

Emilie Arntzen Bakken

Kvartærgeologi og implisitt 3D-modellering av løsmassene på Bømoen, Vestland

Masteroppgave i Geologi

Veileder: Ola Fredin, IGP

Medveileder: Steinar Løve Ellefmo, IGP

Mai 2023

Emilie Arntzen Bakken

Kvartærgeologi og implisitt 3D- modellering av løsmassene på Bømoen, Vestland

Masteroppgave i Geologi
Veileder: Ola Fredin, IGP
Medveileder: Steinar Løve Ellefmo, IGP
Mai 2023

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Fakultet for ingeniørvitenskap
Institutt for geovitenskap og petroleum



Kunnskap for en bedre verden

Sammendrag

Med befolkningsvekst og økt forbruk vil presset på landarealer, råstoff og grunnvann bli større. Mektighetene av berg og løsmasser under beinene våre er en ressurs som må forvaltes på lik linje med andre ressurser, for å sikre en bærekraftig utnyttelse og å unngå interessekonflikter i områder der undergrunnen skal tas i bruk. Kartlegging, ikke bare på overflaten, men også mot dypet, er derfor nødvendig for å sikre effektiv og sikker bruk av disse ressursene.

Utbygging av området på Bømoen, i Vestland fylke, er et eksempel der undergrunnen ønskes utnyttet til flere formål. Området er kartlagt som et israndsdelta, og er av Norges Geologiske Undersøkelse (NGU) definert som en betydelig grunnvannsressurs grunnet stor mektighet av sand og grus. Avsetningen er også definert som en av de viktigste naturgrusforekomstene i fylket, og det har vært aktive massetak i flere deler av området. Nye eiere av område ønsker å benytte seg av grunnvannet til både etablering av grunnvarmeanlegg og drikkevannuttak, og har gitt i oppdrag til COWI AS å undersøke grunnvannsforekomsten.

Denne masteroppgaven er gjennomført i forbindelse med planlegging av utbyggingen på Bømoen, i et samarbeid mellom COWI AS og NTNU. Det er gjennomført en kvartærgeologisk kartlegging, basert på feltarbeid og labanalyser. Isavsmeltingshistorikken i området er tolket basert på denne kartleggingen og litteraturstudier, som videre er brukt til å definere forventede stratigrafiske enheter mot dypet, deres rekkefølge og egenskaper. Løsmassemektigheten på Bømoen ble kartlagt som et israndsdelta, med hovedsakelig tynn morene i dalsidene.

Denne informasjonen er, sammen med innhentet data fra borehull og målinger med georadar, benyttet til å lage flere 3D-modeller av løsmassemektigheten på Bømoen i programvaren *Leapfrog Geo*. Totalt modellert løsmassevolume over fjell er estimert til 60 597 000 – 65 598 000 m^3 , og maksimal løsmassetykkelse er i underkant av 50 m. Stratigrafien ved Bømoen ble delt inn i finstoff og grovere fraksjoner, med formål om hydrogeologisk modellering. Samme sedimentvolum ble i en annen modell inndelt mer detaljert for å forstå og visualisere romlig fordeling av de ulike stratigrafiske enhetene. Denne modellen er også basert på brukerdefinerte datapunkter, og er i større grad eksplisitt endret etter geologisk forståelse.

En geologisk 3D-modell er et produkt av importerte datapunkter, og brukerdefinerte parametere og trender basert på tolkninger av området. Visuell vurdering av ulik parametersetting og trend er benyttet i modelleringsprosessen for å tilpasse modellene til den geologiske forståelsen av området. Områder i modellen som påvirkes i størst grad av parametersetting og brukerdefinerte data er områdene med lavest datatetthet. Det er derfor viktig å visualisere sikre datapunkt i modellen. I tillegg har ulik data ulik kvalitet, og ofte ingen verdi dersom data som hentes inn er unøyaktige eller mangelfulle. Bruk av datapunkter bør derfor vurderes etter påliteligheten.

Abstract

With population growth and increased living standards, the pressure on land areas, geological resources, and groundwater is bound to increase. The bedrock and sediments beneath our feet are resources that should be managed in the same way as other resources to ensure sustainable use and avoid conflicts of interest in areas where the underground is being utilized. Therefore, geological mapping not only on the surface but also in the depths is necessary to ensure efficient and safe use of underground resources.

The development of the Bømoen area, Vestland county in western Norway, is an example where the underground is to be utilized for multiple purposes. The area has been mapped as an ice marginal delta and is defined by the Geological Survey of Norway (NGU) as a significant groundwater resource due to the substantial thickness of sand and gravel deposits. The deposits is also defined as one of the most important natural gravel occurrences in Western Norway, The new owners of the area wish to utilize the groundwater for both geothermal heating and extraction of drinking water, and they have commissioned COWI AS to investigate the groundwater resource.

This master thesis has been conducted as part of planning the development at Bømoen, in a collaboration between COWI AS and NTNU. To investigate the Bømoen ice marginal delta, Quaternary geological mapping has been carried out based on fieldwork and laboratory analyses. The deglaciation history of the area has been interpreted based on this mapping together with literature studies. This knowledge has then been used to define the expected stratigraphic units and their sequence in the subsurface. The sedimentary deposits at Bømoen has been mapped as an ice marginal delta, with predominantly thin till deposits on the valley sides.

This information, along with data obtained from boreholes and ground-penetrating radar surveys, has been used to create three 3D-models of the sedimentary at Bømoen using the software *Leapfrog Geo*. Total modeled volume of sediments above bedrock is estimated to be 60,597,000 – 65,598,000 m^3 , with a maximum depth of close to 50 m. In one model, the volume of sediments were divided into only two classes, fine grained and coarser fractions, with the aim of later hydrogeological modeling. In another model the deposit was subdivided into more sedimentary units, for a more detailed understanding and visualization of spatial distribution of the different stratigraphic units. This model is based on user-defined data points and has been changed to a greater extent based on geological understanding.

A geological 3D-model is a product of imported data points, user-defined parameters and trends based on interpretations of the area. Visual assessment of different parameter settings and trends has been extensively used in the modeling process to align the different 3D-models with the geological understanding of the area. Areas in the model that are most affected by parameter settings and user-defined data are those with the lowest data density. Therefore, it is important to visualize reliable data points in a geological model. Additionally, different data sources have varying degrees of quality and are of no value if

the collected data is inaccurate or incomplete. Therefore, the use of data points should be evaluated based on their reliability.

Forord

Ved valg av oppgave hadde jeg ingen kjennskap til området på Bømoen fra tidligere, og hadde såvidt kjørt gjennom Voss sentrum en gang. Jeg hadde imidlertid hatt en forelesning om grunnvarmeanlegg, og syntes tema og potensialet i teknologien var spennende. Da det ble foreslått kvartærgeologisk kartlegging, med 3D-modellering av løsmassene i området, ble jeg først litt skremt, ettersom jeg ikke hadde noen erfaring med programvaren *Leapfrog GEO* fra tidligere. Arbeidet med problemstillingen og programvaren har til tider vært krevende og frustrerende, men læringskurven har vært bratt og mestringsfølelsen har til tider vært stor. Jeg håper og tror at arbeidet med 3D-modellering i *Leapfrog GEO* bidrar til at flere ønsker å utforske verktøyets betydning innen ingeniørgeologiske problemstillinger.

Først og fremst vil jeg takke hovedveileder Ola Fredin for veiledning og selskap under feltarbeid på Bømoen, samt faglige diskusjoner rundt kvartærgeologien i område. Jeg setter pris på at du fortsatt ville være veilederen min, selv etter at jeg spurte om du var redd for isbjørn da du var på joggetur i mørket under feltarbeid på Antarktis.

En takk går også til min medveileder Steinar Løve Ellefmo for hjelp og diskusjoner rundt 3D modellering av geologi generelt og med programvaren *Leapfrog Geo* spesielt. Du har utfordret mine valg og fremgangsmåter i arbeidet med 3D-modellene på Bømoen, og dette har gjort prosessen mer lærerik for meg og nyttig for oppgaven.

Jeg vil takke COWI AS for muligheten til å delta i prosjektet, og takk til Christian Rekke Bryn, for å ha vært et bindeledd mellom COWI AS og NTNU. Arbeidet ditt med innhenting og tolkning av data har stått for store deler av datagrunnlaget ved modellering av Bømoen området, og har bidratt til det oppgaven er i dag.

En spesielt stor takk til mine foreldre, Bente Arntzen Bakken og Terje Bakken, for oppmuntring og støtte gjennom 18 år med utdanning. Takk for hjelp med masteroppgaven det siste halve året. Dere er ikke så gode i geologi, men dere har alltid gode innspill i skriveprosessen. Deres interesse for det jeg driver med har vært uvurderlig i arbeidet med oppgaven.

Til slutt vil jeg takke mine medstudenter, for å holde motivasjonene oppe med mange kaffepauser og bordtenniskamper.

Trondheim, mai 2023
Emilie Arntzen Bakken

Innhold

1	Introduksjon	1
1.1	Problemstilling	1
1.2	Bakgrunn for prosjektet	2
1.3	Områdebeskrivelse og geologi	3
1.3.1	Geografi	3
1.3.2	Berggrunn	4
1.3.3	Løsmassene på Bømoen	5
2	Teori	6
2.1	Kvartærgeologi og løsmasser i Norge	6
2.1.1	Siste glasiale maksimum(LGM)	6
2.1.2	Tilbaketrekning av innlandsisen	7
2.1.3	Landheving	9
2.1.4	Øvre marin grense	9
2.1.5	Isavsmeltingshistorikk på Bømoen	10
2.2	Løsmasser	15
2.2.1	Løsmassers fysiske egenskaper	15
2.3	Avsetningstyper i undersøkelsesområdet	20
2.3.1	Morene	20
2.3.2	Breelvsavsetninger	21
2.3.3	Elveavsetninger	22
2.3.4	Marine avsetninger	23
2.4	3D-modellering av geologi	24
2.4.1	Implisitt og eksplisitt modellering av geologi	24
2.4.2	<i>Leapfrog GEO</i> som modelleringsverktøy	25
2.4.3	Interpoleringsmetoden <i>FastRBF</i>	26
3	Metode	29
3.1	Feltarbeid	29
3.1.1	Forundersøkelser	29
3.1.2	Kartleggingsmetodikk	29
3.1.3	Prøvetaking	31
3.1.4	Fabricanalyse og bergartstelling	33
3.1.5	GPS-målinger	33
3.1.6	Orientering skuringsstriper	33
3.1.7	Strøk og fall av sedimentære strukturer	34
3.2	Kvartærgeologisk kart	36
3.3	Laboratoriearbeid	36
3.3.1	Sikteanalyse	36
3.3.2	Laserdiffraksjon	38
3.3.3	Klassifisering basert på kornfordelingsanalysene	38

3.4	Databehandling	39
3.4.1	Borehull	39
3.4.2	GPS-målinger	41
3.4.3	Georadar	42
3.4.4	Behandling av kvartærgeologisk kart	42
3.5	Modellering i <i>Leapfrog Geo</i>	44
3.5.1	Terrengmodell	44
3.5.2	Modellering av berggrunnsflate og sedimenttykkelse	45
3.5.3	Modellering av løsmassefordeling	46
4	Parametersetting	50
4.1	Generelle valg av parametere	50
4.2	Modellering av kontaktflate Fjell/Løsmasser	51
4.3	Modellering av kontaktflate Finstoff/Grus og sand	51
4.4	Modellering av kontaktflate Finstoff2/Sand og grus	51
4.5	Modellering av kontaktflate Sand og grus/Blokk, stein, grus og sand1	52
4.6	Modellering av kontaktflate Finstoff1/annet	52
4.7	Modellering av kontaktflate Blokk, stein, grus og sand3/annet	53
4.8	Modellering av kontaktflate Blokk, stein grus og sand2/ Finstoff2	53
5	Resultater	55
5.1	Feltarbeid	55
5.1.1	Fabricanalyse og bergartstelling	55
5.1.2	Strukturmålinger – skrålag i deltaisk avsetning	57
5.2	Laboratorieundersøkelser – Kornfordelingsanalyse	59
5.3	Løsmassefordeling på Bømoen	67
5.3.1	Tynnt morenemateriale	69
5.3.2	Randmorene – Tunshovden	70
5.3.3	Breelvsavsetning	71
5.3.4	Massetak i breelvsavsetninger	73
5.3.5	Rygg og haugformede breelvsavsetninger	75
5.3.6	Elveavsetning	77
5.3.7	Tynt humusdekke	77
5.4	Modellering i Leapfrog	79
5.4.1	Dybde til fjell	79
5.4.2	Løsmassefordeling på Bømoen i 3D	82
6	Diskusjon	90
6.1	Tolkning av isavsmeltingshistorikk i Bømoen og forventet stratigrafisk rekkefølge	90
6.1.1	Mulig interstadial sandavsetning	90
6.1.2	Bunnmorene	91
6.1.3	Utbygging av et israndsdelta (deltafacies)	91

6.1.4	Lagdelt silt- og finsand i øst	93
6.1.5	Mulig preborealt brefremrykk	93
6.1.6	Utbygging av sandurflate (sandurfacies)	94
6.1.7	Forventet stratigrafisk rekkefølge som ligger til grunn for 3D-modellene	94
6.2	Modellering i <i>Leapfrog Geo</i>	95
6.2.1	Utnyttelse av geologisk forståelse i modellen	95
6.2.2	Utnyttelse av tilgjengelig data i modellen	98
6.3	Vurdering av de geologiske 3D modellene	100
6.3.1	Modell av finstoff og grovere materiale (V1 og V2)	100
6.3.2	Detaljert 3D-modell av løsmassene i området (V2.2)	101
6.3.3	Generelle svakheter ved modellene	101
6.3.4	Visualisering av usikkerhet og pålitelighet til ulike datapunkter . . .	102
6.4	Modellens videre liv	104
7	Konklusjon	106
A	Appendiks A	I

Figurer

1	Figuren viser et oversiktskart over studieområdet Bømoen. Den røde linjen viser utstrekningen av den modellerte løsmassemektigheten.	3
2	Berggrunnskart over Bømoen, og nærliggende områder. Hentet fra (NGU, 2023b).	4
3	Løsmassekart over Bømoen, og nærliggende områder. Kartlagt i målestokk 1:250 000. Hentet fra (NGU, 2023c)	5
4	Isskillets forandring fra istidens oppbygging (A) til maksimum (B). Hentet fra Ramberg <i>et al.</i> (2006).	7
5	Diagrammet viser breens bevegelse som avstand fra kysten på Vestlandet, til ulike tider under siste del av Weichsel. Hentet fra Ramberg <i>et al.</i> (2006).	8
6	Viser eldre og yngre isbevegelser i området rundt Voss, med tilløpende dalfører. Rekonstruksjonen er hovedsaklig basert på registrerte skruringsstriper. Hentet fra Mangerud og Skreden (1972).	11
7	Isutbredelse under Yngre Dryas (YD) og Eidfjord-Osa trinnet. Bømoen ligger ved den smale istungen til Eidfjord-Osa trinnet, like nord for Hardangerfjorden. Hentet fra(Mangerud <i>et al.</i> , 2011).	12
8	Innlandsisens utbredelse til ulike tidspunkt i tilbaketrekningen, basert på strandlinjekurver. Hentet fra Mangerud <i>et al.</i> (2019).	14
9	Representative kornfordelingskurver fra vanlige norske avsetningsmiljøer. Hentet fra Brattli (2015)	16

10	Diagram av Selmer-Olsen for klassifisering av løsmasser etter sedimentasjonsbetingelser. Diagrammet tar utgangspunkt i forholdet mellom sorteringstall og middlerekorndiameter ved kornfordelingsanalyse. Hentet fra Selmer-Olsen (1977).	18
11	Grader av rundhet. Hentet fra Gjørva (2016), modifisert etter Clayton <i>et al.</i> (1995).	19
12	Oppbygging av et typisk delta, med skrå frontlag av grus og sand overlappende med bunnlag av finere marine avsetninger, og horisontalt topplag av grovere materiale. Hentet fra (Jørgensen, Sørensen og Prestvik, 2013) .	22
13	Figurene viser vektning i forhold til avstand til kjentepunkt ved valg av lineær(Venstre) og sfærisk interpolant(Høye) (Kenworthy, 2013).	27
14	Bilde A viser stikkstang brukt til punktobservasjoner. Stangen på bilde er 1 m lang. Bilde B viser et eksempel på en stikkprøve tatt fra overflaten ned til 40-60 cm. Denne prøven er ikke hentet i Bømoen, og er kun brukt som eksempel fra et tidligere prosjekt	30
15	Bilde A viser eksempel på observasjoner i sti, der kornform og bergart ved større fraksjoner er brukt til å tolke løsmasser under. Bilde B viser et massetak med utrast materiale tolket som breelvsavsetninger.	31
16	Uttak av løsmasseprøve nummer 2 ved Ringshaugen.	32
17	Bilde A viser måling av skuringsstriper ved lokalitet 43, og er gjennomført på kvartsårer på svaberg. Bilde B viser måling av skuringsstriper ved lokalitet 42, og er gjennomført på svaberg. Rød pil går parallelt med skuringsstriper, og viser orientering av målingene.	34
18	Bilder viser deltaskrålag, der det ble tatt strøk og fall målinger. Rød skrek viser lag orientering.	35
19	Oversikt over borehull benyttet i modelleringen av løsmassefordelingen på Bømoen.	40
20	Modifisert diagram for prosjektering av innfiltrasjons filter fra Norsk Vann Rapport 178/2010(Mæhlum <i>et al.</i> , 2010).	41
21	Arbeidsprosess ved implisitt 3D-modellering av geologi i <i>Leapfrog Geo</i>	44
22	Borehull importert i <i>Leapfrog Geo</i> , med løsmassefordeling før gruppering av litologi.	48
23	Borehull importert i <i>Leapfrog Geo</i> , med løsmassefordeling etter gruppering av litologi til detaljert modellering av løsmasser.	49
24	Effekt ved valg av intrusjon og avsetning som kontaktflate ved modellering av Blokk, stein, grus og sand2. Røde piler viser små volum, rosa flate er fjell, og grønn er Blokk, stein, grus og sand2.	54
25	Resultater fra F1, målt ved observasjonspunkt 6 (Figur 62). Til venstre tetthetskontur for plott av fall, og til høyre rosedigram for fallretning til 25 målte klaster.	55
26	Resultater fra F2, målt ved observasjonspunkt 7 (Figur 62). Til venstre tetthetskontur for plott av fall, og til høyre rosedigram for fallretning til 20 målte klaster.	56

27	Resultater fra F3, målt ved observasjonspunkt 20 (Figur 62). Til venstre tetthetskontur for plott av fall, og til høyre rosedigram for fallretning til 25 målte klaster.	56
28	Stereonett med storsirkler for fall og fallretning ved målte deltaplan. Poler for hver storsirkel er plottet.	58
29	Kornfordelingskurver for masseprøve P1. Blå er kumulativ vektprosent av materiale $> 0,063mm$, oransj er kumulativ volumprosent av materiale $< 0,063mm$	60
30	Kornfordelingskurver for masseprøve P2. Blå er kumulativ vektprosent av materiale $> 0,063mm$, oransj er kumulativ volumprosent av materiale $< 0,063mm$	61
31	Kornfordelingskurver for masseprøve P3. Blå er kumulativ vektprosent av materiale $> 0,063mm$, oransj er kumulativ volumprosent av materiale $< 0,063mm$	62
32	Kornfordelingskurver for masseprøve P4. Blå er kumulativ vektprosent av materiale $> 0,063mm$, oransj er kumulativ volumprosent av materiale $< 0,063mm$	63
33	Kornfordelingskurver for masseprøve P5. Blå er kummulativ vektprosent av materiale $> 0,063mm$, oransj er kummulativ volumprosent av materiale $< 0,063mm$	64
34	Kornfordelingskurver for masseprøve P6. Blå er kummulativ vektprosent av materiale $> 0,063mm$, oransj er kummulativ volumprosent av materiale $< 0,063mm$	65
35	Kvartærgeologisk kart i målestokk 1:15 000 over Bømoen, Voss. Kartet er utarbeidet etter feltarbeid i området, og er basert på observasjoner fra felt, resultater fra kornfordelingsanalyse av masseprøver fra området og digital høydemodell.	68
36	Bilde A viser godt sortert sand med horisontal lagdeling. Bilde B viser oversiktsbilde av sandavsetningen med overhengende bunnmorene, markert med rød striplet linje. Stikkstang (1 m) som målestokk, hele sandblotningen er >5 m høy.	70
37	Bilde A viser skråning fra tidligere massetak. Bilde B viser nærbilde av avsetningene i bilde A. Bilde C viser avrundet blokk funnet på Bømoenflaten.	71
38	Oversiktsbilde av nordvendt snitt i grop vest for flystripe. Rød striplet linje markerer kanalløp fylt av grovere masser erodert ned i godt sortert, sand. Gul striplet linje markerer grense mellom sortert fin sand, og brunt lag av silt og finsand. Legg merke til reir til sandsvaler i sandlaget.	72
39	Detaljbilder fra nord- og vestvendt snitt i grop vest for flystripe. Bilde A viser nærbilde av strategafisk sekvens. Bilde B viser kantet fyllittblokk ved grensen mellom fin sand og grovere topplag (rød striplet linje), og svakt deformerte strukturer i underliggende sand (grønn striplet linje). Bilde C viser utkiling av brunt silt og finsand lag (gul striplet linje) i vestvendt skråning.	73

40	Grense mellom topplag og sorterte skrålag av sand grus i sørvendt(A) og vestvendt(B) skråning i NOBI-Massetak. Rød striplet linje markerer grensen til topplag, og grønn stiplet linje orientering av skrålag.	74
41	Sorterte lag av fin sand og silt med skråsjiktstrukturer, og deformasjoner observert i NOBI massetak.	75
42	Snitt i ryggformet avsetning i Kyrkjeteigen, ved observasjonspunkt 13. Observerte horisonter er markert med striplede linjer i ulike farger.	76
43	To kantede blokker av fyllitt, på østsiden av Leikeshovden. Rød stolpe festet til tre sentralt i bilde er 0,5m lang.	78
44	viser fjelloverflate V1 modellert i <i>Leapfrog Geo</i> , med tilhørende høydekoter. Topografi i dalsidene er hentet fra Kartverket (2016).	80
45	viser fjelloverflate V2 modellert i <i>Leapfrog Geo</i> , med tilhørende høydekoter. Topografi i dalsidene er hentet fra Kartverket (2016).	80
46	Viser modellert dybde til fjell fra terrengoverflaten i V1. Topografi brukt som vertikal avgrensning er hentet fra (Kartverket, 2016).	81
47	Viser modellert dybde til fjell fra terrengoverflaten i V2. Topografi brukt som vertikal avgrensning er hentet fra (Kartverket, 2016).	81
48	Oversikt over snitt AA'-EE' i geologiske 3D-modeller presentert i Figur 49-58. Snitt er hentet ut i Scene View i <i>Leapfrog Geo</i>	82
49	Viser snitt A-A' fra vest til øst, i raffinert modell inndelt i fjell, finstoff og Grus og sand (V1). Modellen er produsert i <i>Leapfrog Geo</i> , vertikal skala er 1:3.	83
50	Viser snitt B-B' fra vest til øst, i raffinert modell inndelt i fjell, finstoff og Grus og sand. Modellen er produsert i <i>Leapfrog Geo</i> , vertikal skala er 1:3.	83
51	Viser snitt C-C' fra sør til nord, i raffinert modell inndelt i fjell, finstoff og Grus og sand. Modellen er produsert i <i>Leapfrog Geo</i> , vertikal skala er 1:3.	84
52	Viser snitt D-D' fra sør til nord, i raffinert modell inndelt i fjell, finstoff og Grus og sand. Modellen er produsert i <i>Leapfrog Geo</i> , vertikal skala er 1:3.	84
53	Viser snitt E-E' fra sør til nord, i raffinert modell inndelt i fjell, finstoff og Grus og sand. Modellen er produsert i <i>Leapfrog Geo</i> , vertikal skala er 1:3.	85
54	Viser snitt A-A' fra øst til vest, i en av raffinert 3D-modell med detaljert fordeling av løsmassene (V2.2). Modellen er produsert i <i>Leapfrog Geo</i> , vertikal skala er 1:3.	87
55	Viser snitt B-B' fra øst til vest, i en av de raffinert 3D-modell med detaljert fordeling av løsmassene (V2.2). Modellen er produsert i <i>Leapfrog Geo</i> , vertikal skala er 1:3.	87
56	Viser snitt C-C' fra sør til nord, i en av de raffinert 3D-modell med detaljert fordeling av løsmassene (V2.2). Modellen er produsert i <i>Leapfrog Geo</i> , vertikal skala er 1:3.	88
57	Viser snitt D-D' fra sør til nord, i en av de raffinert 3D-modell med detaljert fordeling av løsmassene (V2.2). Modellen er produsert i <i>Leapfrog Geo</i> , vertikal skala er 1:3.	88

58	Viser snitt E-E' fra sør til nord, i en av de raffinert 3D-modell med detaljert fordeling av løsmassene (V2.2). Modellen er produsert i <i>Leapfrog Geo</i> , vertikal skala er 1:3.	89
59	Visuell vurdering av finstoffmektighet vst på Bømoen. Øvre bilde har en trend mot vest med 5° fall, og nedre 20° fall.	97
60	Visualisering av usikkerhet knyttet til datatetthet i en geologisk 3D-modell. Modellen er gjort gjennomsiktig for å få et inntrykk av datatetthet. Hentet fra Kahlström <i>et al.</i> (2021).	103
61	Erfaringsmessig ideel arbeidsprosess ved implisitt 3D-modellering av geologi. Rød firkant viser vurdert status for modellene produsert i denne oppgaven.	104
62	Observasjonspunkter fra feltarbeid på Bømoen. De nummererte lokalitetene er henvist til i teksten.	II

Tabeller

1	Navnsetting av kornfraksjoner basert på kornstørrelse. Hentet fra Sigmond, Bryhni og Jorde (2013)	15
2	Navnsetting av løsmasser basert på leireinnhold. Hentet fra Brattli (2015) .	16
3	Navnsetting av løsmasser basert på siltinnhold. Hentet fra Brattli (2015) .	16
4	Navnsetting av løsmasser basert på sand-, grus- eller steininnhold. Hentet fra Brattli (2015)	17
5	Gradering av løsmasser basert på graderingstall(StatensVegvesen, 2009). .	17
6	Oversikt over kart og flyfoto som er benyttet i forundersøkelsene, og senere ved kartlegging og modellering.	29
7	Oversikt over prøvene hentet ut under feltarbeid på Bømoen, med øvre kornfraksjon under sikting og total vekt av prøve.	37
8	Viser total vekt av prøvene som ble splittet i fraksjoner $< 8mm$, og hvor stor prosent det var av total prøvevekt $< 8mm$	37
9	Gruppering av massebeskrivelse i borehull, benyttet i modellering av raffinert model V1 og V2.	47
10	Gruppering av massebeskrivelse i borehullene, benyttet ved modellering av raffinert modell V2.1 og V2.2.	48
11	Oversikt over valg som er tatt ved modellering av kontaktflater mellom definerte litologier.	50
12	Resultater fra bergartstelling gjennomført under fabricanalysen ved observasjonspunkt 6, 7 og 20.	57
13	Vektprosent for kornfraksjoner(mm) fra sikteanalyse av masseprøve P1-P6. Prøvetap er beregnet av total prøvevekt presentert i Tabell 7.	59
14	Klassifisering av prøve 1-6 basert på Selmer-Olsen (1977) og Mæhlum <i>et al.</i> (2010). Der prøvene har havnet utenfor diagrammene er dette notert, og egen vrdering av prøven er inkludert.	66
15	Resultater fra laserdiffraksjon, med leireinnhold for masseprøve P1-P6 før og etter korreksjon.	66
16	Volum, dybde, og strukturell data for fjelloverflate V1 og V2.	79
17	Volum løsmasser, Grus og sand, og Finstoff fra de to raffinerte 3D-modellene V1 og V2.	82
18	Volum av ulike litologier mellom kontaktflatene i modellene V2.1 og V2.2. .	86
19	Klassifisering av prøvene basert på verdier hentet ut fra kornfordelingskurvene. Prøvene er klassifisert etter Selmer-Olsen (1977) og Mæhlum <i>et al.</i> (2010). Korndiameter for 10, 25, 60 og 75%.	I
20	Målt konrfordeling ved labanalyser av P1.	III
21	Målt konrfordeling ved labanalyser av P2.	III
22	Målt konrfordeling ved labanalyser av P3.	IV
23	Målt konrfordeling ved labanalyser av P4	IV
24	Målt konrfordeling ved labanalyser av P5.	V
25	Målt kornfordeling ved labanalyser av P6.	V

26	Laserdiffraksjon gjennomført på fraksjoner $<63 \mu\text{m}$ fra P1.	VI
27	Laserdiffraksjon gjennomført på fraksjoner $<63 \mu\text{m}$ fra P2.	VII
28	Laserdiffraksjon gjennomført på fraksjoner $<63 \mu\text{m}$ fra P3.	VIII
29	Laserdiffraksjon gjennomført på fraksjoner $<63 \mu\text{m}$ fra P4.	IX
30	Laserdiffraksjon gjennomført på fraksjoner $<63 \mu\text{m}$ fra P5.	X
31	Laserdiffraksjon gjennomført på fraksjoner $<63 \mu\text{m}$ fra P6.	XI
32	Data fra csv-filen “collar” til borehull fra COWI AS benyttet til modellering av løsmassefordelingen på Bømoen	XII
33	Data fra csv-filen “survey” til borehull fra COWI AS benytte til modellering av løsmassefordelingen på Bømoen	XIV
34	Data fra csv-filen “Lithology” til borehull fra COWI AS benytte til model- lering av løsmassefordelingen på Bømoen	XVI

1 Introduksjon

1.1 Problemstilling

Denne masteroppgaven ønsker å belyse viktigheten av tredimensjonal forståelse av løsmassene i et område, sett i sammenheng med geologiske og ingeniørgeologiske problemstillinger. Norges Geologiske Undersøkelser (NGU) skriver i sin årsrapport fra 2017 at det er et økende behov for en mer bærekraftig utvikling og utnyttelse av undergrunnen som ressurs(NGU, 2018). Økt forståelsen av den romlig fordelingen av løsmasser og berggrunn i dybden gir bedre oversikt over både ressurser og utfordringer i grunnen under oss. Det er derfor viktig med tanke på økt press på areal i byer og tettbygde strøk (Sandberg, 2016; Eian, 2022).

3D-modellering ved hjelp av programmer som *Leapfrog GEO* kan bidra til å forenkle data-innsamling, visualisering og forståelse av undergrunnen (Kahlström *et al.*, 2021; Glynn *et al.*, 2011). I denne masteroppgaven er det derfor laget geologiske 3D-modeller i programmet *Leapfrog GEO*, i forbindelse med planlagt utvikling av området Bømoen, i Voss kommune, Vestlandet fylke. Bømoen antas å være en stor løsmassemektighet med bre-elsavsetninger bestående av delvis sortert sand, grus og stein (Dahl, 2005). Umettet sone ønskes å benyttes til byggeråstoff, og grunnvann i mettet sone ønskes å benyttes til grunnvarme og drikkevann. Målet med modelleringen er å sammenstille data og tolkninger for få en bedre forståelse av den romlige fordelingen av løsmassene i området. Videre vil modellen brukes til å vurdere ressursene i området, og den geologiske modellen vil bli overført til en hydrogeologisk modell som brukes som et risikoverktøy i sambruk og forvaltning av grunnvann og grusressurser samt utbygging.

Spørsmål som er forsøkt besvart i denne oppgaven:

- Hvordan har deglasiasjonen på Bømoen foregått, og hva betyr dette for løsmassefordelingen på overflaten og mot dypet?
- Hvilke typer data er tilgjengelige i området, og hvordan kan de integreres ved modellering i *Leapfrog GEO*?
- Er det tilstrekkelig med data til å generere en modell som tilfredsstiller kravene prosjektet på Bømoen etterspør?
- Hvordan kan usikkerhet og tetthet i datapunkter visualiseres i modellen?

En kvartærgeologisk kartlegging er utført på Bømoen for å få en mer detaljert oversikt over løsmassene på overflaten. I tillegg vil databearbeidning og arbeidsprosess i *Leapfrog GEO* bli presentert, og sees i sammenheng med potensialet for bruk av *Leapfrog GEO* til modellering av løsmasser i lignende prosjekter.

1.2 Bakgrunn for prosjektet

Område Bømoen har vært eid og brukt av Forsvaret til militær aktivitet siden Bømoen leir ble etablert i 1898 (Forsvarsbygg, 2015). Det ble driftet av forsvaret frem til leiren med tilhørende områder ble solgt til Bømoen AS i 2012-13 (Hjelle og Tallarek, 2014). I forbindelse med Bømoen leir og øvingsområde er det etablert en skytebane på østsiden av elven, og to flystriper til militær og sivil bruk (Midttømme *et al.*, 2000).

I dag er den militære aktiviteten avviklet, og området brukes i stor grad til sivil aktivitet. Leirområdet er likevel definert som historisk, og flere av byggingene er vernet (Hjelle og Tallarek, 2014). Et omfattende sti- og vegnett av skogsbilveier blir flittig brukt av turgåere sommer og vinter, og det er laget lysløype langs skitrase. En av to flystriper, brukes av sivile til småfly og luftsport og den andre er nedlagt og benyttes til lagring (Muntlig komm. Christian Rekve Bryn, 13.05.2023). Det er lite bebyggelse foruten de med militær tilknytning sentralt på Bømoenflaten (Forsvarsbygg, 2015), og det meste av privatboliger er etablert langs hovedveinettet nord og sør for området. Enkelte av disse er også vernet (Riksantikvaren, 2023). Vest på Bømoen, ved Palmafossen er det etablert næringsbygg, idrettsanlegg og barneskole.

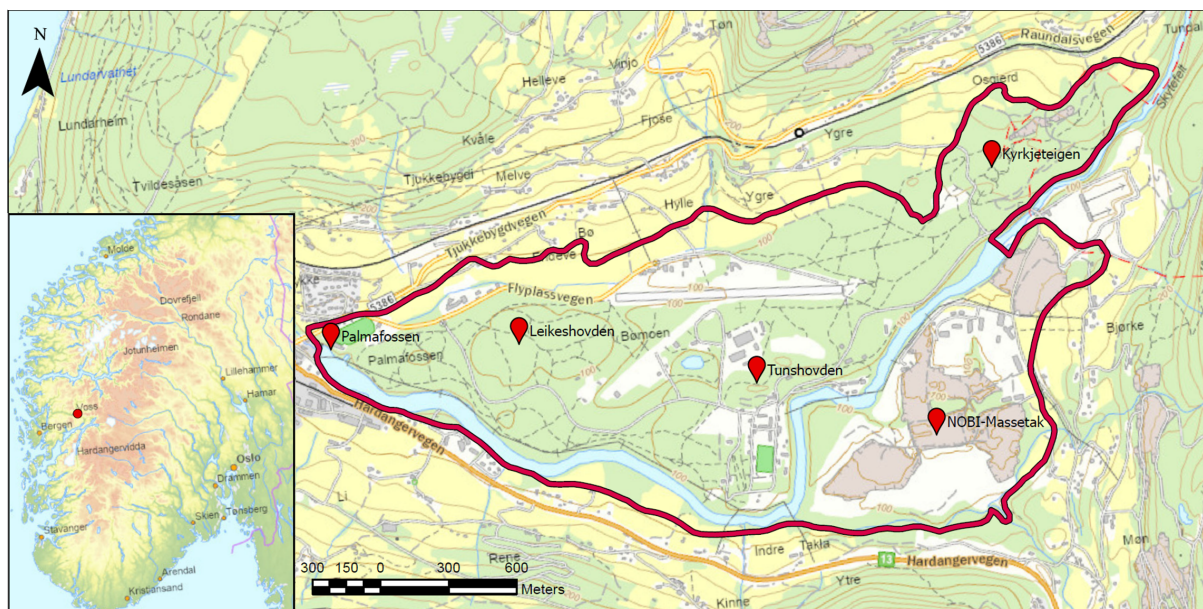
De nye eierne Bømoen AS ønsker å bygge ut området, og tilpasse det til mer sivil bruk. Planen er foreløpig å sette av areal til næring, friluft og turisme og uttak av georessurser som byggeråstoff og grunnvann. Forsvaret har driftet et mindre, lokalt drikkevannsuttak fra grunnvannet i Bømoen. De nye eierne ønsker å se på potensialet for å utvide dette, slik at grunnvannet kan benyttes til drikkevannskilde lokalt, når etterspørselen i området blir større. 3RW arkitekter jobber med en områdereguleringsplan (Hjelle og Tallarek, 2014) som skal sendes inn i løpet av 2023 (Christian Rekve Bryn muntlig komm., 13.05.2023)

Ved urbanisering av et lite utbygd område som Bømoen, vil det være potensiale for å etablere et felles grunnvarmeanlegg hvor lagret solenergi i grunnvannet utnyttes ved hjelp av varmepumper. Denne relative varmen kan benyttes til varmeproduksjon i vinterhalvåret, og nedkjøling i sommerhalvåret ved å bruke varmepumpeanlegg. Ved å inkludere komplimentære energikilder i kombinasjon med en større varmeproduksjon enn det som forbrukes lokalt vil man kunne levere varme til områder omkring Bømoen (COWI, 2021).

Lignende undersøkelser er gjennomført i Melhus og Elverum, som en del av pilotprosjektene ORMEL 1 og 2. Etableringen av plussbygd på Bømoen er en videreføring av disse prosjektene, og en del av doktorgradavhandlingen til Christian Rekve Bryn ved COWI AS. Prosjektet er et samarbeid mellom COWI AS, NTNU, Voss Herad, Bømoen AS, Voss energi AS og NGU (COWI, 2021).

1.3 Områdebeskrivelse og geologi

I dette delkapittel vil det bli presentert en kort beskrivelse av områdets geografi og geologi. Som en forberedelse til feltarbeid i området på Bømoen ble det gjennomført en forundersøkelse basert på studier av eksisterende kart, flyfoto og litteratur. Figur 1 viser en oversikt over området som er undersøkt på Bømoen.



Figur 1: Figuren viser et oversiktskart over studieområdet Bømoen. Den røde linjen viser utstrekningen av den modellerte løsmassemektigheten.

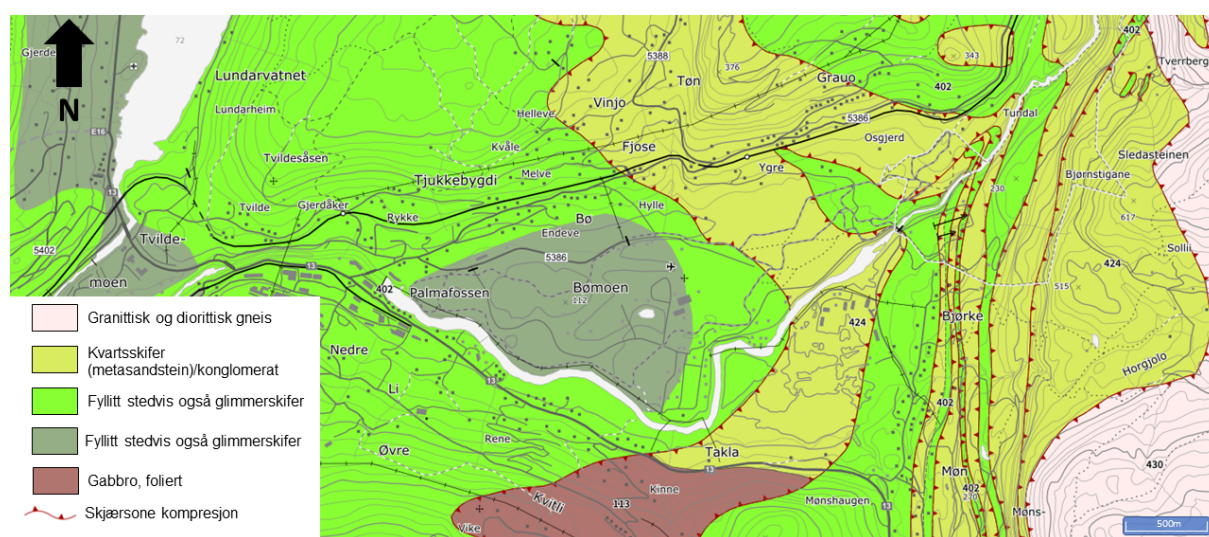
1.3.1 Geografi

Bømoen er en del av Voss kommune, som ligger i Vestland fylke. Området ligger øst for Voss sentrum, ved utløpet til Raundalen fra nord-øst (Hjelle og Tallarek, 2014; Frøyland *et al.*, 2015). Området utgjør en flate med størrelse på ca $3,2\text{ km}^2$, inkludert område øst for Raundselva kaldt Bjørkemoen. Det avgrenses av Fv317 Flyplassveien i nord, og E13 Hardangerveien i sør. Sentralt i område ligger Bømoen Leir, med tilhørende militær bebyggelse, øvingsområder og skytebane i mer kupperte områder i nordøst, samt to flystriper som ligger nord for leirområde.

Gjennom området renner elva Raundalselvi, med utløp fra Raundalen (Dahl, 2005). Fra sørøst og øst renner de mindre elvene Kvisli og Hjorgjolo inn i området og slutter seg til Raundalselva. Videre renner elven over et passpunkt ved Palmafossen, og gjennom et gjel mot Vossavangen. Øst for elva ligger NOBI-massetaket på Bjørkemoen. Området har noe sivil bebyggelse langs veiene både i nord og sør, men de sentrale delene av flaten består i all hovedsak av militære bygg og infrastruktur (Forsvarsbygg, 2015), og denne delen utgjør det området som idag i stor grad brukes som turområde for sivile.

1.3.2 Berggrunn

Det sentrale vestlandet består av både grunnfjell, metamorfe og magmatiske bergarter og skyvedekker av prekambriske alder. Området mellom Hardangerfjorden og Sognefjorden består i stor grad av bergarter som er påvirket av den kaledonske fjellkjedefoldingen. Alle disse er delvis påvirket av den kaledonske fjellkjedefoldingen. Mye av berggrunnen er i varierende grad metamorfisert, og dette har ført til stor variasjon i bergartstype og egenskaper. Fyllitt er spesielt vanlig i sørvest Norge, og danner ofte et glideplan for skyvedekkerne (Ramberg *et al.*, 2006; Brattli, 2015). Figur 2 viser en oversikt over berggrunnen på Bømoen og nærliggende områder.



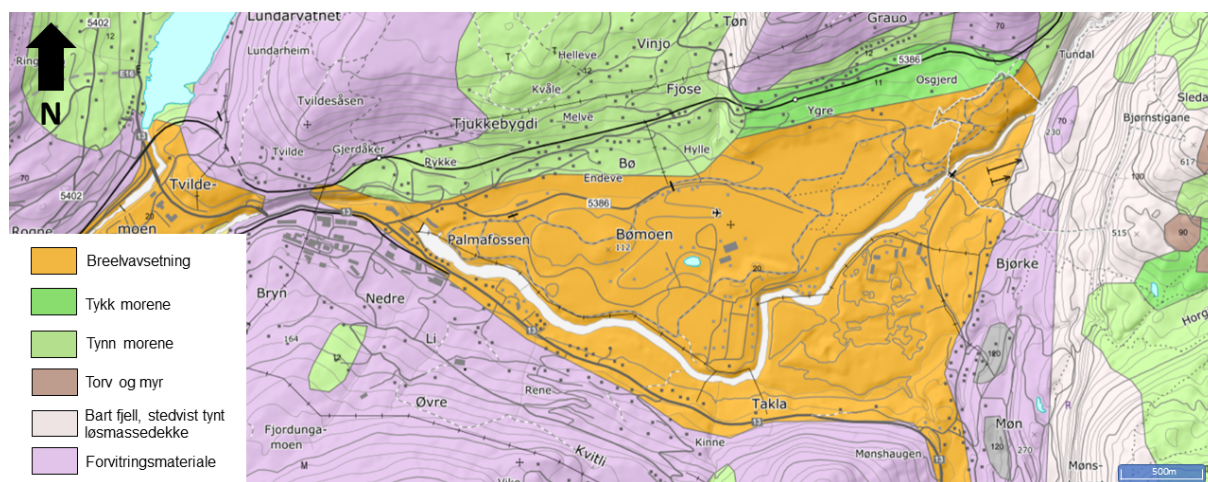
Figur 2: Berggrunnskart over Bømoen, og nærliggende områder. Hentet fra (NGU, 2023b).

Berggrunnen i Voss kommune kan grovt deles inn i to overordnede litologier. Rundt Vossavangen består berggrunnen av svake bergarter som fyllitt, glimmer- og amfibolittrike gneiser og amfibolitt. Øst i kommunen består berggrunnen av sterkere bergarter som anorthositt, tonalitt og gneis (Dahl, 2005). Det forekommer også kvartsitt, kvartsskifer, kvartsdioritt, granitt og granittisk gneis (Henriksen og Jæger, 1992). Variasjonen i berggrunnen bidrar til variasjoner innenfor løsmasseforekomsten på Bømoen, som i høy grad består av både svake og sterke bergarter (Dahl, 2005; Henriksen og Jæger, 1992; NGU, 2023b).

Øst og nordøstre del av studieområdet Bømoen er påvirket av en skjærsone dannet ved kompresjonsbevegelse under den kaledonske fjellkjededannelsen. I følge berggrunnskart over Voss er dette markert som skyvegrense for Slettafjelldekket (Voss. *Berggrunnskart* 1985). Skjærsonen følger begge dalførene med utløp mot Bømoen i nordøst og sørøst. Dette tyder på at erosjon ved vann og is har fulgt minste motstands vei langs svakhetssonene, og sammenfalt ved Bømoen. Dette har resultert i et konfluensbasseng, som senere har blitt fylt av sediment ved deglasiasjonen (Anundsen og Simonsen, 1967; Ramberg *et al.*, 2006).

1.3.3 Løsmassene på Bømoen

I likhet med det meste av løsmassene i Norge er løsmassene på Bømoenflaten antatt å være avsatt under og etter siste istid - Weichsel (Ramberg *et al.*, 2006; Sigmond, Bryhni og Jorde, 2013). I følge løsmassekart fra NGU, vist i Figur 3, er store deler av flaten på Bømoen kartlagt som breelavsetninger, mens dalsidene består av morene- og forvittringsmateriale.



Figur 3: Løsmassekart over Bømoen, og nærliggende områder. Kartlagt i målestokk 1:250 000. Hentet fra (NGU, 2023c)

Bømoenflaten er i flere publikasjoner tolket som et sandurdelta, avsatt foran en stillestående bre ved tilbaketrekingen av innlandsisen (Anundsen og Simonsen, 1967; Dahl, 2005; Skreden, 1967) I Norge er slike avsetninger vanlige i flere dalfører som tidligere har ligget under marin grense, og de utgjør i dag noen av de viktigste sand og grusressursene våre. Slike avsetninger har ofte stor mektighet, og er egnet til både uttak av byggeråstoff og som vannmagasin (Jørgensen, Sørensen og Prestvik, 2013; Ramberg *et al.*, 2006; Sigmond, Bryhni og Jorde, 2013).

Grusforekomstene på Bømoen er den største i Voss kommune, og er klassifisert som særs viktig ressurs som forsyning av byggeråstoff i NGUs rapport nr. 2005.021 (Dahl, 2005). I NGUs rapport 92.129 (Henriksen og Jæger, 1992) er samme løsmasseforekomsten ansett som et prioritert område for vern av grunnvannsressurs mot forurensning og overforbruk, og magasinet vurderes som en mulig reservevannkilde for Voss. På grunn av tidligere militær aktivitet vil det være risiko for forurenset grunnvann, dette er blant annet undersøkt i masteroppgaven til Christian Rekve Bryn (Bryn, 2016).

2 Teori

2.1 Kvartærgeologi og løsmasser i Norge

Kvartærgeologi omfatter geologiske prosesser og dannelsen av løsmasser i perioden Kvartær (Sigmond, Bryhni og Jorde, 2013). Denne perioden varte fra 2,6 millioner år siden til i dag, og omfatter epokene Pleistocen og Holosen (Ramberg *et al.*, 2006; Sigmond, Bryhni og Jorde, 2013). Perioden er preget av istider og mellomistider, som resultat av klimasvingninger, som i hovedsak skyldes variasjoner i jordaksens helning og omløp rundt sola (Ramberg *et al.*, 2006; Benn og Evans, 2010). Under istidene var temperaturen på jorda lavere enn i dag, og store deler av polare strøk var dekket av innlandsis, inklusive Nord-Amerika og nordlige del av Europa (Ramberg *et al.*, 2006). Tidsperioden mellom istider er kaldt en mellomistid (Sigmond, Bryhni og Jorde, 2013). Da trakk isen seg tilbake, og mindre lokale breer stod igjen slik vi ser på fastlandet i Norge i dag (Jørgensen, Sørensen og Prestvik, 2013; Ramberg *et al.*, 2006).

Det finnes lite informasjon om tidligere istider på fastlandet i Norge, ettersom det meste av løsmasser avsatt under disse ble erodert og transportert vekk av yngre istider (Jørgensen, Sørensen og Prestvik, 2013; Mangerud *et al.*, 2011). En stor majoritet av løsmassene anses å være avsatt under eller etter siste istid (Opsal, 2017). Denne istiden kalles Weichsel og varte fra omtrent 115 000 til 11 700 år før nåtid (Ramberg *et al.*, 2006, s. 499). I løpet av istidene var det mindre variasjoner i klima der innlandsisen beveget seg frem og tilbake over landmassene. Varme perioder med nedsmelting i løpet av en istid kalles interstadial, mens kalde perioder med brefremrykk kalles stadialer (Sigmond, Bryhni og Jorde, 2013; Benn og Evans, 2010).

Siste glasiale maksimum (LGM) fant sted i siste del av Weichsel, for 25 000 – 18 000 år siden (Mangerud *et al.*, 2011). Etter dette begynte innlandsisen å trekke seg tilbake, med flere stopp og fremrykk. Isavsmeltingen tok til for alvor da mellomistiden Holosen begynte, 11 700 år før nåtid, og isen forsvant deretter i løpet av en periode på 1000 til 1500 år (Ramberg *et al.*, 2006, s. 499)

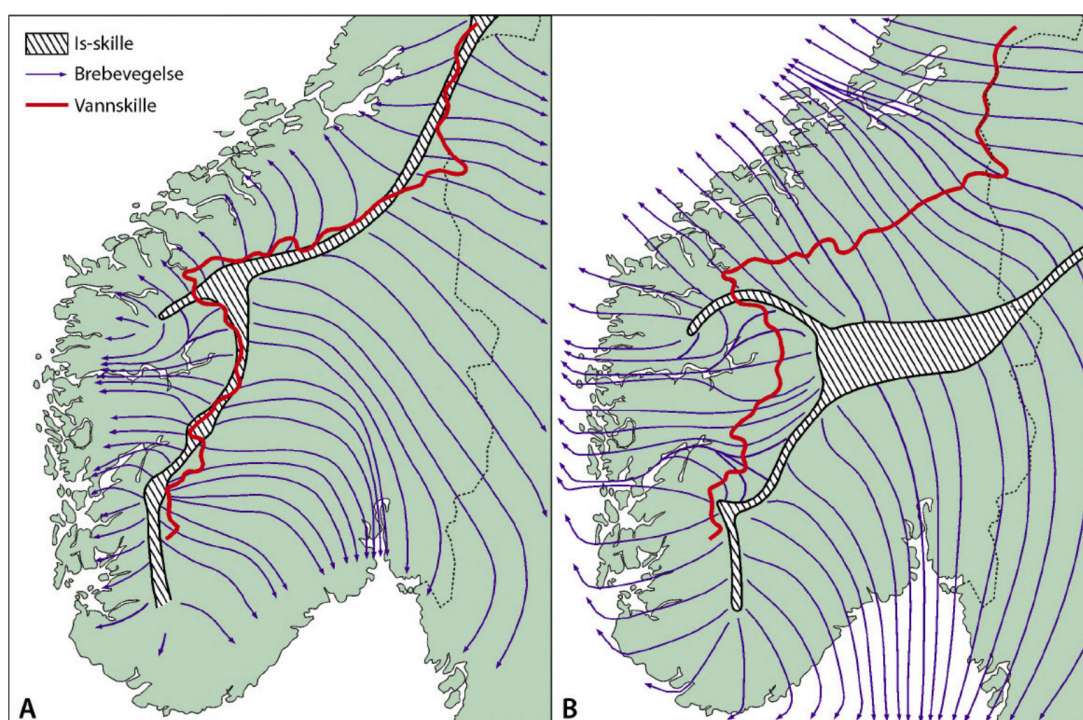
I dette delkapittelet vil regional kvartærgeologi for Vestlandet presenteres, sammen med kvartærgeologiske prosesser som brebevegelse, marin grense og landheving. Dette er sett i sammenheng med løsmassefordelingen på Bømoen, og tidligere observasjon og teorier rundt lokal isavsmeltingshistorikk.

2.1.1 Siste glasiale maksimum (LGM)

Ved siste bremaksimum var hele Skandinavia dekket av en stor innlandsis, med tykkeste isdekke i Bottenvika. Fra målt landheving og andre rekonstruksjoner er tykkelsen på isen estimert til omtrent 3000 m på sitt meste (Jørgensen, Sørensen og Prestvik, 2013). Isskillet over Norge lå i fjellene mot øst, på tvers av Gudbrandsdalen. Isen beveget seg radielt vekk fra isskillet, med en generell retning fra øst mot vest på Vestlandet, og var lite topografisk bundet på grunn av sin store mektighet (Mangerud *et al.*, 2011; Sigmond, Bryhni og

Jorde, 2013; Ramberg *et al.*, 2006).

