

Inga Kristin Gåsbakk og Thea Lillemo Winther

## Grusressurser i Ringerike kommune

Kvalitetsundersøkelser, forsøk med mCT-skanning og vurdering av arealkonflikter

Masteroppgave i Tekniske Geofag

Veileder: Bjørn Frengstad

Medveileder: Annina Margreth

Juni 2022



Inga Kristin Gåsbakk og Thea Lillemo Winther

## **Grusressurser i Ringerike kommune**

Kvalitetsundersøkelser, forsøk med mCT-skanning og vurdering av arealkonflikter

Masteroppgave i Tekniske Geofag  
Veileder: Bjørn Frenstad  
Medveileder: Annina Margreth  
Juni 2022

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



Kunnskap for en bedre verden



## Sammendrag

Ringerike kommune er rik på byggeråstoffer, spesielt grus. Kommunen har tre forekomster av nasjonal betydning som er viktig for nasjonal forsyning. Kommunen må være flink til å prioritere riktig slik at viktige ressurser blir utnyttet på korrekt måte. Byggeråstoffer er en mangelvare flere steder, og kreves til både veibygging og boligbygging. Tilslag er hovedkomponenten i betong og vei, og kvaliteten på tilslaget er derfor avgjørende for kvaliteten på det ferdige produktet. Massene fra Hensmoen og Kilemoen er godt egnet som betongtilslag og lavkvalitetstetlagene i veibygging.

mCT-skanning er en ny metode som kan brukes for å bestemme kornfordeling. Det blir nå brukt for å analysere kjerneprøver i petroleumsbransjen, men denne metoden er relativt ny til bruk på løsmasseprøver for å finne kornfordeling. I dette tilfellet fungerte ikke mCT-skanningen for å lage kornfordeling. Maskinen som ble brukt er ikke optimal for slike typer prøver; prøvene var for store og kun et lite område av prøven ble analysert. Det har potensiale for å bli en effektiv metode for å finne kornfordelingen, dersom det brukes en mCT-maskin som med riktige innstillinger gir en tilstrekkelig oppløsning.

Ved å gjennomføre en GIS - analyse kan en undersøke tilgjengeligheten for fremtidige masseuttak og estimere volumet. NGU jobber med en ny beregningsmodell for å gjøre dette mer automatisk. Denne modellen skal ta i betraktning de forskjellige aspektene og konfliktområdene for grus- og pukkkforekomster, som kvalitet, plassering, bebyggelse og reguleringer. De tre forekomstene av nasjonal betydning i Ringerike kommune har et samlet volum på ca 150 *mill.m*<sup>3</sup>. Den årlige produksjonen på Hensmoen og Kilemoen er til sammen 780 000 tonn. Arealkonflikter hindrer uttak av masser på Eggemoen. Datasettene i GIS har noen unøyaktigheter, men de er såpass små at det ikke vil utgjøre store feil når det er snakk om forekomster med store arealer.



## **Abstract**

Ringerike municipality is rich in building materials, especially gravel. The municipality has three deposits of national significance that is important for national supply. The municipality must be good at prioritizing accurately so that important resources are utilized correctly. Building materials are in short supply in several places, and is required for both road construction and housing construction. Aggregate is the main component in concrete and in roads, and the quality of the aggregate is therefore crucial for the quality of the finished product. The masses from Hensmoen and Kilemoen are well suited as concrete aggregates and low-quality layers in road construction.

mCT scanning is a new method that can be used to determine grain distribution. It is now used to analyze core samples in the petroleum industry, but this method is relatively new for finding grain distribution. In this case, it was not successful using mCT scan for finding the grain distribution. The machine that was used is not optimal for these samples; the samples were too large and only a small area of the sample was analyzed. It has the potential to be an effective method for finding the grain distribution, if an mCT machine is used with the correct input which provide an adequate resolution.

By conducting a GIS analysis, one can examine the availability of future mass excavations and estimate the volume. NGU is working on a new calculation model to do this more automatic. This model should take into account the different aspects and areas of conflict for gravel and crushed stone deposits, such as quality, location, buildings and regulations. The three deposits of national significance in Ringerike municipality have a total volume of about 150 *mill.m*<sup>3</sup>. The annual production at Hensmoen and Kilemoen is a total of 780,000 tonnes. Area conflicts prevents the extraction of masses on Eggemoen. The datasets in GIS have some inaccuracies, but they are small enough so that it will not constitute major errors when it comes to deposits with large areas.





## **Forord**

Denne masteroppgaven er skrevet ved institutt for geovitenskap og petroleum ved Norges teknisk-naturvitenskaplige universitet våren 2022. Oppgaven har et omfang på 30 studiepoeng. Prosjektoppgaven som ble skrevet høsten 2021 var forberedende arbeid til masteroppgaven og deler av prosjektoppgaven er brukt videre i masteroppgaven. Grunnlaget for oppgaven er literatursøk, feltarbeid i Ringerike kommune, laboratoriearbeid, GIS-analyse og bildeanalyse.

En stor takk til veileder Bjørn Frengstad for god hjelp og veiledning med kommentarer, synspunkt og innspill i forbindelse med oppgaveskriving.

Takk til Annina Margreth for veiledning, faglig hjelp, organisering av feltarbeid og laboratoriearbeid. Takk for god hjelp med GIS-analysen.

Vi ønsker også å takke Gunnar Vistnes og Jon Drotninghaug for veiledning på laboratoriet på NTNU.

Takk til Haili Long-Sanouiller for å ha tatt seg tid til å skanne CT-prøvene og for å forklare prosessen.

Læringsutbyttet har vært høyt og trivselen god under både feltarbeidet, laboratorieøvelser og oppgaveskriving. Medstudenter har også bidratt med faglig diskusjon og tips. Sist men ikke minst, takk til hverandre for motivasjon og for å gjøre oppgaveskriving morsommere sammen.

Trondheim, juni 2022

Inga Kristin Gåsbakk og Thea Lillemo Winther



# Innhold

<b>Sammendrag</b>	<b>i</b>
<b>Abstract</b>	<b>iii</b>
<b>Forord</b>	<b>v</b>
<b>Figurer</b>	<b>x</b>
<b>Tabeller</b>	<b>xiv</b>
<b>1 Innledning</b>	<b>1</b>
1.1 Bakgrunn for oppgaven . . . . .	1
1.2 Mål for oppgaven . . . . .	2
1.3 Oppbygning av oppgaven . . . . .	2
1.4 Definisjoner . . . . .	3
1.5 Avgrensninger . . . . .	3
<b>2 Områdebeskrivelse</b>	<b>3</b>
2.1 Sand- og grusressurs i Ringerike . . . . .	3
2.2 Geologi . . . . .	5
2.2.1 Kwartærgeologi . . . . .	5
2.2.2 Geologien i Ringerike . . . . .	7
<b>3 Teori</b>	<b>10</b>
3.1 Laboratoriearbeid . . . . .	10
3.1.1 Materialkrav for veitilslag . . . . .	10
3.1.2 Materialkrav for betongtilslag . . . . .	12
3.2 mCT-skanning og Bildeanalyse . . . . .	16
3.3 GIS . . . . .	20
3.3.1 Datasett . . . . .	21
3.3.2 Begrensninger på arealer . . . . .	23
<b>4 Metode</b>	<b>24</b>
4.1 Laboratoriearbeid . . . . .	24
4.2 mCT-skanning og Bildeanalyse . . . . .	26
4.3 GIS . . . . .	31
<b>5 Resultater</b>	<b>33</b>

5.1	Laboratoriearbeid . . . . .	33
5.1.1	Kulemølle . . . . .	33
5.1.2	Microdeval . . . . .	33
5.1.3	Los Angeles . . . . .	34
5.1.4	Flisighet . . . . .	35
5.1.5	Kornfordelingsanalyse . . . . .	35
5.1.6	Petrografisk analyse . . . . .	38
5.1.7	Humustest . . . . .	42
5.2	mCT-skanning og Bildeanalyse . . . . .	43
5.2.1	Hensmoen . . . . .	43
5.2.2	Kilemoen . . . . .	45
5.3	GIS . . . . .	49
<b>6</b>	<b>Diskusjon</b>	<b>56</b>
6.1	Laboratoriearbeid . . . . .	56
6.1.1	Mekaniske tester . . . . .	56
6.1.2	Flisighet . . . . .	57
6.1.3	Kornfordelingsanalyse . . . . .	57
6.1.4	Petrografisk analyse . . . . .	59
6.1.5	Humustest . . . . .	60
6.1.6	Samlet vurdering av laboratorietestene . . . . .	61
6.1.7	Naturgrus vs knust grus . . . . .	61
6.2	mCT-skanning og Bildeanalyse . . . . .	62
6.3	GIS . . . . .	69
6.3.1	Uttak av masser i fremtiden . . . . .	69
6.3.2	Grenser og nøyaktigheten til datasett . . . . .	75
<b>7</b>	<b>Konklusjon</b>	<b>76</b>
	<b>Referanser</b>	<b>78</b>
	<b>Vedlegg</b>	<b>84</b>
<b>A</b>	<b>Beregning av kulemølleverdi</b>	<b>84</b>
<b>B</b>	<b>Beregning av Los Angeles-verdi</b>	<b>86</b>
<b>C</b>	<b>Beregning av micro-Deval koeffisient</b>	<b>88</b>

<b>D</b>	<b>Mekaniske tester</b>	<b>90</b>
<b>E</b>	<b>Petrografisk analyse</b>	<b>91</b>
<b>F</b>	<b>Reguleringsplaner</b>	<b>93</b>

## Figurer

2.1	Til venstre (a): Isens bevegelsesretning under siste istid (Ramberg mfl., 2006). Til høyre (b): Israndtrinnene på østlandet (L. Olsen og K. Riiber, 2018). . . . .	6
2.2	Berggrunnskart av deler av Ringerike kommune (NGU, 2021d). . . . .	7
2.3	Løsmassekart over deler av Ringerike kommune (NGU, 2021e). . . . .	8
2.4	Oppbygningen av et isranddelta (Stabbetorp og Erikstad, 1999) . . . . .	9
3.1	Lag i overbygning (Aurstad, 2016). . . . .	11
3.2	Korngraderingskurver for tilslag i betong (University of Memphis, 2002). . . . .	13
3.3	Oppsett for CT-skann (Ketcham, 2017) . . . . .	17
3.4	Visualisering av pixelstørrelse. Bildet til venstre har en pixelstørrelse på $200\mu m$ , bildet til høyre har en pixelstørrelse på $100 m$ (WaygateTechnologies, 2020) . . . . .	18
3.5	Et GIS-kart kan inneholde mange lag som ligger oppå hverandre (City of Hattiesburg, 2018). . . . .	20
3.6	Standard dristribusjonsløype for FKB-data (Kartverket, 2021). . . . .	22
4.1	Oversiktsbilde over hvor prøver ble tatt i den nederste delen av grustaket på Hensmoen. . . . .	24
4.2	Oversikt over prøver som er tatt på Kilemoen. . . . .	25
4.3	Oversiktsbilde over hvor prøver fra topplaget på Kilemoen ble tatt. Prøven ble brukt til humustest. . . . .	26
4.4	mCT-maskinen som ble brukt til å skanne prøvene (Nikon, 2022). . . . .	27
4.5	Innsiden av mCT-maskinen med plassering av prøve. . . . .	28
4.6	Steg som må gjennomføres i ImageJ før partikkelanalysen. 1: "brighten", 2: "smooth", 3: "threshold", 4: "watershed". Her er resultatene fra Hensmoen 2 brukt som eksempel for å illustrere stegene. . . . .	30
5.1	Mølleverdien til grus fra breelavsetning. De blå søylene viser naturgrus mens de oransje viser knust grus. . . . .	33
5.2	Micro-Deval koeffisient til grus fra breelavsetning. De blå søylene viser naturgrus mens de oransje viser knust grus. . . . .	34
5.3	LA-verdi til grus fra breelavsetning. De blå søylene viser naturgrus mens de oransje viser knust grus. . . . .	34
5.4	Kornfordelingskurve for "Hensmoen 1". . . . .	36
5.5	Kornfordelingskurve for "Hensmoen 2". . . . .	36

5.6	Kornfordelingskurve for "Kilemoen 1". . . . .	37
5.7	Kornfordelingskurve for "Kilemoen 2". . . . .	37
5.8	Kornfordelingskurve fra laserdiffraksjon for "Kilemoen 2". . . . .	38
5.9	Kornfordelingskurve for "Kilemoen 3". . . . .	38
5.10	Petrografisk analyse for Hensmoen. . . . .	39
5.11	Petrografisk analyse for Kilemoen. . . . .	41
5.12	Humustest. De to prøvene til venstre viser prøvemateriale fra to forskjellige hauger fra topplaget fra Kilemoen, mens prøven til venstre er prøvemateriale fra "Kilemoen 1". . . . .	42
5.13	Et tilfeldig snitt fra mCT-skanningen av prøve "Hensmoen 2". Til venstre et horisontalt snitt, til høyre et vertikalt snitt. . . . .	43
5.14	Resultatene fra mCT-skanningen av "Hensmoen 2" i bildeanalyseverktøyet ImageJ. Her har den røde boksen i bilde 1, og de resterende bildene en størrelse på 1,5x1,5cm. . . . .	44
5.15	Kornfordelingskurve for "Hensmoen 2". Kurven er basert på volum av korn i prøven, funnet ved bildeanalyse av mCT-skanning. . . . .	45
5.16	Et tilfeldig snitt fra mCT-skanningen av prøve "Kilemoen 1". Til venstre et horisontalt snitt, til høyre et vertikalt snitt. . . . .	46
5.17	Et tilfeldig snitt fra mCT-skanningen av prøve "Kilemoen 3". Til venstre et horisontalt snitt, til høyre et vertikalt snitt. . . . .	46
5.18	Resultatene fra mCT-skanningen av "Kilemoen 1" i bildeanalyseverktøyet ImageJ. . . . .	47
5.19	Resultatene fra mCT-skanningen av "Kilemoen 3" i bildeanalyseverktøyet ImageJ. . . . .	47
5.20	Kornfordelingskurve for "Kilemoen 1". Kurven er basert på volum av korn i prøven, funnet ved bildeanalyse av mCT-skanning. . . . .	48
5.21	Kornfordelingskurve for "Kilemoen 3". Kurven er basert på volum av korn i prøven, funnet ved bildeanalyse av mCT-skanning. . . . .	48
5.22	Grafisk fremvisning av prosent gjenværende (blå) og uttatt (oransje) masse fra forekomster av nasjonal betydning i Ringerike kommune. . . . .	49
5.23	Eksempel på at datasettet arealbruk ikke er helt nøyaktig. De røde områdene i bilde til venstre representerer uttatt masse, mens bilde til høyre er ortofoto av samme område. Bildet er fra Kilemoen med vestsiden pukkverk og Kilemoen grustak. . . . .	50

5.24	Oversiktsbilde over grusforekomsten på Hensmoen og Kilemoen og hva slags arealtyper som befinner seg i området. . . . .	51
5.25	Oversiktsbilde over grusforekomsten på Eggemoen og hva slags datasett som befinner seg i området. . . . .	52
5.26	Grafisk fremvisning av volum av grusforekomstene av nasjonal betydning i Ringerike kommune. . . . .	53
5.27	Grafisk fremvisning AR5-datasettet målt i prosent av forekomstene med nasjonal betydning i Ringerike kommune. . . . .	53
5.28	Fredete bygninger og kulturminnelokaliteter på Eggemoen. . . . .	54
5.29	Naturvernområder på Eggemoen. . . . .	55
6.1	Testresultater av naturgrus fra Hensmoen mot krav til veidekke og veifundament. Laget av NGU i sammenheng med laboratorietesting. . . . .	56
6.2	Testresultater av naturgrus fra Kilemoen mot krav til veidekke og veifundament. Laget av NGU i sammenheng med laboratorietesting. . . . .	57
6.3	Sammenligning av snittbilder fra mCT-prøver fra ”Hensmoen 2”, ”Kilemoen 1”og ”Kilemoen 3”. . . . .	63
6.4	Sammenligning av korn grenser tolket av imageJ for ”Hensmoen 2”. . . . .	64
6.5	Sammenligning av korn grenser tolket av imageJ for ”Kilemoen 1”. . . . .	64
6.6	Sammenligning av korn grenser tolket av imageJ for ”Kilemoen 3”. . . . .	65
6.7	Sammenligning av kornfordelingskurve fra sikting og mCT-prøve for ”Hensmoen 2”. . . . .	66
6.8	Sammenligning av kornfordelingskurve fra sikting og mCT-prøve for ”Kilemoen 1”. . . . .	67
6.9	Sammenligning av kornfordelingskurve fra sikting og mCT-prøve for ”Kilemoen 3”. . . . .	67
6.10	Reguleringsplaner på Eggemoen. Hver røde figur representerer hver sin reguleringsplan på Eggemoen. . . . .	69
6.11	Reguleringsplan av Eggemoen aviation and technology park (Ringerike kommune, 2022) . . . . .	70
6.12	Reguleringsplan over et område på Eggemoen (Ringerike kommune, 2022). Området er regulert til spesialområde og nærøvingssområde for forsvaret. . . . .	71



6.13	Reguleringsplan over område lengst nord på Eggemoen (Ringerike kommune, 2022). Området er regulert til skyte og øvingsfelt for forsvaret. . . . .	72
6.14	Dersom det blir etablert uttak på Eggemoen bør det drives fra nordsiden. Uttaket bør starte i sone 1 og deretter videre i sone 2. . . . .	74
A.1	Beregning av kulemølleverdi for Hensmoen . . . . .	84
A.2	Beregning av kulemølleverdi for Kilemoen . . . . .	85
B.1	Beregning av los Angeles-verdi for Hensmoen . . . . .	86
B.2	Beregning av los Angeles-verdi for Kilemoen . . . . .	87
C.1	Beregning av micro-Deval koeffisient for Hensmoen . . . . .	88
C.2	Beregning av micro-Deval koeffisient for Kilemoen . . . . .	89
D.1	Testresultater fra knust grus fra Hensmoen mot krav til veidekke og veifundament. Laget av NGU i sammenheng med laboratorietesting. . . . .	90
D.2	Testresultater fra knust grus fra Kilemoen mot krav til veidekke og veifundament. Laget av NGU i sammenheng med laboratorietesting. . . . .	90
F.1	Arealplankart av Kilemoen vannverk. . . . .	93
F.2	Arealplankart av masseuttak på Hensmoen. . . . .	94
F.3	Arealplankart av masseuttak på Kilemoen. . . . .	95

## Tabeller

2.1	Oversikt over kartlagte grusressurser i Ringerike kommune. Dataen er hentet fra ArcGIS pro. . . . .	4
3.1	Antall 10 tonns aksler for trafikkgrupper (Statens Vegvesen, 2018a). . . . .	10
3.2	Krav for grus som tilslag i vei (Statens Vegvesen, 2018b) . . . . .	12
3.3	Klassifisering av bergarters alkalireaktivitet (Lindgård, 2007). . . . .	15
4.1	Spesifikasjoner for prøver og skanneinnstillinger. . . . .	27
4.2	Spesifikasjoner for røntgenstrålekilde, system, detektor og kabinett. . . . .	29
4.3	Datasettene i GIS som ble sjekket opp mot hverandre. . . . .	32
5.1	Gjennomsnittelig flisighetsindeks (FI) for fraksjon 10/14 <i>mm</i> . . . . .	35
5.2	Graderingstall for løsmasseprøvene. . . . .	35
5.3	Humustest for prøve 1 fra Kilemoen og to prøver fra forskjellige hauger fra topplaget på Kilemoen. . . . .	43
5.4	Oversikt over volum av uttatt og gjenværende masse i forekomstene av nasjonal betydning i Ringerike kommune. Tallene er hentet fra ArcGIS. . . . .	50
E.1	Petrografisk analyse for Hensmoen. . . . .	91
E.2	Petrografisk analyse for Kilemoen. . . . .	92

# 1 Innledning

Arbeidet til masteroppgaven startet i August 2021, og en prosjektoppgave med tittel *Naturgrus som byggeråstoff - Arealplanlegging og kvalitetsundersøkelser av ressurser i Ringerike kommune* ble skrevet (Gåsbakk og Winther, 2021). I arbeidet med prosjektoppgaven ble det foretatt litteratursøk for å innhente informasjon om område, kommunale planer og kvalitetskrav på tilslag. Dette ble gjort for å få en bedre forståelse for problemstillingen til masteroppgaven. Noe av det som ble skrevet i prosjektoppgaven er tatt med videre i masteroppgaven, i de tilfellene er det presisert.

## 1.1 Bakgrunn for oppgaven

Hvert år forbruker vi 13,5 tonn byggeråstoffer per innbygger i Norge (Erichsen, 2021) og det regnes derfor som en svært viktig ressurs. Behovet for byggeråstoffer øker stadig på grunn av befolkningsutvikling, og økende behov for utbygging og forbedring av infrastruktur. Tidligere har byggeråstoffer blitt sett på som en ubegrenset ressurs, men det viser seg å bli stadig mer mangel på denne ressursen og etterspørselen øker (Neeb, 1992). Planleggingen av uttak av byggeråstoffer må planlegges nøye siden prosessen vil påvirke miljøet rundt og vil sette spor i naturen (Tvinnereim, 2021).

NGU (Norges Geologiske Undersøkelse) har et pågående prosjekt hvor Ringerike kommune blir brukt som et pilotområde for å utarbeide en ny beregningsmodell. Beregningsmodellen som blir brukt i dag beregner totalt volum ved å gange arealet av forekomsten med den gjennomsnittlige mektigheten (50% sannsynlighet) registrert i NGU sin grus- og pukkdatabase. Denne beregningsmodellen har noen svakheter og begynner å bli utdatert. For eksempel blir det ikke tatt hensyn til at jordbruksareal i større grad må vernes for nasjonal forsyning (Landbruks- og matdepartementet, 2021). Målet er at det skal bli en mer automatisert prosess for å beregne volum og oppdatere grus- og pukkdatabasen. Arbeidet til dette prosjektet startet høsten 2021 og denne masteroppgaven vil være en del av prosjektet (Margreth, 2021a).

Ringerike kommune har noen av landets største sand- og grusforekomster, og på grunn av kommunens nærhet til Oslo-regionen er kommunen en viktig råstoffleverandør. Det er derfor viktig at kommunen gjør de riktige avgjørelsene når det kommer til hva arealer skal brukes til.

Da må det gjøres undersøkelser av andre arealbehov opp mot kvaliteten på tilslaget. Det vil si at dersom en stor grusforekomst har veldig god kvalitet, kan det være lurt å benytte seg av denne forekomsten i stedet for å båndlegge arealene til noe annet.

## 1.2 Mål for oppgaven

Følgende forskningsspørsmål skal undersøkes.

- Har grusen og sanden fra Ringerike kommune en kvalitet som tilfredstiller kravene for veitilslag og betongtilslag?
- Kan CT-skanning være en ny og mer effektiv metode for å finne kornfordelingen?
- Hva er volumet av forekomstene i Ringerike kommune (Hensmoen, Kilemoen og Eggemoen) og hvor mye av dette er utnyttbart volum?
- Har eksisterende datasett i GIS en tilstrekkelig nøyaktighet til at GIS kan brukes som et nyttig verktøy i forvaltningen?
- Hvordan kan grusressurser på best mulig måte forvaltes med tanke på fremtiden?

## 1.3 Oppbygning av oppgaven

I masteroppgaven har følgende metoder blitt benyttet for å oppnå resultatet:

- **Litteraturstudie:** Det ble gjort et litteraturstudie for å innhente informasjon om kvalitetskrav, beskrivelse av område og geologi, og kommunale planer. Dette ble hovedsakelig gjort på høsten og er skrevet i prosjektoppgaven. Litteratur ble hentet fra veiledere og håndbøker fra Statens Vegvesen og regjeringen, power point-presentasjoner fra forelesninger, kompendier og litteratursøk på NTNU sin søkemotor - Oria.
- **Feltarbeid:** Det ble gjennomført feltundersøkelser i Ringerike kommune i oktober 2021. Vi besøkte to grustak, ett på Hensmoen og ett på Kilemoen, og snakket med de som drev uttakene. Vi kjørte og gikk rundt på Eggemoen for å få en bedre forståelse for arealkonflikter der. I tillegg hadde vi et møte med arealplanleggere og geologer i kommunen, og snakket generelt om arealkonflikter kommunen har når det gjelder masseuttak. Forskjellige grusprøver ble tatt med til Trondheim fra både Hensmoen og Kilemoen.
- **Laboratoriearbeid:** Laboratoriearbeid ble gjennomført for å teste sliteevnen og kvaliteten til tilslaget. Los Angeles (LA) test, kulemølletest, micro-devaltest og flisighet ble gjennomført på NGUs laboratorie, mens kornfordeling, petrografisk analyse og humus-

test ble gjennomført på NTNUs laboratorie.

- **CT-skan:** Prøver til CT-skan ble også tatt med fra grustakene på Hensmoen og Kilemoen. CT-prøvene ble skannet på NTNU av Haili Long-Sanouiller, og ved hjelp av programmet ImageJ kan bildene analyseres og kornfordelingskurver lages.
- **GIS-analyse:** GIS-analyse (Geografisk Informasjonssystem) ble gjennomført for å beregne volum av forekomstene og hvor mye som er båndlagt av andre arealtyper. Datasettenes nøyaktighet i GIS ble også vurdert.

## 1.4 Definisjoner

**Naturgrus:** Grus som er naturlig dannet fra breelver og elver. Fraksjon 2-64 *mm*.

**Knust grus:** Knust grus er naturgrus i større fraksjoner som er knust ned til mindre fraksjoner.

**Pukk:** Knust berg. Fraksjon 4-32 *mm*.

## 1.5 Avgrensninger

I masteroppgaven har vi valgt å kun se på de tre forekomstene av nasjonal betydning i Ringerike kommune. Det er mange andre forekomster i Ringerike kommune av lokal og liten betydning, men dette er altså ikke studert nøye. Det er tatt et lite utvalg av prøver fra stuffkant fra Hensmoen og Kilemoen. For et bedre bilde av kvaliteten på forekomsten burde det bli tatt flere prøver og fra hele forekomsten, ikke bare stuffkant.

# 2 Områdebeskrivelse

## 2.1 Sand- og grusressurs i Ringerike

Ringerike kommune er rik på grusressurser og på grunn kommunens nærhet til Oslo-regionen, som er i stadig utbygging, er disse ressursene viktige å forvalte fornuftig. Tabell 2.1 viser en oversikt over alle grusressursene i Ringerike kommune. Tre grusressurser er av nasjonal betydning; Hensmoen, Kilemoen og Eggemoen. Eggemoen har en del som er av lokal betydning, men i masteroppgaven har hele Eggemoen blitt sett på samlet. Hvilken betydning en grusressurs har, er gitt av NGU og bestemmes ut i fra en totalvurdering av forekomsten. Brutto ressursverdi, tidligere års produksjonsvolum, kvalitet, mulighet for eksport og beliggenhet til infrastruktur og større befolkningsområder, er faktorer som går inn i vurderingen (NGU, 2021c).

