennomsnitt, og i Norge er det ikke vanlig at morener er mer enn 5 meter tykke i gjennomsnitt over et større område (Halvorsen, 1977, ss. 7-11). Scenario 1 passer ikke tidsmessig med at deltaet i Mølingen-området ble dannet i forbindelse med isavsmeltingen under siste istid.



Figur 5.6: I scenario 1 er lagene XA og XB sammen med siltig sand Cx, siltig sand D og siltig leire 7 tolket å være et morenelag, morene 2. Morene 1 antas i scenario 1 å være avsatt i saale eller tidlig til midtre weichsel og morene 2 i sen weichsel.

Scenario 2

Dette scenariet har tre forskjellige morenelag med to ulike teorier for alder (figur 5.7).

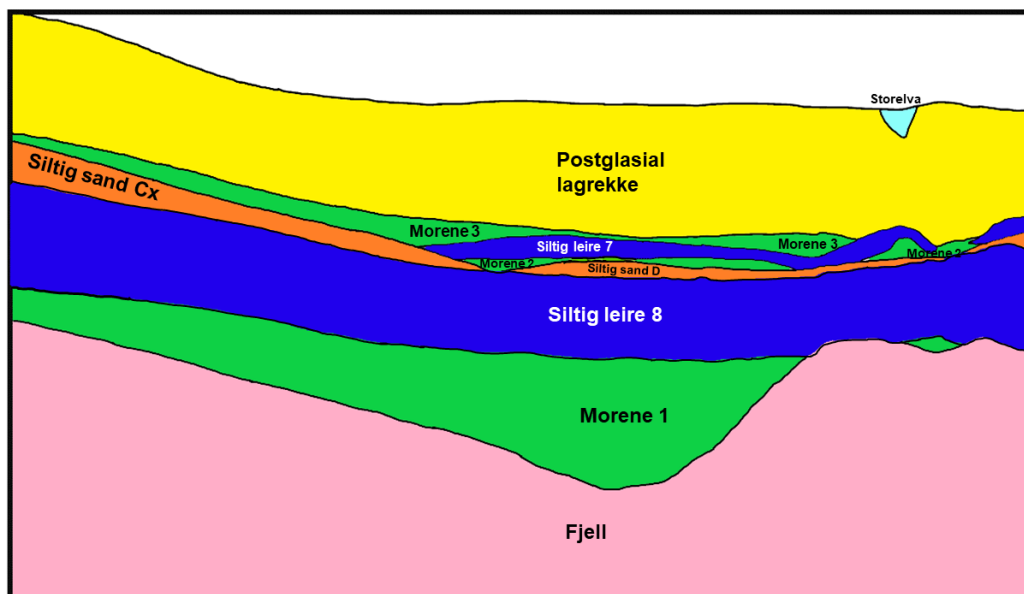
I teori A har morene 1 som grenser til berggrunnen blitt avsatt i saale eller tidlig weichsel.

Morene 2 og morene 3 har blitt avsatt som følge av oscillerende klimaforhold i sen weichsel.

Teori B viser at morene 1 som grenser til berggrunnen har blitt avsatt i saale eller tidlig weichsel, morene 2 i midtre weichsel og morene 3 i sen weichsel.

De tre morenelagene antas på grunn av utbredelsen å være bunnmorener, og avsatt under kaldere klimaforhold. Morene 1 har blitt avsatt i forsenkningen til U-dalen, og forklarer den store mektigheten til morenen. Morene 2 har en mindre utbredelse enn morene 3, og tykkelsen på morenen er ca. 5 meter i gjennomsnitt over et større område som er en vanlig tykkelse for en bunnmorene i Norge (Halvorsen, 1977, s. 7).

Avsetninger av siltig leirelag, siltig sandlag og morenelag blir styrt av temperaturforhold. Siltig leire 8 og siltig leire 7 kan tenkes å ha blitt avsatt på dypere havnivå under varmere klimaforhold under transgresjon. Siltig sandlag Cx og siltig sandlag D kan ha blitt avsatt på grunnere havnivå under regresjon. Morenemateriale har blitt avsatt under kalde klimaforhold. Scenario 2 passer ikke tidsmessig med at Mælingen-området antas å være et tidligere deltaområde dannet under isavsmeltingen under siste istid.



Teori A
M1: Saale /tidlig weichsel
M2: Sen weichsel
M3: Sen weichsel

Teori B
M1: Saale /tidlig weichsel
M2: Midtre weichsel
M3: Sen weichsel

Figur 5.7: XA er morene 3 og XB er morene 2, hvor A og B viser to forskjellige teorier for alderen for de ulike morenelagene.

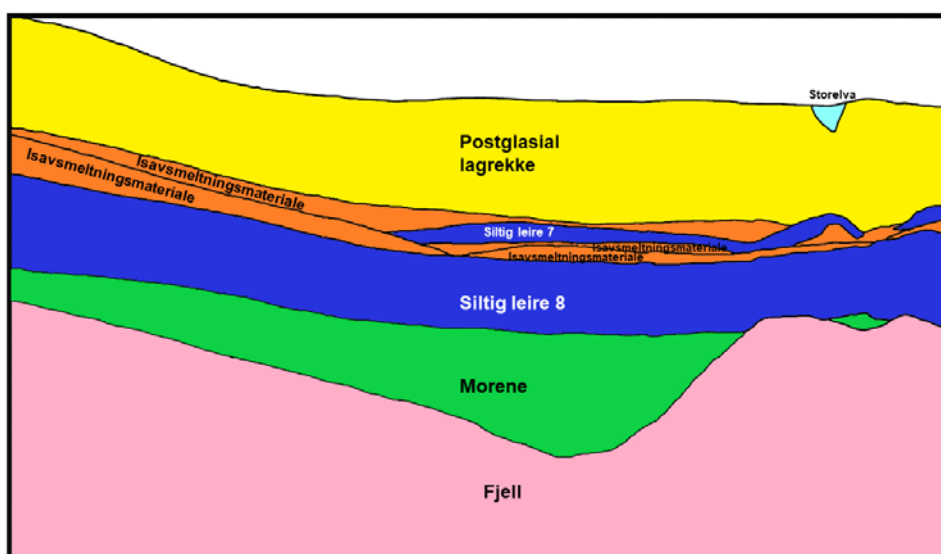
Scenario 3

Figur 5.8 viser scenario 3 som tar utgangspunkt i at det er et morenelag som grenser til berggrunnen og som ble avsatt under siste istid. Overliggende lag fra siltig sand D til den postglasiale lagrekken, inkludert lagene XA og XB er isavsmeltingsmateriale. Under siste istid nådde iskanten helt til Danmark i sør og Eggakanten i vest, og havområdene utenfor Mælingen var dekket av is under LGM (Mangerud et al., 2011). Isbevegelsen under siste istid var fra sør-øst og fulgte dalføret, og endte i området hvor Tyrifjorden ligger i dag.

Morenelaget som grenser til berggrunnen kan ha blitt avsatt da klimaet ble varmere i sen weichsel (figur 2.8), og isdekket som lå over havet kalvet under tilbakesmeltingen. Under kalvingen hadde isen en dyttkraft som dro med seg store mengder sedimenter ut i havet. Morenelaget ble avsatt som en bunnmorene fra sedimenter som ble dyttet ut i havet, og fra sedimenter i den kalvede isen.

Havet fulgte etter iskanten etter hvert som isen smeltet og trakk seg tilbake helt til 201 høydemeter over havet, og er den marine grensen i Ringerike kommune (NGU, 2019c). Breelvene transporterte med seg store mengder med sedimenter som ble avsatt i deltaene da elvene munnet ut i havet. På dypere havnivå ble siltig leire 8 avsatt. Overliggende lag som siltig sand D kan ha blitt avsatt på grunnere havnivå under regresjon i grensen mellom bunnlaget og skrålaget til deltaet. Landhevingen gjorde at deltaene ble dannet på lavere nivå mot Tyrifjorden. Erosjonsmateriale fra delta høyere opp i terrenget ble resedimentert i nye delta lengre ned i terrenget.

Lagene XA og XB er adskilt med siltig leire 7 og tolkes å være siltig sand eller sand i scenario 3. Lagene ble avsatt da breelvene møtte havet og deltaet ble dannet. Siltig leire 7 kan ha blitt avsatt på dypere havnivå i perioder med transgresjon. Observasjoner av sedimenter fra saale er uvanlig i Norge. Scenario 3 er det eneste scenariet som beskriver hvordan sedimentene kan ha blitt avsatt under siste istid. Deltaet i Mælingen-området ble dannet for ca. 6000 år siden før nåtid. Scenario 3 er det mest sannsynlige scenariet for å beskrive avsetninger av lagene i Mælingen-området som kan ha vært et tidligere deltaområde.



Figur 5.8: XA og XB er begge isavsmeltningsmateriale bestående av siltig sand eller sand avsatt i forbindelse med isavsmeltingen under siste istid.

Den postglasiale lagrekken

Avsetninger av den postglasiale lagrekken fra toppen av XA til overflaten av løsmassemodellen er uavhengig av scenariene for underliggende sedimenter. Den postglasiale lagrekken ble godt dokumentert med totalsonderinger og sylinderprøver. Fra toppen av XA og oppover ligger det vekslende lag med siltig sand og siltig leire, som antas å ha blitt avsatt under oscillerende havnivå. Siltig leire ble avsatt på dypere havnivå under transgresjon og siltig sand på grunnere havnivå under regresjon.

Over siltig sand og siltig leire er det vekslende lag med sand og siltig leire. Sand kan ha blitt avsatt i områder hvor elvene munnet ut i havet eller i innsjøer. Siltig leire ble avsatt på dypere havnivå under transgresjon. De to siltig sandlagene (siltig sand E og siltig sand F) ble avsatt på grunnere havnivå under regresjon. Sylindprøvene viser at de øverste 3,5 meterne med sedimenter er fluvialt avsatt, og at siltig leire 1 og siltig leire 2 kan ha blitt avsatt under flomperioder i Storelva. De meandrerende elveløpene på Mælingen har avsatt og erodert området etter siste istid, som observert på georadarprofilene.

5.5 Grunnvannet på Mælingen

Oppgaven startet med en hypotese om at grunnvannsspeilet på Mælingen kan bli hevet etter utbyggingen av Ringeriksbanen og ny E16 (figur 4.30). Grunnvannsspeilet styres av vannstands nivået i Synneren og Storelva. Årsaken til at grunnvannsspeil kan bli hevet er en reduksjon i porøsitet og permeabilitet fra sammenpressing av sedimentene. Det reduserte porevolumet fører til at grunnvannet vil trenge mer plass, og grunnvannsspeilet kan bli hevet. Et høyere grunnvannsspeil vil ikke være et problem i områdene hvor fyllingene ligger, fordi grunnvannet vil stige opp i fyllingene.

Et høyere grunnvannsspeil kan føre til at det blir færre sedimenter som renses overflatevannet når vannet infiltrerer, og kan øke risikoen for å forurense grunnvannet. Etter utbyggingen av Ringeriksbanen og ny E16 kan det oppstå forurensninger fra vei og kjøretøy i form av avrenninger fra veioverflaten og spredning av partikler gjennom luft (Statens vegvesen, 2004, s. 16). I tillegg kan grunnvannet bli forurenset av nitrogen fra sprengsteinfyllingene.

Etter utbyggingen av Ringeriksbanen og ny E16 kan det skje en økning i hydraulisk trykkehøyde forårsaket av sammenpressing av sedimenter som øker energien i vannet (likning 4). Grunnvannsstrømningene på Mælingen strømmer mellom grunnvannsskillet og Synneren i vest og Storelva i øst, og antas ikke å bli påvirket av utbyggingen (figurene 4.29 og 4.30).

En reduksjon i porøsitet og permeabilitet i sedimentene etter utbyggingen kan føre til en forsinket respons for grunnvannsstrømningene. Synneren ser ut til å ha en litt forsinket respons i forhold til Storelva, og kan tyde på finere masser som silt og leire med lavere permeabilitet i området ved Synneren (figur 4.26). Grunnvannsskillet på Mælingen er lokalisert vest for den planlagte traséen som en konsekvens av grunnvannsstrømningene. Det antas å skje en forsinket respons i grunnvannsstrømningene, og posisjonen til grunnvannsskillet kan bli endret etter utbyggingen (figur 4.28). Endringene vil være minimale og posisjonen til grunnvannsskillet vil ikke påvirke utbyggingen.

Grunnvannsmodellen er basert på geologisk og modelleringstekniske forenklinger. En svakhet ved modellen er at den ikke tar hensyn til de tynne siltig leirelagene observert på sylindrerprøvene og totalsonderingene. Det kan tenkes at simuleringer med tynne siltig leirelag ville ha gitt en høyere hydraulisk trykkehøyde enn slik det fremgår av oppgaven. Forutsatt at vannmengden inn (Q) er lik må gradienten øke dersom den hydrauliske konduktiviteten går ned på grunn av sammenpressingen av sedimentene fra utbyggingen.

Forbedringer av grunnvannsmodellen kunne ha vært gjort ved å inkludere siltig leirelagene i modellen, og regnet ut den hydrauliske konduktiviteten for lagene. I Leapfrog 3D GEO kan programmet lage et rutenett av geologien som overføres til MODFLOW. Dette ble forsøkt gjennomført, men ga feilmeldinger som kunne ha blitt løst ved hjelp av mer tid. Det er ikke installert poretrykksmålere i Synneren og Storelva, og data hentet fra disse elvene kunne ha forbedret datagrunnlaget til grunnvannsmodellen.

Det foreligger lite informasjon om installasjon, brønner og andre parametere til poretrykksmålerne, som kunne ha vært til hjelp for å verifisere dataene. Ulike verdier for hydraulisk konduktivitet, spesifikk lagring og drenerbart porevolum kunne ha vært brukt for å lage ulike scenarier for hvordan utbyggingen av Ringeriksbanen og ny E16 kan påvirke grunnvannsspeilet på Mælingen.