Ved oppbygningen av innlandsisen under siste istid lå isskillet nær hovedvannskillet i dag, vist i Figur 4A. Ved siste istids maksimum hadde isskillet beveget seg lenger øst i Sverige og sør i Norge, vist i Figur 4B. Denne forflytningen antas å ha funnet sted grunnet kalving i fjordene og de bratte dalsidene på vestkysten, i tillegg til endrede nedbørmønstre som følge av klimaforverringen (Ramberg *et al.*, 2006).



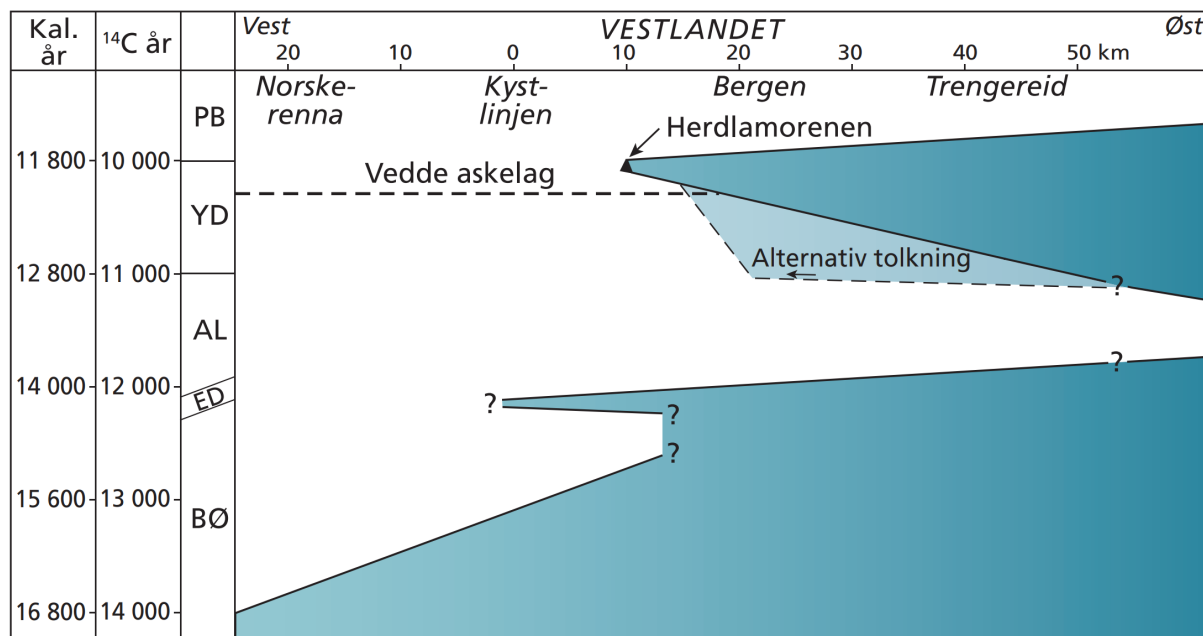
Figur 4: Isskilletts forandring fra istidens oppbygging (A) til maksimum (B). Hentet fra Ramberg *et al.* (2006).

Over havnivå er det vanlig å finne skuringsstriper på kvartslinser og andre bergarter som er motstandsdyktige mot forvitring (Mangerud *et al.*, 2019). Disse dannes av fastfrossede klaster i bunnen av breen som skurer underliggende berggrunn, og danner striper parallelt med isens bevegelsesretning (Nichols, 2009, s. 95). Skuringsstriper kan brukes til å rekonstruere isens bevegelsesretning til ulike tider, og ved å finne relativ alder for isbevegelsen ved kryssende skuringsstriper, slik som beskrevet av Skreden (1967).

2.1.2 Tilbaketrekning av innlandsisen

Etter siste bremaksimum trakk isen seg tilbake innover norskekysten. Tilbaketrekningen var ujevn i starten, og flere mindre brefremrykk fant sted under kortere perioder med klimaforverring. Ved opphold eller fremrykk i breens bevegelse er det mulig å spore randavsetninger som endemorener, eskere og andre breelvsediment. Der disse kan korreleres er

det mulig å rekonstruere breens utstrekning på gitte tidspunkt (Mangerud *et al.*, 2023). Figur 5 viser et tid-distanse-diagram med brefrontens bevegelse på Vestlandet under siste del av Weichsel. Dette inkluderer stadialene Eldre og Yngre Dryas, og interstadialene Allerød og Bøllingen (Ramberg *et al.*, 2006).



Figur 5: Diagrammet viser breens bevegelse som avstand fra kysten på Vestlandet, til ulike tider under siste del av Weichsel. Hentet fra Ramberg *et al.* (2006).

Eldre og Yngre Dryas er eksempler på kaldere perioder (stadialer) der isen rykket frem under den generelle tilbaketrekningen. Det er funnet fossiler i Blomvåg, vest for Bergen, som indikerer en isfri ytre kyst på Vestlandet for rundt 15 000 til 14 300 år siden (Mangerud *et al.*, 2017). De fossile lagene var dekket av morene, som betyr at breen må ha gjort et fremrykk i Eldre Dryas før videre tilbaketrekning i Allerød (Ramberg *et al.*, 2006). I Allerød var klima noe mildere og isen trakk seg videre tilbake, før et større brefremrykk i Yngre Dryas fant sted (Mangerud *et al.*, 2019; Mangerud *et al.*, 2023).

Brefremrykket i Yngre Dryas kan spores langs store deler av Norskekysten som randavsetninger, riktig nok til noe ulike tidspunkt og avstand til kysten (Mangerud *et al.*, 2023). I sørnorge, Oslo og Østlandsområdet omtales randtrinnene som Raet, mens Yngre Dryas randtrinn ofte har lokale navn i andre deler av landet, som for eksempel Herdlamorenene på Vestlandet. Dette er den best dokumenterte randavsetningen i Norge og Skandinavia, og korrelasjonene er godt hjulpet av avsetning fra Veddeasken, fra et vulkanutbrudd på Island, som fant sted for 12 000 år siden. Det er dokumentert fossilfunn av skjell i gamle allerødsedimenter, som tilsier at breen må ha ligget minst 50 km innenfor Herdlamorenene. Skjellene er funnet delvis oppknust i bunnmorene, som tilsier at brefremrykket må være yngre enn de bearbejdede sedimentene (Ramberg *et al.*, 2006; Aarseth og Mangerud, 1974).

Etter brefremrykket i Yngre Dryas økte temperaturen på ny i Holosen. I Preboreal tid og første del av Boreal tid foregikk det en hurtig tilbaketrekking av innlandsisen. Ved tilbaketrekkingen ble isen også mer topografisk styrt. Dette er synlig ved tolkning av dokumenterte skuringsstriper (Mangerud *et al.*, 2011). Isbevegelsen tenderte i økende grad mot de større fjordene. Her kalvet breen, som bidro til den hurtige tilbaketrekningen av isen. Der de mindre dalene munner ut i fjordene hang breen seg opp, ettersom den ikke lenger fløt på havvannet og kalvet, men hvilte på terrengoverflaten (Ramberg *et al.*, 2006; Mangerud *et al.*, 2011). Osa-Eidfjord-morenen er datert til ca 11 000 før nåtid, og viser at tilbaketrekkingen i de dype fjordene kun varte et par hundre år (Mangerud *et al.*, 2011). Dette brefremrykket er ikke like godt kartlagt som Raet og Herdlamorenene, og er ikke vist i Figur 5.

2.1.3 Landheving

Landheving er definert som langsom heving av landjorda i forhold til havnivået (Sigmond, Bryhni og Jorde, 2013). Når isen trakk seg tilbake, og vekten av isen ikke lenger presset landmassene ned, startet landet å heve seg for å oppnå isostatisk likevekt. I Norge har den isostatiske landhevingen etter siste istid hatt stor betydning for utformingen av landskapet (Jørgensen, Sørensen og Prestvik, 2013; Ramberg *et al.*, 2006).

Ettersom isen trakk seg tilbake innover landet ble imidlertid stadig mer vann som tidligere var bundet opp i ismassene tilført havene. Dette førte til en global havnivåstigning. Netto landheving er gitt som differansen mellom heving av landmassene og havnivå. Der netto landheving har vært positiv har det forekommer en regresjon, og når netto landheving er negativ forekommer en transgresjon (Jørgensen, Sørensen og Prestvik, 2013; Ramberg *et al.*, 2006),

På Vestlandet har landet hevet seg 25 - 130 m. Isen var tyngst i sentrale deler av iskappen, ved isskillet på Østlandet, noe som førte til størst landheving i området rundt Oslofjorden. Havet fulgte med isfronten innover i landet, og øvre marin grense er derfor økende innover i landet fra vest (Svendsen og Mangerud, 1987).

2.1.4 Øvre marin grense

Marin grense er definert som det høyeste nivå som havet har nådd i et område etter at det var fritt for is (Sigmond, Bryhni og Jorde, 2013). Ved utløp ved hengende sidedaler til fjordene er det flere steder bygget ut marine terrasser, og disse brukes til å dokumentere øvre marin grense i et område. I tillegg kan datering gi viktig informasjon om når området må ha vært isfritt. En slik rekonstruksjon er blant annet gjennomført av Mangerud *et al.* (2019).

Den øvre marine grensen har vært den viktigste erosjonsbasis for smeltevannselvene ved tilbaketrekningen av innlandsisen. Erosjonsbasis er det laveste nivået løsmasser eller berggrunn kan eroderes ned til. Generell erosjonsbasis for kontinentet er havnivå. Lokal erosjonsbasis kan være ved en større innsjø eller en fjellterskel (Sigmond, Bryhni og Jorde,

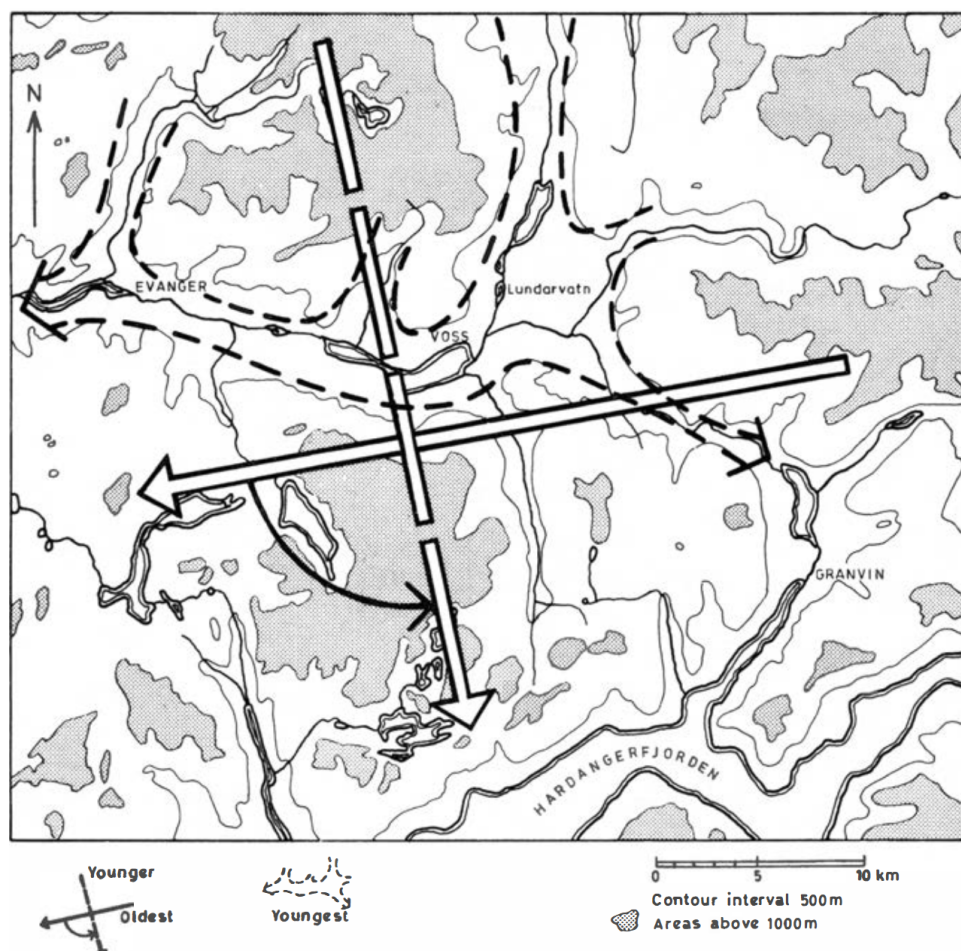
2013). Det er opp til dette nivået de største glasifluviale deltaavsetningene er bygget i dalførene, der isen har stått stille i lengre perioder (Ramberg *et al.*, 2006; Jørgensen, Sørensen og Prestvik, 2013).

2.1.5 Isavsmeltingshistorikk på Bømoen

Løsmasseavsetningen på Bømoen er tolket som en glasifluvial avsetning i et fjellbasseng med en terskel ved Palmafossen, 79 moh (Anundsen og Simonsen, 1967; Dahl, 2005). Det antas at disse løsmassene ble avsatt under og like etter siste istids deglasiasjon (Jørgensen, Sørensen og Prestvik, 2013; Ramberg *et al.*, 2006; Sigmoid, Bryhni og Jorde, 2013).

Under siste istidsmaksimum var isen tykk nok til å være lite styrt av topografien (Ramberg *et al.*, 2006). Med et isskille som lå på tvers av Grudbrandsdalen mot Bottenvik, beskrevet i avsnitt 2.1, var isbevegelsen over Bømoen tilnærmet rett mot vest, i likhet med resten av Vestlandet (Mangerud og Skreden, 1972; Aa og Mangerud, 1981; Mangerud *et al.*, 2019). Skreden (1967) har dokumentert skuringsstriper i området rundet Voss, og de eldste skuringsstripene viser en isbevegelse rett mot vest.

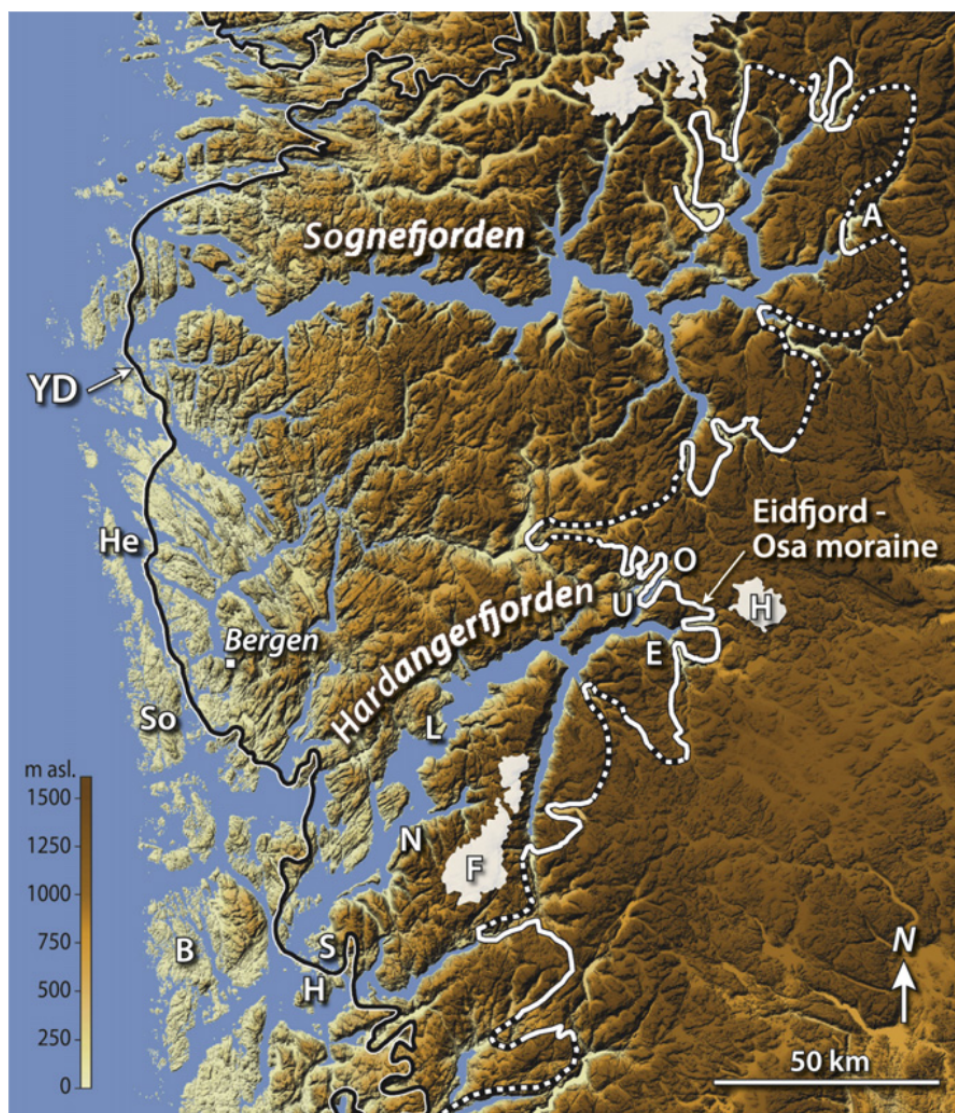
Det varme klimaet under tilbaketrekningen av isen både før og etter Yngere Dryas førte til en kraftig tynning av breen, og en mer topografisk bundet isbevegelse, med dreining mot de større fjordene (Ramberg *et al.*, 2006; Aa og Mangerud, 1981). Dette kan forklare yngre skuringsstriper dokumentert av Skreden (1967) i området rundt Voss med orientering mot sør, med retning mot Hardangerfjorden (Skreden, 1967). Aa og Mangerud (1981) forklarer disse skuringsstripene, med et lokalt isskille ved Stølsheim, på fjellplatået mellom Sognefjorden og Hardangerfjorden i Preboreal, tidlig holosen. Basert på dokumenterte skuringsstripene har isen beveget seg sør over Bømoen mot Granvin (Skreden, 1967). Hardangerfjorden hadde i så tilfelle hatt en større drenerende effekt enn tidligere. De yngste skuringsstripene i området tyder på at iskappen til slutt ble til dalbreer med utløp Voss-Evanger og Voss-Granvin, (Aa og Mangerud, 1981). Figur 6 er hentet fra Mangerud og Skreden (1972), og viser eldste, yngre og yngste brebevegelser rekonstruert hovedsakelig basert på tolkninger av skuringsstriper i nærliggende områder.



Figur 6: Viser eldre og yngre isbevegelser i området rundt Voss, med tilløpende dalfører. Rekonstruksjonen er hovedsaklig basert på registrerte skrulingsstriper. Hentet fra Mangerud og Skreden (1972).

Mangerud og Skreden (1972) beskriver funn av fossile iskliler av antatt Allerød alder, som tyder på at isen kan ha trukket seg så langt tilbake som til Voss allerede rundt 14 000 – 12 700 år siden, før brefremrykket i Yngere Dryas. Disse isklilene ble funnet ved Lundevatnet i Voss, mellom to lag med bunnmorene. Området må derfor ha vært dekket av is både før og etter dannelsen av disse isklilene. Iskliler dannes ved permafrost, og området må derfor ha vært isfritt lenge nok til at disse har blitt dannet. Permafrost forekommer kun i områder der det ikke er breis tilstede, men likevel i perioder med kaldt klima (Dallmann, 2015). Dersom isklilene er av Allerød alder mener Mangerud og Skreden (1972) at brefronten må ha trukket seg langt nok tilbake til at breen ikke rakk å rykke frem igjen i den kalde perioden, før isklilene var dannet. Det er vurdert mulig at den fossile isklilen er fra en tidligere interstadial i Weichsel i samme publikasjon. Området på Bømoen kan i så tilfelle ha vært isfritt allerede i Allerød, før isen igjen dekket område.

Etter brefremrykket i Yngre Dryas trakk breen seg raskt tilbake innover Hardangerfjorden. Tidlig i holosen forsvant isen helt i løpet av 1000-1500 år (Ramberg *et al.*, 2006). Denne raske tilbaketrekningen tyder på en rask reduksjon i ismengde, og man kan anta at det var store mengder smeltevann. I løpet av denne perioden ble breelvsavsetningene på Bømoen trolig avsatt, som et israndsdelta ut i fjordarmen dalføret tidligere utgjorde. Den store løsmassemektigheten av grus og sand (Dahl, 2005), antas å være avsatt under et opphold i breens tilbaketrekning, ettersom en slik løsmassemektighet krever tid for å bygge seg opp.



Figur 7: Isutbredelse under Yngre Dryas (YD) og Eidfjord-Osa trinnet. Bømoen ligger ved den smale istungen til Eidfjord-Osa trinnet, like nord for Hardangerfjorden. Hentet fra (Mangerud *et al.*, 2011).

Det er funnet tegn på at Hardangerfjorden var isfri inn til Eidafjorden 9 680 +/- 90 år før nåtid, ved datering av marine terrasser i området. Dette er tolket som et nytt preborealt brefremrykk, som er definert av korrelerte randmorener som kalles Osa-Eidfjordmorenen (Mangerud *et al.*, 2011; Anundsen og Simonsen, 1967). Figur 7 viser utbredelsen av dette morenetrinnet. Sentralt på Bømoenflaten er det observert en rygg kalt Tunshovden. Ryggen og deltaavsetningene er antatt å være en del av randavsetningene fra Osa-Eidfjord-trinnet (Anundsen og Simonsen, 1967) (Jan Mangerud Muntlig komm., 19.01.2023). Området rundt Voss og Bømoen, må i så fall ha vært isfritt rundt samme tid som Osa-Eidfjordmorenen er avsatt. Pollenanalyser fra Barnatjerne, rett vest for Tunshovden, viser et preborealt/borealt pollenspektrum i de nedre delene (Anundsen og Simonsen, 1967). Dette korrelerer godt med den marine terrassen i Eidfjord. Den endelige deglasiasjonene av området rundt Voss og Bømoen må i så tilfelle ha funnet sted i Preboreal tid.

Datering av marine terrasser tilsier at Bolstadfjorden, vest for Voss, var isfri 9760 +/- 180 år før nåtid, og at brefronten lå ved Fandnes, øst for Bolstadfjorden, 9700 år før nåtid. Dette passer med tidslinjen for Bømoen og Voss beskrevet over. Det er imidlertid funnet terrasser i Voss, som er eldre enn dette (Aarseth og Mangerud, 1974). Dersom disse er av marin opprinnelse stemmer ikke dateringen, ettersom Bolstadfjorden må ha vært isfri, da denne dalen er eneste mulighet for marin påvirkning (Anundsen og Simonsen, 1967).

Marin grense på Bømoen er satt til 97 moh. Det er dokumentert en terrasse ved munningen til Bordalen, ca 1 km vest for Bømoen, ved denne høyden (Aa og Mangerud, 1981; Skreden, 1967). Den nasjonale høydemodellen produsert av LiDAR data viser at Bømoen flaten ligger på litt over 100 moh (Kartverket, 2016).

Ved Dyrvo er det observert et trinn i terrenget ved 79-82 moh. Ved Vannjolo er det observert en distal, svakt hellende terrasse på et delta fra en sideelv. Denne ligger på 80-84 moh (Mangerud *et al.*, 2019). Strandlinjekurve trukket mellom Stamnes og Voss tar utgangspunkt i disse terrassepunktene, og viser en gradvis høyere marin grense innover i landet mot øst (Aa og Mangerud, 1981). Ved Granvin er marin grense 95-96 moh (Hamberg, 1983). Figur 8, hentet fra Mangerud *et al.* (2019), viser deglasiasjonsforløpet i Hordaland innenfor Herdla morenen fra Yngre Dryas basert på standlinjediagram. I følge disse tolkningene var Granvin isfritt før Voss og Bømoen, som var isfrott rundt 10 900 år før nåtid.



Figur 8: Innlandsisens utbredelse til ulike tidspunkt i tilbaketrekningen, basert på strandlinjekurver. Hentet fra Mangerud *et al.* (2019).

2.2 Løsmasser

Løsmasser er i Sigmond, Bryhni og Jorde (2013) definert som "ikke-forsteinet sediment som består av materiale opprinnelig dannet ved oppbrytning av eldre bergarter".

Løsmassene som ble avsatt under og etter siste istid utgjør i dag en stor ressurs i form av byggeråstoff, landbruksarealer og fundament for infrastruktur. For optimal anvendelse av ulike løsmasseforekomster er det viktig å vite at riktig type materiale utnyttes til riktig formål. Det er derfor nødvendig å ha kjennskap til løsmassenes fysiske og kjemiske egenskaper, som i stor grad er avhengig av kildemateriale, dannelsesprosess og de prosesser løsmassene utsettes for i ettertid (Brattli, 2015; Selmer-Olsen, 1977; Ramberg *et al.*, 2006; Jørgensen, Sørensen og Prestvik, 2013).

I dette delkapittelet vil enkelte fysiske egenskaper ved løsmasser presenteres, og hvordan disse kan brukes til å klassifisere løsmassene. Denne teorien er brukt ved vurdering av løsmasser i felt, for å skille de ulike avsetningstypene fra hverandre, og ved labanalyse av løsmasseprøver fra Bømoen. Kjennetegn ved avsetningstypene på Bømoen vil også presenteres.

2.2.1 Løsmassers fysiske egenskaper

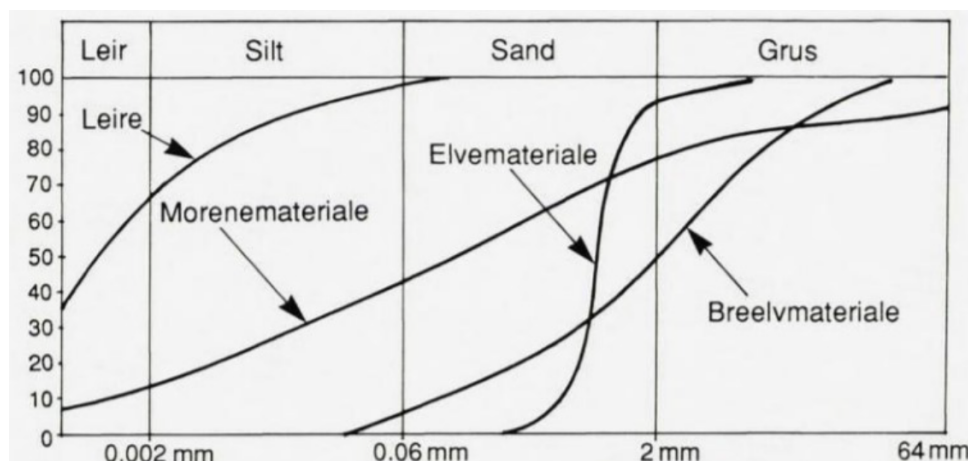
I denne oppgaven er fysiske egenskaper som kornstørrelse, form, sortering og petrografisk sammensetning, brukt til å tolke dannelsesprosesser, sedimentasjonsbetingelser og kilde-materiale for avsetningene på Bømoen.

Løsmasser består av korn med varierende størrelse, og Tabell 1 viser en oversikt over fraksjonene kornstørrelse kan deles inn etter (StatensVegvesen, 2016).

Tabell 1: Navnsetting av kornfraksjoner basert på kornstørrelse. Hentet fra Sigmond, Bryhni og Jorde (2013)

Fraksjoner		
Grovinndeling	Fininndeling	Kornstørrelse (mm)
Blokk		>600
Stein		600-60
Grus	Grov	64-20
	Middels	20-6
	Fin	6-2
Sand	Grov	2-0,6
	Middels	0,6-0,2
	Fin	0,2-0,063
Silt	Grov	0,063-0,02
	Middels	0,02-0,006
	Fin	0,006-0,002
Leire		<0,002

Kornfordelingen i en løsmasse er forholdet mellom størrelsen av de fraksjonene en avsetning består av, og dette kan fremstilles grafisk i en kornfordelingskurve. Den viser kumulativ vektprosent av økende kornfraksjon i jordarten (Brattli, 2015; Sigmond, Bryhni og Jorde, 2013). Figur 9 viser eksempler på kornfordelingskurver som kjennetegner ulike løsmassematerialer avsatt under ulike sedimentasjonsbetingelser.



Figur 9: Representative kornfordelingskurver fra vanlige norske avsetningsmiljøer. Hentet fra Brattli (2015)

Klassifisering av løsmasser etter kornstørrelse er basert på prosentandel av de ulike fraksjonene. En oversikt over navnsetting av løsmasser basert på andel av ulike kornfraksjon er gitt i Tabell 2, 3 og 4. Ved denne inndelingen er leire og silt beregnet som vekt-% av materiale <20mm. Sand, grus og stein er beregnet som vekt-% av materiale <60 mm (Brattli, 2015).

Tabell 2: Navnsetting av løsmasser basert på leireinnhold. Hentet fra Brattli (2015)

Leireinnhold (%)	Løsmasse benevnes
>30	“Leire”
15-30	“Leire”, med andre fraksjoner i adjektivform, for eksempel sandig siltig leire
5-15	“Leirig”
<5	Leireinnholdet angis ikke

Tabell 3: Navnsetting av løsmasser basert på siltinnhold. Hentet fra Brattli (2015)

Siltinnhold (%)	Løsmasse benevnes
>45	“Silt”, med andre fraksjoner i adjektivform, for eksempel sandig silt
15-45	“Siltig”
<15	Siltinnhold angis ikke

Tabell 4: Navnsetting av løsmasser basert på sand-, grus- eller steininnhold. Hentet fra Brattli (2015)

Sand-, Grus- eller steininnhold(%)	
>60	“Sand”, “grus”, eller “stein”, med andre fraksjoner i adjektivform.
20-60	“Sandig”, “grusig” eller “steinig”
<20	Innhold angis ikke

Klassifisering over indikerer ikke dannelsesmetode, men er kun en objektiv beskrivelse av kornstørrelse. Ved observasjoner av usorterte løsmasser kan flere dannelsesprosesser være gjeldende. For å kunne klassifisere slike materialer objektivt uten tolkning av dannelsesprosess kan betegnelsen diamikt tas i bruk. Diamikt er definert som ulitifisert avsetninger av dårlig sortert materiale, og er kun beskrivende (Nichols, 2009, s. 106).

Graderingstall(C_u) til en løsmasse er et mål på hvor like fraksjonene i en løsmasse er. Ved kornfordelingsanalyse er det mulig å regne ut graderingstall etter Ligning 1 (StatensVegvesen, 2009).

$$C_u = \frac{Q_{60}}{Q_{10}} \quad (1)$$

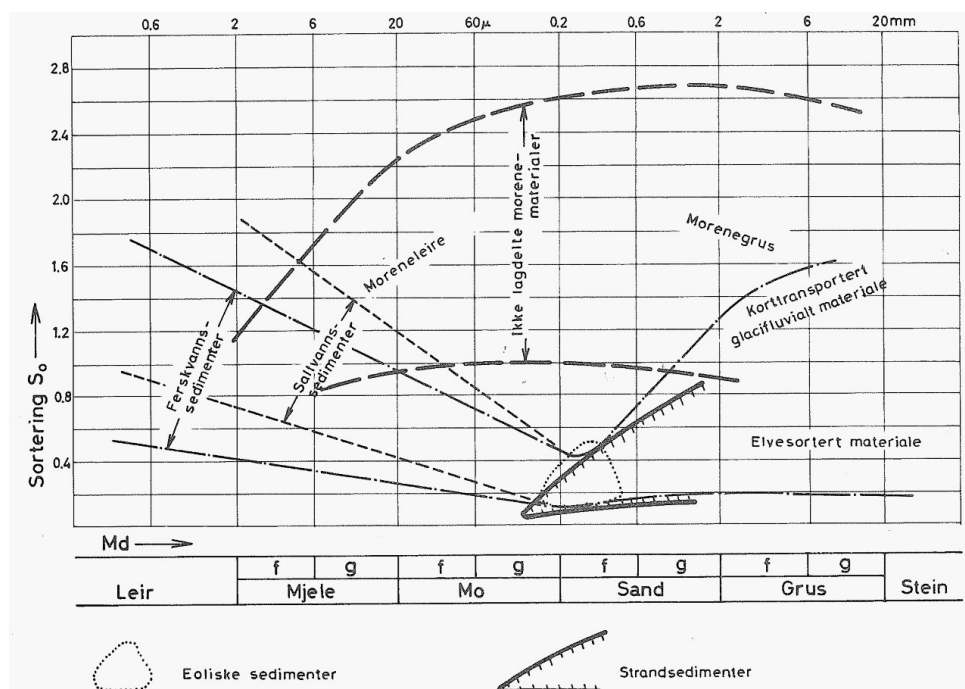
Der Q_{10} er diameter ved 10 % gjennomgått materiale og Q_{60} er diameter ved 60% gjennomgått materiale. Ved et ensgradert materiale er klastene av lik størrelse og godt sortert, mens i et velgradert materialer er klastene av ulik størrelse og dårlig sortert. Gradering av løsmassene etter graderingstall er gitt i Tabell 5 (StatensVegvesen, 2009).

Gradering	C_u
Velgradert	> 15
Middels gradert	5-15
Ensgradert	< 5

Tabell 5: Gradering av løsmasser basert på graderingstall(StatensVegvesen, 2009).

Kornfordelingskurver kan også brukes til å klassifisere løsmassene etter sedimentasjonsforhold ved bruk av sorteringstall og midlere kornstørrelse. Denne metoden er utviklet av Selmer-Olsen, og er beskrevet i Selmer-Olsen (1977) og Brattli (2015). Ved å studere kornfordelingskurver fra løsmasser med kjente sedimentasjonsbetingelser, utviklet Selmer Olsen diagrammet vist i Figur 10. Diagrammet tar utgangspunkt i sammenhengen mellom sorteringstall(S_o) og midlere kornfraksjon(M_{50}), som anses å representere løsmassens gradering(Selmer-Olsen, 1977). Midlere kornstørrelse er diameter ved gjennomgang av 50% av prøvematerialet ved sikteanalyse. Sorteringstallet er definert ved ligning 2, der Q_{25} og Q_{75} er kornstørrelse ved henholdsvis 25 og 75 % gjennomgått prøvemateriale (Selmer-Olsen, 1977).

$$S_o = \log\left(\frac{Q_{25}}{Q_{75}}\right) \quad (2)$$



Figur 10: Diagram av Selmer-Olsen for klassifisering av løsmasser etter sedimentasjonsbetingelser. Diagrammet tar utgangspunkt i forholdet mellom sorteringstall og middlerekorndiameter ved kornfordelingsanalyse. Hentet fra Selmer-Olsen (1977).

Rundingsgrad er en egenskap som kan hjelpe med å skille ulike løsmasser fra hverandre, og fortelle om dannelsesmekanismer og prosesser de enkelte fraksjonene har vært utsatt for (Jørgensen, Sørensen og Prestvik, 2013). Egenskapen viser til avrunding av hjørner og kanter på klastene og hvor stor slitasje klastene har vært utsatt for. Det er derfor en indikator for transportlengde. Generelt vil rundingsgraden øke med transportlengde, men er også påvirket av den mekaniske styrken til de ulike klastene (Brattli, 2015; Sigmond, Bryhni og Jorde, 2013). Figur 11 viser grader av rundhet.

	Godt rundet
	Rundet
	Kantavrundet
	Kantet

Figur 11: Grader av rundhet. Hentet fra Gjørva (2016), modifisert etter Clayton *et al.* (1995).

2.3 Avsetningstyper i undersøkelsesområdet

Dette delkapittelet vil presentere de forskjellige avsetningstypene i undersøkelsesområdet på Bømoen, og kort om sedimentasjonsbetingelser, forventet kornfordeling, rundingsgrad og strukturer. Avsetningstyper som vil bli presentert er morene, breelvsavsetninger, elveavsetninger og marine avsetninger.

2.3.1 Morene

Morene er betegnelse på løsmasser som er fraktet med og avsatt direkte av en isbre (Sigmond, Bryhni og Jorde, 2013). Selv om dette er en svært vanlig jordart så er mektigheten sjelden mer en et par meter (Brattli, 2015; Benn og Evans, 2010). Karakteristisk for morenemateriale er at de består av usortert materiale, med kantet til kantavrundete korn. Morene kan inneholde alle kornstørrelser fra leire til stein og blokk (Jørgensen, Sørensen og Prestvik, 2013), og graderingstallet er derfor høyt og massene defineres som velgraderte. Kornfordelingen er avhengig av avsetningsbetingelser, topografiske forhold og lokal berggrunn. Det er ingen tydelig lagdeling eller strukturer, og hele avsetningen fremstår ofte som homogen. (Jørgensen, Sørensen og Prestvik, 2013; Benn og Evans, 2010)

Bunnmorene dannes under en aktiv temperert bre som har bevegelse over underlaget, og den dannes av erodert, oppknust og abradert materiale. Erosjon og avsetning fra breen fører til en utjevning av overflaten, ved nedsliting av oppstikkende berggrunn og gjenfylling av nedsenkninger. På grunn nedknusning og abrasjon har bunnmorene ofte stort innhold av finstoff (Brattli, 2015; Jørgensen, Sørensen og Prestvik, 2013; Benn og Evans, 2010). I bunnmorene har trykket fra den overliggende isen pakket kornene godt sammen, dette gir materialet lavere permeabilitet og porøsitet. Ofte kan massene være overkonsolidert, som vil si at de har fått en større fasthet og styrke enn det som kan forventes ved det dypet den er observert, på grunn av tidligere vekt fra isen som er blitt fjernet (Sigmond, Bryhni og Jorde, 2013). Bunnmorene er sjelden transportert over større avstander. Derfor har materiale ofte en stor andel av lokal berggrunn (Brattli, 2015).

Ablasjonsmorene eller utsmeltningsmorene består av materiale transportert i og på breen, og er avsatt under nedsmelting av smeltende isbre (Brattli, 2015). Fordi der er smeltevann til stede ved smeltende is vil avsmeltningsmorene inneholde materiale som er mer utsatt for vanntransport enn bunnmorene, og den har derfor mindre andel finstoff. Til gjengjeld er den ofte relativt blokkrik, ettersom blokker ikke er nedknust slik de blir under breen ved dannelse av bunnmorene. Enkelte av klastene kan også være rundet til godt rundet (Jørgensen, Sørensen og Prestvik, 2013; Benn og Evans, 2010).

Randmorene er avsatt foran og langs sidene på isen når breen stanser enten som et resultat av underliggende topografiske forhold eller på grunn av en klimaforverring. Da vil løsmasser hope seg opp i rygger foran eller på siden av breen (Brattli, 2015). Gradering varierer fra ren moreneleire til grove masser, og det kan forekomme enkelte godt rundete blokker (Selmer-Olsen, 1977; Ramberg *et al.*, 2006; Benn og Evans, 2010). Randmorene kjennetegnes av ryggformer i terrenget, orientert langs dalfører som sidemorener og på

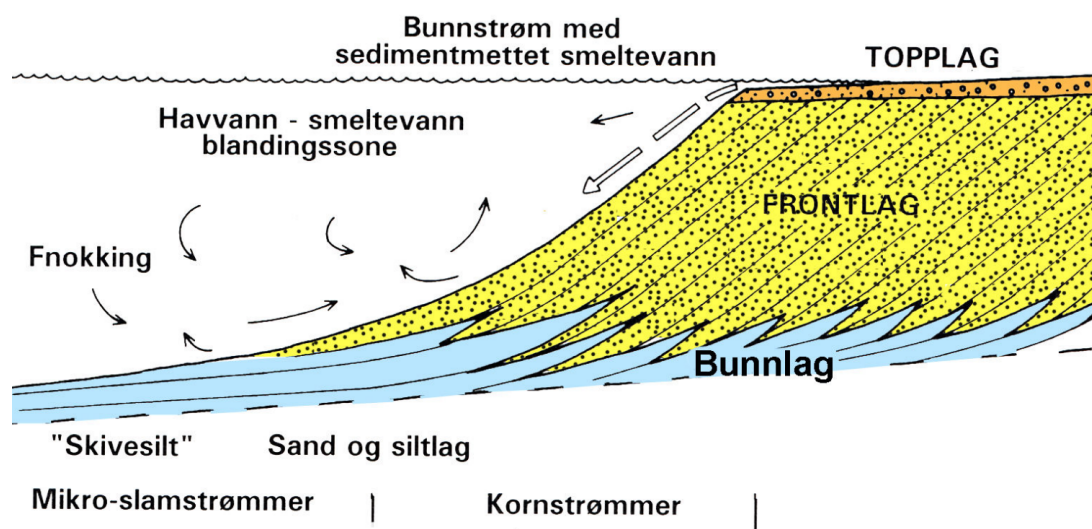
tvers av daler som endemorene (Benn og Evans, 2010). Randavsetninger kan ofte korreleres over større regioner og brukes til å rekonstruere brekantens posisjon på ulike tidspunkt ved innlandsisens tilbaketrekningen (Ramberg *et al.*, 2006; Mangerud *et al.*, 2011).

2.3.2 Breelvsavsetninger

Breelvsavsetninger omfatter løsmasser som er avsatt i forbindelse med smeltevann fra en isbre (Sigmond, Bryhni og Jorde, 2013). Dette inkluderer eskere, glasifluvialt frontdelta, sandur og rygg og haug formede dødisavsetninger. Sammensetningen og sorteringen til massene avhenger av nærhet til ismassene, mengden smeltevann og sedimentasjonforhold. Massene har et høyt til middels graderingstall, og er svakt til sterkt lagdelt, der enkeltlag kan være godt sortert. Massene inneholder kornstørrelse fra sand til blokk, og er gjerne finstoffattig. Rundingsgrad varierer mellom kantavrundet til godt rundet. Generelt fører vanntransport og avsetning til en løs pakning av løsmassene (Jørgensen, Sørensen og Prestvik, 2013; Benn og Evans, 2010).

Der isen stod stille over lengere perioder ved havnivå, ble det avsatt breerandsdeltaer opp til havnivå av materiale fra smeltevannet. Elver av smeltevann med relativt høyt energinivå, munnet ut i stillestående vann, og løsmassene ble avsatt som skrålag med helning distalt fra breen. De groveste fraksjonene avsatt først, deretter gradvis finere masser av grus, sand og silt distalt fra breen (Benn og Evans, 2010). Under marin grense kan breelvsavsetningene kile ut med marine avsetninger (Dagestad, Hansen og Braathen, 2003). Det kan forekomme droppstein i skråstilte lag. Dette er stein og blokk som løsner fra drivende isfjell og faller ned på bunnen. Disse er ofte mer kantet og har svakt deformerte lag under seg (Sigmond, Bryhni og Jorde, 2013; Benn og Evans, 2010).

Ved oppbygning av breelvsavsetninger til over havnivå danner smeltevannet sletter med flettede elveløp over havnivå. Slike flater foran en bre kalles sandur (Jørgensen, Sørensen og Prestvik, 2013). På grunn av en varierende hastighet vil elvene ha hyppig skiftende løp, med gjenfylling av gamle løp og erodering av nye. Kornstørrelse avtar distalt fra breen. De yngste kanalløpene kan være synlig som forsenkninger på overflaten, og som kanalløp i snitt (Brattli, 2015). Løsmassene avsettes av smeltevannet som subhorisontalt topplag og har en erosiv grense mot underliggende avsetninger. Kornstørrelse avtar distalt fra breen. De yngste kanalløpene kan være synlig som forsenkninger på overflaten, og som kanalløp i snitt (Brattli, 2015; Reading, 1996). Grensen mellom deltaflate og sandur kan tolkes som marin grense lokalt. Figur 12 viser en illustrasjon av et delta bygget ut i stillestående vann, med skrå frontlag fra deltautbygging og horisontalt topplag dannet av sandurfalten.



Figur 12: Oppbygging av et typisk delta, med skrå frontlag av grus og sand overlappende med bunnlag av finere marine avsetninger, og horisontalt topplag av grovere materiale. Hentet fra (Jørgensen, Sørensen og Prestvik, 2013)

Breelvsavsetninger kan ha dødisgroper, også kalt grytehull (Brattli, 2015). Dette er runde forsenkninger, noen ganger med et lite tjern eller myrfyllt basseng. Disse dannes ved at store isblokker, som opprinnelig lå begravet i løsmassene senere har smeltet ut (Sigmond, Bryhni og Jorde, 2013).

Hvis isen er tilnærmet dynamisk død kan en komplisert morfologi oppstå, med uregelmessige rygger (korte eskere) og hauger (kames) bestående av breelvsediment (Benn og Evans, 2010). Esker er en ryggformet landform avsatt av smeltevann i kanaler i, på eller under en ismasse. Ryggen har en orientering i breens dreneringsretning, og består av breelvsavsetninger med uregelmessig lagdeling av kornstørrelse fra finsand til blokk som er avsatt av smeltevann i, under eller nært foran breisen. Enkeltlagene har en middels til dårlig sortering, og kornene er ofte meget godt rundet (Selmer-Olsen, 1977; Jørgensen, Sørensen og Prestvik, 2013; Brattli, 2015).

2.3.3 Elveavsetninger

Elveavsetninger er definert som løsmasser som er forflyttet, transportert og avsatt av en elv (Sigmond, Bryhni og Jorde, 2013). De skiller fra breelvsavsetninger ved at de er avsatt av et vassdrag uten direkte tilknytning til en isbre og inneholder ofte mindre finstoff. Elve- og fluviale deltaavsetninger er godt til meget godt sortert sand, grus eller blokk. Alle grovere fraksjoner har noe rundet til godt rundet materiale, avhengig av transportlengde (Reading, 1996; Nichols, 2009). Massene er alltid lagdelte, og kornstørrelse varierer med vannføringen (Brattli, 2015; Sigmond, Bryhni og Jorde, 2013). Finkornige lag inneholder ofte kryssjiktete strukturer, noe som er et tegn på at massene er avsatt i rolig og sakte strømmende vann (Reading, 1996). Over erosjonsbasis er de oftest diagonalsjiktet

med orienterte klaster i lagene. Dette kalles imbrikasjon. Imbrikasjon forekommer gjerne i sedimenter som er utsatt for vannstrøm. Diskformede korn vil foretrekke en fallrettning med lengste akse parallelt med strømretning, med fall oppstrøms. Dette fører til minst motstand for strømmen (Nichols, 2009, s. 9). Dette forekommer langs elvebredder, men kan også være synlig i tidligere kanalløp, kaldt paleokanaler, i breelvsavsetninger.

2.3.4 Marine avsetninger

Marine avsetninger er løsmasser som er avsatt i hav og fjord, under marine forhold. De forekommer kun under marin grense (Sigmond, Bryhni og Jorde, 2013). Dominerende kornstørrelse er silt til leire, som er middels sortert i enkellagene. Det kan også forekomme noe finsand. De er ofte å finne under breelvsavsetninger, slik det er vist i Figur 12 (Dagestad, Hansen og Braathen, 2003).

Glasimarine avsetninger er avsatt under siste istid foran brefronten. Disse er gjerne mer lagdelt enn postglasiale marine avsetninger fra etter istiden. De har i tillegg et høyere innhold av grovere fraksjoner. Dette er materiale avsatt fra smeltende isfjell, som droppstein. Postglasiale marine sedimenter domineres av samme kornfraksjoner, men har gjerne en del organisk materiale. Det kan også forekomme mer rene silt og sandavsetninger avhengig av strømforhold og tilførselsmuligheter (Benn og Evans, 2010; Jørgensen, Sørensen og Prestvik, 2013; Ramberg *et al.*, 2006).

2.4 3D-modellering av geologi

En geologisk 3D-modell representerer den romlige fordeling av løsmasser og berggrunn under jordoverflaten (Birch, 2018; Ojala *et al.*, 2021). I dag brukes 3D-modellering som et verktøy for å lage geometriske modeller og for å estimere volumer av kvalitative eller kvantitative egenskaper som er relevante for gjeldende prosjekt (D’Affonseca, Finkel og Cirpka, 2020). 3D-modelleringsverktøy gjør det mulig å samle data, kartlegge, beregne og visualisere sediment og berggrunn mot dybden. I tettbebygde strøk og byer er det ofte kamp om arealene, og vi utfordres i stadig større grad til å benytte oss av områder med vanskelige grunnforhold (Ojala *et al.*, 2021; Sandberg, 2016).

I flere prosjekter brukes geologiske 3D-modeller til forenkling av visualisering, tolkning og presentasjon av geologiske forekomster i områder der ingeniørgeologiske problemstillinger skal vurderes (Glynn *et al.*, 2011; Kahlström *et al.*, 2021; S. Åberg, A. Åberg og Korkka-Niemi, 2021). Geologiske forekomst er ofte komplekse, og brukervennlige modelleringsverktøy kan effektivisere bruk og formidling av geologiske modeller, og gjøre det mer tilgjengelig for allmennheten (Cowan *et al.*, 2002; Kahlström *et al.*, 2021; Ojala *et al.*, 2021; Zivec og Žibert, 2016).

Dette delkapittelet vil presentere forskjellen ved implisitt modellering og tradisjonell eksplisitt modellering, *Leapfrog GEO* som implisitt modelleringsprogram og fordeler og begrensninger som finnes i programmet. Samt en presentasjon av interpoleringsmetoden *FastRBF* som benyttes.

2.4.1 Implisitt og eksplisitt modellering av geologi

Eksplisitt modellering av geologi, baserer seg på subjektiv tolkning av geologien ved manuell digitalisering av todimensjonelle tegninger produsert av geologen (Giovacchini *et al.*, 2019). Tolkede profiler med ulik orientering knyttes sammen ved korrelering av grenser, til et tredimensjonalt nettverk som danner et ytre skall til de forekomstene som ønskes modellert. Flater dannes så til geometriske modeller mellom disse grensene (Vollgger, Cruden og Cowan, 2013; Cowan *et al.*, 2002).

I tillegg til å være tidkrevende, medfører dette en erfaringsbasert modellering som er vanskelig å reprodusere av andre, ettersom det i stor grad baserer seg på den enkelte geologens subjektive tolkning av observasjoner og data. Eksplisitt modellering egner seg derfor dårlig til modellering av store datasett eller kompleks geologi (Perrin *et al.*, 2005; Cowan *et al.*, 2002).

Implisitt modellering anses som en mer effektiv modelleringsmetode, ettersom det baserer seg på interpolering mellom datapunkter med kjente numeriske og ikke-numeriske attributt og egenskaper. Matematiske volumfunksjoner avledes fra stedfestede geologiske data og brukersatte parametere som er tilpasset den geologiske forståelsen av området som skal modelleres. Når volumfunksjonen er definert i tre dimensjoner kan isoflater dannes i punkter der funksjonen er lik en bestemt verdi (Cowan *et al.*, 2002; D’Affonseca, Finkel og Cirpka, 2020; Kenworthy, 2013). Dette gir rom for tolkning og testing av ulike hypo-

teser, ettersom modelleringsmetoden er relativt rask. Implisitt modellering er lettere å reproducere, ettersom individuell tolkning kombineres med matematiske funksjoner. Denne modelleringsmetoden medfører enklere inkludering av nye data, i tillegg er det mulig å teste ulike scenarier og teorier med samme datasett (Cowan *et al.*, 2002; Kenworthy, 2015).

2.4.2 *Leapfrog GEO* som modelleringsverktøy

I denne oppgaven er programvaren *Leapfrog Geo* (Seequent, 2022) benyttet til å produsere geologiske 3D-modeller av løsmassene på Bømoen. *Leapfrog GEO* som modelleringsverktøy er vanlig innenfor ressursgeologi for estimering av mineralforekomster (Deacon, 2017). Det har imidlertid i de senere årene også blitt tatt i bruk for ingeniørgeologiske formål. Det er blant annet benyttet for modellering av løsmasser og berggrunn i prosjekter der hydrologisk modellering skal gjennomføres, ettersom *Leapfrog GEO* har hydrogeologiske verktøy, som kan gjøre de geologiske modellene kompatible med MODFLOW (S. Åberg, A. Åberg og Korkka-Niemi, 2021). Seequent (2022) har i nyere tid lansert *Leapfrog Work* som er tilpasset ingeniørgeologiske problemstillinger og tilrettelegger for planlegging av infrastruktur i og på berggrunn og løsmasser. Blant annet ved å være kompatibelt med CAD konstruksjoner (Zivec og Žibert, 2016; Giovacchini *et al.*, 2019).

Modellering i programmet er raskt ved bruk av den globale interpoleringsmetoden *Fast-RBF* (Seequent, 2022). Flater og volum genereres semiautomatisk basert på matematiske funksjoner og brukerdefinerte interpoleringsparametere (D’Affonseca, Finkel og Cirpka, 2020). Den effektive modelleringen medfører enkel tilpassing av modellen etter revurdering. Dette kan gjøres ved å variere parametersetting, slik at ulike hypoteser kan testes og modellen kan tilpasses den geologiske forståelsen av området (Seequent, 2020). At modelleringsmetoden er global medfører en dynamisk modelleringsprosess, der man enkelt kan inkludere ny data fortløpende, slik at hele modellen oppdateres (Cowan *et al.*, 2002).

3D-modellering av geologi har tidligere tilnærmet vært forbeholdt ressursgeologi fordi det har dyrt og tidkrevende ved eksplisitte og tidlige versjoner av implisitte modelleringsmetoder. Rask og dynamisk modellering gjør verktøyet mer tilgjengelig for alle. At modellen kan oppdateres underveis i prosjekter er også viktig, ettersom innhenting av data ofte foregår over lenger tid under prosjektet. Det er mulig å begynne en modell tidlig i prosjektet og oppdatere med nye datapunkter underveis, istedenfor å vente til all data er tilgjengelig (Kahlström *et al.*, 2021).

Birch (2014) poengterer imidlertid viktigheten av å være bevisst på modellens styrker og svakheter, ettersom *Leapfrog GEO* enkelt lager modeller uten like store muligheter for manipulering av geometrien som ved eksplisitt modelleringsmetoder. Datatetthet og interpoleringsparametere er likevel avgjørende for nøyaktigheten til modellen (Deacon, 2017). *Leapfrog GEO* lager generelt glatte og pene overflater uavhengig av dette, og Taurisano (2022) foreslår derfor å revurdere modellen i flere omganger, ved å endre forskjellige parametere. Visualisering av usikkerhet og datatetthet er derfor viktig (Kahlström *et al.*, 2021), slik at man enkelt kan presentere hvilke deler av modellen som er basert på konkrete

observasjoner, og hvilke som er estimert ved interpolering.