**Tabell 2.1:** Oversikt over kartlagte grusressurser i Ringerike kommune. Dataen er hentet fra ArcGIS pro.

<b>Forekomstnummer</b>	<b>Råstoffbetydning</b>	<b>Navn</b>	<b>Volum (mill.m<sup>3</sup>)</b>
605034	Nasjonal betydning	Kilemoen	76,7
605032	Nasjonal betydning	Hensmoen	51,4
605031	Nasjonal betydning	Eggemoen	23,3
605007	Lokal betydning	Somdalen	35,5
605021	Lokal betydning	Russerleiren	32,3
605033	Lokal betydning	Valdersstømoen	12,0
605024	Lokal betydning	Gravlimoen	9,35
605023	Lokal betydning	Hengslemoen	8,73
605030	Lokal betydning	Maurland	8,32
605040	Lokal betydning	Væladalen	7,79
605003	Lokal betydning	Flaskerud	3,33
605014	Lokal betydning	Djupdalsmoen	1,50
605009	Lokal betydning	Haugland	0,76
605011	Lokal betydning	Hval	0,60
605017	Lokal betydning	Trampen	0,38
605035	Liten betydning	Tanbergmoen	15,36
605029	Liten betydning	Nesmoen	13,23
605002	Liten betydning	Gunbjørudmoen	8,64
605012	Liten betydning	Hovlandsmoen	6,71
605025	Liten betydning	Lunde	3,79
605013	Liten betydning	Skytebanen	3,05
605010	Liten betydning	Røste	2,22
605028	Liten betydning	Leira	1,19
605027	Liten betydning	Strypefossen	1,19
605015	Liten betydning	Rådalsmoen	0,92
605001	Liten betydning	Øya	0,64
605038	Liten betydning	Finnerud	0,53
605026	Liten betydning	Brekebygda	0,50
605016	Liten betydning	Tyttebærmoen	0,47

Forekomstnummer	Råstoffbetydning	Navn	Volum ( <i>mill.m<sup>3</sup></i> )
605039	Liten betydning	Barnås	0,26
605022	Liten betydning	Buttingsrud	0,19
605046	Liten betydning	Pjåkerud	0,18
605045	Liten betydning	Kransebråtan	0,15
605044	Liten betydning	Steinsrud	0,11
605008	Ikke vurdert	Kvernstua	0,70

## 2.2 Geologi

Kapittel 2.2 Geologi, med underkapittel 2.2.1 Kwartærgeologi og 2.2.2 Geologien i Ringerike, er hentet fra prosjektoppgaven som ble skrevet ved NTNU høsten 2021 (Gåsbakk og Winterher, 2021).

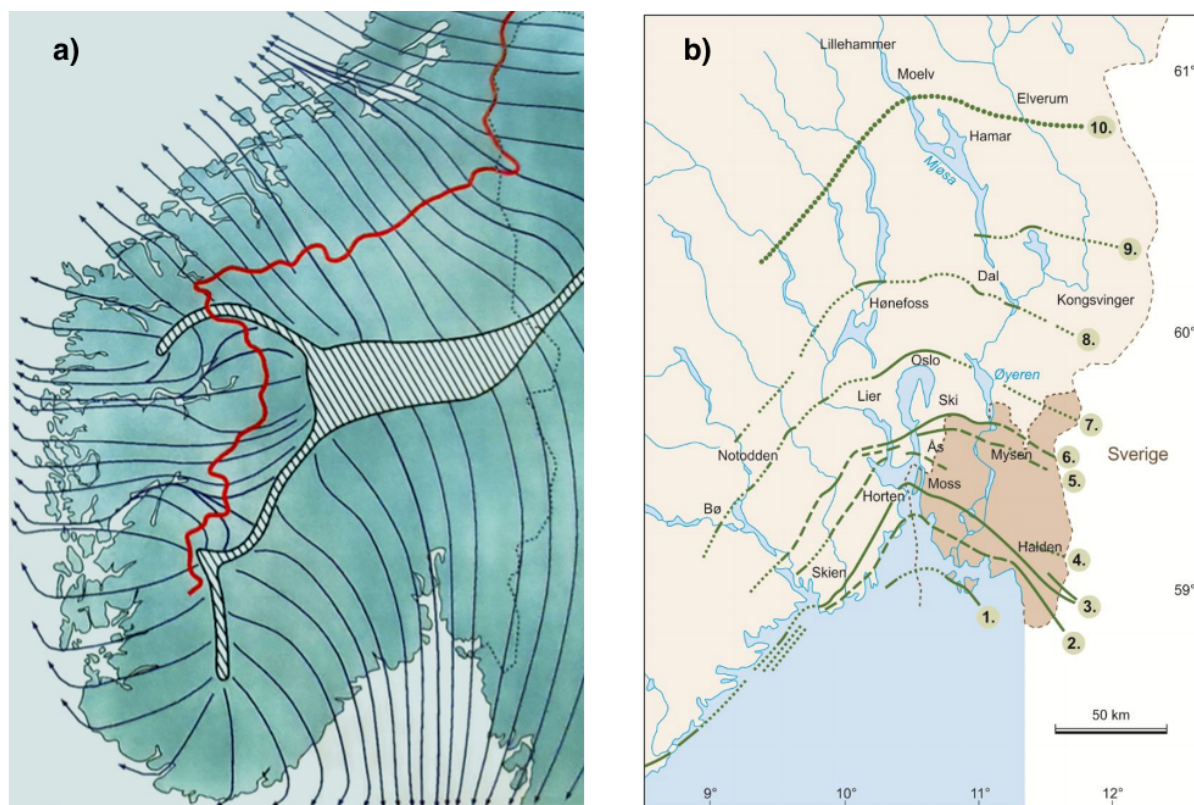
### 2.2.1 Kwartærgeologi

Kwartærgeologi er delen av geologifaget som omhandler den yngste perioden i jordens historie, de siste 2,6 millioner årene. Denne perioden er preget av store klimasvingninger, og overganger mellom istider og mellomistider. Mange av landformene og løsmassene i Norge i dag stammer fra istiden. Det har vært rundt 40 istider og mellomistider i løpet av kvartærtiden som har satt sitt preg på landskapet i Norge i form av daler og fjell. Det meste av løsmasseavsetningene på land ble dannet mot slutten av den siste istiden. Generelt består disse avsetningene av marine sedimenter som ligger over dagens havnivå, morene og breelvavsetninger (NGU, 2014).

Sand og grus er forekomster som hovedsaklig er dannet der vann har vært en viktig faktor i dannelsesprosessen. En sand og grusforekomst som er spesielt viktig er breelvavsetninger som ble dannet under avsmeltingen av innlandsisen (Neeb, 1992). Breelvene var i kontakt med isbreen og vannføringen er dermed bestemt av smeltingen av breen. Det har derfor vært meget stor variasjon i vannføringen og mye av vannet har rent ut med et enormt trykk. Smeltevannet har erodert underliggende fjell og tidligere avsatt morene, og fraktet med seg rikelig med sedimenter. Dette materialet ble avsatt foran brekanten (Brattli, 2015).

## Isens bevegelse

Figur 2.1a viser bevegelsen til isen under siste istids maksimum. Eggemoen, Kilemoen og Hensmoen ble dannet i etterkant av yngre dryas hvor det ble varmere og isen smeltet raskt (Ramberg mfl., 2006). Likevel ble avsmeltingen avbrutt av mindre framstøt eller stillstand, noe som dannet israndtrinn som er vist i Figur 2.1b. Raet er det mest kjente og største israndtrinnet på Østlandet (linje 3 i Figur 2.1b). Et israndtrinn er en serie av israndavsetninger fra samme tid (Stabbetorp og Erikstad, 1999). Moreneryggen i Ra-trinnet er opptil flere kilometer bred. Innenfor Ra-trinnet er det en rekke yngre israndtrinn med blant annet Ås-Skitrinnene (linje 5 og 6), Akertrinnet (linje 7) og Hauersettertrinnet (linje 8). Morenen fra Akertrinnet har demmet opp Maridalsvannet som er drikkevannskilden i Oslo, samt Sognsvann og Bogstadvannet (Ramberg mfl., 2006). Grusavsetningene i Ringerike er av samme alder som Gardemoen, som også er en grusavsetning. Israndtrinnet som ble dannet på denne tiden er ikke sammehengende i motsetning til Raet og Ås-Ski-trinnene. Trinnet ved Ringerike og Gardemoen mangler morenerygger og morenemateriale. De består av isolerte avsetninger fra brelver tilknyttet de ulike hovedstrømmene (Stabbetorp og Erikstad, 1999). Klimaet var mye varmere da de yngre israndtrinnene ble dannet, noe som resulterte i rask avsmelting (Ramberg mfl., 2006).

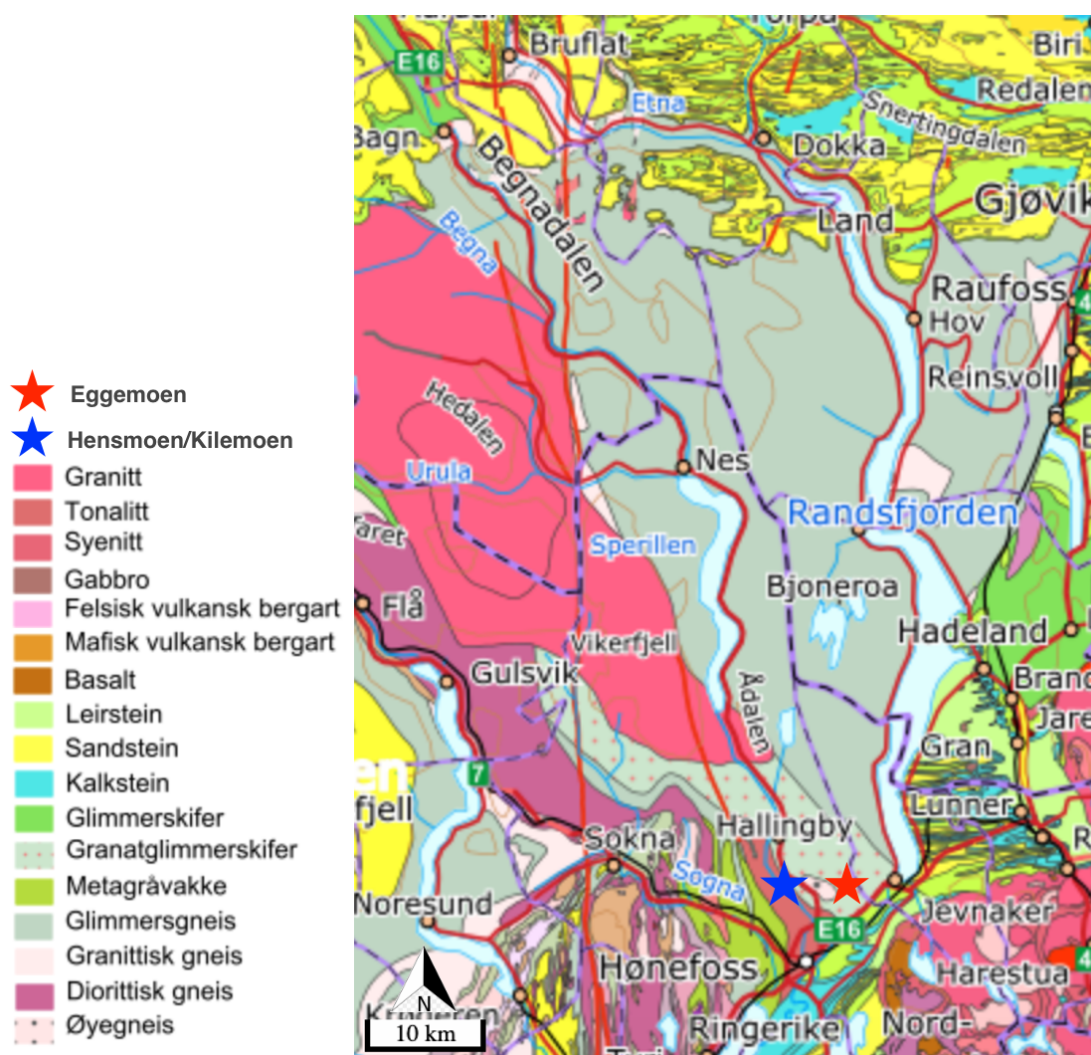


**Figur 2.1:** Til venstre (a): Isens bevegelsesretning under siste istid (Ramberg mfl., 2006). Til høyre (b): Israndtrinnene på østlandet (L. Olsen og K. Riiber, 2018).



## 2.2.2 Geologien i Ringerike

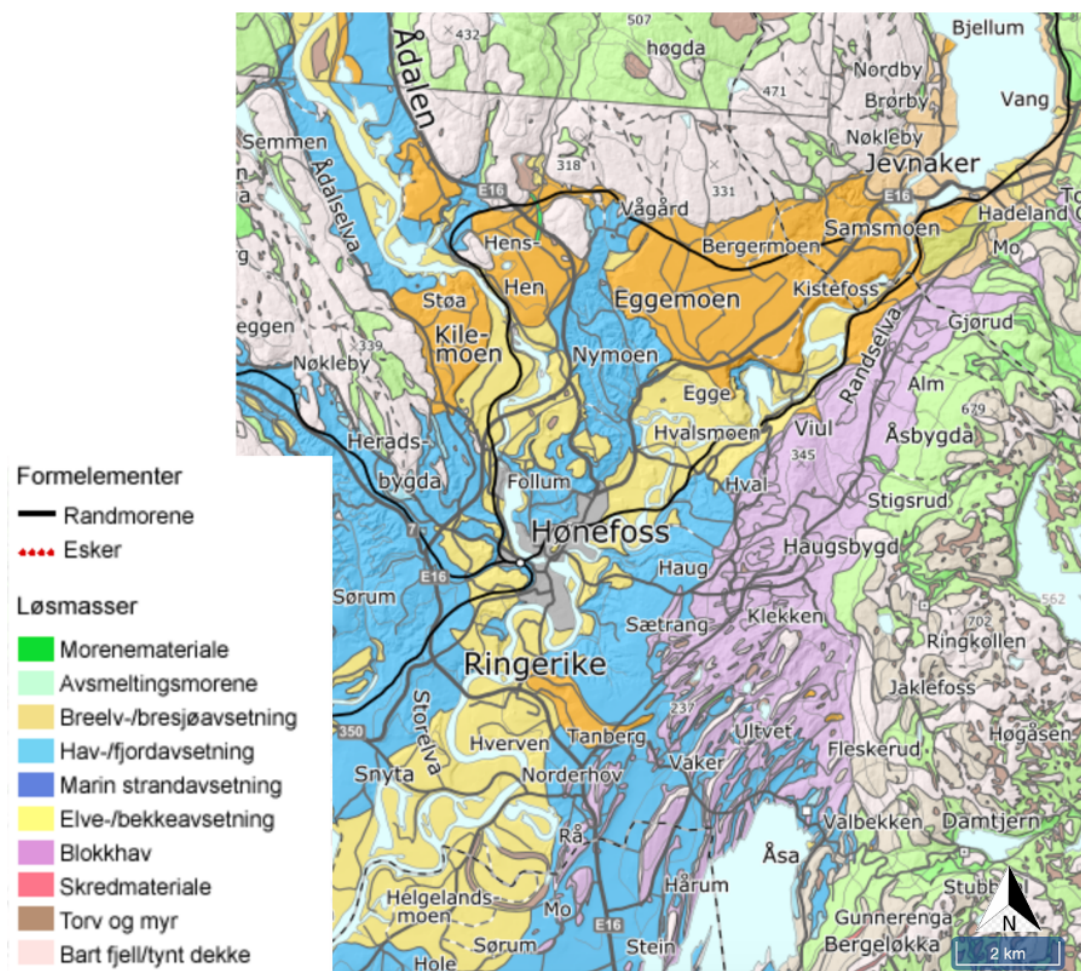
Geologien i Ringerike er bygget opp av grunnfjell fra prekambrium, kalkstein, skifer og sandstein fra kambrosilur, vulkaner og lava fra karbon og løsmasser fra istiden. I de sørlige områdene er noen av Nord-Europas største løsmasseavsetninger. Mye av disse avsetningene er dekket med jordbruksområder da disse avsetningene egner seg til formålet (Olsen, 2021). Figur 2.2 viser berggrunnskartet over deler av Ringerike kommune. Berggrunnen der isen var i tidsperioden Eggemoen, Hensmoen og Kilemoen ble dannet, er hovedsaklig bygd opp av glimmergneis, granitt, sandstein og leirstein.



Figur 2.2: Berggrunnskart av deler av Ringerike kommune (NGU, 2021d).

De tre største grusavsetningene i Ringerike kommune er på Hensmoen, Kilemoen og Egge-moen. Disse tre grusavsetningene er av nasjonal betydning, som betyr at de er viktige for nasjonal forsyning (Margreth, 2021a). Per dags dato er det uttak både på Hensmoen og Kile-

moen, men ikke på Eggemoen. Kilemoen og Hensmoen har derfor vært i fokus da det skulle gjennomføres feltarbeid. Løsmassekartet i Figur 2.3 viser den varierte sammensetningen av løsmasseavsetninger i Ringerike kommune med hav- og fjordavsetninger, breelvavsetninger og morenemateriale. Kilemoen, Hensmoen og Eggemoen ligger nord for Hønefoss.

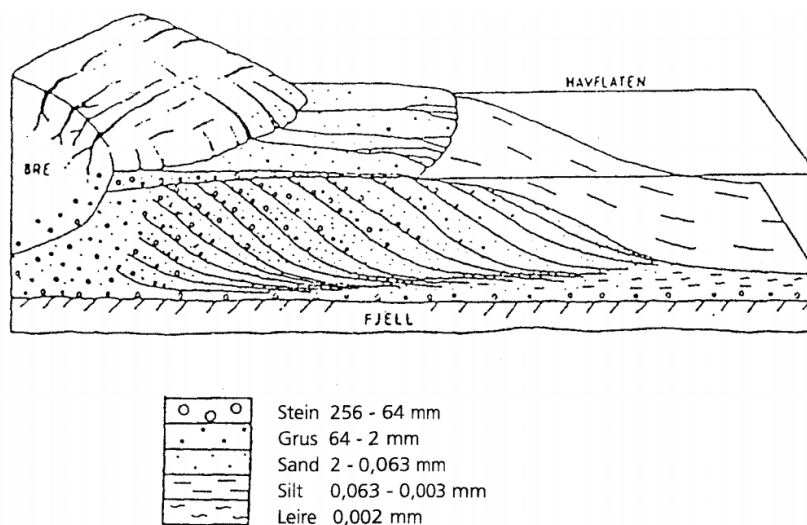


**Figur 2.3:** Løsmassekart over deler av Ringerike kommune (NGU, 2021e).

### Eggemoen

Isranddeltaet som dannet Eggemoen ble avsatt for ca 9500 år siden. Løsmassene ble transportert under isen via elver og avsatt ved randen av isen der den var i kontakt med havet (Wolden og Ulvik, 2006). Deltaet ble avsatt foran en istunge som lå i Randsfjorden. Det groveste ma-

terialet ble avsatt først og finere materiale ble transportet lenger ut. Fine leirpartikler ble ført langt ut og avsatt som et horisontalt lag på bunnen. Stein, grus og sand ble avsatt i nærheten av brefronten i skråstilte lag som heller vekk fra breen slik Figur 2.4 viser. Grovheten til hvert lag avhenger av vannstrømmens hastighet da laget ble avsatt (Stabbetorp og Erikstad, 1999). Smeltevannsmengdene varierte og elveløpet endret seg flere ganger, dette førte til at tykkelsen på lagene varierer fra sted til sted.



**Figur 2.4:** Oppbygningen av et isranddelta (Stabbetorp og Erikstad, 1999)

### Kilemoen og Hensmoen

Kilemoen og Hensmoen ble dannet på samme måte som Eggemoen og var opprinnelig et stort sammenhengende isranddelta som ble bygd opp foran en istunge som lå i Sperillvassdraget. I ettertid av avsetningen har delta blitt delt av Ådalselva, som er en del av elven Begna. Delta ble bygd opp fra breen i Begnadalen og kan derfor ses på som en uavhengig avsetning fra Eggemoen, både med tanke på opprinnelse og bergarter for massene. På Hensmoen er det i dag ett uttak som er i drift, hvor John Myrvang AS holder til. Her er gravdybden 25-30 meter og avsetningen består av sand og grus som hovedsakelig blir brukt som tilslag til betongprodukter, men noe blir også brukt til vei. På Kilemoen er det også ett aktivt uttak, hvor Svelviksand AS holder til. Massene på Kilemoen blir også brukt som betong- og veitilslag (Wolden og Ulvik, 2006).

## 3 Teori

### 3.1 Laboratoriearbeid

Betong består av 70-80% tilslagsmateriale, og vei består av 95% tilslagsmateriale (Scibilia, 2020). Det er derfor viktig at kvaliteten på tilslaget er god slik at det ferdige produktet også har god kvalitet. Det finnes en rekke forskjellige krav til kvaliteten på tilslaget ut i fra hva det skal brukes til. Det stilles krav til blant annet mekanisk styrke, kornfordeling eller kjemisk innhold. For å finne ut om tilslaget oppfyller kravene må tilslaget undersøkes i laboratoriet. Tester som er vanlige å gjøre for tilslag til vei og betong er: Kulemølletest, micro-Devaltest, LA-test, flisighet, kornfordeling, petrografisk analyse og humustest.

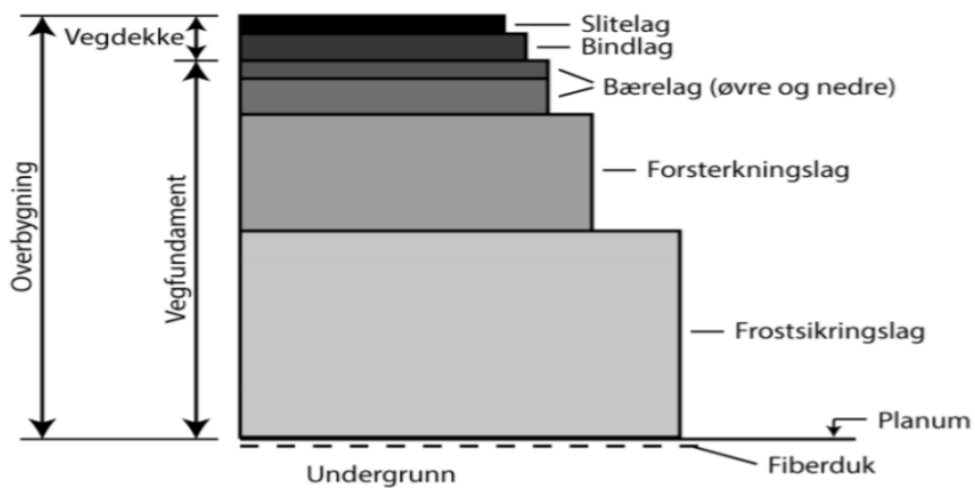
#### 3.1.1 Materialkrav for veitilslag

Veier kan kategoriseres etter trafikkbelastning, og deles inn i trafikkgrupper som vist i Tabell 3.1. Veier skal være dimensjonert for 10 tonns aksellast, og 20 års driftstid. Trafikkgruppen sier dermed hvilken belastning veien skal dimensjoneres for (Statens Vegvesen, 2018a).

**Tabell 3.1:** Antall 10 tonns aksler for trafikkgrupper (Statens Vegvesen, 2018a).

Trafikkgruppe	Ekvivalente 10 tonns aksler
A	<500 000
B	500 000 - 1 000 000
C	1 000 000 - 2 000 000
D	2 000 000 - 3 500 000
E	3 500 000 - 10 000 000
F	>10 000 000

Figur 3.1 viser de forskjellige lagene i veien. Overbygningen består av vegdekke, bærelag, forsterkningslag og frostsikringslag, og underbygningen er alt som ligger under selve veien og kan være alt fra fjell til myr. Lagene har forskjellige egenskaper, og dermed også forskjellige krav til materialet som skal brukes.



**Figur 3.1:** Lag i overbygning (Aurstad, 2016).

Forklaring av lag og tilhørende krav for grus som tilslag er nøye forklart i prosjektoppgaven.

Tabell 3.2 viser en komprimert utgave med disse kravene.

**Tabell 3.2:** Krav for grus som tilslag i vei (Statens Vegvesen, 2018b)

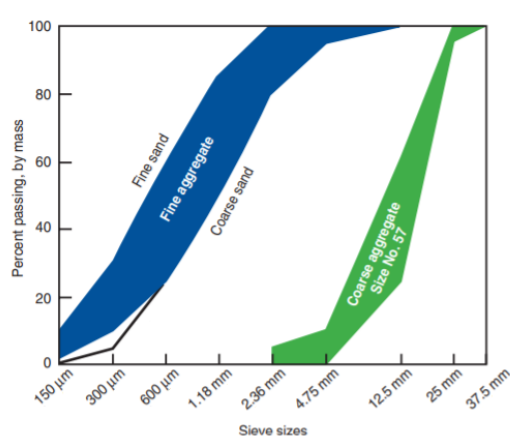
	ÅDT/ Trafikkgruppe	LA	$M_{DE}$	Flis.- indeks	Mølle- verdi	Humus	Annet
<b>Frostsikring</b>							$Cu \geq 5$ $D_{maks} < 500mm$
<b>Forsterknings- lag</b>	B-C	$\leq 35$	$\leq 20$			$< 1\%$	$C_{50/30}$
	A	$\leq 40$	$\leq 25$			$< 1\%$	$D_{maks} \leq 125mm$
<b>Bituminøse bærelag</b>	$> 5000$	$\leq 30$	$\leq 15$	$\leq 20$			
	3001-5000	$\leq 35$	$\leq 15$	$\leq 20$			
	1501-3000	$\leq 35$	$\leq 15$	$\leq 20$			
	301-1500	$\leq 35$	$\leq 15$	$\leq 25$			
	$\leq 300$	$\leq 40$	$\leq 20$	$\leq 25$			
<b>Mekanisk stab. bærelag</b>	A	$\leq 49$	$\leq 20$	$\leq 25$		$\leq 1\%$	$\leq 30\%$ av massen må være fullstendig rundete korn. -Kun knust grus kan benyttes
<b>Vegdekke</b>	1501-3000	$\leq 30$		$\leq 20$	$\leq 14$		
	301-1500	$\leq 35$		$\leq 25$	$\leq 19$	$\leq 0,5\%$	
	$\leq 300$	$\leq 40$		$\leq 55$	$\leq 19$		
<b>Grusdekke</b>	301-1500	$\leq 35$		$\leq 20$	$\leq 19$		Kun knust grus
	$\leq 300$	$\leq 40$		$\leq 20$	$\leq 19$		kan benyttes

### 3.1.2 Materialkrav for betongtilslag

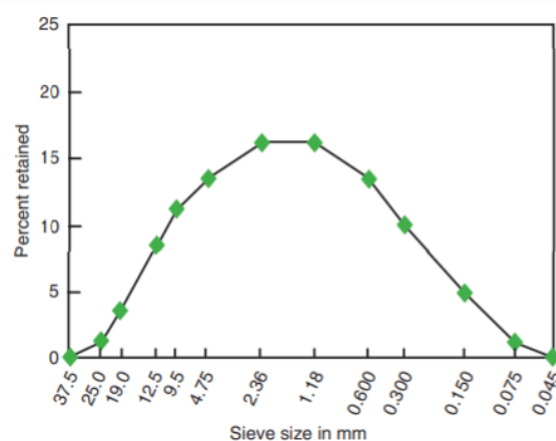
Betong er verdens mest brukte byggemateriale og har tre bestanddeler; sement, vann og tilslag, hvor tilslag utgjør 70 % av betongen. Kvaliteten på tilslaget har stor betydning for kvaliteten på betongen, og derfor må tilslaget tilfredstille visse krav. Betongens egenskaper som bestandighet, mekaniske egenskaper, støplighet og vann-sement-forholdet, blir alle påvirket av tilslaget i betongen. Alkaliereaktivitet og innhold av svovelkis, magnetkis og klorid er egenskaper som

har stor betydning for bestandigheten til betongen (Pedersen, 2017).