5.6 Geologiske og hydrogeologiske observasjoner som kan brukes i planleggingsfasen og utbyggingen av Ringeriksbanen og ny E16

Bane NOR er interessert i hvordan en helhetlig geologisk og hydrogeologisk forståelse av Mælingen-området kan brukes under planleggingen og utbyggingen av Ringeriksbanen og ny E16. Den kvartærgeologiske utviklingen i området med utgangspunkt i løsmassemodellen i Leapfrog 3D GEO (figurene 4.19-4.23) kan gi en helhetlig geologisk forståelse i form av sedimentinnhold, stratigrafiske lag og tidligere overlaging av masser.

Sedimentene i Mælingen-området kan ha blitt avsatt som scenario 3 beskriver (figur 5.8), og området har sannsynligvis vært et delta hvor store deler har blitt erodert bort av elvene etter siste istid (teori 1). Ut ifra et geologisk perspektiv basert på datagrunnlagene i oppgaven vil sedimentene i Mælingen-området fra siltig leire 8 til den postglasiale lagrekken bestå av siltig sand eller sand med innslag av siltig leire. Lagene antas å være godt sammenpresset fra deltaet som en gang dekket området. Den postglasiale lagrekken består av siltig sand, sand og siltig leire som noen steder har gitt utslag som kvikkleire på sylinderprøvene.

Morenelaget som grenser til berggrunnen er det eneste bæredyktige laget før fjell, og det vil medføre store kostnader å fundamenterer ned til et bæredyktig lag. Bane NOR har vurdert muligheten for å benytte friksjonspeler. Siltig leirelagene kan påvirke friksjonen og medføre bruk av dype eller mange grunne peler for å bære byggverket, og kan gi en kostnadsøkning i utbyggingen.

I peleforsøket på Mælingen ble det installert peler 40-90 meter ned i bakken. Dette kan gi et innblikk i hvordan de geologiske forholdene reagerer på bruk av friksjonspeler. DPA-verdiene var lavere enn forventet og tyder på dårligere geologiske forhold med mindre friksjon i sedimentene (Bane NOR SF Utbygging, 2020). Som løsmassemodellen betyr dette høyt innhold av leire og silt. Scenario 1 og scenario 2 vil ikke være mulig for Mælingen-området, ettersom de dype pelene da hadde møtt på et morenelag med betydelig høyere friksjon enn DPA-målingene.

Som tidligere nevnt i oppgaven kan grunnvannsspeilet på Mælingen bli hevet etter utbyggingen av Ringeriksbanen og ny E16. Et tiltak for å holde grunnvannsspeilet på dagens nivå er å installere pumper. Metoden er kostbar og lite gunstig, men kan bidra til å redusere risikoen for å forurense grunnvannet. Hvis jordene i området ikke er drenert kan drenering være et alternativ for å redusere grunnvannsspeilet (Hauge et al., 2020).

Et høyere grunnvannsspeil gir færre sedimenter om kan rense overflatevannet. Det er viktig å overvåke at vannkvaliteten i brønnene i nærheten ikke blir redusert. Hvis det skulle oppstå en dårligere vannkvalitet vil det være viktig å kartlegge årsakene og sette inn nødvendige tiltak.

5.7 Kan en helhetlig geologisk forståelse av området redusere kostandene i planleggingsfasen til et utbyggingsprosjekt

De varierende geologiske forholdene i Mælingen-område har medført store kostander i planleggingsfasen av utbyggingen av Ringeriksbanen og ny E16. Totalsonderingene og sylindprøvene som ble utført i forbindelse med utbyggingen fulgte den planlagte traséen. Bane NOR stiller spørsmål ved om noen av borepunktene ikke hadde vært nødvendige. Kunne en helhetlig geologisk forståelse av området ha redusert antall totalsonderinger og sylindprøver i planleggingsfasen. Kunne mindre kostbare metoder som georadar ha vært benyttet som et alternativ for å forstå de stratigrafiske lagene i området.

Totalsonderinger og sylindprøver ble utført for å innhente informasjon om lagdelinger, sedimentinnhold og få kunnskap om hvordan grunnen vil reagere under byggverk og fyllingene til Ringeriksbanen og ny E16. Lagene fra berggrunnen til den postglasiale lagrekken viser tilnærmet horisontale lag og få lokale variasjoner på totalsonderingene (figur 4.17). Dype totalsonderinger med kort avstand imellom hadde ikke vært nødvendig.

Den postglasiale lagrekken består av vekslende siltig leire og sand med innslag av siltig sand, og har store lokale variasjoner i tykkelsen på lagene og sedimentinnhold. Det har vært utført mange totalsonderinger og sylindprøver i den postglasiale lagrekken langs den planlagte traséen. Lagrekkene vil ha en høy grad av setninger fordi området ikke har vært overlignet av tidligere materiale. Basert kun på den kvartærgeologiske historien er det vanskelig å si noe om utbredelsen og tykkelsen til lagene. Oscillerende havnivå har ført til at lavtliggende områder har hyppigere vekslinger av lag og høyere innhold av silt og leire. På grunn av store lokale variasjoner er det nødvendig med flere totalsonderinger og sylindprøver langs den planlagte traséen for å kartlegge den postglasiale lagrekken.

I forbindelse med oppgaven ble det utført georadarundersøkelser. På grunn av siltig leirelagene som reduserte penetrasjonen ble metoden ansett som lite egnet for å kartlegge sedimentene i Mælingen-området. Bane NOR har kartlagt de geologiske forholdene ved å benytte flere ulike metoder, AEM-målinger, totalsonderinger og sylindprøver.

Refraksjonsseismikk baserer seg på at lydbølgene får endret hastighet nedover i grunnen, og beregnet lydshastighet kan si noe om lagdelingene i løsmassene (Statens vegvesen, 2018, s. 72). Metoden er bedre egnet enn georadar fordi den ikke blir påvirket av siltig leirelagene. Refraksjonsseismikk kunne ha vært et supplement eller en erstatning for grunne totalsonderinger for å kartlegge Mælingen-området.

En helhetlig geologisk og hydrogeologisk forståelse av Mælingen-området kunne ha redusert antall dype totalsonderinger, og med dette bidratt til å redusere kostnadene i utbyggingsfasen av Ringeriksbanen og ny E16. Det har vært benyttet flere ulike kartleggingsmetoder, og en helhetlig geologisk vurdering av området kunne ha vært benyttet for å finne de mest egnede kartleggingsmetodene for området.

6. Konklusjon

- Løsmassemodellen i Leapfrog 3D GEO gir et godt innblikk i den kvartærgeologiske utviklingen for Mælingen-området, og viser at berggrunnen danner en U-dal som grenser til overliggende morenelag. De stratigrafiske lagrekkene etter morenelaget til modelloverflaten består av vekslende siltig leire, siltig sand og sand. Lagene XA og XB har tre mulige scenarier for avsetninger og sedimentsammensetninger. Ifølge scenario 3 består lagene av siltig sand eller sand avsatt i et delta under isavsmeltingen under siste istid.
- Mælingen-området har sannsynligvis vært et deltaområde dannet under isavsmeltingen under siste istid (teori 1). Etter siste istid har elvene erodert og fjernet store deler av deltaet. Skrålagene som ble observert på georadarprofilen på Prestmoen er den midterste delen av deltaet og siltig leire 8 i løsmassemodellen bunnlaget.
- Det kvartærgeologiske kartet utarbeidet i oppgaven samsvarer i stor grad med eksisterende løsmassekart fra Østmo et al. (1978) og NGU (2019a) for Mælingen-området. Geologisk sett har landskapet endret seg lite fra 1978 til 2019, men menneskelig aktivitet i form av utbygging, planering og jordbruk har fjernet flere geologiske landformer.
- Georadarprofilene utført på Mælingen viser at grunnvannspeilet lå på ca. 3 meter ned i grunnen da profilene ble innsamlet. Grenseflatene på rundt 15 meter ned i bakken tyder på å være tidligere elvekanaler fra de meandrerende elvene som har skåret seg ned i et siltig leirelag, og er grensen mellom et sandlag og et siltig leirelag.
- Grunnvannsmodellen i MODFLOW viser at grunnvannspeilet kan bli hevet og at grunnvannsstrømmingene på Mælingen trolig ikke kommer til å bli påvirket av utbyggingen av Ringeriksbanen og ny E16.
- En helhetlig geologisk og hydrogeologisk forståelse av Mælingen-området vil være til stor nytte for Bane NOR i byggeprosessen og i valg av byggemetoder.

7. Bibliografi

- Andersen, B. G., & Borns, H. W. (1997). *The Ice Age World- An Introduction to Quaternary History and Research with Emphasis on North America and Northern Europe During the Last 2.5 Million Years*. Oslo: Universitetsforlaget AS.
- Annan, A. P. (2003). *Ground Penetrating Radar Principles, Procedur & Applications*. Mississauga: Sensors & software.
- Anschütz, H., & Lysdahl, A. K. (2016). *AEM-målinger Ringeriksbanen- Datarapport endelige data*. Oslo: Norges geologiske institutt.
- Arief, H. A., Strand, G.-H., Tveite, H., & Indahl, U. G. (2018, Juni 19). Land Cover Segmentation of Airborne LiDAR Data Using Stochastic Atrous Network. *Remote Sens*, 10(6), ss. 1-22. Hentet fra <https://doi.org/10.3390/rs10060973>
- Bahmani, O., & Bayram, M. (2018, August 9). Investigating the hydraulic conductivity and soil characteristics under compaction and soil texture and performances as landfill liner. *Arabian Journal of Geosciences*, 11(453), ss. 1-10. Hentet fra <https://doi.org/10.1007/s12517-018-3817-7>
- Bane NOR SF Utbygging. (2020). *Fellesprosjektet Ringeriksbanen og E16 (FRE16), FRE-TK-05 Mælingen, Peleforsøk datarapport*. Bane NOR.
- Bane NOR, & Statens vegvesen. (2018, November 14). *Prøveprosjekt på Mælingen*. Hentet Juli 27, 2019 fra Bane NOR: https://www.banenor.no/contentassets/851071150dd34b7fa4def1900d1cda73/fre16_fu llskalaforsok-malinger-141118_endelig.pdf
- Batu, V. (1998). *Aquifer Hydraulics: A Comprehensive Guide to Hydrogeologic Data Analysis*. John Wiley & SONS.
- Bristow, C. S., & Jol, H. M. (2003a). An introduction to ground penetrating radar (GPR) in sediments. I C. S. Bristow, & H. M. Jol, *Ground Penetrating Radar in Sediments* (ss. 1-5). London: The Geological Society.
- Bristow, C. S., & Jol, H. M. (2003b). GPR in sediments: advice on data collection, basic processing and interpretation, a good practic guide. I C. S. Bristow, & H. M. Jol, *Ground Penetrating Radar in Sediments* (ss. 9-24). London: The Geological Society.
- Coe, A. L., Argles, T. W., Rothery, D. A., & Spicer, R. A. (2016). *Geological field techniques* (8. utg.). Milton Keynes, England: Wiley-Blackwell.
- David, K., Timms, W., Barbour, S., & Mitra, R. (2017). Tracking changes in the specific storage of overburden rock during longwall coal mining. *ELSEVIER- Journal of Hydrology*, 553, 304-320. Hentet fra <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2017.07.057>
- Den Norske pelekomit . (1973). *Veiledning ved pelefundamentering*. Den Norske pelekomit . Hentet fra https://www.nb.no/items/URN:NBN:no-nb_digibok_2007071700052
-  kes, C., & Friele, P. (2003). Sedimentary architecture and post-glacial evolution of Cheekye fan, southwestern British Columbia, Canada. I H. M. Jol, & C. S. Bristow, *Ground Penetrating Radar in Sediments* (ss. 87-97). London: The Geological Society.

- Epshtein, O. G. (2017). Basal (basic) moraines: Problem of the identification and principles of new classification. *Lithology and Mineral Resources*, 52, ss. 125–146.
Hentet fra <https://doi.org/10.1134/S0024490217010023>
- Google earth. (2019). *Google earth*. Hentet fra Google: <https://earth.google.com>
- Halvorsen, S. (1977). *Morener; dannelse, klassifiser og egenskaper*. Ås: Institutt for geologi-Norges landbrukshøgskole.
- Hauge, A., Haukås, T., Rivedal, S., & Deelstra, J. (2020). *Drenering og klimagassutslipp Virkning av drenering på lystgassutslipp og lønnsomhet, dreneringsbehov og tiltaksanalyse*. Ås: Norsk institutt for bioøkonomi (NIBIO).
- Hensel, G. R., Køhler, J. C., & Yri, A. W. (2008, Januar). *Infiltrasjonsanlegg som renseløsning - mindre avløpsrenseanlegg (<50 pe)*. Bioforsk Jord og miljø.
Hentet fra <http://hdl.handle.net/11250/2465782>
- Hishe, H. G., & Bane NOR. (2019). Setningsmålinger på Mælingen. Bane NOR.
- Hole kommune. (2019, August 5). *Avanser kartløsning - Hole kommune*.
Hentet fra <https://kart2.nois.no/hole/>
- Holzer, T. L. (2010, mars). The water Table. *Ground Water*, 48(2), ss. 171-174.
Hentet fra <https://doi.org/10.1111/j.1745-6584.2009.00640.x>
- Huseby, S., & Klemetsrud, T. (1980). *Beskrivelse til vannressurskart "Grunnvann i løsavsetninger"- BLAD 1815 III, 1:50 000*. Hønefoss: Norges geologiske undersøkelse.
- Johnson, A. I. (1967). *Specific Yield-Compilation of Specific Yield for Various Materials*. Washington: United States Government Printing Office.
- Jørgensen, P., Sørensen, R., & Haldorsen, S. (1997). *Kvartærgeologi*. Landbruksforlaget.
- Karlsrud, K., Kveldsvik, V., Snilsberg, P., Søvik, A. K., Erikstad, L., Bendiksen, E., . . . Worsely, R. T. (2001). *Konsekvenser av tunnellekkasjer for det ytre miljø*. Statens vegvesen. Hentet fra <http://hdl.handle.net/11250/190434>
- Kartverket. (2019a, Juli 26). *Norgeskart*. Hentet fra Kartverket: <https://www.norgeskart.no>
- Kartverket. (2019b, Oktober 04). *Høydedata- Laserinnsyn*.
Hentet fra Kartverket: <https://hoydedata.no/LaserInnsyn/>
- Kåsin, K. (2020, April 28). Poretrykksmålere Mælingen. (I. A. Pottier, Intervjuer)
- Lang, J., Lauer, T., & Winsemann, J. (2018). New age constraints for the Saalian glaciation in northern central Europe: Implications for the extent of ice sheets and related proglacial lake systems. *Quaternary Science Reviews*, 180, ss. 240-259.
Hentet fra <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2017.11.029>
- Mangerud, J., Gyllencreutz, R., Lohne, Ø., & Svendsen, J. I. (2011, Juli 1). Chapter 22 - Glacial History of Norway. *Developments in Quaternary Sciences*, 15, ss. 279-298.
Hentet fra <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-53447-7.00022-2>