Ved interpolering av overflater gjør *Leapfrog GEO* forenklinger ved utjevning. Cowan *et al.* (2002) beskriver dette som en styrke ved interpoleringen, ettersom de geologiske grensflatene kommer tydeligere frem. Deacon (2017) mener imidlertid at en slik utjevning kan underestimere volum ved modellering. Dette ble testet ved modellering av en kjent mineralforekomst i *Leapfrog GEO*, der forekomsten som ble undersøkt allerede var modellert eksplisitt og påvist ved utvinning.

En slik forenkling kan også være problematisk ved modellering av komplekse sedimentære strukturer, og beskrives av Erharter, Tschuchnigg og Poscher (2021) som en uhensiktsmessig grov forenkling av de faktiske forholdene. Som løsning på dette problemet foreslår de en diskre modellering av løsmassevolum som ikke slår sammen nærliggende eller overlappende enheter som tolkes som usammenhengende. Avsetninger som trekkes frem er elveavsetninger, alluviale vifter og breelvsavsetninger. Metoden gjelder ikke avsetninger med stor utstrekning av horisontale lag, som kan anses som sammenhengende volum. I flere andre publikasjoner der løsmasser er modellert som en del av ingeniørgeologiske prosjekter er metoden imidlertid ikke tatt i bruk (Giovacchini *et al.*, 2019; Kahlström *et al.*, 2021; Ojala *et al.*, 2021).

2.4.3 Interpoleringsmetoden *FastRBF*

Til å bygge dynamiske implisitte modeller baserer programvaren *Leapfrog GEO* seg på interpoleringsmetoden *FastRBF*. Fordeler ved bruk av *FastRBF* til 3D modellering av geologi, er at den raskt kan prosessere store mengder data. Dette gjør metoden dynamisk, slik at man enkelt kan inkludere nye data når det er tilgjengelig (Cowan *et al.*, 2002; Kahlström *et al.*, 2021).

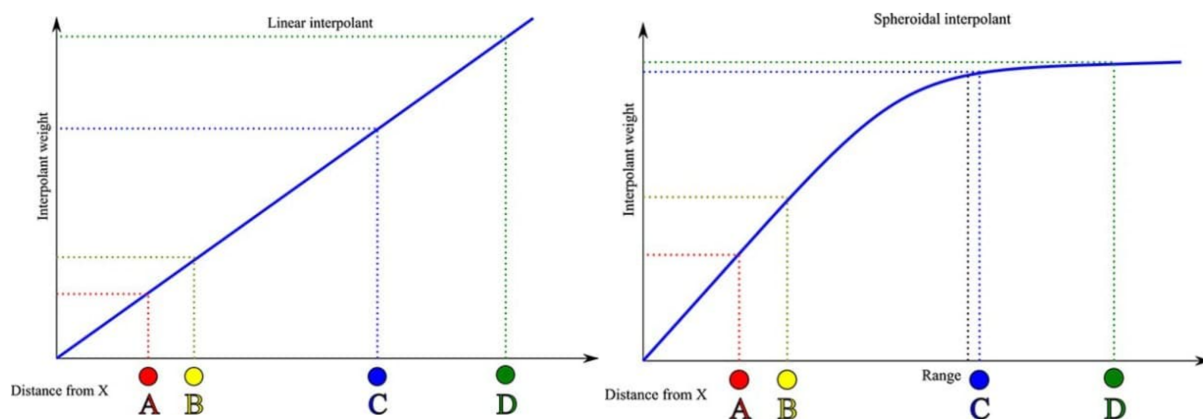
RBF er en interpoleringsmetode for å estimere verdier i flere dimensjoner ut ifra avstand og verdien til kjente datapunkt. RBF tar utgangspunkt i at nærliggende data har likere verdier enn data som ligger lengre unna. Dette kalles vekting, og betyr at den ukjente verdien er kraftigere påvirket av de verdiene som er i nærheten, enn de med større avstand (Kenworthy, 2013; Fazio og Roisenberg, 2013).

Det er en global interpoleringsmetode som tar utgangspunkt i alle datapunkter ved estimering av ukjente verdier (Giovacchini *et al.*, 2019). RBF er ulike typer nevrale nettverksmodeller, som består av aktiveringsfunksjon og avstanden mellom de ukjente punktene. Enkelte av disse funksjonene har i tillegg parametere som må settes av brukeren (Fazio og Roisenberg, 2013). I *Leapfrog Geo* kalles aktiveringsfunksjonene interpolant (Kenworthy, 2013),

FastRBF vil i *Leapfrog GEO* estimere mellom kjente verdier, ved hjelp av parametersetting og datapunkter introdusert av bruker. Slik lager *Leapfrog GEO* flater i de geologiske modellene, som for eksempel avsetninger, intrusjoner og erosjoner. Dette er grenseflater som baserer seg på kontaktpunkt mellom kvalitativ data. Betingelser for funksjonen settes, slik at grensen som krysser mellom punktene er der den interpolerte funksjonen er lik

null, og den positive siden representerer én kvalitativ egenskap, mens den negative siden er annen.

Ved numerisk modellering og estimering av overflater basert på for eksempel et høydenett, vil det i *Leapfrog GEO* være mulig for bruker å velge en funksjon kaldt interpolant. Denne definerer hvor stor vekt som skal tildeles hver kjent verdi avhengig av avstand fra det ukjente punktet, og en lav vektning vil ha en større effekt enn en høy vektning. *Leapfrog GEO* bruker to ulike interpolanter – Lineær og Sfærisk. Sammenhengen mellom interpolanten og avstand fra estimert punkt ved valg av lineær(A) og sfærisk(B) er illustrert i Figur 13.



Figur 13: Figurene viser vektning i forhold til avstand til kjentedatapunkter ved valg av lineær(Venstre) og sfærisk interpolant(Høye) (Kenworthy, 2013).

Den lineære interpolanten antar at data som er nær punktet som skal estimeres har en større sammenheng enn data som er lengre vekk. Denne vektningen er omvendt proporsjonal med avstanden fra punktet som skal estimeres. Det vil imidlertid alltid være en viss sammenheng mellom punktene ved valg av en lineær interpolant. “Total sill” og “Base range” er parametere som settes for å bestemme stigningstallet for interpolanten. “Base range” er avstanden når interpolanten er “Total sill”, ved en brukerdefinert verdi(Kenworthy, 2015).

Den sfæriske interpolanten tar utgangspunkt i at det er en endelig grense der vektningen fra et kjent datapunkt blir null, og påvirkningen fra punkter med større avstand blir lav og konstant. Vist i Figur 13 er vektningen av datapunkter frem til avbøyning lik den lineære interpolanten. Øvre grense av vektningen er brukerdefinert som “Total sill”. Etter dette vil all korrelasjon mellom punktene opphøre. En tommefingerregel er å sette “Total sill” lik variansen, definert som kvadratet av hver observasjons avstand fra gjennomsnittet dividert på det totale antall observasjoner. Avbøyningen starter ved “Base range”, som er en brukerdefinert avstand fra det estimerte punktet. Den starter ved 96% av “Total sill”, som vil si avstanden nesten all korrelasjon mellom punkter opphører. Denne avstanden burde være stor nok til å ta hensyn til sammenheng mellom nærliggende borehull, men lav nok til å minimere effekten av borehull som er langt vekk. En tommefingerregel er å sette “Base range” tilnærmet det dobbelte av gjennomsnittlig avstand mellom

borehull(Seequent, 2020).

Tradisjonelt er Kriging en av de mest brukte interpoleringsmetodene ved geologisk 3D-modellering innenfor blant annet gruveindustri. I likhet med RBF tar kriging utgangspunkt i at nærliggende data påvirker hverandre i større grad enn de som er lenger unna. En av de største forskjellene ligger i at kriging baserer seg på en lokal interpoleringsmetode, mens RBF baserer seg på en global interpoleringsmetode. Dette medfører at krigingmetoden er objektiv til datatetthet, ettersom den regner ut en ny varians ved hver lokasjon. Dette er imidlertid krevende i form av beregningskraft, og det er derfor uegnet for store datasett. RBF er en raskere interpoleringsmetode, men er til gjengjeld avhengig av spredte, og jevnt dekkende datapunkter ettersom den alltid tar hensyn til alle datapunktene (Fazio og Roisenberg, 2013).

3 Metode

3.1 Feltarbeid

Feltkartlegging ble gjennomført med formål å produsere et kvartærgeologisk 2D kart over området, i tillegg til å få en bedre forståelse av den romlige fordelingen i tre dimensjoner av løsmassene til hjelp ved modellering av løsmassemektigheten i 3D senere. Perioden i forkant av feltarbeidet ble brukt til forundersøkelser av området og planlegging. I felt ble programmene *Field Maps* og *ArcGIS pro* (Esri, 2022) tatt i bruk for å stedfeste observasjoner og målinger. Det ble gjennomført punktobservasjoner, vurdering av snitt og løsmasseblotninger, fabricanalyse for undersøkelse av klastenes imbrikasjon, målinger av fall og fallretning på strukturer, og orientering av skuringsstriper. 6 løsmasseprøver ble tatt ved utvalgte lokaliteter av interesse. Disse ble senere analysert ved kornfordelingsanalyse i laboratorium.

3.1.1 Forundersøkelser

Før feltarbeid ble det gjennomført forundersøkelser av området, i form av kartstudier, litteraturstudier og samtaler med representanter fra COWI AS som allerede hadde gjennomført feltarbeid i området, og hvor det var gjennomført boring og GPR-måling. Tabell 6 viser en oversikt over de ulike kartlagene som ble studert og brukt videre i kartlegging og modellering.

Tabell 6: Oversikt over kart og flyfoto som er benyttet i forundersøkelsene, og senere ved kartlegging og modellering.

Karttype	Kilde
Digital høydemodell fra LiDAR	høydedata.no(Kartverket, 2016)
Flyfoto	NorgeiBilder.no(Kartverket, 2020; Kartverket, 1938)
Berggrunnskart	NGU(NGU, 2023b)
Løsmassekart	NGU(NGU, 2023c)
Topografisk kart	Norgeskart.no(Kartverket, 2023)

3.1.2 Kartleggingsmetodikk

Kartlegging av Bømoen ble gjennomført i perioden 7. - 13. september 2022. Alle observasjoner som ble gjort er dokumentert med lokalitet i observasjonskart i Figur 62, Appendiks A. Det ble gjennomført kartlegging alle dagene, stort sett til fots, men også ved hjelp av bil for dekke større områder. En oversikt over området ble etablert den første dagen, før en mer detaljfokusert undersøkelse ble gjennomført i områder av interesse. Alle observasjonene og målinger ble stedfestet og dokumentert med koordinater og bilde i *Field Maps* sammen med en kort beskrivelse av observasjonen.

Overflatekartlegging ble gjennomført ned til 40 - 60 cm med stikkegang vist i Figur 14, og spade der det var ønskelig å undersøke dypere. Dette for å unngå påvirkning fra

overflateprosesser, og komme forbi torv og jordlag. På grunn av større steiner og blokker var det enkelte steder vanskelig å komme dypere enn 10 cm under overflaten. Der dette var tilfellet ble det registret stein og blokk basert på lyd og friksjon som opplevdes ved stikking. Observerte løsmasser ble beskrevet ved kornfraksjon, rundingsgrad og sortering. Disse observasjonene er presentert i avsnitt 5.1.



Figur 14: Bilde A viser stikkstang brukt til punktobservasjoner. Stangen på bilde er 1 m lang. Bilde B viser et eksempel på en stikkprøve tatt fra overflaten ned til 40-60 cm. Denne prøven er ikke hentet i Bømoen, og er kun brukt som eksempel fra et tidligere prosjekt

Området har et utpreget stinett, og større fraksjoner på stibunnen ble brukt til å skape et inntrykk av sammensetningen i jordarten, eksempel er vist i Figur 15 A. Snitt i løsmasser ved massetak, elvededskjæringer og grøfter ga et godt utgangspunkt for å observere løsmassene under overflaten, eksempel er vist i Figur 15B. Enkelte steder var det også mulig å kartlegge horisonter og strukturer av interesse. Flere av skråningene bestod i stor grad av friksjonjordarter, og snitt i løsmassene var ofte delvis overdekket av masser som hadde rast ut.



Figur 15: Bilde A viser eksempel på observasjoner i sti, der kornform og bergart ved større fraksjoner er brukt til å tolke løsmasser under. Bilde B viser et massetak med utrast materiale tolket som breelvsavsetninger.

3.1.3 Prøvetaking

Det ble gjennomført 6 prøvetakinger i ulike deler av området. Løsmassekartet i Figur 35 viser, med nummerreferanse, hvor prøvene ble hentet ut. Det øverste laget av løsmassen ble fjernet, for å unngå deler som var utsatt for overflateprosesser. Samtlige prøver var på ca 2–3 kg. Prøveposene ble markert med nummer, prøvested, dato og navn på prøvetaker. Bilde ble tatt av prøvepose med prøvemateriale ved prøvelokalitet for dokumentasjon. Som eksempel viser Figur 16 prøve nr. 2 ved prøvelokalitet.



Figur 16: Uttak av løsmasseprøve nummer 2 ved Ringshaugen.

Prøvene ble videre undersøkt i laboratorium ved kornfordelingsanalyse for å klassifisere løsmassens kornfordeling og sorteringsgrad. Kornfordelingsanalyse er viktig fordi den gir nyttig informasjon om løsmassens dannelsesprosess og egenskaper, og gir et godt grunnlag for riktig kartlegging av løsmassene. Metode for gjennomførelse av kornfordelingsanalysen er beskrevet i avsnitt 3.3, og resultatene er presentert i avsnitt 5.2. Prøvene ble klassifisert etter metode fra Selmer-Olsen (Selmer-Olsen, 1977), beskrevet i avsnitt 2.2.1.

3.1.4 Fabricanalyse og bergartstelling

Fabrikanalyse ble gjennomført for å undersøke orientering av klastene i en avsetning, og hvorvidt det forekommer imbrikasjon. Målingene ble gjennomført på steinfraksjon i øvre del av 3 ulike tversnitt i NOBI-Massetak, ved punkt 6, 7 og 20 i observasjonskart. Ved hver lokalitetene ble det gjennomført 20-25 målinger. Resultater fra målingene er presentert i avsnitt 5.1.1.

Tilfeldige steiner ble valgt ut av tversnitt. Lengste akse ble identifisert ved at klaster ble plukket forsiktig ut av snittet, og undersøkt. Klasten ble så satt tilbake på samme plass, med samme orientering, i den grad det er mulig. Fallretning ble målt langs lengste akse med kompass, og fall ble målt langs samme akse med klinometer (Reading, 1996).

For hvert måleobjekt ble det i tillegg notert ned klastens petrografiske sammensetning. Den petrografiske vurderingen er grov og basert på forundersøkelser, og hvilke bergarter som er forventet å finne i området, basert på lokale bergrunnskart. Det er ikke gjennomført noen videre petrografisk analyse av klastene på lab. Resultatene fra bergartstillingen er presentert i Tabell 12, avsnitt 5.1.1.

3.1.5 GPS-målinger

Dag 4 og 5 ble det gjennomført GPS-målinger. GPS ble lånt av COWI AS, og er en håndholdt statisk dGPS. Den ble brukt til å registrere X, Y, Z koordinater til fjellblottninger og interessante horisonter i tversnitt. Deriblant kildeutspring mellom silt- og gruslag, og høyde til ulike siltlag, for å undersøke en mulig korrelasjon.

Antennens endespiss ble plassert på overflate som skulle måles, og punkt ble registrert etter noe ventetid, mellom 1-2 min, for å minimere feilkilder ved en håndholdt antenne (Christian Rekve Bryn muntlig komm. 10.09.2022).

3.1.6 Orientering skuringsstriper

Orientering av skuringsstriper ble observert ved lokalitet 42 og 43, og det ble gjennomført to målinger av skuringsstriper under feltarbeidet på Bømoen. Målinger av skuringsstriper kan brukes til å rekonstruere breutbredelse og isbevegelsesretning. Bevegelsen har retning normalt på kotene på breoverflaten (Ramberg *et al.*, 2006).

Orientering ble registret i *FieldMaps*, og implementert som punktsymbol med riktig orientering på det kvartærgeologiske kartet vist i Figur 35. Måling av orientering ble gjort med kompass på observerte skuringsstriper i kvartsårer (Figur 17 A), i tillegg til bergrunns-overflater som har vært lite eksponert for forvitring og som viser tydelige skuringsstriper (Figur 17 B).



Figur 17: Bilde A viser måling av skuringsstriper ved lokalitet 43, og er gjennomført på kvartsårer på svaberg. Bilde B viser måling av skuringsstriper ved lokalitet 42, og er gjennomført på svaberg. Rød pil går parallelt med skuringsstriper, og viser orientering av målingene.

3.1.7 Strøk og fall av sedimentære strukturer

I flere snitt ble det observert skrålag under grovere lag med kanalløp. Identifiserte skrålag ble kartlagt med målinger av fall og fallretning. Fallretning ble senere omgjort til strøk, etter høyrehåndsregel. En kvadratisk boks ble gravd ut i massene med tre referansevegger, som vist i Figur 18A. En hard notatplate ble brukt som representasjon av plan som skulle måles, og strøk ble målt med kompass, fall ble målt med klinometer. Ved høye bratte skråninger med fare for utrasning ble det, av hensyn til sikkerhet, kun notert ned en estimert retning på lagene fra avstand. Der lagene var hardt konsolidert var det mulig å måle strøk og fall direkte på skrålagene, vist til høyre i Figur 18B.



Figur 18: Bilder viser deltaskrålag, der det ble tatt strøk og fall målinger. Rød skrek viser lag orientering.

3.2 Kvartærgeologisk kart

Kvartærgeologisk kart ble produsert i programvaren *ArcGIS Pro*, med utgangspunkt i observasjonspunktene fra felt registret med *FieldMaps*, og den digitale høydemodellen produsert under forundersøkelsene. Hovedveinett, inkludert fylkesvei og kommunal vei, vannkanter og -flater, samt bekker ble hentet inn fra WMS-server med Topografisk norgeskart (Kartverket, 2023). Kartleggingen er gjort i målestokk 1:15 000, og symbolisering av kartet er basert på SOSI-standard fra NGU. SOSI-standard og kartleggingsmetodikk er hentet fra Fredin *et al.* (2014).

Løsmassegrenser ble tegnet opp basert på de observasjonene som ble gjort og den geologiske forståelsen av den romlige fordelingen av løsmasser som var opparbeidet under feltarbeidet. I tillegg ble landformer og knekkpunkter i terrenget synlig på den digitale høydemodellen brukt som en indikator på grenser og landformer symbolisert med linjesymboler. Bruk av LiDAR data ved kartlegging av geomorfologi er beskrevet av Johnson *et al.* (2015).

Ulike løsmassepunkt ble definert etter observasjoner med koordinater fra *FieldMaps*. Der to punkter overlapper, er det tatt kartografiske valg (generalisering) om å flytte punktene lenger fra hverandre. Punktobservasjoner ble gjennomført med fokus på kornfraksjon. Ved observasjoner med blanding av flere enn to kornfraksjoner, er symbolet basert på de to dominerende fraksjonene, ettersom NGU standard ikke har symboler for observasjoner med blanding av flere enn to fraksjoner.

3.3 Laboratoriearbeid

Kornfordelingsanalyse ble gjennomført på de 6 masseprøvene hentet ut under feltarbeidet på Bømoen, beskrevet i avsnitt 3.1.3, for å kunne si noe om dannelsen og egenskapene til løsmassene. Resultatene ble tatt med i vurderingen av det kvartærgeologiske kartet (Figur 35) og den romlige fordelingen av løsmasser. Kornfordelingsanalysen er gjennomført ved Berglaboratorie ved NTNU, og er utført etter fremgangsmetode presentert i håndbok R210 “Laboratorieundersøkelser” (StatensVegvesen, 2016). Sikteanalyse ble gjennomført på fraksjoner ned til ($> 63\mu m$), og laserdiffraksjon ble gjennomført på fraksjoner ($< 63\mu m$). Prøveresultatene er presentert som kornfordelingskurver, med kumulativ vektprosent som funksjon av kornstørrelse i logaritmisk skala. Resultatene fra kornfordelingsanalysen er presentert i avsnitt 5.2.

3.3.1 Sikteanalyse

Sikteanalysen ble gjennomført på fraksjoner større enn ($< 63\mu m$). Tabell 7 viser en oversikt over prøvene, med øvre kornfraksjon og total vekt av undersøkt prøvemateriale. Størrelsen av prøven er avhengig av øvre kornfraksjon. Dette for å få en representativ kornfordeling av de ulike fraksjonene, ettersom de større klastene veier betydelig mer enn de mindre. Det tas sikte på at ved øvre fraksjon på $4mm$ skal prøven veie $0,2kg$, ved øvre

fraksjon på 8mm skal prøven veie 0,6kg, og ved øvre fraksjon på 32mm skal prøven veie 10kg (StatensVegvesen, 2016).

Tabell 7: Oversikt over prøvene hentet ut under feltarbeid på Bømoen, med øvre kornfraksjon under sikting og total vekt av prøve.

Lokalitet	Prøve nr.	Øvre kornfraksjon (mm)	Prøvevekt (g)
NOBI massetak, Bjørke	1	31,5	4761,2
Kinne gård	2	8	289
Skutlesvegen	3	31,5	3130,4
Mønsberget	4	31,5	3503,3
Ringshaugen	5	31,5	3730,2
Flystripe, vestende	6	4	294,3

Prøve 2 og 6 har største fraksjon 4mm. Prøvemateriale ble splittet til prøvestørrelse > 0,2kg, og siktet. I prøve 1, 3, 4 og 5 er største fraksjon 31,5mm. For å spare tid og begrense slitasje på utstyr ble det derfor valgt å splitte fraksjoner av prøven < 8mm. Prøvenes totale vekt ble først notert. Deretter ble prøve 1 og 4 våtsiktet til > 8mm og < 8mm, tørket og veid. Fraksjonene < 8mm ble så splittet til en mindre prøve, og veid på ny. Fraksjoner < 8mm ble våtsiktet for å sikre at så mye finstoff som mulig ble vasket vekk fra de større kornene. Finstoff og fraksjoner < 8mm ble tørket og veid på nytt hver for seg. Prøve 3 og 5 ble ikke våtsiktet grunnet større sementerte aggregater, som ble oppløst ved tilførsel av vann. Tørresikting er akseptabelt dersom det er fare for at vann kan endre sammensetningen i prøven (StatensVegvesen, 2016).

Tabell 8 viser en oversikt over ny vekt av splittet prøvemateriale, og hvor stor prosent dette utgjør av den totale vekten av prøvemateriale < 8mm. For å få riktig forhold mellom fraksjonene > 8mm og < 8mm, ble den totale vekten av de ulike fraksjonene < 8mm multiplisert med forholdstallet mellom den totale vekten av fraksjoener < 8mm og den nye vekten etter splitting. Det er disse verdiene som er brukt til å fremstille kornfordelingskurvene for gitte prøver.

Tabell 8: Viser total vekt av prøvene som ble splittet i fraksjoner < 8mm, og hvor stor prosent det var av total prøvevekt < 8mm.

Prøve nr.	Vekt etter splitting (g)	Prosent av hel prøve < 8mm
1	626,3	16,0
3	745,7	29,6
4	657,6	22,1
5	736,4	27,8

3.3.2 Laserdiffraksjon

Finstoffet ($< 63\mu\text{m}$) fra samtlige prøver ble analysert ved laserdiffraksjon i partikkelanalytator av Typen Mastersizer 3000. Analysene ble gjennomført av overingeniør Jon Runar Drotningshaug ved Berglaboratorie ved NTNU. Resultatet fra laserdiffraksjon er kumulativ volumprosent av de ulike fraksjonene gitt i μm , og ble derfor omgjort til mm i excel, slik at kornfordelingskurven kan presenteres i samme diagram som $> 63\mu\text{m}$. Kornfordelingskurven er presentert i avsnitt 5.2.

Laserdiffraksjon baserer seg på å beregne størrelsen på sfæriske partikler utifra evnen partikler i suspensjon har til å avvøye korte elektromagnetiske stråler (Brendryen og Rise, 2013). Endring i brytningsvinkelen vil registrers, og brukes til å måle størrelsen til partiklene som er i suspensjon.

Laserdiffraksjonen måler innhold av silt og leire, og grensen mellom fraksjonene går ved $2\mu\text{m}$, beskrevet i avsnitt 2.2.1. Ettersom leirpartikler kan betegnes som avlange flak vil mengden leire i det testede materiale ofte underestimeres i forhold til andre sikrere målemetoder basert på sedimentasjonsprinsippet Stokes lov. Dette er fordi metoden er basert på måling av sfæriske partikler, og måling av leirepartiklers lengste akse kan være større enn $2\mu\text{m}$. Som en løsning på dette har NGU utarbeidet en empirisk korrigeringsformel for leireinnholdet, gitt ved Ligning 3 (Brendryen og Rise, 2013).

$$\text{Leireinnhold} \sim \frac{\% < 2\mu\text{m} + \% < 7,4\mu\text{m}}{2} \quad (3)$$

Denne korrigeringen er imidlertid tilpasset bruk av partikkelanalytator av typen Coulter LS200, og ikke Mastersize 3000 (Jon Runar Drotningshaug, muntlig komm. 20.03.2023). Korrigerer er likevel gjennomført og presentert i avsnitt 5.2.

3.3.3 Klassifisering basert på kornfordelingsanalysene

For å kunne klassifisere løsmasseprøvene etter Selmer Olsen, beskrevet i avsnitt 2.2.1, ble sorteringstall (Ligning 2) regnet ut for hver prøve. For å kunne sammenligne disse med løsmasseprøvene fra borehull levert av COWI AS, ble også graderingstall (Ligning 1) regnet ut. Masseprøvene fra borehull gjennomført av COWI AS er beskrevet senere i avsnitt 3.4.1. For nøyaktig uthenting av diameter ved 10, 25, 50, 60 og 75% gjennomgått materiale, ble det brukt linjær splineinterpolasjon i *Python*. Dette resulterte i en CSV-fil med de interpolerte verdiene for prosent gjennomgått materiale, samt utregnet graderingstall og sorteringstall for hver løsmasseprøve. Samme metode ble brukt til å hente ut tilsvarende verdier fra kornfordelingsanalyse gjennomført av Naturbasert AS og NOBI Voss AS.

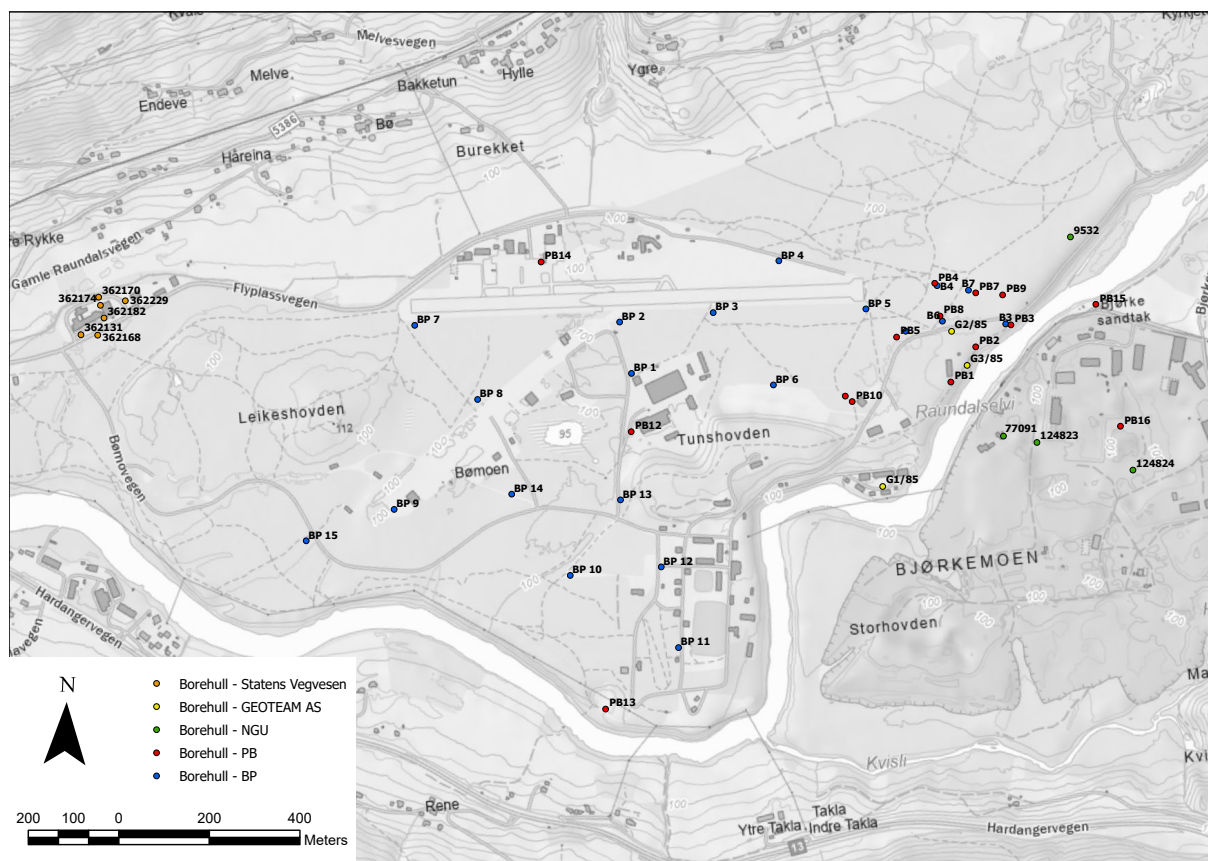
3.4 Databehandling

Ved modellering i *Leapfrog Geo* må alle data som går inn i programvaren og modellen ha et bestemt format. Dette delkapitlet skal presentere de ulike datatypene som er tatt i bruk, og hvordan disse er bearbeidet før de er importert i programmet. All data er hentet i eller konvertert til ETRS89/UTM32, og inkluderer høydedata fra LiDAR målinger, borehullsdata fra GRANADA (NGU, 2023a) og COWI, GPS-målinger, georadarprofiler, resistivitetsmålinger fra COWI AS og forsvaret, i tillegg til kvartærgeologisk kart produsert etter feltarbeid i området.

3.4.1 Borehull

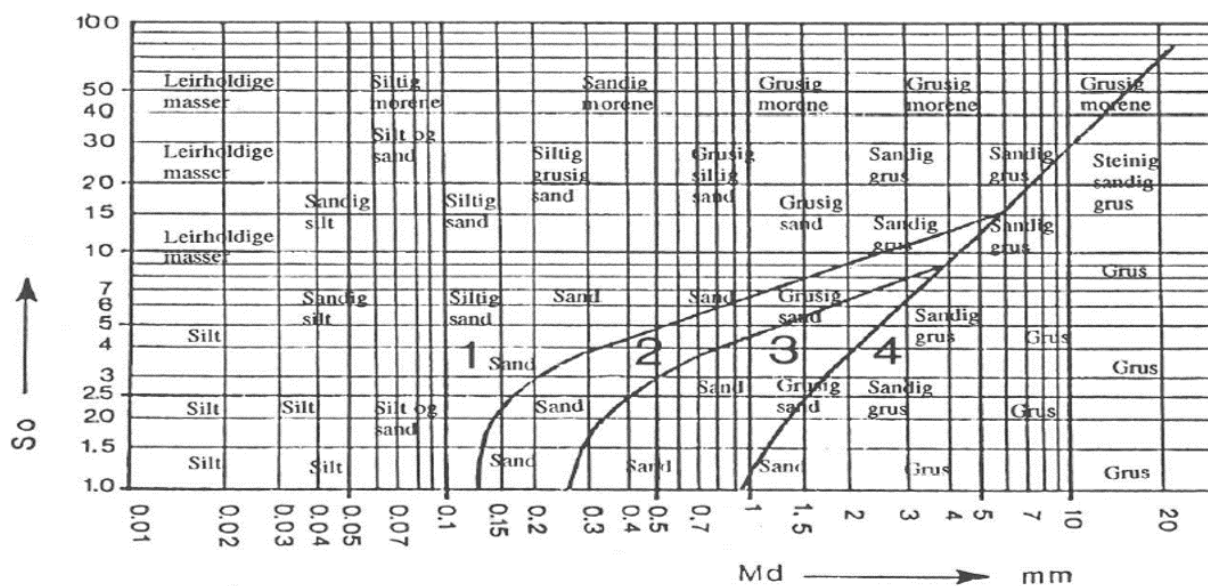
Borehullsdata er en av de sikreste datapunktene som beskriver stratigrafi i løsmasser som kan importeres i *Leapfrog Geo* (Kenworthy, 2015), og de fleste overflater i den geologiske modellen tar utgangspunkt i kontaktpunkter hentet ut fra borehullene. Ved import av borehullsdata i *Leapfrog Geo* krever programmet et spesifikt oppsett av csv-filer. Dette inkluderer en "Collar", en "Survey" og minimum en "Lithology" fil. "Collar" representerer startpunktet for borehullet på terrengoverflaten, og må inneholde identifikasjonsnummer, X,Y,Z-koordinater og total dybde. "Survey" representerer orientering av borehullet, og inneholder fall, fallretning, og ved hvilken dybde dette forekommer. Slik kan knekkpunkter og retningsendring nedover i borehullet inkluderes i modellen. "Lithology" deler borehullet inn i intervaller av ulike kategorier mot dybden, avhengig av formål med modellen (Seequent, 2020). I dette tilfellet skal variasjoner i kornstørrelse modelleres. Data fra CSV-filer er presentert i Appendiks A ved Tabell 32-34.

I forbindelse med prosjektet er det gjennomført 23 boringer på Bømoen i regi av COWI AS som er benyttet i denne oppgaven. Det er gjennomført 6 boringer i forbindelse med Statens Vegvesen sine kontorer nordvest i området. I tillegg ble 3 borehull med 1D resistivitetsmålinger gjennomført av GEOTEAM, på oppdrag fra Forsvaret i 1985 (GEOTEAM, 1985). Dette var i forbindelse med etablering av lokal vannforsyningskilde til militærleiren. Plassering av disse borehullene er vist Figur 19.



Figur 19: Oversikt over borehull benyttet i modelleringen av løsmassefordelingen på Bømoen.

Christian Rekve Bryne ved COWI AS hentet ut løsmasseprøver under boring av borehull BP1-15 og P7-9, vist i Figur 19. Løsmasseprøvene er tatt ved dybder der det er observert betydelig endring i massens karakter. Ved bearbeiding av data er det antatt at prøvene er representative for underliggende masser ned til neste prøve. Løsmasseprøve fra BP1-15 ble sendt videre til Naturbasert AS, som gjennomførte kornfordelingsanalyse. Resultatene ble levert som kornfordelingskurver. Graderingstall og midlerer kornfraksjon var oppgitt, og brukt til å klassifisere massene etter modifisert diagram for prosjektering av infiltrasjonsfilter presentert i Rapport 178/2010 fra Norsk vann (Mæhlum *et al.*, 2010). Dette diagrammet er i utgangspunktet utarbeidet for dimensjonering av infiltrasjonsfilter, men den modifiserte utgaven, vist i Figur 20, gjør det også mulig å klassifisere løsmassene i forhold til kornstørrelse. Løsmasseprøver fra PB7-9 ble sendt til NOBI Voss AS. Kornfordelingsanalyse ble gjennomført, og resultatene er levert som kornfordelingskurver. Det var imidlertid ikke foretatt noen klassifisering av massene.



Figur 20: Modifisert diagram for prosjektering av innfiltrasjons filter fra Norsk Vann Rapport 178/2010(Mæhlum *et al.*, 2010).

Borehullene levert av COWI AS ble organisert i oppsett beskrevet over, før det ble importert i *Leapfrog Geo* som borehull. Fordeling av ulike kornstørrelser mot dybden i borehullene er basert på beskrivelse av brønnbore og notater delt av Christian Rekve Bryn ved COWI, samt bilder og klassifisering av kornfordelingskurver fra masseprøver.

I 1996 ble det lovpålagt av norske myndigheter å rapportere alle boringer relatert til grunnvann i fastlandsnorge (Kitterød, 2017). NGU har databaser med offentlig tilgjengelig data fra slike boringer over hele landet, og i den nasjonale grunnvannsdatabasen (GRANADA) finner man informasjon om borede energi- og grunnvannsbrønner i Norge (Kitterød, 2017). Databasen inneholder brønner med informasjon om dybde til fjell, samt grunnvann og løsmassefordeling mot dypet. Boringer meldes inn av brønnbore eller oppdragsgiver, og databasen vokser for hver dag som går (NGU, 2018). For studieområdet ble det bestilt borehullsdata fra GRANADA. Informasjonen ble reorganisert i CSV-filer, slik det er beskrevet over, og importert som brønner i *Leapfrog Geo*.

3.4.2 GPS-målinger

GPS-målinger av fjellblottninger delt av COWI AS ble importert som punkter, sammen med fjellblottninger registrert i felt, i *Leapfrog Geo*. Hvert punkt ble importert uten z-verdi, og ble satt til å samsvare med den topografiske modellen i *Leapfrog Geo* etter importering. Punktene ble klassifisert som fjell, og brukt som datapunkt på overflaten ved modellering av dybde til fjell, beskrevet senere i avsnitt 3.5.2.

3.4.3 Georadar

Innhenting og tolkning av georadarprofil ble gjennomført av Christian Rekke Bryn ved COWI AS og NTNU. Det er brukt 50, 80 og 100 Mhz antennefrekvens. Georadarprofilene er brukt til å tolke bergoverflate, og grense til finstoff i avsetningene på Bømoen.

Georadar er en ikke destruktiv målemetode, for undersøkelser av strukturer og lagdeling av ulike medier under overflaten. Metoden baserer seg på å måle refleksjon av elektromagnetiske bølger, som sendes ned i bakken av en antenne. Deler av bølgeenergien reflekteres ved horisonter mellom medier med ulike dielektriske egenskaper, og reflektert bølgeenergi registreres i en kontrollenhet. Tiden det tar fra signalet sendes fra antennen til det registreres i kontrollenheten, måles som toveis gangtid (Ulvik og Wolden, 2006).

Dybderekkevidden til målingene er avhengig av den elektriske ledningsevnen i grunnen. Økende ledningsevne vil dempe bølgeenergien, som vil føre til at mindre av bølgeenergien reflekteres. Marin leire og silt har god ledningsevne, og det er vanlig at signaler raskt dør ut i overgangen til avsetninger med en betydelig mengde finstoff (Ulvik og Wolden, 2006).

Georadarprofilene fra Bømoen er tolket i programmet *Malå Vision* (GuidelineGeo, 2021). Synlige horisonter tolket som fjelloverflate, og grense til finstoff er markert i utvalgte profiler. Grensen til finstoff er tolket til dybden signalene dør ut. Punktene langs de tolkede horisontene er eksportert som punktdata i CSV-filer, med dybde fra overflaten basert på tolkede hastigheter i de ulike lagene nedover i profilet.

Z-koordinat ble terrengkorrigert ved å bruk av den digitale høydemdellen med oppløsning 0,5 i *ArcGIS Pro*. Her trekkes dybde til hvert punkt fra høyden i den digitale høydemodellen. CSV-fil med terrengkorrigert dybde ble importert som punkter i *Leapfrog Geo*.

3.4.4 Behandling av kvartærgeologisk kart

Polygonene som representerte løsmassefordelingen på Bømoen ble hentet fra det kvartærgeologiske kartet, og importert i *Leapfrog Geo* som vektordata. Polygonene ble drapert over den topografiske modellen, og enkelte av grensene mellom de ulike avsetninger ble brukt som overflategrenser i modelleringen.

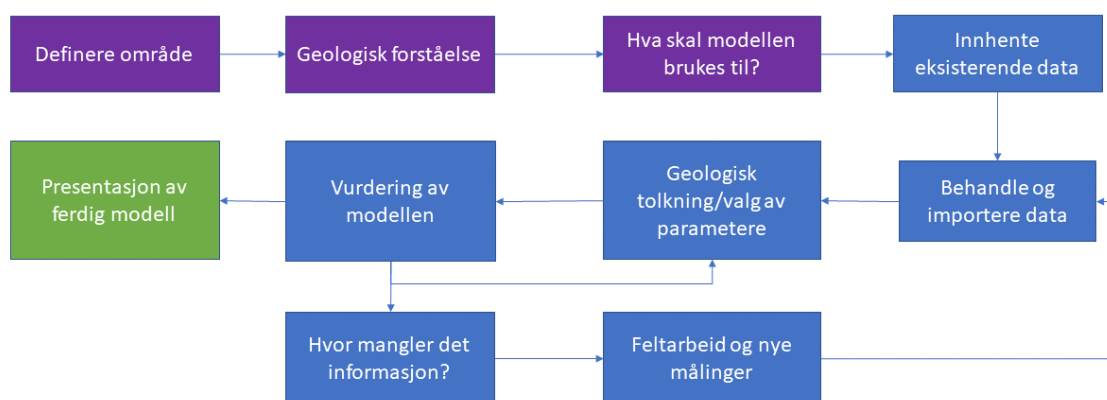
Grensen mellom breelvsavsetningene og morenematerialet i dalsidene ble brukt som en ytre grense for løsmassemektigheten på Bømoen flaten, som er fokusområdet i modellen. Områdene utenfor Bømoen karakteriseres stort sett av bart fjell eller tynt morenedekke og er ikke av interesse for 3D-modellen over løsmassemektigheten på Bømoen. Grensen ble tegnet som en polylinje som fulgte overflaten, og er brukt som lateral utstrekning i den geologiske modellen. Punkter langs samme grense ble brukt som dybde til fjell langs grensen av modellen, ettersom det som nevnt er kartlagt kun et tynt dekke med løsmasser i dalsidene.

I områdene kartlagt som bart fjell og tynt humusdekke i kartleggingsområde, ble det generert tilfeldige punkter, som ble høydesatt etter terrengmodellen i *Leapfrog Geo* etter importering. Disse ble inkludert som kontaktpunkter til fjell, ettersom det var kartlagt

et tynt dekke med løsmasser her. Til dette ble geoprosesseringverktøyet “Create Random point” i *ArcGIS Pro* benyttet innenfor valgte polygoner av bart fjell og tynt humusdekke. Denne funksjonene genererte 500 punkter tilfeldig innenfor områder kartlagt som bart fjell og humusdekke.

3.5 Modellering i *Leapfrog Geo*

Det ble etablert en geologisk modell i *Leapfrog Geo*, med terrenngmodellen som øvre vertikale avgrensning. Den geologiske modellen ble brukt til å modellere grensen mellom løsmasser og fjell, og indeling av ulike løsmasser klassifisert ved kornstørrelse. Borehullsdata, GPS-målinger av fjellblottninger og tolkede grenser i georadarprofil ble brukt som primære data for interpolering av grenseflatene. I tillegg er tolkninger som overflategrenser fra kvartærgeologisk 2D-kart, strukturell trend i dalsiden og områder med mistenkt tynt løsmassedekke inkludert som datapunkter i interpoleringen. Resistivitetsmålinger er også importert, men er ikke benyttet som datapunkt ved modelleringen. Figur 21, viser en forenklet oversikt over arbeidsflyten ved implisitt modellering i *Leapfrog Geo*.



Figur 21: Arbeidsprosess ved implisitt 3D-modellering av geologi i *Leapfrog Geo*.

3.5.1 Terrenngmodell

En digital høydemodell av LiDAR data ble lastet ned fra Kartverket (2016), og videre importert som topografi i *Leapfrog Geo*. Dette er samme digitale høydemodell som er brukt til å lage skyggerelief over område i *ArcGIS pro*.

LiDAR står for “Lighth Detection and Ranging”, og er en målemetode basert på avstandsmåling ved hjelp av refleksjon av utsendte laserstråler. ALS, som er luftbåren lasermåling, kan i dag generere terrenngmodeller med høy oppløsning over store områder (Gallay, 2013). I Norge er landsdekkende LiDAR målinger tilgjengelig med oppløsning som i beste fall er 0,25 m ved kartverkets nettside, www.hoydedata.no (Kartverket, 2016).

Det ble lastet opp to ulike topografiske modeller, med oppløsning på 0,5 m og 5 m. Terrengmodellen med høyest oppløsning ble brukt til å høydekorrigere borehull, GPS-målinger og punktdata fra horisonter i tolkede georadarprofiler, for å øke z-koordinatenes nøyaktighet. Terrengmodellen med 5 m oppløsning ble brukt som vertikal avgrensning i de geologiske modellene, og til å ekstrahere hjørnepunkter fra den triangulerte overflaten i dalsidene til bruk som datapunkter ved interpolering av fjelloverflaten. Dette er gjort for å minimere prosesseringstid, ettersom en høyere oppløsning ville økt mengden datapunkt å ta hensyn til.

3.5.2 Modellering av berggrunnsflate og sedimenttykkelse

For å lage en nedre vertikal begrensning ved modellering av løsmasseforkomstene på Bømoen ble det forsøkt å modellere en fjelloverflate basert på tilgjengelige datapunkter. Ved modellering av fjelloverflate i dalbunnen ble borehullsdata fra COWI AS, GRANADA og Statens Vegvesen, vist i Figur 19, gruppert i fjell og løsmasser, utifra dokumenterte observasjoner i borehullene. Der det ikke er boret til fjell ble det lagt til en dybde på 0,5 m, klassifisert som ukjent. Dette ble gjort for å kunne bruke disse kontaktpunktene som minste dybde til fjell, uten at det var påvist. Disse kontaktpunktene ble ignorert senere ved modelleringen, ettersom de førte til interpolering av en fjelloverflate som lå høyere enn data som senere ble tilgjengelig. Tolkede kontaktpunkter fra borehull med 1D-resistivitetsmålinger, gjennomført av GEOTEAM AS for forsvaret i 1986, ble også inkludert i kontaktflaten.

Grenseflaten mellom løsmasser og fjell ble modellert som en erosjonsflate med borehullsdata som utgangspunkt. En erosjonsflate konstrueres fra kontaktpunkter mellom den primære litologien, og valgte sekundære litologier. Denne flaten vil kutte ned i andre kontaktflater på den eldre siden, i motsetning til avsetning som vil drapere over eldre kontaktflater (Seequent, 2019). Denne typen kontaktflate er brukt ved modellering av bergoverflaten i lignenede prosjekter beskrevet i A. K. Åberg *et al.* (2017), der sedimenttykkelse skal modelleres for bruk til videre hydrologisk modellering basert på borehull og georadarprofiler. Erosjonsflate gir ikke muligheter for valg av interpolant og det gir derfor mindre muligheter for å justere inerpoleringsparametere (Seequent, 2020). I første omgang ble løsmasser valgt som primær litologi, og underliggende kontaktpunkter til kategoriene Fjell og Ukjent ble definert som grensepunkter. Ved valg av løsmasser som primær litologi forsøker fjell å omslutte løsmassekroppen.

Fjelloverflaten i dalen, som overdekkes av sedimentene på Bømoen, ble vurdert til å følge den generelle trenden i dalsidene. I likhet med fremgangsmåten beskrevet i Kitterød (2017), ble områder på overflaten definert som bart fjell, tynt morenedekke og tynt humusdekk i det kvartærgeologiske kartet definert som fjell ved modellering. For å inkludere trenden til dalsiden i modellen, ble punkter ekstrahert fra hjørnepunkter i den topografiske høydemodellen. For å ekskludere den horisontale avsetningen på Bømoenflaten, og kun ta hensyn til dalsidene og bergknausene vest på flaten, ble den Topografiske høydemodellen klippet med vertikal mesh generert fra polylinjen som representerte grensen

mellom breelvsavsetningene i dalbunnen, og morenen/humusdekke i dalsiden. Denne grensen ble trukket på bakgrunn av det kvartærgeologiske kartet, presentert i Figur 35. De ekstraherte punktene ble deretter lagt til kontaktflaten mellom fjell og løsmasser, slik at hjørnepunktene ble inkludert som datapunkt i modellen.

Ettersom det kun er mektigheten i dalbunnen som er av interesse for modellen, ble det også forsøkt lagt til en lateral avgrensning ved den samme grensene, mellom breelvsavsetningene og dalsidene. Grensen ble tegnet som en polylinje på terrengoverflaten, og definert som lateral utstrekning for interpoleringen. En polylinje er en polarisert linje, som kan tegnes direkte i programmet (Seequent, 2020). Polylinjer er brukt for å endre modelleringen eksplisitt, ved at de legges til som datapunkt i flatene som interpoleres. Ettersom det er tynt løsmassedekke i dalsiden, var det ønskelig med en tynning av løsmassene mot denne grensen. Derfor ble polylinjen konvertert til punkter med z-verdi fra terrengoverflaten. Disse punktene ble definert som fjell, og inkludert som datapunkt i kontaktflaten mellom fjell og løsmasser. Slik ble sedimentvolumet begrenset til mektigheten i dalbunnen.

Den strukturelle trenden langs polylinjen ble forsøkt satt til 15 grader langs hele linjen, tilpasset topografien i dalsidene. Denne ble senere forsøkt økt til 25 grader, for å tilpasse borehullsdata uten påtruffet berg, og tolket dybde til finstoff i fra georadarprofiler. Dette resulterte i to ulike bergoverflater V1 og V2, som begge ble brukt videre i de raffinerte modellene av løsmassemektheten, beskrevet i avsnitt 3.5.3.

Datapunktene har ulik sikkerhet knyttet til seg. Det er ønskelig å skille mellom sikre datapunkter som er importert, og tolkninger som er gjort i programmet. Det er derfor valgt å danne et hierarki av datapunkter, ved bruk av “snap to”-funksjonen i *Leapfrog Geo*. Ved bruk av denne funksjonen blir utvalgte datapunkter vektlagt tyngre enn de som ikke er valgt (Seequent, 2020). Ved generering av fjelloverflaten ble borehullsdata og GPS-målinger av fjellblottninger og georadarprofil definert som sikre data, og vektlegges tyngre.

3.5.3 Modellering av løsmassefordeling

For videre bruk av modellen var det ønskelig å modellere den romlige fordelingen basert på kornfordeling. Løsmassevolumet, som ble generert mellom kontaktflaten mellom løsmasser og fjell og den topografiske modellen, ble brukt som en begrensning i de raffinerte modellene. Tre nye geologiske modeller ble laget. To av dem ble modellert med en inndeling av løsmassene i to kategorier, der grensen er satt ved finsand. Det ble også forsøkt å lage en redefinert modell der en mer detaljert klassifisering av kornstørrelser ble gjennomført. Den stratigrafiske rekkefølgen på de ulike kategoriene er basert på forventet lagrekke ved utbygging av et breelvsdelta, beskrevet i avsnitt 2.1. Alle valg av parametere er gjort rede for i 4.

I første omgang ble det generert to redefinert modeller der løsmassevolumet ble delt i to - finstoff og grovere materiale. Disse to modellene er basert på de to ulike fjelloverflatene som er modellert, beskrevet i avsnitt 3.5.2. Ved interpolering av grenseflaten mellom finstoff og

grovere masser ble kategorier i borehullene gruppert til en ny inndeling. Ved gruppering av massebeskrivelsen ble grensen satt ved fin sand, ettersom avsetningene i borehull av antatt marin opprinnelse kan ha største fraksjon rundt fin sand (Dagestad, Hansen og Braathen, 2003). En oversikt over grupperingen er gitt i Tabell 9. De fleste av boringene gjennomført av COWI AS går ikke dypt nok til å fange opp verken fjell eller finstoff. Flere av dem er imidlertid stoppet ved kontakt med finere masser, og det er derfor brukt som en grense til finstoff i modellen, til tross for at det ikke er loggført. Kontaktflaten mellom finstoff og grovere løsmasser ble modellert som en avsetning.

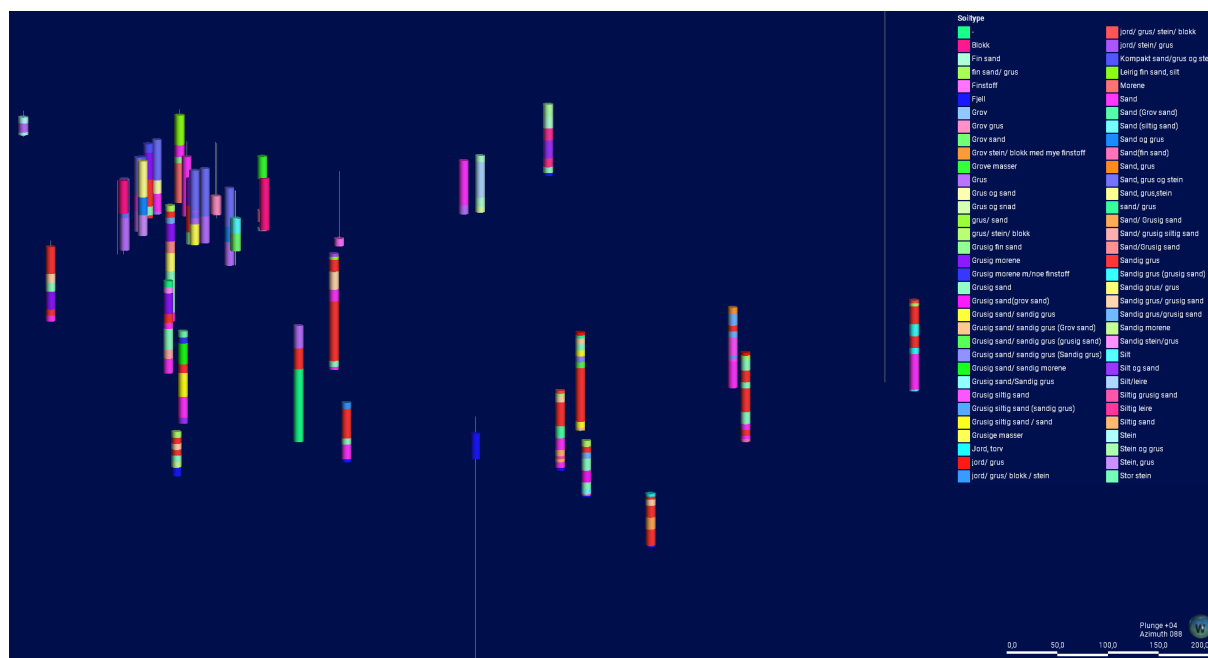
Tabell 9: Gruppering av massebeskrivelse i borehull, benyttet i modellering av raffinert model V1 og V2.