Jo tettere tilslaget er pakket, desto mindre sement og vann trengs, noe som er gunstig økonomisk og for fastheten og den mekaniske styrken til betongen. For at tilslaget skal bli pakket tett, er graderingen viktig. Hvis tilslaget er velgradert vil mindre korn legge seg mellom de større kornene (Thue, 2019). Finere tilslag krever mer vann og sement enn grovere tilslag på grunn av økt total overflateareal. Likevel er det ikke gunstig med verken for fint eller grovt tilslag, da fint ofte ikke er økonomisk gunstig mens grovt gjør massen hard og vanskelig å jobbe med. Tilslag som gir en glatt kornfordelingskurve, gir den beste betongen. Derfor er det viktig for betongprodusenter å ta sikteprøver av tilslaget (University of Memphis, 2002). Kornfordelingskurve for krav til de fine og grove tilslagene finnes i Figur 3.2a, og optimal graderingskurve finnes i Figur 3.2b (Gåsbakk og Winther, 2021).



(a) Graderingskurve for de fine og grove tilslagene.



(b) Optimal graderingskurve for tilslag.

**Figur 3.2:** Korngraderingskurver for tilslag i betong (University of Memphis, 2002).

Form og overflate på kornene har også betydning på betongen. Kantede korn vil gi en bedre heft, som gir god styrke på betongen, men er vanskeligere å pumpe. I tillegg krever kantede korn mer vann for å få en jevn masse. Runde korn vil altså gi et lavere vann-sement forhold som vil gi en billigere betong (Malmin, 2021). Tilslag med mye flisige korn vil også kreve et høyere vannbehov og dermed også mer sement. Flisighetsindeksen bør ikke overskride 15 (University of Memphis, 2002). Runde eller kubiske korn vil generelt gi den beste betongen (Thue, 2019).

Humus i betongtilslag er heller ikke ønskelig da dette gjør at herdeprosessen går saktere og kvaliteten på betongen blir dårligere. I noen tilfeller kan til og med humus i tilslaget gjøre at betongen ikke stivner (Pedersen, 2017).

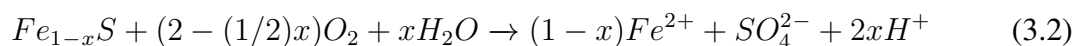
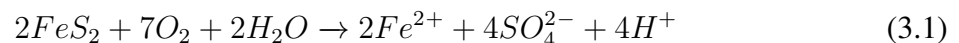
Dersom tilslaget inneholder kvarts kan det utvide seg hvis betongen står i fuktig miljø. Da vil det dannes en alkalireaksjon som er en kjemisk-fysisk reaksjon mellom kvarts og alkaliioner i sementen ( $Na^+$ ,  $K^+$ ), når det er tilgang på vann. Dersom en av disse elementene ikke er tilstede vil ikke reaksjonen skje. Kvartsen må være mikrokrySTALLIN for at den skal reagere med sementpastaen. Størrelsen på kvartskornene er altså viktig, og mindre korn er mer reaktiv på grunn av større overflateareal. (Gillot, 1973). Reaksjonen vil gjøre at betongen utvider seg, og får riss og sprekker. Betongens fasthet og tetthet vil også kunne bli redusert som kan føre til andre nedbrytende prosesser (Farin, u.å.). Lavalkalisement kan brukes for å forsøke å unngå alkalireaksjoner da denne ikke er like reaktiv som annen sement. Tabell 3.3 viser bergarters alkalireaktivitet. Tvilstilfellene er bergarter som kan vurderes å være reaktive. Bergarter som er klassifisert som ikke reaktivt kan likevel reagere dersom forholdene er ekstreme. Dersom innholdet av reaktive bergarter er over 20 %, klassifiseres tilslaget som alkalireaktivt (Lindgård, 2007).



**Tabell 3.3:** Klassifisering av bergarters alkalireaktivitet (Lindgård, 2007).

Reaktivitet	Bergart
<b>Reaktive bergarter</b> Kvartskorn < 60 $\mu m$	- Sedimentære bergarter: sandstein, siltstein, leirstein, metamergel, gråvakke - Metamorfe bergarter: mylonitt, kataklasitt, mylonittgneis, fyllitt, kvartsitt, kvartsskifer - Magmatiske bergarter: ryolitt, kvartskeratofyr
<b>Tvilstilfeller</b> Kvartskorn < 130 $\mu m$	- Kvartsitt, kvartsskifer - Kvartsrik bergart, kvartsinnhold > 20% - Kalkstein med finkornet kvarts - Hornfels - Lyse mylonitter, 1-5% kvarts
<b>Ikke-reaktive bergarter</b> Kvartskorn > 130 $\mu m$ , eller ingen kvarts	- Mørke bergarter: basalt, grønnstein, gabbro, amfibolitt - Kvartsholdige bergarter: granitt/gneis, kvartsitt-skifer, glimmerskifer - Feltspatiske bergarter - Kalkstein, marmor, porfyre, kvartsfrie mylonitter

Kisminerale som svovelkis ( $FeS_2$ ) og magnetkis ( $Fe_{(1-x)}S$ ) kan dukke opp i tilslag. Magnetkis blir dannet ved at svovelkis rekrystalliseres og mister svovel (K. Aasly mfl., 2020). Problemer svovelkis medfører er ofte rustflekker på betongen. Dersom magnetkisen reagerer med oksygen og vann vil det oksideres til sulfat. Reaksjonelsigningene for oksidasjon av svovelkis finnes i Ligning 3.1, og magnetkis i Ligning 3.2 (Rodrigues, 2016) (Gåsbakk og Winther, 2021).



Det vil bli dannet ettringitt ( $Ca_6Al_2(SO_4)_3(OH)_{12} \cdot 26H_2O$ ) og gips ( $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ ) dersom sulfationer reagerer med sementen. Ettringitt tar opp vann som gjør at det sveller og vil

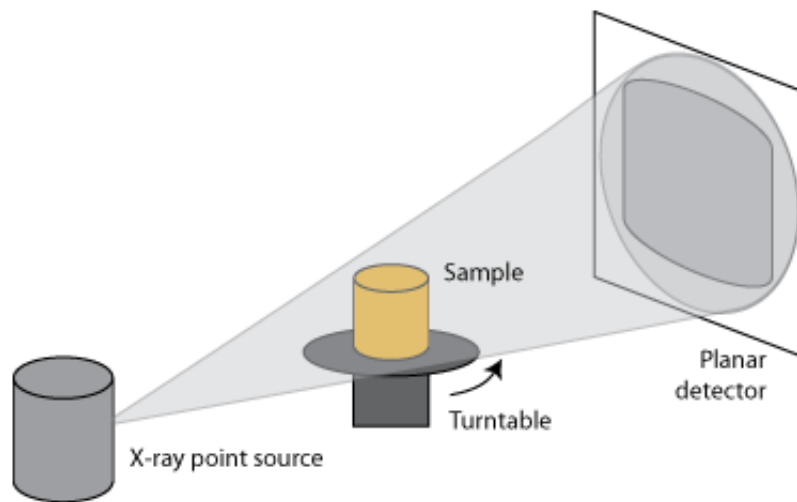
danne sprekker og riss i betongen (Nålsund og Haugen, 2019). Sulfationene kan også reagere til å bli thaumasitt ( $Ca_3Si(CO_3)(SO_4)(OH)_6 \cdot 12(H_2O)$ ) som forårsaker en nedbrytning av betongen (Frengstad, 2021). Denne reaksjonen er mye raskere enn alkaliereaksjoner (Nålsund og Haugen, 2019). Svovelinnehold i tilslag skal være  $\leq 1\%$ . Dersom magnetkis er påvist, må svovelinneholdet være  $\leq 0,1\%$  (Pedersen, 2017). Innhold av svovel kan testes våtkjemisk eller ved forbrenningsanalyse (Nålsund og Haugen, 2019), mens innhold av magnetkis kan testes ved hjelp av Differentiell Termisk Analyse (K. A. Aasly mfl., 2019). Dette har ikke blitt gjort i masteroppgaven, men er noe som burde blitt testet for å kunne si helt sikkert om tilslaget kan brukes.

Et annet mineral som vil være negativt i betong er glimmer, spesielt frikorn av glimmer. Den store overflaten til glimmerkornene binder mye vann som gjør at vannbehovet øker og støpeligheten blir dårligere. Siden vannbehovet øker, øker også sementbehovet og fastheten blir også dårligere. Glimmerinnhold har størst betydning i de mindre fraksjonene. Glimmer vil også påvirke styrken til betongen da glimmer generelt er mekanisk svakt (Nålsund og Haugen, 2019). Statens Vegvesen stiller krav om glimmerinnhold på  $< 20\%$ , i fraksjonen 0,125-0,25 mm (Pedersen, 2017).

### 3.2 mCT-skanning og Bildeanalyse

I petroleumsbransjen er det viktig å få et bilde av porøsitet og permeabilitet, for å kunne forstå strømningsegenskapene til porøse medier. CT-skan blir derfor ofte benyttet på kjerneprøver fra reservoarer. CT-skan er en 3D-bilde-teknikk som bruker høyenergi røntgenstråler for å se inni objektet skive for skive. Det har blitt et viktig verktøy da det er relativt enkelt å bruke, ikke ødelegger prøven og kan tilpasses mange forskjellige tester og strømningsforhold (Ketcham, 2017). Det å finne bergarters og løsmassers egenskaper som permeabilitet og porøsitet er i mange tilfeller viktig utenfor petroleumsbransjen også, så det å utvide bruken av CT-skanning til andre områder og for å finne andre egenskaper kan være nyttig.

CT-skanning fungerer ved at røntgenstråler blir generert av en røntgenstrålekilde, sendt gjennom den aktuelle prøven, og blir registrert på den andre siden av detektorer. Oppsettet vises i Figur 3.3.



**Figur 3.3:** Oppsett for CT-skann (Ketcham, 2017)

Målet med CT-skann er å bestemme røntgentettheten i hver voxel (volumelement) i objektet. Forskjellig røntgentetthet representerer forskjellige gråfarger og blir visualisert som et bilde i gråtoner. Røntgenstrålene som sendes gjennom prøven blir absorbert og dempet av materialet det sendes gjennom. Røntgentettheten sier noe om hvor mye av røntgenstrålene som er spredt eller absorbert når det passerer gjennom objektet. Hvordan røntgenstrålene oppfører seg gjennom objektet avhenger av energien til røntgenstrålen og objektets material og tetthet (Ketcham, 2017). Dempingsloven Beers lov, Ligning 3.3, beskriver intensitetsreduksjonen til røntgenstrålene som en funksjon av energi, avstand og materialets dempingsegenskaper. Ved hjelp av Beers lov vil en spesialisert algoritme konstruere et tverrsnittsbilde i grånyanser (Texas Geosciences, 2020).

$$l = l_0 \exp[-\mu x] \quad (3.3)$$

Der,

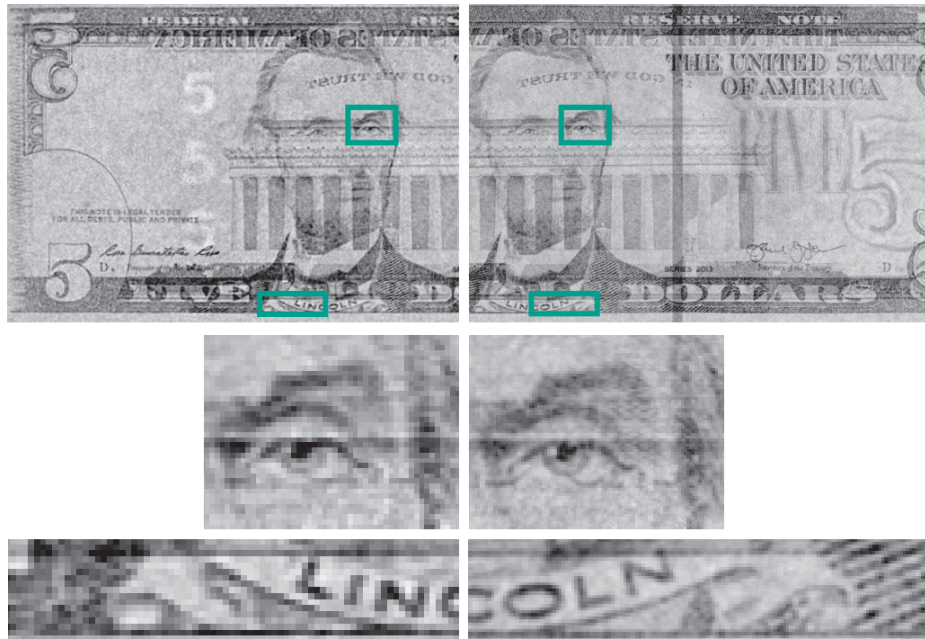
$l_0$  og  $l$  = røntgenstråleintensitet på start og slutt

$\mu$  = materialets dempingskoeffisient

$x$  = lengde røntgenstrålevei

Prøven blir deretter rotert med svært liten vinkel, før prosessen gjentas. Dette gjøres rundt hele prøven, slik at det blir tatt en serie av 2D tverrsnittsbilder. Ved hjelp av en rekonstruksjonsalgoritme blir disse tverrsnittsbildene tolket og rekonstruert til en 3D-modell som gir volumetrisk

informasjon om objektet, og det er mulig å se og studere innsiden av objektet (Ache, 2020). Denne 3D-modellen består av voxler med tilhørende gråfarge utfra egenskapene til objektet. Når oppløsningen på CT-bildene blir bedre, betyr det også at voxeltettheten øker. Det vil si at når voxlene blir mindre, blir oppløsningen bedre og bildet skarpere. Dette er visualisert i Figur 3.4.



**Figur 3.4:** Visualisering av pixelstørrelse. Bildet til venstre har en pixelstørrelse på  $200\mu m$ , bildet til høyre har en pixelstørrelse på  $100 m$  (WaygateTechnologies, 2020)

Oppløsningen avhenger av størrelsen på objektet, størrelsen og antall av detektorene, innstillingene til røntgenstålen, rekonstruksjonsalgoritmen og avstanden mellom kilde-objekt-detektor (Texas Geosciences, 2020). For røntgenstrålen er det effekt, strømstyrke og energien som er viktig. Oppløsningen vil bli bedre med lavere effekt, siden fokuspunktet på røntgenstrålen blir mindre med lav effekt enn med høy effekt. Mindre fokuspunkt gir høyere og bedre oppløsning. I utgangspunktet vil oppløsningen bli høyere eller lik effekten. Dersom prøven er stor, trengs det høyere energi for å trenge gjennom. Effektloven, Ligning 3.4, viser sammenhengen mellom effekt, spenning og strømstyrke. Dersom energien (spenning) er høy, vil også effekten øke, og oppløsningen blir dårligere (Ketcham, 2017).

$$P = U \cdot I \quad (3.4)$$

Der,

$P$  = effekt (W)

$U$  = Spenning (V)

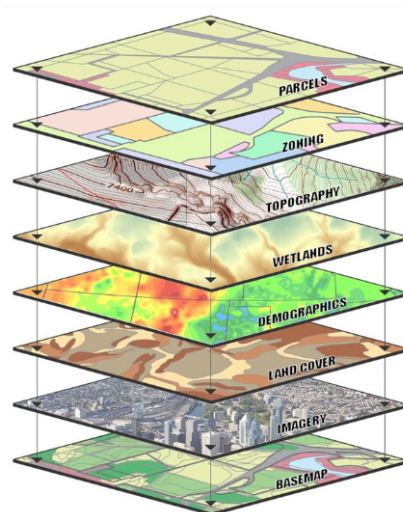
$I$  = Strømstyrke (A)

Micro computed tomography (mCT) er det samme som CT bare på mindre skala og med høyere oppløsning. Bruken av CT-skanning for medisinsk bruk begynte på 1970-tallet, og oppløsningen på bildene er begrenset til ca. 1 mm. For andre bruksområder ble det nødvendig med høyere oppløsning, og på 1980-tallet ble mCT introdusert. mCT kan gi oppløsning helt ned til 1  $\mu\text{m}$ , noe ingen andre ikke-ødeleggende metoder klarer. Det kan brukes til å studere innsiden av et objekt uten å måtte åpne prøven, slik at den er inntakt for mulige framtidige prøver (Carlson mfl., 2003).

ImageJ er et gratis, Java-basert bildebehandlingsprogram, som er utviklet av amerikanske "the National Institutes of Health". Programmet kan brukes til å vise, redigere, analysere, behandle, lagre og skrive ut bilder. ImageJ kan lese mange forskjellige bildeformater, og det er tilgjengelig minne som begrenser antall bilder som kan jobbes med samtidig. Programmets fleksibilitet gjør at det brukes innen mange forskjellige områder, fra medisin til astronomi (ImageJ 2022).

### 3.3 GIS

Geografisk informasjonssystem (GIS) er en digital programvare som inneholder flere typer datasett for innsamling, organisering, lagring, behandling, analyse og presentasjon av geografisk stedfestet informasjon (Dick, 2020). GIS organiserer data i diskrete lag som er justert i forhold til hverandre, altså georefererte data. Geografiske datasett presenteres i GIS som en serie dynamiske, stablede kartlag som dekker et gitt areal. Disse georefererte lagene kan beskrive hvilket som helst objekt, grense, hendelse eller romlig fenomen, og er en av nøkkelegenskapene til GIS som gjør det mulig å analysere ulike typer data (Harder, 2017). De forskjellige kartlagene kan representere for eksempel bygninger, veier, veietasjon, satellittbilder eller topografi som vist i Figur 3.5. Enkelt sagt kombinerer GIS lag med informasjon om et sted for å gi deg en bedre forståelse av det stedet. Noen vanlige eksempler er: å finne den beste plasseringen for en ny butikk, analysere miljøskader, identifisere arealkonflikter, etc (City of Hattiesburg, 2018).



**Figur 3.5:** Et GIS-kart kan inneholde mange lag som ligger oppå hverandre (City of Hattiesburg, 2018).

”396200 Grus,- pukk- og steintippdatabase – Fase 4: Utnyttbare ressurser/volum” er et pågående prosjekt ved NGU. Målet er å oppdatere og automatisere arealavgrensning, arealbruk og utnyttbart volum av grus- og pukkforekomster. Dette vil føre til en bedre oversikt over tilgjengelige forekomster og at ressurser kan vurderes etter volum og levetid (Margreth, 2021b). I masteroppgaven er fokuset i GIS-analysen de tre forekomstene med nasjonal betydning; Eggemoen, Hensmoen og Kilemoen.

Alle delmål for denne fasen finnes i listen under (Gåsbakk og Winther, 2021):

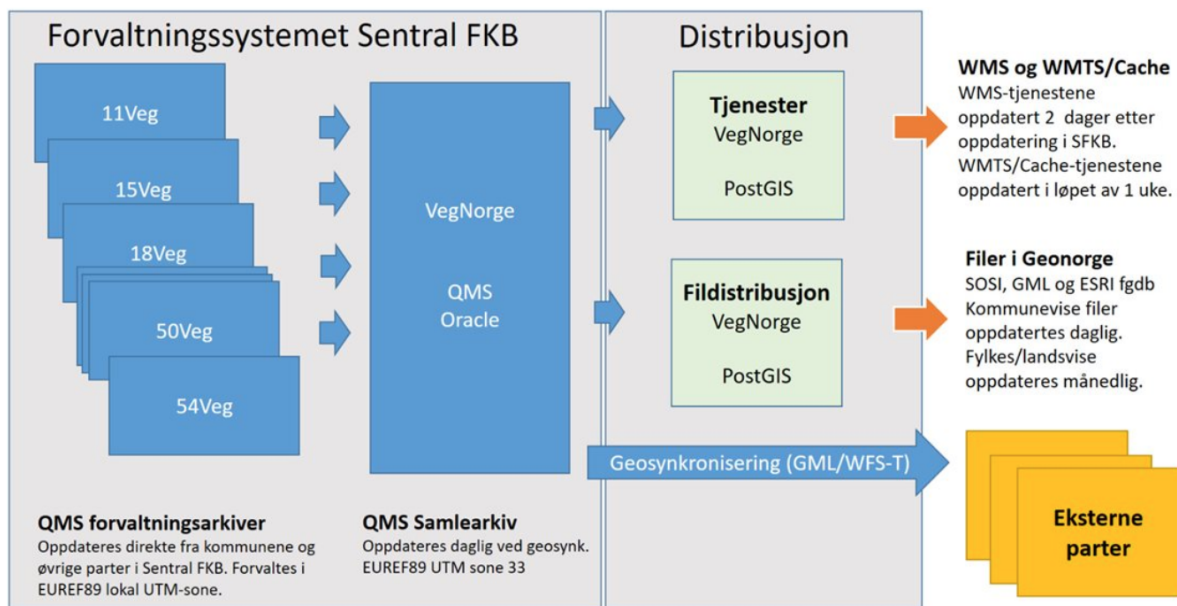
- Oversikt datakilder til GIS-analyse (nøyaktighet, skala, tilgjengelighet)
- Metodikk for GIS-Analyse (-> oppdatering arealbruk og konflikter i Grus DB)
- Metodikk for kartlegging/volumberegning av uttaksområder med satellittbilder og LiDAR data)
- Ny volumberegningsmodell (-> oppdatering REGI)
- Automatisering av prosesser med maskin-læring

- UNFC klassifikasjon på regionalt og nasjonalt nivå

### 3.3.1 Datasett

FKB (Felles Kartdatabase) er en samling av datasett som inneholder detaljerte kartdata. Geovekstpartene i kommunene forvalter dataene, og blir ofte brukt i saksbehandling, kartproduksjon, geografiske analyser og prosjektering. Dataene blir samlet inn ved fotografering fra fly og oppdateres av de ansvarlige gjennom saksbehandling og oppmåling. Det finnes ulike typer FKB-datasett som representerer de forskjellige områdetypene i felles kartdatabase. De forskjellige FKB-standardene har varierende grad av stedfestingsnøyaktighet og innhold, og noen datasett kan være koblet sammen med eller avledet fra andre datasett (Granum, 2020) (Kartverket, 2021).

Standardløype for distribusjonen fra forvaltningsarkivene til de forskjellige distribusjonene er vist i Figur 3.6. Data lagres i QMS (Quadri Map Server) forvaltningsarkiver som er et system for lagring og forvaltning av ”Stedfestede objekter” (Norkart Geoservice AS, 2010). Dataene oppdateres fortløpende fra kommunen, kartverket og andre parter i SFKB (Standard Felles Kartdatabase). Deretter blir dataene synkronisert i QMS samlearkiv som oppdateres daglig ved hjelp av geosynk. Samlearkivene er delt inn geografisk (fylke, UTM-sone eller landsarkiv) for å tilrettelegge for distribusjon. WMS (World Map Service) tjenestene blir oppdatert 2 dager etter oppdateringen i SFKB, mens filene er kommunevise filer som oppdateres daglig eller fylkes/landsvisе filer som oppdateres månedlig. Kommunevise filer produseres på formatene SOSI, GML og ESRI filgeodatabase i lokal UTM-sone for nedlasting i Geonorge. De landsdekkende og fylkesvisе filene er som oftest også på formatet ESRI filgeodatabase. Det kjøres en analyse daglig over hvilke kommuner som er endret for hvert datasett og filene prosesseres på nytt. Fra oppdateringen i SFKB skal det ikke gå mer enn et døgn før filene er tilgjengelig til å lastes ned fra Geonorge (Kartverket, 2021).



**Figur 3.6:** Standard dristruksjonsløype for FKB-data (Kartverket, 2021).

## FKB-AR5

FKB-AR5, der AR5 er en forkortelse for arealressurskart i målestokk 1:5000, er en del av Felles Kartdatabase og er et heldekkende arealressursdatasett. Ved hjelp av fire egenskaper; arealtype, treslag, skogbonitet og grunnforhold, fremstiller datasettet alt av areal. Markslagsbeskrivelser som arealtilstand, bonitet, markslag og mineralske råstoffer kartlegges i datasettet (Kartverket, 2022). Arealtyper som blant annet skog, samferdsel, bebyggd og dyrka mark inngår i AR5 datasettet.

## FKB-Arealbruk 5.0

FKB-Arealbruk er også en del av Felles Kartdatabase og er i motsetning til AR5 ikke heldekkende. Arealbruk-datasettet fremstiller den fysiske bruken av et areal uavhengig av bonitet eller hva som er planlagt/bestemt at området skal brukes til. For eksempel vil et utbyggingsområde vises som et anleggsområde, uavhengig av hva område er regulert til og om det egner seg til noe annet (Kartverket, 2022). Uttatt masse fra grustak vil derfor bli registrert på arealbrukdatasettet.

## Forurenset grunn

Forurenset grunn er et datasett som informerer om forurensing i grunnen og hvor det er antydning til forurensing. Informasjonen kommer fra kartlegging og registrering av forurensningsmyndigheten. Datasettet gir ikke en absolutt oversikt da utbredelsen og stoffene i forurensingen vil variere fra hvert enkelt tilfelle (Eikeland, 2022).



## **Kommuneplaner**

Datasettet, kommuneplaner, viser nåværende og fremtidig arealbruk, og er kommunes overordnede styringsdokument. Kommuneplanen skal legge grunnlaget for virksomhetens planer og tiltak, samt rammer for bruk og vern av områder i kommunen. Planen bør bestå av alle viktige mål og oppgaver i kommunen, samt å ivareta mål, interesser og oppgaver, både på kommunalt, regionalt og nasjonalt nivå. Kommuneplanen oppdateres hvert fjerde år, og status forandres raskt (Eikeland, 2022).

## **Reguleringsplaner**

Reguleringsplaner er et datasett som hentes fra den landsdekkende kopien av reguleringsplaner. Det skal oppdateres med data fra de originale plandataene i kommunene og skjer ved periodisk kopiering eller synkronisering fra kommunene sine data. Reguleringsplan er et arealplankart og bestemmer hvordan et område skal benyttes. Det kreves reguleringsplan for alle større bygge- og anleggstiltak og andre aksjoner som kan få betydningsfulle konsekvenser for miljø og samfunn (Eikeland, 2022).

### **3.3.2 Begrensninger på arealer**

#### **Harde eksklusjoner (no-go områder)**

Harde eksklusjoner er områder hvor det er usannsynlig, både på lang og kort sikt, at masseuttak tillates. Dette er på grunn av at områdene er formelt vernet eller liknende (NVE, u.å). Slike områder innebærer fredete områder som bygninger, nyere kulturmiljøer, nyere kulturminnelokaliteter, i tillegg til forsvarets skytefelt, naturvernområder og statlig sikrede friluftsområder.

#### **Myke eksklusjoner**

Myke eksklusjoner er områder med strenge vernebestemmelser i henhold til lovverk, men det er mulig at dispensasjon kan gis (Eikeland, 2022). Dette er områder som eldre kulturminner, sikringssoner (automatisk fredete kulturminner), KULA-områder (kulturhistoriske landskap av nasjonal interesse), og utvalgte kulturlandskap.

## 4 Metode

### 4.1 Laboratoriearbeid

Høsten 2021 ble det tatt to grusprøver, fem sandprøver og tre mCT-prøver fra grustakene på Hensmoen og Kilemoen i Ringerike kommune. På Hensmoen ble det tatt med to sandprøver til kornfordeling og en mCT-prøve, som vist i Figur 4.1. På Kilemoen ble det tatt tre sandprøver, to mCT-prøver og to prøver fra topplaget for humustesting. Figur 4.2a viser hvor sandprøvene "Kilemoen 1" og "Kilemoen 2" og tilhørende mCT-prøve ble tatt. Figur 4.2b viser hvor "Kilemoen 3" og tilhørende mCT-prøve ble tatt, mens Figur 4.3 viser hvor prøver til humustesting ble hentet. I tillegg ble det hentet en grusprøve på ca. 50-60 kg fra både Hensmoen og Kilemoen fra 8/16-fraksjonen, til de mekaniske testene. De mekaniske testene kulemølle, microdeval og LA ble utført på NGU i henhold til Statens Vegvesen håndbok (Statens Vegvesen, 2016b) som er beskrevet i prosjektoppgaven (Gåsbakk og Winther, 2021). Resultatene skal sammenliknes med resultater på nedknust materiale fra samme grustak. Testene på den knuste grusen ble utført av NGU i 2018.