- Meteorologisk institutt. (2019, November 20). *eKlima*.
Hentet fra Meteorologisk institutt: <http://sharki.oslo.dnmi.no/>
- Miljødirektoratet. (2020, April 30). *Norges verneområder*. Hentet fra Miljødirektoratet:
<https://www.miljodirektoratet.no/ansvarsomrader/vernet-natur/norges-verneomrader/>
- Multiconsult. (2017). *Fellesprosjektet Ringeriksbanen og E16 (FRE), Ringeriksbanen, Sundvollen/Høgkastet - Bymoen, Grunnundersøkelser (Strekning 3/Avrop 06-S3), Datarapport, Bilag IV*. Bane NOR.
- Møller, J., & Holmeslet, B. (2020, Januar 28). *Havets historie i Fennoskandia og NV Russland*. Hentet fra Geologi i skolen: <http://geo.phys.uit.no/sealev/index.html>
- Neal, A. (2004, Januar 19). Ground-penetrating radar and its use in sedimentology: principles, problems and progress. *Earth-Science Reviews*, 66(3-4), ss. 261-330.
Hentet fra <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2004.01.004>
- NGF. (2010). *Veiledning for utførelse av trykksondering*.
Norsk geoteknisk forening.
- NGF. (2017). *Veiledning for måling av grunnvannstand og poretrykk*.
Norsk geoteknisk forening.
- NGI. (2019a). *Fellesprosjektet Ringeriksbanen og E16 (FRE); Ringeriksbanen; Sundvollen - Hønefoss; Grunnundersøkelser (Strekning 3,4 og 5/Avrop 08-S3 S4 S5); Datarapport; Bilag V*. Bane NOR.
- NGI. (2019b). *Fellesprosjektet Ringeriksbanen og E16 (FRE16); Ringeriksbanen; Geotekniske undersøkelser; Avrop 10-S1-S4-S5; Datarapport; Bilag VI*. Bane NOR.
- NGI. (2019c). *Instrumentering Ringeriksbanen- data fra poretrykksmålerne*.
Hentet fra Norges geotekniske institutt: <http://ringeriksbanen.ngi.no/>
- NGU. (2019a). *Løsmaser N50/N250*.
Hentet fra Norges geologiske undersøkelse: <http://geo.ngu.no/kart/losmasse/>
- NGU. (2019b). *Berggrunn*.
Hentet fra Norges geologiske undersøkelse: <http://geo.ngu.no/kart/berggrunn/>
- NGU. (2019c, Oktober 06). *Marin grense*. Hentet fra Norges geologiske undersøkelse:
<http://geo.ngu.no/kart/losmasse/?lang=Norsk&Box=-268657:6427000:1299257:7965000&map=Marin%2Egrense>
- NGU. (2020). *Ordbok*. Hentet fra NGU: <https://www.ngu.no/side/ordbok>
- Norconsult, AAS Jakobsen, & Asplan Viak. (2017). *Fellesprosjektet Ringeriksbanen og E16 (FRE); Ringeriksbanen; Bymoen - Styggedalen; Detaljplan og teknisk plan; Geoteknisk datarapport; Strekning 4; Bilag III*. Bane NOR.
- Norconsult, AAS Jakobsen, & Asplan Viak. (2019a). *Fellesprosjektet Ringeriksbanen og E16 (FRE16); Bymoen - Styggedalen; Detaljplan og teknisk plan; Fagrapport Hydrologi; Strekning 4*. Bane NOR.

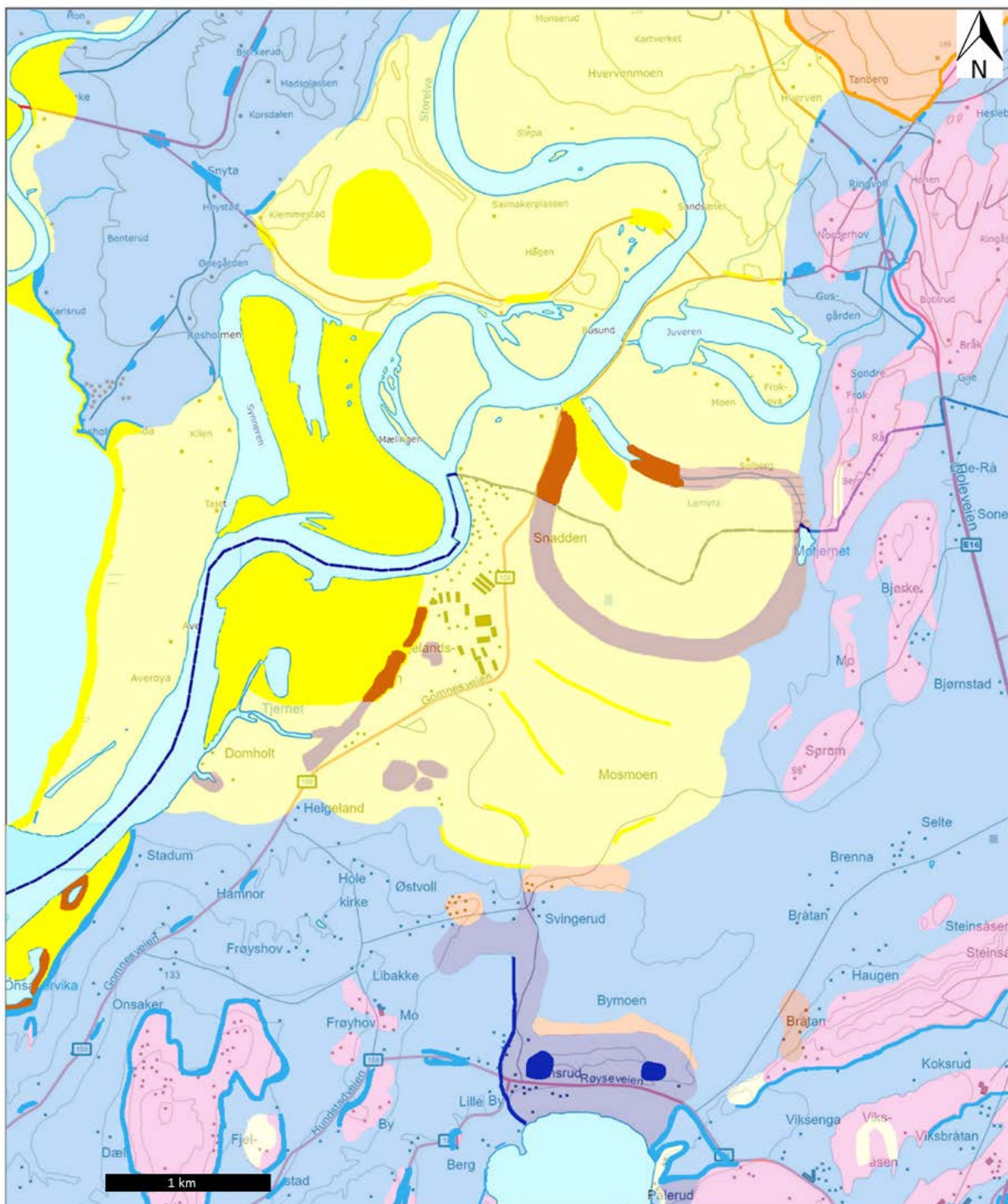
- Norconsult, AAS Jakobsen, & Asplan Viak. (2019b). *Fellesprosjektet Ringeriksbanen og E16 (FRE16); Bymoer - Styggedalen; Detaljplan og teknisk plan; Fagrapport Hydrogeologi; Strekning 4*. Bane NOR.
- Norconsult, AAS-Jakobsen, & Asplan Viak. (2019c). *Fellesprosjektet Ringeriksbanen og E16 (FRE16); Bymoer - Styggedalen; Detaljplan/teknisk plan; Vanntilførsel og vannkvalitet i Synneren med fylling på Mælingen; Strekning 4*. Bane NOR.
- NVE. (2020, April 05). *NEVINA*. Hentet fra NVE: <http://nevina.nve.no/>
- Ottesen, D., Dowdeswell, J., & Rise, L. (2005, Juli 1). Submarine landforms and the reconstruction of fast-flowing ice streams within a large Quaternary ice sheet: The 2500-km-long Norwegian-Svalbard margin (57°–80°N). *Geological Society of America Bulletin*, 117(7-8), ss. 1033-1050.
Hentet fra <https://doi.org/10.1130/B25577.1>
- Rackley, S. A. (2017). Chapter 15 - Hydrological and environmental features, events, and processes. I S. A. Rackley, *Carbon Capture and Storage* (ss. 387-406). ELSIVER.
- Regjeringen. (2020a, Mars 27). *Statlig plan for Ringeriksbanen og ny E16 er vedtatt*. Hentet Mars 27, 2020 fra Regjeringen: <https://www.regjeringen.no/no/aktuelt/statlig-plan-for-ringeriksbanen-og-ny-e16-er-vedtatt/id2695504/>
- Regjeringen. (2020b, Mai 12). *Ringeriksbanen og E16 til Hønefoss: Sikter inn mot investeringsbeslutning i mai 2021*. Hentet Mai 24, 2020 fra Regjeringen: <https://www.regjeringen.no/no/aktuelt/ringeriksbanen-og-e16-til-honefoss-sikter-inn-mot-investeringsbeslutning-i-mai-2021/id2702270/>
- Ren, X., & Santamarina, J. (2018, Januar 31). The hydraulic conductivity of sediments: A pore size perspective. *Engineering Geology*, 233, ss. 48-54. Hentet fra <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2017.11.022>
- Riise, T. B. (1968). *Geoteknikk og fundamentering*. Universitetsforlaget.
- Ringerike kommune. (2019). *Avansert kartløsning -Ringerike kommune*. Hentet fra <https://kart.ringerike.kommune.no>
- Rønneberg, T. (2020, Januar 01). *Fakta om prosjektet*. Hentet Mai 3, 2020 fra Bane Nor: <https://www.banenor.no/Prosjekter/prosjekter/ringeriksbanenoge16/om-prosjektet/>
- Schwartz, F. W., & Zhang, H. (2003). *Fundamentals of Ground Water*. John Wiley and Sons, INC.
- Sensors & Software Inc. (2015). *EKKO_Project with Processing, Bridge Deck Condition & Pavement Structure Modules*. Mississauga: Sensors & Software Inc.
- Sigmond, E. M., Bryhni, I., & Jorde, K. (2013). *Norsk geologisk ordbok*. Trondheim: Fagbokforlaget.
- Statens vegvesen. (2004). *Utslippsfaktorer fra veg til vann og jord i Norge*. Statens vegvesen. Hentet fra <http://hdl.handle.net/11250/193348>
- Statens vegvesen. (2018). *Feltundersøkelser- Håndbok R211*. Vegdirektoratet. Hentet fra <https://www.vegvesen.no/fag/publikasjoner/handboker>

- Statens vegvesne. (2014). *Håndbok V221 - Grunnforsterking, fyllinger og skråninger*. Statens vegvesne. Hentet fra <https://www.vegvesen.no/fag/publikasjoner/handboker>
- Sulebak, J. R. (2007). *Landformer og prosesser*. Bergen: Fagbokforlaget.
- USGS. (2018a, September 25). *Online Guide to MODFLOW-2005*. Hentet fra USGS: <https://water.usgs.gov/ogw/modflow/MODFLOW-2005-Guide/>
- USGS. (2018b, August 20). *GW_Chart: A Program for Creating Specialized Graphs Used in Groundwater Studies*. Hentet April 14, 2020 fra USGS: <https://www.usgs.gov/software/gwchart-a-program-creating-specialized-graphs-used-groundwater-studies>
- Vorren, T. O., & Mangerud, J. (2013). Istider kommer og går, Pleistocen: 2,6 Ma til 11 700 år. I I. B. Ramberg, I. Bryhni, A. Nøttvedt, & K. Rangnes, *Landet blir til, Norges geologi* (ss. 494-547). Trondheim: Norsk geologisk forening.
- Yr. (2019). *Hønefoss*. Hentet fra Yr: <https://www.yr.no/nb/historikk/tabell/1-84687/Norge/Viken/Ringerike/>
- Zwaan, K. B., & Larsen, B. T. (2003). *Berggrunnskart Hønefoss 1815 III, M 1:50 000, forløpig utgave*. Norges geologiske undersøkelse.
- Østmo, S., Kjærnes, P., & Olsen, K. (1978). *Kvartærgeologisk kart 1815 III- M. 1:50 000*. Hønefoss: Norges geologiske undersøkelse.