Massebeskrivelse	Gruppering
Blokk Stein Grus Sand Fin sand (mellom grovere fraksjoner) Silt (mellom grovere fraksjoner) Leire (mellom grovere fraksjoner)	Grus og sand
Fin sand Silt Leire	Finstoff

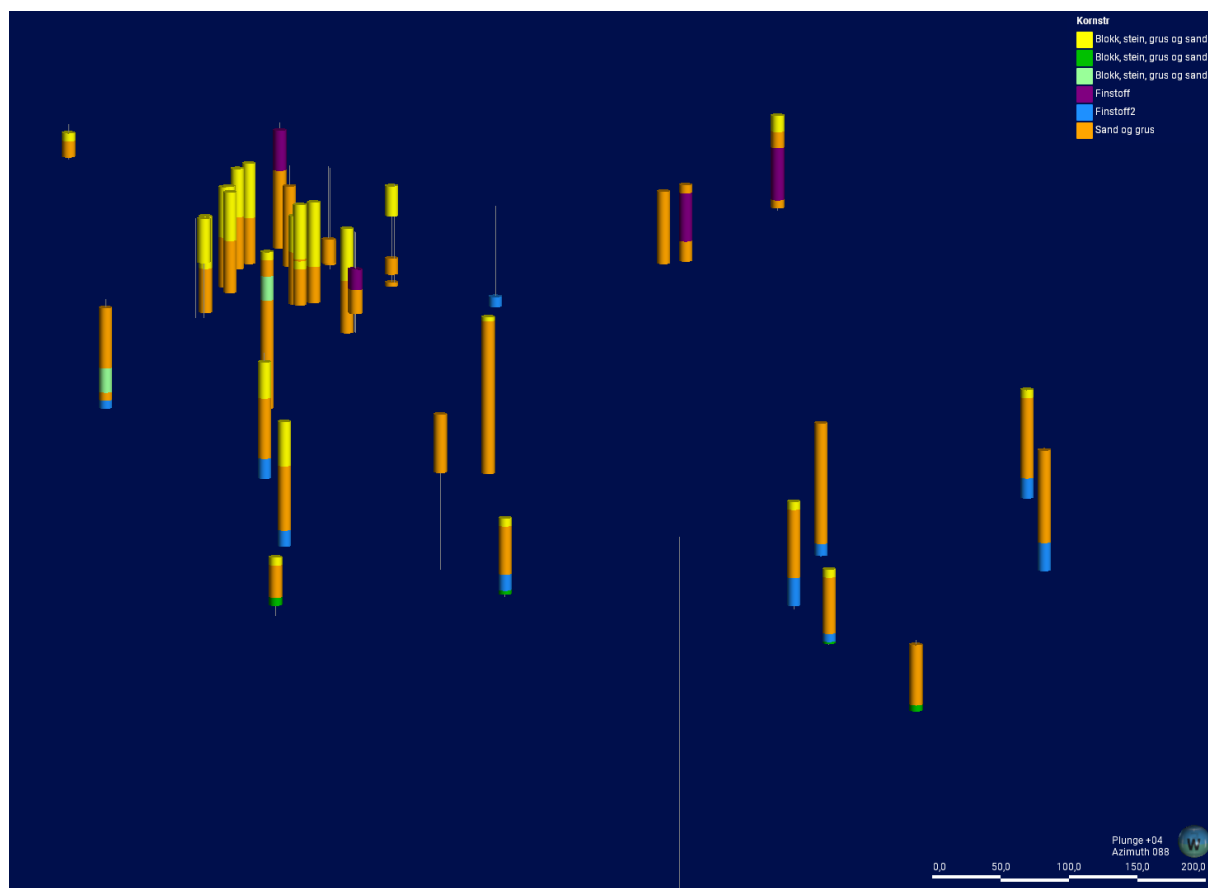
Ved modellering av løsmassevolumet med en mer detaljert stratigrafi, ble borehullsdataen gruppert på ny basert på kornstørrelse. En oversikt over disse kategoriene er gitt i Tabell 10. Grovere materiale med blanding av Blokk, stein, grus og sand ble gruppert i 3 ulike kategorier basert på plassering borehullet, som var i bunnen, mellom lag med sand og grus, og i toppen. Intervaller med sand og grus ble slått sammen til en kategori, og finstoff ble delt inn i to kategorier, basert på plassering i borehullet. Den ene kategorien er observert i bunnen av borehullene og den andre var mellom sand og gruslag på østsiden av elven. Figur 22 viser borehullene importert i *Leapfrog Geo* før grupperingen av litologier, og Figur 23 viser de samme borehullene etter grupperingen presentert i Tabell 10

Tabell 10: Gruppering av massebeskrivelse i borehullene, benyttet ved modellering av raffinert modell V2.1 og V2.2.

Massebeskrivelse	Gruppering 1	Gruppering 2
Blokk Stein Diamikt (Usortert)	Blokk, stein, grus og sand	Blokk, stein, grus og sand1 Blokk, stein, grus og sand2 Blokk, stein, grus og sand3
Grus Sand	Grus og sand	Grus og sand
Fin sand Silt Leire	Finstoff	Finstoff1 Finstoff2



Figur 22: Borehull importert i *Leapfrog Geo*, med løsmassefordeling før gruppering av litologi.



Figur 23: Borehull importert i *Leapfrog Geo*, med løsmassefordeling etter gruppering av litologi til detaljert modellering av løsmasser.

Grensen mellom grovere materiale i bunnen, finstoff, sand og grus, og grovere materiale i toppen, ble modellert som avsetninger i en stratigrafisk sekvens med samme rekkefølge. Det grove materiale i bunnen av borehull ble også forsøkt modellert som en intrusjon. Finstoffet2 i øvre del av enkelte av borehullene på østsiden av elven er modellert som en intrusjon, med resterende kategorier som eldre litologi.

Det ble forsøkt å inkludere ryggen beskrevet som Tunshovden, i avsnitt 2.1.5, for visualisering til tross for mangel på datapunkter. Denne ble kategorisert som en del av de grovere massene mellom lag av sand og grus i borehullene. Det ble tegnet en polylinje langs kanten av ryggen med positiv side inn mot mistenkte randavsetning. Fra polylinjen ble det generert strukturelle data, som bestod av vertikalt stilte diskler jevnt fordelt langs polylinjen. Disse ble manuelt orientert slik at de lå parallelt med siden av ryggen. Det ble videre laget en ny intrusjon under overflatekronologien basert på litologi Blokk, stein, grus og sand3. Polylinje langs moreneryggen på det kvartærgeologiske kartet ble inkludert for å skape en lateral grense på overflaten, og strukturelle data ble inkludert for å gi interpoleringen en generell retning.

4 Parametersetting

I *Leapfrog Geo* har bruker av programmet mulighet til å bestemme parametere ved interpolering av kontaktflater i geometriske modeller. Parametersetting kan tilpasses ulike teorier, og i dette prosjektet er de valgt på bakgrunn av den geologiske forståelsen som er opparbeidet under feltarbeidet på Bømoen. Tabell 11 viser en oversikt over parametere brukt ved interpolering av de ulike kontaktflatene i de geologiske modellene. Parametervalg for hver kontaktflate er videre begrunnet i egne delkapitler.

Tabell 11: Oversikt over valg som er tatt ved modellering av kontaktflater mellom definerte litologier.

Kontakt	Flatetype	Fall/ Retning	Ellipsoide ratio	Interpolant	Total Sill	Base range
Fjell / Løsmasser	Erosjon	00/000	1:1:1	-	-	-
Finstoff / Grus og sand	Avsetning	20/270	3:2:1	-	-	-
Finstoff2 / Sand og grus	Avsetning	20/270	3:2:1	-	-	-
Sand og grus / Blokk stein, grus og sand1	Avsetning	20/270	3:2:1	-	-	-
Blokk, stein grus og sand2 / Finstoff2	Avsetning	20/270	3:2:1	-	-	-
Blokk, stein grus og sand2	Intrusjon	00/000	10:10:1	Lineær	600	600
Blokk, stein grus og sand3	Intrusjon	00/000	10:10:1	Lineær	600	600
Finstoff1	Intrusjon	00/000	10:10:1	sfærisk	400	300

4.1 Generelle valg av parametere

Begrunnelse av enkelte valg er lik for alle kontaktflater. Dette inkluderer valg av “Total sill”, nøyaktighet og drift. “Total sill” er, som nevnt i avsnitt 2.4.3, definert som vektningen ved avstand til kjente punkter der all korrelasjon opphører. En tommelfingerregel ved modellering er å sette “Total sill” omtrent lik variansen beregnet av programmet utifra kjente datapunkter. Trend ble satt til global i samtlige tilfeller, som fører til at trenden som er satt påvirker hele modellen og estimering av samtlige ukjente verdier. Dette er egnet der geologien stort sett er plan og kontinuerlig over et større område (Seequent, 2020).

Intrusjoner er den eneste av kontakflatene, brukt i denne modellen, som gir mulighet for valg av interpoleringsparametere. Ved valg av erosjon og avsetning som kontaktflate er det kun mulig å bestemme trend. Kontaktflater som modelleres som avsetning eller erosjon kan modelleres sammen i en stratigrafisk sekvens dersom de har en tydelig rekkefølge, slik som det er antatt her. Da vil trend og type kontaktfalte være lik for alle litologiene i sekvensen (Seequent, 2020).

Intrusjon er enkelte ganger valgt for å kunne modellere diskret sedimentvolum, der det ikke var en tydelig plassering av litologien i den stratigrafisk sekvensen av avsetninger ved visuell vurdering av borehullene. Nøyaktighet ble satt automatisk av programmet, basert på tilgjengelige datapunkter, og drift er konstant i samtlige tilfeller. Det vil si at estimerte punkter går mot gjennomsnittlig kjent data, vekk fra modellen (Seequent, 2020).

4.2 Modellering av kontaktflate Fjell/Løsmasser

Kontaktflate mellom fjell og løsmasser ble modellert som en erosjonsflate. Dette valget ble tatt på bakgrunn av at det går to dalfører inn mot dalen i nordøst og sørøst. Dalførene følger svakhetssoner i berggrunnen, som er kartlagt som en skjærsone fra den kaledonske fjellkjedefoldingen, beskrevet i avsnitt 1.3.2. A. K. Åberg *et al.* (2017) beskriver også i sin publikasjon modellering av en erosjonsflate i kontakten mellom fjell og løsmasser. Sammenføyningene av disse to dalførene ved Bømoen kan ha dannet et konfluensbasseng på stedet, der overflateprosesser fra både bre og vann har erodert bergoverflaten før dagens sedimenter er avsatt. Vann og is følger minste motstands veg, og det antas at svakhetssonen kartlagt som skyvedekket i berggrunnskart (Figur 2) er erodert (Jørgensen, Sørensen og Prestvik, 2013).

Ved valg av trend ble det først antatt en anisotrop trend og lengste akse parallelt, med dalen. Dette medførte imidlertid en urealistisk kontaktflate, og det ble besluttet å sette trenden isotrop med forhold 1:1:1, ettersom dette resulterte i en glattere skålformet flate som passet med trenden i dalsidene.

4.3 Modellering av kontaktflate Finstoff/Grus og sand

Kontaktflaten mellom Finstoff og Grus og sand ble modellert som grensen mellom marine avsetninger og avsetninger fra et breelvsdelta i modellen med grov inndeling. Begge litologiene er antatt avsatt i tilnærmet stillestående vann. grus og sand er tolket avsatt i et frontalt delta og en sandurflate, der breelver munner ut i havet eller bredemt sjø. Finstoffet er antatt å være marine eller lakustrine, og er avsatt ved distalsiden av delta. Det ble derfor besluttet å bruke avsetning som kontaktflate, ettersom masser avsatt i stillestående vann ikke skjærer ned i underliggende masser på samme sted fordi det ligger under lokal erosjonsbasis.

Kontaktflatene modellert som avsetning etterstreber å fylle underliggende topografi som utjevne lag. Dette simulerer at løsmassene har bredt seg utover i bassenget mens delta har bygget seg opp mot havnivå. Avsetningene antas å ha størst utstrekning parallelt med dalen, ettersom flaten er bredere enn antatt bassengdybde. Trend ble derfor satt til lengste akse øst-vest, og minste akse vertikal, og forholdet som resulterte i en modell som passet visuelt med tolkningen av området er 3:2:1. Fall er satt til 20° mot vest for å begrense overestimering av finstoffmektigheten mellom Palmafossen og Leikeshovden, ettersom tilstedeværelse av en større mektighet av finstoff er ikke bekreftet under feltarbeid. I dette området er det ingen datapunkter som indikerer finstoff, men ettersom den modellerte fjelloverflaten er nedre vertikale begrensning ble dette området fylt med utgangspunkt i datapunktene lenger øst.

4.4 Modellering av kontaktflate Finstoff2/Sand og grus

Kontaktflate over Finstoff2 ble modellert som en avsetning, og representerer samme grense som beskrevet i avsnitt over, mellom Finstoff og sand og grus. Det er derfor tatt utgangs-

punkt i samme datapunkter og parametere.

4.5 Modellering av kontaktflate Sand og grus/Blokk, stein, grus og sand1

Kontaktflate mellom sand og grus og Blokk, stein, grus og sand1 er modellert som en avsetning i stratigrafisk sekvens med underliggende avsetninger. Blokk, stein, grus og sand1 er tolket som avsatt på en sandurflate, etter at deltautbygging nådde havoverflaten ved senket havnivå. Med andre ord subaerile avsetninger over lokal erosjonsbasis. Høy vannføring fra breen har ført til forgrenet elveløp på sletten foran breen. På bakgrunn av disse prinsippene er det vurdert at en erosjonsflate ville vært mer i henhold til geologisk forståelse ved modelleringen av denne flaten, ettersom det tillater nedskjæring i eldre avsetninger som er modellert. Mye energi og breelvsediment fører til dynamiske og “hoppende” elveløp der flaten får en stor vertikal utstrekking. Det er derfor forventet at sandurflaten med de groveste materialene har fylt hele dalføre i bredden. Trenden til løsmassene er derfor satt lik kontaktflaten mellom Finstoff2 og Sand og grus.

4.6 Modellering av kontaktflate Finstoff1/annet

Kontaktflaten mellom Finstoff1 og omkringliggende masser er modellert som en intrusjon basert på kontaktpunkter til alle andre kategorier i borehull. Denne funksjonen gir større muligheter for valg av parametere i interpoleringen, og den gir mulighet for å kutte inn i andre modellerte volum. Den geologiske tolkningen av disse avsetningene er at de kan ses i sammenheng med ryggformede breelvsavsetninger kartlagt nordøst i området. De kan for eksempel være avsatt ved glasilakustrine forhold, i en periode med lite nedsmelting av breen.

En sfærisk interpolant ble valgt, med begrunnelse at finstoffet ikke nødvendigvis er sammenhengende masser, dersom det er avsatt subglasialt, og vi ikke vet om de er avsatt på samme tidspunkt. Dette begrunnes med at det ikke er funnet noen sammenhengende horisont av finstoff under feltarbeidet. “Base range” ble valgt på bakgrunn av testing av ulike verdier, fremfor å benytte seg av tommelfingerregelen nevnt i avsnitt 2.4.3. “Base range” ble satt til 300, fordi høyere verdier gav resultater som ikke stemte overens med observasjoner gjort ved NOBI-massetak. Resultatet ble et større finstoffvolum, i massetaket der det stortsett var observert grovere kornfraksjoner, beskrevet i avsnitt 5.3.

Trenden til kontakflaten ble vurdert som anisotrop, med en betydelig større horisontal utstrekning enn vertikal, for å generere så tynne volum som mulig. Dette begrunnes med at det ikke er observert noen større mektighet av finstoff i felt. Det ble ikke vurdert noen foretrukken horisontal trend i avsetningene, ettersom de lokale forholdene under breen ikke er kjent. Trende ble satt 10:10:1.

4.7 Modellering av kontaktflate Blokk, stein, grus og sand3/annet

Kontaktflaten Blokk, stein grus og sand3 ble modellert som en intrusjon basert på kontaktpunkter i borehullsdata, grense rundt randavsetning fra det kvartærgeologiske kartet, og strukturell data langs denne grensen som fulgte topografien langs sidene av ryggen. Parametere ble valgt basert på hypotesen at disse massene er en del av en randavsetning avsatt ved et brefremstøt, som senere er erodert, og ligger som spredte randavsetninger omsluttet av breelvsavsetninger. Dersom disse avsetningene stammer fra en randavsetning, er det tenkelig at de er avsatt over en tidlig fase av deltautbyggingen, og derfor ligger mellom sand og gruslag.

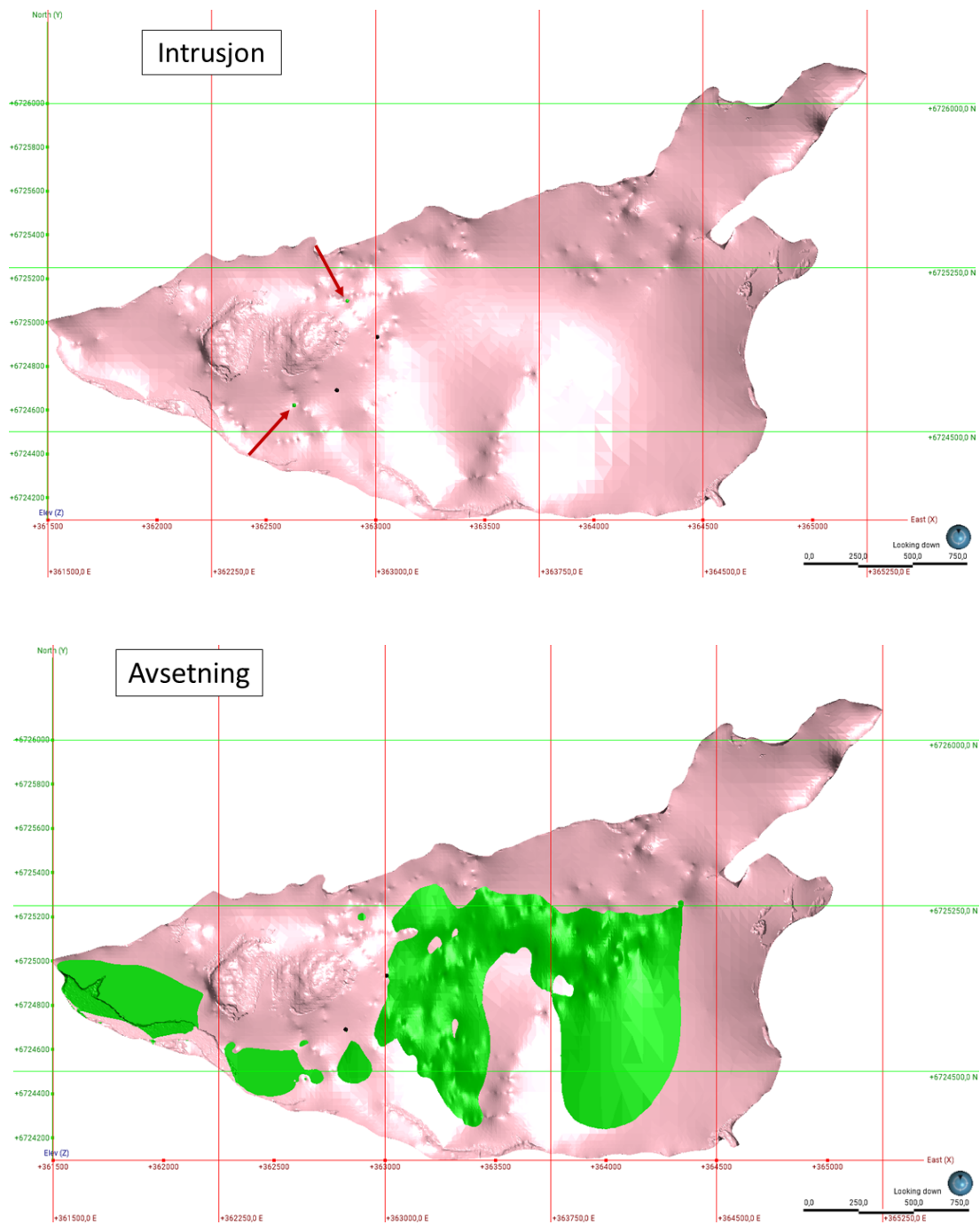
Interpolant ble valgt å være lineær og det er antatt en sammenheng mellom alle datapunktene. "Total sill" er satt lik variansen på 600, og "Base range" er også satt til 600, etter testing av ulike verdier for å tilpasse formen på ryggen. Trend ble satt til 10:10:1, for å få en større horisontal utstrekning enn vertikal. Denne trenden resulterte i et løsmassevolum omsluttet av sand- og gruslag, som passer den geologiske tolkningen av et brefremrykk over en påbegynt deltautbygging.

4.8 Modellering av kontaktflate Blokk, stein grus og sand2/ Finstoff2

Kontaktflate Blokk, stein, grus og sand2 er modellert som en intrusjon og som en avsetning basert på kontaktpunkter i borehull. Disse avsetningene er tolket som bunnmorene ettersom bunnmorene er kartlagt over store deler av dalsiden, og er observert under sand og grus i enkelte av borehullene øst for Leikeshovden.

Det ble valgt lineær interpolant ved modellering av disse løsmassene som en intrusjon. Dette er begrunnet med at avsetningene antas avsatt samtidig, og at det er en lineær sammenheng mellom punktene. "Base range" ble satt til 600 for å skape en så stor sammenheng som mulig. Den ble forsøkt satt høyere, men dette hadde ingen effekt. Trenden ble satt til anisotrop med en større horisontal utstrekning enn vertikal. Den observerte bunnmorenen i dalsidene varierer i tykkelse, men det generelle inntrykket var en tykkelse på $< 2m$. Dette ble forsøkt etterlignet i dalbunnen ved denne parametersettingen. Resultatet er vist til venstre i Figur 24.

Ved modellering av bunnmorenen som avsetning ble den inkludert i den stratigrafiske sekvensen som nederste litologi mot fjelloverflaten. Trend og fall ble satt til samme som overliggende masser, 3:2:1 og 20 grader mot vest. Resultatet var et volum med større horisontal utstrekning under Finstoff2, vist til høyre i Figur 24.



Figur 24: Effekt ved valg av intrusjon og avsetning som kontaktflate ved modellering av Blokk, stein, grus og sand2. Røde piler viser små volum, rosa flate er fjell, og grønn er Blokk, stein, grus og sand2.

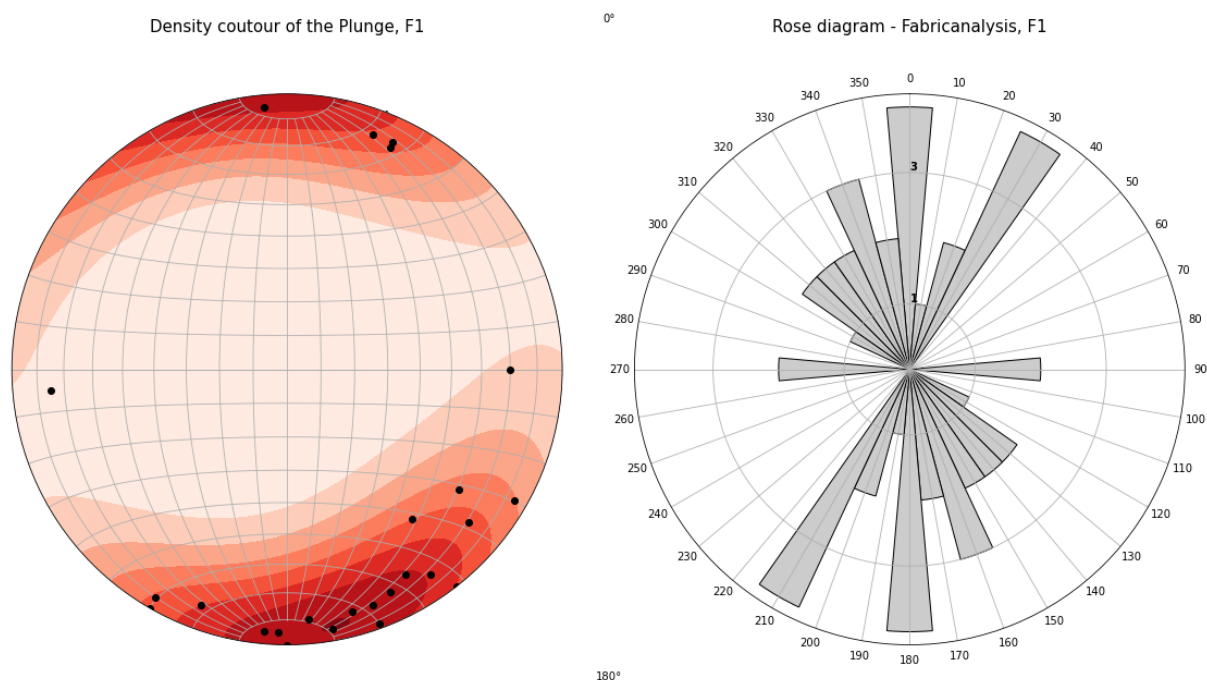
5 Resultater

5.1 Feltarbeid

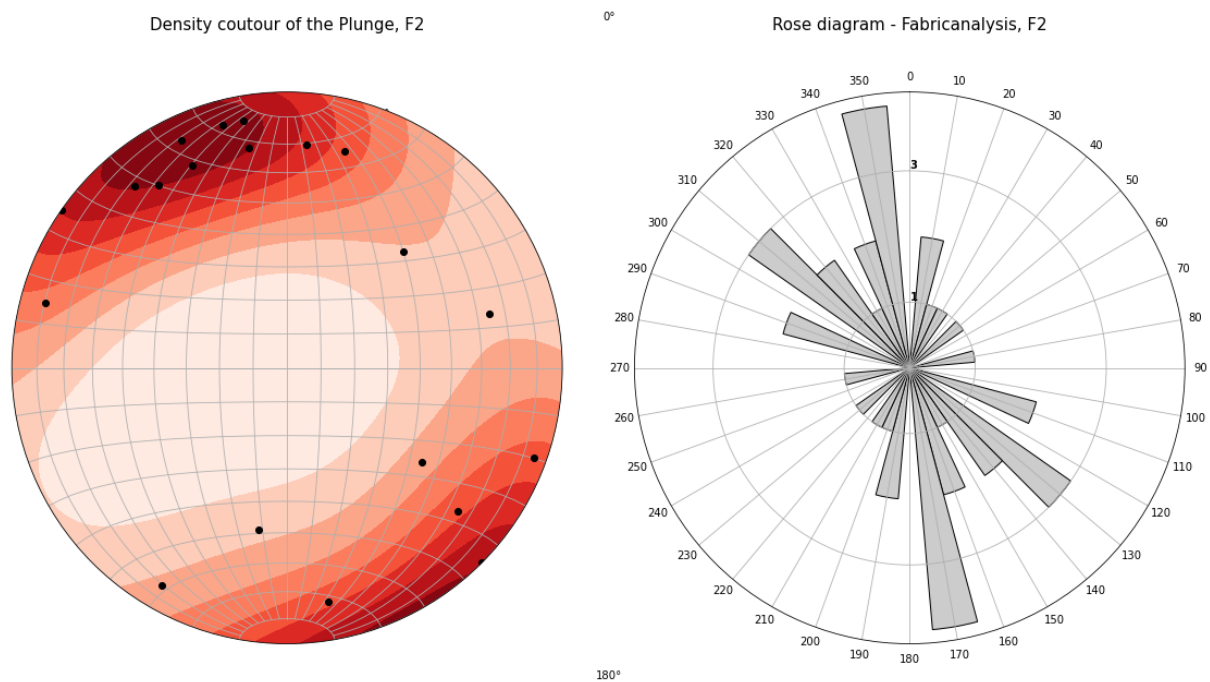
Samlede resultater fra målinger gjennomført i felt er presentert i dette delkapittelet. Dette inkluderer tre fabricanalyser, fem strøk og fall målinger på deltaplan observert i snitt, og to målinger av skuringsstriper på svaberg og kvartarsårer. Hvor og hvordan disse er gjennomført er beskrevet i avsnitt 3.1.4, 3.1.7 og 3.1.6. Observasjoner av landformer, løsmassenes fordeling og egenskaper ved disse i forbindelse med den kvartærgeologisk kartlegging vil også bli presentert.

5.1.1 Fabricanalyse og bergartstelling

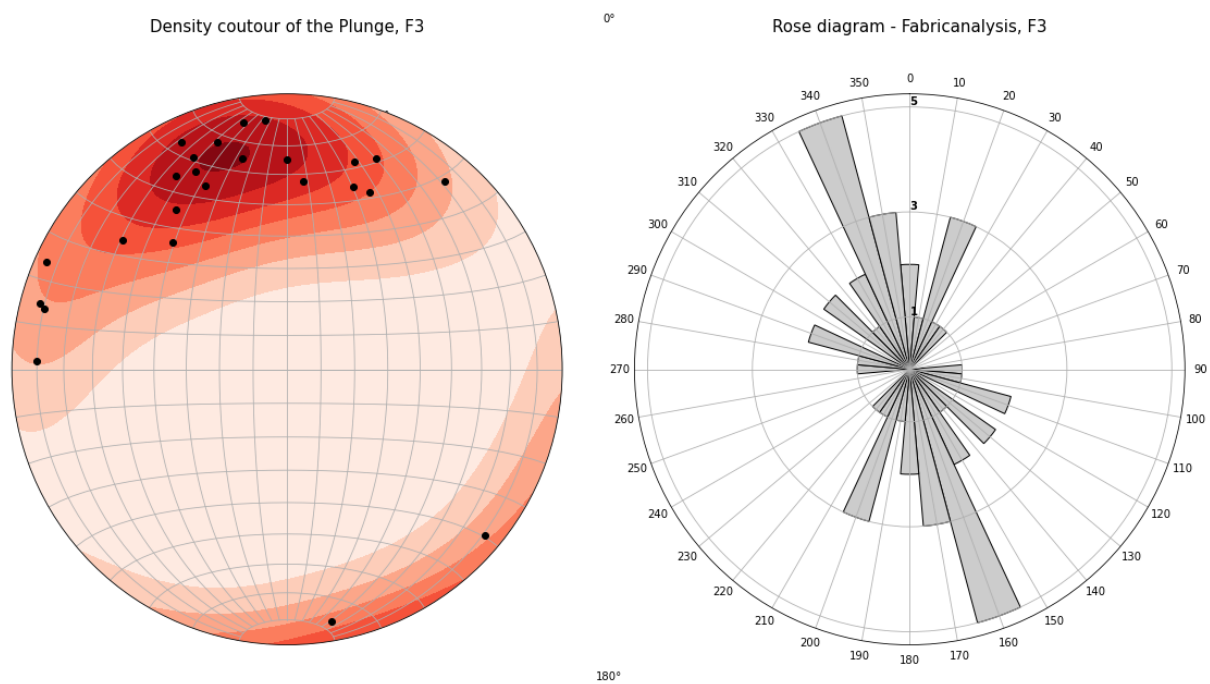
Resultatene fra fabricanalyse er presentert i rosediagram for vise fallretning til målte klaster i avsetningene. Fall er plottet med tetthetskonturer for å få inntrykk av sammenfallende fallretning. Diagrammene med målinger fra F1 (Figur 26) viser en foretrukken fallretning mot sør og sørøst. F2 (Figur 26) viser en større spredning, men med en større andel av fall mot nordvest. F3 (Figur 27) viser har dominerende fallretning mot nordvest, og størst sammenheng mellom fallretning av de tre lokalitetene.



Figur 25: Resultater fra F1, målt ved observasjonspunkt 6 (Figur 62). Til venstre tetthetskontur for plott av fall, og til høyre rosediagram for fallretning til 25 målte klaster.



Figur 26: Resultater fra F2, målt ved observasjonspunkt 7 (Figur 62). Til venstre tetthetskontur for plott av fall, og til høyre rosedigram for fallretning til 20 målte kluster.



Figur 27: Resultater fra F3, målt ved observasjonspunkt 20 (Figur 62). Til venstre tetthetskontur for plott av fall, og til høyre rosedigram for fallretning til 25 målte kluster.

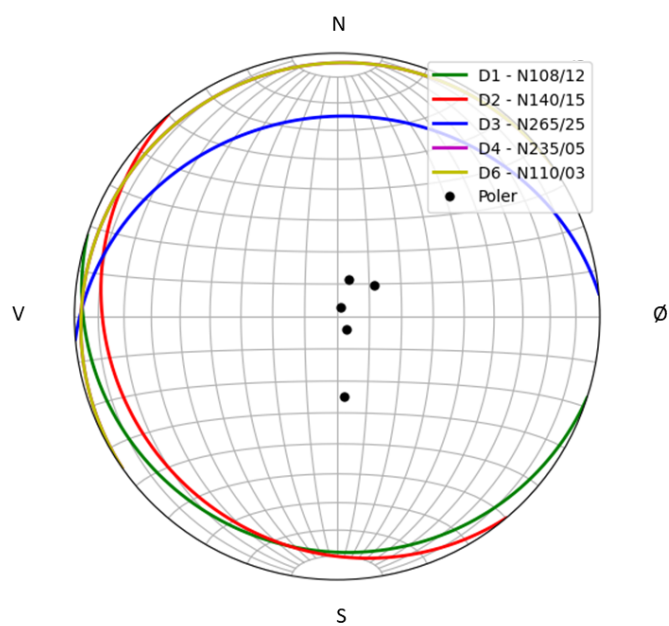
Resultatene for bergartstillingen er presentert i Tabell 12. Den viser lavest andel av fyllitt i kanalløpene. Ved observasjonspunkt 6 er det observert flest klaster av gabbro, og ved observasjonspunkt 7 og 20 er det observert flest klaster av gneis. Bergartstillingen sammeffaller med kartlagt lokal berggrunn av fyllitt, og nærliggende områder i nordøst kartlagt som gneis og gabbro. Gneisen er rundet til kantavrundet, og fyllitt er kantet til kantavrundet. Ved lokasjon 20 er det observert klaster av gabbro som er svært forvitret og smuldrer når forsøkt målt. Dette kan ha medført et fordelbasert valg av gneis klaster. Det understrekes også at litologisk analyse er overordnet og bergartsklassifisering ikke er presis.

Tabell 12: Resultater fra bergartstilling gjennomført under fabricanalysen ved observasjonspunkt 6, 7 og 20.

F1 - Lokasjon 6		F1 - Lokasjon 7		F3 - Lokasjon 20	
Litologi	Antall	Litologi	Antall	Litologi	Antall
Gneis	4	Gneis	18	Gneis	22
Gabbro	17	Gabbro	-	Gabbro	2
Fyllitt	3	Fyllitt	2	Fyllitt	1
Total	24	Total	20	Total	25

5.1.2 Strukturmålinger – skrålag i deltaisk avsetning

På Bømoen ble det observert et meget grovt topplag med tykkelse 2-4 m som tolkes som sandurfacies. Under dette topplag ble det generelt observert noe finere materiale, grus og sand, avsatt i skrålag. Denne avsetning tolkes som deltafacies. Det ble tatt 6 målinger av fall- og fallretning til disse skrålagene ved ulike lokaliteter, beskrevet i avsnitt 3.1.7 og vist i Figur 18. Figur 28 viser stereonett med storsirkler og plottede poler fra disse målingene. Generell fallretning og fall er N198-355/003-025. Disse avsetningene er som nevnt tolket som et isranddelta, der observerte skrålag er avsatt med fallretning parallelt med smeltevannets retning ut i stillestående vann. Storsirklene i stereonett viser fall mot sørvest, vest og nordvest.



Figur 28: Stereonett med storsirkler for fall og fallretning ved målte deltaplan. Poler for hver storsirkel er plottet.

5.2 Laboratorieundersøkelser – Kornfordelingsanalyse

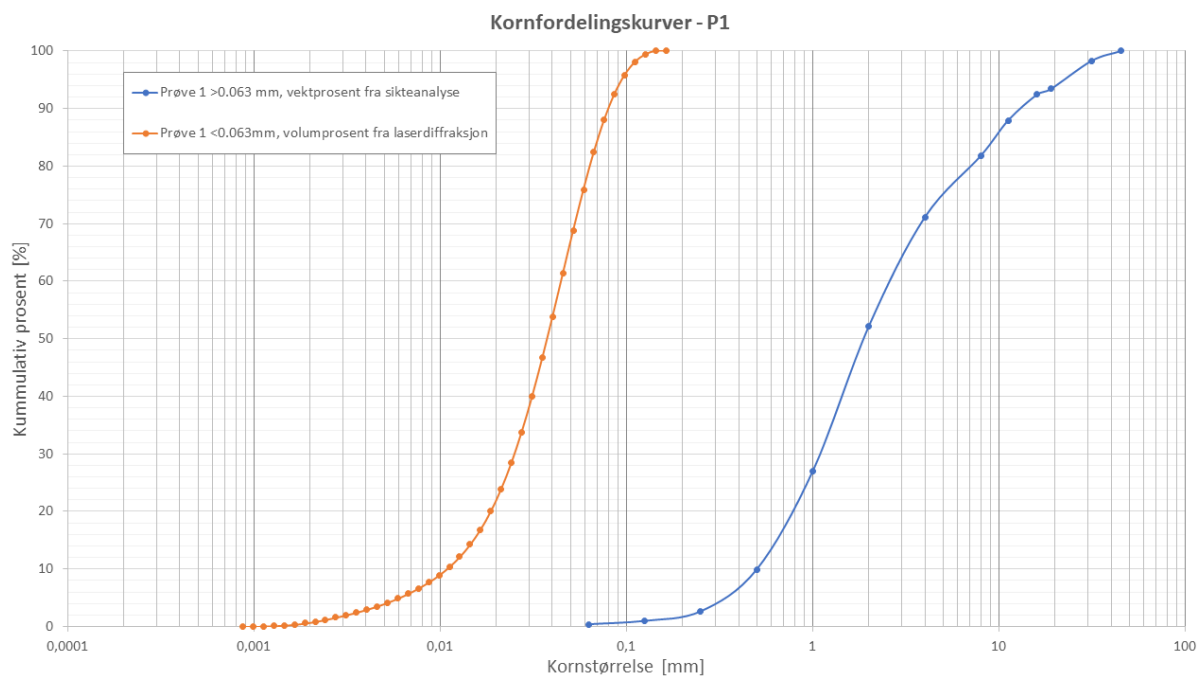
I dette delkapittelet vil resultater fra kornfordelingsanalyse gjennomført for masseprøve P1-P6 presenteres. Prøvene er samlet under feltarbeid på Bømoen, beskrevet i avsnitt 3.1.3. Klassifiseringen og visuell vurdering av kornfordelingskurvene er sett i sammenheng med feltobservasjoner, og er brukt som grunnlag ved vurdering av romlig fordeling av løsmassene på og i nærheten av Bømoen, både ved utarbeidelse av løsmassekart (Figur 35), og ved modellering i *Leapfrog Geo*.

Resultatene er fremstilt grafisk i kornfordelingskurver, Figur 29-34. Vektprosent for hver kornfraksjon i masseprøvene er presentert i Tabell 13, og massetap er beregnet med total prøvevekt presentert i Tabell 7, avsnitt 3.3. Prøvetap skal være mindre enn 1% i henhold til Statens Vegvesen (2016), for å kunne godkjennes. Prøve 3 og 5 har et prøvetap over 1% men vurderes likevel som representative for videre arbeid med løsmassekart og 3D-modell.

Tabell 13: Vektprosent for kornfraksjoner(mm) fra sikteanalyse av masseprøve P1-P6. Prøvetap er beregnet av total prøvevekt presentert i Tabell 7.

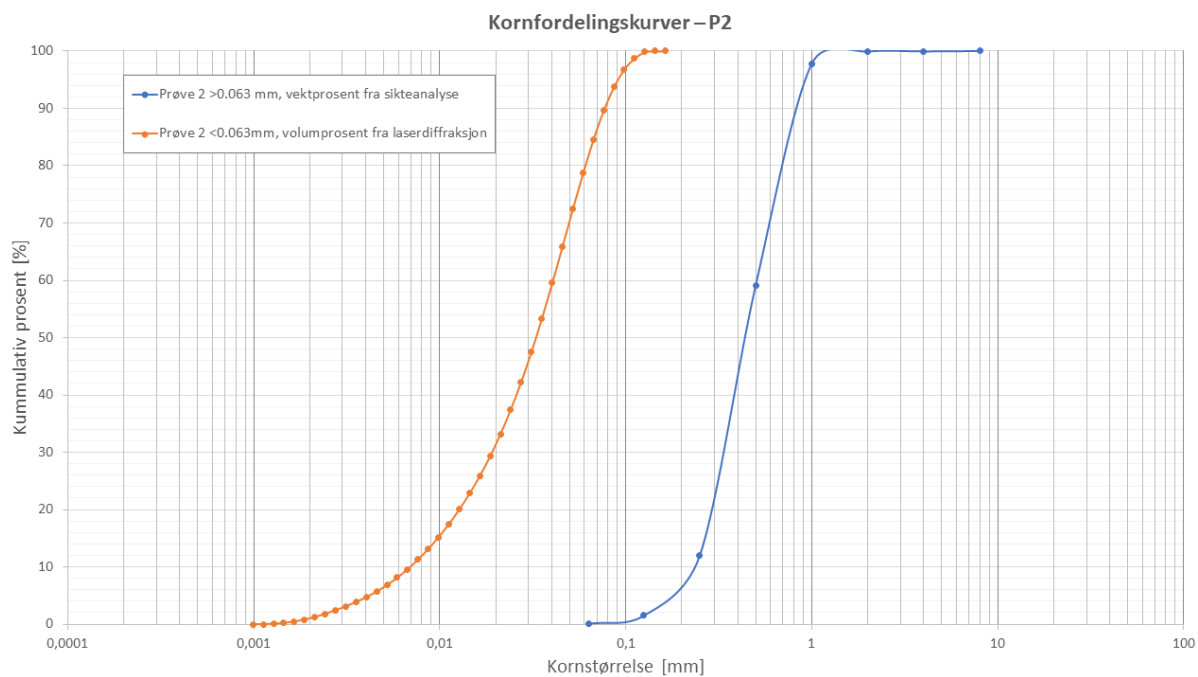
Kornstørrelse (mm)	Vektprosent					
	1	2	3	4	5	6
31,5	1,7		4,5	3,4	5,3	
19	4,9		4,7	2,6	6,7	
16	1,0		0,6	1,9	1,7	
11,2	4,4		2,4	3,1	3,7	
8	6,1		3,0	3,9	7,3	
4	10,6	0,1	7,7	7,6	17,5	
2	18,8	0,03	11,8	8,8	15,4	0,2
1	24,9	2,1	9,8	9,8	9,2	0,3
0,5	16,9	38,4	7,2	9,3	5,4	0,8
0,25	7,2	46,9	7,0	8,3	4,6	2,7
0,125	1,7	10,4	9,2	8,3	4,2	10,8
0,063	0,6	1,4	9,6	10,3	5,2	23,5
<0,063	0,3	0,2	16,9	10,8	9,1	61,7
< 8 ved sikting >8			4,3	11,6		
Prøvetap %	0,9	0,5	1,3	0,3	4,5	0,03

Figur 29 viser kornfordelingskurve til masseprøve P1. Prøven har et lavt finstoffinnhold, og klassifiseres som et middels gradert sandig, grusig materiale. Masseprøven er hentet ut av sorterte skrålåg i NOBI-massetak, beskrevet i avsnitt 5.3.4, og er i felt tolket som en avsetning i et brelvsdelta.



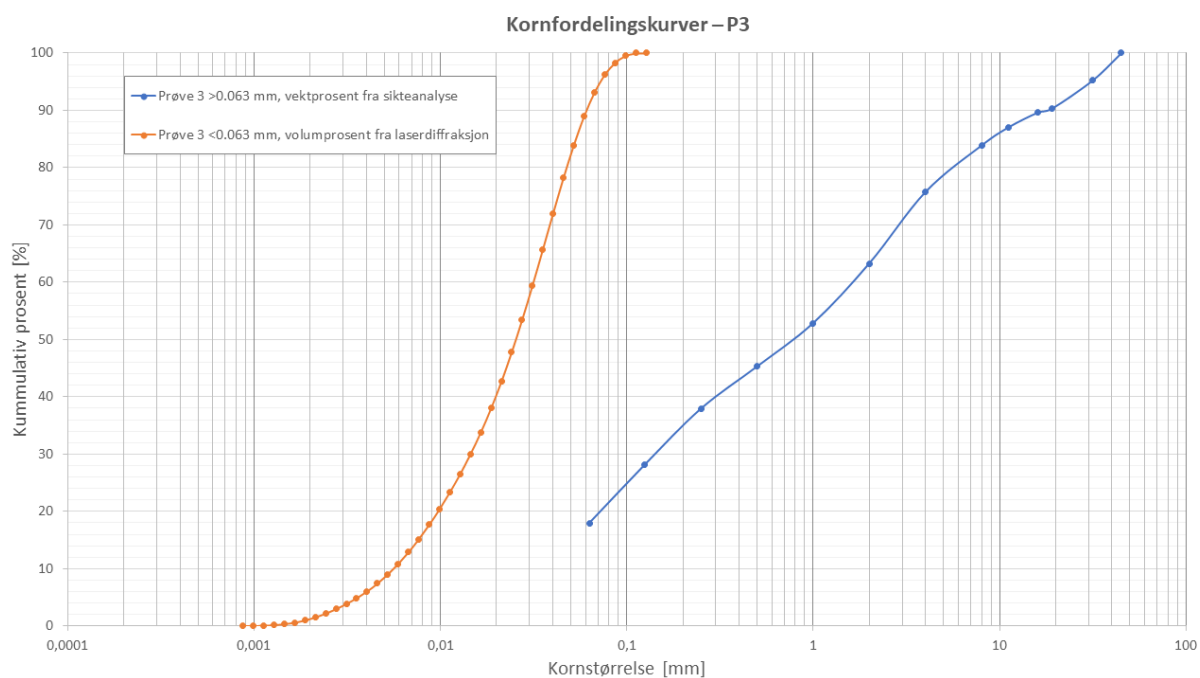
Figur 29: Kornfordelingskurver for masseprøve P1. Blå er kumulativ vektprosent av materiale $> 0,063\text{mm}$, oransj er kumulativ volumprosent av materiale $< 0,063\text{mm}$.

Figur 30 viser kornfordelingskurve til masseprøve P2. Masseprøven er hentet ut ved Kinne gård, i dalsiden sør for Bømoen, og fremstod i felt som en godt sortert sand med svakt horisontal lagdeling, beskrevet i avsnitt 5.3.1. Kornfordelingen tilsier at prøven er en ensgradert sand.



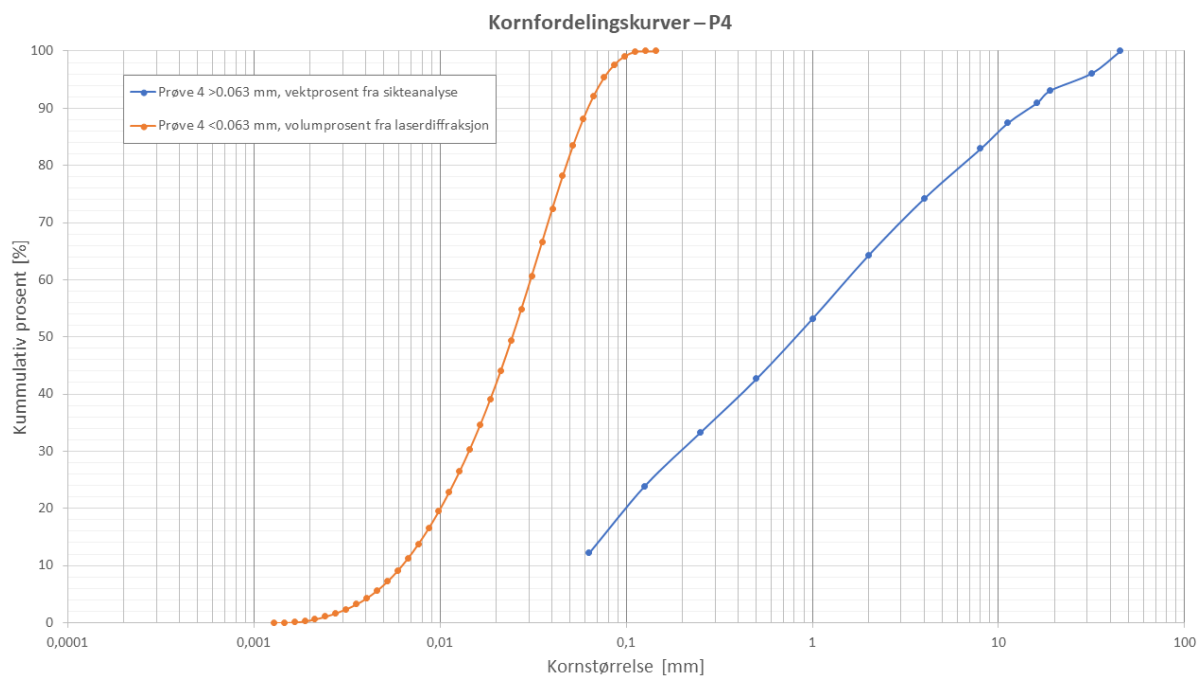
Figur 30: Kornfordelingskurver for masseprøve P2. Blå er kumulativ vektprosent av materiale $> 0,063\text{mm}$, oransje er kumulativ volumprosent av materiale $< 0,063\text{mm}$.

Figur 31 viser kornfordelingskurve til masseprøve P3. Masseprøven er hentet ut i dalsiden sør for Bømøen, på oversiden av Kinne Gård. I felt fremstod massene som en overkonsolidert bunnmorene, beskrevet i avsnitt 5.3.1. Resultatene fra kornfordelingsanalysen tilsier at masseprøven er velgradert og består av siltig, sandig, grusig materiale, med 16,9% finstoff (<0,063mm).



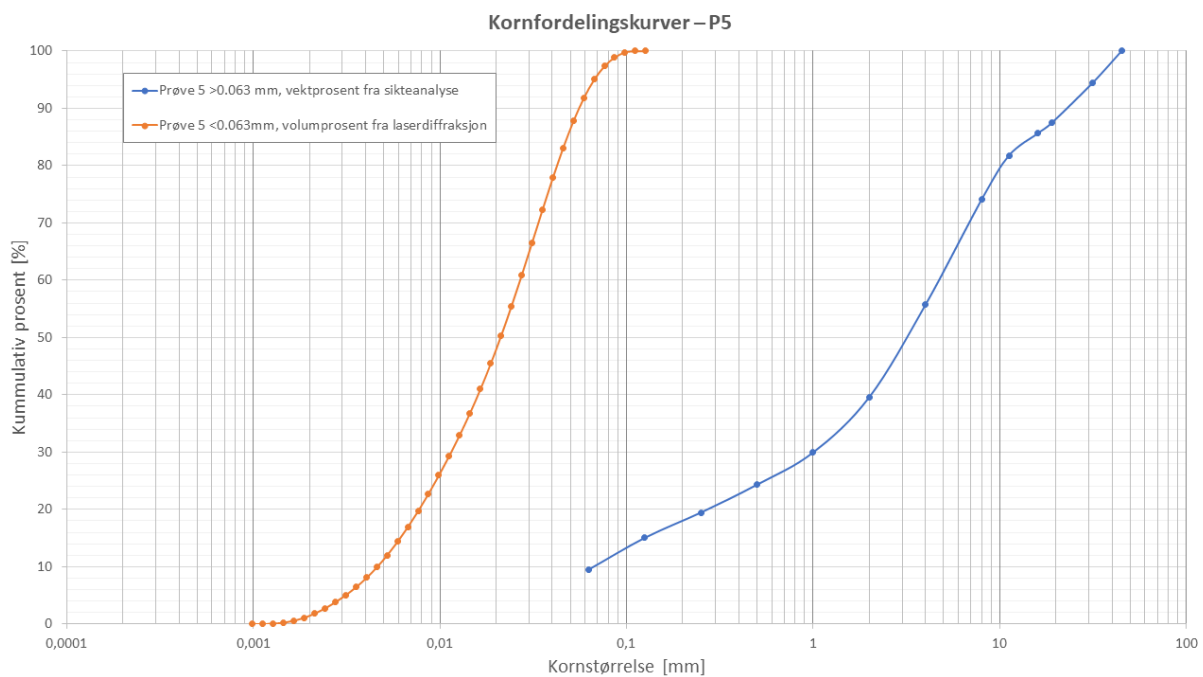
Figur 31: Kornfordelingskurver for masseprøve P3. Blå er kumulativ vektprosent av materiale $> 0,063\text{mm}$, oransj er kumulativ volumprosent av materiale $< 0,063\text{mm}$.

Figur 32 viser kornfordelingskurve til masseprøve P4. Prøven har et høyt innhold av finstoff på 10,8%, og karakteriseres som velgradert siltig, sandig, grusig materiale. Massen er hentet ut i dalsiden øst for Bømoen, og fremstår som av samme karakter som masseprøve P3. I felt er avsetningen tolket som en overkonsolidert bunnmorene.