**Figur 4.1:** Oversiktsbilde over hvor prøver ble tatt i den nederste delen av grustaket på Hensmoen.

Kornfordelingsanalyse, petrografisk analyse og humustest ble utført på NTNU vinteren 2022 i henhold til Statens Vegvesen håndbøker (Statens Vegvesen, 2005) (Statens Vegvesen, 2016b) som er beskrevet i prosjektoppgaven (Gåsbakk og Winther, 2021).



(a) Oversiktsbilde over hvor prøver ble tatt på Kilemoen. Kilemoen 1, Kilemoen 2 og mCT-prøve ble hentet her.

(b) Oversiktsbilde over hvor prøver ble tatt på Kilemoen. Kilemoen 3 og mCT-prøve ble hentet her.

**Figur 4.2:** Oversikt over prøver som er tatt på Kilemoen.



**Figur 4.3:** Oversiktsbilde over hvor prøver fra topplaget på Kilemoen ble tatt. Prøven ble brukt til humustest.

## **4.2 mCT-skanning og Bildeanalyse**

I Ringerike ble det tatt én prøve fra Hensmoen og to prøver fra Kilemoen for mCT-skanning. Prøvene ble tatt i sylindre med en diameter på 70 mm. Sylindrene ble presset inn i uforstyrret stoff og lukket på begge sider. Spesifikasjoner for prøvene finnes i Tabell 4.1

**Tabell 4.1:** Spesifikasjoner for prøver og skanneinnstillinger.

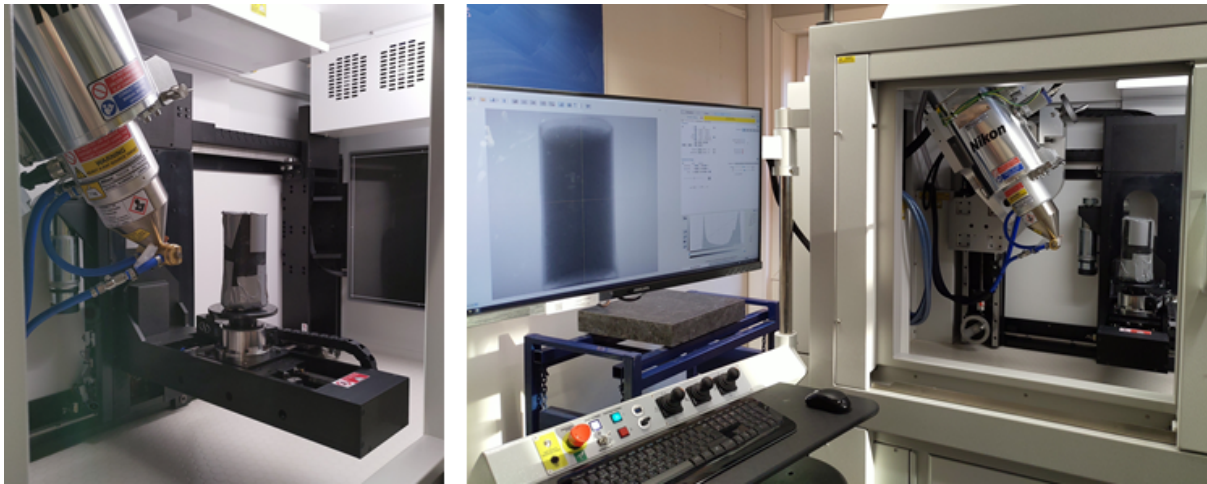
Prøve	Hensmoen 2	Kilemoen 1	Kilemoen 3
Størrelse	70 mm Ø 145 mm L	70 mm Ø 145 mm L	70 mm Ø 145 mm L
Skannemetode	Helical continuous	Helical continuous	Helical continuous
Enegi (kV)	200	200	200
Strømstyrke (uA)	150	150	150
Effekt (W)	30	30	30
Eksposeringstid (ms)	1000	1000	1000
Skannetid (h)	2	2	2
Oppløsning (um)	29.85	29.85	29.7
Filter (mm)	Cu 2.125	Cu 2.125	Cu 2.125

Skanningen av mCT-prøvene ble gjennomført på laboratoriet til SINTEF på valgrinda i Trondheim, og utført av Haili Long-Sanouiller. Figur 4.4 viser mCT-apparatet som ble brukt. Det består av en røntgenstrålekilde, detektorplate, oppsett for plassering av prøve og data-maskin med en operatorskjerm, i tillegg til skapet hvor skanningen foregår. Alle spesifikasjoner for mCT-apparatet finnes i Tabell 4.2. Prøven ble plassert på en plate i kammeret på mCT-skanneren,



**Figur 4.4:** mCT-maskinen som ble brukt til å skanne prøvene (Nikon, 2022).

som vist i Figur 4.5. Røntgenstrålekilden som ble brukt er Nikon XT H 225, med innstilling ”Static reflection target”. Skannerinnstillingene for de forskjellige prøvene vises i Tabell 4.1, og viser at benyttet skannemetode var ”helical continuous”. Det betyr at prøven ble rotert i en spiral vertikalt, mens det kontinuerlig ble tatt mCT-bilder. Siden prøvene var relativt store, ble dette gjort for å få bedre dekning på endene (Long-Sanouiller, 2022). Størrelsen på prøvene gjorde også at spenningen måtte være høy, 200kV, for å klare å trenge gjennom prøven.



**Figur 4.5:** Innsiden av mCT-maskinen med plassering av prøve.

Detektoren som ble brukt er ”ASTM E2597 Flat Panel”. Fordelene med flat panel detektorer er at de er mer sensitiv og arbeider raskere. Det negative er at de er dyre og kan gi dårligere oppløsning (Newheek, 2022). Det høyeste antall pixler som er oppnåelig med denne detektoren vil være 2880 x 2880. I dette tilfellet med prøver på 70 mm, vil den høyeste mulige oppløsningen kunne bli 0.024  $\mu\text{m}$ . Med tanke på røret rundt prøven og områdene rundt kanten av bildene, vil den faktiske oppløsningen bli noe dårligere, i underkant av 30  $\mu\text{m}$ . Etter at prøven var plassert i kammeret, og alle innstillinger var satt, ble skanningen satt i gang. Skanningstid var 2 timer for hver prøve.

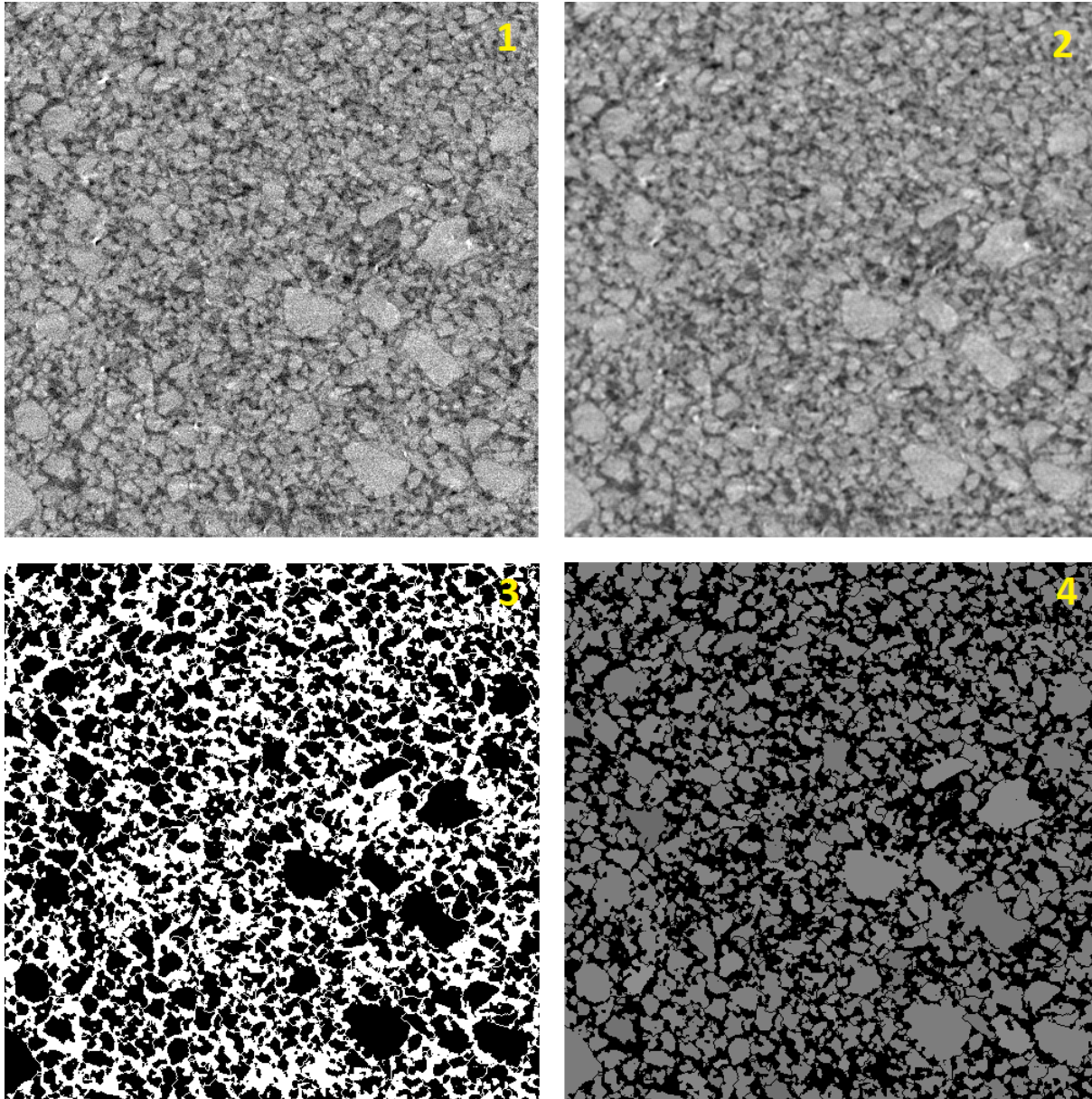
**Tabell 4.2:** Spesifikasjoner for røntgenstrålekilde, system, detektor og kabinett.

<b>Røntgenstrålekilde</b>		<b>System</b>	
<b>XT H 225</b>		<b>Max. CT Swept Diameter</b>	280 mm
<b>Type</b>	Open Tube Microfocus	<b>Max. FID</b>	970 mm nominal
<b>Target Options</b>	Reflection Target Transmission Target Multimetal Target	<b>FID type</b>	Moveable
<b>Max. Energy</b>	225	<b>Max. Sample Weight</b>	15 kg
<b>Max. Power</b>	225 W		
<b>Min. Focal Spot</b>	1 um		

<b>Detector</b>		<b>Cabinet</b>	
<b>Max. Pixel Matric</b>	2,880 x 2,880	<b>Length</b>	1830 mm
<b>Min. Mixel Size</b>	150 um	<b>Width</b>	875 mm
<b>Max. Frame Rate</b>	30fps	<b>Height</b>	1987 mm
<b>Type</b>	ASTM E2597 Flat Panel	<b>Weight</b>	2400 kg

Det ble utført en bildeanalyse på resultatene av mCT-skanningen av de tre prøvene, og laget kornfordelingskurver basert på bildeanalysen. Standard kornfordelingsanalyser ved sikting ble utført på prøver tatt fra samme lokasjon som mCT-prøvene. Kornfordelingskurvene fra siktingen skal sammenlignes med kornfordelingskurvene fra CT-skanning. Bildeanalysen av CT-skanningen ble gjennomført i det Java-baserte billedredigeringsprogrammet ImageJ. Mange steg som ble gjennomført i ImageJ på CT-bildene for at det skulle være optimalt å utføre partikkelanalysen. Stegene vises i Figur 4.6.



**Figur 4.6:** Steg som må gjennomføres i ImageJ før partikkelanalysen. 1: ”brighten”, 2: ”smooth”, 3: ”threshold”, 4: ”watershed”. Her er resultatene fra Hensmoen 2 brukt som eksempel for å illustrere stegene.

Første steg er å velge ut et mindre, men representativt område fra prøven, på  $500 \times 500 \times 500$  pixler, som tilsvarer  $1,25 \times 10^8$  voxler. Som vist i Tabell 4.1, er oppløsningen 29,85 og 29,7  $\mu m$ , som betyr at dette området er på rett i underkant av  $1,5 \times 1,5 \times 1,5$  cm. Det ble valgt ut et mindre område både fordi det ville tatt lang tid å analysere hele prøven, men også fordi endene på prøven og de ytterste områdene som er nærmest røret vil være noe forstyrret. Lysstyrken må så justeres for å få fram kontrastene i bildet bedre, som vises i Figur 4.6, bilde 1. Deretter må funksjonen ”Smooth” brukes, som endrer hver piksel i bildet til et gjennomsnitt av nabo-pikslene. Da blir bildet ”glattet ut”, slik at små forskjeller og ujevnheter i kornene ikke blir feiltolket som korgrenser (ImageJ, 2022b). Dette vises i Figur 4.6, bilde 2. Bilde 3 viser nes-



te steg som må gjennomføres, som er ”Threshold”. Denne funksjonen velger en terskelverdi, eller et verdiavskjæringspunkt, slik at hver piksel over denne verdien tilhører en gruppe, og piksler med verdier under denne verdien tilhører en annen gruppe. På denne måten vil kornene i prøven og mellomrommet mellom de bli separert i to forskjellige grupper (ImageJ, 2022c). Neste steg er å separere kornene med ”distance transform watershed 3D”. Dette er en metode som lager en grense lengst mulig unna midten av de overlappende kornene, og tolker en grense ut fra dette (ImageJ, 2022a). Dette steget vises i Figur 4.6, bilde 4. Etter dette er bildet klart for partikkelanalysen. Partikkelanalysen teller blant annet antall korn i det valgte området og størrelsen på disse.

Resultatene fra partikkelanalysen fra ImageJ gir informasjon om blant annet antall korn i det valgte området, volum og plassering av disse kornene. For å kunne lage en kornfordelingskurve av resultatene, vil det bli tatt utgangspunkt i volumet av kornene. Det vil bli antatt at kornene er runde, slik at kornstørrelsen vil bli funnet fra volumet med Ligning 4.1.

$$d = 2 \cdot \sqrt[3]{\frac{3 \cdot V}{4 \cdot \pi}} \quad (4.1)$$

Der,

$d$ =diameter av korn

$V$ =volum av korn

Vanligvis ved kornfordelingsanalyse blir vekten av kornene for hver fraksjon brukt for å finne kumulativ foreling av kornfraksjon og prosent gjennomgang. Ved mCT-skanning finnes ikke vekt av kornene. I dette tilfellet vil det bli antatt at kornene i prøven har samme tetthet, og dermed vil volum av kornene, sammen med diameter, bli brukt for å finne den kumulative fordelingen av kornfraksjonene. Diameter er brukt som kornstørrelse, og det tilhørende volumet er brukt for å regne ut prosentandelen.

### 4.3 GIS

GIS-analysen ble gjort i samarbeid med NGU, og deres pågående prosjekt ”396200 Grus,-pukk- og steintippdatabase – Fase 4: Utnyttbare ressurser/volum”. For å vurdere og beregne volum av ulike ressurser kan GIS benyttes. Ved å bruke kommandoen ”intersect” i GIS kan man finne hvor to datasett overlapper. Da blir det dannet et nytt datasett og det blir mye infor-

masjon tilgjengelig i attributt-tabellen. Tabellen finnes ved å høyreklikke på datasettet og velge ”attribute table”. Den viser blant annet areal, volum og mektighet av forekomsten og det nye datasettet. På denne måten er det enkelt å finne ut hvilke områder som består av to eller flere areal typer. I dette tilfellet er det interessant å se hvor store deler av en forekomst som består av skog, bebyggelse, naturvernområder, dyrka mark osv. Noen av disse areal typene kan nedprioriteres for å få tilgang til grusen. For eksempel kan skog som er utbredt over hele landet fjernes, men om det er en sjelden skogtype kan det være fornuftig å beholde skogen. Andre områder som harde eksklusjoner, vil ikke kunne fjernes og grusen kan dermed ikke utvinnes. Dette er beslutninger kommunen må ta ved hjelp av fagfolk. Ortofoto kan benyttes for å sammenligne de kartlagte områdene i GIS med hva som kan ses fra flyfoto.

Tabell 4.3 viser hvilke to datasett som ble sjekket om overlapper. Registrert sand og grusforekomst ble sjekket opp mot de andre areal typene for å se hva som dekker grusforekomstene.

**Tabell 4.3:** Datasettene i GIS som ble sjekket opp mot hverandre.

<b>Datasett 1</b>	<b>Datasett 2</b>
Registrert sand og grusforekomst	FKB arealbruk
	AR5 - Bebygd og samferdsel
	AR5 - Dyrka mark
	AR5 - Skog
	AR5 - Åpen fastmark
	Forurenset grunn
	Harde eksklusjoner
	Myke eksklusjoner

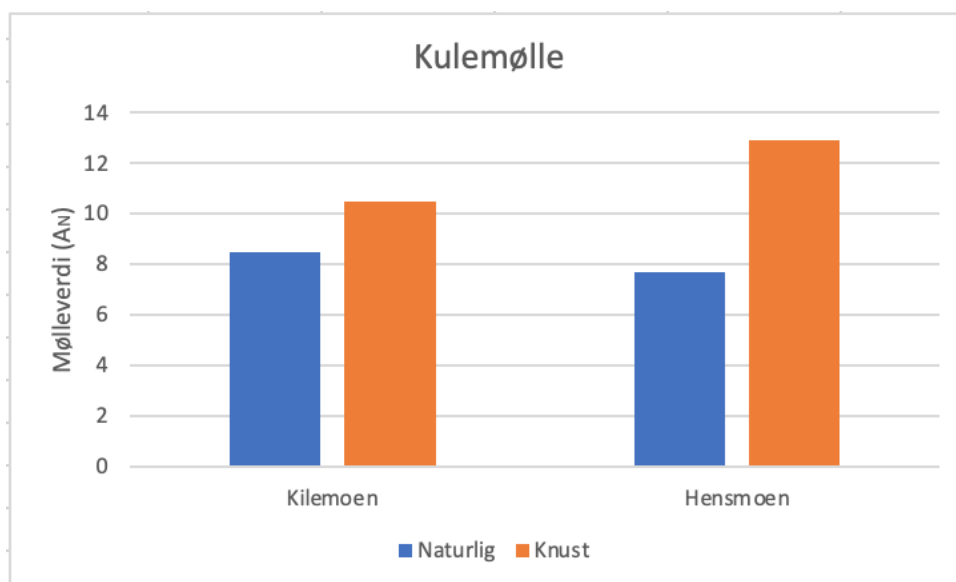
## 5 Resultater

### 5.1 Laboratoriearbeid

Utregning av kulemølleverdi, Los Angeles-verdi og micro-Deval-koeffisient finnes i Vedlegg A.1 - Vedlegg C.2.

#### 5.1.1 Kulemølle

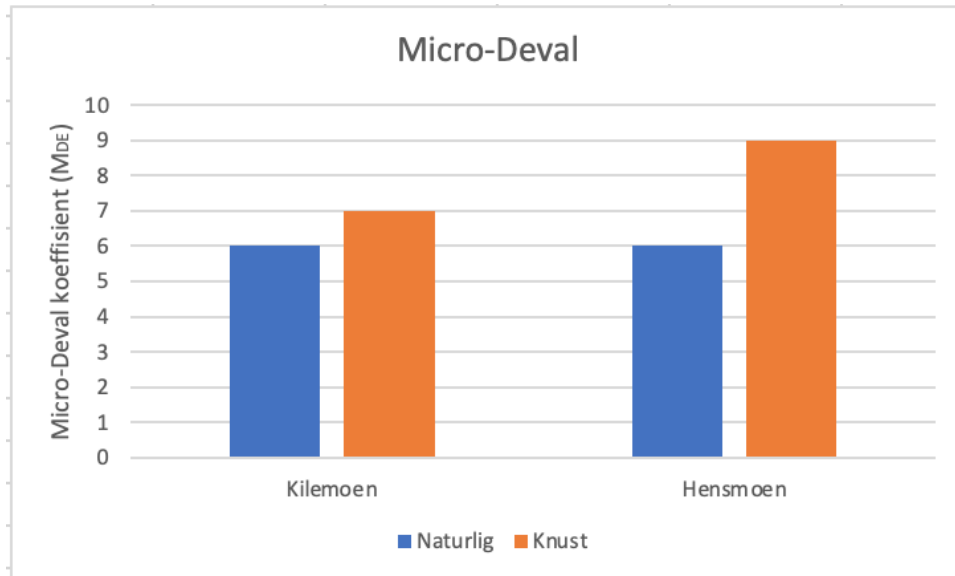
Resultatene for kulemølletesten er vist i Figur 5.1. Knust grus har en høyere kulemølleverdi enn naturlig grus både på Kilemoen og Hensmoen. Forskjellen på knust og naturgrus er størst på Hensmoen.



**Figur 5.1:** Mølleverdien til grus fra breeløvsetning. De blå søylene viser naturgrus mens de oransje viser knust grus.

#### 5.1.2 Microdeval

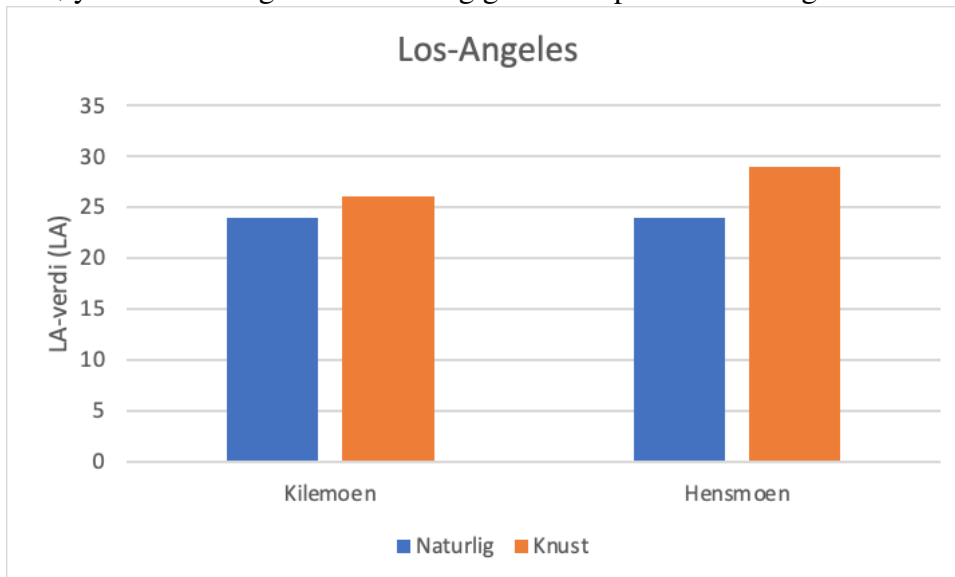
Figur 5.2 viser resultatene for microdevaltesten. Microdeval koeffisienten er høyere for knust grus både på Kilemoen og Hensmoen. I likhet med kulemølletesten er forskjellen på knust og naturlig grus er størst på Hensmoen.



**Figur 5.2:** Micro-Deval koeffisient til grus fra breelvvavsetning. De blå søylene viser naturgrus mens de oransje viser knust grus.

### 5.1.3 Los Angeles

Resultatene for LA-testen er vist i Figur 5.3. I likhet med kulemølle og microdeval er også LA-verdien høyere for knust grus enn naturlig grus både på Kilemoen og Hensmoen.



**Figur 5.3:** LA-verdi til grus fra breelvvavsetning. De blå søylene viser naturgrus mens de oransje viser knust grus.

### 5.1.4 Flisighet

Tabell 5.1 viser gjennomsnittelig flisighet for både knust og naturlig grus fra Hensmoen og Kilemoen. Knust materiale har en markant høyere flisighetsindeks enn naturlig grus.

**Tabell 5.1:** Gjennomsnittelig flisighetsindeks (FI) for fraksjon 10/14 mm.

	Hensmoen	Kilemoen	Hensmoen knust	Kilemoen knust
Flisighetsindeks (FI)	0	2	13	8

### 5.1.5 Kornfordelingsanalyse

Resultatet fra siktingen vises i Figur 5.4-Figur 5.9. Figur 5.7 viser resultatet fra siktingen av Kilemoen 2", og Figur 5.8 viser resultatet fra laserdiffraksjon av finstoffet fra samme prøve. Kornfordelingskurvene viser at alle prøvene har høyt innhold av sand. Graderingstall regnes ut fra Ligning 5.1, og sier noe om hvor gradert materialet er.  $D_{60}$  er den sikteåpningen hvor 60% av materialet passerer, og  $D_{10}$  er den sikteåpningen hvor 10% av materialet passerer.

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} \quad (5.1)$$

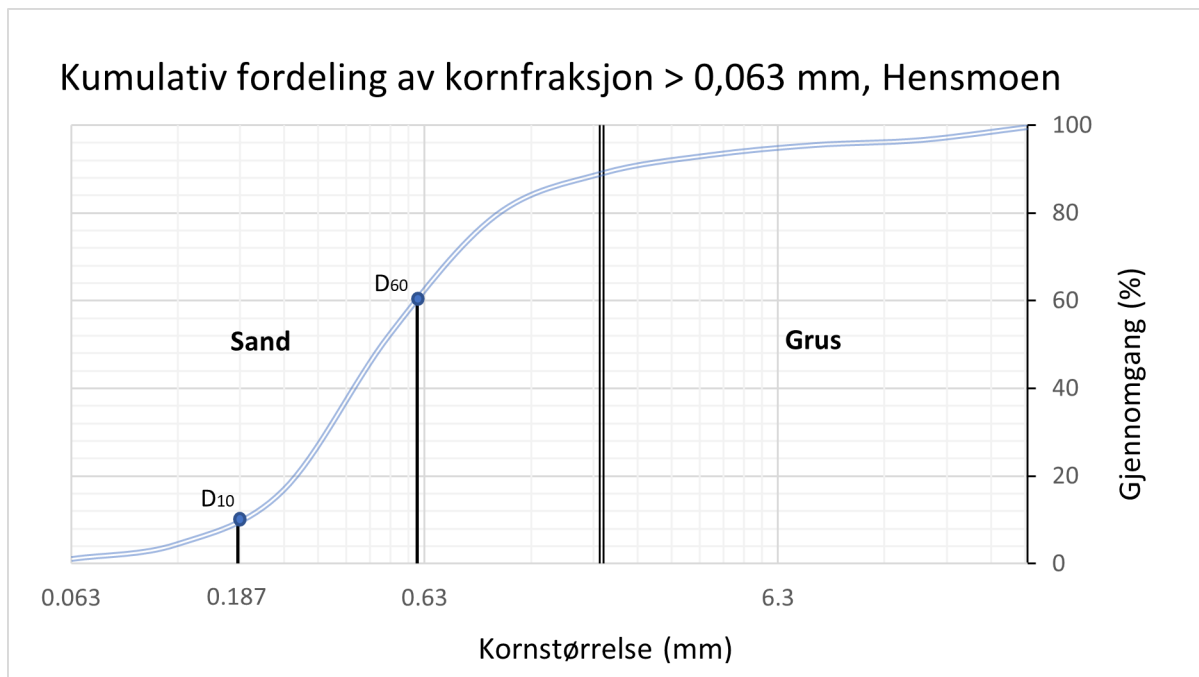
Graderingstallene for de forskjellige prøvene finnes Tabell 5.2.