8. Vedlegg

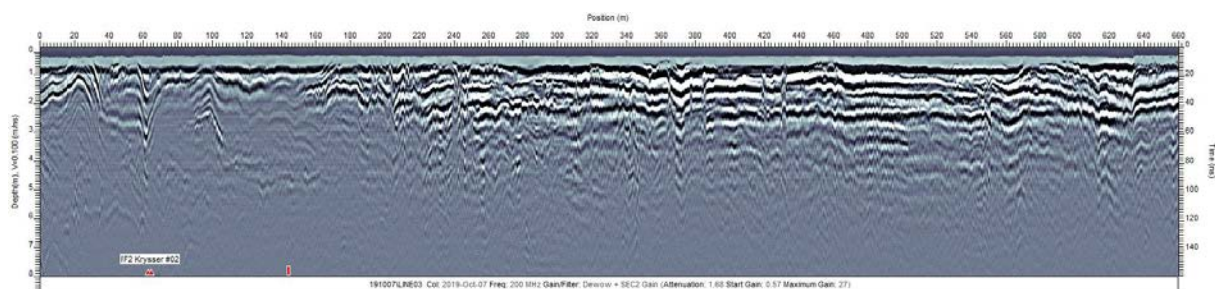
Vedlegg 1: Usikkerheter tilknyttet det kvartærgeologiske kartet

Kartlagte områder for det kvartærgeologiske kartet er angitt med sterke farger. Områdene med duse farger har vært kartlagt med satellittbilder, flyfoto, LIDAR-data og eksisterende løsmassekart. Tegnforklaring i figur 4.8.

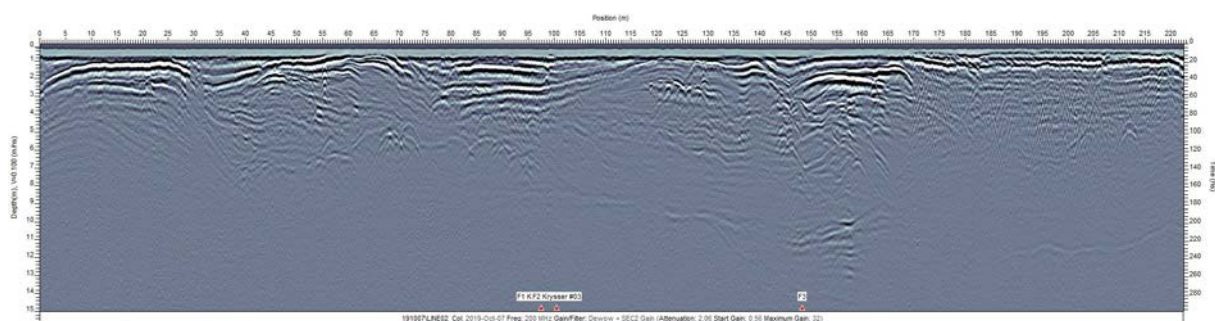


Vedlegg 2: Georadarprofiler

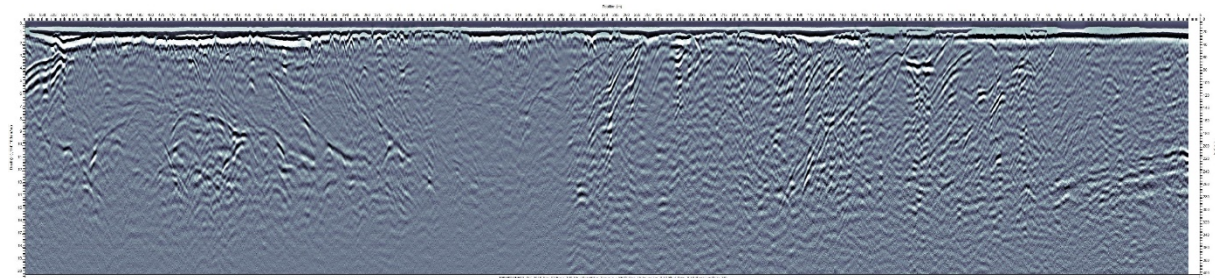
Vedlegg 2.1: 200 MHz antenner: Georadarprofil med start 1 Mælingen til slutt 1 Mælingen (figur 4.10).



Vedlegg 2.2: 200 MHz antenner: Georadarprofil med start 2 Mælingen til slutt 2 Mælingen (figur 4.10).



Vedlegg 2.3: 100 MHz antenner: Georadarprofil med start Prestmoen og slutt Prestmoen (figur 4.10).



Vedlegg 3: Datagrunnlaget for løsmassemodellen

*Firmaet som har utført totalsonderingen.

** Tidligere navn på borepunktet.

Definisjoner:

Modelldybde: Dybden til borepunktene i modellen er basert på den nederste tolkede laggrense på totalsonderingene eller interpolert laggrense til nærliggende borepunkter.

Nummer	Borepunkt	Koordinater (X,Y,Z)	Informasjon om borepunktet	Bedrift (år) *	Tolket laggrenser [m]
1	4C08003	X: 1235393.536 Y: 84684.504 Z: 64.450	Fjell dybde: 95.03 m Helning: 90° Asimut: 0°	Norconsult Fältgeoteknik AB (2016/ 2017)	Tørrskorpe: 0-1.5 Torv: 1.5-2 Siltig leire1: 2-3.5 Sand1: 3.5-7 Siltig leire 2: 7-8.5 Sand2: 8.5-9.5 Siltig leire3: 9.5-10.5 Sand3: 10.5-16 Siltig leire4: 16-16.5 Sand4: 16.5-23 Siltig sandA: 23-27 Siltig leire5: 27-28.5 Siltig sandB: 28.5-33 Siltig leire6: 33-40 Siltig sandC: 40-41 Siltig leire7: 41-44 XB: 44-48 Siltig leire 8: 48-81.5 Morene: 81.5-95.03 Fjell: 95.03-150
2	4C08005	X: 1235520.250 Y: 84636.410 Z: 65.013	Fjell dybde: 82.48 m Helning: 90° Asimut: 0°	Norconsult Fältgeoteknik AB (2016/ 2017)	Tørrskorpe: 0-1 Torv: 1-2 Siltig leire1: 2-3 Sand1: 3-5.8 Siltig leire2: 5.8-7.2 Sand2: 7.2-8 Siltig leire3: 8-10.2 Sand3: 10.2-17 Siltig leire4: 17-18.5 Sand4: 18.5-20.2 Siltig sandA: 20.2-28.3 Siltig leire5: 28.3-29 Siltig sandB: 29-35 Siltig leire6: 35-41 Siltig sandC: 41-48 XB: 48-50 Siltig leire8: 50-82.48 Fjell: 82.48-150
3	4C08006	X: 1235545.860 Y: 84573.480 Z: 63.900	Modelldybde: 37 m Helning: 90° Asimut: 0° Kommentar: Utført i vann.	Multiconsult ASA (2017)	Vann: 0-7.8 Sand3: 7.8-18.7 Siltig leire4: 18.7-19.5 Sand4: 19.5-22.5 Siltig sandA: 22.5-28.2 Siltig leire5: 28.2-29.5 Siltig sandB: 29.5-34.5 Siltig leire6: 34.5-37
4	4C08007	X: 1235549.710 Y: 84608.840 Z: 63.900	Modelldybde: 49 m Helning: 90° Asimut: 0° Kommentar: Utført i vann.	Multiconsult ASA (2017)	Vann: 0-9.8 Sand3: 9.8-18.2 Siltig leire4: 18.2-19 Sand4: 19-20 Siltig sandA: 20-27.5 Siltig leire5: 27.5-29 Siltig sandB: 29-33 Siltig leire6: 33-36.5 Siltig sandC: 36.5-37.2 Siltig leire7: 37.2-40 XA: 40-49

5	4C08008	X: 1235601.870 Y: 84552.160 Z: 63.900	Modelldybde: 20 m Helning: 90° Asimut: 0° Kommentar: Utført i vann.	Multiconsult ASA (2017)	Vann: 0-5.5 Sand3: 5.5-18.2 Siltig leire4: 18.2-19 Sand4: 19-20
6	4C08009	X: 1235606.940 Y: 84587.520 Z: 63.900	Modelldybde: 20 m Helning: 90° Asimut: 0° Kommentar: Utført i vann.	Multiconsult ASA (2017)	Vann: 0-4.5 Sand3: 4.5-20
7	4C08010	X: 1235646.170 Y: 84526.050 Z: 64.170	Fjell dybde: 84 m Helning: 90° Asimut: 0°	Norconsult Fältgeoteknik AB (2016/ 2017)	Tørrskorpe: 0-1 Sand1: 1-6.5 Siltig leire2: 6.5-7 Sand2: 7-7.5 Siltig leire3: 7.5-9 Sand3: 9-17 Siltig leire4: 17-17.5 Sand4: 17.5-20 Siltig sandA: 20-25.5 Siltig leire5: 25.5-26.5 Siltig sandB: 26.5-30 Siltig leire6: 30-31.5 Siltig sandC: 31.5-39.5 XA: 39.5-41.2 Siltig leire7: 41.2-42 Siltig sandD: 42-50 Siltig leire8: 50-78.03 Fjell: 78.03-150
8	4C08011	X: 1235653.540 Y: 84583.600 Z: 64.585	Modelldybde: 71.75 m Helning: 90° Asimut: 0°	Norconsult Fältgeoteknik AB (2016/ 2017)	Tørrskorpe: 0-1 Sand1: 1-3 Sand2: 3-11 Siltig leire3: 11-12 Sand3: 12-19 Siltig leire4: 20.5-20.5 Sand4: 20.5-21.5 Siltig sandA: 21.5-26.5 Siltig leire5: 26.5-27 Siltig sandB: 27-34 Siltig leire6: 35-37 Siltig sandC: 37-42 Siltig leire7: 42-43 XA: 43-48 Siltig sandD: 48-52 Siltig leire8: 52-71.75 Fjell: 71.75-150
9	4C08012	X: 1235734.76 Y: 84528.81 Z: 64.68	Fjell dybde: 84 m Helning: 90° Asimut: 0°	Norconsult Fältgeoteknik AB (2016/ 2017)	Tørrskorpe: 0-1 Sand1: 1-3 Sand2: 3-11.5 Siltig leire3: 11.5-13 Sand3: 13-16.5 Siltig leire4: 16.5-17.5 Sand4: 17.5-24 Siltig sandA: 24-25.5 Siltig leire5: 25.5-27 Siltig sandB: 26-30.3 Siltig leire6: 30.3-41 Siltig sandC: 41-44 XA: 44-45.5 Siltig sandD: 45.5-52 XB: 52-55 Siltig leire8: 55-84 Fjell: 84-150
10	4C08014	X: 1235507.06 Y: 84559.10 Z: 67.587	Modelldybde: 34 m Helning: 90° Asimut: 0°	NGI (2017)	Tørrskorpe: 0-1.5 Torv: 1.5-3 Siltig leire1: 3-4.5 Sand1: 4.5-5 Sand2: 5-10 Sand3: 10-16.5 Siltig leire4: 16.5-17 Sand4: 17-25 Siltig sandA: 25-26 Siltig leire5: 26-27 Siltig sandB: 27-34

11	4C08015	X: 1235524.37 Y: 84706.07 Z: 65.587	Modelldybde: 29 m Helning: 90° Asimut: 0°	NGI (2017)	Tørrskorpe: 0-1 Torv: 1-2 Siltig leire1: 2-4 Sand1: 4-5 Sand2: 5-10 Sand3: 10-17 Siltig leire4: 17-18 Sand4: 18-21.5 Siltig sandA: 21.5-27.8 Siltig leire5: 27.8-29
12	4C08020	X: 1235335.760 Y: 84696.120 Z: 64.540	Fjell dybde: 79.55 m Helning: 90° Asimut: 0°	NGI (2018/2019)	Tørrskorpe: 0-1 Torv: 1-2 Siltig leire1: 2-4 Sand1: 4-7 Siltig leire2: 7-8 Sand2: 8-9 Siltig leire3: 9-10.5 Sand3: 10.5-15 Siltig leire4: 15-16 Sand4: 16-25 Siltig sandA: 25-29 Siltig leire5: 29-30 Siltig sandB: 30-33.5 Siltig leire6: 33.5-38 Siltig sandC: 38-40 Siltig leire 7: 40-43 XA: 43-44 Siltig sandD: 44-46 Siltig leire8: 46-79.55 Fjell: 79.55-150
13	4C08021	X: 1235308.74 Y: 84630.98 Z: 64.54	Modelldybde: 80.03 m Helning: 90° Asimut: 0°	NGI (2018/2019)	Tørrskorpe: 0-3 Siltig leire1: 3-7 Sand1: 7-11 Siltig leire2: 11-16 Sand2: 16-17 Siltig leire3: 17-18 Sand3: 18-19 Siltig leire4: 19-20 Sand4: 20-23.5 Siltig sandA: 23.5-26 Siltig leire6: 26-26.5 Siltig sandB: 26.5-30 Siltig sandC: 30-35 Siltig leire7: 35-40 Siltig sandD: 40-48 Siltig leire8: 48-80.03 Fjell: 80.03-150
14	4C08022	X: 1235379.410 Y: 84591.430 Z: 64.710	Fjell dybde: 79.55 m Helning: 90° Asimut: 0°	NGI (2018/2019)	Tørrskorpe: 0-2 Sand1: 2-4.5 Siltig leire2: 4.5-6 Sand2: 6-15 Siltig leire3: 15-18.5 Sand3: 18.5-19 Siltig leire4: 19-20.5 Sand4: 20.5-21.5 Siltig sandA: 21.5-29 Siltig leire5: 29-31 Siltig sandB: 31-33 Siltig leire6: 33-34 Siltig sandC: 34-36 Siltig leire7: 36-40 XB: 40-42 Siltig leire8: 42-71.72 Fjell: 71.72-150
15	4C08023	X: 1235415.250 Y: 84625.930 Z: 64.920	Modelldybde: 75.60 m Helning: 90° Asimut: 0°	NGI (2018/2019)	Tørrskorpe: 0-2 Sand1: 2-3 Sand2: 3-12.8 Siltig leire3: 12.8-14.5 Sand3: 14.5-16.5 Siltig leire4: 16.5-17.5 Sand4: 17.5-21.5 Siltig sandA: 21.5-22 Siltig leire5: 22-24 Siltig sandB: 24-35 Siltig leire6: 35-39