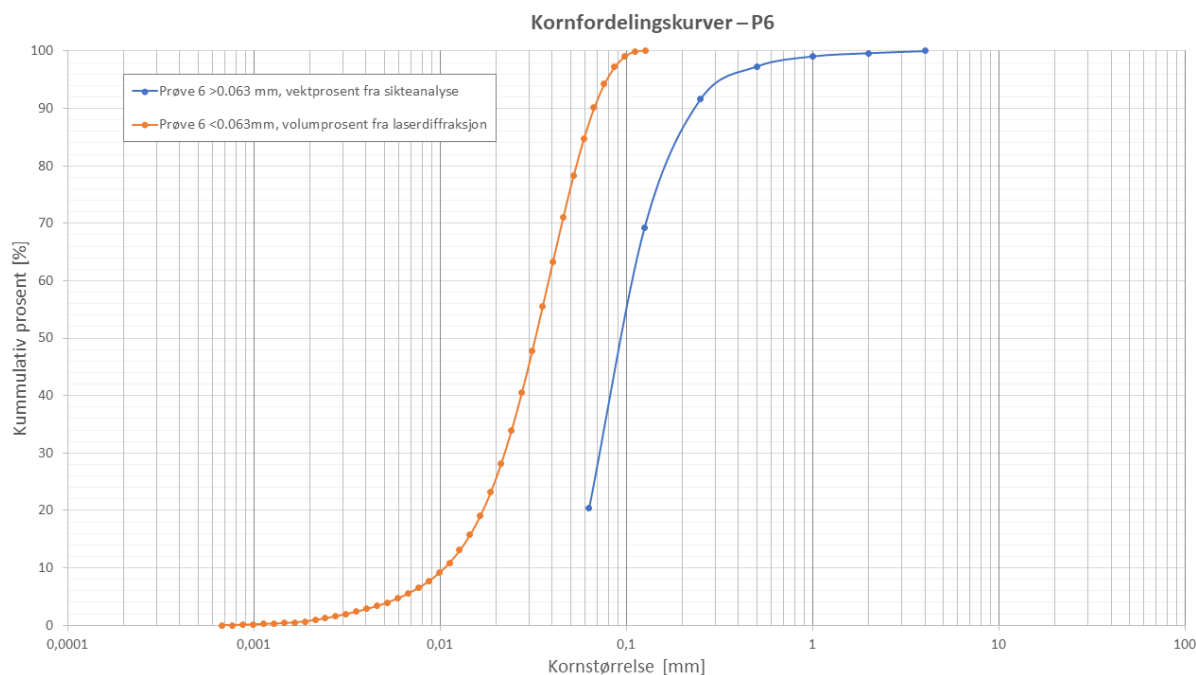
Figur 32: Kornfordelingskurver for masseprøve P4. Blå er kumulativ vektprosent av materiale $> 0,063\text{mm}$, oransj er kumulativ volumprosent av materiale $< 0,063\text{mm}$.

Figur 33 viser kornfordelingskurve til masseprøve P5. Prøven er hentet ut ved haug i dalsiden nord for Bømoen. I felt ble massene vurdert til å inneholde mindre finstoff enn bunnmorenen i sør og øst, beskrevet i avsnitt 5.3.1. Finstoffinnholdet er 9,1% av prøvevekten ved kornfordelingsanalyse, og Kornfordelingen tilsier en velgradert sandig grus.



Figur 33: Kornfordelingskurver for masseprøve P5. Blå er kumulativ vektprosent av materiale $> 0,063\text{mm}$, oransj er kumulativ volumprosent av materiale $< 0,063\text{mm}$.

Figur 34 viser kornfordelingskurve til masseprøve P6. Prøven er hentet ut ved grop vest for flystripen på Bømoen, vist i Figur 35. Prøvematerialet fremstod som et brunt, godt sortert materiale av sand og silt. Ved sikteanalyse av materialet, ble det vurdert et høyt innhold av organisk materiale. Prøven burde derfor vært glødet for å fjerne organisk stoff før sikteanalysen ble gjennomført. Kornfordelingen tilsier at prøven bestod av ensgradert siltig sand.



Figur 34: Kornfordelingskurver for masseprøve P6. Blå er kummulativ vektprosent av materiale $> 0,063\text{mm}$, oransj er kummulativ volumprosent av materiale $< 0,063\text{mm}$.

Sorteringstall (S_0), graderingstall (C_u) og middel kornfraksjon (M_{50}) er regnet ut med verdier fra kornfordelingsanalysen. Disse er brukt til å klassifisere masseprøvene etter Selmer-Olsen (1977) og etter diagram fra Naturbasert, presentert i avsnitt 3.4.1 (Mæhlum *et al.*, 2010). Verdier fra kornfordelingsanalysen, samt resultat av klassifiseringen for samtlige prøver er presentert i Tabell 14. Prøve 3 og 4 havnet utenfor diagrammet fra Selmer-Olsen (1977), og vurdering fra felt og kornfordelingskurvene er derfor benyttet. Prøve 3 havnet også utenfor diagram benyttet av Naturbasert As, og benevning etter kornfordeling er derfor benyttet.

Tabell 14: Klassifisering av prøve 1-6 basert på Selmer-Olsen (1977) og Mæhlum *et al.* (2010). Der prøvene har havnet utenfor diagrammene er dette notert, og egen vurdering av prøven er inkludert.

Prøvenr.	Cu	S0	M50	Selmer Olsen	Naturbasert AS
Prøve 1	5,61	1,75	1,9	Morenegrus(Ablasjonsmorene)	Grusig sand/snadig grus
Prøve 2	2,26	0,79	0,5	Sand	Sand
Prøve 3	112,52	3,60	0,8	Morene (Utenfor Selmer Olsen)	Sandig morene/Grusig morene (Utenfor)
Prøve 4	31,39	3,43	0,8	Morene (Utenfor Selmer Olsen)	Grusig siltig sand
Prøve 5	72,26	2,70	3,3	Morenegrus	Grusig morene
Prøve 6	2,28	0,82	0,1	Innsjøavsetninger/havavsetning	Silt og sand

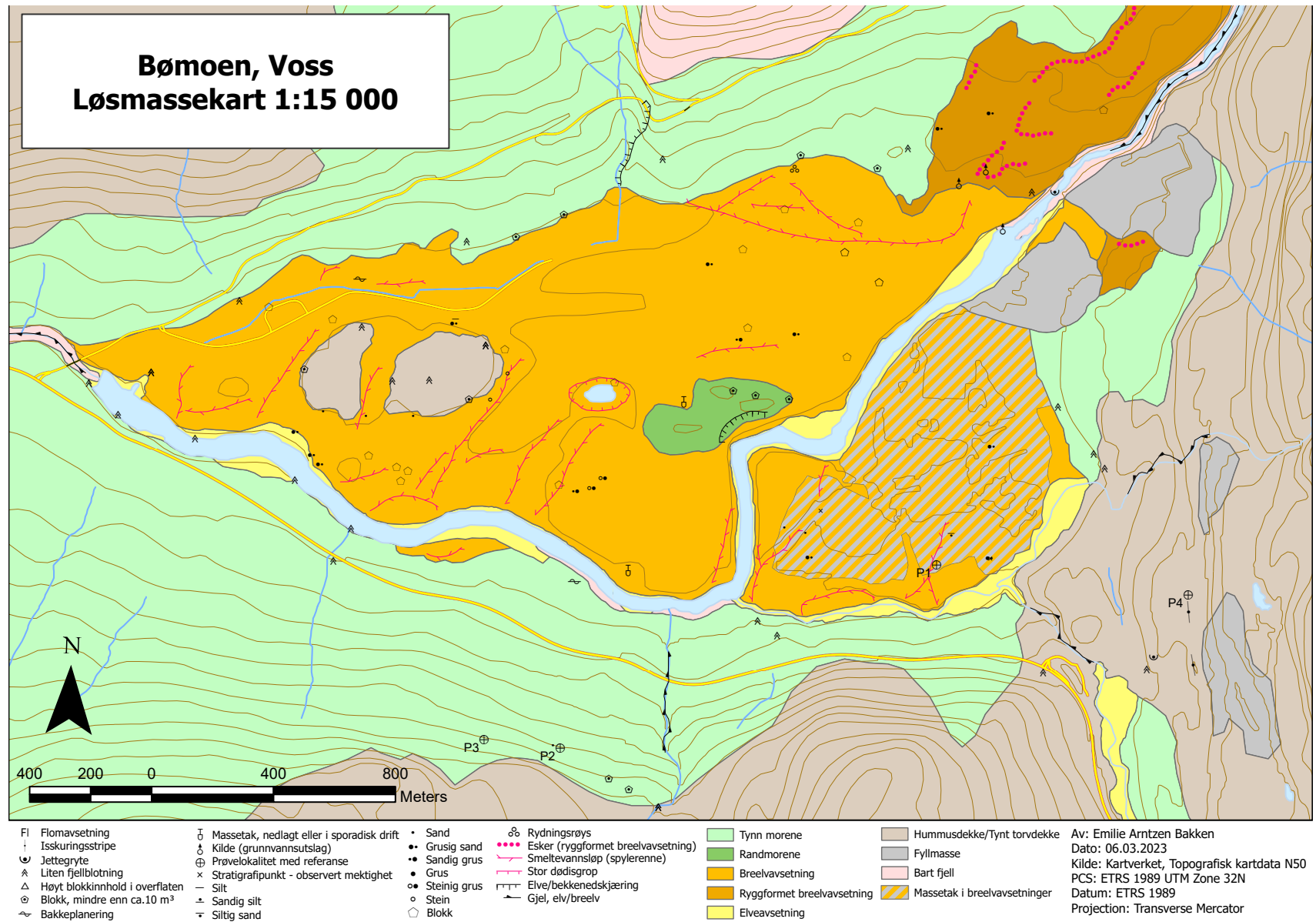
Laserdiffraksjon ble gjennomført for finstoff ($<63\mu\text{m}$) i samtlige masseprøver, beskrevet i avsnitt 3.3. Tabell 15 presenterer partikkeldiameter (D_x) ved kumulativ volumprosent lik 10, 50 og 90%, sammen med ukorrigert og korrigert leireinnhold. Prosent leireinnhold ($<2\mu\text{m}$) og $<7,4\mu\text{m}$ er funnet ved linjær interpolasjon av resultatene fra laserdiffraksjonen, og korrigert etter Ligning 3 i avsnitt 3.3.2 (Brendryen og Rise, 2013). Leireinnhold øker betydelig ved korreksjon.

Tabell 15: Resultater fra laserdiffraksjon, med leireinnhold for masseprøve P1-P6 før og etter korreksjon.

	Prøve nr.					
	1	2	3	4	5	6
D_x(10)	10,8 μm	6,94 μm	5,58 μm	6,24 μm	4,60 μm	10,5 μm
D_x(50)	37,5 μm	32,8 μm	25,3 μm	24,5 μm	21,0 μm	32,3 μm
D_x(90)	80,5 μm	76,7 μm	60,8 μm	62,4 μm	55,5 μm	66,7 μm
Leireinnhold i % ($<2\mu\text{m}$)	0,7	1,02	1,2	0,4	1,5	0,8
Leireinnhold i %($<2\mu\text{m}$) etter korreksjon, iht NGU standard	6,4	10,8	14,5	12,8	19,3	6,2

5.3 Løsmassefordeling på Bømoen

Observasjoner gjort under feltarbeid på Bømoen, beskrevet i avsnitt 3.1, er sammen med studier av digitale høydemodeller fra LiDAR data og flyfoto brukt til å lage et løsmassekart i målestokk 1:15 000, vist i Figur 35. Observasjonskart med nummererte punkter som viser lokaliteter henvist til videre i teksten, er presentert i Figur 62, Appendiks A. Dette delkapittelet vil oppsummere observasjoner gjort i felt, som er brukt ved utarbeiding av løsmassekartet. Løsmassekartet er videre brukt som grunnlag ved produksjon av de gelogiske 3D-modellene, presentert i avsnitt 3.5.3, både ved direkte bruk av grenser og ved visuell sammenligning.



Figur 35: Kvartærgeologisk kart i målestokk 1:15 000 over Bømoen, Voss. Kartet er utarbeidet etter feltarbeid i området, og er basert på observasjoner fra felt, resultater fra kornfordelingsanalyse av masseprøver fra området og digital høydemodell.

5.3.1 Tynnt morenemateriale

Overgangen mellom dalside og tilnærmet horisontal flate på Bømoen er godt synlig som et knekkpunkt i terrenget vist i den digitale høydemodellen. Den generelle grensen mellom morenen i dalsidene og breelvsavsetningene i dalbunnen er trukket på bakgrunn av dette, og støttes av feltobservasjoner beskrevet under.

I dalsiden mot nord, ved observasjonspunkt 25-30, ble det observert en hauglignende topp med beitemark for kyr. Vest for denne renner en tilløpsbekk til Randelva, som har dannet en erosjonsskråning langs vestsiden av haugen. På østsiden er det en lignende skråning uten aktivt bekkeløp. Disse skråningene er tydelige på den digitale høydemodellen. I bekkene ligger kantavrundete fyllittblokker, som kan være gjenliggende etter at finere materiale er vasket ut. Det kan også stamme fra høyere oppe i dalsiden. I stikkprøver av haugen ble det observert fraksjoner i sand og silt. Tverrsnitt langs erosjonssiden inneholder fraksjoner fra silt til stein. På toppen av haugen er det observert en mur av større kantavrundete blokker av fyllitt og gneis. Disse stammer trolig fra rydding før dyrking av marken, og dette sett i sammenheng med blokkene i bekkeløpet kan tyde på at det er større fraksjoner i massene enn det som er synlig i skråningen. Ved prøvetaking av P5 fremstod massene lite konsoliderte. Kornfordelingsanalyse av P5, hentet ut i skråning ved vestre del av haugen, lokasjon 110, er presentert i avsnitt 5.2.

I dalsidene sør og øst for Bømoen er det observert løsmasser bestående hovedsaklig av fyllitt, ved observasjonspunkt 32, 33, 38, 41. Kornene var avrundet til kantavrundet, og i fraksjoner fra leire til stein i knyttnevestørrelse. Ved prøvetaking av P3 og P4, vist i Figur 35, var det vanskelig å grave for hånd i massene, og de var tydelig overkonsolidert. Kornfordelingskurvene for P3 og P4 er presentert i avsnitt 5.2.

I forbindelse med bunnmorenen i dalsiden sør for Bømoen, ble det over Kinne gård, observasjonspunkt 35-37, funnet en mektig avsetning med godt sortert sand. Prøve P2 ble hentet ut her, og kornfordelingskurven er presentert i avsnitt 5.2. Over sanden ligger et lag med overgang til noe grovere usorterte masser, før det gikk over i en hardpakket, overkonsolidert bunnmorene, lignende massene i P3. Der sanden hadde rast ut hang bunnmorenen som et tak over massene, uten underliggende støtte, vist i Figur 36.



Figur 36: Bilde A viser godt sortert sand med horisontal lagdeling. Bilde B viser oversiktsbilde av sandavsetningen med overhengende bunnmorene, markert med rød striplet linje. Stikkstang (1 m) som målestokk, hele sandblotningen er >5 m høy.

På sørsiden av Raundalselva ble det observert morenemateriale nær elvebredden ved observasjonspunkt 55, og lenger sør ved observasjonspunkt 59. Det er tolket at grensen mellom morenemateriale og breelvsavsetninger går mellom disse to punktene. Denne tolkning styrkes med knekkpunkt i terrenget mellom dalside og flate, og synlige paleokanaler i den digitale høydemodellen, på sørsiden av elven. Morenemateriale observert ved elvebredden, er trolig flyttet dit med maskin for å jevne arealene for dyrking.

5.3.2 Randmorene – Tunshovden

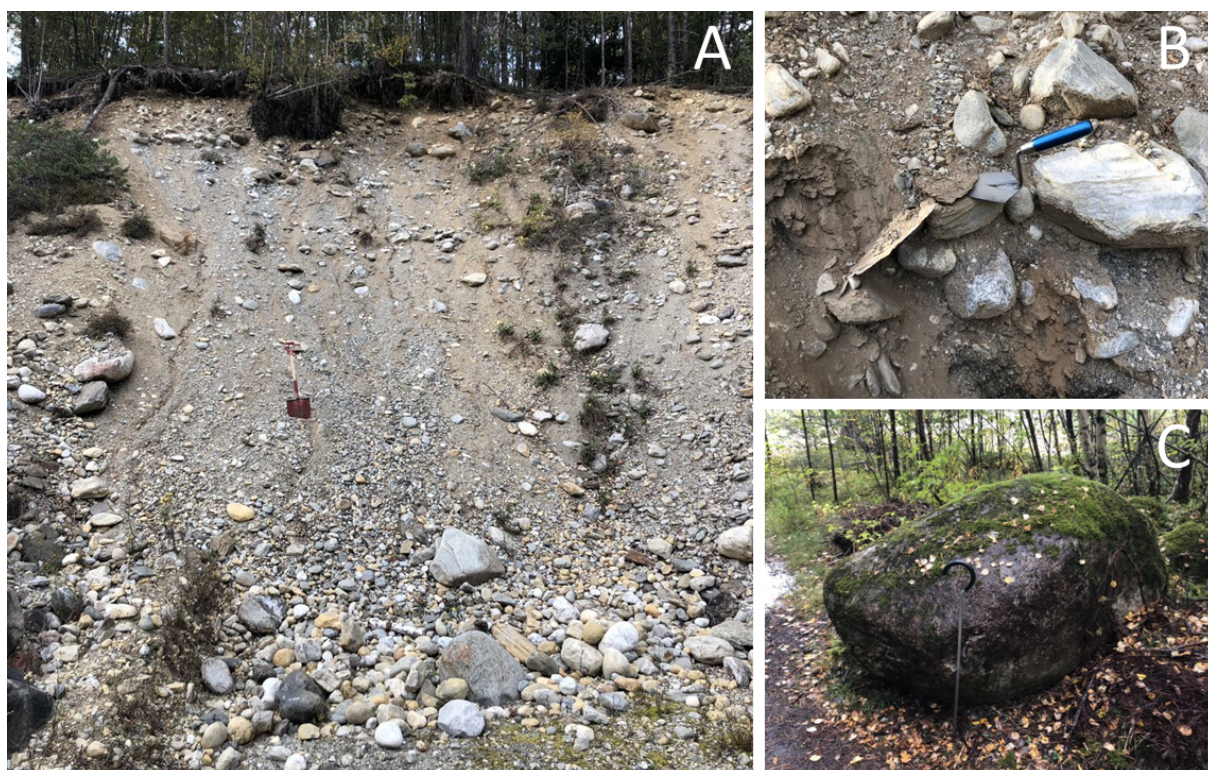
Sentralt på Bømoenflaten er det observert en ryggformet høyde, som er tolket som en randmorene i det kvartærgeologiske kartet. Ryggen er markert som Tunshovden på kart, og er omtalt av blant annet Anundsen og Simonsen (1967), beskrevet i avsnitt 2.1.5. Ryggen er orientert parallelt med dalen og er flat på toppen. Nordvest på ryggen er det spor av et tidligere massetak synlig på eldre flyfoto fra Norgebilder.no (Kartverket, 1938; Kartverket, 2020), som viser Tunshovden før, under og etter drift. Både på sør og nordsiden av ryggen bærer ryggens skråninger preg av erosjon fra tidligere elveløp, som er synlig på den digitale høydemodellen. Ryggen er del av gammelt militært øvingsfelt og flere skytegroper og vern er observert på toppen. I disse gropene var det enkelte steder mulig å observere løsmassene under topplaget med humus, og massene fremstår som diamikt. Klastene er kantavrundete, og inneholder silt- til blokkfraksjon. De største blokkene er

mellom 0,5 og 1 m. Georadarprofil målt over ryggen viser ingen klare strukturer mot dybden (Christian Rekke Bryn muntlig komm., 11.05.2023).

5.3.3 Breelvsavsetning

Store deler av flaten på Bømoen er kartlagt som breelvsavsetninger (Figur 35) (NGU, 2023c). På den digitale høydemodellen er det synlige forgreninger av paleokanaler på Bømoenflaten, og dette er tolket som en indikasjon på en tidligere sandurflate med hyppig skiftende elveløp. Generelt er Raundalselva avgrensende for breelvsavsetningene i sør, men det er også synlig elveløp sørøst og øst for elven, blant annet rundt Bjørkemoen ved NOBI massetak.

På flaten er det observert sand, grus, stein og blokk i varierende mengde og sammensetning. Klastene er stort sett avrundet til godt rundet, og består av gneis og noe fyllitt. Figur 37A viser eksempel på skråning fra et tidligere massetak. Enkelte av klastene er svært forvitret, og kan brytes opp ved håndkraft. Eksempel på en slik blokk av fyllitt er vist i Figur 37B. Flere større blokker er også observert på flaten, vist i Figur 37C. Disse er avrundet og ofte observert i forsenkninger i terrenget som sammenfaller med paleokanaler synlig på den digitale høydemodellen.

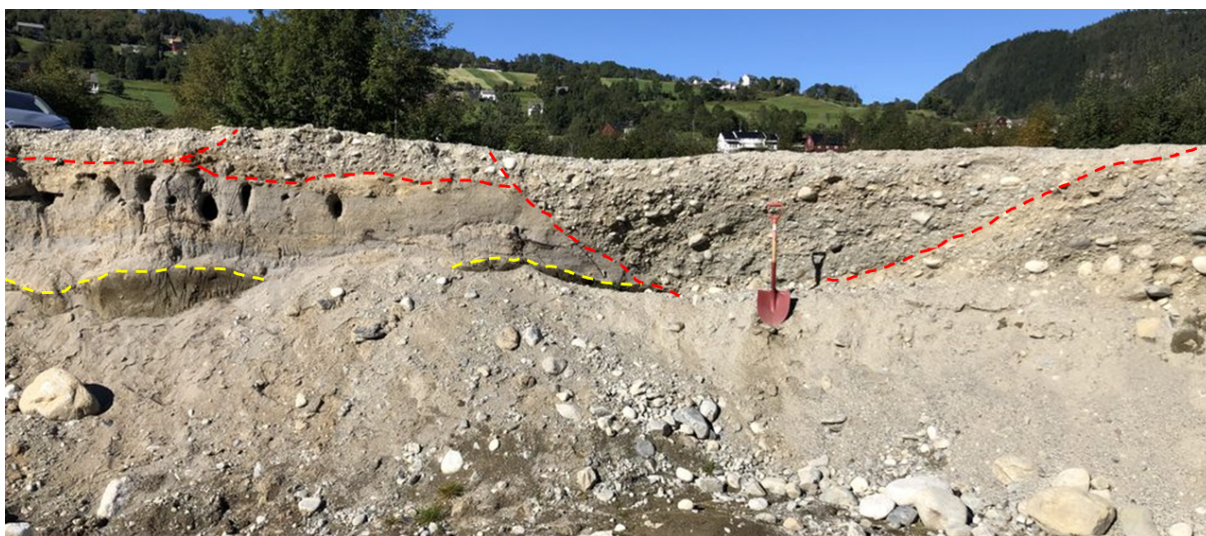


Figur 37: Bilde A viser skråning fra tidligere massetak. Bilde B viser nærbilde av avsetningene i bilde A. Bilde C viser avrundet blokk funnet på Bømoenflaten.

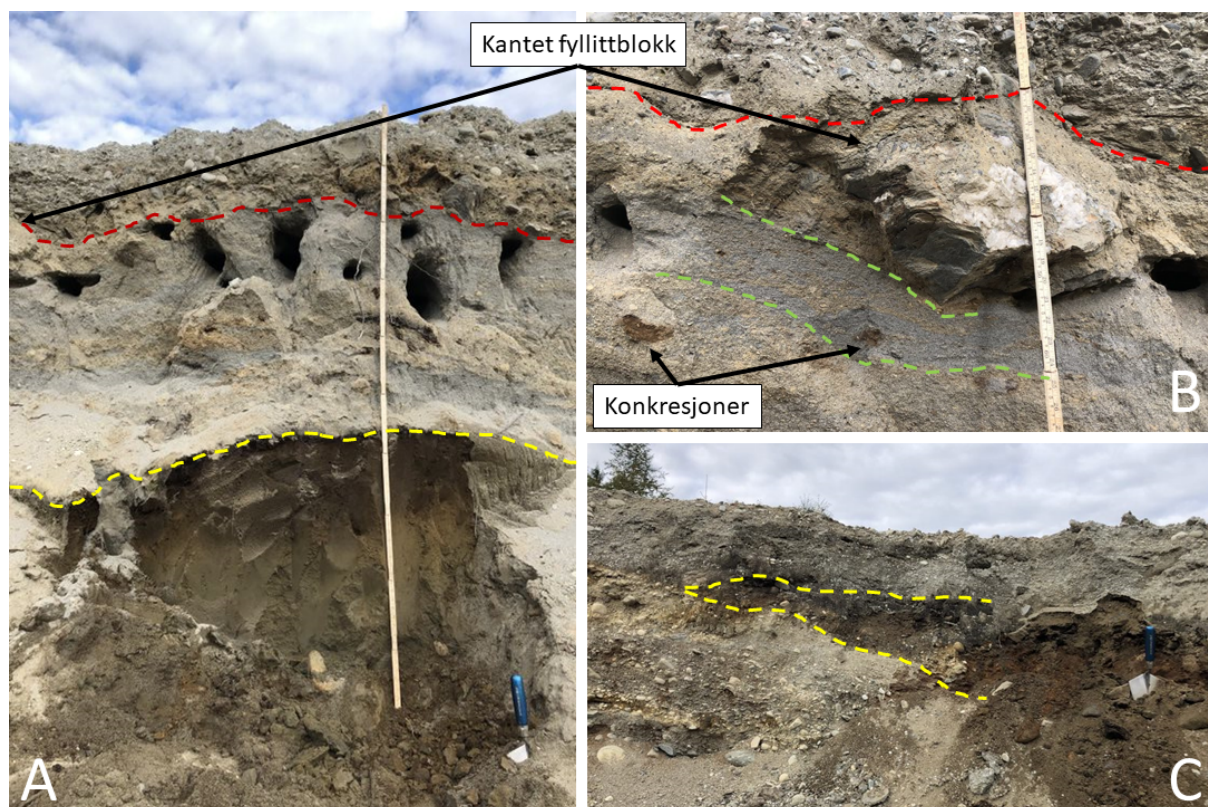
Sentralt på flaten, vest for Tunshovden ligger Barnatjernet i en forsenkning i Breelavsetningene, ved observasjonspunkt 113, 226 og 227. Området rundt består av myr, og det er observert blokker på overflaten i forsenkningen, nær bredden av tjernet. Tjernet har ingen synlige utløp eller innløp.

Rett vest for flystripa er det gravd en grop 1-3 m dyp. Her ble det, i sørvendt skråning, observert et 0,5 – 1 m tykt subhorisontalt lag med grovere kantavrundet til rundet materiale bestående av fraksjoner fra sand til stein. Laget var erodert ned i underliggende sorterete skrålag med sand og grus. Øvre lag var klastbåren, mens finere skrålag var matriksbåren. Underliggende skrålag var godt sementert og vanskelig å grave i ved måling av strøk og fall, presentert i avsnitt 5.1.2.

I samme grop ble det nederst i nord- og vestvendt skråning observert et godt sortert, brunt lag med silt, som kiltes ut i sorterte skrålag i vest, vist i Figur 39C. I nordvendt skråning har siltlaget en mektighet på 70 cm. Over disse 80 cm fin sand og silt, med rødbrune (rustfargede) konkresjoner <10 cm i diameter. I øvre del av sandlaget ligger en kantet blokk av fyllitt, med svakt deformerte lag under. Kornkresjoner og fyllittblokk er vist i Figur 39B. Øst i nordvendt snitt er et kanalløp, fylt med usortert materiale i fraksjon sand til stein, erodert ned i silt og sandlag. Mot vest ligger samme type materiale over silt og sand, med en semihorisonal erosiv grense. Figur 39A viser nordvendt skråning med tolket stratigrafi, som er beskrevet over. Figur 38 viser et oversiktsbilde av nordvendt snitt, der grove kanalløp er erodert ned i underliggende finere avsetninger.



Figur 38: Oversiktsbilde av nordvendt snitt i grop vest for flystripen. Rød striplet linje markerer kanalløp fylt av grovere masser erodert ned i godt sortert, sand. Gul striplet linje markerer grense mellom sortert fin sand, og brunt lag av silt og finsand. Legg merke til reir til sandsvaler i sandlaget.



Figur 39: Detaljbilder fra nord- og vestvendt snitt i grop vest for flystripe. Bilde A viser nærbilde av stratigrafisk sekvens. Bilde B viser kantet fyllittblokk ved grensen mellom fin sand og grovere topplag (rød striplet linje), og svakt deformerte strukturer i underliggende sand (grønn striplet linje). Bilde C viser utkiling av brunt silt og finsand lag (gul striplet linje) i vestvendt skråning.

5.3.4 Massetak i breelvsavsetninger

Området ved NOBI-Massetake på østsiden av Raundalselva er tolket som breelvsavsetninger. Det er i midlertid gitt en egen avsetningstype i det kvartærgeologiske kartet (Figur 35), ettersom masser er flyttet og til en viss grad utsatt for menneskelig aktivitet ved uttak av råstoff. Flere steder i massetaket er høye skråninger og snitt blitt studert, og vurdert til å avdekke enkelte av løsmassene med in-situ strukturer. Det er i samtlige skråninger observert erosiv grense mellom usortert govt topplag (tolket som sanduravsetning) og underliggende sorterte skrålag (tolket som deltaisk avsetning). Figur 40 viser sør- (A) og vestvendt (B) snitt, med grense mellom usortert topplag og underliggende sorterte skrålag.



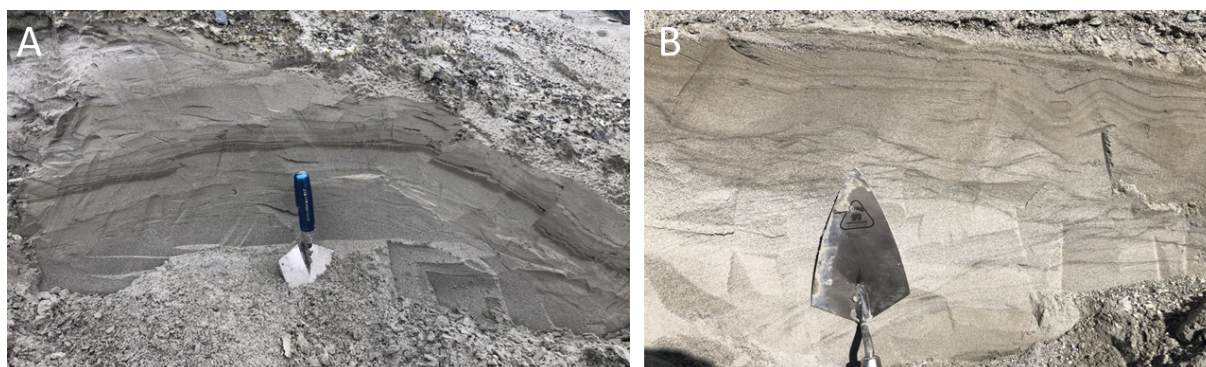
Figur 40: Grense mellom topplag og sorterte skrålag av sand grus i sørvendt(A) og vestvendt(B) skråning i NOBI-Massetak. Rød striplet linje markerer grensen til topplag, og grønn stiplet linje orientering av skrålag.

Det usorterte topplaget er klastbåren, og består av fraksjoner fra fin sand til blokk, $> 1m$ i diameter. Topplaget veksler mellom å fremstå som et irregulært horisontalt lag, og kanalløp som skjærer ned i underliggende masser. Grensen til underliggende skrålag oppleves som brå og tolkes generelt som erosiv. Mektigheten til topplaget varierer fra 1-2m opp til 6 m. Resultater fra fabricanalyse og bergartstelling gjennomført i topplaget er presentert i avsnitt 5.1.1 som F1, F2 og F3.

De underliggende skrålagene er matriksbåren, og har en svakt hellende lagdeling. Det er tatt strøk og fallmålinger av hellingen av skrålagene, presentert i avsnitt 5.1.2. Materialet består generelt av fraksjoner mellom grov sand og grus, men har innslag av stein i enkelte lag, opp til 0,5m. Masseprøve P1 er tatt i dette laget, og resultatet er presentert i avsnitt 5.2. Avsetningen med skrålag er betydelig mektigere enn topplaget, og nedre grense for avsetningen er ikke observert i snitt.

I en sørvestvendt skråning er det observert samme mektighet av skrålag i grov sand og grus, med erosiv grense mot overliggende grovere topplag. Avsetningen med skrålag i grov sand og grus kiler ut mot nord, og går over i sorterte lag av sand med skråsiktstrukturer.

Ved observasjonspunkt 161 er det observert lag av fin sand og tynne siltlag med kryssjikt-laminasjon, vist i Figur 41. Disse er flere steder foldet, og det forekommer reversforkastninger.

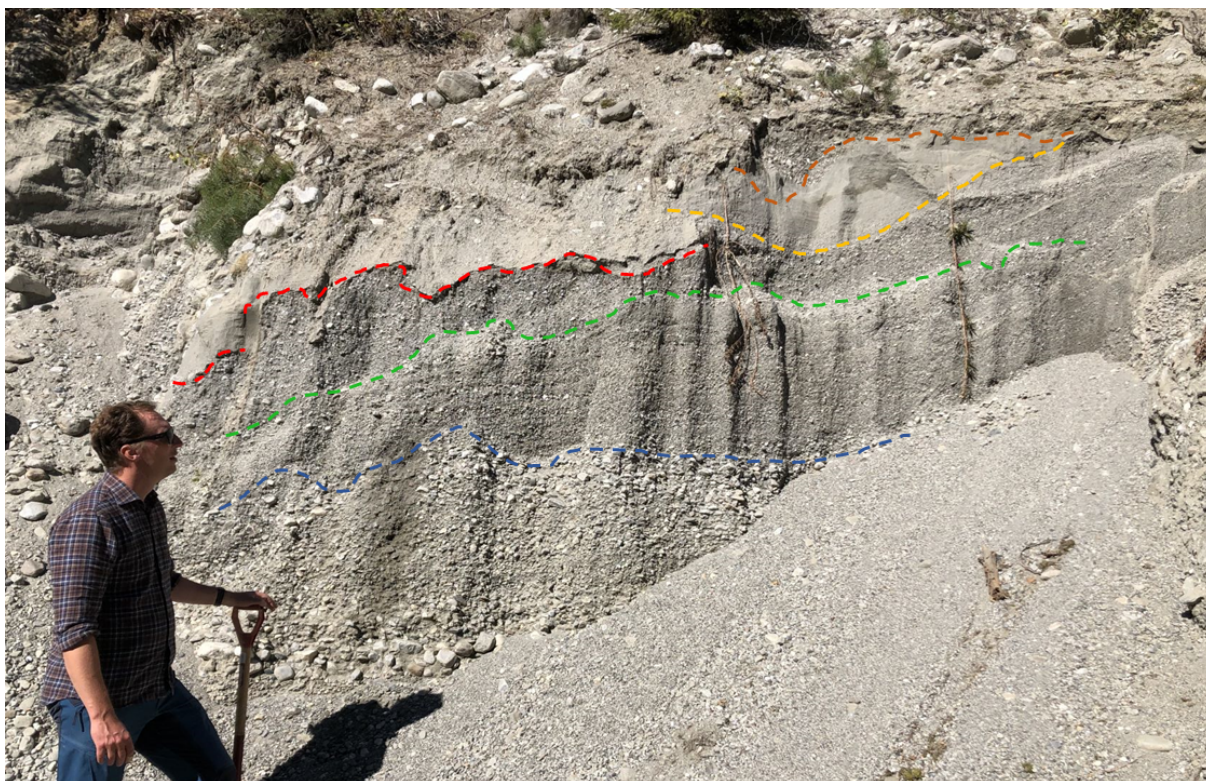


Figur 41: Sorterte lag av fin sand og silt med skråsiktstrukturer, og deformasjoner observert i NOBI massetak.

5.3.5 Rygg og haugformede breelvsavsetninger

Ryggformede breelvsavsetninger er kartlagt rett vest for utløpet av Raundalen, kalt Kyrkjeteigen. Det kartlagte området består av hauger og rygger og er godt synlige på den digitale høydemodellen. Disse er tolket som avsetninger fra nedsmelting av en dødis, bestående av esker- og kamekomplekser som lengre sammenhengende rygger og haugete avsetninger. Disse kjennetegnet av en kaotiske avsetninger med varierende kornstørrelse og sortering. Dette skyldes vekslende energi under avsetning når isen var tilnærmet dynamisk død og smeltevann rant ut ved fronten, under oppsprukken is og i sprekker på en tilfeldig måte.

Ved observasjonspunkt 13 er det kartlagt et snitt i en 15-20 m høy skråning tilhørende en av ryggformene i Kyrkjeteigen. Snittet er vist i Figur 42, og viser vekslende grove og fine lag, med groveste fraksjoner i bunnen. Det er også observert enkelte større blokker. Grensen mellom de ulike lagene var undulerende, og lagene i varierende grad sorterte. Et godt sortert lag med fint materiale i øvre del av snittet hadde krysslaminering, og indikerer et rolig fluvialt miljø (Nichols, 2009; Reading, 1996). En liten kanal fylt med grovere fraksjoner var erodert ned i det fine laget.



Figur 42: Snitt i ryggformet avsetning i Kyrkjeteigen, ved observasjonspunkt 13. Observerte horisonter er markert med striplede linjer i ulike farger.

I dalsiden sørøst for skytebanen, ved observasjonspunkt 46, er det i skråningen observert tversnitt av lignende karakter som fra andre siden av elven, beskrevet i avsnitt ovenfor. Vekslende grove og fine lag med avrundete klaster og fraksjoner mellom silt og stein, med varierende grad av sortering. Grensen mellom lagene var undulerende, og enkelte fine lag hadde skråstille strukturer med fall mot nord. Ved graving i snitt ble det avdekket tre ulike godt sorterte lag av fin sand og silt.

I nedre del av Kyrkjeteigen er det observert kildeutspring ved fire ulike lokasjoner. Disse er markert med punktsymbol i kvartergeologisk kart, Figur 35. Ved observasjonspunkt 9 og 10 er kildeutspringet observert i forbindelse med silthorison over grovere grus og sandlag, og disse lagene er målt til 105-110 moh med differentiell GPS. Grunnvann ved observasjonspunkt 9, springer ut i grover gruslag under silthorison. 3m lengre vest finnes

vekslende lag med sand og grus, og underliggende lag er vannmettet.

Mot øst, ved observasjonspunkt 11 og 12 springer grunnvann ut ved omtrent samme høyde som grunnvansutspring beskrevet ovenfor. Her er det imidlertid vannføringen betydelig høyere, og ved observasjonspunkt 11 ble det vurdert til flere liter per sekund, nok for å forsyne en liten bekk med en frisk vannstrøm.

5.3.6 Elveavsetning

Raundalselva har erodert seg ned i breelvsavsetningene, og har avsatt godt sorterte sedimenter langs elveløpet. Avsetningene er godt rundet, og fremstår imbrikerte. De består hovedsaklig av fraksjoner mellom grus og stein.

Langs elven er det flere steder større fjellblottninger av fyllitt. Dette er synlig i gjelet ved utløpet fra Raundalen. Her er det i tillegg observert flere gjettegryter i ulik størrelse, som tyder på perioder med mye energi, når breen fremdeles dekket området. Ved passpunktet ved Palmafossen går den meandrerende elven inn i et bratt gjel, på vei mot Vossavangen. Her er det også flere store fjellblottninger. Generelt er det flere steder langs elven i sørlig del av Bømoen flaten, vekslende mellom godt sorterte elveavsetninger og fjellblottninger av fyllitt.

5.3.7 Tynt humusdekke

I vestenden av Bømoenflaten er det kartlagt to høyder med tynt humusdekke. På kart er disse kaldt Leikeshovden. Under feltarbeid ble det observert flere fjellblottninger på høydene. Ved stikkprøver ble det etter 10-20 cm med torv påtruffet fjell, og dypere undersøkelser var ikke mulig. På østsiden av høyden er det observert store blokker av fyllitt, vist i Figur 43. Landskapet består av tuer, og i stiene er det mulig å observere stein som stort sett består av kantet fyllitt. Grense rundt høydene, mellom fjell og breelvsavsetning, er tegnet etter den digitale høydemodellen, og sett i sammenheng med overgang til større andel av kantavrundet til rundet stein av gneis i stiene.



Figur 43: To kantede blokker av fyllitt, på østsiden av Leikeshovden. Rød stolpe festet til tre sentralt i bilde er 0,5m lang.

5.4 Modellering i Leapfrog

Data fra borehull og tolkede georadarprofil levert av COWI AS, samt GPS-målinger og observasjoner fra feltarbeid på Bømoen er brukt til å lage geologiske modeller av løsmassemektighet og fordeling i dalbunnen ved å bruke *Leapfrog Geo*. Innsamlede datapunkt er sett i sammenheng med geologisk forståelse opparbeidet gjennom feltarbeid og litteraturstudier, som er brukt ved valg av parametere og visuell vurdering av modellen. Dette er nærmere beskrevet i avsnitt 4. I dette delkapitlet vil det presenteres to ulike modeller av fjelloverflaten i dalbunnen. Løsmassevolumet mellom fjell- og terrengoverflaten er brukt som begrensning for tre raffinert geologiske modeller av løsmassefordelingen basert på korntørrelse. Tverrsnitt fra to av de raffinerte modellene vil også bli presentert.

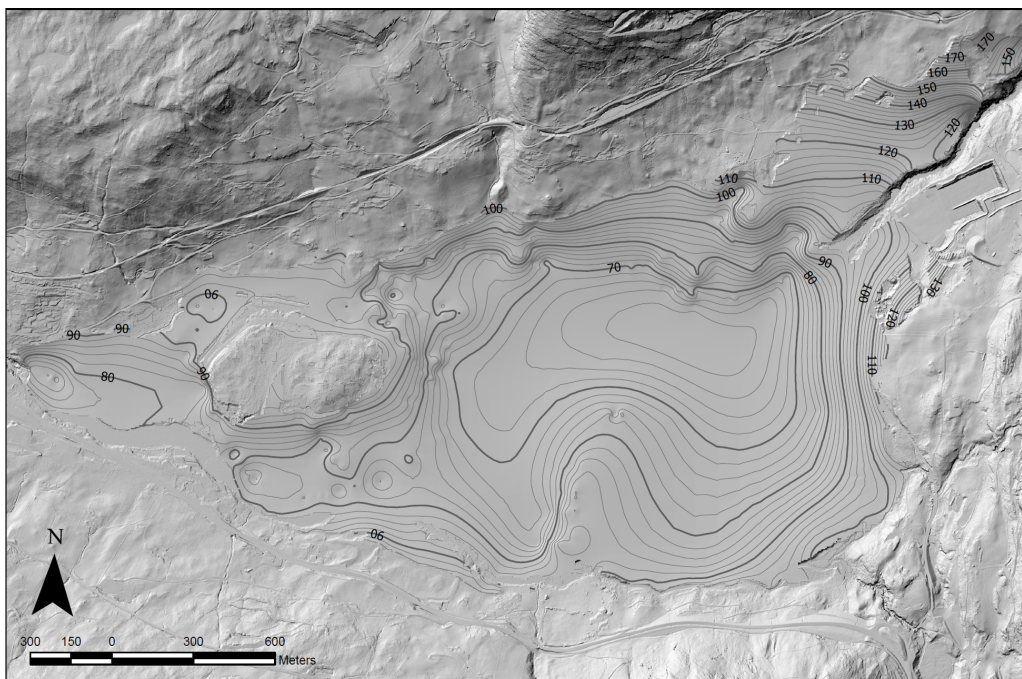
5.4.1 Dybde til fjell

Fra datapunktene ble to ulike fjelloverflater generert, der ulike strukturelle trender ble brukt langs polylinjen som avgrenset den modellerte flaten. Dette er nærmere beskrevet i avsnitt 3.5.2. Tabell 16 viser statistikk for de to fjelloverflatene V1 og V2, og inneholder strukturell trend, maksimal dybde, gjennomsnittlig dybde og totalt volum av løsmasser mellom fjell- og terrengoverflaten for begge modellene. Maksimal dybde er marginalt forskjellig i de to modellene, der V1 er $< 0,5m$ dypere enn V2. Gjennomsnittlig dybde er størst i V2, og dette fører til et omtrent $500\ 000\ m^3$ større volum av løsmasser.

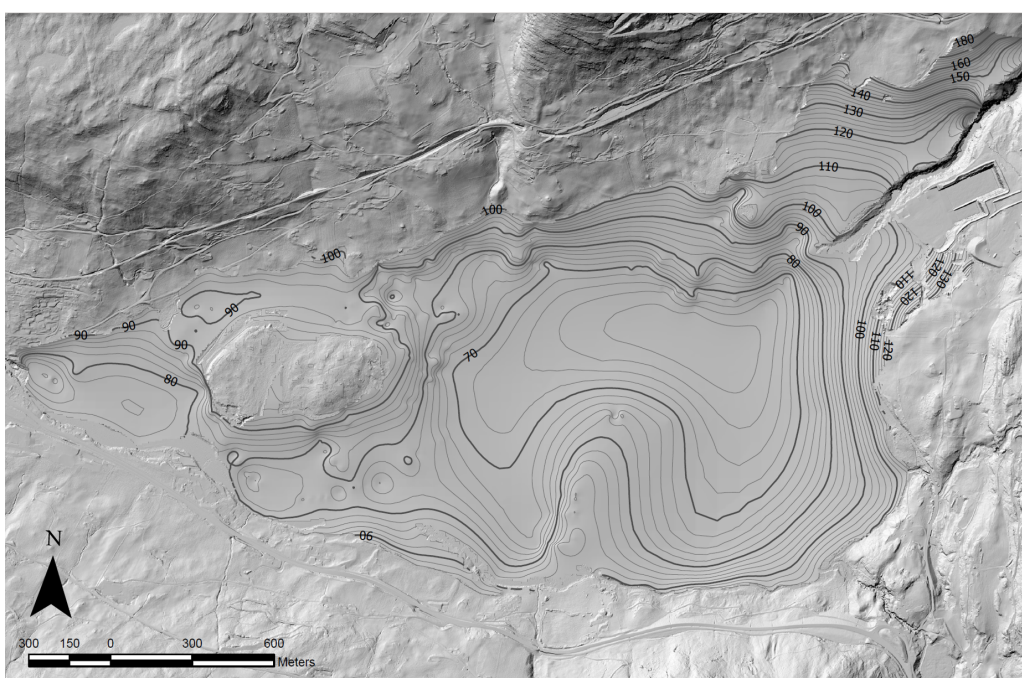
Tabell 16: Volum, dybde, og strukturell data for fjelloverflate V1 og V2.

	V1	V2
Strukturell trend (°)	15	25
Maksimal dybde (m)	49,45	49,16
Gjennomsnittlig dybde (m)	17,03	17,88
Volum av løsmasser (m³)	60 597 000	65 598 000

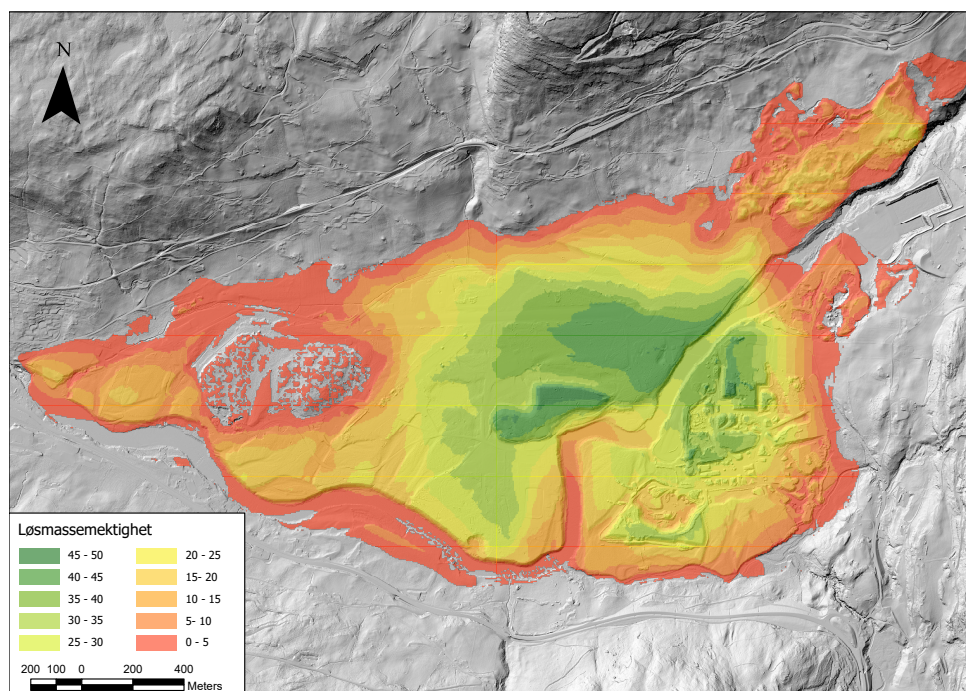
Figur 44 og 45 viser skyggerelieff og høydekoter av de modellerte fjelloverflatene generert i *Leapfrog Geo*, sammen med topografi fra dalsidene. Figur 47 og 47 viser dybde til fjell fra terrengoverflaten i område, med en oppløsning på 5m. Ved sammenligning av figurene fra de ulike fjelloverflatene er forskjeller synlig vest og nord for Leikeshovden. I disse områdene er det verken borehull eller tolkede georadarprofiler.



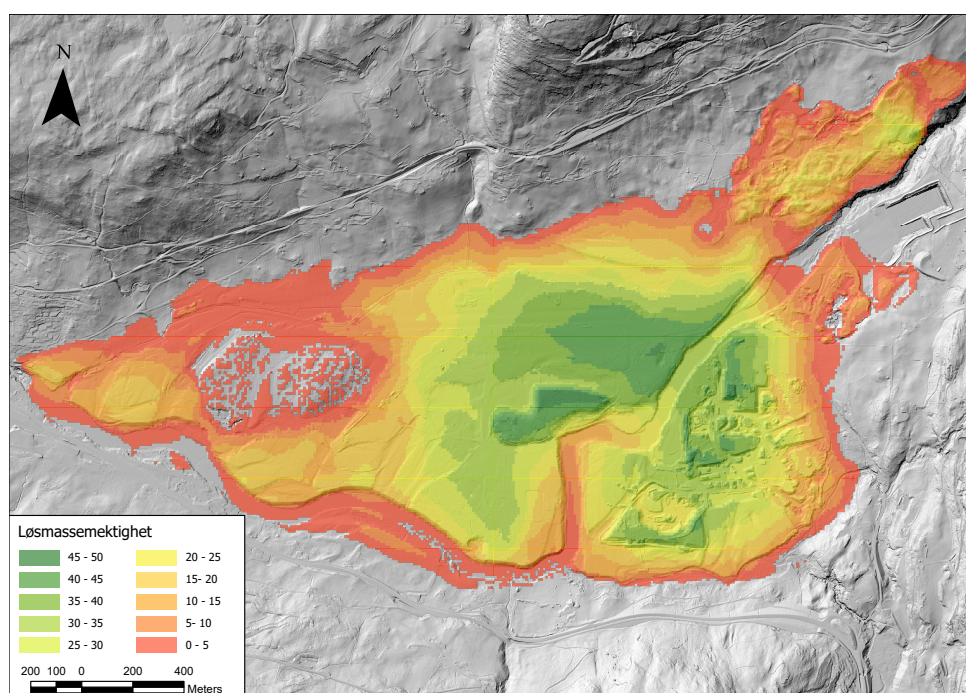
Figur 44: viser fjelloverflate V1 modellert i *Leapfrog Geo*, med tilhørende høydekoter. Topografi i dalsidene er hentet fra Kartverket (2016).



Figur 45: viser fjelloverflate V2 modellert i *Leapfrog Geo*, med tilhørende høydekoter. Topografi i dalsidene er hentet fra Kartverket (2016).



Figur 46: Viser modellert dybde til fjell fra terrengoverflaten i V1. Topografi brukt som vertikal avgrensning er hentet fra (Kartverket, 2016).



Figur 47: Viser modellert dybde til fjell fra terrengoverflaten i V2. Topografi brukt som vertikal avgrensning er hentet fra (Kartverket, 2016).

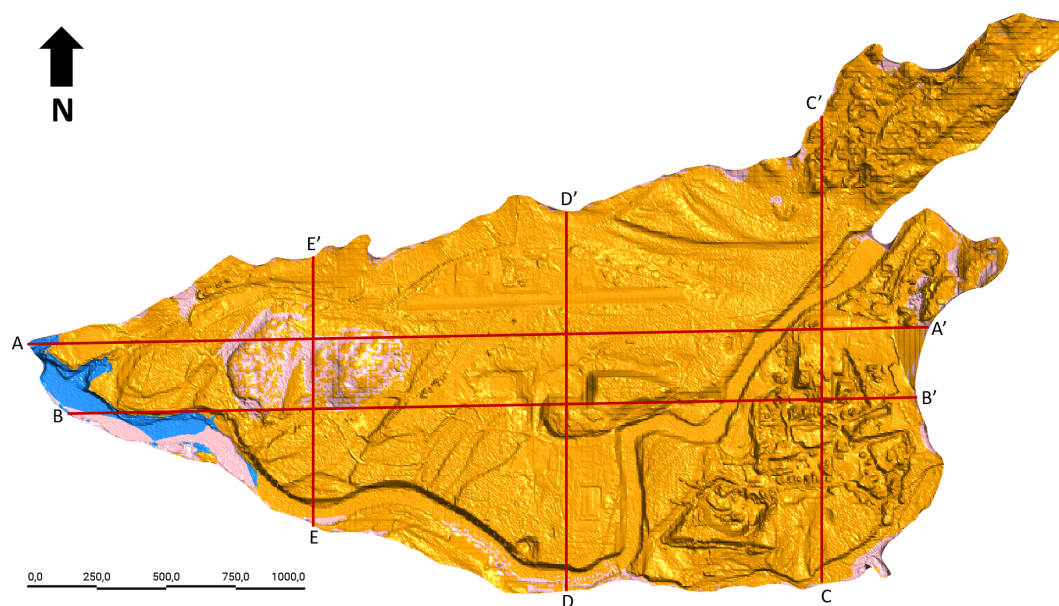
5.4.2 Løsmassefordeling på Bømoen i 3D

Videre ble løsmassevolumet mellom den modellert fjellflatene og terrengoverflaten raffinert i to geologisk 3D-modeller inndelt i finstoff og grovere kornfraksjoner. Grenseflaten ble modellert som en avsetning. Lik global trend er valgt for begge modellene, og er beskrevet i avsnitt 4. Tabell 17 viser en oversikt over totalt estimert volum av løsmasser grus og sand og finstoff i de to modellene.