**Tabell 5.2:** Graderingstall for løsmasseprøvene.

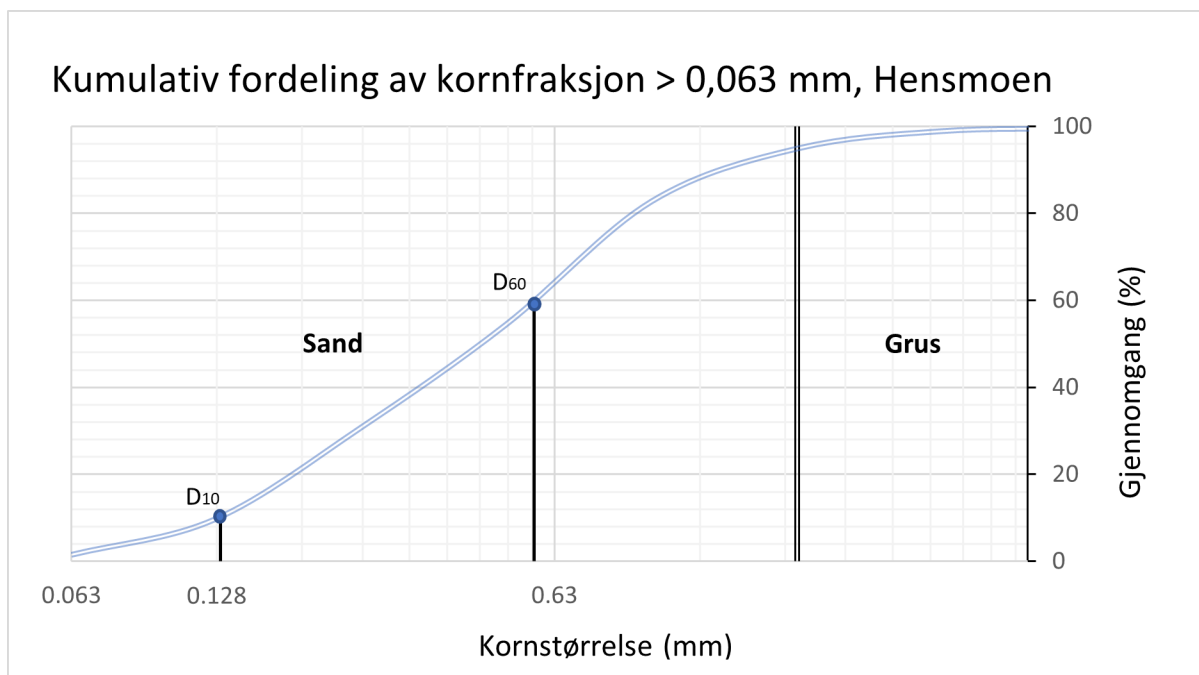
Prøve	Graderingstall ( $C_u$ )
Hensmoen 1	$C_u = \frac{0,6}{0,187} = 3,209$
Hensmoen 2	$C_u = \frac{0,572}{0,128} = 4,469$
Kilemoen 1	$C_u = \frac{0,252}{0,1025} = 2,459$
Kilemoen 2	$C_u = \frac{0,073}{0,005} = 14,6$
Kilemoen 3	$C_u = \frac{0,192}{0,063} = 3,048$

Med unntak av prøven "Kilemoen 2", har prøvene graderingstall som varierer mellom 2,45-4,47, noe som betyr at prøvene er ensgradert (Wold og Sandven, 2016). Kornfordelingsanalysene viser også at disse prøvene kan klassifiseres som sand (Norsk Geoteknisk Forening, 1982). Kornfordelingsanalysen for "Kilemoen 2" viser at 53,5 % av prøven består av finstoff (< 0,063mm), hvor ca. 1,5% er leirfraksjon. Denne prøven kan betegnes som sandig stilt (Norsk Geoteknisk Forening, 1982). Prøven fra "Kilemoen 2" har et graderingstall på 14,6, som betyr at prøven er

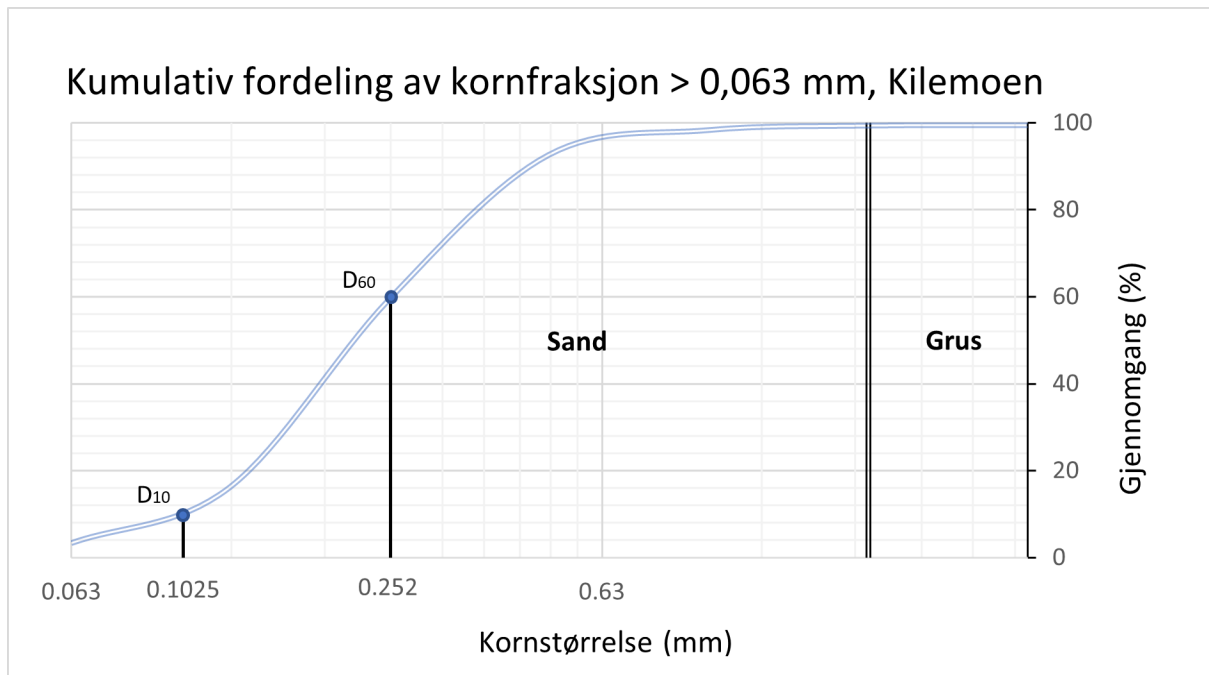
middels gradert, helt på grensen til velgradert. Ettersom dette var en prøve av et antatt leirelag, vil ikke denne prøven være representativ for resten av forekomsten. Prøven er i hovedsak tatt for å påvise eventuell leire i dette området, da dette påvirker kvaliteten på tilslaget.



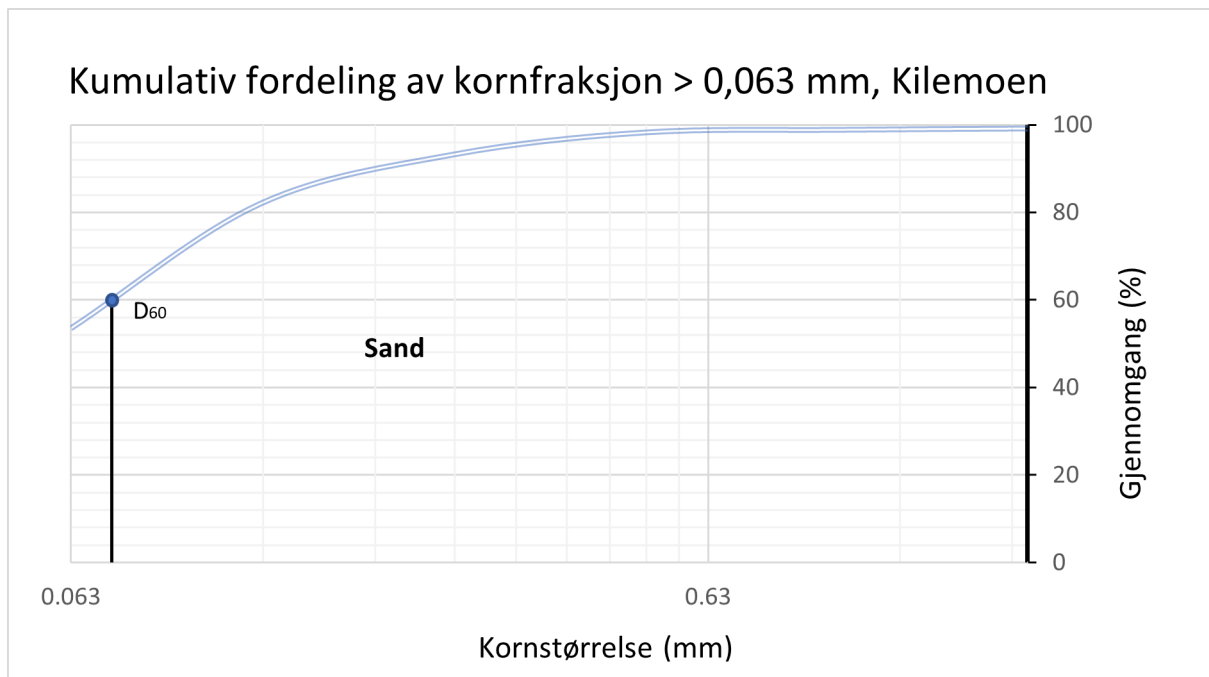
Figur 5.4: Kornfordelingskurve for "Hensmoen 1".



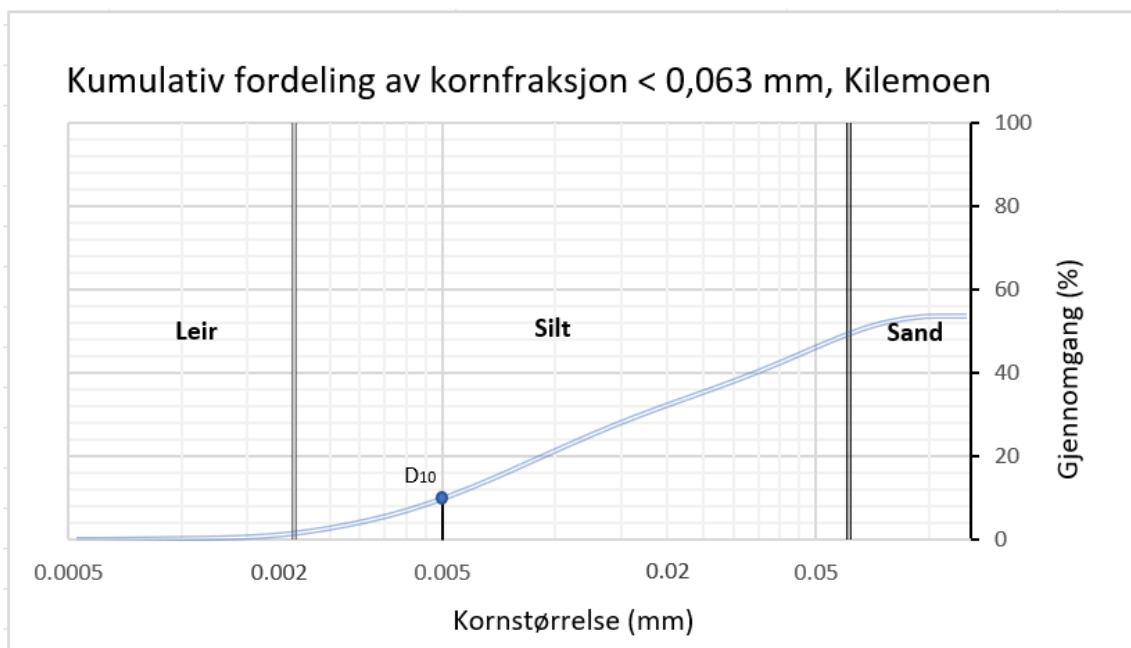
Figur 5.5: Kornfordelingskurve for "Hensmoen 2".



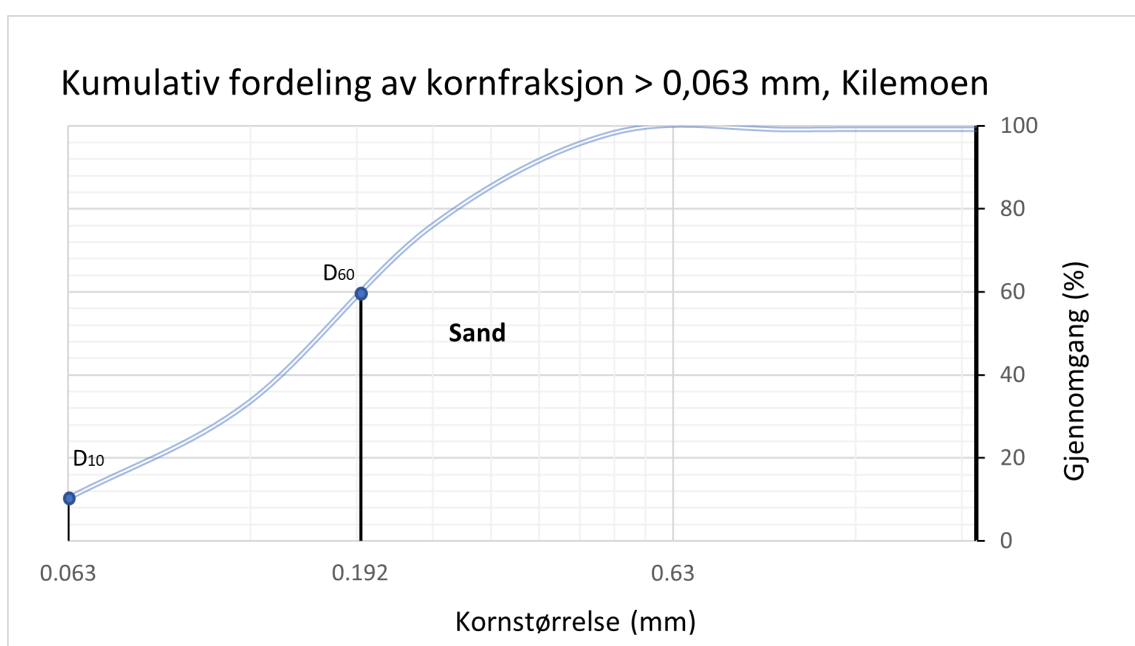
Figur 5.6: Kornfordelingskurve for "Kilemoen 1".



Figur 5.7: Kornfordelingskurve for "Kilemoen 2".



**Figur 5.8:** Kornfordelingskurve fra laserdiffraksjon for "Kilemoen 2".



**Figur 5.9:** Kornfordelingskurve for "Kilemoen 3".

### 5.1.6 Petrografisk analyse

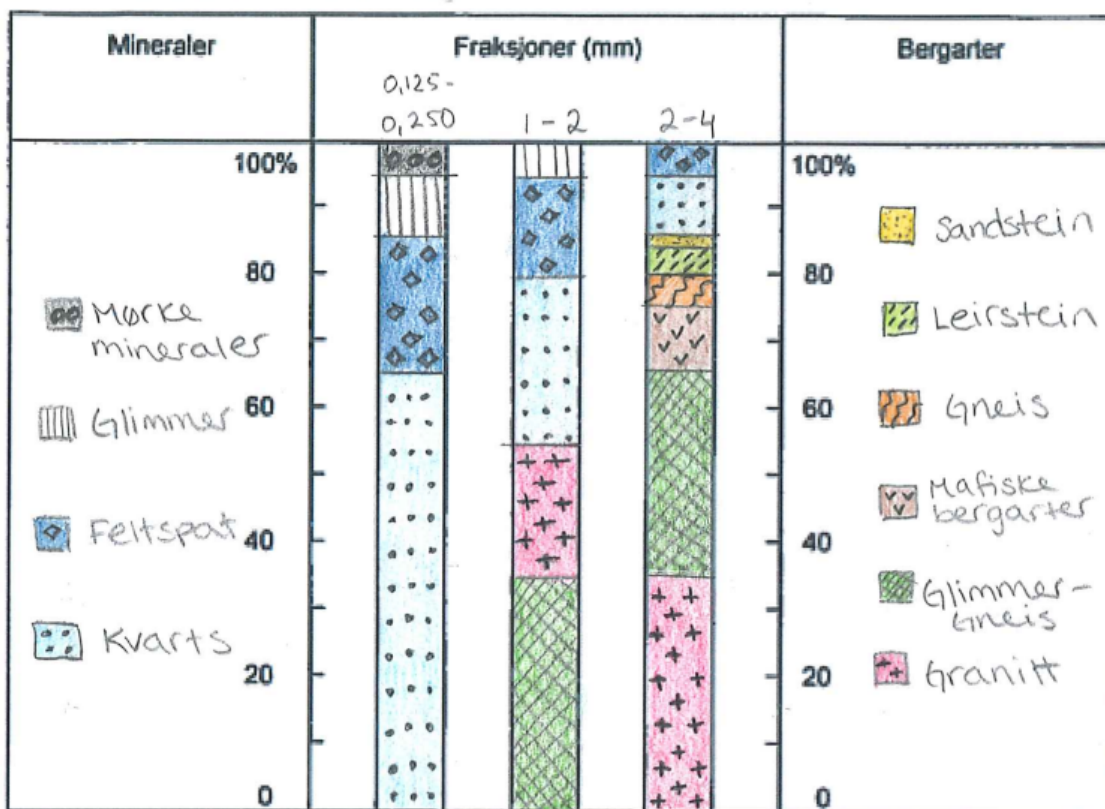
#### Hensmoen

Figur 5.10 viser et gjennomsnitt av den petrografiske analysen av de to prøvene som ble tatt på Hensmoen. Det ble funnet mye granitt og glimmergneis i de større fraksjonene mens den minste fraksjonen inneholdt mye kvarts. Kornformen var stort sett skarpkantet til noe rundet.



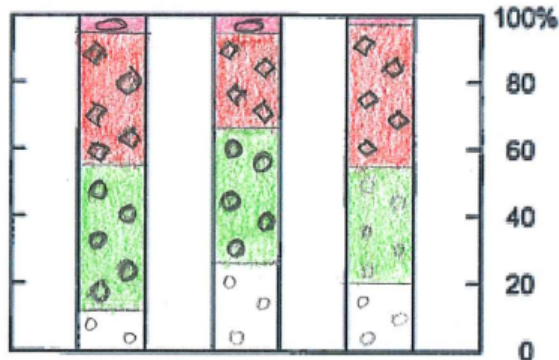
Kornene var i god fysisk tilstand og hadde lite overflatebelegg.

### Mineral- og bergartssammensetninger



#### Kornform:

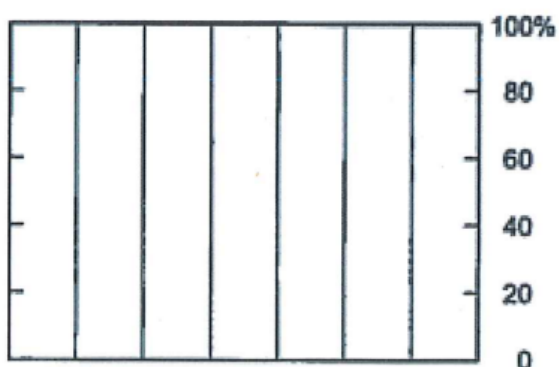
- Flisige: Kubiske
- Skarpk.
- Kantslitt - noe rundet
- Godt rundet



Om ønskelig skilles også rundingsgraden for flisige korn

#### Svake og forvitrede korn:

- Svake og forvitrede
- Rest



Forvitringstype:

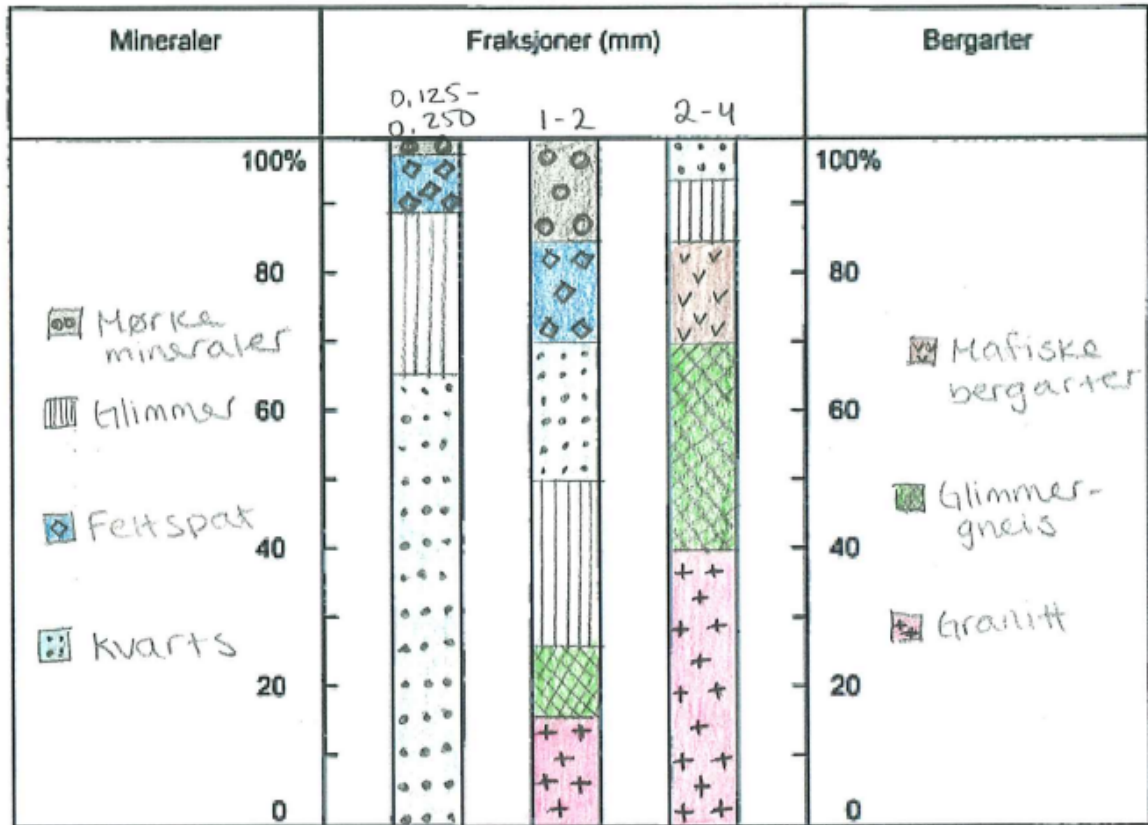
Figur 5.10: Petrografisk analyse for Hensmoen.

## **Kilemoen**

Figur 5.11 viser et gjennomsnitt av den petrografiske analysen av de tre prøvene som ble tatt på Kilemoen. Som vist i kornfordelingskurvene, Figur 5.7 og Figur 5.9, var prøve 2 og 3 fra Kilemoen finkornete, og det var ikke noe materiale i fraksjonen 2-4 *mm*. Resultatene fra 2-4 fraksjonen er derfor kun fra prøvemateriale fra prøve 1 på Kilemoen. Prøve 3 fra Kilemoen i fraksjonen 1-2 *mm* viste 95 % glimmer og er derfor ikke tatt med i gjennomsnittsutregningen.

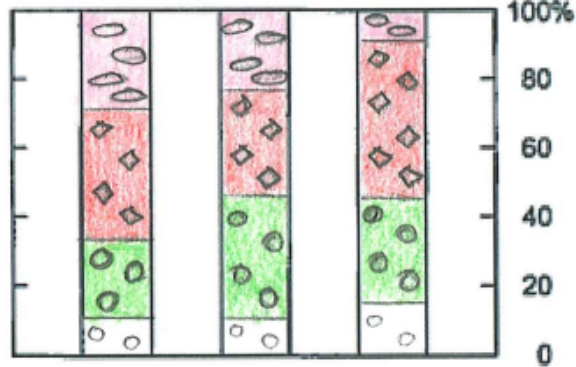
I den største fraksjonen ble det funnet mye granitt og glimmergneis. 1-2 *mm* fraksjonen innholdt en god blanding av granitt, glimmergneiss, glimmer, kvarts, feltspat og mørke mineraler. I den minste fraksjonen, 0,125-0,250 *mm*, var det hovedsaklig kvarts og glimmer. Kornformen var noe mer flisig på Kilemoen enn Hensmoen fordi det var en større andel glimmer. Kornene var generelt i god fysisk tilstand, men noen korn smuldret opp og det var overflatebelegg på en del korn.

Mineral- og bergartssammensetninger



**Kornform:**

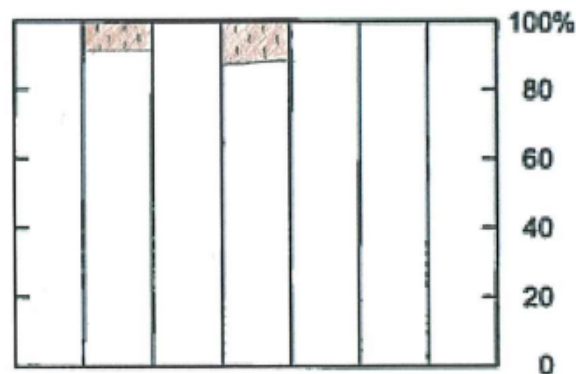
- Flisige: Kubiske
- Skarpk.
- Kantslitt - noe rundet
- Godt rundet



Om ønskelig skilles også rundingsgraden for flisige korn

**Svake og forvitrede korn:**

- Svake og forvitrede
- Rest



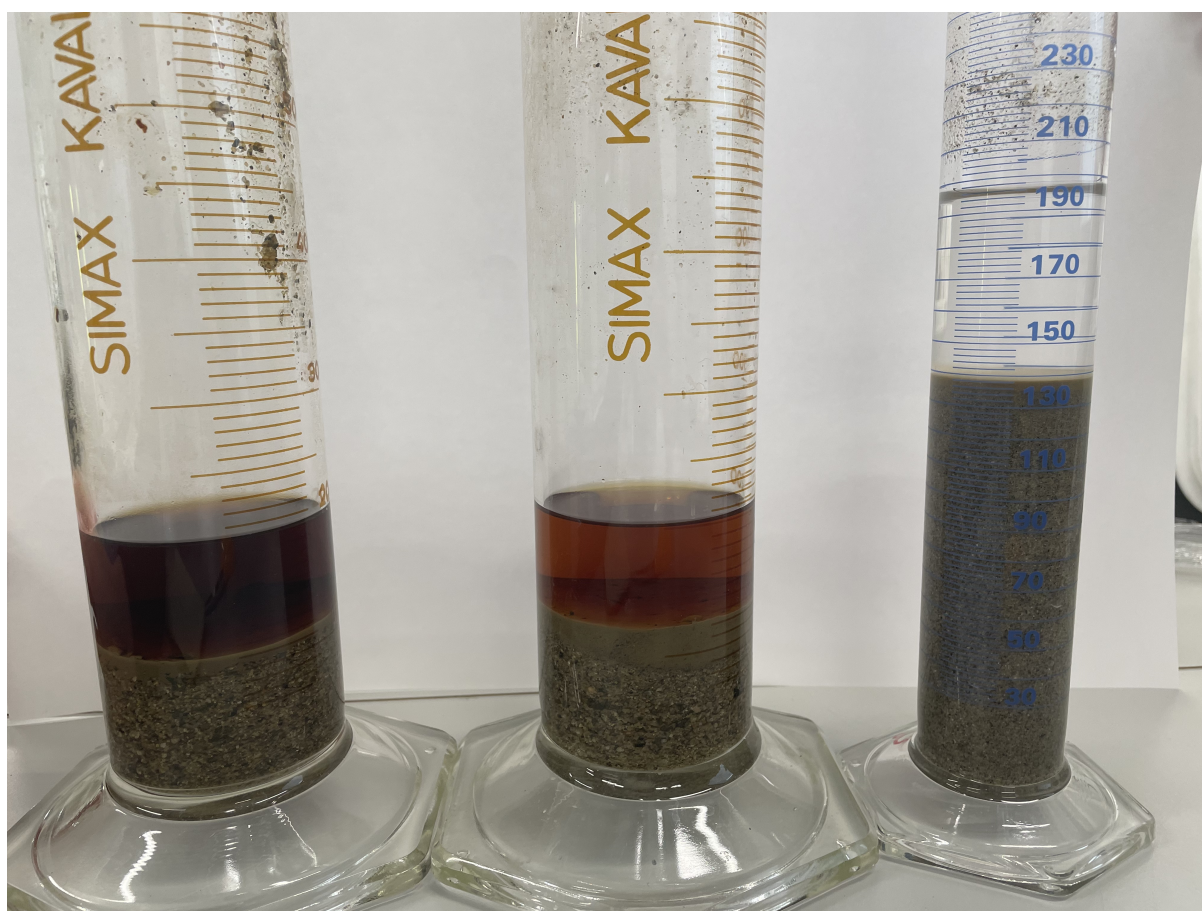
Forvitringstype:

Figur 5.11: Petrografisk analyse for Kilemoen.