					Siltig sandC: 39-42 XA: 42-44 Siltig leire7: 44-46 XB: 46-48 Siltig leire8: 48-75.60 Fjell: 75.60-150
16	4C08024	X: 1235503.050 Y: 84588.770 Z: 66.990	Modelldybde: 78.36 m Helning: 90° Asimut: 0°	NGI (2018/2019)	Tørrskorpe: 0-1 Sand1: 1-3 Sand2: 3-4 Siltig leire3: 4-4.5 Sand3: 4.5-12 Siltig leire4: 12-13.5 Sand4: 13.5-21 Siltig sandA: 21-30.5 Siltig leire5: 30.5-34 Siltig sandB: 34-38 Siltig leire6: 38-41 Siltig sandC: 41-47.2 XA: 47.2-48 Siltig leire7: 48-49.5 XB: 49.5-53 Siltig leire8: 53-72 Morene: 72-78.36 Fjell: 78.36-150
17	S4-08001	X: 1235447.14 Y: 84596.478 Z: 64.92	Modelldybde: 40.02 m Helning: 90° Asimut: 0	Norconsult Fältgeoteknik AB (2016/ 2017)	Tørrskorpe: 0-1 Torv: 1-2 Siltig leire1: 2-3 Sand1: 3-5 Sand2: 5-6 Sand3: 6-12.3 Siltig leire4: 12.3-14.5 Sand4: 14.5-19 Siltig leire5: 19.5-20 Siltig sandB: 20-35 Siltig leire6: 35-40.02
18	S4-08002 (601**)	X: 1235465.383 Y: 84663.098 Z: 64.730	Fjell dybde: 87.80 m Helning: 90° Asimut: 0°	Norconsult Fältgeoteknik AB (2016/ 2017)	Tørrskorpe: 0-1 Torv: 1-1.5 Siltig leire1: 1.5-2 Sand2: 2-9 Sand3: 9-16 Siltig leire4: 16-17 Sand4: 17-18 Siltig sandA: 18-20 Siltig leire5: 20-21.3 Siltig sandB: 21.3-34 Siltig leire6: 34-40 Siltig sandC: 40-45 XB: 45-50 Leireisl8: 50-81 Morene: 81-87.8 Fjell: 87.8-150
19	S4-08003 (602**)	X: 1235677.663 Y: 84517.808 Z: 64.090	Fjell dybde: 73.50 m Helning: 90° Asimut: 0°	Norconsult Fältgeoteknik AB (2016/ 2017)	Tørrskorpe: 0-1.5 Sand1: 1.5-3 Sand2: 3-7 Siltig leire3: 7-8 Sand3: 8-16 Siltig leire4: 16,19 Sand4: 18-20 Siltig sandA: 20-27 Siltig sandB: 27-30.5 Siltig leire6: 30.5-37 Siltig sandC: 37-38 XA: 38-39.5 Siltig leire7: 39.5-44.5 XB: 44.5-46 Siltig leire8: 46-73.5 Fjell: 73.5-150
20	S4-08004 (603**)	X: 1235697.220 Y: 84583.769 Z: 64.900	Modelldybde: 36 m Helning: 90° Asimut: 0°	Norconsult Fältgeoteknik AB (2016/ 2017)	Tørrskorpe: 0-1 Sand1: 1-3 Sand2: 3-4.5 Siltig leire3: 4.5-5.3 Sand3: 5.3-9 Siltig leire4: 9-9.5 Sand4: 9.5-17.5 Siltig sandA: 17.5-24

					Siltig leire5: 24-25.5 Siltig sandB: 25.5-29.5 Siltig leire6: 29.5-36
21	4C09001	X: 1235844.733 Y: 84495.401 Z: 65.188	Fjell dybde: 84.00 m Helning: 90° Asimut: 0°	Norconsult Fältgeoteknik AB (2016/ 2017)	Tørrskorpe: 0-0.75 Sand1: 0.75-3 Sand2: 3-9.2 Siltig leire3: 9.2-10 Sand3: 10-18.5 Siltig sandE: 18.5-23 Siltig leire4: 23-24 Sand3x: 24-25 Siltig sandA: 25-29.5 Siltig leire5: 29.5-32 Sand5: 32-34.3 Siltig leire6: 34.3-38.8 XA: 38.8-44.3 Siltig leire7: 44.3-47 XB: 47-57 Siltig leire8: 57-79.5 Morene: 79.5-105.8 Fjell: 105.8-150
22	4C09002A	X: 1235944.794 Y: 84471.315 Z: 64.674	Fjell dybde: 134.10 m Helning: 90° Asimut: 0°	Norconsult Fältgeoteknik AB (2016/ 2017)	Tørrskorpe: 0-1 Sand1: 1-3 Sand2: 3-11.5 Leireisl3: 11.5-12.8 Sand3: 12.8-18.5 Siltig sandE: 18.5-22 Siltig leire4: 23-23 Sand4: 23-23.5 Siltig sandA: 23.5-27 Siltig leire5: 27-32 Sand5: 32-33 Siltig leire6: 33-40 XA: 40-44.5 Siltig leire7: 44.5-47 XB: 47-57 Siltig leire8: 57-83 Morene: 83-134.1 Fjell: 134.1-150
23	4C09003	X: 1236020.696 Y: 84438.443 Z: 64.447	Modelldybde: 95.40 m Helning: 90° Asimut: 0°	Norconsult Fältgeoteknik AB (2016/ 2017)	Tørrskorpe: 0-2 Sand1: 2-3 Sand2: 3-14.3 Siltig leire3: 14.3-15.2 Siltig sandE: 15.2-22 Siltig leire4: 22-23 Sand4: 23-24 Siltig sandA: 24-25.2 Siltig leire5: 25.2-30 Sand5: 30-32 Siltig leire6: 32-44 XA: 44-47 Siltig sandD: 47-55 XB: 55-60 Siltig leire8: 60-83 Morene: 83-134 Fjell: 134-150
24	4C09004	X: 1236115.993 Y: 84407.717 Z: 64.749	Modelldybde: 114.40 m Helning: 90° Asimut: 0°	Norconsult Fältgeoteknik AB (2016/ 2017)	Tørrskorpe: 0-1 Sand1: 1-3 Sand2: 3-16.2 Siltig leire3: 16.2-17.3 Siltig sandE: 17.3-23 Siltig leire4: 23-24 Sand4: 24-25 Siltig leire5: 25-30 Sand5: 30-31.5 Siltig leire6: 31.5-38 XA: 38-45 Siltig sandD: 45-47.5 Sand7: 47.5-53.3 XB: 53.3-58 Siltig leire8: 58-81.8 Morene: 81.8-134 Fjell: 134-150

25	4C09009	X: 1235801.680 Y: 84376.850 Z: 64.420	Modelldybde: 125.09 m Helning: 90° Asimut: 0°	NGI (2018/2019)	Tørrskorpe 0-1.5 Sand1: 1.5-3 Sand2: 3-9 Siltig leire3: 9-11.5 Sand3: 11.5-20 Siltig sandE: 20-31 Siltig leire5: 31-35 Sand5: 35-36 Siltig leire6: 36-45 XA: 45-47 Siltig sandD: 47-52 XB: 52-60 Siltig leire8: 60-83.5 Morene: 83.5-134 Fjell: 134-150
26	4C09011	X: 1235903.740 Y: 84488.270 Z: 65.320	Fjell dybde: 133.31 m Helning: 90° Asimut: 0°	NGI (2018/2019)	Tørrskorpe: 0-1 Sand1: 1-3 Sand2: 3- 11 Siltig leire3: 11-12 Sand3: 12-19.5 Siltig sandE: 19.5-25.5 Sand4: 25.5-26 Siltig sandA: 26-29 Siltig leire5: 29-33 Sand5: 33-35 Siltig leire6: 35-40 Siltig sandC: 40-44.5 XA: 44.5-49 Siltig sandD: 49-53.5 XB: 53.5-60 Siltig leire8: 60-85 Morene: 85-133.31 Fjell: 133.31-150
27	4C09013	X: 1235928.440 Y: 84381.400 Z: 63.300	Modelldybde: 135.04 m Helning: 90° Asimut: 0°	NGI (2018/2019)	Tørrskorpe: 0-1 Sand1: 1-3 Sand2: 3-15 Siltig leire3: 15-16 Siltig sandE: 16-23 Sand3: 23-25 Siltig leire4: 25-26.5 Siltig sandA: 26.5-30 Leiresil5: 30-33 Sand5: 33-34 Siltig leire6: 34-43 XA: 43-48 Siltig sandD: 48-54 XB: 54-60 Siltig leire8: 60-85 Morene: 85-135.04 Fjell: 135.04-150
28	4C09017	X: 1236087.290 Y: 84459.180 Z: 64.730	Modelldybde: 141.68 m Helning: 90° Asimut: 0°	NGI (2018/2019)	Tørrskorpe: 0-1.5 Sand1: 1.5-3 Sand2: 3-13.5 Siltig leire3: 13.5-14.5 Siltig sandE: 14.5-21 Siltig leire4: 21-22.5 Sand4: 22.5-26 Siltig leire5: 26-30 Sand5: 30-32 Siltig leire6: 32-35 Siltig sandC: 35-43 XA: 43-46 Siltig sandD: 46-53 XB: 53-57 Siltig leire8: 57-81 Morene: 81-141.68 Fjell: 141.68-150
29	4C09018	X: 1236075.260 Y: 84416.150 Z: 64.490	Modelldybde: 100.04 m Helning: 90° Asimut: 0°	NGI (2018/2019)	Tørrskorpe: 0-1 Sand1: 1-3 Sand2: 3-15 Siltig leire3: 15-17.3 Siltig sandE: 17.3-23 Siltig leire4: 23-24 Sand4: 24-25 Siltig leire5: 25-30

					Sand5: 30-33 Siltig leire6: 33-38 XA: 38-46 Siltig sandD: 46-52.5 XB: 52.5-57.5 Siltig leire8: 57.5-80 Morene: 80-134 Fjell: 134-150
30	4C09019	X: 1236064.290 Y: 84377.610 Z: 64.540	Modelldybde: 100.06 m Helning: 90° Asimut: 0°	NGI (2018/2019)	Tørrskorpe: 0-1 Sand1: 1-3 Sand2: 3-17 Siltig leire3: 17-18 Siltig sandE: 18-24 Siltig leire4: 24-25 Sand4: 25-26 Siltig leire5: 26-31 Sand5: 31-35 Siltig leire6: 35-37 Siltig sandC: 37-40 XA: 40-44.5 Siltig sandD: 44.5-54 XB: 54-60 Siltig leire8: 60-82 Morene: 82-134 Fjell: 134-150
31	4C09020	X: 1236182.230 Y: 84428.550 Z: 65.540	Modelldybde: 135.02 m Helning: 90° Asimut: 0°	NGI (2018/2019)	Tørrskorpe: 0-1 Sand1: 1-3 Sand2: 3-15 Siltig leire3: 15-17 Siltig sandE: 17-22.5 Siltig leire4: 22.5-32 Sand4: 32-33 Siltig leire5: 33-37 Siltig sandC: 37-42 XA: 42-44.5 Siltig sandD: 44.5-53 XB: 53-59 Siltig leire8: 59-83 Morene: 83-135.02 Fjell: 135.02-150
32	4C09021	X: 1236163.010 Y: 84355.150 Z: 65.130	Fjell dybde: 136.53 m Helning: 90° Asimut: 0°	NGI (2018/2019)	Tørrskorpe: 0-1 Sand1: 1-3 Sand2: 3-17 Siltig leire3: 17-19 Siltig sandE: 19-24 Siltig leire4: 24-26 Sand4: 26-27 Siltig leire5: 27-32 Sand5: 32-33 Siltig leire6: 33-37 Siltig sandC: 37-43 XA: 43-44 Siltig sandD: 44-54 XB: 54-57 Siltig leire8: 57-78.5 Morene: 78.5- 136.53 Fjell: 136.53-150
33	4C09022	X: 1236210.620 Y: 84360.610 Z: 65.770	Modelldybde: 124.84 m Helning: 90° Asimut: 0°	NGI (2018/2019)	Tørrskorpe: 0-1 Sand1: 1-3 Sand2: 3-17 Siltig leire3: 17-18.5 Siltig sandE: 18.5-23 Siltig leire4: 23-23.5 Sand4: 23.5-24 Siltig leire5: 24-24.5 Sand5: 24.5-26 Siltig leire6: 26-32 Siltig sandC: 32-42 XA: 42-48 Siltig sandD: 48-54 XB: 54-58 Siltig leire8: 58-81 Morene: 81-134 Fjell: 134-150

34	S4-09001 (604**)	X: 1235844.733 Y: 84495.401 Z: 65.188	Modelldybde: 35 m Helning: 90° Asimut: 0°	Norconsult Fältgeoteknik AB (2016/ 2017)	Tørrskorpe: 0-1 Sand1: 1-3 Sand2: 3-11.8 Siltig leire3: 11.8-12.5 Siltig sandE: 12.5-22.5 Siltig leire4: 22.5-23.5 Sand4: 23.5-24 Siltig sandA: 24-26 Siltig leire5: 26-31.5 Sand5: 31.5-35
35	S4-09002 (605**)	X: 1235697.220 Y: 84583.769 Z: 64.900	Modelldybde: 55 m Helning: 90° Asimut: 0°	Norconsult Fältgeoteknik AB (2016/ 2017)	Tørrskorpe: 0-1 Sand1: 1-3 Sand2: 3-15 Siltig leire3: 15-18 Sand3: 18-19 Siltig sandE: 19-22.8 Siltig leire4: 22.8-25 Sand4: 25-26 Siltig leire5: 26-31.5 Sand5: 31.5-37.5 Siltig leire6: 37.5-40 XA: 40-55
36	4C10002D	X: 1236314.386 Y: 84362.977 Z: 66.019	Fjell dybde: 124.68 m Helning: 90° Asimut: 0°	Norconsult Fältgeoteknik AB (2016/ 2017)	Tørrskorpe: 0-2 Sand1: 2-3 Sand2: 3-16 Siltig leire3: 16-17 Sand3: 17-18 Siltig sandE: 18-23 Siltig leire4: 23-25 Sand4: 25-26 Siltig leire5: 26-30 Sand5: 30-31 Siltig leire6: 31-34.5 Siltig sandC: 34.5-40 XA: 40-44 Siltig leire7: 44-45 XB: 45-47 Siltig sandD: 47-55 Siltig leire8: 55-78 Morene: 78-124.68 Fjell: 124.68-150
37	4C10003	X: 1236311.051 Y: 84401.629 Z: 66.326	Modelldybde: 50.03 m Helning: 90° Asimut: 0°	Norconsult Fältgeoteknik AB (2016/ 2017)	Tørrskorpe: 0-1 Sand1: 1-3 Sand2: 3-15 Siltig leire3: 15-17 Sand3: 17-19 Siltig sandE: 19-21.5 Siltig leire4: 21.5-23.3 Sand4: 23.3-24.5 Siltig leire5: 24.5-28 Sand5: 28-29 Siltig leire6: 29-33 Siltig sandC: 33-38.4 XA: 38.4-39.5 Siltig leire7: 39.5-44 Siltig sandD: 44-50.03
38	4C10006A	X: 1236435.454 Y: 84276.963 Z: 65.783	Fjell dybde: 127.30 m Helning: 90° Asimut: 0°	Norconsult Fältgeoteknik AB (2016/ 2017)	Tørrskorpe: 0-1 Sand1: 1-3 Sand2: 3-17 Siltig leire3: 17-18.5 Sand3: 18.5-19.5 Siltig sandE: 19.5-21 Siltig leire4: 21-22.5 Sand4: 22.5-25 Siltig leire5: 25-27.5 Sand5: 27.5-28 Siltig leire6: 28-34 Siltig sandC: 34-42.5 Siltig leire7: 42.5-46 Siltig sandD: 46-52 Siltig leire8: 52-79 Morene: 79-127.3 Fjell: 127.3-150