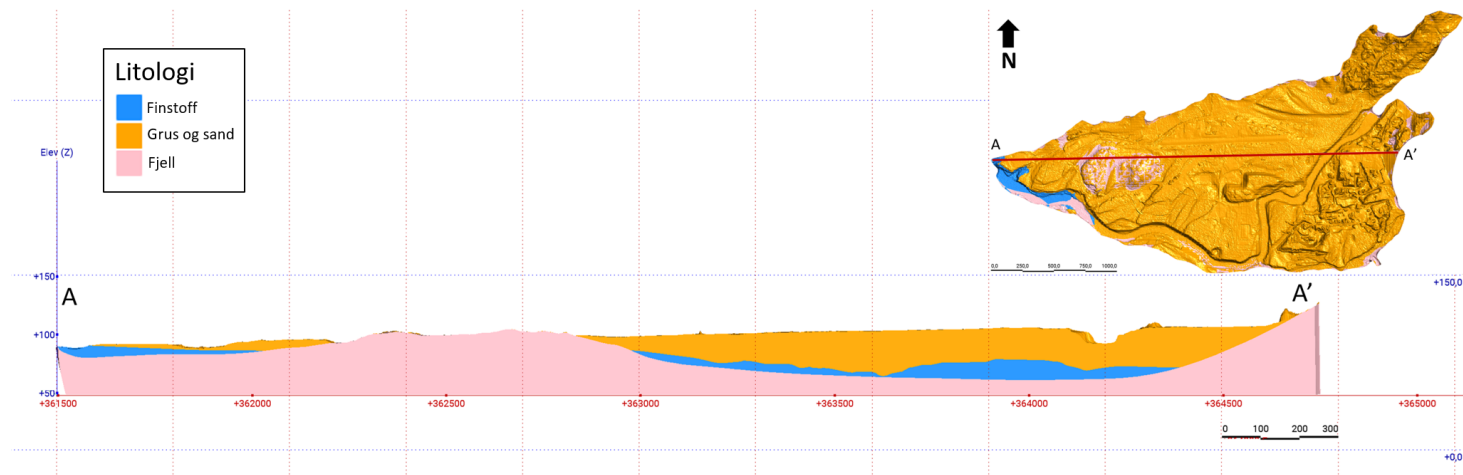
Tabell 17: Volum løsmasser, Grus og sand, og Finstoff fra de to raffinerte 3D-modellene V1 og V2.

Litologi	Volum V1	Volum V2
Grus og sand	50 063 000	52 239 000
Finstoff	10 534 000	13 359 000
Løsmasser	60 597 000	65 598 000

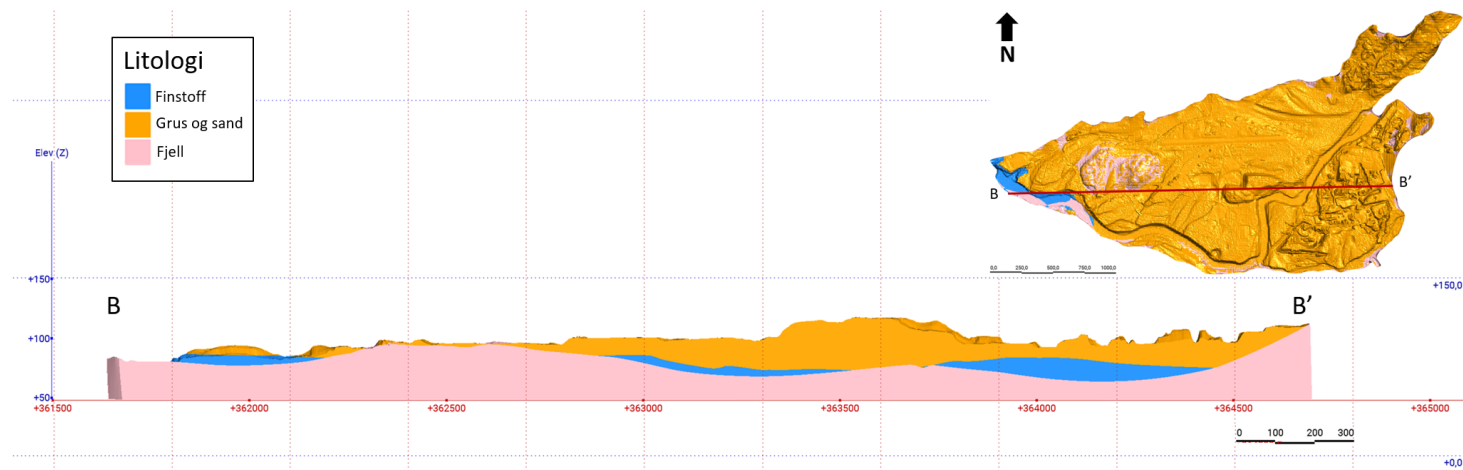
Figur 48 viser en oversikt over snitt AA'-EE' i den geologiske 3D-modellen V2. Det er hvert å merke seg at kontaktflaten mellom Finstoff og Grus og sand varierer mellom en glatt og en mer undulerende overflate. I tillegg er løsmassemektigheten lengst øst i modellen inndelt i Finstoff og Grus og sand til tross for at det kun er borehull som definerer dybde til fjell i dette området.



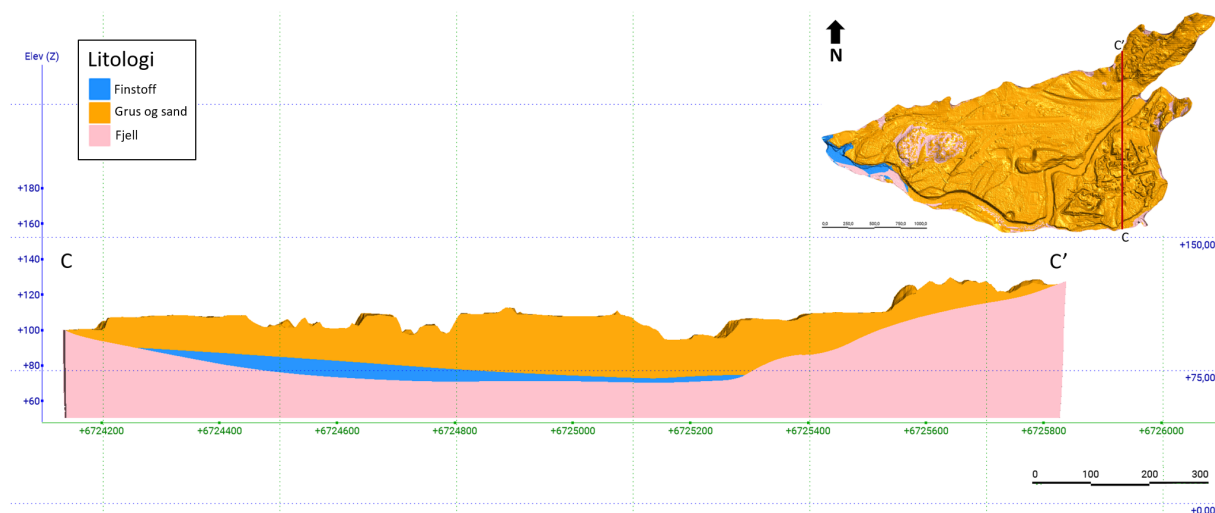
Figur 48: Oversikt over snitt AA'-EE' i geologiske 3D-modeller presentert i Figur 49-58. Snitt er hentet ut i Scene View i *Leapfrog Geo*.



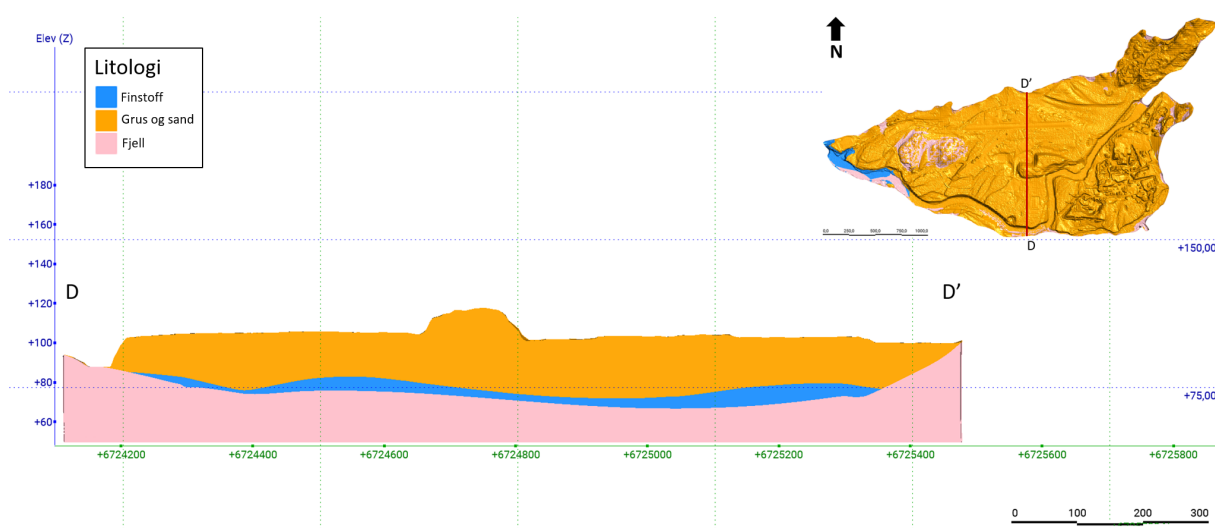
Figur 49: Viser snitt A-A' fra vest til øst, i raffinert modell inndelt i fjell, finstoff og Grus og sand (V1). Modellen er produsert i *Leapfrog Geo*, vertikal skala er 1:3.



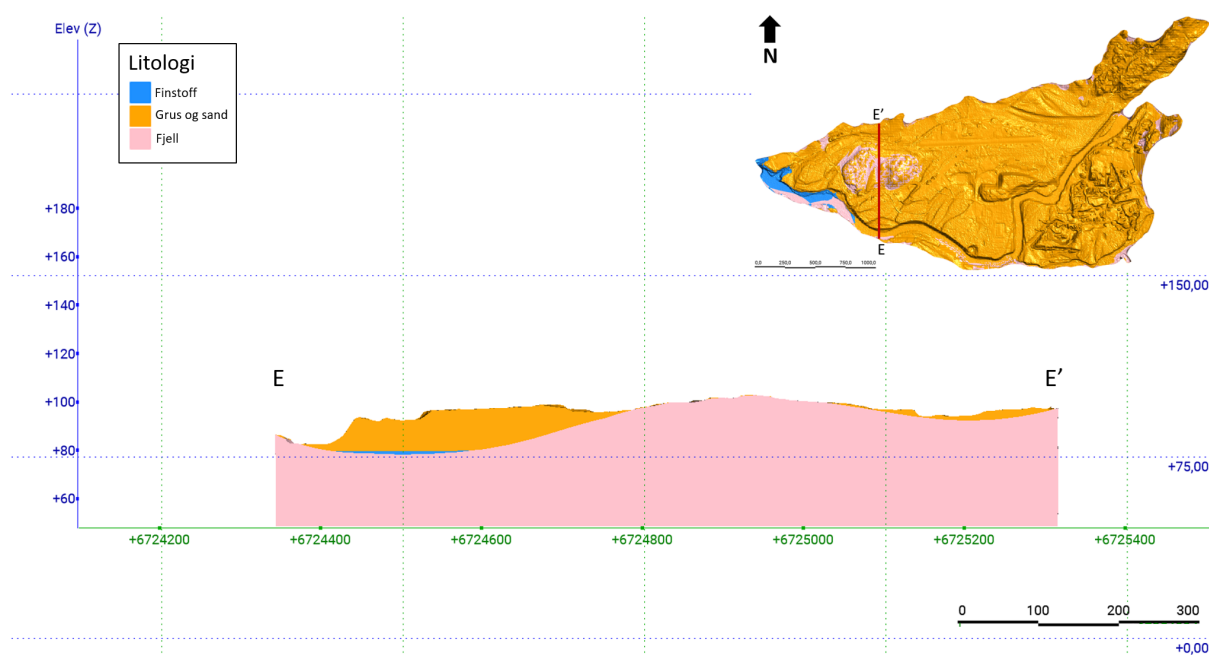
Figur 50: Viser snitt B-B' fra vest til øst, i raffinert modell inndelt i fjell, finstoff og Grus og sand. Modellen er produsert i *Leapfrog Geo*, vertikal skala er 1:3.



Figur 51: Viser snitt C-C' fra sør til nord, i raffinert modell inndelt i fjell, finstoff og Grus og sand. Modellen er produsert i *Leapfrog Geo*, vertikal skala er 1:3.



Figur 52: Viser snitt D-D' fra sør til nord, i raffinert modell inndelt i fjell, finstoff og Grus og sand. Modellen er produsert i *Leapfrog Geo*, vertikal skala er 1:3.



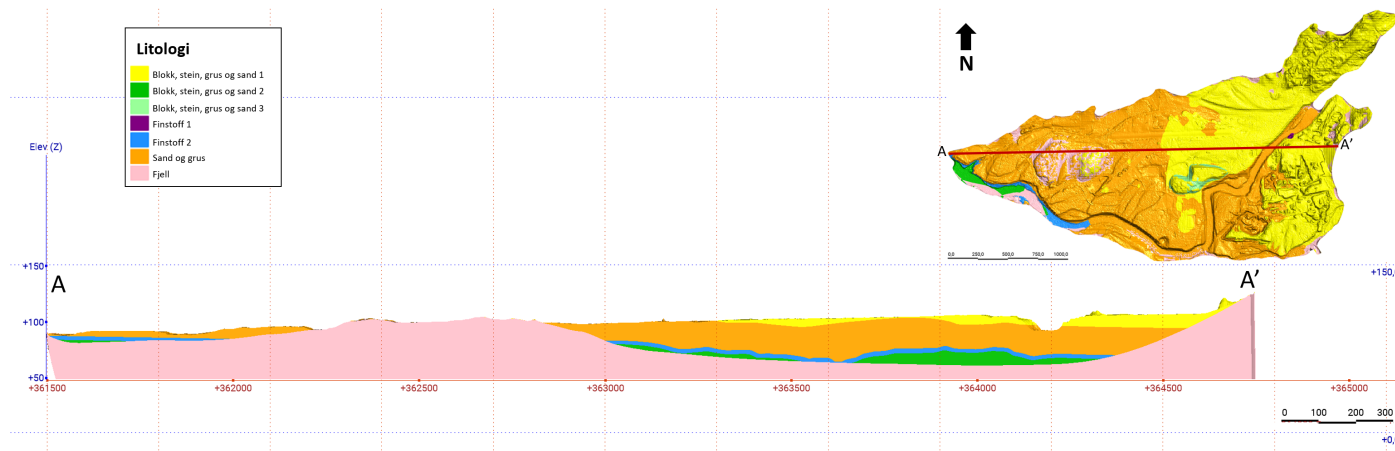
Figur 53: Viser snitt E-E' fra sør til nord, i raffinert modell inndelt i fjell, finstoff og Grus og sand. Modellen er produsert i *Leapfrog Geo*, vertikal skala er 1:3.

Løsmassevolumet generert ved fjelloverflate V2 er brukt som begrensning for to nye raffinerte geologiske modeller, basert på en mer detaljert gruppering av kornstørrelse, beskrevet i avsnitt 3.5.3. I den første modellen (V2.1) er Blokk, stein, grus og sand2 modellert som en intrusjon. I den andre modellen (V2.2) er samme kategori modellert som en avsetning, nederst i den stratigrafiske sekvensen. Tabell 18 viser en oversikt over kategoriene, med totalt estimert volum av hver kornfraksjon for begge modeller. Det er en betydelig forskjell i volum av Blokk, stein, grus og sand2 i de ulike modellene. Kategoriene Finstoff2, Sand og grus og Blokk, stein, grus og sand1 påvirkes også, og dette er kategoriene som sammen er modellert som avsetninger i en startegrafisk sekvens. Blokk, stein, grus og sand 3 og Finstoff1 er modellert som intrusjoner, og er ikke påvirket av forskjellen i modell V2.1 og V2.2.

Tabell 18: Volum av ulike litologier mellom kontaktflatene i modellene V2.1 og V2.2.

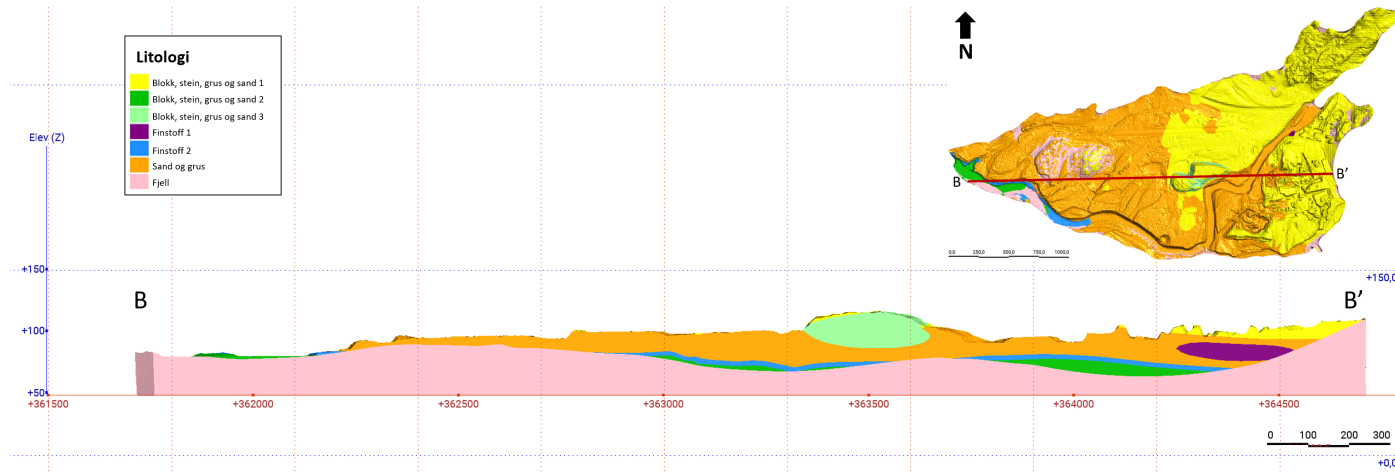
Litologi	V2	
	Volum(m^3) - V2.1	Volum(m^3) - V2.2
Blokk, stein, grus og sand3	1 577 100	1 577 100
Blokk, stein, grus og sand2	425,4	4 968 700
Blokk, stein, grus og sand1	10 261 000	10 386 000
Sand og grus	44 321 000	42 732 000
Finstoff1	815,15	815,15
Finstoff2	8 594 200	5 089 400

De samme fem snitt AA'-EE' vist i Figur 48, er brukt til å hente ut profiler av den detaljerte modellen. Disse er presentert i Figur 54-58, og har en vertikal skala 1:3. I likhet med modell V2 er kontaktflatene i varierende grad undulerende og glatte.

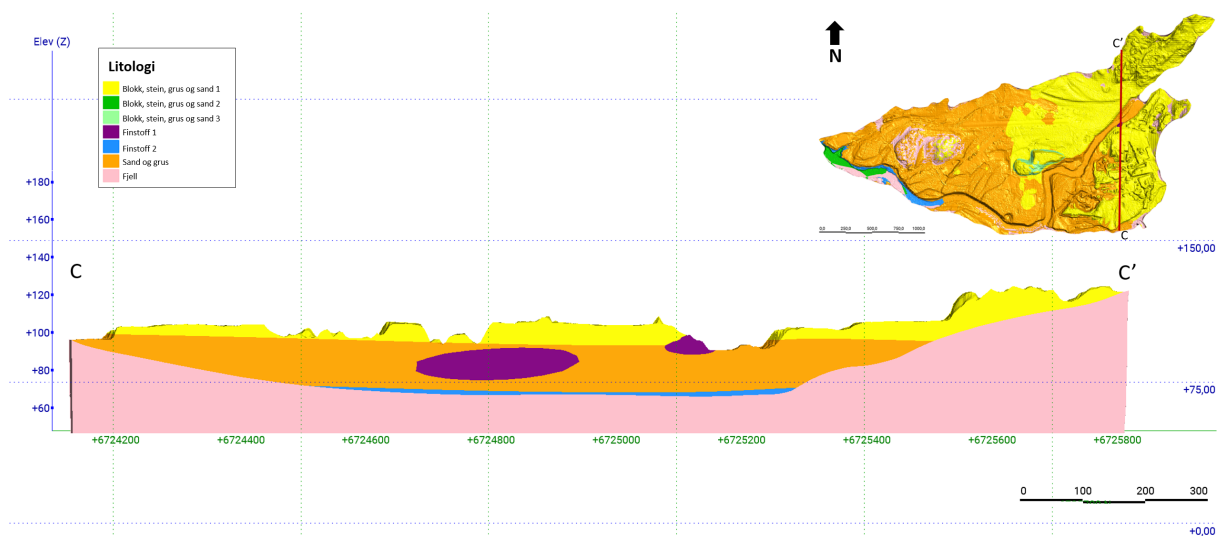


Figur 54: Viser snitt A-A' fra øst til vest, i en av raffinert 3D-modell med detaljert fordeling av løsmassene (V2.2). Modellen er produsert i *Leapfrog Geo*, vertikal skala er 1:3.

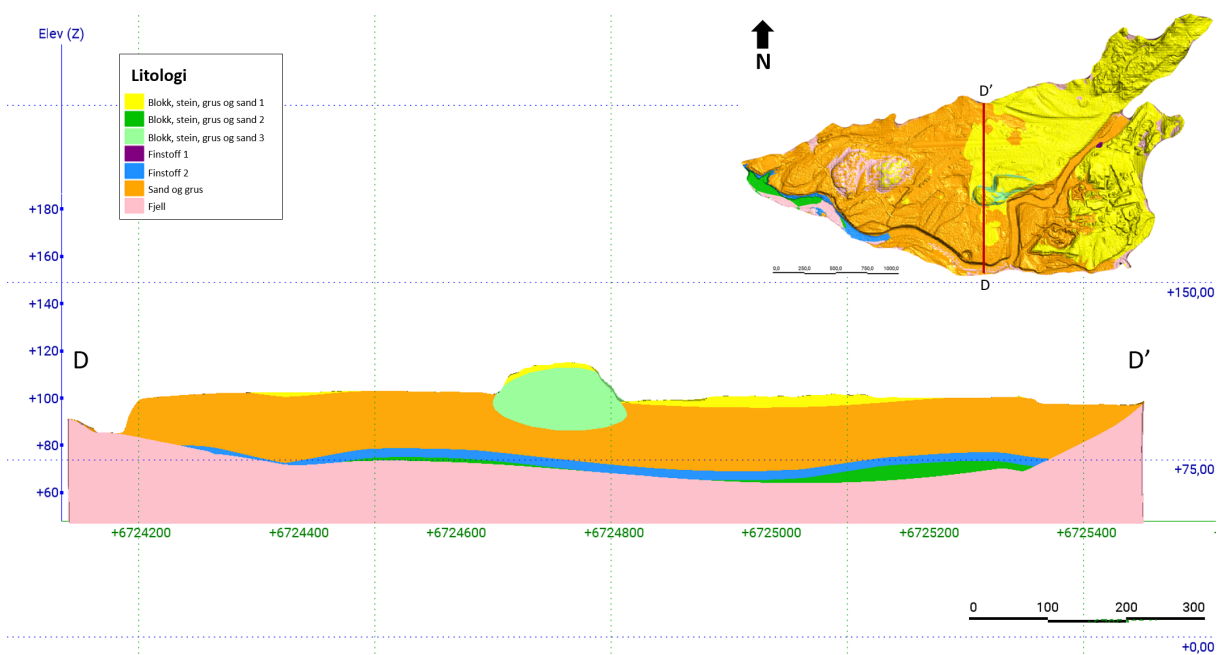
87



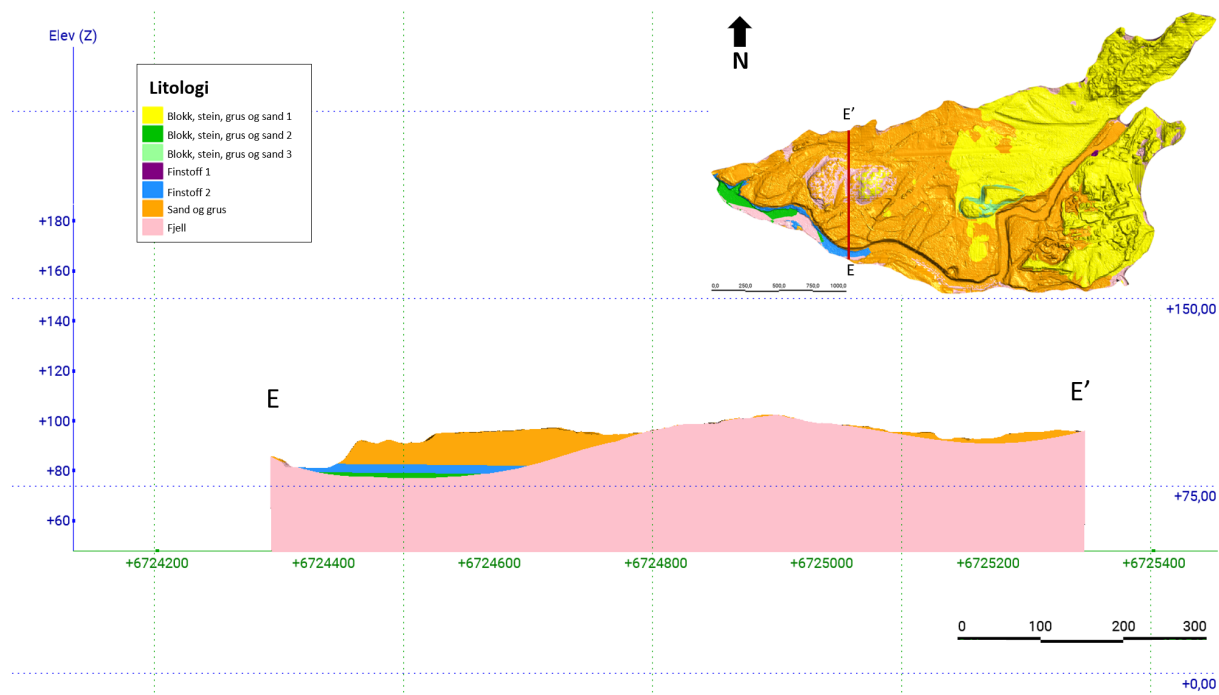
Figur 55: Viser snitt B-B' fra øst til vest, i en av de raffinert 3D-modell med detaljert fordeling av løsmassene (V2.2). Modellen er produsert i *Leapfrog Geo*, vertikal skala er 1:3.



Figur 56: Viser snitt C-C' fra sør til nord, i en av de raffinert 3D-modell med detaljert fordeling av løsmassene (V2.2). Modellen er produsert i *Leapfrog Geo*, vertikal skala er 1:3.



Figur 57: Viser snitt D-D' fra sør til nord, i en av de raffinert 3D-modell med detaljert fordeling av løsmassene (V2.2). Modellen er produsert i *Leapfrog Geo*, vertikal skala er 1:3.



Figur 58: Viser snitt E-E' fra sør til nord, i en av de raffinert 3D-modell med detaljert fordeling av løsmassene (V2.2). Modellen er produsert i *Leapfrog Geo*, vertikal skala er 1:3.

6 Diskusjon

6.1 Tolkning av isavsmeltingshistorikk i Bømoen og forventet stratigrafisk rekkefølge

Gjennom litteraturstudier, feltarbeid og tredimensjonal visualisering av innhentet data, er det forsøkt å etablere en geologisk forståelse av landskapsutviklingen i og rundt prosjektområdet på Bømoen. Dette er gjort for å få en bedre forståelse av den romlige fordelingen av løsmasser som modelleres i *Leapfrog Geo*. I dette delkapittelet vil tolkning av observasjoner og innhentet data benyttes til å rekonstruere isavsmeltingshistorikken i området, og for å etablere en stratigrafisk oppbygging av Bømoenflaten som deretter vil ligge til grunn for modelleringen.

6.1.1 Mulig interstadial sandavsetning

Den eldste avsetningen som er observert i feltarbeidsområde er antatt å være den massive avsetningen av sortert sand med svak lagdeling som ble funnet i dalsiden sør for Bømoen, vist i løsmassekart (Figur 35). Sandavsetningen lå under et lag med godt konsolidert bunnmorene, og det er derfor tenkelig at sanden har vært overkjørt av innlandsisen som avsatte bunnmorene. Sandavsetningene er trolig avsatt før et brefremrykk, ettersom den er lokalisert under bunnmorenen i stratigrafien.

Høyden i dalsiden og kornfordelingen i avsetningen tilsier at dette kan ha vært avsatt i strandsonene til en lateral isdemt bresjø, under en periode med mildere klima, der isen har smeltet ned til dette nivået i dalsiden. Vann har større sorterende evne enn is, og en bredemt sjø kan forklare den godt sorterte avsetningen (Reading, 1996). På grunn av høyden i dalsiden antas avsetningene ikke å være en marin standavsetning, ettersom øvre marin grense i områdene rundet er lavere (Mangerud *et al.*, 2011).

Etter en mild periode må breen ha vokst på ny, slik at isen har dekket området. Datering ved for eksempel radiokarbon- eller luminiscensmetodene er nødvendig for å eventuelt kunne si når denne interstadialen har funnet sted, og om den kan korreleres med andre varmere perioder. Det er likevel trolig at avsetningen stammer fra en varmere periode eventuelt før siste istids maksimum og tilbaketrekning, ettersom den er lokalisert relativt høy i dalsiden, og store mengder is må ha overlappet området deretter slik at overliggende bunnmorene har blitt overkonsolidert (Benn og Evans, 2010). Mangerud og Skreden (1972) observerte igjenfylte iskiler i sedimenter som var overlappet av morene litt nordvest for Bømoen. Det er tolket at disse iskilene har blitt dannet under eller etter en tilbaketrekning av isen i Bølling-Allerød, for å deretter bli dekket av morene under brefremrykk i Yngre Dryas. Mangerud og Skreden (1972) utelukker heller ikke at denne lokaliteten kan representere en eldre interstadial før siste istids maksimum.

6.1.2 Bunnmorene

Avsetninger observert i dalsidene mot nord, sør og øst er tolket som moreneavsetninger. På den digitale høydemodellen (Kartverket, 2016) og under feltarbeid, fremstår disse som utjevne av topografien, men hyppige fjellblottinger tyder på at løsmassedekket generelt er tynt i dalsidene. Ved observasjoner i dalsiden sør og øst for Bømoen fremstår løsmassene overkonsolidert og svært vanskelig å grave i manuelt med spade. Det antas at disse er overkonsoliderer av vekt fra overliggende is. Kornfordelingsanalyse viser at prøven var velgraderte, og hadde et finstoffinnhold $>10\%$. Det er ikke observert store blokker i avsetningen, og største fraksjon ved uthenting av masseprøver var $< 10\text{cm}$. Dette stemmer overens med beskrivelse av bunnmorene i avsnitt 2.3.1.

Ettersom det er kartlagt bunnmorene i dalsidene rundt Bømoenflaten, er det sannsynlig at slike avsetninger finnes i nederste del av stratigrafien, som en del av løsmassemektigheten på Bømoen. Eventuell bunnmorene vil være overlagret av marine- og deltaavsetninger, og ettersom dette er avsatt under lokal erosjonsbasis (Sigmond, Bryhni og Jorde, 2013; Brattli, 2015), antas det at disse vil legge seg som en avsetning over eksisterende bunnmorene. Man kan derfor anta at deler av bunnmorenen er gjenværende under de marine avsetningene.

Bunnmorenen i alle dalsidene er godt konsoliderte, som tilsier at de har vært overlagret av mye vekt fra ismassene (Benn og Evans, 2010). Dette er også understreket av sammenpressede aggregat av materiale som ble funnet under labanalysene. Den tykke ismassen antas ha overlagret morenemateriale i dalbunnen også. En eventuell bunnmorene under finstoffet vil i så tilfelle mest sannsynlig også være overkonsolidert. Dette gir økt styrke, og bunnmorenen vil være vanskelig å erodere bort.

Grensen mellom bunnmorene og overliggende avsetninger er ikke synlig i georadarprofiler. Dette kan forklares ved at georadarsignalet dør ut ved høyt finstoff og vanninnhold (Ulvik og Wolden, 2006), som finnes i flere borehull. Dette finstoffet antas å drapere over bunnmorene som ligger som et tynt lag over fjelloverflaten i dalbunnen, slik det er vanlig i de fleste norske dalfører under marin grense (Benn og Evans, 2010; Ramberg *et al.*, 2006). De fleste borehull er også relativt grunne, og påviser verken fjell eller morene. Borehull BP7-9 og 15 viser imidlertid mer kantet fyllitt blandet med finstoff ved nedre masseprøve under sortert finsand og silt. Dette er tolket som bunnmorene ved modellering i *Leapfrog Geo*, men det kan også være forvittringsmateriale fra berggrunnen, ettersom berggrunnen under løsmassemektigheten på Bømoen er kartlagt som fyllitt (NGU, 2023b). Norske morener består likevel ofte av lokale bergarter (Brattli, 2015).

6.1.3 Utbygging av et israndsdelta (deltafacies)

Det er veletablert i litteraturen at Bømoen er avsatt som et israndsdelta under tilbaketrekningen av innlandsisen etter siste ismaksimum (Dahl, 2005; Anundsen og Simonsen, 1967; Mangerud *et al.*, 2019). Det er gjort flere observasjoner under feltarbeidet i området som støtter disse tolkningene. I samtlige snitt i NOBI-massetak er det observert mektige

avsetninger med sorterte skrålag av sand og grus. Disse er tolket som skrålagene i et delta. Det er også observert mektighet med grov sand og grus i grop ved flyplass, og disse avsetningene har en subhorisontal lagdeling. Disse er også tolket som deltaavsetninger, ettersom de ligger under en erosiv grense og er finere enn lagene over, tolket som sanduravsetninger. Total mektighet av laget er ikke observert i disse snittene. Elvedeskjæringer i sør er brukt som en indikasjon på mektighet i de ytre delene av avsetningen, og det antas at mektigheten øker mot de sentrale delene av dalen.

Masseprøve P1 er hentet ut i fra tolkede deltaskrålag. Disse er klassifisert som middels gradert sandig-grusig materiale etter kornfordelingen. Etter observasjoner i felt var hvert enkelt lag godt sortert, og en middels gradering kan skyldes at prøven ble tatt på tvers av lagene, og at hvert enkelt lag er bedre sortert en kornfordelingen i masseprøven tilsier. Ved klassifiser etter Selmer-Olsen metoden (Selmer-Olsen, 1977), er masseprøven klassifisert som en morenegrus (ablasjonsmorene). Denne klassifiseringen er ikke forenlig med felttolkning av avsetningen, men dette kan skyldes at lagene er avsatt nær brefronten i de øvre groveste lagene.

Fra teori presentert i avsnitt 2.1.5, er det antatt en brearm langs Raundalen i nordøst (Mangerud *et al.*, 2011). Det vil derfor være naturlig å forvente et sør til vestlig fall på skrålagene. Resultater fra målte skrålag er presentert i avsnitt 5.1.2. Skrålagene har en målt fallretning mot nord, sør og øst, fallretningen har dermed stor variasjon. Det kan forekomme ulike fallretning på deltaskrålagene, ettersom massene transportert av breelvene avsettes i en vifteform når de munner ut i stillestående vann, og mister energi (Benn og Evans, 2010). Det antas derfor en kilde i øst. Dette avkrefter ikke at det kan ha ligget en brearm i både Raundalen og mellom Bømoen og Granvin. Dette kan heller ikke avkreftes eller bekreftes av de målte skuringsstripene i sørøst med orientering nordvest-sørøst, vist i Figur 35.

Den horisontale flaten på Bømoen tyder på at avsetningene har bygget seg opp til et lokalt vannspeil. Vannspeilet er antatt å være øvre marin grense, sett bortifra ryggen (Tunshovden) midt på flaten som kan representere et høyere terrassettrinn eller en endemorene. Høyden på flaten sammenfaller godt med et marint terrassenivå ved munningen av Bordalen, beskrevet av Skreden (1967), som representerer øverste marin grense lokalt.

Midt på Bømoenflaten er det observert en forsenkning med et tjern. Dette er tolket som en dødisgrop, også beskrevet som et grytehull i Anundsen og Simonsen (1967). Det er forenlig med at avsetningene på flaten er en breelvsavsetning. En tilbaketrekkende bre har satt fra seg et isberg, som etterhvert har blitt begravet i deltaavsetningene, og senere smeltet vekk. Tjernet representerer muligens et lokalt vannspeil, og har ingen synlige utløp. Dette tyder på tilførsel av grunnvann gjennom underliggende permeable lag av sand og grus. Dette stemmer godt overens med tilstedeværelse av en større mektighet av deltaavsetninger.

6.1.4 Lagdelt silt- og finsand i øst

Det er antatt at silt- og sandlag, avsatt i NOBI-massetak, har blitt avsatt før et eventuelt brefremrykk ettersom de er deformert. Dette noe som kan tyde på at de er påvirket av bevegelsen og vekten fra en bre. Det er observert finstoff i dødisavsetningene ved Kyrkje-teigen, og ved esker ovenfor skytebanen i nordøst. Disse finstoffavsetningene kan derfor være avsatt i forbindelse med en dødis, i periode med lite smeltevann, eller i en subglacial eller glasial innsjø, der stillestående vann var demt opp av is (Benn og Evans, 2010). Det er ikke observert noen sammenhengende horisont i snitt på østsiden av Randselva, og flere undersøkelser bør gjøres for å si noe sikkert om sammenhengen mellom de ulike avetningene i borehullene.

I borehull på østsiden av Raundalselva er det loggført finstoff mellom sand- og gruslag. Dette er tolket som samme type avsetning, men det er ikke gitt at disse er avsatt som et sammenhengende dekke. Det ble derfor modellert som diskret volum ved modellering, ettersom vi ikke er kjent med de lokale sedimentasjonsbetingelsene under og foran breen. Ved modellering av et kontinuerlig volum av finstoff ble store deler av NOBI-massetak bestående av finstoff i modellen. Dette stemmer ikke med feltobservasjoner i området, og ble derfor besluttet at diskret volum var en bedre tilpasning til virkeligheten, slik det er foreslått i Erharter, Tschuchnigg og Poscher (2021). Deres metode er imidlertid ikke tatt i bruk direkte.

6.1.5 Mulig preborealt brefremrykk

Anundsen og Simonsen (1967) diskuterer muligheten for et preborealt brefremstøt, i forbindelse med avsetningen av Osa-Eidfjord morenen. Deltaavsetningene og et eventuelt brefremrykk på Bømoen er korrelert til denne randavsetningen i blant annet Mangerud *et al.* (2019), ettersom breen må ha stått stille i en lengre periode for at en slik avsetning skal kunne bygge seg opp. Ryggen sentralt på Bømoenflaten, som er navngitt Tunshovden, antas å være en randavsetning fra et brefremrykk sammenfallende med dette israndtrinnet (Mangerud *et al.*, 2019)(Jan Mangerud muntlig komm., 19.01.2023). Den er kartlagt som en randmorene i det kvartærgeologiske kartet, Figur 35. Ryggen ligger parallelt med dalen, og det ville vært forventet at den lå på tvers av dalen dersom det var en randavsetning avsatt i front av breen. Langs sørsiden av moreneryggen er det synlig elveerosjon, og man kan se for seg at elveløp fra smeltevannskanalene på en sandurfalte kan ha erodert vekk deler av ryggen.

Ryggen er imidlertid helt flat på toppen. Dette er forenelig med en avsetning opp til et vannspeil, og ligner ikke morfologien til en endemorene (Benn og Evans, 2010). En forklaring på dette kan være en høyere marin grense enn tidligere antatt, og at dette er det øvre terrassettrinnet på flaten. Det har imidlertid vært stor militær aktivitet i området rundt ryggen (Forsvarsbygg, 2015), og det kan derfor være en menneskeskapt planering. Massene i ryggene er beskrevet som diamikt, med kornfraksjoner mellom silt og blokk. Dette er forenelig med både sandurfacies og morenefacies, men det er antatt at dersom Tunshovden er en randmoreneavsetning er det bearbeidet materiale fra deltautbyggingen,

som resulterer i at disse har relativt lik sammensetning.

Andre observasjoner som kan støtte et preborealt brefremstøt er observasjoner av store blokker i topplag ved massetaket. Disse er opp mot 2m i diameter, og må ha krevd ekstremt kraftig vannstrøm for å bli transportert. En brefront må derfor å vært i umiddelbar nærhet ettersom energien i smeltevannstrømmen raskt gikk tapt når den forlot breen, og stor energi grunnet trykk i tunneler under breen kunne frakte store blokker (Benn og Evans, 2010; Hjulström, 1935) Ingen synlige strukturer i georadarprofil over ryggen stemmer overens med en randavsetning, som gjerne ikke har noe struktur (Benn og Evans, 2010)

I tillegg er det observert små deformasjoner i laminerte og krysslaminerte finstofflag, beskrevet i avsnittet 6.1.4. Deformasjonen fremgår som reversforkastninger og foldninger som tyder på kompresjon fra bredeforrasjon retning nordøst-sørvest. Disse må undersøkes nærmere for fastslå faktisk retning og omfang av bredeforrasjon.

Laminerte sedimenter i silt- og finsandlag, minner om strukturer dokumentert ved Ullandterrassen beskrevet i Hamberg (1983). Disse strukturene var blitt utsatt for horisontalt trykk, som førte til deformasjon i retning nord-sør. Deformasjonen ble tolket som tegn på et brefremrykk, der trykket er tolket å komme av vekt og bevegelse fra ismassen. Observasjonene på Bømoen, er imidlertid lokalisert i et aktivt massetak. Deformasjonen kan derfor også stamme fra menneskelig aktivitet med store maskiner. Dette antas likevel som lite sannsynlig ettersom deformasjonen er forbeholdt disse enkeltlagene.

6.1.6 Utbygging av sandurflate (sandurfacies)

Det er i snitt i NOBI-massetak og ved grop vest for flystripa observert et grovere usortert topplaget over den sorterte mektigheten med skrålag av sand og grus i deltafacies. Dette er tolket som en sanduravsetning, og er begrunnet med tydelige kanalløp som enkelte steder skjærer ned i eldre avsetninger. Den digitale høydemodellen viser mange paleokanaler på flaten, som tyder på at det har gått et nettverk av elveløp over store deler av flaten. Disse kanalene er kartlagt i løsmassekartet (Figur 35).

Den erosive grensen mellom deltaavsetningene og det grovere topplaget tyder på at deltaavsetningene bygget seg opp til lokal erosjonsbasis, og marin grense er tolket som grensen mellom sandurflaten og deltaavsetningene. Sett bort i fra Tundhovden, ligger store deler av flaten på 103-105 moh (Kartverket, 2016). Topplaget har en mektighet på 2-6 m, med en uttynning mot vest. Øvre marin grense i området er målt til 97 moh (Skreden, 1967). Dette stemmer godt overens med oppbygging av et delta til omtrent marin grense, etterfulgt av noen få meter med sanduroppbygging på toppen (Benn og Evans, 2010).

6.1.7 Forventet stratigrafisk rekkefølge som ligger til grunn for 3D-modellene

Den forventede stratigrafiske rekkefølgen er benyttet til å modellere volumer av klassifiserte løsmasser i løsmassemodellen på Bømoen. Klassifiseringen og rekkefølgen er gjort på bakgrunn av tolket isavsmeltingshistorikk og dokumenterte kornstørrelser i borehull, georadarprofil og masseprøver.

Nederst i den stratigrafiske rekkefølgen er det antatt bunnmorene. Bunnmorene har en diamikt (usortert) sammensetning, men består gjerne av en del finstoff og nedknust materiale med få større blokker (Benn og Evans, 2010). Derfor er velgradert materiale observert i bunnen av enkelte borehull tolket som bunnmorene, representert som Blokk, stein, grus og sand².

Over bunnmorenen forventes det å finne marine avsetninger med fraksjon mellom leire og sand. Disse massene er relativt godt sortert. Grensen til finstoffkategorien var i utgangspunktet satt til silt, men ettersom marine avsetninger også kan inneholde lag av finsand (Dagestad, Hansen og Braathen, 2003) ble grensen satt her ved klassifisering av borehull.

Over finstoff forventes sorterte og skråstilte lag, av deltaisk avsetning med grov sand og grus. Dette tolkes som mektige breelvsavsetninger, avsatt ved utbyggingen av israndsdelta.

Innimellom deltaavsetningene på vestsiden av Raundalselva, kategorisert som sand og grus, er det forventet å finne mindre volum med avsetninger fra randmorenen som Tushovden er tolket som en del av. Disse forventes å ha en diamikt sammensetning med fraksjoner mellom silt og blokk. Innimellom sand- og gruslag på østsiden av Raundalselva er det forventet små volum av finstoff.

Øverst i stratigrafien forventes avsetninger fra en sandurflate. Disse fremstår, i likhet med moreneavsetningene, som diamikt, med stor variasjon i kornstørrelse men hvor finstoff normalt ikke er til stede på grunn av tilstedeværelse av vann (Sigmond, Bryhni og Jorde, 2013; Brattli, 2015).

6.2 Modellering i *Leapfrog Geo*

Proessen ved modellering av løsmassemektheten på Bømoen har dratt nytte av at interpoleringsmetoden *FastRBF* har vært rask og dynamisk (Cowan *et al.*, 2002; Kenworthy, 2013). Dette har ført til en mer effektiv inkludering av geologisk forståelse og nye datapunkter. Modellen har kunnet oppdateres fortløpende, ettersom nye data og tolkninger ble tilgjengelig i området.

Hvordan og hvorvidt geologisk forståelse er implementert i modelleringsprosessen på best mulig måte vil bli diskutert videre i dette delkapittelet. I tillegg vil utnyttelsen av tilgjengelig data bli diskutert, sammen med kvaliteten på disse. Muligheter for visualisering av usikkerhet knyttet til modellen vil bli foreslått. Til slutt vil videre bruk av modellen ved prosjektet på Bømoen bli diskutert.

6.2.1 Utnyttelse av geologisk forståelse i modellen

Relativ viktighet av geologisk forståelse i forhold til faste datapunkter variere avhengig av hva modellen skal brukes til (Kenworthy, 2015). Ved modellering av detaljert løsmassefordeling vist i modell V2.2 (avsnitt 5.4.2) er den geologiske forståelsen tildelt en relativt stor tyngde, sammenlignet med de andre modellene. Dette resulterte i ganske forskjellige

modeller basert på samme datagrunnlag, og understreker mulighetene bruker har til å påvirke modellens utforming.

En fordel ved implisitt modellering med *FastRBF*, er at det gir muligheter for å raskt teste hypoteser og å prøve seg frem ved parametersetting og trend (Cowan *et al.*, 2002; Kenworthy, 2015). Denne tilnærmingen ble flittig brukt i denne modelleringsprosessen, og flere varianter av både fjelloverflate og kontaktflater mellom ulike løsmasser ble modellert.

I *Leapfrog Geo* er det mulig for bruker å definere polylinjer, punkter og strukturelle data, for å teste hypoteser i programmet. Seequent (2020) sier selv at dette minner om tradisjonell eksplisitt modellering, i den forstand at denne typen data er subjektive tolkninger som inkluderes i modelleringen. Ved nye data kan imidlertid de genererte flatene oppdateres uavhengig av tolkningene. Dette kan enten styrke eller svekke teorier om den romlige fordelingen, og de brukerdefinerte datapunktene kan revurderes og tilpasses den nye informasjonen (Kenworthy, 2013).

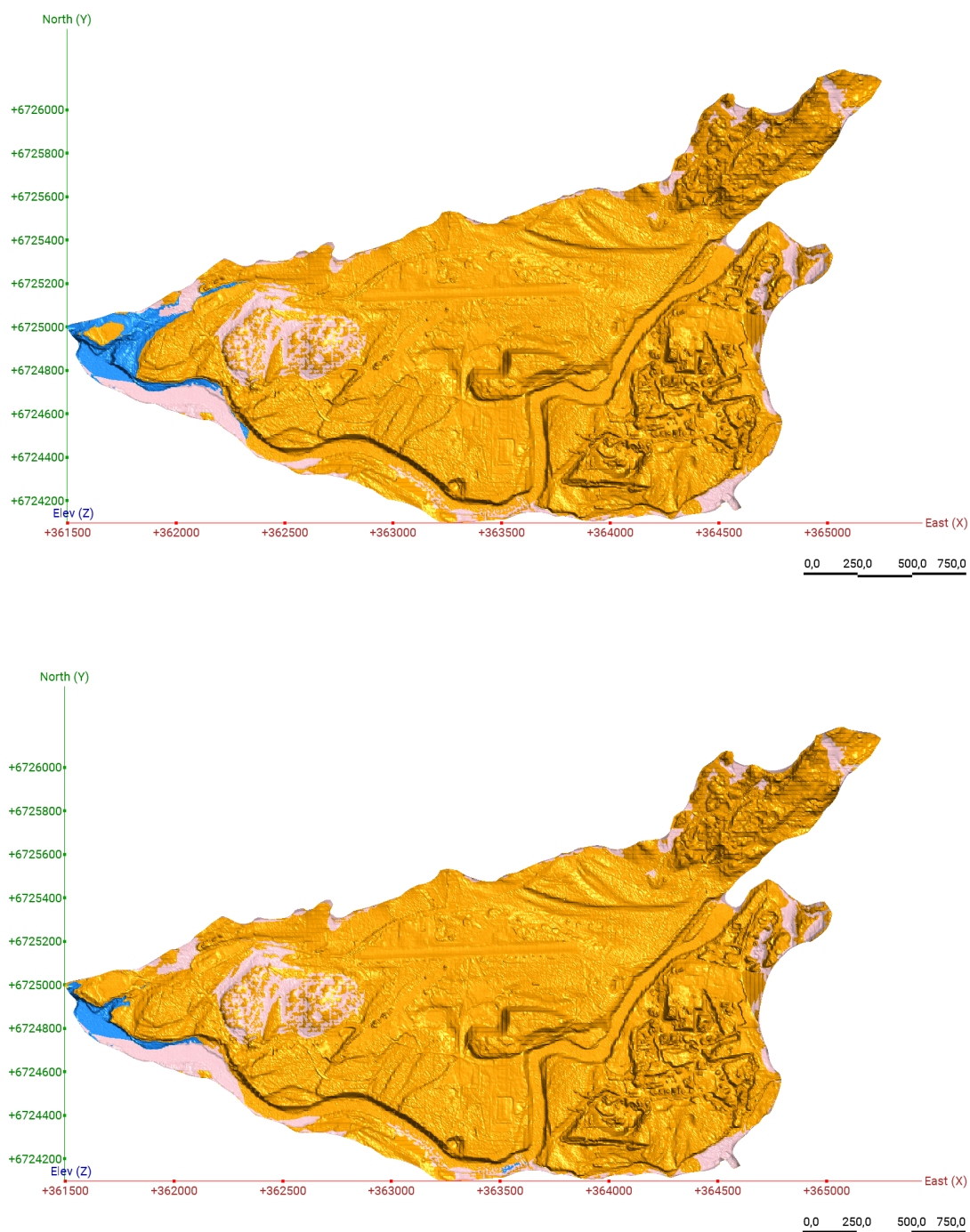
I denne modelleringsprosessen er dette blant annet tilfellet ved inkludering av tolkninger fra georadarprofiler. I utgangspunktet var fjelloverflaten generert basert på borehull og punkter fra terrengoverflaten i dalsidene, beskrevet i avsnitt 3.5. Når nye datapunkter fra georadarprofiler ble inkludert, ble fjelloverflaten generert over enkelte av disse datapunktene som representerte grensen til finstoff. En løsning som ble vurdert var å lage et nytt punktlag av grense til finstoff med samme x- og y-koordinater, men dypere z-koordinat, som symboliserte en minimumsdybde til fjell. Det ble imidlertid vurdert som en bedre løsning å tvinge fjelloverflaten til å gå dypere basert på de faktiske datapunktene for fjell, heller enn å inkludere flere, til en viss grad, brukerskapte data.

Løsningen på dette ble generering av strukturelle data langs grensen av den interpolerte fjelloverflaten, og legge til et konstant fall langs denne grensen. Dette fallet ble satt lik langs hele grensen, og økt fall resulterte i inkludering av flere faktiske datapunkter. Det understrekes at dette er en grov generalisering av de faktiske forholdene. Uregelmessigheten til fjelloverflaten kan ses i punktdata fra tolkede profiler, og antas å ha varierende fall. En annen løsning kunne vært å legge til strukturell data langs tolkede fjelloverflater fra georadarprofil. På grunn av sen tilgang på disse dataene er det imidlertid ikke blitt prioritert ettersom det er en tidkrevende prosess.