En skjematisk beskrivelse av den petrografiske analysen er vist i Vedlegg i E.1 og E.2. Tabellene er et gjennomsnitt av den petrografiske analysen og viser det samme som figurene over.

### 5.1.7 Humustest

Figur 5.12 viser resultatene fra humustestene som ble gjort på to prøver fra topplag på Kilemoen og prøvemateriale fra "Kilemoen 1".



**Figur 5.12:** Humustest. De to prøvene til venstre viser prøvemateriale fra to forskjellige hauger fra topplaget fra Kilemoen, mens prøven til venstre er prøvemateriale fra "Kilemoen 1".

Som vist i Tabell 5.3 inneholder de to prøvene fra topplaget på Kilemoen for mye humus til at de kan brukes uten nærmere testing. Siden denne metoden for testing av humusinnhold har en relativt stor usikkerhet, er det mulig at materiale som gir stort utslag likevel kan brukes. Det er derfor viktig med videre testing. Topplaget på Kilemoen skal ikke brukes uansett og det er derfor ikke nødvendig med videre testing. Prøvemateriale fra "Kilemoen 1" derimot ser ut til å ikke inneholde noe humus og kan derfor brukes uten videre testing.

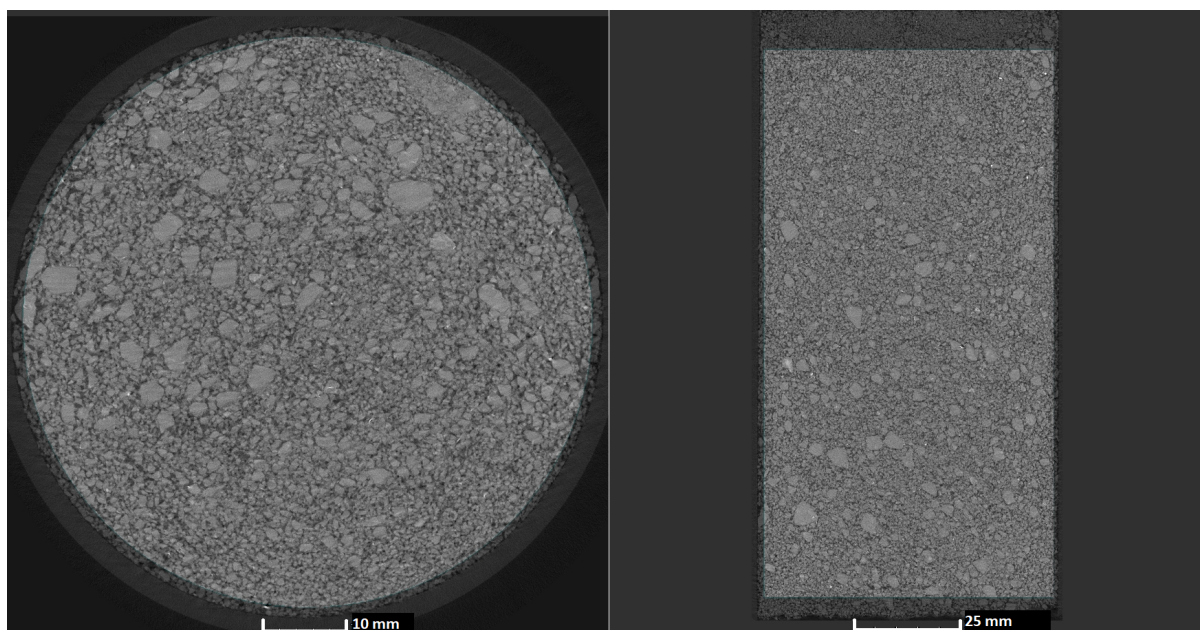
**Tabell 5.3:** Humustest for prøve 1 fra Kilemoen og to prøver fra forskjellige hauger fra topplaget på Kilemoen.

	Fargebeskrivelse	Verdi (vanlig skala)	Vurdering
Topplag	Mørk brun	2	Materiale bør ikke brukes uten nærmere undersøkelse
Topplag	Lys brun	1	Materiale bør ikke brukes uten nærmere undersøkelse
Kilemoen 1	Fargeløs	0	Materiale kan brukes

## 5.2 mCT-skanning og Bildeanalyse

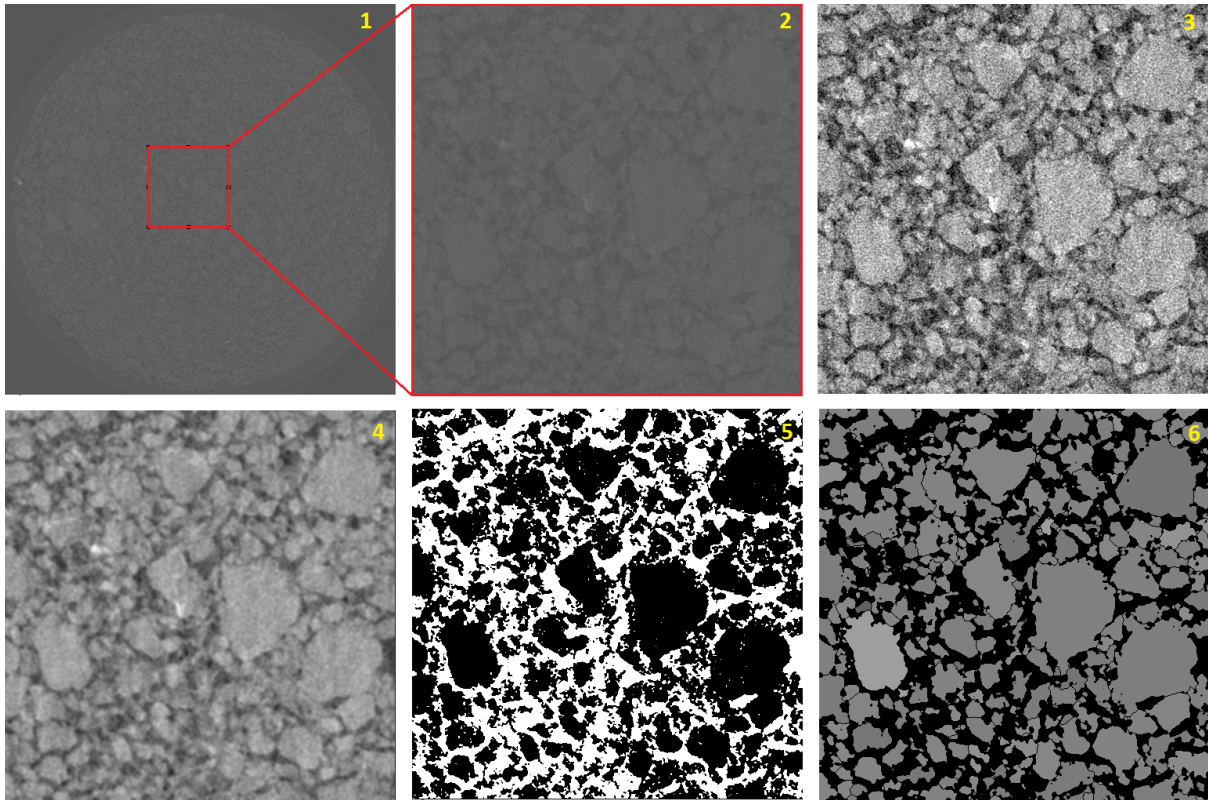
### 5.2.1 Hensmoen

Resultatet fra mCT-skanningen er en 3D-modell av den analyserte prøven. I Figur 5.13 vises utsnitt fra 3D-modellen til ”Hensmoen 2”.



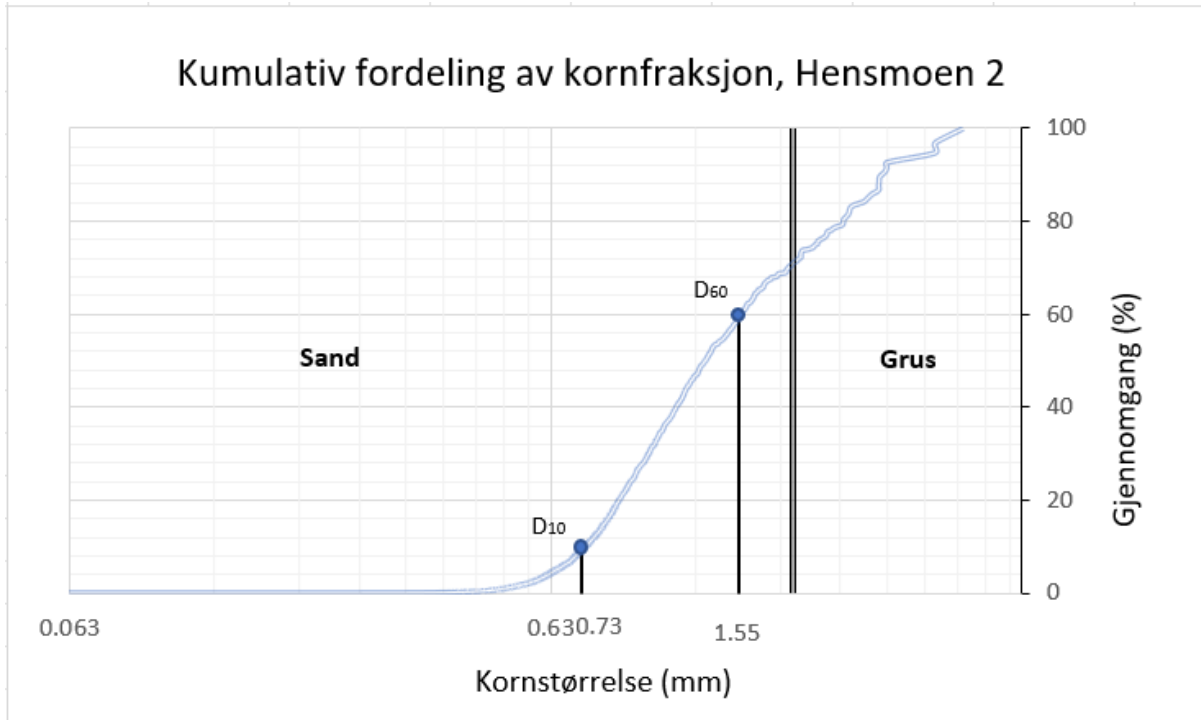
**Figur 5.13:** Et tilfeldig snitt fra mCT-skanningen av prøve ”Hensmoen 2”. Til venstre et horisontalt snitt, til høyre et vertikalt snitt.

Fra 3D-modellen fra mCT-skanningen er det valgt et utsnitt på 500x500x500 pixler for å analyseres i ImageJ. Figur 5.14 viser prosessen og delresultater fra ImageJ.



**Figur 5.14:** Resultatene fra mCT-skanningen av "Hensmoen 2" i bildeanalyseverktøyet ImageJ. Her har den røde boksen i bilde 1, og de resterende bildene en størrelse på 1,5x1,5cm.

Etter ImageJ er brukt til å tolke korn grensene i prøven, brukes resultatene til å analysere kornfordelingen i det valgte området. Her får man en rekke verdier fra prøven, der volumet og lengden på kornene er det mest relevante for dette formålet. Volumet er brukt for å lage en kornfordelingskurve av prøvematerialet.



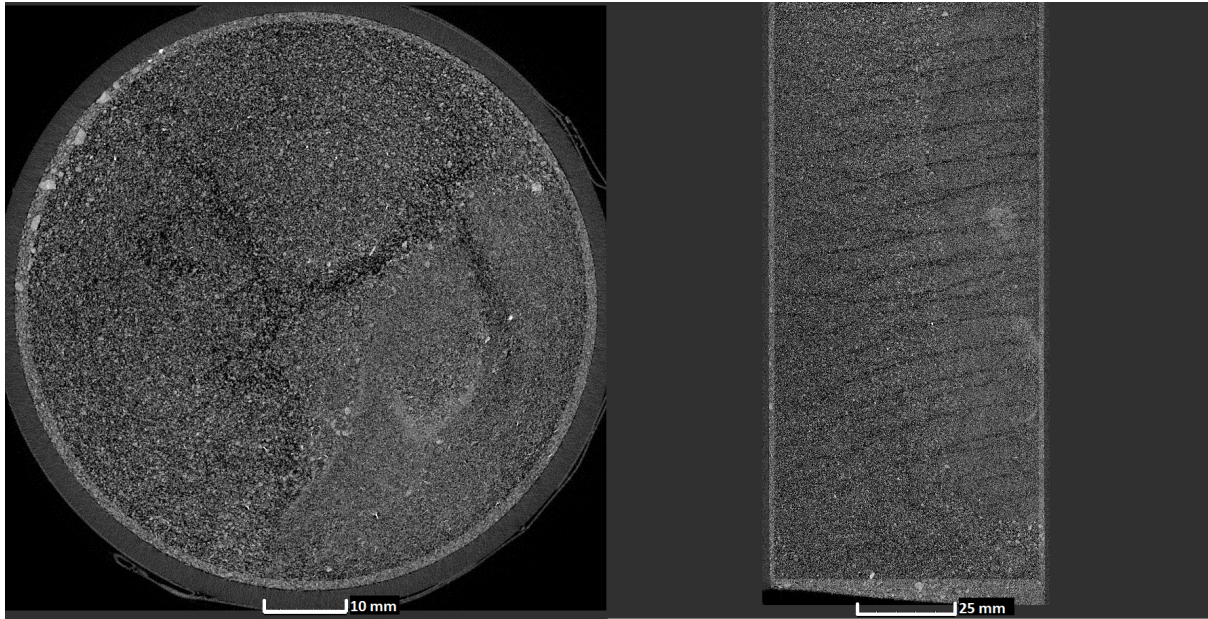
**Figur 5.15:** Kornfordelingskurve for "Hensmoen 2". Kurven er basert på volum av korn i prøven, funnet ved bildeanalyse av mCT-skanning.

Ligning 5.1 gir mCT-prøve fra "Hensmoen 2" et graderingstall på

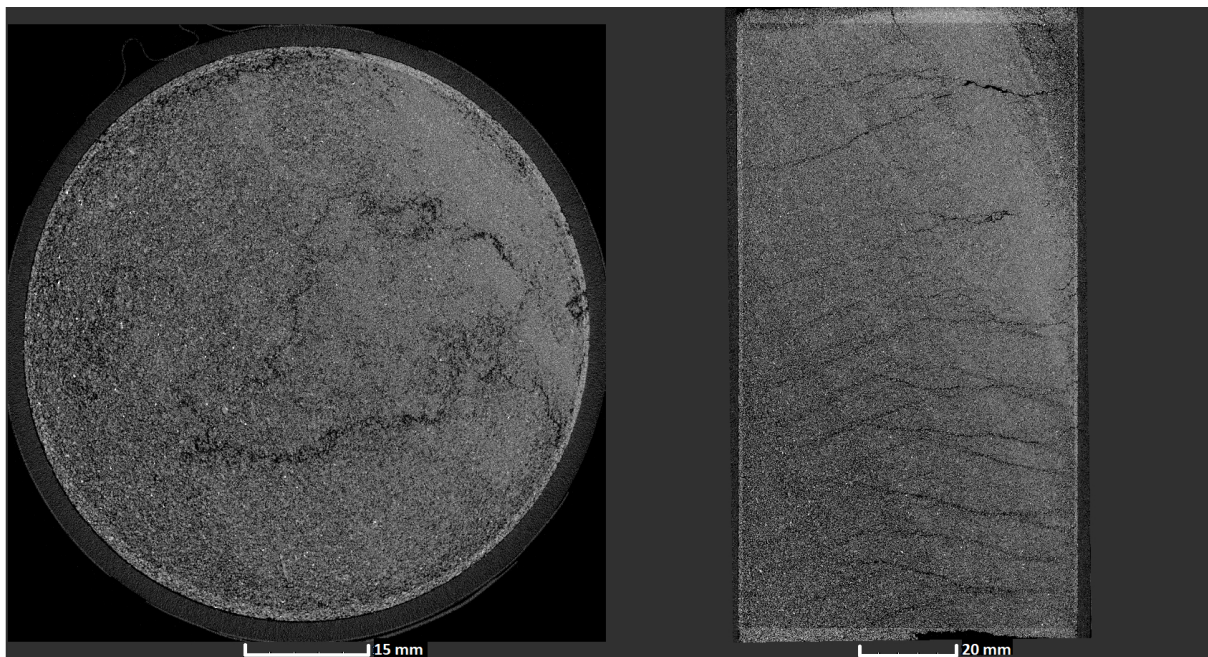
$$C_u = \frac{1,55}{0,73} = 2.12$$

### 5.2.2 Kilemoen

Resultatet fra mCT-skanningen er en 3D-modell av den analyserte prøven. I Figur 5.16 vises utsnitt fra 3D-modellen til "Kilemoen 2", og i Figur 5.17 vises utsnitt fra "Kilemoen 3".



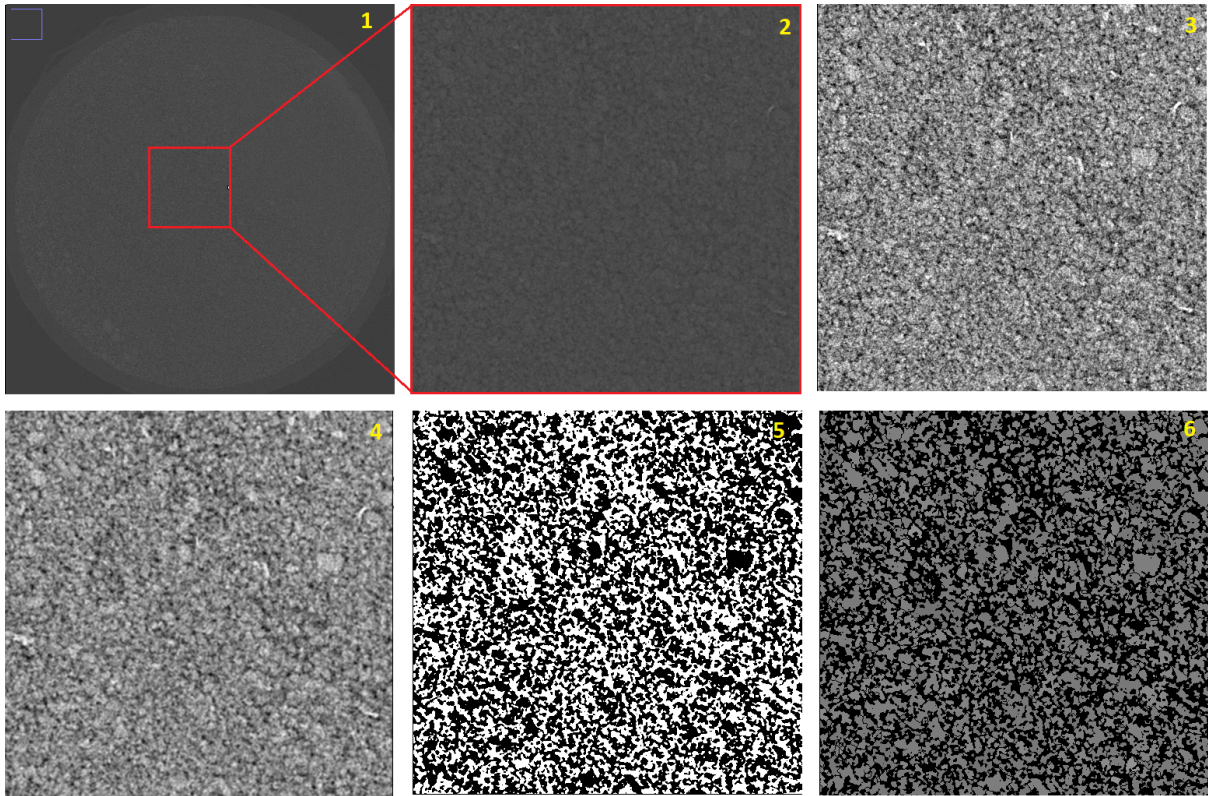
**Figur 5.16:** Et tilfeldig snitt fra mCT-skanningen av prøve ”Kilemoen 1”. Til venstre et horishontalt snitt, til høytre et vertikalt snitt.



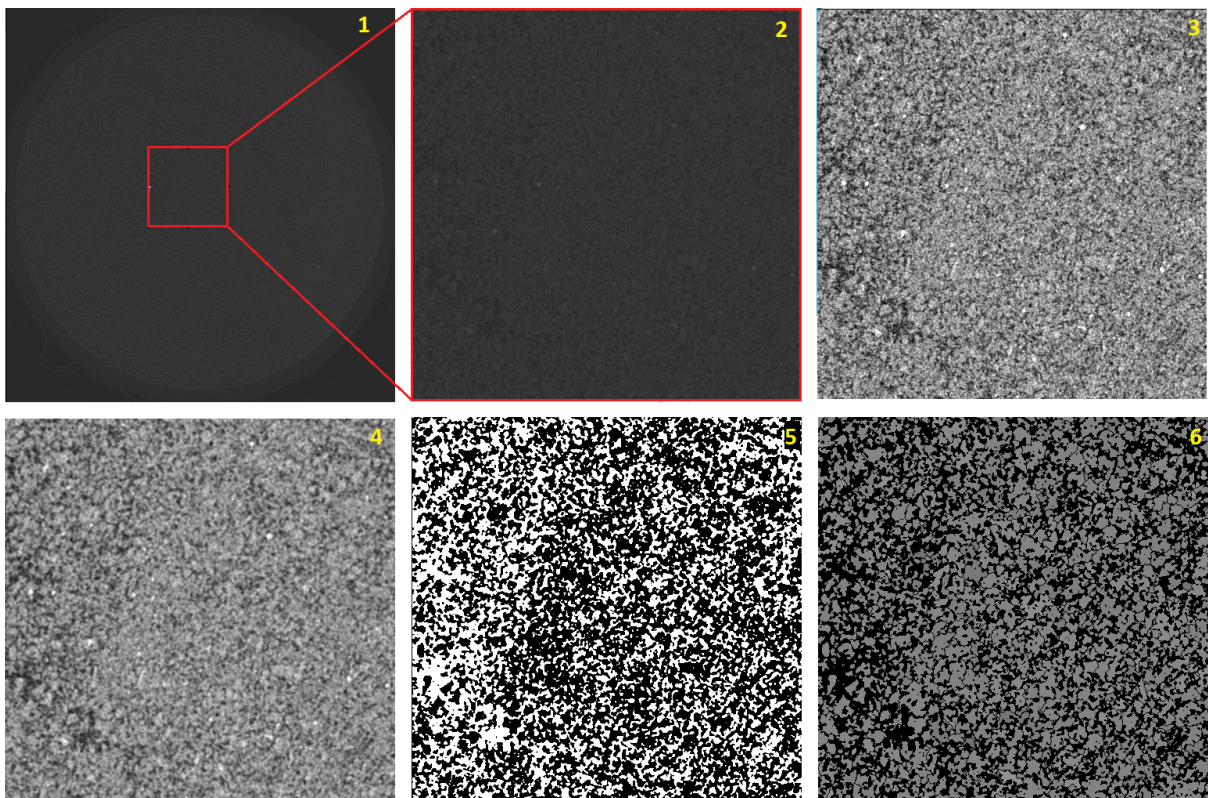
**Figur 5.17:** Et tilfeldig snitt fra mCT-skanningen av prøve ”Kilemoen 3”. Til venstre et horishontalt snitt, til høytre et vertikalt snitt.

Prøvene fra Kilemoen er mer finkornige enn prøven fra Hensmoen. Fra 3D-modellene fra CT-skanningen er det valgt et utsnitt på 500x500x500 pixler for analysen i ImageJ. Figur 5.18 og Figur 5.19 viser prosessen og delresultater fra ImageJ for henholdsvis ”Kilemoen 1” og ”Kilemoen 3”.

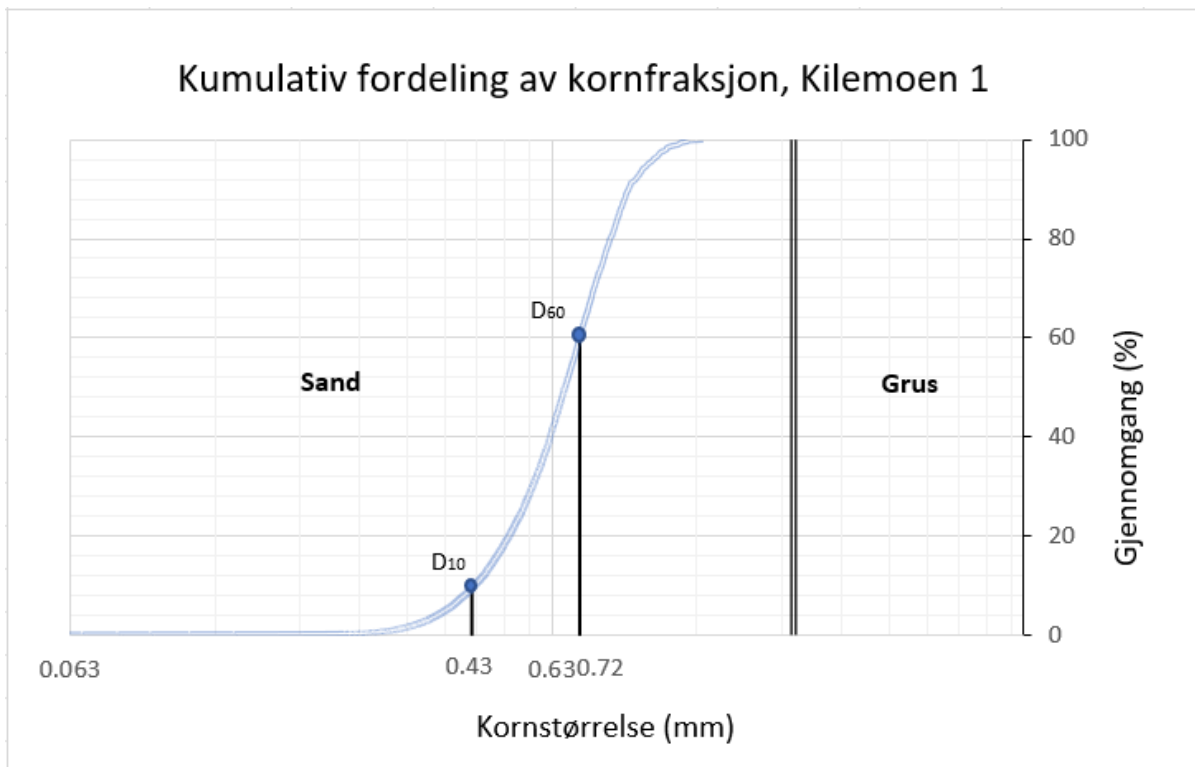




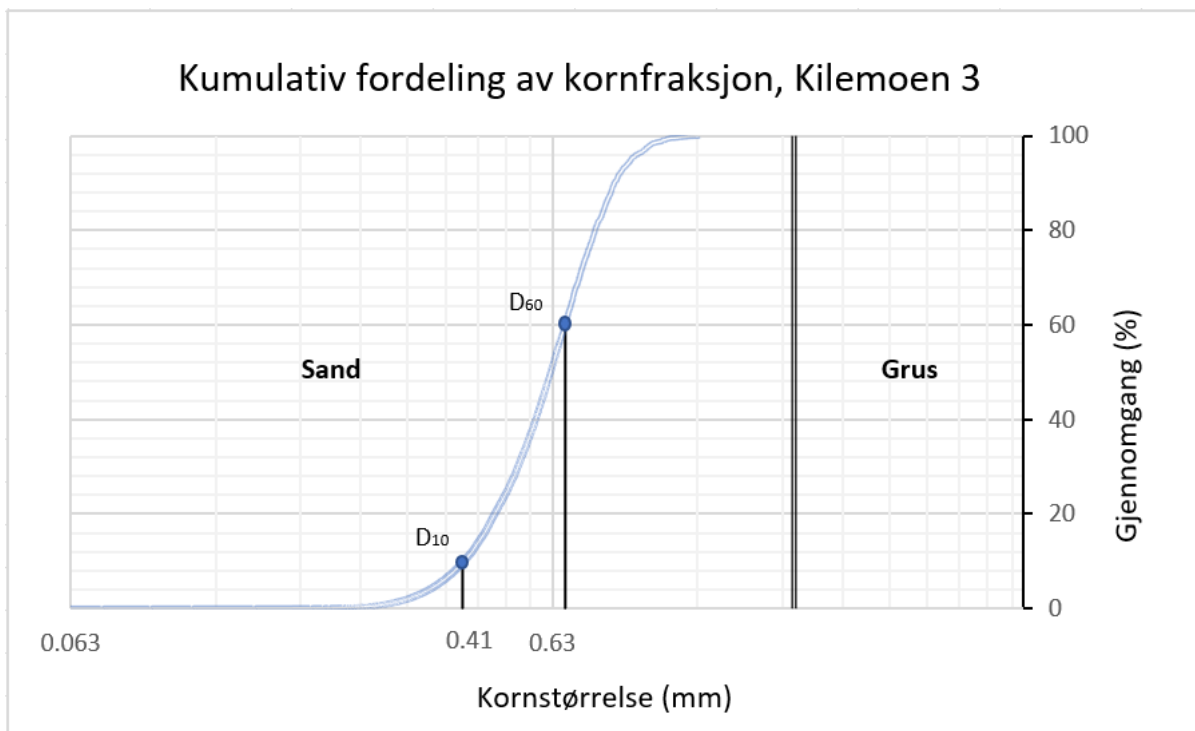
**Figur 5.18:** Resultatene fra mCT-skanningen av "Kilemoen 1" i bildeanalyseverktøyet ImageJ.