39	4C10007	X: 1236475.55 Y: 84375.07 Z: 63.94	Modelldybde: 15.60 m Helning: 90° Asimut: 0°	Multiconsult (2017)	Tørrskorpe: 0-1 Sand1: 1-3 Sand2: 3-15.6
40	4C10010	X: 1236694.457 Y: 84252.743 Z: 65.438	Modelldybde: 103.55 m Helning: 90° Asimut: 0°	Norconsult Fältgeoteknik AB (2016/ 2017)	Tørrskorpe: 0-1 Sand1: 1-3 Sand2: 3-9.5 Siltig leire3: 9.5-10 Sand3: 10-12 Siltig leire4: 12-15 Sand4: 15-16 Siltig leire5: 16-23.5 Sand5: 23.5-32 Siltig sandB: 32-40 Siltig leire6: 40-41.5 Siltig sandC: 41.5-45 Siltig leire7: 45-46.5 Siltig sandD: 46.5-49.5 Siltig leire8: 49.5-75 Morene: 75-135 Fjell: 135-150
41	4C10011	X: 1236704.530 Y: 84321.640 Z: 65.313	Modelldybde: 75.85 m Helning: 90° Asimut: 0°	Norconsult Fältgeoteknik AB (2016/ 2017)	Tørrskorpe: 0-1 Sand1: 1-3 Sand2: 3-8 Siltig leire3: 8-9 Sand3: 9-12.5 Siltig leire4: 12.5-23.5 Sand4: 23.5-25 Siltig leire5: 25-26 Sand5: 26-30 Siltig sandC: 30-38 Siltig leire7: 38-39 Sand7: 39-41 Siltig sandD: 41-51 Siltig leire8: 51-56.5 XB: 56.5-60
42	4C10012	X: 1236706.300 Y: 84357.620 Z: 63.900	Modelldybde: 18.00 m Helning: 90° Asimut: 0°	(Multiconsult ASA, 2017)	Tørrskorpe: 0-1 Sand1: 1-3 Sand2: 3-8.5 Siltig leire3: 8.5-10.5 Sand3: 10.5-11.5 Siltig leire4: 11.5-18
43	4C10013	X: 1236355.320 Y: 84387.880 Z: 66.510	Modelldybde: 100.01 m Helning: 90° Asimut: 0°	NGI (2018/2019)	Tørrskorpe: 0-1 Sand1: 1-3 Sand2: 3-16.5 Siltig leire3: 16.5-18 Sand3: 18-22 Siltig leire4: 22-24.5 Sand4: 24.5-25.5 Siltig leire5: 25.5-28 Siltig sandC: 28-48 Siltig leire7: 48-50 Sand7: 50-51 Siltig sandD: 51-55 Siltig leire8: 55-80 Morene: 80-100 Fjell: 100-150
44	4C10014	X: 1236647.808 Y: 84366.296 Z: 65.88	Modelldybde: 100.06 m Helning: 90° Asimut: 0°	NGI (2018/2019)	Tørrskorpe: 0-1 Sand1: 1-3 Sand2: 3-15 Siltig leire3: 15-16 Sand3: 16-17.5 Siltig sandE: 17.5-20 Siltig leire4: 20-21.5 Sand4: 21.5-22.5 Siltig leire5: 22.5-27 Sand5: 27-28 Siltig leire6: 28-34 Siltig sandD: 34-38.5 XA: 38.5-40 Siltig sandCx: 40-43 Siltig leire7: 43-49 Siltig sandD: 49-51 XB: 51-53 Siltig leire8: 53-81 Morene: 81-100.06

45	4C10015	X: 1236372.570 Y: 84363.860 Z: 66.260	Modelldybde: 103.00 m Helning: 90° Asimut: 0°	NGI (2018/2019)	Fjell: 100.06-150 Tørrskorpe: 0-1 Sand1: 1-3 Sand2: 3-17 Siltig leire3: 17-18 Sand3: 18-20 Siltig sandE: 20-22 Siltig leire4: 22-24.5 Sand4: 24.5-25.5 Siltig leire5: 25.5-29.5 Sand5: 29.5-30.5 Siltig leire6: 30.5-37 Siltig sandC: 37-40 XA: 40-42 Siltig leire7: 42-51 Sand7: 51-52 XB: 52-54 Siltig leire8: 54-82 Morene: 82-125 Fjell: 125-150
46	4C10016	X: 1236360.420 Y: 84292.000 Z: 65.440	Modelldybde: 126.11 m Helning: 90° Asimut: 0°	NGI (2018/2019)	Tørrskorpe: 0-1 Sand1: 1-3 Sand2: 3-16.5 Siltig leire3: 16.5-17.5 Sand3: 17.5-21.5 Siltig leire4: 21.5-22 Sand4: 22-23 Siltig leire5: 23-25.7 Sand5: 25.7-30 Siltig leire6: 30-35 Siltig sandC: 35-53 Siltig leire8: 53-82 Morene: 82-126.11 Fjell: 126.11-150
47	4C10022	X: 1236481.920 Y: 84307.660 Z: 65.520	Modelldybde: 128.50 m Helning: 90° Asimut: 0°	NGI (2018/2019)	Tørrskorpe: 0-1 Sand1: 1-3 Sand2: 3-17 Siltig leire3: 17-18.5 Sand3: 18.5-19 Siltig sandE: 19-23 Siltig leire4: 23-24 Sand4: 24-26 Siltig leire5: 26-29 Sand5: 29-29.5 Siltig leire6: 29.5-33.5 Siltig sandC: 33.5-43 Siltig leire7: 43-45 Siltig sandD: 45-52.5 XB: 52.5-57 Siltig leire8: 57-75 Morene: 75-130 Fjell: 130-150
48	4C10023	X: 1236542.010 Y: 84297.240 Z: 65.520	Modelldybde: 125.82 m Helning: 90° Asimut: 0°	NGI (2018/2019)	Tørrskorpe: 0-1 Sand1: 1-3 Sand2: 3-14 Siltig leire3: 14-15.5 Sand3: 15.5-19.5 Siltig leire4: 19-19.5 Sand3x: 19.5-20 Siltig leire4x: 20-30 Sand3: 30-31 Siltig leire5: 31-31.5 Sand5: 31.5-32 Siltig sandC: 32-40.5 Siltig leire7: 40.5-42 Sand7: 42-43 Siltig sandD: 43-52.5 Siltig leire8: 52.5-80.5 Morene: 80.5-125.82 Fjell: 125.82-150

49	4C10024	X: 1236616.690 Y: 84316.150 Z: 65.650	Modelldybde: 120.05 m Helning: 90 ° Asimut: 0°	NGI (2018/2019)	Tørrskorpe: 0-1 Sand1: 1-3 Sand2: 3-12 Siltig leire3: 12-13.5 Sand3: 13.5-18 Siltig leire4: 18-19 Sand3x: 19-19.5 Siltig leire4x: 19.5-28 Sand4: 28-29 Siltig leire5: 29-30 Sand5: 30-30.5 Siltig sandC: 30.5-36 Siltig leire7: 36-37.5 Sand7: 37.5-38 Siltig sandD: 38-51 Siltig leire8: 51-78 Morene: 78-120.05 Fjell: 120.05-150
50	4C10025	X: 1236610.558 Y: 84282.198 Z: 65.52	Modelldybde: 119.80 m Helning: 90 ° Asimut: 0°	NGI (2018/2019)	Tørrskorpe: 0-1 Sand1: 1-3 Sand2: 3-11.5 Siltig leire3: 11.5-13.5 Sand3: 13.5-17 Siltig leire4: 17-20 Sand3x: 20-20.5 Siltig leire4x: 20.5-28.3 Sand4: 28.3-28.5 Siltig leire5: 28.5-28.7 Sand5: 28.7-29 Siltig sandC: 29-34 Siltig leire7: 34-37 Siltig sandD: 37-51 Siltig leire8: 51-78 Morene: 78-119.8 Fjell: 119.8-150
51	4C10026	X: 1236605.380 Y: 84253.090 Z: 65.450	Modelldybde: 78.35 m Helning: 90° Asimut: 0°	NGI (2018/2019)	Tørrskorpe: 0-1 Sand1: 1-3 Sand2: 3-13 Siltig leire3: 13-14.2 Sand3: 14.2-15.2 Siltig sandE: 15.3-18 Siltig leire4: 18-20 Sand4: 20-21 Siltig leire5: 21-30 Siltig sandC: 30-33 Siltig leire7: 33-34 Sand7: 34-35 Siltig sandD: 35-50 Siltig leire8: 50-78.35
52	4C10027	X: 1236669.930 Y: 84270.220 Z: 65.530	Modelldybde: 79.65 m Helning: 90° Asimut: 0°	NGI (2018/2019)	Tørrskorpe: 0-1 Sand1: 1-3 Sand2: 3-10 Siltig leire3: 10-11.5 Sand3: 11.5-12.5 Siltig sandE: 12.5-15 Siltig leire4: 15-17 Sand3x: 17-17.8 Siltig leire4x: 17.8-20 Sand4: 20-21.3 Siltig leire5: 21.3-25.5 Sand5: 25-26.5 Siltig sandC: 26.5-33 Siltig leire7: 33-35 Sand7: 35-37 Siltig sandD: 37-50 Siltig leire8: 50-76.5 Morene: 76.5-120 Fjell: 120-150

53	S4-10001 (606**)	X: 1236452.462 Y: 84338.782 Z: 65.780	Modelldybde: 48.00 m Helning: 90° Asimut: 0°	Norconsult Fältgeoteknik AB (2016/ 2017)	Tørrskorpe: 0-1 Sand1: 1-3 Sand2: 3-8 Siltig leire3: 8-10 Sand3: 10-19 Siltig sandE: 19-21.5 Siltig leire4: 21.5-24 Sand4: 24-25 Siltig leire5: 25-27.5 Sand5: 27.5-28.3 Siltig leire6: 28.3-34 Siltig sandC: 34-45 Siltig leire7: 45-47 Sand7: 47-48
54	S4-10002 (607**)	X: 1236704.392 Y: 84282.818 Z: 65.490	Modelldybde: 80.02 m Helning: 90° Asimut: 0°	Norconsult Fältgeoteknik AB (2016/ 2017)	Tørrskorpe: 0-1 Sand1: 1-3 Sand2: 3-8.5 Siltig leire3: 8.5-10 Sand3: 10-14 Siltig leire4: 14-16.5 Sand3x: 16.5-17 Siltig leire4x: 17-23.5 Sand4: 23.5-25.5 Siltig leire5: 25.5-26.5 Sand5: 26.5-27.5 Siltig sandC: 27.5-33.5 XA: 33.5-38 Siltig leire7: 38-41 Sand7: 41-41.5 Siltig sandD: 41.5-45 XB: 45-46 Siltig leire8: 46-75 Morene: 75-125 Fjell: 125-150
55	S4-10003 (608**)	X: 1236692.712 Y: 84219.203 Z: 65.130	Modelldybde: 37.20 m Helning: 90° Asimut: 0°	Norconsult Fältgeoteknik AB (2016/ 2017)	Tørrskorpe: 0-1 Sand1: 1-3 Sand2: 3-9 Siltig leire3: 9-10 Sand3: 10-13.5 Siltig leire4: 13.5-15.5 Sand3x: 15.5-16 Siltig leire4x: 16-23.5 Sand4: 23.5-26.3 Siltig leire5: 26.3-27.5 Sand5: 27.5-32.5 Siltig sandD: 32.5-37.2
56	4C11002A	X: 1236986.716 Y: 84174.713 Z: 64.896	Modelldybde: 82.93 m Helning: 90° Asimut: 0°	Norconsult Fältgeoteknik AB (2016/ 2017)	Tørrskorpe: 0-1 Sand1: 1-3 Sand2: 3-8 Siltig leire3: 8-10 Sand3: 10-21 Siltig leire4: 21-22 Siltig sandF: 22-26 Sand5: 26-27.5 Siltig sandC: 27.5-28 Sand7: 28-30 Siltig sandCx: 30-35 Sand8: 35-27.5 Siltig leire8: 37.5-73 Morene: 73-82.93 Fjell: 82.93-150
57	4C11003	X: 1237010.000 Y: 84212.547 Z: 65.184	Fjell dybde: 87.75 m Helning: 90° Asimut: 0°	Norconsult Fältgeoteknik AB (2016/ 2017)	Tørrskorpe: 0-1 Sand1: 1-3 Sand2: 3-9 Siltig leire3: 9-10 Sand3: 10-16 Siltig leire4: 16-18.5 Siltig sandF: 18.5-23.5 Sand5: 23.5-26 Siltig sandC: 26-28 Sand7: 28-30.5 Siltig sandCx: 30.5-35.5 Sand8: 35.5-37 Siltig leire8: 37-72.5