Denne prosessen førte til en inkludering av flere datapunkter ved økt fall, som har ført til en større gjennomsnittlig dybde til fjell, presentert i Tabell 17. Det antas derfor å være en bedre tilpasning av de faktiske dataene enn tidligere modell. Det er likevel fremdeles datapunkter som er plassert under fjelloverflaten, og ytterligere revurdering av tolkede datapunkt bør gjennomføres.

Et eksempel på hvordan visuell vurdering basert på geologisk forståelse er benyttet er ved modellering av finstoffsutbredelsen i vest. Mektigheten av avsetningen i vest var altfor stor i en tidlig modell sammenlignet med observasjoner i felt. Helning for den globale trenden av finstoff ble derfor testet for å begrense mektigheten. Det var imidlertid ønskelig å ikke legge til en for stor trend, ettersom den ikke var basert på faktiske målinger. Endring i

mektighet av Finstoff ved endret trend er vist i Figur 59.



Figur 59: Visuell vurdering av finstoffmektighet vist på Bømoen. Øvre bilde har en trend mot vest med 5° fall, og nedre 20° fall.

Et annet eksempel er ved modellering av Finstoff2 ved NOBI massetak. I felt var det observert avsetninger av fin sand og silt i små usammenhengende mengder. Ved modellering av finstoff fra borehullene som en sammenhengende avsetning, ble resultatet at store deler av massetaket bestod av finstoff, og dette var heller ikke forenelig med observasjoner i felt. Det ble derfor besluttet å modellere med en lavere “Base range”, slik at diskret volum av Finstoff2 ble modellert.

Gjennom modelleringen i denne oppgaven er det erfart at selv ved implisitt modellering er det mulig for bruker å nærme seg den modellen man selv ønsker. Det er viktig å være tydelig på hvilke valg som er tatt i modelleringsprosessen og i programvaren. Det ble derfor besluttet å presentere valg av parameter og begrunnelsen for disse i et eget kapittel 4.

6.2.2 Utnyttelse av tilgjengelig data i modellen

Geologisk forståelse ble utnyttet i alle ledd av modelleringen i dette prosjektet, både ved behandling og vurdering av data, stratigrafisk rekkefølge, strukturelle data og parametersetting. Dette viser viktigheten av å ha opparbeidet seg god geologisk kunnskap for området tidlig i modelleringsprosessen, og vurdere geologisk forståelse og modellen opp mot hverandre i løpet av hele prosjektet. Dette er gjort ved bearbeiding av data og sammenstilling av flere ulike datatyper i tre dimensjoner. Utnyttelsen og vurdering av tilgjengelig data vil bli diskutert i dette delkapitlet.

Dataen som er levert av COWI AS er hentet inn i sammenheng med prosjektet, og har fokus mot videre bruk til hydrogeologisk modellering. Innhentede borehullsdata innebar massebeskrivelse av kornfordeling og gjennomførte kornfordelingsanalyser, og det var derfor naturlig å benytte seg av kornstørrelse som kvalitativ egenskap i de geologiske modellene. I tillegg til dette er det forsøkt å utnytte data fra NGUs åpne database GRANADA. Denne databasen er benyttet til å estimere løsmassemektighet i Norge tidligere, beskrevet i Kitterød (2017), ved bruk av kriging som interpoleringsmetode. Kriging er som tidligere nevnt en lokal metode, som er mindre påvirket av varierende datatetthet (Fazio og Roisenberg, 2013), og kan derfor ha egnet seg bedre til modellering av med data fra GRANADA.

Man er lovpålagt å dele data som hentes opp av grunnen ved boring av grunnvann- og grunnvarmebrønner, og NGU har utarbeidet en applikasjon for registrering av nye borehull. Dette gjøre det enklere for brønnborere å dele den informasjonen de henter opp av grunnen effektivt, og med et bestemt oppsett. Ifølge årsrapporten til NGU fra 2017 har dette ført til økt mengde registrerte borehull (NGU, 2018). Disse blir publisert i den åpne databasene GRANADA hos NGU, som er tilgjengelig for alle (NGU, 2023d). Erfaringer ved behandling av data i dette prosjektet er likevel at data hentet ut fra GRANADA ikke følger et konsekvent oppsett og inneholder i varierende grad og kvalitet beskrivelser av løsmassene over fjell. De er derfor stort sett benyttet ved modellering av dybde til fjell, og kun et fåtall er inkludert i de raffinerte modellene benyttet til modellering av løsmassefordelingen.

Borehullsdata levert av COWI AS som en del av det større prosjektet ved Bømoen og grunnlag til denne oppgaven, er mer detaljert enn de som er hentet fra GRANADA i området. Enkelte av borehullene som er levert av COWI AS er også blitt registrert av brønnborere i GRANADA. Dette har ført til at samme borehull har blitt importert i *Leapfrog Geo* to ganger, med ulik hullID og koordinater. Borehullet fra GRANADA ble da fjernet ettersom det var mer utfyllende informasjon i borehullene fra COWI AS. Dette viser imidlertid at det kan forekomme unøyaktighet ved GPS-målinger av borehullene, og at enkelte borehull kan være feilplasserte i undersøkelsesområdet. Resultatet av dette kan være økt usikkerhet knyttet til modellene som blir produsert med data fra GRANADA. Dette underbygde derfor beslutningen om å ikke benytte disse dataene i de raffinerte modellene av løsmassefordelingen på Bømoen.

NADAG er NGUs åpne database for geotekniske data (NGU, 2023d). Slike data er imidlertid ikke lovpålagt å dele, og dette kan føre til at mye data forblir hos private aktører. Hovdeformålet med databasen er likevel å gjøre alle grunnundersøkelser tilgjengelig i en felles løsning (NGU, 2018). Det ble besluttet å ikke benytte geotekniske data fra NADAG i modellen, ettersom disse lå langs FV13 sør for Raundalselva. Her ble det ved kvartærgeologisk kartlegging kartlagt tynt morenedekke. Sett i ettertid, ved modellering av bunnmorene mellom fjell og finstoff i modellen kunne dette gitt nyttig informasjon om både dybde til fjell og flere datapunkt for modellering av kontaktflaten mellom bunnmorene og finstoff, ettersom *FastRBF* er en global interpoleringsmetode som tar utgangspunkt i alle tilgjengelige datapunkt (Cowan *et al.*, 2002). Det er viktig å merke seg at disse dataene måtte blitt prosessert og tolket i Geosuite, før eventuell bruk i *Leapfrog Geo*. Dette er erfart som en tidkrevende prosess som ikke er prioritert i denne oppgaven.

NGI arbeider på sin side med å utvikle en digital plattform for grunnundersøkelser, der motivasjonen er å “forbedre kvalitet, samhandling og effektivitet i arbeidet med geotekniske grunnundersøkelser”, ettersom brønnboring er kostbart og ressurskrevende (NGI, 2023). Ved å legge til rette for standardisert registrering og deling av innhentet data vil datagrunnlaget trolig øke. Etter arbeid med dette prosjektet er det erfart at det er lettere å modellere i områder med større datatetthet, enn der det mangler. Større datagrunnlag og standardisert struktur av data legger slik tilrette for at geologisk modellering blir mer tilgjengelig og at dette kan utvikles til en bransjestandard på sikt. Initiativ hvor borehullsundersøkelser blir tilgjengelige i standardisert format ville med andre ord være svært verdifullt for modellering og forståelse av undergrunnen.

Resistivitetsprofiler fra COWI AS ble importert i modellen, men er ikke benyttet som datapunkter ved modelleringen. Dette er fordi det ikke er tolket noe tydelig grenser av verken løsmasse eller fjell. Resistivitetmålinger fra området ble brukt ved interpolering av fjelloverflate i masteroppgaven til Bryn (2016), men her ble dypeste måling definert som minimumsdybde til fjell, da det ikke var noe tydelig fjelloverflate. Dette resulterte i en modell med største løsmassemektighet på over 70m (Bryn, 2016), som er betydelig større enn begge modellene av fjelloverflate og løsmassemektighet modellert i denne oppgaven. I modell V1 og V2 er største mektighet 49,45 og 49,15m (avsnitt 2.2.1). Ettersom resisti-

vitetsmålingene ble importert til modellen er det forsøkt å se en sammenheng med andre datapunkt i tre dimensjoner. Flere av resistivitetsmålingene går dypere enn relativt sikre datapunkt fra georadarprofiler og borehull, og det er derfor modellert en grunnere fjelloverflate, uten å inkludere dypeste punkt fra resistivitetsmålingene som minimumsdybde til fjell. Dette må imidlertid undersøkes videre, for å kunne implementere flere typer data, ettersom profilene allerede er importert i programmet, og er klar til å benyttes.

6.3 Vurdering av de geologiske 3D modellene

Resultatet av modelleringen i Leapfrog var to modeller av fjelloverflaten og løsmassemek-tighet, to modeller med inndeling av løsmassevolumet i finstoff og grovere materiale, og to modeller med en detaljert inndeling av løsmassevolumet. Den britiske statistikeren George E.P. Box har uttalt at “Alle modeller er feil, men noen er nyttige” (Box, 1987). Modellene som er produsert i forbindelse med denne oppgaven er mest sannsynlig ikke en korrekt representasjon av de virkelige forholdene, men de kan likevel være til nytte for prosjektet (Kenworthy, 2013). Videre vil modellene vurderes etter tiltenkt formål, og generelle svakheter ved modellene vil deretter diskuteres. Parametersetting vil ikke bli vurdert, da dette er presentert i eget kapitel 4.

6.3.1 Modell av finstoff og grovere materiale (V1 og V2)

Løsmasseinndeling basert på finstoff og grovere materialer hadde som formål å være nyttig ved hydrologisk modellering. Finstoff er relativt lite permeabelt sammenlignet med grovere overliggende masser tolket som breelvavsetninger (Sigmond, Bryhni og Jorde, 2013; Dagestad, Hansen og Braathen, 2003). Grunnvann vil derfor i all hovedsak strømme i den øvre grovere delen av massene. En for detaljert inndeling ville komplisert denne simuleringen, og ville vært lite hensiktsmessig. Den er forsøkt tro mot data i den grad at inndelingen av det genererte løsmassevolumet utelukkende er basert på datapunkter fra borehull og tolkninger av georadarprofil. Berggrunnsoverflaten som ble modellert er imidlertid endret med brukerdefinet strukturell data langs grensen av modellen på overflaten av den digitale terrengmodellen.

Ved tidligere hydrologisk modellering av området gjennomført av Bryn (2016) er det estimert en berggrunnsoverflate basert på resistivitetsmålinger og punkter på overflaten langs grensen til området. Grunnet økt datatetthet og geologisk forståelse basert på kartlegging i området antas modellen produsert i denne oppgaven å være en mer korrekt estimering av de faktiske forholdene.

Ved videre modellering er det mulig å generere en numerisk modell av resistivitetsverdier og hydraulisk konduktivitet, som ble målt under boring, med løsmassevolumet som begrensning. Disse verdiene kan benyttes til blant annet å modellere grunnvansspeilet, som er synlig i både resistivitetsmålinger (Bryn, 2016) og georadarprofiler (Christian Rekve Bryn, muntlig komm.11.05.2023).

6.3.2 Detaljert 3D-modell av løsmassene i området (V2.2)

Den detaljerte modellen er utarbeidet, etter et ønske om å modellere en romlig løsmassefordeling som gjenspeiler den geologiske forståelsen av området og forventet stratigrafisk rekkefølge basert på isavsmeltingshistorikken. Usikkerheten i volum er imidlertid relativt stor, ettersom det i større grad inneholder eksplisitt modellerte løsmassevolum. Dette er dermed også en mer subjektiv modell som gjør den vanskeligere å reprodusere (Cowan *et al.*, 2002).

Det vil trolig ikke ha stor betydning for den videre hydrologiske modelleringen, at bunnmorenen er modellert som en avsetning under finstoffet fremfor en intrusjon som genererer mye mindre volum og utstrekning, ettersom finstofflaget er relativt tett og grunnvannssbevegelse foregår hovedsaklig i de grovere massene over. Avsetninger av Finstoff2 mellom grovere lag i NOBI-massetak vil muligens ha betydning for videre hydrologisk modelleringen ettersom de erstatter grovere mer permeable masser i modellen. Det er allikevel mulig at en konservativ modell vil være foretrukket ved en hydrologisk modellering, ettersom det simulerer et minimumsvolum av permeable masser. Derfor burde utstrekningen av disse volumene utbedres, og en vurdering av videre inkludering i modellen som skal benyttes ved hydrologisk modellering bør gjennomføres.

Det er viktig å understreke at brukerdefinerte datapunkter kan komplisere forholdene på uhensiktsmessig måte dersom det er knyttet større usikkerhet til dem. Det er vurdert at dette er tilfellet for modellert volum av randavsetningen på Tunshovden som Blokk, stein, grus og sand3, ved modellering av silt og finsandlag som Finstoff2 i NOBI-massetak, og utstrekningen av bunnmorene som Blokk, stein, grus og sand2. Ved videre undersøkelser og inkludering av nye datapunkter kan disse teoriene utfordres og de brukerdefinerte datapunktene justeres og styrkes slik det er foreslått i Kenworthy (2013).

6.3.3 Generelle svakheter ved modellene

Det er viktig å ha et bevisst forhold til styrker og svakheter ved modellen ettersom implisitt modellering i *Leapfrog Geo* lager jevne og pene overflater. Det kan oppleves lettere å akseptere en visuelt pen modell, selv om en mindre visuell modell kan være mer tro mot data og den pene modellen er eksplisitt modellert uten videre vurdering og etterprøving (Birch, 2014; Kenworthy, 2013). Modellene som er produsert i denne oppgaven er et eksempel på dette. Der de to første modellene er relativt tro mot data, mens den siste modellen er mer visuelt attraktiv og tilsynelatende mer detaljert.

Forenklingen av volum som gjøres av *Leapfrog Geo* er presentert som en ulempe av Deacon (2017), ettersom det kan føre til feilestimering av størrelsen på mineralforekomster. Dette opplevdes ikke som et stort problem ved modelleringen av den detaljerte modellen (V2.2), ettersom hovedformålet var en visuell fremstilling av den romlige fordeling av løsmassene i området. Modellen med inndeling i finstoff og grovere materialer, er i midlertid mindre tolerant for en slik forenkling ettersom formålet med denne modellen blant annet er et volumestimat av ulike løsmasser basert på kornfordeling. Det er imidlertid ikke noe sam-

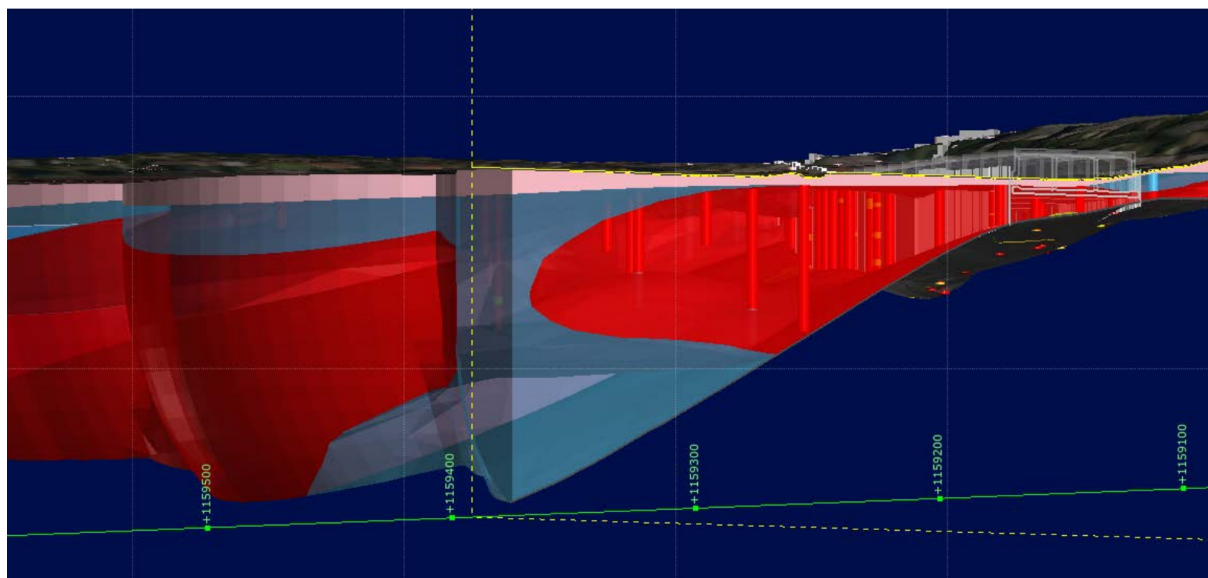
menligningsgrunnlag for volumet av denne løsmassemektigheten på Bømoen, slik det er i Deacon (2017).

Ved sammenligning av Figur 44 og 45, er den modellerte fjelloverflaten ulik i områder med lav datatetthet og manglende data. Mektigheten i område, vist i Figur 46 og 47, viser lignende forskjeller. Maksimal dybde er $<0,5$ m i forskjell, og forskjellen i volum er $500000m^3$. De største forskjellene er observert i områder der det er få eller ingen datapunkter. Dette inkluderer vest mellom Leikeshovden og Palmafossen, nordøst ved Kyrkjeteigen, og sørøst ved NOBI massetak. Dette tolkes som at modellen i områder med større datatetthet er mindre påvirket av parametersetting og brukerdefinerte datapunkt. Ved forbedring av modellen vil det være naturlig å hente inn mer data i disse områdene først.

6.3.4 Visualisering av usikkerhet og pålitelighet til ulike datapunkter

Det viktig å ha et bevist forhold til usikkerhet i modellen, og å videreformidle dette godt. Det er flere ledd i modelleringsprosessen som bidrar med usikkerhet på ulike måter. Dette gjelder blant annet under datainnhenting og datatetthet, tolkning og bearbeiding av data før det importeres til programmet, valg av parametere og eksplisitt modellering av modellen i programmet (Kahlström *et al.*, 2021; Kenworthy, 2015). Det er ikke gjennomført noe konkret forsøk på visualisering av disse usikkerhetene i modellene som er produsert, men forslag til hvordan dette kan gjøres i modellen ved videre arbeid er diskutert i dette delkapittelet.

Usikkerheten til et estimert punkt øker med avstanden til nærmeste datapunkt, ettersom flatene er basert på kjente datapunkter og parametere ved interpoleringsmetoden *FastRBF* (D’Affonseca, Finkel og Cirpka, 2020). En måte å visualisere dette er ved å intervallsette avstanden til kjente datapunkter. I prosjekt beskrevet av Kahlström *et al.* (2021) er en avstandsbasert symbolisering brukt for å visualisere usikkerhet knyttet til datatetthet. Intervaller med økende grad av gjennomsiktighet for økende avstand til nærmeste datapunkt er inkludert i modellen som er presentert. I *Leapfrog Geo* kan dette gjøres ved å lage modell av avstandsfunksjon, der grenseflater blir laget ved intervallgrensene. Dette kan kombineres med den geologiske modellen. En enklere variant for visualisering er presentert i samme publikasjon av Kahlström *et al.* (2021). Hele modellen er symbolisert med gjennomsiktige volum slik at plassering av borehull kan ses i forhold til grenseflatene i modellen. Hvordan dette er gjort i Kahlström *et al.* (2021), er vist i Figur 60.



Figur 60: Visualisering av usikkerhet knyttet til datatetthet i en geologisk 3D-modell. Modellen er gjort gjennomsiktig for å få et inntrykk av datatetthet. Hentet fra Kahlström *et al.* (2021).

En metode for å prioritere ulike typer data ved modelleringen er “Snap to data” funksjonen i *Leapfrog Geo*, beskrevet i avsnitt 4. Denne gjør det mulig å lage et hierarki av ulike datatyper ved interpoleringen. Selv anbefaler *Seequent* å benytte seg av denne funksjonen for å skille mellom sikre datapunkter og tolkninger gjort eksplisitt i programmet (Seequent, 2020). GPS-målinger og borehull anses som de sikreste datapunktene, sammenlignet med ikke-destruktive geofysiske målinger, som ikke måler direkte og dataen må tolkes (Kenworthy, 2015). Ettersom datatetthet er en begrensende faktor ble alle målte data prioritert i denne oppgaven, og manuelt definert datapunkter basert på tolkninger ble ikke prioritert. Dette er imidlertid ikke visuelt synlig i modellen.

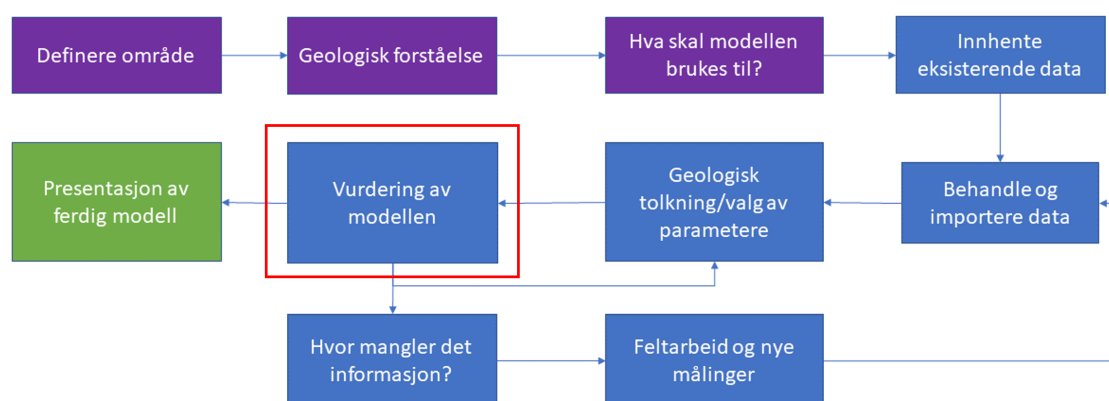
A. K. Åberg *et al.* (2017) beskriver modellering av et område basert på georadar-målinger og borehull, i likhet med dette prosjektet. Ved modellering av berggrunnsoverflaten ble data inndelt etter pålitelighetsklasser basert på sikkerheten i målepunktene. Borehull med påvist fjell og georadarprofiler med pålitelig berggrunnsoverflate var tildelt en større pålitelighet enn borehull som ikke hadde påtruffet berg og georadarprofiler med mindre tydelige berggrunnsoverflater. Georadar er som sagt en ikke-destruktiv målemetode, og er generelt antatt å ha en større usikkerhet enn borehull. Pålitelighetsklassene ble brukt til å klassifisere datapunktene, og “Nearest Neighbour” metoden ble brukt til å interpolere punktene for å visualisere påliteligheten i modellen (A. K. Åberg *et al.*, 2017). Ved modellering av området på Bømoen kan denne metoden brukes til å dele inn modellen etter pålitelighetsklasser, som er brukerdefinert basert på datagrunnlaget, og usikkerhet knyttet til ulike typer data. En slik modell kunne kombineres med de geologiske 3D-modellene over Bømoen.

Som tidligere nevnt er det erfart ved modellering av blant annet fjelloverflaten at områdene

med minst datatetthet påvirkes mest av eksplisitt modellering fra bruker. En annen nyttig visualisering av usikkerhet som kan vurderes er ved analyse av endringen i modellen ved variasjon av parametere, trend eller brukerdefinerte data. Grunnlaget av faktiske datapunkter bør da holdes konstant. Det er imidlertid ikke funnet noen eksempler på dette i lignende prosjekter, men kan være en ide til videre arbeid.

6.4 Modellens videre liv

Innledningsvis, i avsnitt 3.5, ble det presentert et flytskjema for generell arbeidsprosess ved implisitt 3D-modellering av geologi *Leapfrog Geo*. Nåværende status i prosessen er illustrert ved rød firkant i Figur 61. Videre i prosessen bør modellene vurderes både ut ifra utnyttelse av eksisterende data og geologisk forståelse, og hvorvidt de kan brukes videre til ønskede formål. I dette delkapittelet vil videre bruk og utbedring av modellen diskuteres, og behov for nye data basert på de geologiske modellene vil bli vurdert.



Figur 61: Erfaringsmessig ideell arbeidsprosess ved implisitt 3D-modellering av geologi. Rød firkant viser vurdert status for modellene produsert i denne oppgaven.

Modelleringsprosessen som har ledet til modellene som er presentert i denne oppgaven er produktet av mange forsøk og tester av ulike funksjoner og parametersetting i programvaren. Videreutvikling av metoden for modellering av løsmasser for ingeniørgeologisk formål er derfor nødvendig, dersom dette skal tas i bruk i større omfang.

Praksis for deling av data bør utbedres. Dette gjelder kvalitet på data som deles, som bør ha et fast oppsett og være mer utfyllende slik at de lettere kan inkluderes i en modell. I tillegg burde det bli vanlig praksis å dele all data som hentes opp av grunnen, slik at datatetthet øker og bedre modeller kan genereres.

På Bømoen bør datatetthet i enkelte områder økes, dersom sikkerheten i modellene skal

økes. Dette er imidlertid resurskrevende i form av tid og penger, og man må vurdere nytten av en sikrere modell. Økt datatetthet er isåfall viktigst i de områdene som påvirkes mest av brukerstyrte parametere og eksplisitt modellering i modellen. For økt forståelse av isavsmeltingshistorikken bør Tunshovden, interstadialen i dalsiden i sør og finstoffet i deltaavsetningene ved NOBI-massetak og grop vest for flystripen undersøkes grundigere.

7 Konklusjon

Denne oppgaven er gjennomført med et ønske om å kartlegge løsmassene ved Bømoen i tre dimensjoner i forbindelse med utbyggingen av området. Det er derfor gjennomført en kvartærgeologisk kartlegging, som har resultert i et løsmassekart i målestokk 1:15 000. Kartleggingen ble tatt et skritt videre fra to til tre dimensjoner med data fra borehull og georadar målinger hentet inn av COWI AS kombinert med geologisk forståelse i området. Fire geologiske 3D-modeller av fjelloverflaten og løsmassefordelingen i området er laget med programvaren *Leapfrog Geo*. Oppgaven har dermed også forsøkt å teste og implementere en arbeidsflyt for 3D-modellering av løsmassegeologi i *Leapfrog Geo*, som en del av et prosjekt for å løse ingeniørgeologisk problemstillinger. De viktigste konklusjonene fra arbeidet med denne oppgaven er:

- Basert på feltarbeid i området og kornfordelingsanalyser av masseprøver i laboratorium fastslås det at de store grovkornige avsetningene på Bømoen er avsatt som et mektig breelvsdelta med sanduravsetninger på toppen. Det er indikasjoner på at isen, etter at deltaet ble avsatt, først trakk seg tilbake og deretter rykket frem igjen i tidlig Holosen.
- Forventet stratigrafisk rekkefølge på Bømoen fra fjelloverflaten er bunnmorene, marine avsetninger, breelvsavsetninger med randmorene og finstoff mellom sorterte skrålag av grus og sand, og rygg- og haugformede breelvsavsetninger.
- Geologisk 3D-programvare, *Leapfrog Geo*, har muliggjort integrering av data fra borehull, georadar og kvartærgeologisk kart ved modellering av løsmasseforekomstene på Bømoen. God geologisk forståelse er svært viktig ved parametersetting, forventet stratigrafisk rekkefølge og for å finne riktige romlige modeller.
- De geologiske modellene som er laget muliggjør videre bruk til hydrogeologisk modellering og visualisering av forventet romlig fordeling av løsmasser, og kan benyttes som et rammeverk for inkludering av nye data senere. Dette er viktig i en ingeniørgeologisk sammenheng, der innhenting og integrering av nye data skjer fortløpende gjennom hele prosjektet.
- Ved presentasjon eller videre bruk av modellen må datatetthet, parametervalg og datapunktets pålitelighet dokumenteres og visualiseres for få frem usikkerhet og variasjon i modelleringsprosessen.
- Videre arbeid som omfatter videreutvikling av metoden for modellering av løsmasser for ingeniørgeologisk formål er derfor nødvendig. Praksis for deling og registrering av data må utbedres og standardiseres for å legge til rette for utvidet bruk av metoden i bransjen.

Referanser

- Anundsen, K. og A. Simonsen (1967). *Et pre-borealt brefframst. ot på hardangervidda og i området mellom Bergensbanen og Jotunheimen*. Bergen: Norwegian Universities Press.
- Benn, D. og D. J. Evans (2010). *Glaciers and glaciation*. 2. utg. London: Hodder Education.
- Birch, C. (2014). «New systems for geological modelling-black box or best practice?» I: *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy* 114.12, s. 993–1000. ISSN: 2225-6253.
- (2018). «Geological mapping and modelling training in the University of the Witwatersrand Mine Tunnel, South Africa». I: *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy* 118.8, s. 809–814. DOI: 10.17159/2411-9717/2018/v118n8a3.
- Box, G. E. (1987). *Empirical model-building and response surfaces*. ISBN: 0471810339 Place: New York Series: Wiley series in probability and mathematical statistics. Applied probability and statistics. New York: Wiley.
- Brattli, B. (2015). *Ingeniørgeologi løsmasser*. 2. utg. Trondheim: NTNU, Institutt for geovitenskap og petroleum.
- Brendryen, J. og L. Rise (2013). *Leirinnhold i jordarter-en sammenlignende studie med vekt på Coulter Laser 200 og Sedigraph, og forslag til beregning av ekvivalent leirinnhold i prosent*. 2013.012. Trondheim: NGU. URL: https://www.ngu.no/upload/Publikasjoner/Rapporter/2013/2013_012.pdf (sjekket 17. apr. 2023).
- Bryn, C. R. (9. sep. 2016). «A reserve water resource in Voss, Norway.» Masteroppgave. København: University of Copenhagen.
- Cowan, J., R. Beatson, W.R.Fright, T.J.McLennan og T.J.Mitchell (2002). «Rapid Geological Modelling». I: *Applied structural geology for mineral exploration and mining*. Kalgoorlie, Australia, s. 1–9.
- COWI (25. aug. 2021). *Dette kan bli Norges første plussbygd*. URL: <https://www.cowi.no/om-cowi/nyheter-og-presse/dette-kan-bli-norges-foerste-plussbygd> (sjekket 13. mai 2023).
- D’Affonseca, F. M., M. Finkel og O. A. Cirpka (2020). «Combining implicit geological modeling, field surveys, and hydrogeological modeling to describe groundwater flow in a karst aquifer.» I: *Hydrogeology Journal* 28.8, s. 2779–2802. DOI: 10.1007/s10040-020-02220-z.
- Dagestad, A., L. Hansen og A. Braathen (3. okt. 2003). *Hydrauliske egenskaper i løsmasser og berggrunn i Norge sett i sammenheng med EU-direktivet om deponering av avfall*. 2003.016. NGU. URL: https://openarchive.ngu.no/ngu-xmlui/bitstream/handle/11250/2665066/2003_016.pdf?sequence=1&isAllowed=y (sjekket 13. mar. 2023).
- Dahl, R. (7. jan. 2005). *Fornying av Grus-og Pukkdatabasen i Voss kommune. Grunnlagsmateriale for arealplanlegging*. 2005.021. NGU. URL: https://www.ngu.no/upload/Publikasjoner/Rapporter/2005/2005_021.pdf (sjekket 10. mar. 2023).
- Dallmann, W. K. (2015). *Geoscience atlas of Svalbard*. Tromsø: Norsk Polarinstitut.

- Deacon, J. (2017). «Explicit and Implicit Geological Modelling Methods on Resource Definition and Resource Utilization-Sishen Iron Ore Deposit Case Study». Ph.d.-avh. Johannesburg: University of the Witwatersrand.
- Eian, R. (27. jan. 2022). «Tåler bakken at byene tredobler seg i størrelse?» I: Section: samfunn. URL: <https://forskning.no/energi-geologi-naturvitenskap/taler-bakken-at-byene-tredobler-seg-i-storrelse/1967914> (sjekket 13. mai 2023).
- Erharter, G. H., F. Tschuchnigg og G. Poscher (2021). «Stochastic 3D modelling of discrete sediment bodies for geotechnical applications». I: *Applied computing and geosciences* 11. Publisher: Elsevier, s. 100066. DOI: 10.1016/j.acags.2021.100066.
- Esri (2022). *ArcGIS Pro*. Versjon 3.0.1.
- Fazio, V. S. og M. Roisenberg (2013). «Spatial interpolation: an analytical comparison between kriging and RBF networks». I: *Proceedings of the 28th Annual ACM Symposium on Applied Computing*, s. 2–7.
- Forsvarsbygg (9. aug. 2015). *Bømoen*. URL: <https://www.forsvarsbygg.no/no/verneplaner/landsverneplan-for-forsvaret/sor-og-vestlandet/bomoen/> (sjekket 13. mar. 2023).
- Fredin, O., A. Lyså, H. Sveian og R. Viola (2014). *Kvartærgeologisk kartlegging ved NGU-Infomasjon og instruks*. 2014.002. NGU.
- Frøyland, L., H. Kvåle, O. Soldal og T. H. Bjørnstad (19. okt. 2015). *Bømoen - Voss kommune. Temarapport Naturressurser*. Temarapport RAP001.
- Gallay, M. (1. jan. 2013). «Section 2.1.4: Direct Acquisition of Data: Airborne laser scanning.» I: *Geomorphological Techniques*. London: British Society for Geomorphology, s. 1–17.
- GEOTEAM (12. mar. 1985). *Grunnvannsforsyning Bømoen*. 30356.01. Oslo: Forsvarets distriktsingeniør sør og vestlandet.
- Giovacchini, F., M. Vendramini, L. Soldo, M. Merlo, D. Marchisio, G. Ricci og A. Eusebio (17. apr. 2019). «3D geological modelling for the design of complex underground works». I: *Tunnels and Underground Cities: Engineering and Innovation Meet Archaeology, Architecture and Art*, s. 846–855. ISBN: 978-0-429-42444-1. DOI: 10.1201/9780429424441-90.
- Gjørva, M. B. (2016). «Samanhengen mellom skogsvegar, skogsdrift og skredfare - Ei studie av forhold i forbindelse med skogsvegutforming og flatehogst i hellande terreng som gir fare for jord- og flomskred ved Horg, Melhus kommune og Høvringslia, Sel kommune». Masteroppgave. NTNU. URL: <http://hdl.handle.net/11250/2392936>.
- Glynn, P., L. Jacobsen, G. Phelps, G. Bawden, V. Grauch, R. Orndorff, R. Winston, M. Fienen, V. Cross og J. Bratton (2011). «3D/4D modeling, visualization and information frameworks: current US Geological Survey practice and needs». I: *Three-Dimensional Geological Mapping*, s. 33–38.
- GuidelineGeo (2021). *MALÅ Vision - GPR data analysis and processing on any device*. Guideline Geo. URL: <https://www.guidelinegeo.com/product/mala-vision/> (sjekket 15. mai 2023).
- Hamberg, M. (1983). «Strandlinjer og isavsmelting i midtre Hardanger». I: *Bulletin-Norges geologiske undersøkelse* 387, s. 39–70.

- Henriksen, H. og Ø. Jæger (17. feb. 1992). *Grunnvann i Voss kommune*. 92.129. NGU. URL: https://www.ngu.no/upload/Publikasjoner/Rapporter/1992/92_129.pdf (sjekket 10. mar. 2023).
- Hjelle, C. og D. Tallarek (22. sep. 2014). *Bømoen, omreguleringsplan med konsekvensutredning*. (Sjekket 13. mar. 2023).
- Hjulström, F. (1935). *Studies of the morphological activity of rivers as illustrated by the river Fyris*. Uppsala.
- Johnson, M. D., O. Fredin, A. E. Ojala og G. Peterson (2015). «Unraveling Scandinavian geomorphology: the LiDAR revolution». I: *GFF* 137.4. Issue: 4 Pages: 245–251 Publication Title: Gff Volume: 137, s. 245–251. DOI: 10.1080/11035897.2015.1111410. (Sjekket 14. mar. 2023).
- Jørgensen, P., R. Sørensen og O. Prestvik (2013). *Norske jordarter*. Norsk jordforening. URL: http://www.jordforeningen.no/wp-content/uploads/2018/05/Norske_jordarter.pdf (sjekket 13. mar. 2023).
- Kahlström, M., P. Mortensen, C. Hauser og N. H. Børner (2021). «Use of a 3D stratigraphic model as tool for improved communication and risk assessment in large infrastructure projects». I: *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. Bd. 710. Issue: 1. IOP Publishing, s. 12038. DOI: 10.1088/1755-1315/710/1/012038.
- Kartverket (1938). *Norge i bilder*. URL: <https://www.norgeibilder.no/> (sjekket 13. mai 2023).
- (2016). *Høydedata*. URL: <https://hoydedata.no/LaserInnsyn2/> (sjekket 21. apr. 2023).
- (2020). *Norge i Bilder*. URL: <https://www.norgeibilder.no/> (sjekket 13. mai 2023).
- (2023). *Norgeskart*. URL: <https://www.norgeskart.no/#!?project=norgeskart&layers=1002&zoom=6&lat=6671552.79&lon=130576.45> (sjekket 15. mai 2023).
- Kenworthy, A. (14. mai 2013). *Leapfrog interpolation basics*. Seequent. URL: <https://www.seequent.com/leapfrog-interpolation-basics/> (sjekket 11. mai 2023).
- (1. okt. 2015). *Sources of geological modelling uncertainty investigated. What role does the data play?* Seequent. URL: <https://www.seequent.com/sources-of-geological-modelling-uncertainty-investigated-what-role-does-the-data-play/> (sjekket 11. mai 2023).
- Kitterød, N.-O. (2017). «Estimating unconsolidated sediment cover thickness by using the horizontal distance to a bedrock outcrop as secondary information». I: *Hydrology and Earth System Sciences* 21.8, s. 4195–4211. DOI: 10.5194/hess-21-4195-2017.
- Mangerud, J., J. P. Briner, T. Goslar og J. I. Svendsen (2017). «The Bølling-age Blomvåg Beds, western Norway: implications for the Older Dryas glacial re-advance and the age of the deglaciation». I: *Boreas* 46.2, s. 162–184. DOI: 10.1111/bor.12208.
- Mangerud, J., R. Gyllencreutz, Ø. Lohne og J. I. Svendsen (2011). «Glacial history of Norway». I: *Developments in Quaternary Sciences*. Bd. 15. Elsevier, s. 279–298.
- Mangerud, J., A. L. C. Hughes, M. D. Johnson og J. P. Lunkka (1. jan. 2023). «Chapter 46 - The Fennoscandian Ice Sheet during the Younger Dryas Stadial». I: *European Glacial Landscapes*. Red. av D. Palacios, P. D. Hughes, J. M. García-Ruiz og N. Andrés.

- Elsevier, s. 437–452. ISBN: 978-0-323-91899-2. DOI: 10.1016/B978-0-323-91899-2.00060-7.
- Mangerud, J., A. L. C. Hughes, T. H. Sæle og J. I. Svendsen (15. jun. 2019). «Ice-flow patterns and precise timing of ice sheet retreat across a dissected fjord landscape in western Norway». I: *Quaternary Science Reviews* 214, s. 139–163. DOI: 10.1016/j.quascirev.2019.04.032.
- Mangerud, J. og S. A. Skreden (1972). «Fossil ice wedges and ground wedges in sediments below tillat Voss, Western Norway.» I: *Norsk Geologisk Tidsskrift* 52, s. 73–96.
- Midttømme, K., H. Skarphagen, Ø. Nordgulen og O. Longva (2000). *Utredning om grunnvarme til planlagte sykehus i Akershus*. 2000.073. NGU. URL: https://www.ngu.no/FileArchive/156/2000_073.pdf (sjekket 30. jan. 2023).
- Mæhlum, T., J. Køhler, P. Jenssen og G. Hensel (2010). *Grunnundersøkelser for infiltrasjon - mindre avløpsanlegg*. 178-2010. Norsk Vann.
- NGI (15. mar. 2023). *Lanserer digital plattform for grunnundersøkelser | NGI*. URL: <https://kommunikasjon.ntb.no/pressemelding/lanserer-digital-plattform-for-grunnundersokelser?publisherId=17847189&releaseId=17959746> (sjekket 9. mai 2023).
- NGU (3. jan. 2018). *Årsrapport 2017 for Norges geologiske undersøkelser (NGU)*. Trondheim: NGU. URL: <https://www.ngu.no/sites/default/files/2023-04/%C3%85rsrapport%20NGU%202017.pdf> (sjekket 13. mai 2023).
- (13. mai 2023a). *Nasjonal grunnvannsdatabase*. URL: https://geo.ngu.no/kart/granada_mobil/.
 - (2023b). *Berggrunn*. URL: https://geo.ngu.no/kart/berggrunn_mobil/ (sjekket 13. mai 2023).
 - (2023c). *Løsmasser*. URL: https://geo.ngu.no/kart/losmasse_mobil/ (sjekket 11. mai 2023).
 - (2023d). *Nasjonal database for grunnundersøkelser*. URL: <https://geo.ngu.no/kart/nadag/> (sjekket 13. mai 2023).
- Nichols, G. (2009). *Sedimentology and stratigraphy*. 2. utg. Chichester: Wiley-Blackwell.
- Ojala, A. E. K., J. J. Virtasalo, E. Lindsberg og M. Markovaara-Koivisto (1. okt. 2021). «Basin-Scale 3D Sedimentary Modelling: An Approach to Subdivide Baltic Sea Onshore Sediments for Land use and Construction». I: *Geotechnical and Geological Engineering* 39.7, s. 4855–4876. DOI: 10.1007/s10706-021-01799-8.
- Opsal, Ø. (23. okt. 2017). «Geological parameters and shear strength of dry tills from the southern half of Norway in relation to bedrock geology». I: *Norwegian Journal of Geology* 97.2, s. 145–169. DOI: 10.17850/njg97-2/04.
- Perrin, M., B. Zhu, J.-F. Rainaud og S. Schneider (15. mai 2005). «Knowledge-driven applications for geological modeling». I: *Journal of Petroleum Science and Engineering* 47.1, s. 89–104. DOI: 10.1016/j.petrol.2004.11.010.
- Ramberg, I. B., I. Bryhni, A. Nøttvedt og K. Rangnes (2006). *Landet blir til*. 2. utg. Trondheim: Norsk geologisk forening.
- Reading, H. G. (1996). *Sedimentary environments: processes, facies and stratigraphy*. 3. utg. Oxford: Blackwell Science.

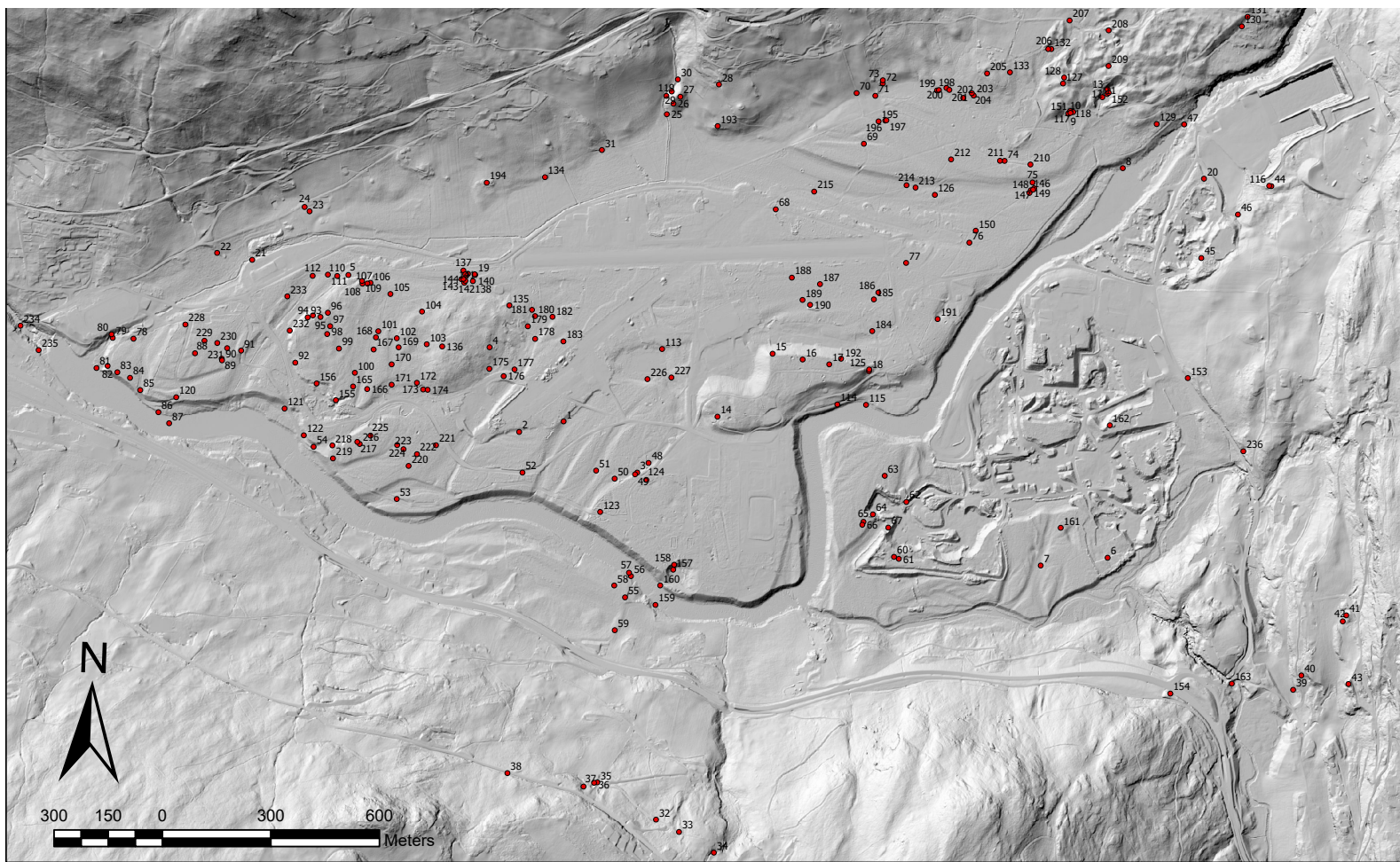
- Riksantikvaren (2023). *Kart - Kulturminnesøk*. URL: <https://www.kulturminnesok.no/kart/> (sjekket 13. mai 2023).
- Sandberg, T. (4. feb. 2016). «Vet for lite om hva Oslo er bygget på». I: *Dagsavisen*. URL: <https://www.dagsavisen.no/oslo/nyheter/2016/02/04/ukjent-undergrunn/> (sjekket 13. mai 2023).
- Seequent (2020). *User Manual for Leapfrog Geo Version 5.1*. 5.1. Seequent. URL: <https://help.seequent.com/Geo/5.1/en-GB/LeapfrogGeoUserManual.pdf>.
- (2022). *Leapfrog Geo*. Seequent. URL: <https://www.seequent.com/products-solutions/leapfrog-geo/> (sjekket 13. mai 2023).
- Selmer-Olsen, R. (1977). *Ingeniørgeologi : D. 2 : De løse jordlag*. 2. utg. Trondheim: Tapir.
- Sigmond, E. M., I. Bryhni og K. Jorde (2013). *Norsk geologisk ordbok: med engelsk-norsk ordliste*. Trondheim: Akademika forl.
- Skreden, S. A. (1967). «Kvartærgeologiske undersøkelser i området Voss-Bolstadøyri samt Bordalen.» Masteroppgave. Bergen: The University of Bergen.
- Statens Vegvesen (2009). «Laboratorieundersøkelser». I: *Håndbok 016 – Geoteknikk i vegbygging*. Oslo.
- (2016). «Laboratorieundersøkelser». I: *Håndbok R210*. Oslo: Veidirektoratet, s. 158–168. URL: <https://www.vegvesen.no/globalassets/fag/handboker/hb-r210-laboratorieundersokelser-2016.pdf>.
- Svendsen, J. I. og J. Mangerud (1987). «Late Weichselian and Holocene sea-level history for a cross-section of western Norway». I: *Journal of Quaternary Science* 2.2. Publisher: Wiley Online Library, s. 113–132. DOI: 10.1002/jqs.3390020205.
- Taurisano, A. (2022). «Skredmodellering, TGB4200 Ingeniørgeologi - Løsmasser, videregående kurs». NTNU Trondheim. URL: https://ntnu.blackboard.com/ultra/courses/_32339_1/c1/outline (sjekket 21. mar. 2022).
- Ulvik, A. og K. Wolden (13. des. 2006). *Sand- og grusundersøkelser ved Torgård, Trondheim kommune*. 2006.094. NGU. URL: https://openarchive.ngu.no/ngu-xmlui/bitstream/handle/11250/2664885/2006_094.pdf?sequence=1&isAllowed=y (sjekket 14. mai 2023).
- Vollgger, S., A. Cruden og J. Cowan (12. aug. 2013). «3D implicit geological modelling of a gold deposit from a structural geologist's point of view». I: *12th SGA Biennial Meeting-Mineral Deposit Research for a High-Tech World*. Uppsala, Sweden: SGA, s. 1–4.
- Voss. Berggrunnskart* (1985). I samarbeid med A. Kvale og S. Ingdahl. Voss. URL: <https://www.ngu.no/FileArchive/196/B13163.pdf> (sjekket 10. mar. 2023).
- Zivec, T. og M. Žibert (1. apr. 2016). «The 3D Geological Model of the Karavanke Tunnel, Using Leapfrog Geo». I: *Proc: ITA-AITES World Tunnel Congress*. ITA-AITES World Tunnel Congress. ITA-AITES. URL: https://www.researchgate.net/publication/318420325_The_3D_Geological_Model_of_the_Karavanke_Tunnel_Using_Leapfrog_Geo (sjekket 20. apr. 2023).
- Aa, A. R. og J. Mangerud (1981). «Glasiogeologi og vegetasjonsinnvandring i Indre Nordhordland, Vest-Norge.» I: *The deglaciation of the coastal area NW of Svartisen, Northern Norway, 1981*. Accepted: 2020-08-26T13:20:35Z. URL: <https://openarchive.ngu.no/ngu-xmlui/handle/11250/2675109> (sjekket 13. mar. 2023).

-
- Åberg, A. K., V.-P. Salonen, K. Korkka-Niemi, A. Rautio, E. Koivisto og S. C. Åberg (2017). «GIS-based 3D sedimentary model for visualizing complex glacial deposition in Kersilö, Finnish Lapland». I: *Boreal environment research* 22.1. Accepted: 2018-11-05T12:55:03Z, s. 277–298. ISSN: 1239-6095.
- Åberg, S., A. Åberg og K. Korkka-Niemi (mai 2021). «Three-dimensional hydrostratigraphy and groundwater flow models in complex Quaternary deposits and weathered/fractured bedrock : evaluating increasing model complexity». I: *Hydrogeology Journal* 29. Accepted: 2022-03-11T17:24:06Z, s. 1043–1074. DOI: 10.1007/s10040-020-02299-4.
- Aarseth, I. og J. Mangerud (1974). «Younger Dryas end moraines between Hardangerfjorden and Sognefjorden, western Norway». I: *Boreas* 3.1, s. 3–22. DOI: 10.1111/j.1502-3885.1974.tb00663.x.

A Appendiks A

Tabell 19: Klassifisering av prøvene basert på verdier hentet ut fra kornfordelingkurvene. Prøvene er klassifisert etter Selmer-Olsen (1977) og Mæhlum *et al.* (2010). Korndiameter for 10, 25, 60 og 75%.

Prøvenr.	d10	d60	Cu	d25	d75	S0	M50	Selmer Olsen	Naturbasert standard
Prøve 1	0,50	2,83	5,61	0,94	5,44	1,75	1,9	Morenegrus(Ablasjonsmorene)	Grusig sand/snadig grus
Prøve 2	0,23	0,51	2,26	0,32	0,71	0,79	0,5	Sand	Sand
Prøve 3	0,01	1,69	112,52	0,11	3,88	3,60	0,8	Morene (Utenfor Selmer Olsen)	Sandig morene/Grusig morene (Utenfor)
Prøve 4	0,05	1,61	31,39	0,14	4,33	3,43	0,8	Morene (Utenfor Selmer Olsen)	Grusig siltig sand
Prøve 5	0,07	4,94	72,26	0,56	8,39	2,70	3,3	Morenegrus	Grusig morene
Prøve 6	0,05	0,11	2,28	0,07	0,16	0,82	0,1	Innsjøavsetninger/havavsetning	Silt og sand



Bømoen, Voss

Observasjonsskart 1:15 000

● Observasjonspunkt

Nummerering av observasjonspunktene refereres til i teksten, og i tabell med observasjonsbeskrivelse.

Av: Emilie Arntzen Bakken
 Dato: 06.03.2023
 Kilde: Kartverket, Høydedata.no
 PCS: ETRS 1989 UTM Zone 32N
 Datum: ETRS 1989
 Projection: Transverse Mercator

Figur 62: Observasjonspunkter fra feltarbeid på Bømoen. De nummererte lokalitetene er henvist til i teksten.

Tabell 20: Målt konrfordeling ved labanalyser av P1.

Fraksjon d/D [mm]	Sikt [mm]	Vekt sikt [g]	Total vekt [g]	Total vekt på sikt [g]	Omgjort [g]	Andel gjennomgått [g]	Vektprosent	Kumulativ verdi [%]
45/-	45					4714,4	0	100
31,5/45	31,5	443,8	522,9	79,1	79,1	4635,3	1,661345879	98,32217387
19/31,5	19	472,4	703,8	231,4	231,4	4403,9	4,860119298	93,41384307
16/19	16	456,6	502,5	45,9	45,9	4358,0	0,964042678	92,44023727
11,2/16	11,2	450,5	661,9	211,4	211,4	4146,6	4,440057128	87,95613558
8/11,2	8	474,4		288,1	288,1	3858,5	6,050995547	81,84511525
4/8	4	441,4	522,4	81	505,1	3353,5	10,60817276	71,13171135
2/4	2	423	566,3	143,3	893,5	2459,9	18,76729822	52,17824494
1/2	1	355,1	545,5	190,4	1187,2	1272,7	24,93575423	26,99513255
0,500/1	0,5	309,6	439	129,4	806,9	465,8	16,94688339	9,880139155
0,25/0,500	0,25	282,2	337,3	55,1	343,6	122,2	7,216176776	2,592379216
0,125/0,250	0,125	295,5	308,1	12,6	78,6	43,6	1,650160206	0,92584972
0,063/0,125	0,063	291,2	295,7	4,5	28,1	15,6	0,589342931	0,330660614
bunn (<0,063/0,063)	<0,063	267,2	269,7	2,5	15,6		0,327412739	
Bunn 2	<11,2 mm	268,3	556,4					

Tabell 21: Målt konrfordeling ved labanalyser av P2.