**Figur 5.19:** Resultatene fra mCT-skanningen av "Kilemoen 3" i bildeanalyseverktøyet ImageJ.



**Figur 5.20:** Kornfordelingskurve for "Kilemoen 1". Kurven er bassert på volum av korn i prøven, funnet ved bildeanalyse av mCT-skanning.



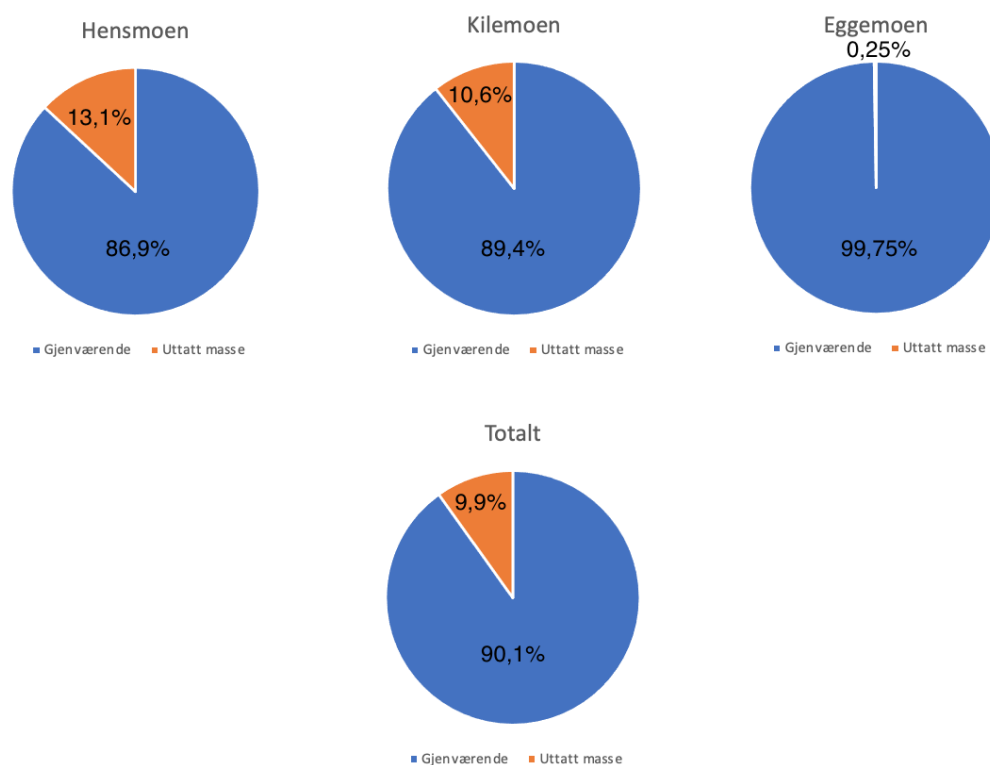
**Figur 5.21:** Kornfordelingskurve for "Kilemoen 3". Kurven er bassert på volum av korn i prøven, funnet ved bildeanalyse av mCT-skanning.

Ligning 5.1 gir mCT-prøve fra "Kilemoen 1" et graderingstall på,  $C_u = \frac{0,72}{0,43} = 1,67$ , og "Kilemoen 3" et graderingstall på,  $C_u = \frac{0,64}{0,41} = 1,56$ .

## 5.3 GIS

### Arealbruk 5.0

Figur 5.22 viser hvor stor andel av de tre forekomstene med nasjonal betydning, som har blitt utvinnet. Av den registrerte sand og grusforekomsten på Hensmoen er 13 % tatt ut, mens på Kilemoen er 11 % tatt ut. På Eggemoen er det ingen aktive grustak og det er dermed lite masse som har blitt tatt ut, kun 0,25 %. Til sammen har 10 % av den totale massen med grus av nasjonal betydning blitt utvinnet. Disse tallene er i utgangspunktet beregnet ut i fra aktive masse-tak. I virkeligheten er det nok en del masse fra disse områdene som ikke er utvinnet. Dette vil sannsynligvis utgjøre en liten andel, men tallene er i virkeligheten litt lavere. Tabell 5.4 viser hvor stor forekomstene er, hvor mye som er tatt ut og hvor mye som er igjen. Kilemoen er den største forekomsten i volum, med  $76,7 \text{ mill.m}^3$ . Totalt har det tre forekomstene med nasjonal betydning i Ringerike kommune et volum på hele  $151 \text{ mill.m}^3$ .



**Figur 5.22:** Grafisk fremvisning av prosent gjenværende (blå) og uttatt (oransje) masse fra forekomster av nasjonal betydning i Ringerike kommune.

**Tabell 5.4:** Oversikt over volum av uttatt og gjenværende masse i forekomstene av nasjonal betydning i Ringerike kommune. Tallene er hentet fra ArcGIS.

	<b>Hensmoen</b> ( <i>mill.m<sup>3</sup></i> )	<b>Kilemoen</b> ( <i>mill.m<sup>3</sup></i> )	<b>Eggemoen</b> ( <i>mill.m<sup>3</sup></i> )	<b>Totalt</b> ( <i>mill.m<sup>3</sup></i> )
Uttatt masse	6,8	8,1	0,06	14,9
Gjenværende masse	44,6	68,6	23,24	136,5
Totalt	51,4	76,7	23,3	151,4

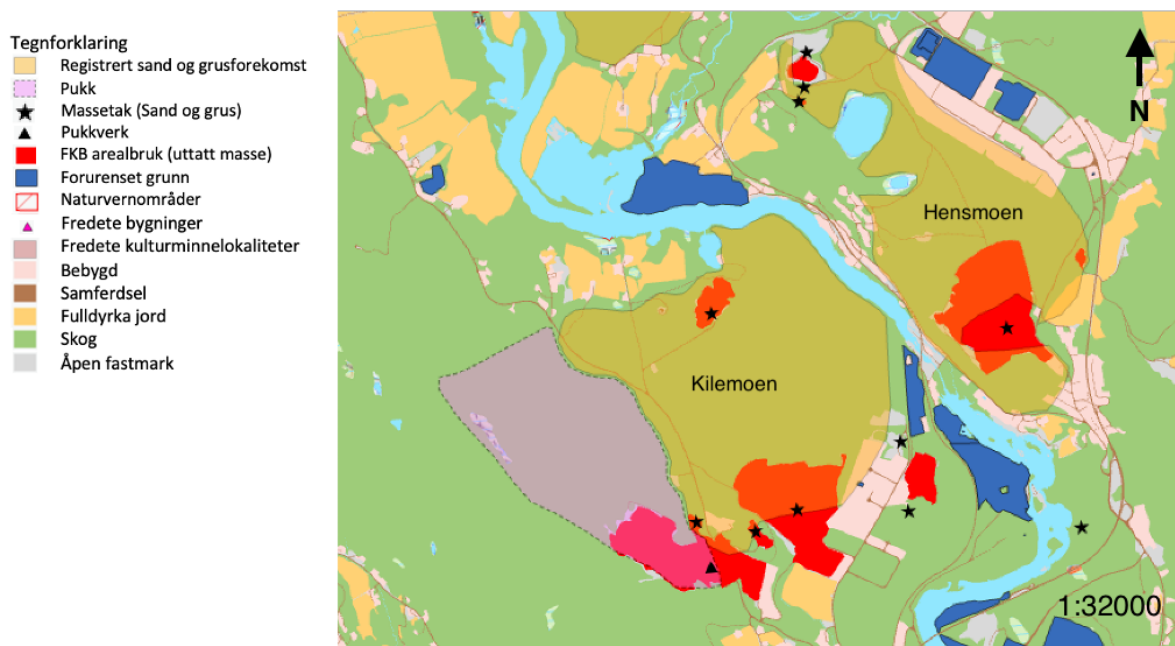
Figur 5.23 viser datasettet arealbruk på masseuttaket på Kilemoen fra vestsiden pukkverk (til venstre) og Svelviksand (til høyre). Dette er et eksempel på at arealbrukdatasettet ikke alltid er helt nøyaktig. På vestsiden pukkverk har det blitt registrert uttak på andre siden av veien der hvor det er hus og bygninger. Trolig har det blitt tatt ut masser fra denne siden også, men slik ortofoto viser det er det en del skog som også har blitt kartlagt med rødt som representerer masseuttak. Likeledes har bygningene lengst sør på grustaket til Svelviksand blitt registrert og kartlagt som masseuttak. Det røde området strekker seg helt ned til et jorde, over bygninger og parkeringsplass. Ved å studere arealbrukdatasettet med ortofoto i Ringerike kommune kan det se ut til at datasettet er mer nøyaktig når masseuttaket er omringet av skog.



**Figur 5.23:** Eksempel på at datasettet arealbruk ikke er helt nøyaktig. De røde områdene i bilde til venstre representerer uttatt masse, mens bilde til høyre er ortofoto av samme område. Bildet er fra Kilemoen med vestsiden pukkverk og Kilemoen grustak.

### Uttak på Hensmoen og Kilemoen

På både Hensmoen og Kilemoen er det påbegynt mindre uttak flere steder i forekomsten, som kan ses i Figur 5.24. Informasjonen om disse mindre massetakene blir oppdatert av NGU i ArcGIS (NGU, 2022a).



**Figur 5.24:** Oversiktsbilde over grusforekomsten på Hensmoen og Kilemoen og hva slags arealtyper som befinner seg i området.

Uttaket i nord på Kilemoen, markert med rødt område og stjerne, er et massetak i en dødisgrop. Massetaket er nær grunnvannsutttak og innen et klausulert område. Et klausulert område er en begrensning av arealet rundt et vannverk eller brønn for å forhindre mulige forurensende aktiviteter i tilsigsområdet (NGU, 2022b). Område for vannverket og det klausulerte område er vist i Vedlegg F.1. NGU har gjort undersøkelser i området og fastslått at massene er gode og godt rundet, ved knusing egner de seg til veiformål. Nederst i forekomsten er massene mer sandige og egner seg bedre til betongformål. Rett ved pukkverket i øst ligger det også et massetak. Det er ikke stor produksjon der men det blir tatt ut masser sporadisk. Massene består av sand men med lag av grus og stein, med en gravdybde på 6-7 m (NGU, 2022a).

På Hensmoen representerer de tre stjernene nord på forekomsten tre uttak. Uttaket lengst nord er et nedlagt massetak som var drevet av NSB. Massetaket har en gravdybde på 30 m med et topplag på 3-4 m. Massene er best egnet til pussesand og betongtilslag. I midten er det et stort massetak som også har en mektighet på 30 m med et topplag på 3-5 m. Det har de siste årene vært begrenset produksjon av støpesand og pussesand som eksporteres til flere kommuner på Hadeland. Lengst sør av de tre uttakene er et lite massetak med en gravdybde på 5 m. Massene består av grus på toppen og sand nedover. Massene fra dette massetaket har sannsynligvis blitt tatt ut til privat og lokalt bruk, da det ikke er store mengder som er tatt ut (NGU, 2022a).

## Uttak på Eggemoen

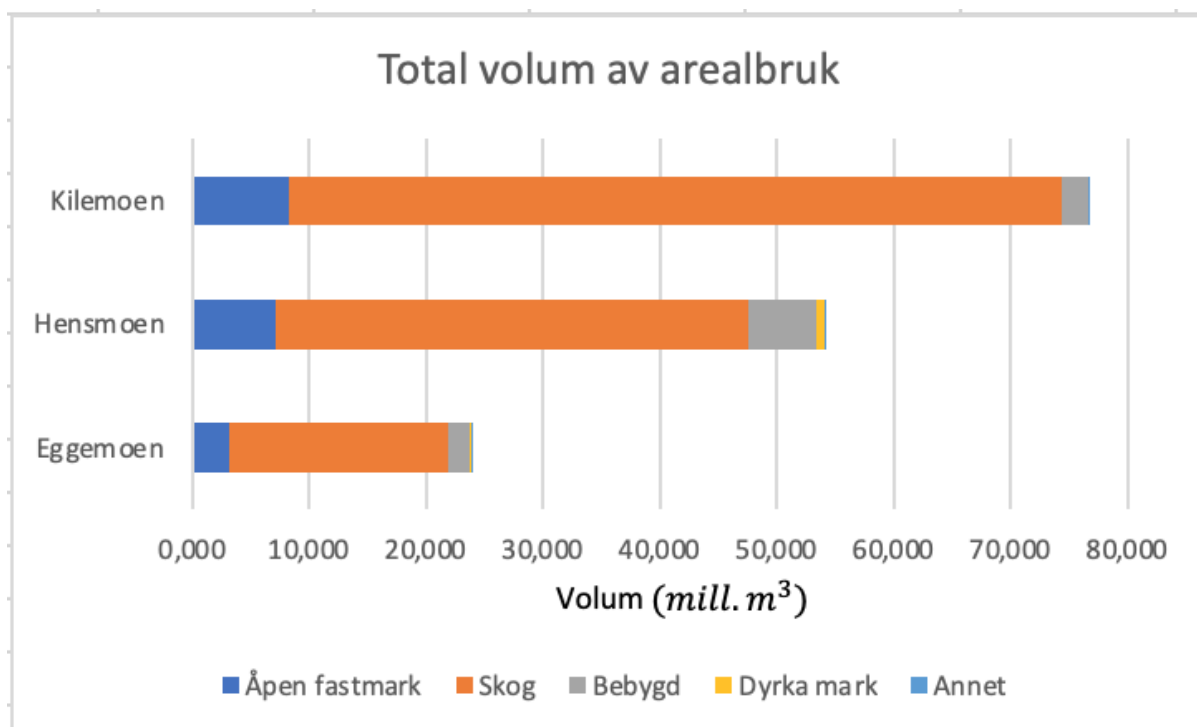
På Eggemoen er det to massetak som er vist i Figur 5.25. Massetaket som ligger lengst vest er et stort massetak drevet av forsvaret. Mektigheten er 10-12 m med grovere masser på toppen og finere masser mot dypet. De grove massene egner seg til nedknusing mens den finere massen egner seg til vei- og betongformål. Massetaket lengst øst er ikke i drift lenger og har ikke vært det på flere år. Gravdybden er 6-7 m, og i likhet med det andre massetaket er det grove masser på toppen og mer finkornet materiale lenger ned (NGU, 2022a). I tillegg til disse to massetake-  
ne er det også registrert tre massetak på nord-øst siden av forekomsten. Dette er vist som om det er utenfor forekomsten, men det er kun fordi kommunegrensen går der forekomsten slutter på kartet. I masteroppgaven er det kun forekomster i Ringerike kommune som blir studert og datasettet Registrert sand og grusforekomster derfor begrenset til kun Ringerike kommune. De tre massetaken i nabokommunen, Jevnaker, er altså drevet i samme forekomst som Eggemoen.



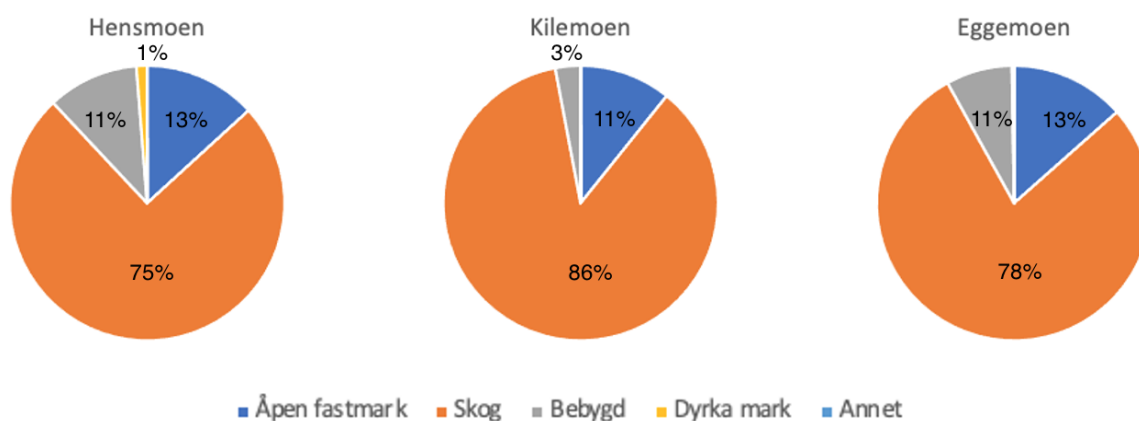
**Figur 5.25:** Oversiktsbilde over grusforekomsten på Eggemoen og hva slags datasett som befinner seg i området.

## AR5

Hva som befinner seg på forekomstene, enten åpen fastmark, skog, bebyggelse, dyrka mark eller annet er vist i Figur 5.26. Figuren presenterer hvor mye volum som er båndlagt av disse arealtypene. Figur 5.27 viser hvor mye prosent av forekomsten som består av de forskjellige arealtypene.



**Figur 5.26:** Grafisk fremvisning av volum av grusforekomstene av nasjonal betydning i Ringerike kommune.



**Figur 5.27:** Grafisk fremvisning AR5-datasettet målt i prosent av forekomstene med nasjonal betydning i Ringerike kommune.

### Åpen fastmark

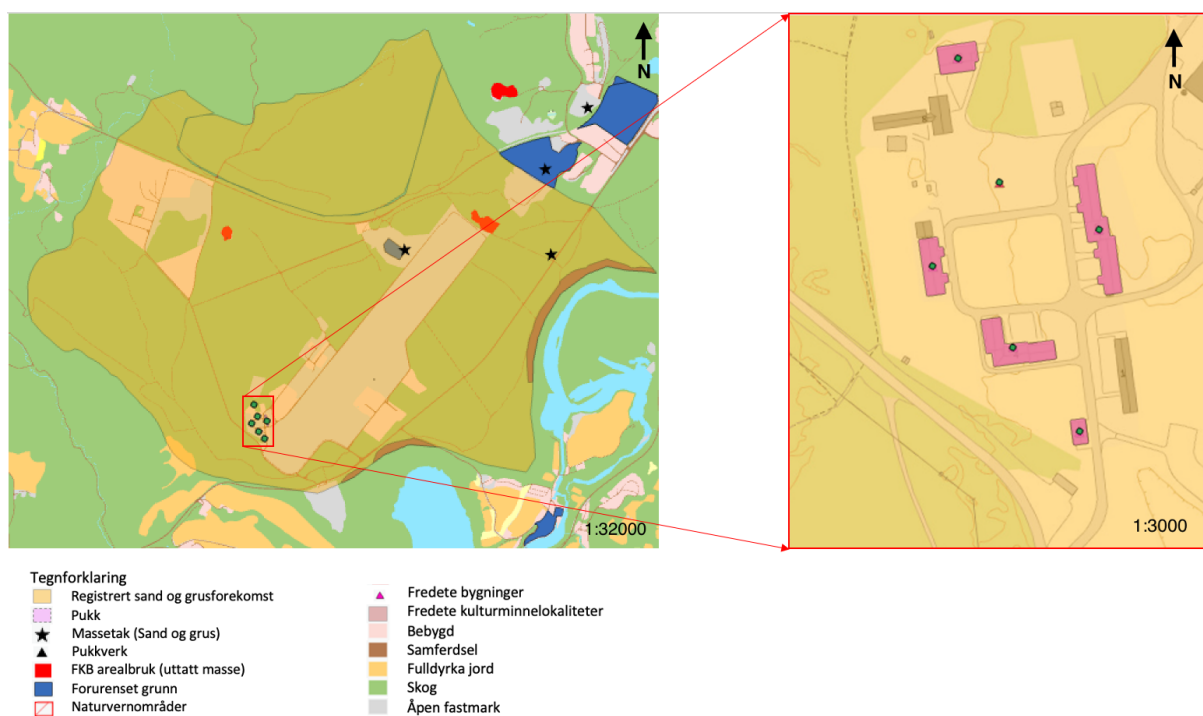
Åpen fastmark er en del av AR5 datasettet. Generelt representerer åpen fastmark bart fjell, eller andre åpne områder. Det vil si at grustak ofte blir kartlagt som åpen fastmark. Uttatt masse fra grustak utgjør 1% av åpen fastmark i Ringerike kommune. På Eggemoen er flyplassen også kategorisert som åpen fastmark.

## Forurenset grunn

Det er registrert forurenset grunn på Eggemoen, midt i forekomsten ved flyplassen, som vist i Figur 5.25. I samme område er det registrert et massetak, markert med en stjerne, som ikke lenger er i drift. I tillegg er det forurenset grunn like utenfor forekomsten, på nord-øst siden. Området kan ha innvirkning på forekomsten og hvor et eventuelt massetak kan drives. I områdene der det er forurenset grunn må det gjøres grundigere undersøkelser av grunnen for å fastslå hva som kan tas ut og ikke.

## Harde eksklusjoner (no-go områder)

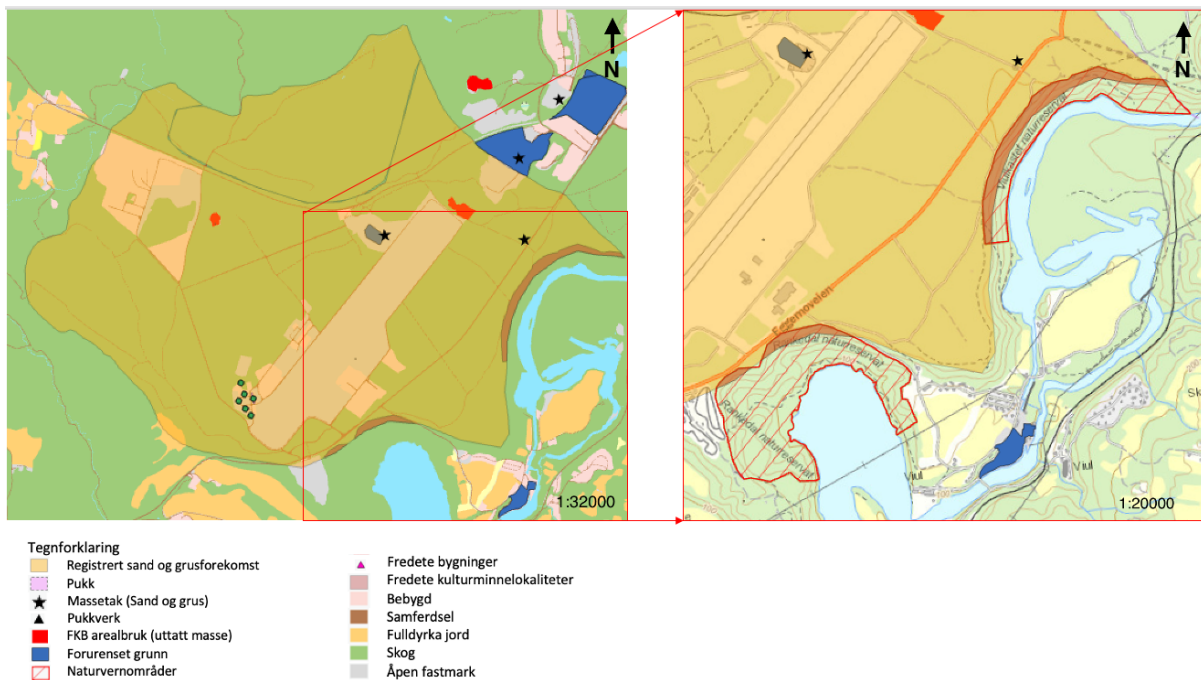
Det er registrert seks fredete bygninger og seks fredete lokaliteter på Eggemoen. Figur 5.28 viser de fredete bygningene og lokalitetene. I dette tilfelle er de seks bygningene kartlagt som både fredete bygninger og fredete kulturminnelokaliteter. Eggemoen leir er en tidligere militær leir med flyplass som ble etablert av okkupasjonsmaktene under andre verdenskrig. I ettertid har flystripa blitt solgt til Tronrud Engineering AS og bygningene har blitt fredet (Forsvarsbygg, 2018).



**Figur 5.28:** Fredete bygninger og kulturminnelokaliteter på Eggemoen.



To områder er kartlagt som naturvernområder på Eggemoen, se Figur 5.29. Området lengst sør-vest er kartlagt som et naturvernområde for å bevare elveskråningen som består av tørr og rik sandfuruskog, edelløvskog og gråorkildeskoger. Skråningen har et stort biologisk mangfold med sjeldene naturtyper og sjeldene arter av karplanter og fugl (Miljødirektoratet, 2016a). Området nord-øst har en kalkrik sandfuruskog, skavgras-kildeskog og kildepåvirket gråorskog, som er viktig å verne. Dette er også et område med rikt biologisk mangfold og sjeldne naturtyper som kalkkrevende karplanter og sopparter. Begge områdene er vurdert som nasjonal verdifulle områder (Miljødirektoratet, 2016b). Områdene er vernet mot alle tiltak som kan endre naturmiljøet (Lovdata, 2016).



**Figur 5.29:** Naturvernområder på Eggemoen.

Det er ingen konflikter med harde eksklusjoner på Hensmoen og Kilemoen.

### Myke eksklusjoner

Det er ingen konflikter med myke eksklusjoner på de tre forekomstene med nasjonal betydning.