					Morene: 72.5-85.75 Fjell: 85.75-150
58	4C11005	X: 1236846.589 Y: 84287.377 Z: 65.105	Modelldybde: 18.00 m Helning: 90° Asimut: 0°	Norconsult Fältgeoteknik AB (2016/ 2017)	Tørrskorpe: 0-1 Sand1: 1-3 Sand2: 3-8.5 Siltig leire3: 8.5-11 Sand3: 11-16.5 Siltig leire4: 16.5-18
59	4C11007	X: 1237146.21 Y: 84173.201 Z: 94.071	Fjell dybde: 103.28 m Helning: 90° Asimut: 0°	Norconsult Fältgeoteknik AB (2016/ 2017)	Tørrskorpe: 0-1 Sand1: 1-3 Sand2: 3-10 Sand3: 10-15 Siltig sandF: 15-26.5 XA: 26.5-30 Siltig sandC: 30-36 XB: 36-46 Siltig sandCx: 46-56 Sand8: 56-61 Siltig leire8: 61-103.28 Fjell: 103.28-150
60	4C11008	X: 1237108.183 Y: 84252.838 Z: 93.293	Fjell dybde: 105.30 m Helning: 90° Asimut: 0°	Norconsult Fältgeoteknik AB (2016/ 2017)	Tørrskorpe: 0-1 Sand1: 1-3 Sand2: 3-10 Sand3: 10-20.5 Siltig leire4: 20.5-25 Siltig sandF: 25-27 Sand5: 27-28 Siltig sandC: 28-34 Sand7: 34-35 Siltig sandCx: 35-62 Sand8: 62-65 Siltig leire8: 65-98.2 Morene: 98.2-105.3 Fjell: 105.3-150
61	4C11010	X: 1236760.760 Y: 84325.010 Z: 65.130	Modelldybde: 108.90 m Helning: 90° Asimut: 0°	NGI (2018/2019)	Tørrskorpe: 0-1 Sand1: 1-3 Sand2: 3-10 Siltig leire3: 10-12 Sand3: 12-12.5 Siltig leire4: 12.5-19 Sand4: 19-23 Siltig leire5: 23-24.5 Sand5: 24.5-30 Siltig sandC: 30-35 Siltig leire7: 35-36.5 Sand7: 36.5-37 Siltig sandCx: 37-40 Siltig leire8: 40-75 Morene: 75-108.90 Fjell: 108.90-150
62	4C11012	X: 1236763.940 Y: 84227.590 Z: 65.390	Modelldybde: 103.80 m Helning: 90° Asimut: 0°	NGI (2018/2019)	Tørrskorpe: 0-1 Sand1: 1-3 Sand2: 3-10 Siltig leire4: 10-19 Sand4: 19-25 Siltig sandF: 25-30 Sand5: 30-31 Siltig sandC: 31-36 Sand7: 36-37 Siltig sandCx: 37-53 Siltig leire8: 53-75 Morene: 75-103.80 Fjell: 103.80-150
63	4C11021	X: 1236861.740 Y: 84266.680 Z: 65.380	Modelldybde: 75.79 m Helning: 90° Asimut: 0°	NGI (2018/2019)	Tørrskorpe: 0-1 Sand1: 1-3 Sand2: 3-10.5 Siltig leire3: 10.5-11.5 Sand3: 11.5-16.5 Siltig leire4: 16.5-19.5 Sand4: 19.5-25 Siltig sandF: 25-27 Sand5: 27-29 Siltig sandC: 29-35 Sand7: 35-37 Siltig sandCx: 37-40

					Morene: 40-75.79 Fjell: 75.59-150
64	4C11024	X: 1237036.290 Y: 84252.810 Z: 65.730	Modelldybde: 88.22 m Helning: 90° Asimut: 0°	NGI (2018/2019)	Tørrskorpe: 0-1 Sand1: 1-3 Sand2: 3-10 Sand3: 10-17 Siltig leire4: 17-20 Siltig sandF: 20-27 Sand5: 27-28 Siltig sandC: 28-31 Sand7: 31-35 Siltig sandCx: 35-38.5 Sand8: 38.5-44.5 Siltig leire8: 44.5-74 Morene: 74-88.22 Fjell: 88.22-150
65	4C11025	X: 1237057.070 Y: 84203.010 Z: 67.640	Fjell dybde: 81.90 m Helning: 90° Asimut: 0°	NGI (2018/2019)	Tørrskorpe: 0-1 Sand1: 1-3 Sand2: 3-10 Sand3: 10-17 Siltig leire4: 17-29 Sand4: 29-34 Siltig sandF: 34-37 Sand5: 37-38 Siltig sandC: 38-44 Sand7: 44-45 Siltig sandCx: 45-47 Sand8: 47-51 Siltig leire8: 51-74 Morene: 74-88.22 Fjell: 88.22-150
66	S4-11001 (609**)	X: 1237110.979 Y: 84255.179 Z: 93.190	Modelldybde: 40.02 m Helning: 90° Asimut: 0°	Norconsult Fältgeoteknik AB (2016/ 2017)	Tørrskorpe: 0-1 Sand1: 1-3 Sand2: 3-10 Sand3: 10-13.4 Siltig sandF: 13.4-20 XA: 20-31.5 Siltig sandC: 31.5-33.5 XB: 33.5-40.02
67	S4-11002 (610**)	X: 1237141.873 Y: 84170.619 Z: 93.850	Modelldybde: 50.00 m Helning: 90° Asimut: 0°	Norconsult Fältgeoteknik AB (2016/ 2017)	Tørrskorpe: 0-1 Sand1: 1-3 Sand2: 3-8 Sand3: 8-10 Siltig sandF: 10-16.5 XA: 16.5-21 Siltig sandC: 21-26 XB: 26-31 Siltig sandCx: 31-35
68	4C12001	X: 1237268.433 Y: 84179.281 Z: 94.555	Fjell dybde: 93.93 m Helning: 90° Asimut: 0°	Norconsult Fältgeoteknik AB (2016/ 2017)	Tørrskorpe: 0-1 Sand1: 1-3 Sand2: 3-10 Sand3: 10-19.2 Siltig leire4: 19.2-20 Sand4: 20-28.3 Siltig leire5: 28.3-29.5 Siltig sandF: 29.5-43 Sand5: 43-44 Siltig sandC: 44-48.5 Sand7: 48.5-50 Siltig sandCx: 50-55 Sand8: 55-60 Siltig leire8: 60-90 Morene: 90-93.93 Fjell: 93.93-150
69	4C12004	X: 1237260.601 Y: 84135.39 Z: 94.68	Fjell dybde: 40.1 m Helning: 90° Asimut: 0°	Norconsult Fältgeoteknik AB (2016/ 2017)	Tørrskorpe: 0-1 Sand1: 1-3 Sand2: 3-10 Sand3: 10-31 Siltig sandF: 31-40.1
70	4C12005	X: 1237181.678 Y: 84248.885 Z: 93.60	Fjell dybde: 40.1 m Helning: 90° Asimut: 0°	Norconsult Fältgeoteknik AB (2016/ 2017)	Tørrskorpe: 0-1 Sand1: 1-3 Sand2: 3-10 Sand3: 10-34 Siltig sandF: 34-40.1

71	4C12006	X: 1237305.894 Z: 84186.354 Z: 94.59	Fjell dybde: 40.1 m Helning: 90° Asimut: 0°	Norconsult Fältgeoteknik AB (2016/ 2017)	Tørrskorpe: 0-1 Sand1: 1-3 Sand2: 3-10 Sand3: 10-23 Siltig sandF: 23-27 Sand5: 27-40.1
-----------	---------	--	---	--	---

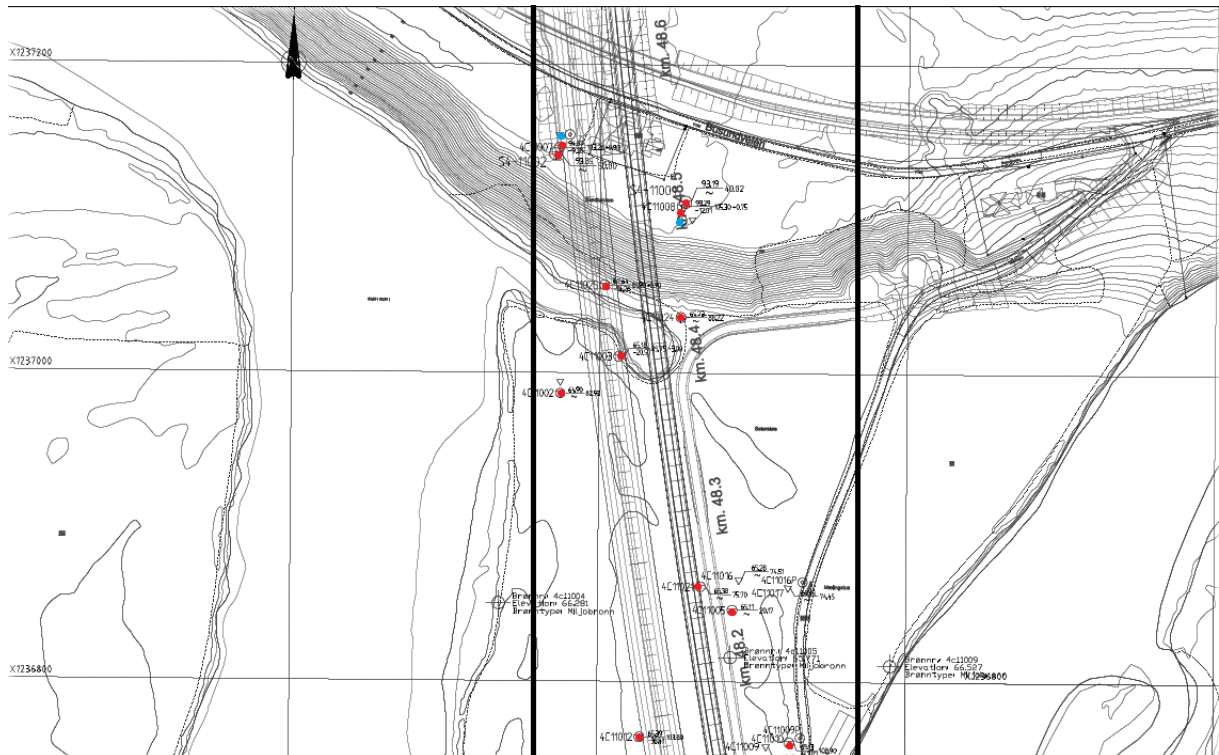
Vedlegg 4: Kart over totalsonderinger og sylindrerprøver benyttet i løsmassemodellen

Røde prikker er totalsonderinger og blå er sylindrerprøver for hvert enkelt borepunkt. Svarte tykke streker viser området løsmassemodellen omfatter.