Fraksjon d/D [mm]	Sikt [mm]	Vekt sikt [g]	Total vekt [g]	Total vekt på sikt[g]		Andel gjennomgått [g]	Kumulativ verdi [%]
31,5/45	31,5	443,8					
19/31,5	19	472,4					
16/19	16	456,6					
11,2/16	11,2	450,5					
8/11,2	8	474,4				287,2	100
4/8	4	441,4	441,6	0,2	0,1	287	99,93036212
2/4	2	423	423,1	0,1	0,03	286,9	99,89554318
1/2	1	355,1	361,2	6,1	2,1	280,8	97,77158774
0,500/1	0,5	309,6	420,5	110,9	38,4	169,9	59,15738162
0,25/0,500	0,25	282,2	417,6	135,4	46,9	34,5	12,01253482
0,125/0,250	0,125	295,5	325,5	30	10,4	4,5	1,566852368
0,063/0,125	0,063	291,2	295,2	4	1,4	0,5	0,174094708
bunn (<0,063/0,063)	<0,063	267,2	267,7	0,5	0,2		

Tabell 22: Målt konrfordeling ved labanalyser av P3.

Fraksjon d/D [mm]	Sikt [mm]	Vekt sikt [g]	Total vekt [g]	Total vekt [g]	Totalvekt på sikt [g]	Omgjort [g]		Andel gjennomgått [g]	Kumulativ verdi [%]
45/-	45							2954,4	100
31,5/45	31,5	443,8	585,3		141,5	141,5	4,5	2812,9	95,2
19/31,5	19	472,4	618		145,6	145,6	4,7	2667,3	90,3
16/19	16	456,6	476,6		20	20	0,6	2647,3	89,6
11,2/16	11,2	450,5	525,2		74,7	74,7	2,4	2572,6	87,1
8/11,2	8	474,3	568,7		94,4	94,4	3,0	2478,2	83,9
4/8	4	441,3	487,9	465,7	71	239,9	7,7	2238,3	75,8
2/4	2	423	489	466,1	109,1	368,7	11,8	1869,7	63,3
1/2	1	355,1	403,4	398	91,2	308,2	9,8	1561,5	52,9
0,500/1	0,5	310,4	346	341,1	66,3	224,0	7,2	1337,5	45,3
0,25/0,500	0,25	283	319,3	311,1	64,4	217,6	7,0	1119,8	37,9
0,125/0,250	0,125	295,6	345,2	331,5	85,5	288,9	9,2	830,9	28,1
0,063/0,125	0,063	295,9	352,3	328,8	89,3	301,8	9,6	529,2	17,9
bunn (<0,063/0,063)	<0,063	267,2	356,9	334,1	156,6	529,2	16,9		
bunn2	<8	268,4	403,5		135,1		4,3		

Tabell 23: Målt konrfordeling ved labanalyser av P4

Fraksjon d/D [mm]	Sikt [mm]	Vekt sikt [g]	Total vekt [g]	Total vekt [g]	Totalvekt på sikt [g]	Omgjort [g]		Andel gjennomgått [g]	Kumulativ verdi [%]
45/-	45							3086,4	100
31,5/45	31,5	443,8	564,3		120,5	120,5	3,4	2965,9	96,09578067
19/31,5	19	472,4	564		91,6	91,6	2,6	2874,3	93,12792597
16/19	16	456,6	524,8		68,2	68,2	1,9	2806,1	90,91823503
11,2/16	11,2	450,5	558,4		107,9	107,9	3,1	2698,2	87,42225772
8/11,2	8	474,4			138,1	138,1	3,9	2560,1	82,94779557
4/8	4	441,4	469,9	472	59,1	267,1	7,6	2293,0	74,29428327
2/4	2	423	466,7	447,4	68,1	307,8	8,8	1985,3	64,32297722
1/2	1	355,1	398,4	387,4	75,6	341,6	9,8	1643,6	53,2535097
0,500/1	0,5	309,6	339	352,2	72	325,4	9,3	1318,2	42,71115969
0,25/0,500	0,25	282,2	313,6	314,8	64	289,2	8,3	1029,0	33,34018191
0,125/0,250	0,125	295,5	333,1	322,3	64,4	291,0	8,3	738,0	23,91063551
0,063/0,125	0,063	291,2	334,2	328,1	79,9	361,1	10,3	376,9	12,21155543
bunn (<0,063/0,063)	<0,063	267,2	311,5	306,3	83,4	376,9	10,8		
Bunn 1	8mm/11.2mm	267,2	405,3				11,6		

IV

Tabell 24: Målt konrfordeling ved labanalyser av P5.

Fraksjon d/D [mm]	Sikt [mm]	Vekt sikt [g]	Total vekt [g]	Total vekt [g]	Totalvekt på sikt [g]	Omgjort		Vekt gjennomgått [g]	Kumulativ verdi [%]
45/-	45							3562,6	100
31,5/45	31,5	443,8	641		197,2	197,2	5,3	3365,4	94,46463968
19/31,5	19	472,4	721,8		249,4	249,4	6,7	3116,0	87,46403693
16/19	16	456,6	521,6		65	65	1,7	3051,0	85,63950133
11,2/16	11,2	450,5	588,9		138,4	138,4	3,7	2912,6	81,75464399
8/11,2	8	474,3	748,1		273,8	273,8	7,3	2638,8	74,06913864
4/8	4	441,3	560,2	504,4	182	654,5	17,5	1984,3	55,69821573
2/4	2	422,9	528,6	476,9	159,7	574,3	15,4	1410,0	39,57823557
1/2	1	355,4	416,1	390,3	95,6	343,8	9,2	1066,2	29,92845408
0,500/1	0,5	309,6	343,8	331,1	55,7	200,3	5,4	865,9	24,30614416
0,25/0,500	0,25	282,2	310,1	302,5	48,2	173,3	4,6	692,6	19,44087776
0,125/0,250	0,125	295,4	319,2	315,4	43,8	157,5	4,2	535,1	15,01974357
0,063/0,125	0,063	291,1	323,6	313	54,4	195,6	5,2	339,5	9,528654521
bunn (<0,063/0,063)	<0,063	267,2	320,9	307,9	94,4	339,5	9,1		

Tabell 25: Målt kornfordeling ved labanalyser av P6.

Fraksjon d/D [mm]	Sikt [mm]	Vekt sikt [g]	Total vekt [g]	Total vekt [g]	Totalvekt på sikt [g]		Andel gjennomgått [g]	Kumulativ verdi [%]
31,5/45	31,5	443,8						
19/31,5	19	472,4						
16/19	16	456,6						
11,2/16	11,2	450,5						
8/11,2	8	474,4						
4/8	4	441,4					141,7	100
2/4	2	423	423,5		0,5	0,2	141,2	99,64714185
1/2	1	355,1	355,9	355,1	0,8	0,3	140,4	99,08256881
0,500/1	0,5	309,6	311	310,7	2,5	0,8	137,9	97,31827805
0,25/0,500	0,25	282,2	285,7	286,7	8	2,7	129,9	91,67254764
0,125/0,250	0,125	295,5	310,2	312,5	31,7	10,8	98,2	69,30134086
0,063/0,125	0,063	291,2	327,2	324,4	69,2	23,5	29	20,46577276
bunn (<0,063/0,063)	<0,063	267,2	282,5	280,9	29	9,9		0
SUM					141,7	51,8		

Λ

Tabell 26: Laserdiffraksjon gjennomført på fraksjoner <63 μm fra P1.

Size Classes (μm)	Size Classes (mm)	Cumulative Volume (%)
163,4901957	0,163490196	100
143,8967659	0,143896766	99,99719087
126,6515044	0,126651504	99,39199448
111,4729957	0,111472996	98,08366023
98,11355046	0,09811355	95,83703911
86,35516364	0,086355164	92,49073044
76,0059569	0,076005957	87,9943912
66,8970475	0,066897047	82,41756515
58,87979241	0,058879792	75,94053594
51,82336267	0,051823363	68,82508298
45,61260848	0,045612608	61,37474266
40,14618012	0,04014618	53,89593452
35,33487411	0,035334874	46,66706606
31,10017752	0,031100178	39,91689761
27,37298677	0,027372987	33,81117815
24,09248	0,02409248	28,44682879
21,2051245	0,021205124	23,8540148
18,66380319	0,018663803	20,00571503
16,42704571	0,016427046	16,83252609
14,45835172	0,014458352	14,2396237
12,72559522	0,012725595	12,1229329
11,20050036	0,0112005	10,38239816
9,858180007	0,00985818	8,930943208
8,676729602	0,00867673	7,699267369
7,636869741	0,00763687	6,636197726
6,721631549	0,006721632	5,707419357
5,916079783	0,00591608	4,889946032
5,207069109	0,005207069	4,168209631
4,58302959	0,00458303	3,532203004
4,033777887	0,004033778	2,97233673
3,550351077	0,003550351	2,473870596
3,124860397	0,00312486	2,019092006
2,75036251	0,002750363	1,595842366
2,420746202	0,002420746	1,204685406
2,130632654	0,002130633	0,858891319
1,87528767	0,001875288	0,576316872
1,650544424	0,001650544	0,366781662
1,45273546	0,001452735	0,224580829
1,278632847	0,001278633	0,130640312
1,125395506	0,001125396	0,061543566
0,990522844	0,000990523	0,000766301
0,871813953	0,000871814	0

Tabell 27: Laserdiffraksjon gjennomført på fraksjoner <63 μm fra P2.

Size Classes (μm)	Size Classes (mm)	Cumulative Volume (%)
163,4901957	0,163490196	100
143,8967659	0,143896766	99,99804344
126,6515044	0,126651504	99,85237689
111,4729957	0,111472996	98,80459826
98,11355046	0,09811355	96,84643784
86,35516364	0,086355164	93,82309745
76,0059569	0,076005957	89,70923272
66,8970475	0,066897047	84,61850474
58,87979241	0,058879792	78,77209747
51,82336267	0,051823363	72,45202026
45,61260848	0,045612608	65,94822533
40,14618012	0,04014618	59,51627984
35,33487411	0,035334874	53,35357998
31,10017752	0,031100178	47,59296547
27,37298677	0,027372987	42,30760444
24,09248	0,02409248	37,52134432
21,2051245	0,021205124	33,22123599
18,66380319	0,018663803	29,37048261
16,42704571	0,016427046	25,92033593
14,45835172	0,014458352	22,81981838
12,72559522	0,012725595	20,02261405
11,20050036	0,0112005	17,49115767
9,858180007	0,00985818	15,19774053
8,676729602	0,00867673	13,12366287
7,636869741	0,00763687	11,25669559
6,721631549	0,006721632	9,588926547
5,916079783	0,00591608	8,112339376
5,207069109	0,005207069	6,816821212
4,58302959	0,00458303	5,69077541
4,033777887	0,004033778	4,717620831
3,550351077	0,003550351	3,870606973
3,124860397	0,00312486	3,117032349
2,75036251	0,002750363	2,431228804
2,420746202	0,002420746	1,806246434
2,130632654	0,002130633	1,255533727
1,87528767	0,001875288	0,802311636
1,650544424	0,001650544	0,462125062
1,45273546	0,001452735	0,231308357
1,278632847	0,001278633	0,087702834
1,125395506	0,001125396	0,001120182
0,990522844	0,000990523	0

Tabell 28: Laserdiffraksjon gjennomført på fraksjoner <63 μm fra P3.

Size Classes (μm)	Size Classes (mm)	Cumulative Volume (%)
126,6515044	0,126651504	100
111,4729957	0,111472996	99,99824442
98,11355046	0,09811355	99,54391179
86,35516364	0,086355164	98,33859464
76,0059569	0,076005957	96,23353336
66,8970475	0,066897047	93,10659851
58,87979241	0,058879792	88,96163341
51,82336267	0,051823363	83,91982948
45,61260848	0,045612608	78,18921415
40,14618012	0,04014618	72,02483489
35,33487411	0,035334874	65,69041212
31,10017752	0,031100178	59,42647907
27,37298677	0,027372987	53,42674353
24,09248	0,02409248	47,82398249
21,2051245	0,021205124	42,6869512
18,66380319	0,018663803	38,02792451
16,42704571	0,016427046	33,81771411
14,45835172	0,014458352	30,00376191
12,72559522	0,012725595	26,52712079
11,20050036	0,0112005	23,33562068
9,858180007	0,00985818	20,39124828
8,676729602	0,00867673	17,67253151
7,636869741	0,00763687	15,1720275
6,721631549	0,006721632	12,89280925
5,916079783	0,00591608	10,84066703
5,207069109	0,005207069	9,019310111
4,58302959	0,00458303	7,428627338
4,033777887	0,004033778	6,058779298
3,550351077	0,003550351	4,883654896
3,124860397	0,00312486	3,865975376
2,75036251	0,002750363	2,97254876
2,420746202	0,002420746	2,188438493
2,130632654	0,002130633	1,520328638
1,87528767	0,001875288	0,985735484
1,650544424	0,001650544	0,59383055
1,45273546	0,001452735	0,332789235
1,278632847	0,001278633	0,171417957
1,125395506	0,001125396	0,070898636
0,990522844	0,000990523	0,00081833
0,871813953	0,000871814	0

Tabell 29: Laserdiffraksjon gjennomført på fraksjoner <63 μm fra P4.

Size Classes (μm)	Size Classes (mm)	Cumulative Volume (%)
143,8967659	0,143896766	100
126,6515044	0,126651504	99,99879094
111,4729957	0,111472996	99,90153123
98,11355046	0,09811355	99,12150582
86,35516364	0,086355164	97,65211575
76,0059569	0,076005957	95,35640133
66,8970475	0,066897047	92,18187415
58,87979241	0,058879792	88,16959116
51,82336267	0,051823363	83,43491689
45,61260848	0,045612608	78,14033343
40,14618012	0,04014618	72,46789386
35,33487411	0,035334874	66,59902541
31,10017752	0,031100178	60,70087574
27,37298677	0,027372987	54,91614972
24,09248	0,02409248	49,35528479
21,2051245	0,021205124	44,09253806
18,66380319	0,018663803	39,16745849
16,42704571	0,016427046	34,59123302
14,45835172	0,014458352	30,35596041
12,72559522	0,012725595	26,44438142
11,20050036	0,0112005	22,83810345
9,858180007	0,00985818	19,5227948
8,676729602	0,00867673	16,49056787
7,636869741	0,00763687	13,73963948
6,721631549	0,006721632	11,27346627
5,916079783	0,00591608	9,096132296
5,207069109	0,005207069	7,21007312
4,58302959	0,00458303	5,616026056
4,033777887	0,004033778	4,30497187
3,550351077	0,003550351	3,24603829
3,124860397	0,00312486	2,388437423
2,75036251	0,002750363	1,680727844
2,420746202	0,002420746	1,092550812
2,130632654	0,002130633	0,622172788
1,87528767	0,001875288	0,283630448
1,650544424	0,001650544	0,083408509
1,45273546	0,001452735	0,001069162
1,278632847	0,001278633	0

Tabell 30: Laserdiffraksjon gjennomført på fraksjoner <63 μm fra P5.

Size Classes (μm)	Size Classes (mm)	Cumulative Volume (%)
126,6515044	0,126651504	100
111,4729957	0,111472996	99,99715668
98,11355046	0,09811355	99,81580868
86,35516364	0,086355164	98,95155372
76,0059569	0,076005957	97,40005673
66,8970475	0,066897047	95,04123371
58,87979241	0,058879792	91,83281204
51,82336267	0,051823363	87,81830378
45,61260848	0,045612608	83,11131242
40,14618012	0,04014618	77,87579425
35,33487411	0,035334874	72,30401889
31,10017752	0,031100178	66,59451628
27,37298677	0,027372987	60,930408
24,09248	0,02409248	55,46028587
21,2051245	0,021205124	50,28553508
18,66380319	0,018663803	45,45711291
16,42704571	0,016427046	40,98176999
14,45835172	0,014458352	36,83504326
12,72559522	0,012725595	32,97688879
11,20050036	0,0112005	29,36612004
9,858180007	0,00985818	25,9705156
8,676729602	0,00867673	22,77212751
7,636869741	0,00763687	19,76733516
6,721631549	0,006721632	16,96532875
5,916079783	0,00591608	14,38109117
5,207069109	0,005207069	12,03082081
4,58302959	0,00458303	9,929595166
4,033777887	0,004033778	8,082266687
3,550351077	0,003550351	6,472375032
3,124860397	0,00312486	5,065927648
2,75036251	0,002750363	3,829453131
2,420746202	0,002420746	2,748782979
2,130632654	0,002130633	1,835179641
1,87528767	0,001875288	1,112469917
1,650544424	0,001650544	0,593463922
1,45273546	0,001452735	0,263953256
1,278632847	0,001278633	0,083862281
1,125395506	0,001125396	0,001041691
0,990522844	0,000990523	0

Tabell 31: Laserdiffraksjon gjennomført på fraksjoner <63 μm fra P6.

Size Classes (μm)	Size Classes (mm)	Cumulative Volume (%)
126,6515044	0,126651504	100
111,4729957	0,111472996	99,97076032
98,11355046	0,09811355	99,05025431
86,35516364	0,086355164	97,22754055
76,0059569	0,076005957	94,28164211
66,8970475	0,066897047	90,10303565
58,87979241	0,058879792	84,72045972
51,82336267	0,051823363	78,2883201
45,61260848	0,045612608	71,05893722
40,14618012	0,04014618	63,34509195
35,33487411	0,035334874	55,4820775
31,10017752	0,031100178	47,79223894
27,37298677	0,027372987	40,55406248
24,09248	0,02409248	33,97866047
21,2051245	0,021205124	28,19693329
18,66380319	0,018663803	23,25898732
16,42704571	0,016427046	19,14461237
14,45835172	0,014458352	15,78136437
12,72559522	0,012725595	13,06564784
11,20050036	0,0112005	10,88262489
9,858180007	0,00985818	9,12197371
8,676729602	0,00867673	7,688305203
7,636869741	0,00763687	6,505322265
6,721631549	0,006721632	5,516839528
5,916079783	0,00591608	4,681670988
5,207069109	0,005207069	3,969517101
4,58302959	0,00458303	3,359017514
4,033777887	0,004033778	2,832297947
3,550351077	0,003550351	2,369484422
3,124860397	0,00312486	1,950945945
2,75036251	0,002750363	1,56496152
2,420746202	0,002420746	1,212923174
2,130632654	0,002130633	0,907360172
1,87528767	0,001875288	0,663427361
1,650544424	0,001650544	0,486957356
1,45273546	0,001452735	0,368322829
1,278632847	0,001278633	0,286082476
1,125395506	0,001125396	0,216775922
0,990522844	0,000990523	0,145116515
0,871813953	0,000871814	0,069513221
0,767331691	0,000767332	0,000814803
0,675371072	0,000675371	0

Tabell 32: Data fra csv-filen “collar” til borehull fra COWI AS benyttet til modellering av løsmassefordelingen på Bømoen

HoleID	X	Y	Elevation	Total Depth	Azimuth	Initial Dip	Kilde
9532	364317	6725292	100	8,8	0	90	GRANADA
10381	359995	6724375	100	18,7	0	90	GRANADA
10421	360005	6724355	100	4,7	0	90	GRANADA
10424	359800	6724805	100	15,7	0	90	GRANADA
20834	362929	6724803	100	115	0	90	GRANADA
53266	359802	6723450	100	120	0	90	GRANADA
53267	359786	6723433	100	120	0	90	GRANADA
56094	359881	6724691	100	140	0	90	GRANADA
60511	362737	6724049	100	120	0	90	GRANADA
63798	359918	6724966	100	160	0	90	GRANADA
63799	359945	6724960	100	138	0	90	GRANADA
63800	359905	6724960	100	160	0	90	GRANADA
64053	363072	6723565	100	150	0	90	GRANADA
66077	361868	6725544	100	20	0	90	GRANADA
68331	363153	6723508	100	189	0	90	GRANADA
69714	364458	6726473	100	120	0	90	GRANADA
77039	365143	6723574	100	150	0	90	GRANADA
77088	359622	6723624	100	200	0	90	GRANADA
77091	364169	6724852	100	18	0	90	GRANADA
77110	361349	6725388	100	120	0	90	GRANADA
77224	361076	6725309	100	195	0	90	GRANADA
77240	366169	6726657	100	120	0	90	GRANADA
77298	360422	6724104	100	170	0	90	GRANADA
77302	364827	6724455	100	147	0	90	GRANADA
77322	364497	6726486	100	116	0	90	GRANADA
89262	361612	6724898	100	200	0	90	GRANADA
89263	361626	6724891	100	200	0	90	GRANADA
89264	361639	6724885	100	200	0	90	GRANADA
89265	361650	6724893	100	200	0	90	GRANADA
89266	361623	6724906	100	200	0	90	GRANADA
89267	361638	6724898	100	200	0	90	GRANADA
89308	361106	6724719	100	201	0	90	GRANADA
89313	361134	6724757	100	201	0	90	GRANADA
92264	364105	6725047	100	25,05	0	90	GRANADA
92265	364189	6725097	100	25,3	0	90	GRANADA
92266	364017	6725184	100	25,05	0	90	GRANADA
92267	363932	6725070	100	25	0	90	GRANADA
93962	364174	6725126	100	25	0	90	GRANADA
101198	362677,1	6723464	100	99	0	90	GRANADA
101199	362696,6	6723454	100	130	0	90	GRANADA
101205	364306,8	6726181	100	180	0	90	GRANADA
105145	361074	6724391	100	180	0	90	GRANADA
105231	364184	6725156	100	25	0	90	GRANADA
105232	364034	6725104	100	25	0	90	GRANADA
105455	364025	6725183	100	24	0	90	GRANADA
105480	364107	6725171	100	25	0	90	GRANADA
105485	364026	6725114	100	25	0	90	GRANADA
107283	364087	6725167	100	25	0	90	GRANADA

HoleID	X	Y	Elevation	Total Depth	Azimuth	Initial Dip	Kilde
107284	363947	6725077	100	26,2	0	90	GRANADA
122599	360912,3	6724625	100	200	0	90	GRANADA
122600	360926,6	6724623	100	200	0	90	GRANADA
122601	360940,7	6724620	100	200	0	90	GRANADA
122602	360954,8	6724617	100	200	0	90	GRANADA
122755	361038,6	6724788	100	201	0	90	GRANADA
122756	361088	6724789	100	201	0	90	GRANADA
122757	361070	6724786	100	201	0	90	GRANADA
122759	361058	6724788	100	201	0	90	GRANADA
122760	361048	6724791	100	201	0	90	GRANADA
122761	361034,9	6724793	100	201	0	90	GRANADA
122762	361018	6724798	100	201	0	90	GRANADA
124822	364378	6725139	100	26	0	90	GRANADA
124823	364243	6724838	100	19	0	90	GRANADA
124824	364455	6724777	100	24	0	90	GRANADA
132784	364370	6725139	100	29,36	0	90	GRANADA
135585	359879,3	6724693	100	140	0	75	GRANADA
135586	359882,6	6724687	100	140	0	75	GRANADA
135587	359881,4	6724684	100	140	0	75	GRANADA
135588	359874,4	6724696	100	140	0	73	GRANADA
BP1	363347,3	6724991	100	39	0	90	COWI
BP10	363212	6724544	100	30	0	90	COWI
BP11	363451,2	6724385	100	30,5	0	90	COWI
BP12	363413	6724563	100	27	0	90	COWI
BP13	363322,9	6724711	100	33	0	90	COWI
BP14	363082,6	6724724	100	27	0	90	COWI
BP15	362628,6	6724621	100	18	0	90	COWI
BP2	363321,1	6725104	100	31	0	90	COWI
BP3	363527,7	6725125	100	31	0	90	COWI
BP4	363672,8	6725239	100	27	0	90	COWI
BP5	363865	6725133	100	39	0	90	COWI
BP6	363660,8	6724965	100	39	0	90	COWI
BP7	362868,4	6725097	100	15	0	90	COWI
BP8	363007,3	6724933	100	20	0	90	COWI
BP9	362822,9	6724690	100	19	0	90	COWI
PB1	364052,7	6724972	100	25	0	90	COWI
PB10	363834,9	6724928	100	0	0	90	COWI
PB11	363819,6	6724940	100	0	0	90	COWI
PB12	363346,6	6724862	100	0	0	90	COWI
PB13	363290	6724249	100	0	0	90	COWI
PB14	363147,6	6725237	100	0	0	90	COWI
PB15	364373,1	6725143	100	0	0	90	COWI
PB16	364427,5	6724874	100	0	0	90	COWI
PB2	364107,8	6725049	100	25	0	90	COWI
PB3	364185,4	6725098	100	24	0	90	COWI
PB4	364017,2	6725190	100	25	0	90	COWI
PB5	363932,9	6725071	100	25	0	90	COWI
PB7	364107,8	6725168	100	25	0	90	COWI
PB8	364028,9	6725117	100	25	0	90	COWI
PB9	364167,2	6725164	100	25	0	90	COWI

Tabell 33: Data fra csv-filen “survey” til borehull fra COWI AS benytte til modellering av løsmassefordelingen på Bømoen

HoleID	Depth	Dip	Azimuth
9532	0	90	0
10381	0	90	0
10421	0	90	0
10424	0	90	0
20834	0	90	0
53266	0	90	0
53267	0	90	0
56094	0	90	0
60511	0	90	0
63798	0	90	0
63799	0	90	0
63800	0	90	0
64053	0	90	0
66077	0	90	0
68331	0	90	0
69714	0	90	0
77039	0	90	0
77088	0	90	0
77091	0	90	0
77110	0	90	0
77224	0	90	0
77240	0	90	0
77298	0	90	0
77302	0	90	0
77322	0	90	0
89262	0	90	0
89263	0	90	0
89264	0	90	0
89265	0	90	0
89266	0	90	0
89267	0	90	0
89308	0	90	0
89313	0	90	0
92264	0	90	0
92265	0	90	0
92266	0	90	0
92267	0	90	0
93962	0	90	0
101198	0	90	0
101199	0	90	0
101205	0	90	0
105145	0	90	0
105231	0	90	0
105232	0	90	0
105455	0	90	0
105480	0	90	0
105485	0	90	0
107283	0	90	0
107284	0	90	0
122599	0	90	0
122600	0	90	0

HoleID	Depth	Dip	Azimuth
122601	0	90	0
122602	0	90	0
122755	0	90	0
122756	0	90	0
122757	0	90	0
122759	0	90	0
122760	0	90	0
122761	0	90	0
122762	0	90	0
124822	0	90	0
124823	0	90	0
124824	0	90	0
132784	0	90	0
135585	0	75	0
135586	0	75	0
135587	0	75	0
135588	0	73	0
9532	0	90	0
77091	0	90	0
124823	0	90	0
124824	0	90	0
BP1	0	90	0
BP10	0	90	0
BP11	0	90	0
BP12	0	90	0
BP13	0	90	0
BP14	0	90	0
BP15	0	90	0
BP2	0	90	0
BP3	0	90	0
BP4	0	90	0
BP5	0	90	0
BP6	0	90	0
BP7	0	90	0
BP8	0	90	0
BP9	0	90	0
PB1	0	90	0
PB10	0	90	0
PB11	0	90	0
PB12	0	90	0
PB13	0	90	0
PB14	0	90	0
PB15	0	90	0
PB16	0	90	0
PB2	0	90	0
PB3	0	90	0
PB4	0	90	0
PB5	0	90	0
PB7	0	90	0
PB8	0	90	0
PB9	0	90	0

Tabell 34: Data fra csv-filen "Lithology" til borehull fra COWI AS benytte til modellering av løsmassefordelingen på Bømoen

HoleID	From	To	Soiltype	Gruppering
9532	0	1		
9532	1	2		
9532	2	3	Stein	Blokk, stein, grus og sand
9532	3	4	Stein	Blokk, stein, grus og sand
9532	4	5	Grus	Grus
9532	5	6	Grus	Grus
9532	6	7	Grus	Grus
9532	7	8	Stein	Blokk, stein, grus og sand2
20834	5,3	14	Fjell	Fjell
60511	0	120	Fjell	Fjell
64053	9	10	Fjell	Fjell
64053	72	73	Fjell	Fjell
77091	0	15	Sand	Sand
77091	15	18	Grus	Grus
92264	0	7,5		
92264	7,5	8,5	Blokk	Blokk
92264	8,5	16	Blokk	Blokk
92264	16	18	Blokk	Blokk
92264	18	22	Blokk	Blokk
92264	22	24	Blokk	Blokk
92264	24	25	Blokk	Blokk
92265	0	12		
92265	12	15		
92265	15	18		
92265	18	21	Grov grus	Grus
92265	21	24	Grov grus	Grus
92266	0	11	Blokk	Blokk, stein, grus og sand
92266	12	15		
92266	15	22		
92266	22	25		
92267	0	9		
92267	9	12	Silt	Finstoff
92267	12	14	Silt	Finstoff
92267	14	16	Grov sand	Sand
92267	16	18	Grov sand	Sand
92267	18	20	Grov sand	Sand
92267	20	25		
93962	0	5		
93962	5	25	Sand	Sand
101198	4	99	Fjell	Fjell
101199	1,5	130	Fjell	Fjell
101205	4	180	Fjell	Fjell
105231	0	13,5	Sand, grus og stein	Blokk, stein, grus og sand
105231	13,5	18	Grus og sand	Grus og sand
105231	18	24	Sand	Sand
105231	24	25	Grus	Grus
105232	0	16	Sand, grus og stein	Blokk, stein, grus og sand
105232	16	25	Grus	Grus
105455	0	13	Sand, grus og stein	Blokk, stein, grus og sand
105455	13	24	Grus	Grus
105480	0	12,5	Sand, grus og stein	Blokk, stein, grus og sand
105480	12,5	14	Sand	Sand
105480	14	18	Sand	Sand
105480	18	25	Grus	Grus
105485	0	13,5	Sand, grus og stein	Blokk, stein, grus og sand
105485	13,5	14	Sand	Sand
105485	14	16	Sand, grus og stein	Blokk, stein, grus og sand
105485	16	18	Grus	Gurs
105485	18	25	Grusige masser	Gurs
107283	0	12	Sand, grus,stein	Blokk, stein, grus og sand
107283	12	18	Sand og grus	Sand og grus

HoleID	From	To	Soiltype	Gruppering
107283	18	25	Stein, grus	Blokk, stein, grus og sand2
107284	0	13	Sand, grus og stein	Blokk, stein, grus og sand
107284	13	18	Sand og grus	Sand og grus
107284	18	26	Grus	Grus
124822	7	13	Siltig leire	Finstoff
124822	13	14,5	Sand, grus	Sand og grus
124822	14,5	26	Sand, grus	Sand og grus
124823	0	2	Fin sand	Fin sand
124823	2	14	Silt/leire	Finstoff
124823	14	17	Fin sand	Fin sand
124823	17	19	Grus og snad	Sand og grus
124824	0	4	Stein og grus	Blokk, stein, grus og sand
124824	4	8	Fin sand	Fin sand
124824	8	12	Siltig leire	Finstoff
124824	12	18	Silt og sand	Finstoff
124824	18	21	Siltig leire	Finstoff
124824	21	23	Grusig sand	Sand
124824	23	24	Fjell	Fjell
132784	0	10	Leirig fin sand, silt	Finstoff
132784	10	12	Sand	Sand
132784	12	14	Sand	Sand
132784	14	16	Grusig fin sand	Sand
132784	16	29,36	Morene	Blokk, stein, grus og sand2
BP1	0	7,5	Grus	Grus
BP1	7,5	9,5	Sandig grus	Grus
BP1	9,5	11,5	Sandig grus	Grus
BP1	11,5	13,5	Sandig grus	Grus
BP1	13,5	14,5	Sandig grus	Grus
BP1	14,5	39	-	
BP2	0	2	Stor stein	Stein
BP2	2	3	Grusig morene m/noe finstoff	Blokk, stein, grus og sand
BP2	3	4	Grusig morene m/noe finstoff	Blokk, stein, grus og sand
BP2	4	6	Grusig sand/ sandig morene	Blokk, stein, grus og sand
BP2	6	9	Grusig sand/ sandig morene	Blokk, stein, grus og sand
BP2	9	11	Grusig sand/ sandig morene	Blokk, stein, grus og sand
BP2	11	12	Sandig grus	Grus
BP2	12	14	Sandig grus	Grus
BP2	14	15	Grusig sand/ sandig grus	Sand og grus
BP2	15	16	Grusig sand/ sandig grus	Sand og grus
BP2	16	18	Grusig siltig sand / sand	Sand og silt
BP2	18	21	Grusig siltig sand / sand	Sand og silt
BP2	21	22	Grusig siltig sand / sand	Sand og silt
BP2	22	24	Sand	Sand
BP2	24	27	Sand	Sand
BP2	27	29	Sand	Finstoff2
BP2	29	31	Silt og sand	Finstoff2
BP3	0	2	-	
BP3	2	3	Sandig stein/grus	Blokk, stein, grus og sand
BP3	3	4	Sandig stein/grus	Blokk, stein, grus og sand
BP3	4	6	Grusig morene	Blokk, stein, grus og sand
BP3	6	9	Grusig morene	Blokk, stein, grus og sand
BP3	9	11	Grusig morene	Blokk, stein, grus og sand
BP3	11	12	Sandig grus	Grus
BP3	12	14	Sandig grus	Grus
BP3	14	15	Sand	Sand
BP3	15	16	Sand	Sand
BP3	16	18	Grusig sand	Sand
BP3	18	21	Grusig sand	Sand
BP3	21	23	Grusig sand	Sand
BP3	23	24	Sand/ grusig siltig sand	Sand
BP3	24	26	Sand/ grusig siltig sand	Sand

HoleID	From	To	Soiltype	Gruppering
BP3	26	27	Sand	Finstoff2
BP3	27	31	Sand	Finstoff2
BP4	0	2		
BP4	2	5	Sandig grus	Grus
BP4	5	7	Sandig grus	Grus
BP4	7	9	Sandig grus	Grus
BP4	9	11	Sandig grus	Grus
BP4	11	14	Sandig grus/ grusig sand	Sand og grus
BP4	14	17	Grusig sand	Sand
BP4	17	19	Grusig morene	Blokk, stein, grus og sand2
BP4	19	23	Grusig morene	Blokk, stein, grus og sand2
BP4	23	25	Sandig grus	Grus
BP4	25	27	Sand	Finstoff2
BP5	0	1	grus/ stein/ blokk	Blokk, stein, grus og sand
BP5	1	2	grus/ stein/ blokk	Blokk, stein, grus og sand
BP5	2	3	Sandig grus	Grus
BP5	3	4	Sandig grus	Grus
BP5	4	5	Sandig grus/grusig sand	Sand og grus
BP5	5	6	Sandig grus/grusig sand	Sand og grus
BP5	6	7	Grusig morene	Blokk, stein, grus og sand2
BP5	7	8	Grusig morene	Blokk, stein, grus og sand2
BP5	8	9	Grusig morene	Blokk, stein, grus og sand2
BP5	9	10	Grusig morene	Blokk, stein, grus og sand2
BP5	10	11	Grusig morene	Blokk, stein, grus og sand2
BP5	11	12	Grusig morene	Blokk, stein, grus og sand2
BP5	12	13	Sand/Grusig sand	Sand
BP5	13	14	Sand/Grusig sand	Sand
BP5	14	15	Sand/Grusig sand	Sand
BP5	15	16	Sand/Grusig sand	Sand
BP5	16	17	Sandig grus/ grus	Grus
BP5	17	18	Sandig grus/ grus	Grus
BP5	18	19	Sandig grus/ grus	Grus
BP5	19	20	Sandig grus/ grus	Grus
BP5	20	21	Sandig grus/ grus	Grus
BP5	21	22	Sandig grus/ grus	Grus
BP5	22	23	Grusig sand	Sand
BP5	23	24	Grusig sand	Sand
BP5	24	25	Grusig sand	Sand
BP5	25	26	Grusig sand	Sand
BP5	26	27	Grusig sand	Sand
BP5	27	28	Grusig sand	Sand
BP5	28	29	Grusig sand	Sand
BP5	29	30	Grusig sand	Sand
BP5	30	31	Grusig sand	Sand
BP5	31	32	Grusig sand	Sand
BP5	32	33	Grusig sand	Sand
BP5	33	34	Grusig sand	Sand
BP5	34	35	Grusig sand	Sand
BP5	35	36	Grusig sand	Sand
BP5	36	37	Sand	Sand
BP5	37	38	Sand	Sand
BP5	38	39	Sand	Sand
BP6	0	1	jord/ stein/ grus	Blokk, stein, grus og sand
BP6	1	2	grus/ sand	Sand og grus
BP6	2	3	Sandig grus	Grus
BP6	3	4	Sandig grus	Grus
BP6	4	5	Sandig grus	Grus
BP6	5	6	Sandig grus	Grus
BP6	6	7	Sandig grus/ grusig sand	Sand og grus
BP6	7	8	Sandig grus/ grusig sand	Sand og grus
BP6	8	9	Sandig grus/ grusig sand	Sand og grus

HoleID	From	To	Soiltype	Gruppering
BP6	9	10	Sandig grus/ grusig sand	Sand og grus
BP6	10	10,5	Sandig grus/ grusig sand	Sand og grus
BP6	10,5	11	Sandig grus/ grusig sand	Sand og grus
BP6	11	12	Sandig grus/ grusig sand	Sand og grus
BP6	12	13	Sand	Sand
BP6	13	14	Sand	Sand
BP6	14	15	Sand	Sand
BP6	15	16	Sand	Sand
BP6	16	16,5	Sandig grus	Grus
BP6	16,5	17	Sandig grus	Grus
BP6	17	18	Sandig grus	Grus
BP6	18	19	Sandig grus	Grus
BP6	19	20	Sandig grus	Grus
BP6	20	21	Sandig grus	Grus
BP6	21	22	Sandig grus	Grus
BP6	22	23	Sandig grus	Grus
BP6	23	24	Sandig grus	Grus
BP6	24	25	Sandig grus	Grus
BP6	25	26	Sandig grus	Grus
BP6	26	27	Sandig grus	Grus
BP6	27	28	Sandig grus	Grus
BP6	28	29	Sandig grus	Grus
BP6	29	30	Sandig grus	Grus
BP6	30	31	Sandig grus	Grus
BP6	31	32	Sandig grus	Grus
BP6	32	33	Sandig grus	Grus
BP6	33	34	Sandig grus	Grus
BP6	34	35	Sandig grus	Grus
BP6	35	36	Sandig grus	Grus
BP6	36	37	Grusig sand	Sand
BP6	37	38	Grusig sand	Sand
BP6	38	39	Sand	Sand
BP7	0	1	grus/ stein/ blokk	Blokk, stein, grus og sand
BP7	1	2	grus/ stein/ blokk	Blokk, stein, grus og sand
BP7	2	3	Sandig grus	Grus
BP7	3	4	Sandig grus	Grus
BP7	4	5	Sandig grus/ grusig sand	Sand og grus
BP7	5	6	Sandig grus/ grusig sand	Sand og grus
BP7	6	7	Sandig grus	Grus
BP7	7	8	Sandig grus	Grus
BP7	8	9	Grusig sand	Sand
BP7	9	10	Grusig sand	Sand
BP7	10	11	Sandig morene	Blokk, stein, grus og sand2
BP7	11	12	Sandig morene	Finstoff2
BP7	12	15	Fjell	Fjell
BP8	0	1	jord/ grus/ blokk / stein	Blokk, stein, grus og sand
BP8	1	2	jord/ grus/ blokk / stein	Blokk, stein, grus og sand
BP8	2	3	Sandig grus	Gurs
BP8	3	4	Sandig grus	Gurs
BP8	4	5	Sandig grus	Gurs
BP8	5	6	Sandig grus	Gurs
BP8	6	7	Sandig grus	Gurs
BP8	7	8	Sandig grus	Gurs
BP8	8	9	Sandig grus	Gurs
BP8	9	10	Sandig grus	Gurs
BP8	10	11	Sandig grus	Gurs
BP8	11	12	Sandig grus	Gurs
BP8	12	13	Grusig sand	Sand
BP8	13	14	Grusig sand	Sand
BP8	14	15	Sand	Finstoff2
BP8	15	16	Sand	Finstoff2

HoleID	From	To	Soiltype	Gruppering
BP8	16	17	Sand	Finstoff2
BP8	17	18	Sand	Finstoff2
BP8	18	20	Fjell	Fjell
BP9	0	1	grus/ stein/ blokk	Blokk, stein, grus og sand
BP9	1	2	grus/ stein/ blokk	Blokk, stein, grus og sand
BP9	2	3	Sandig grus	Grus
BP9	3	4	Sandig grus	Gurs
BP9	4	5	Sandig grus/grusig sand	Sand og grus
BP9	5	6	Sandig grus/grusig sand	Sand og grus
BP9	6	7	Grusig sand	Sand
BP9	7	8	Grusig sand	Sand
BP9	8	9	Grusig sand	Sand
BP9	9	10	Grusig sand	Sand
BP9	10	11	Grusig sand(grov sand)	Sand
BP9	11	12	Grusig sand(grov sand)	Sand
BP9	12	13	Grusig sand(grov sand)	Sand
BP9	13	14	Grusig sand(grov sand)	Sand
BP9	14	15	Grusig sand	Sand
BP9	15	16	Grusig sand	Sand
BP9	16	17	Sand (siltig sand)	Finstoff2
BP9	17	17,5	Sand (siltig sand)	Finstoff2
BP9	17,5	18	Sand (siltig sand)	Finstoff2
BP9	18	18,5	Siltig grusig sand	Finstoff2
BP9	18,5	19	Fjell	Fjell
BP10	0	1	jord/ grus	Grus
BP10	1	2	fin sand/ grus	Sand og grus
BP10	2	3	Grusig sand	Sand
BP10	3	4	Grusig sand	Sand
BP10	4	5	Grusig sand	Sand
BP10	5	6	Grusig sand	Sand
BP10	6	7	Sandig grus	Grus
BP10	7	8	Sandig grus	Grus
BP10	8	9	Sandig grus	Grus
BP10	9	10	Sandig grus	Grus
BP10	10	11	Grusig sand	Sand
BP10	11	12	Grusig sand	Sand
BP10	12	13	Sandig grus	Gurs
BP10	13	14	Sandig grus	Gurs
BP10	14	15	Sandig grus	Gurs
BP10	15	16	Sandig grus	Gurs
BP10	16	17	Sandig grus	Gurs
BP10	17	18	Sandig grus	Gurs
BP10	18	19	Sandig grus	Gurs
BP10	19	20	Sandig grus	Gurs
BP10	20	21	Grusig sand	Sand
BP10	21	22	Grusig sand	Sand
BP10	22	23	Grusig sand	Sand
BP10	23	24	Grusig sand	Sand
BP10	24	25	Sand	Sand
BP10	25	26	Sand	Sand
BP10	26	27	Sandig grus	Grus
BP10	27	28	Sandig grus	Finstoff2
BP10	28	29	Sand	Finstoff2
BP10	29	30	Sand(fin sand)	Finstoff2
BP11	0	1	jord/ grus/ stein/ blokk	Blokk, stein, grus og sand
BP11	1	2	grus/ stein/ blokk	Blokk, stein, grus og sand
BP11	2	3	Sandig grus	Gurs
BP11	3	4	Sandig grus	Gurs
BP11	4	5	Sandig grus	Gurs
BP11	5	6	Sandig grus	Gurs
BP11	6	7	Sandig grus	Gurs

HoleID	From	To	Soiltype	Gruppering
BP11	7	8	Sandig grus	Gurs
BP11	8	9	Sandig grus (grusig sand)	Sand og grus
BP11	9	10	Sandig grus (grusig sand)	Sand og grus
BP11	10	11	Sandig grus (grusig sand)	Sand og grus
BP11	11	12	Sandig grus (grusig sand)	Sand og grus
BP11	12	13	Sandig grus	Grus
BP11	13	14	Sandig grus	Grus
BP11	14	15	Sandig grus	Grus
BP11	15	16	Sandig grus	Grus
BP11	16	17	Sandig grus (grusig sand)	Sand og grus
BP11	17	18	Sandig grus (grusig sand)	Sand og grus
BP11	18	19	Sand	Sand
BP11	19	20	Sand	Sand
BP11	20	21	Sand	Sand
BP11	21	22	Sand	Sand
BP11	22	23	Sand	Sand
BP11	23	24	Sand	Sand
BP11	24	25	Sand	Sand
BP11	25	26	Sand	Sand
BP11	26	27	Sand	Sand
BP11	27	28	Sand	Sand
BP11	28	29	Sand	Sand
BP11	29	30	Sand	Sand
BP11	30	30,5	Silt	Finstoff2
BP12	0	1	Grov stein/ blokk med mye finstoff	Blokk, stein, grus og sand
BP12	1	2	Grov stein/ blokk med mye finstoff	Blokk, stein, grus og sand
BP12	2	3	Sandig grus/grusig sand	Sand og grus
BP12	3	4	Sandig grus/grusig sand	Sand og grus
BP12	4	5	Sandig grus/grusig sand	Sand og grus
BP12	5	6	Sandig grus/grusig sand	Sand og grus
BP12	6	7	Sandig grus	Grus
BP12	7	8	Sandig grus	Grus
BP12	8	9	Sandig grus/grusig sand	Sand og grus
BP12	9	10	Sandig grus/grusig sand	Sand og grus
BP12	10	11	Grusig siltig sand	Sand
BP12	11	12	Grusig siltig sand	Sand
BP12	12	13	Grusig siltig sand	Sand
BP12	13	14	Grusig siltig sand	Sand
BP12	14	15	Grusig siltig sand	Sand
BP12	15	16	Grusig siltig sand	Sand
BP12	16	17	Grusig siltig sand (sandig grus)	Sand og grus
BP12	17	18	Grusig siltig sand	Sand
BP12	18	19	Sand	Sand
BP12	19	20	Sand	Sand
BP12	20	21	Sand	Sand
BP12	21	22	Sand	Sand
BP12	22	23	Sand	Finstoff2
BP12	23	24	Sand	Finstoff2
BP12	24	25	Sand	Finstoff2
BP12	25	26	Sand	Finstoff2
BP12	26	27	Sand	Finstoff2
BP13	0	1	jord/ grus	Grus
BP13	1	2	sand/ grus	Sand og grus
BP13	2	3	Sandig grus/ grusig sand	Sand og grus
BP13	3	4	Sandig grus/ grusig sand	Sand og grus
BP13	4	5	Grusig sand	Sand
BP13	5	6	Grusig sand	Sand
BP13	6	7	Grusig sand/ sandig grus	Sand og grus
BP13	7	8	Grusig sand/ sandig grus	Sand og grus
BP13	8	9	Grusig sand/ sandig grus (Sandig grus)	Sand og grus
BP13	9	10	Grusig sand/ sandig grus (Sandig grus)	Sand og grus

HoleID	From	To	Soiltype	Gruppering
BP13	10	11	Grusig sand/ sandig grus (grusig sand)	Sand og grus
BP13	11	12	Grusig sand/ sandig grus (grusig sand)	Sand og grus
BP13	12	13	Sandig grus	Grus
BP13	13	14	Sandig grus	Grus
BP13	14	15	Sandig grus	Grus
BP13	15	16	Sandig grus	Grus
BP13	16	17	Sandig grus	Grus
BP13	17	18	Sandig grus	Grus
BP13	18	19	Sandig grus	Grus
BP13	19	20	Sandig grus	Grus
BP13	20	21	Sandig grus	Grus
BP13	21	22	Sandig grus	Grus
BP13	22	23	Sandig grus	Grus
BP13	23	24	Sandig grus	Grus
BP13	24	25	Sandig grus	Grus
BP13	25	26	Sandig grus	Grus
BP13	26	27	Sandig grus	Grus
BP13	27	28	Sandig grus	Grus
BP13	28	29	Sandig grus	Grus
BP13	29	30	Sandig grus	Grus
BP13	30	31	Grusig sand/ sandig grus	Sand og grus
BP13	31	32	Grusig sand/ sandig grus	Sand og grus
BP13	32	33	Grusig sand/ sandig grus (Grov sand)	Sand og grus
BP14	0	1	jord/ grus/ stein/ blokk	Blokk, stein, grus og sand
BP14	1	2	grus/ stein/ blokk	Blokk, stein, grus og sand
BP14	2	3	Sandig grus/ grusig sand	Sand og grus
BP14	3	4	Sandig grus/ grusig sand	Sand og grus
BP14	4	5	Sandig grus	Grus
BP14	5	6	Sandig grus	Grus
BP14	6	7	Sandig grus	Grus
BP14	7	8	Sandig grus	Grus
BP14	8	9	Sandig grus	Grus
BP14	9	10	Sandig grus	Grus
BP14	10	11	Sandig grus	Grus
BP14	11	12	Sandig grus	Grus
BP14	12	13	Sand (Grov sand)	Sand
BP14	13	14	Sand (Grov sand)	Sand
BP14	14	14,5	Sand (Grov sand)	Sand
BP14	14,5	15	Sand (Grov sand)	Sand
BP14	15	16	Sand (Grov sand)	Sand
BP14	16	17	Sand	Sand
BP14	17	18	Sand	Sand
BP14	18	19	Sand	Sand
BP14	19	20	Sand	Sand
BP14	20	21	Siltig sand	Finstoff2
BP14	21	22	Siltig sand	Finstoff2
BP14	22	23	Siltig grusig sand	Finstoff2
BP14	23	24	Siltig sand	Finstoff2
BP14	24	25	Sand	Finstoff2
BP14	25	26	Sand	Finstoff2
BP14	26	27	Fjell	Fjell
BP15	0	1	Jord, torv	
BP15	1	2	Sandig grus	Grus
BP15	2	3	Sandig grus/ grusig sand	Sand og gurs
BP15	3	4	Sandig grus/ grusig sand	Sand og gurs
BP15	4	5	Sandig grus	Grus
BP15	5	6	Sandig grus	Grus
BP15	6	7	Sandig grus	Grus
BP15	7	8	Sandig grus	Grus
BP15	8	9	Sand/ Grusig sand	Sand
BP15	9	10	Sand/ Grusig sand	Sand

HoleID	From	To	Soiltype	Gruppering
BP13	10	11	Grusig sand/ sandig grus (grusig sand)	Sand og grus
BP13	11	12	Grusig sand/ sandig grus (grusig sand)	Sand og grus
BP13	12	13	Sandig grus	Grus
BP13	13	14	Sandig grus	Grus
BP13	14	15	Sandig grus	Grus
BP13	15	16	Sandig grus	Grus
BP13	16	17	Sandig grus	Grus
BP13	17	18	Sandig grus	Grus
BP13	18	19	Sandig grus	Grus
BP13	19	20	Sandig grus	Grus
BP13	20	21	Sandig grus	Grus
BP13	21	22	Sandig grus	Grus
BP13	22	23	Sandig grus	Grus
BP13	23	24	Sandig grus	Grus
BP13	24	25	Sandig grus	Grus
BP13	25	26	Sandig grus	Grus
BP13	26	27	Sandig grus	Grus
BP13	27	28	Sandig grus	Grus
BP13	28	29	Sandig grus	Grus
BP13	29	30	Sandig grus	Grus
BP13	30	31	Grusig sand/ sandig grus	Sand og grus
BP13	31	32	Grusig sand/ sandig grus	Sand og grus
BP13	32	33	Grusig sand/ sandig grus (Grov sand)	Sand og grus
BP14	0	1	jord/ grus/ stein/ blokk	Blokk, stein, grus og sand
BP14	1	2	grus/ stein/ blokk	Blokk, stein, grus og sand
BP14	2	3	Sandig grus/ grusig sand	Sand og grus
BP14	3	4	Sandig grus/ grusig sand	Sand og grus
BP14	4	5	Sandig grus	Grus
BP14	5	6	Sandig grus	Grus
BP14	6	7	Sandig grus	Grus
BP14	7	8	Sandig grus	Grus
BP14	8	9	Sandig grus	Grus
BP14	9	10	Sandig grus	Grus
BP14	10	11	Sandig grus	Grus
BP14	11	12	Sandig grus	Grus
BP14	12	13	Sand (Grov sand)	Sand
BP14	13	14	Sand (Grov sand)	Sand
BP14	14	14,5	Sand (Grov sand)	Sand
BP14	14,5	15	Sand (Grov sand)	Sand
BP14	15	16	Sand (Grov sand)	Sand
BP14	16	17	Sand	Sand
BP14	17	18	Sand	Sand
BP14	18	19	Sand	Sand
BP14	19	20	Sand	Sand
BP14	20	21	Siltig sand	Finstoff2
BP14	21	22	Siltig sand	Finstoff2
BP14	22	23	Siltig grusig sand	Finstoff2
BP14	23	24	Siltig sand	Finstoff2
BP14	24	25	Sand	Finstoff2
BP14	25	26	Sand	Finstoff2
BP14	26	27	Fjell	Fjell
BP15	0	1	Jord, torv	
BP15	1	2	Sandig grus	Grus
BP15	2	3	Sandig grus/ grusig sand	Sand og gurs
BP15	3	4	Sandig grus/ grusig sand	Sand og gurs
BP15	4	5	Sandig grus	Grus
BP15	5	6	Sandig grus	Grus
BP15	6	7	Sandig grus	Grus
BP15	7	8	Sandig grus	Grus
BP15	8	9	Sand/ Grusig sand	Sand
BP15	9	10	Sand/ Grusig sand	Sand