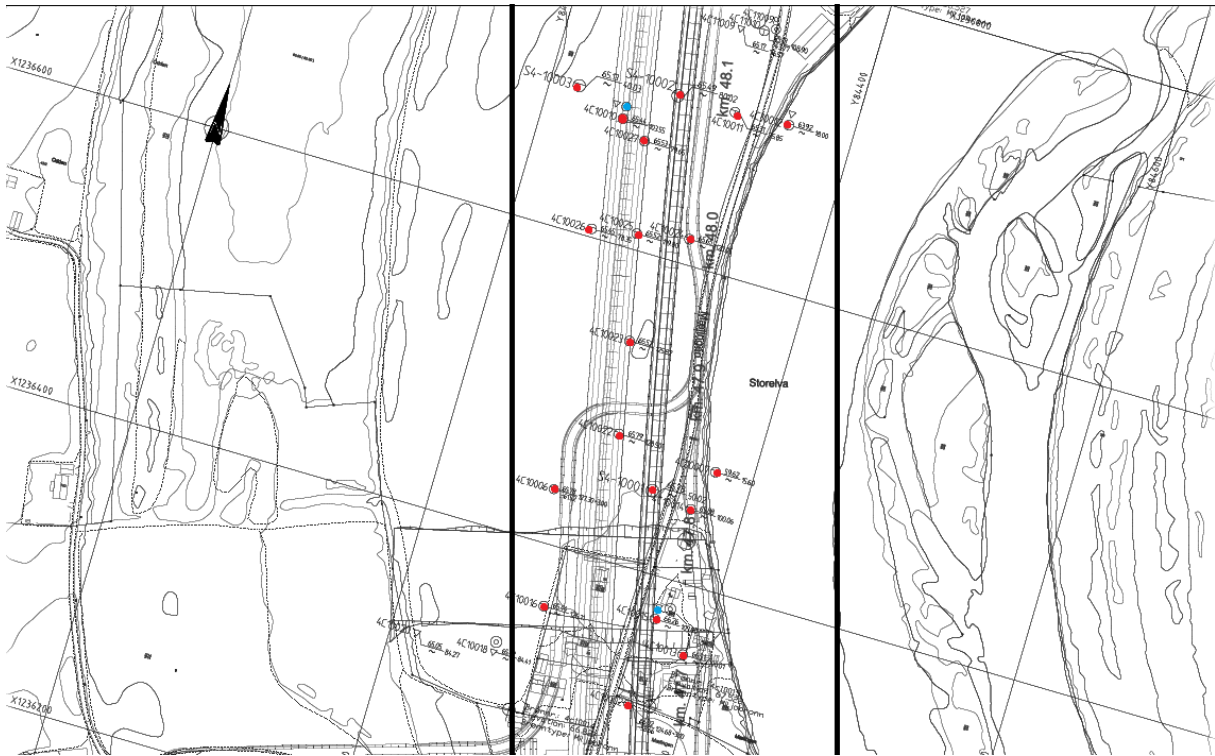
Vedlegg 4.1: Blokk 04-12



Vedlegg 4.2: Blokk 04-11



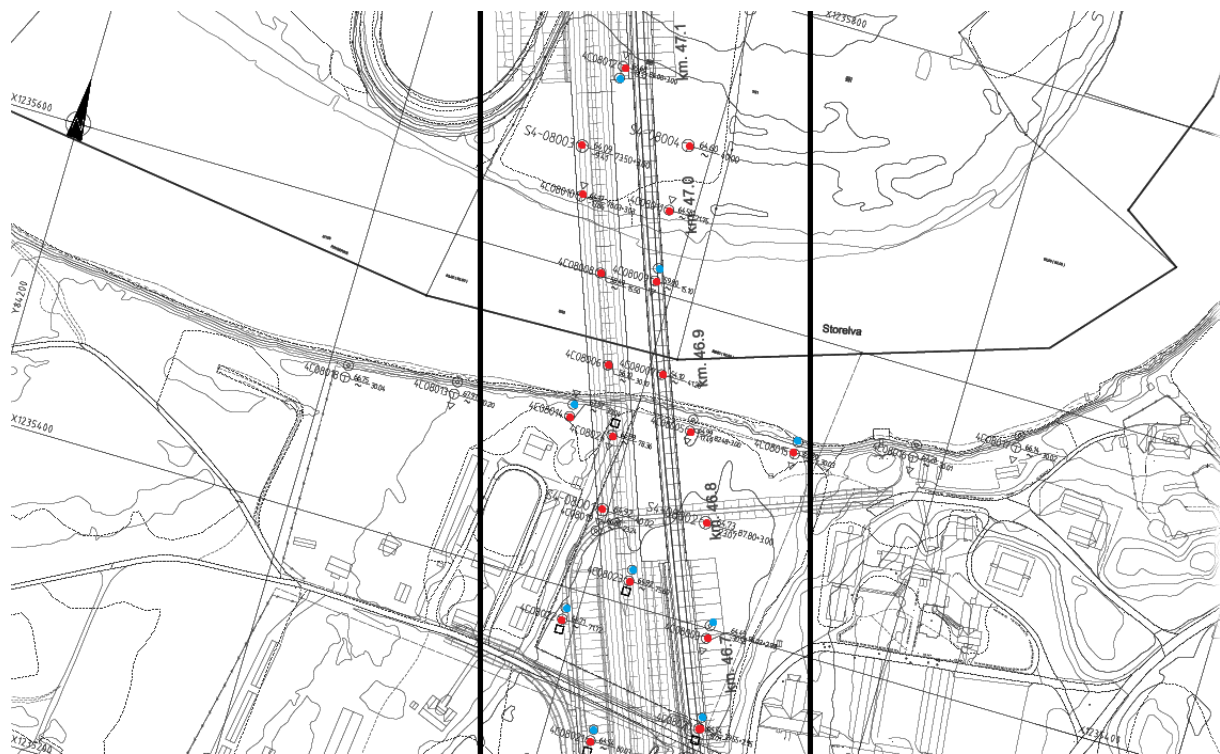
Vedlegg 4.3: Blokk 04-10



Vedlegg 4.4: Blokk 04-09



Vedlegg 4.5: Blokk 04-08



Vedlegg 5: Poretrykksmålere brukt i grunnvannsmodellen for Mælingen

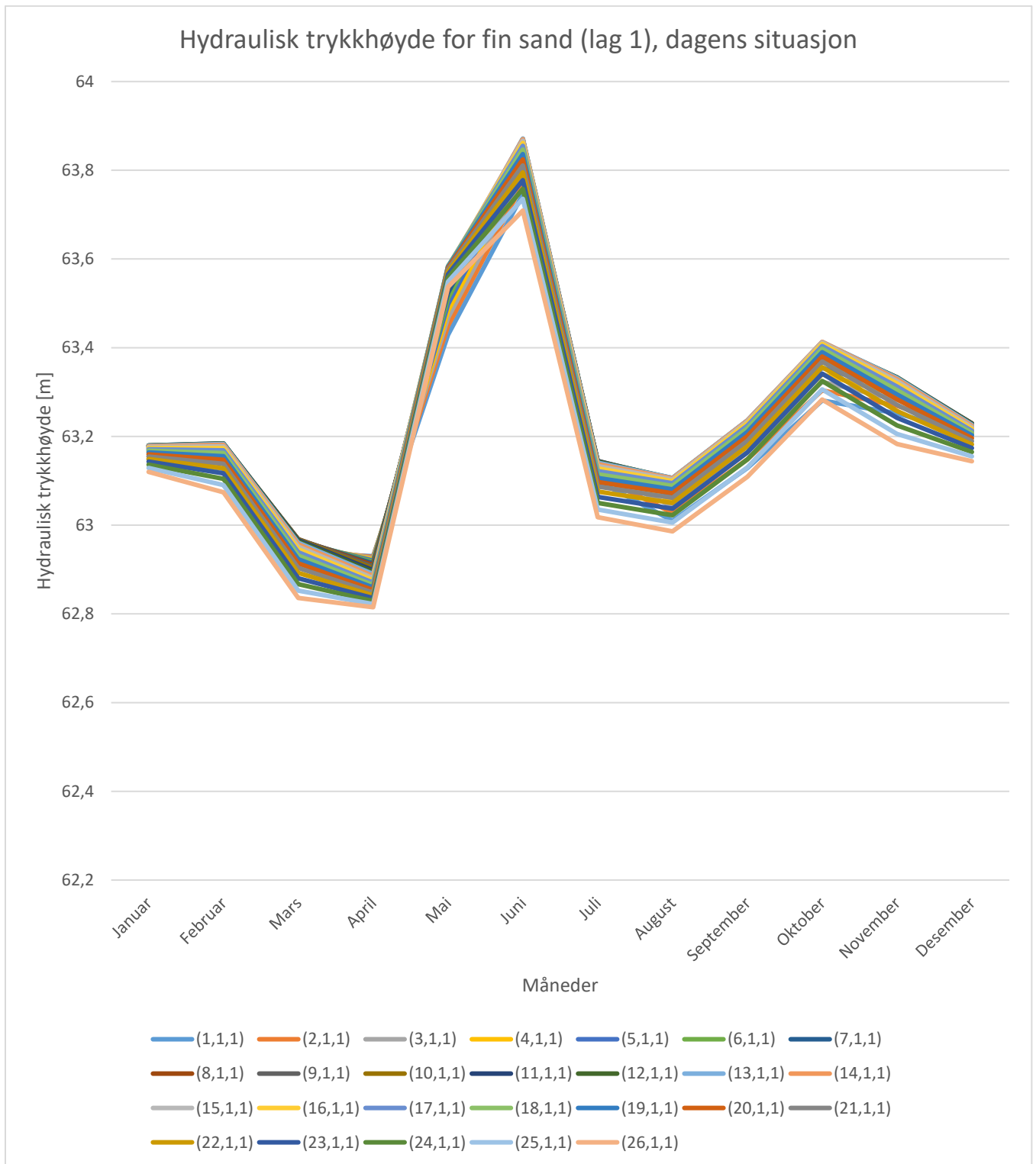
Borepunkt	Bedrift	Terrennhøyde [MOH]	Totaldybde [meter]	Koordinater UTM 33
4C11004	NGI	66.263	6	Ø: 234253 N: 6675048
4C11005	NGI	65.642	6	Ø: 234375 N: 6675026
4C11009	NGI	66.519	6	Ø: 234501 N: 6675004

Vedlegg 6: Datagrunnlaget for grunnvannsmodellen

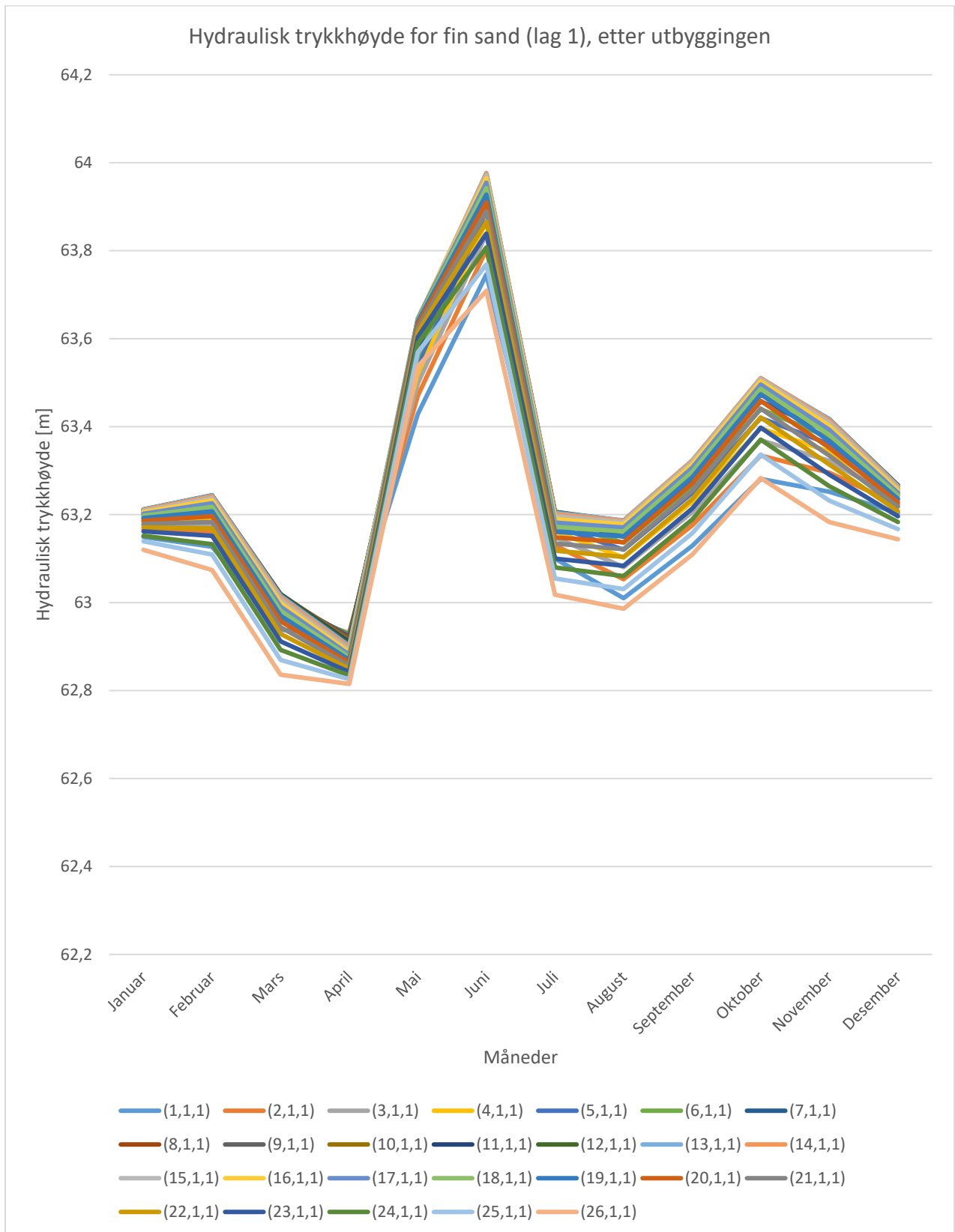
MÅNED	DAGER	TIDSPERIODE [S]	NEDBØR [M/S]	NEDBØR [M/S] BRUKT I MODELLEN	HYDRAULISK TRYKKHØYDE 4C11004	HYDRAULISK TRYKKHØYDE 4C11009	HYDRAULISK TRYKKHØYDE 4C11005
JANUAR (2019)	31 dager = 2678400 s	0-2678400	$1.33 \cdot 10^{-8}$	$6.65 \cdot 10^{-9}$	63.149	63.120	63.128
FEBRUAR (2019)	28 dager = 2419200 s	2678400-5097600	$2.47 \cdot 10^{-8}$	$1.235 \cdot 10^{-8}$	63.127	63.074	63.087
MARS (2019)	31 dager = 2678400 s	5097600 -777600	$2.14 \cdot 10^{-8}$	$1.07 \cdot 10^{-8}$	62.938	62.836	62.913
APRIL (2019)	30 dager = 2592000 s	777600-10368000	$4.44 \cdot 10^{-9}$	$2.22 \cdot 10^{-9}$	62.930	62.815	63.913
MAI (2019)	31 dager = 2678400 s	10368000-13046400	$2.9 \cdot 10^{-8}$	$1.45 \cdot 10^{-8}$	63.429	63.537	63.438
JUNI (2019)	30 dager = 2592000 s	13046400-15638400	$4.39 \cdot 10^{-8}$	$2.195 \cdot 10^{-8}$	63.746	63.709	63.767
JULI (2019)	31 dager = 2678400 s	15638400-18316800	$2.33 \cdot 10^{-8}$	$1.165 \cdot 10^{-8}$	63.100	63.018	63.102
AUGUST (2019)	31 dager = 2678400 s	18316800-20995200	$3.27 \cdot 10^{-8}$	$1.635 \cdot 10^{-8}$	63.010	62.986	63.043
SEPTEMBER (2019)	30 dager = 2592000 s	20995200-23587200	$3.57 \cdot 10^{-8}$	$1.785 \cdot 10^{-8}$	63.129	63.109	63.133
OKTOBER (2019)	31 dager = 2678400 s	23587200-26265600	$4.01 \cdot 10^{-8}$	$2.005 \cdot 10^{-8}$	63.281	63.283	63.310
NOVEMBER (2019)	30 dager = 2592000 s	26265600-28857600	$3.41 \cdot 10^{-8}$	$1.705 \cdot 10^{-8}$	63.252	63.183	63.357
DESEMBER (2019)	31 dager = 2678400 s	28857600-31536000	$1.53 \cdot 10^{-8}$	$7.65 \cdot 10^{-8}$	63.204	63.144	63.204

Vedlegg 7: Hydraulisk trykkhøyde for fin sand på Mælingen

Vedlegg 7.1: Fin sand (lag 1) simuleringer av hydraulisk trykkhøyde i MODFLOW for dagens situasjon.



Vedlegg 7.2: Fin sand (lag 1) simuleringer for hydraulisk trykkhøyde i MODFLOW etter utbyggingen av Ringeriksbanen og ny E16.





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

Postboks 5003
NO-1432 Ås
Norway