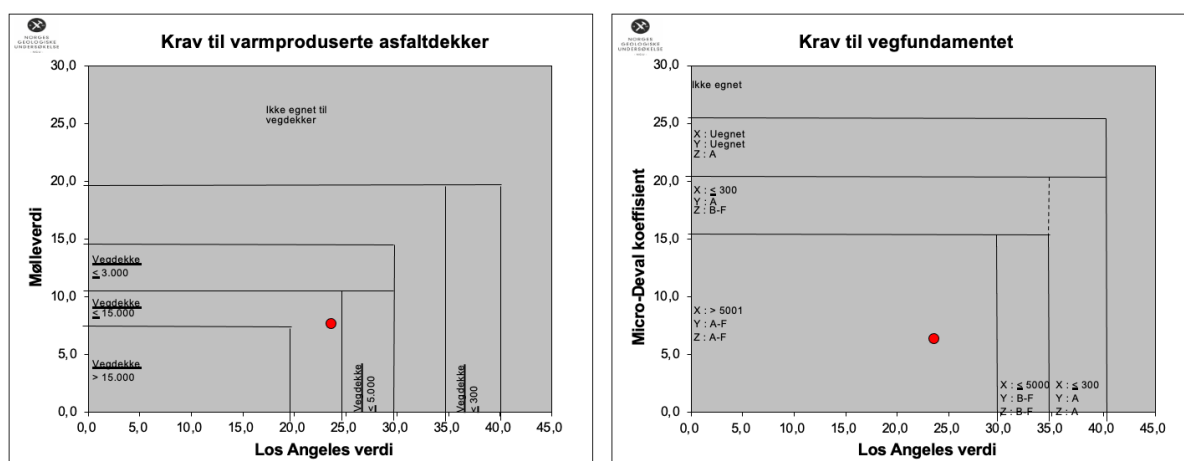
## 6 Diskusjon

### 6.1 Laboratoriearbeid

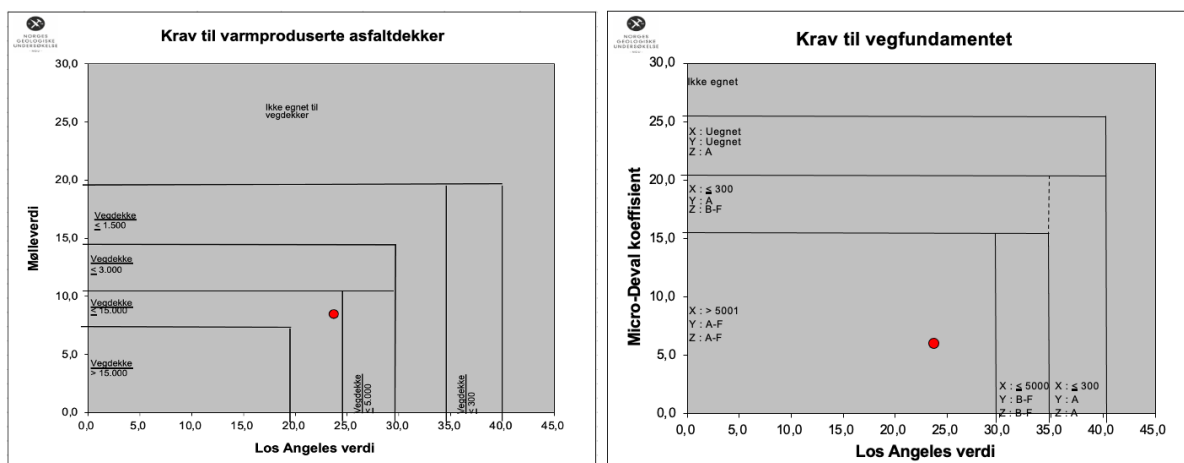
#### 6.1.1 Mekaniske tester

Ut i fra de mekaniske testene kulemølle, microdeval og LA kan det se ut til at naturgrus er mer slitesterkt enn det knuste materialet. Det knuste materiale har høyere verdier på alle testene både på Kilemoen og Hensmoen. Det er vanlig at knust grus har noe dårligere mekaniske egenskaper enn naturgrus, da den knuste grusen kan ha blitt svekket i knuseprosessen og mulig fått sprekker i strukturen.

Tabell 3.2 viser kravene fra Statens Vegvesen for de forskjellige testene og lagene i veien. Naturgrus kan ikke brukes på veidekker med ÅDT over 5000. For veier med en ÅDT mindre enn 5000 er det strengeste kravet for kulemølle at mølleverdien skal være under 14. For microdevaltesten er det strengeste kravet at  $M_{DE}$  skal være under 15 og for LA testen skal LA-verdien være under 30 (vist i Tabell 3.2). Fra begge masseuttakene er alle verdiene innenfor kravene både for knust og naturlig materiale. Figur 6.1 viser testresultatene fra Hensmoen fra de mekaniske testene opp mot krav for veidekke og veifundament. Testresultatene fra Kilemoen er vist i Figur 6.2. Den knuste grusen fra Hensmoen og Kilemoen er vist i henholdsvis Vedlegg D.1 og D.2.



**Figur 6.1:** Testresultater av naturgrus fra Hensmoen mot krav til veidekke og veifundament. Laget av NGU i sammenheng med laboratorietesting.



**Figur 6.2:** Testresultater av naturgrus fra Kilemoen mot krav til veidekke og veifundament. Laget av NGU i sammenheng med laboratorietesting.

### 6.1.2 Flisighet

Flisighetsindeksen var lav for naturgrusen og høyere for den knuste grusen. Det er normalt at naturgrus er mindre flisig enn knust materiale siden naturgrusen har blitt transportert og rundet under dannelsen. Kravet fra Statens Vegvesen er at flisighetsindeksen skal være under 20 i veidekke og veifundament (vist i Tabell 3.2). Resultatene fra flisighetstesten viser at gjennomsnittet fra alle prøvene er under 20.

For betongtilslag bør flisighetsindeksen ikke overskride 15 (University of Memphis, 2002). Flisighet ble kun testet for fraksjonene 10/16 *mm*. Flisigheten kan ofte bli høyere i mindre fraksjoner siden det generelt er flere frikorn som kan ha en flisig kornform, eksempelvis glimmer. Det kan dermed antas at flisigheten er den samme eller litt høyere for betongsanden enn for 10/16 *mm*. Flisighetsindeksen er langt under 15 for alle prøvene, og det er usannsynlig at flisigheten overskrider grenseverdien selv for de mindre fraksjonene.

### 6.1.3 Kornfordelingsanalyse

Kornfordelingsanalysen viser at alle prøvene er godt sortert, og klassifiseres som sand. Dette er et forventet resultat ettersom det er breeløvsetninger, som ofte er avsatt i sorterte lag med forskjellige kornstørrelser. Her vil hvert lag stort sett ha samme kornstørrelse og dermed være rimelig ensgradert. Dermed tyder det på at våre prøver kommer fra ett lag.

”Hensmoen 1” ble tatt fra nedrast materiale, så det er å forvente at den er litt mer gradert enn resterende prøver som er tatt direkte fra uberørt stuff. Graderingstallet er ganske likt som de andre prøvene, men dersom man ser på kornfordelingskurven, Figur 5.4, vises det at det er litt mer variasjon i de største kornstørrelsene, noe som ikke kommer fram fra graderingstall.

”Kilemoen 2” ble tatt fra et lag med antatt mye finere kornfordeling enn resten av prøvene, med mulig innhold av leire. Figur 5.7 og Figur 5.8 viser at prøven inneholder rundt 50 % finstoff ( $< 0,063\text{mm}$ ), men kun 1,5 % leir. Lag som dette er viktig å oppdage, da det ikke er ønskelig med de minste størrelsene i hverken vei eller betong.

For veibygging trengs det stort sett masser med jevn kornfordeling fra  $0\text{mm}$  opp til flere  $\text{cm}$ . Dermed må masser med forskjellige fraksjoner ofte blandes slik at ønsket kurve oppnås. For frostsinkringslag er det et krav at  $C_u \leq 5$ . Tabell 5.2 viser at ingen av prøvene har et høyt nok graderingstall, med unntak av ”Kilemoen 2”, som var leirprøven. Andelen finstoff som er mindre enn  $0,063\text{ mm}$  skal være mellom 1 % og 7 %. ”Kilemoen 2” inneholder over 50 % finstoff, og kan blandes med andre masser for å få riktig mengde finstoff. For forsterkningslaget kan naturgrus kun brukes i veiklasse A, i fraksjonen 0/90, mens knust grus kan brukes i veiklasse B og C, i fraksjon 0/63. Det er viktig at kornfordelingen strekker seg fra minste til største, og dermed kan det også her være aktuelt å bruke sanden som påfyll til andre masser for å få riktig kornfordelingskurve. For mekaniske bærelag er det kun knust grus i fraksjoner 0/22-63 som kan brukes, og bare i veiklasse A. Også for grusdekker kan bare knust grus anvendes. Prøvene brukt til kornfordelingsanalysene er dermed ikke relevant for mekaniske bærelag og grusdekker. For bitumøse bærelag og veidekker kan grus brukes, i litt forskjellige knusningsgrader ut fra hvilket type dekke det er. Materialer brukt i veidekker skal ha en øvre siktestørrelse på 8-22  $\text{mm}$ . Materialet fra prøvene fra Hensmoen og Kilemoen vil være relevant for frostsinkringslag, forsterkningslag, bitumøse bærelag og veidekker. Ut fra kornfordelingsanalysen vil materialet trolig passe best for å justere kornfordelingskurven til andre materialer slik at det passer kravene til det aktuelle laget.

Løsmasser i sandstørrelse vil være godt egnet som tilslag i betong. Gradering på tilslaget er veldig viktig for betong, både for økonomi og kvalitet. En glatt kornfordelingskurve gir den

beste betongen, med kornstørrelser fra rundt 0,05 mm opp til 37,5 mm, som vist i Figur 4.2. Ca. 50 % av "Kilemoen 2" består av korn med størrelse som er mindre enn 0,05 mm, og materialet vil være for finkornet for bruk i betong. Resterende prøver vil være godt egnet for bruk sammen med masser av større størrelse, slik at det blir oppnådd riktig kornfordeling.

#### 6.1.4 Petrografisk analyse

Den petrografiske analysen viser et stort innhold av kvarts og glimmer. Dette er mineraler som er ugunstige i betongtilslag. Kvarts kan danne alkalireaksjoner hvis de riktige betingelsene er oppfylt, som gjør at betongen utvider seg og sprekker opp. Størrelsen på frie kvartskorn er avgjørende for reaktiviteten. Små korn vil lettere danne alkalireaksjoner enn store, på grunn av økt overflateareal. I den petrografiske analysen er de minste kornene som er analysert fra fraksjonen 0,125-0,250 mm. Kvartskorn over 0,130 mm anses som ikke-reaktive (Lindgård, 2007). Siden det er funnet såpass mye kvarts, hele 65 %, i fraksjonen 0,125-0,250 mm er det viktig å gjøre videre undersøkelser om alkalireaktive bergarter i tilslaget. Ut i fra den petrografiske analysen kan det ikke fastslås at materialet inneholder for mye finkornet kvarts eller ikke, uten videre testing. Grusen og sanden fra både Hensmoen og Kilemoen blir brukt i dag, og det har blitt gjort flere tester fra leverandørene for å finne kvaliteten på tilslaget. I følge John Myrvang er det liten eller ingen alkalireaktive bergarter i tilslaget fra Hensmoen (John Myrvang AS, 2021).

Glimmermineralene har stor overflate som binder mye vann, som gjør at vannbehovet øker som igjen påvirker vann-sement-forholdet og fastheten til betongen. Glimmer er et mineral som er mekanisk svakt, det vil derfor påvirke betongens styrke dersom innholdet blir for høyt (Nålsund og Haugen, 2019). Kornstørrelsen er, som i likhet med kvarts, viktig for mineralenes påvirkning på betongen. Små og fri glimmerkorn er verre enn store glimmerkorn. Resultatene fra den petrografiske analysen viser at det er 10 % glimmer på Hensmoen og 23 % glimmer på Kilemoen i den minste fraksjonen, 0,125-0,25 mm. Dette er mye høyere enn hva NGU har registrert. I NGUs grus og pukkdatabse er det registrert 1 % glimmer i massene både på Hensmoen og Kilemoen (NGU, 2021a). I tillegg stiller Statens Vegvesen krav om at glimmerinnhold skal være mindre enn 20 % i fraksjonen 0,125-0,25 mm (Pedersen, 2017). Det betyr at massene på Kilemoen ikke skal brukes ut i fra resultatene i denne masteroppgaven.

Kornform har betydning for betong. Kantede korn vil gi bedre heft mellom kornene, men betongen vil samtidig være vanskeligere å pumpe. I tillegg trenger tilslag med kantede korn mer vann for å få en jevn masse, noe som påvirker vann-ement-forholdet. Mer vann betyr mer sement som gir en dyrere betong (Malmin, 2021). Flate og avlange korn er heller ikke gunstig i betongtilslag da også dette vil kreve mer vann (University of Memphis, 2002). Den petrografiske analysen viser at mesteparten av kornene er skarpkantet til kantslitt og noe rundet. Dette er gunstig for tilslaget da runde kubiske korn med ru overflate generelt gir den beste betongen (Thue, 2019).

For tilslag til vei er det viktig med mekanisk sterke korn og bergarter som er slitesterke, forvittringsbestandige og tåler belastning. Både kvarts og feltspat er funnet i den petrografiske undersøkelsen, og er begge sterke korn. I tillegg er det funnet mye blandet korn av kvarts og feltspat. Glimmer er mekanisk svakere korn og er dermed ikke ønskelig i veitilslag.

Resultanene avviker en del fra NGU sine tall. I masteroppgaven har det kun blitt sett på to prøver fra Hensmoen og tre fra Kilemoen og antatt at forholdene er relativt like ellers i grustaket. Forekomstene på Hensmoen og Kilemoen ble avsatt som ett breelvdelta. Dette er et stort område og materialet har sannsynligvis kommet fra ulike områder i ulike faser av avsmeltningen. Derfor kan det være variasjoner innad i forekomsten og antakelsen om at forholdene er like kan være unøyaktig. Likevel blir det gjort her siden det ikke ble tatt flere prøver fra grustakene. NGU har sannsynligvis tatt flere prøver og fått et mer nøyaktig anslag. I tillegg har NGU mer erfaring på testing av prøver og et mer trent øye på å skille forskjellige mineraler og bergarter fra hverandre. På NGU blir petrografisk analyse gjort av to personer og gjennomsnittet blir notert. Dette er en personavhengig test og det er ofte variasjoner selv når erfarene geologer på NGU gjør det (Margreth, 2021b). Det er derfor mulig at vi, som mindre erfarene, har estimert litt feil.

### **6.1.5 Humustest**

Humusinnhold i betong vil gjøre at herdeprosessen går tregere, og betongkvaliteten blir dårligere. Humusinnhold kan i ekstreme tilfeller hindre at betongen stivner (Pedersen, 2017). I veitilslag er humus også uønsket og det er krav om at humusinnholdet ikke skal overskride 0,5 %.

Humustesten viser at topplaget inneholder mye humus, og at prøven som er tatt lenger ned i forekomsten ikke inneholder humus. Forekomsten ble avsatt under istiden, før planter hadde etablert seg i dreneringsområdet. Det er derfor å vente at det ikke ble funnet humus lenger ned i forekomsten.

Topplaget blir deponert og ikke brukt som tilslag. Det er relativt stor usikkerhet knyttet til testen fordi jernforbindelser gir fargeutslag, og natronlut må ha korrekt konsentrasjon og avlesning må gjøres nøyaktig. Likevel vil testen gi en indikasjon på om det bør gjøres videre undersøkelser (Statens Vegvesen, 2005). Testen viser viktigheten av å fjerne topplaget som ofte inneholder, røtter, gress og andre planter.

### **6.1.6 Samlet vurdering av laboratorietestene**

De mekaniske testene viser at grusen fra både Kilemoen og Hensmoen har god nok kvalitet for bruk i vei. De møter kravene for veifundament med ÅDT på over 5000, og veidekker med ÅDT på opp til 15 000. Derimot kan naturgrus kun brukes til frostsikring, veiklasse A i frosterkningslag og noen typer bituminøse bærelag og veidekker. Grunnet strenge krav for bruk av grus i vei, vil ikke naturgrusen være så relevant for veibygging, selv om den har veldig god kvalitet. Den knuste grusen viser seg å ha litt dårligere kvalitet, med god nok kvalitet for veidekker opp til ÅDT 3000, og veifundament til over ÅDT 5000. Knust grus kan brukes i flere av lagene, blant annet i mekaniske bærelag og flere bitumøse bærelag og veidekker.

Det ble funnet mye glimmer i prøvene fra Kilemoen og mye kvarts i prøver fra både Kilemoen og Hensmoen. Dette er noe som ikke er gunstig i betongtilslag og bør derfor ikke brukes til dette formålet. Likevel er det stor usikkerhet knyttet til petrografisk analyse, spesielt menneskelige feil. Bortsett fra dette egner materiale fra Kilemoen og Hensmoen seg som betongtilslag. Med unntak av prøve "Kilemoen 2" har alle prøvene en kornfordeling som egner seg godt til betongtilslag. Grusen har god mekanisk styrke og det er lavt humusinnhold.

### **6.1.7 Naturgrus vs knust grus**

En av fordelene med naturgrus er at massene har vært gjennom en prosess hvor kornene er vasket, rundet og sortert, og svake bergarter vil være erodert. Dette betyr at det er de sterke kornene som har klart seg gjennom denne prosessen som er igjen i avsetningen. Når naturgru-

sen blir knust ned til mindre fraksjoner, vil massene fortsatt beholde noe av egenskapene. Det vil fortsatt være bestående av sterke bergarter og mineraler. Derimot vil materialet bli mer likt som pukk med tanke på kornform og overflate på kornene. Siden det er nedknust materiale, vil det være bestående av kantede korn med skarpe kanter, i motsetning til grusen som består av avrundete korn. Materiale med knuste flater ligger veldig stabilt etter komprimering, og vil egne seg godt til veibygging og byggegrunn. Materialer som naturgrus, med god gradering og avrunding, vil være et godt valg for betong.

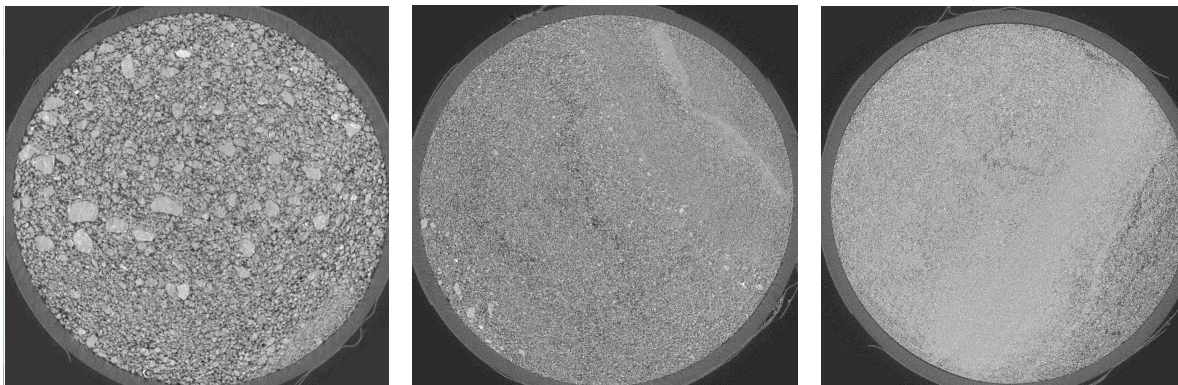
Med utgangspunkt i laboratorietestene, har den knuste grusen høyere verdier enn naturgrusen for både kulemåle, micro-deval og LA. Dette betyr at naturgrusen er mer slitesterkt enn den knuste grusen. Dette gir mening med tanke på at korn som er runde vil ha bedre bestandighet mot nedknusing enn korn som er avlange og flate (Adomako mfl., 2021). Den knuste grusen har høyere flisighetsindeks enn naturgrusen, noe som er forventet med tanke på at naturgrusen er naturlig rundet og vil ha lite flisige korn. Flisighet er viktig å sjekke både i veibygging og for betong, og alle laboratorietestene på materialene fra Hensmoen og Kilemoen viser at flisighetsindeksen er innenfor alle krav.

## 6.2 mCT-skanning og Bildeanalyse

Figur 6.3 viser snittbilder fra alle tre mCT-prøvene. Både mCT-bildene og kornfordelingsanalysene viser at prøvene fra Kilemoen er mer finkornet enn prøven fra Hensmoen. Figur 5.16 og Figur 5.17 viser et horisontalt og et vertikalt snitt gjennom prøvene fra Kilemoen. I de horisontale snittene vises det igjen hvor finkornet prøvene er, men i det vertikale snittet ser man at det er horisontale striper som går tvers over hele prøven. Med tanke på at prøvene er tatt horisontalt inn fra stuff, vil disse strukturene gå vertikalt nedover i grustaket. Det kan være mye som har forårsaket strukturene, og om det har oppstått før, under eller etter prøvetaking er uvisst. Forekomsten er et isranddelta, med avsatte skrålag, som ofte har en kompleks indre struktur (Nesje, 2021). Strukturene i prøvene kan være naturlig dannede strukturer i løsmassene. Det kan også ha kommet av prøvetakingsmetoden. Vi banket rørene inn i stuff, og det er mulig at trykkbølgene fra bankingen kan ha skapt disse strukturene i prøven. Prøvene ble også fraktet med bil fra Ringerike til Trondheim, så det er også en mulighet for at massene har flyttet på seg og laget sprekkene inne i rørene under transporten. Det kan også være tørkesprekker som

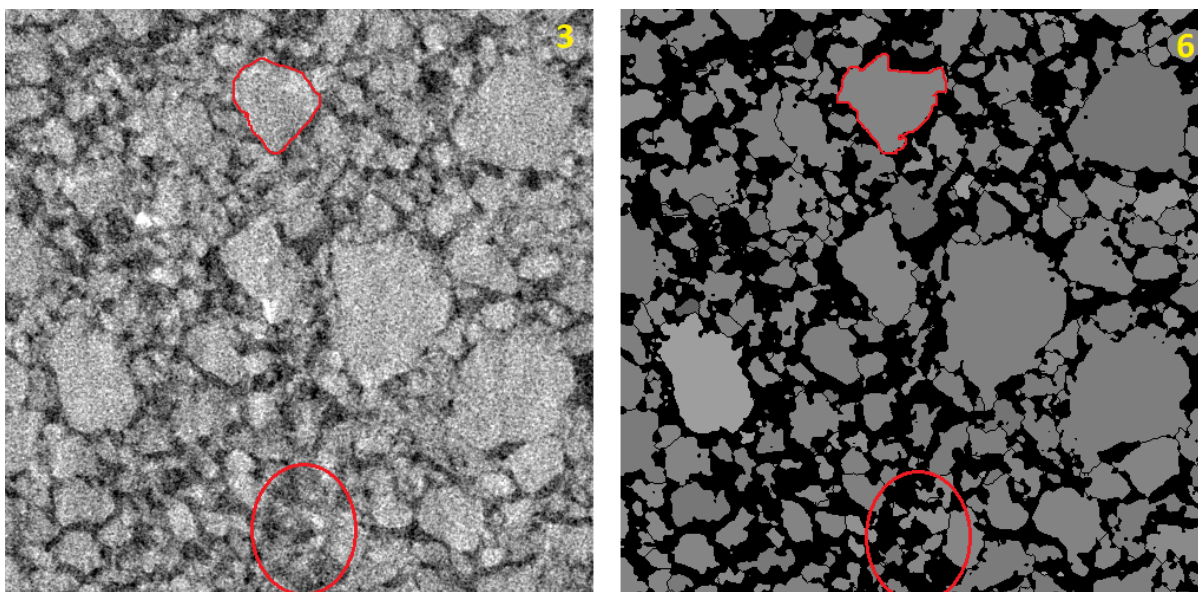


har kommet i ettertid, dersom prøven har tørket ut i rørene. Vi ønsker bare å sjekke kornfordelingen på prøvene, så for vårt bruk vil det ikke ha noe innvirkning på resultatet om prøvene er inntakt eller ikke. Dersom for eksempel porøsitet skal sjekkes er det viktig at prøven er intakt.



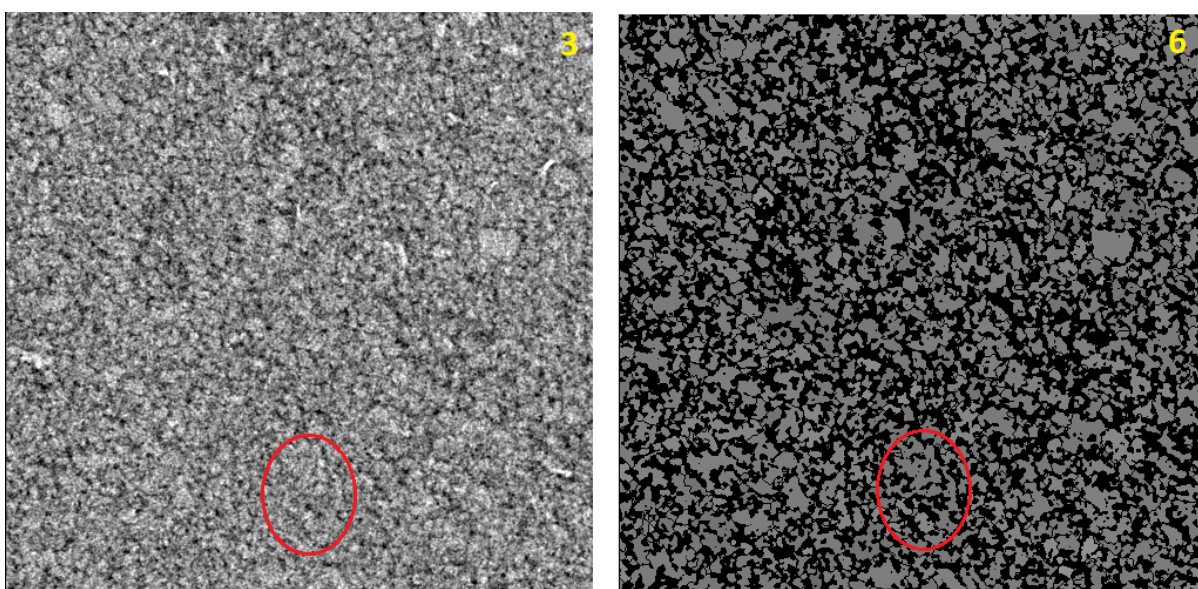
**Figur 6.3:** Sammenligning av snittbilder fra mCT-prøver fra "Hensmoen 2", "Kilemoen 1" og "Kilemoen 3".

Bildeanalyseprogrammet imageJ er brukt for å tolke bildene fra mCT-skanningen. Figur 6.4- Figur 6.6 viser utklipp fra Figur 5.14, Figur 5.18 og Figur 5.19. I disse utklippene er bilde 3 mCT-bildet etter å ha justert lysstyrken, og bilde 6 er siste steg i bildeanalysen, som er utgangspunktet for partikkelanalysen. Etter bildeanalysen har det gjennom forskjellige prosesser blitt tolket hvor korn grensene i prøven er. I Figur 6.4 er det markert rundt det samme kornet i begge bildene. Her vises et eksempel på at korn grensene ikke alltid er like nøyaktige. På bilde 6 ser det ut som et gjentakende problem at kornene har blitt tolket større enn de er i utgangspunktet. Flere plasser klarer ikke imageJ å separere korn fra hverandre, og dermed blir enkelte korn slått sammen slik at korn grensene blir utvidet med nabokornene. Det kan også se ut som det er problemer med å detektere de minste kornene. De svarte feltene i bilde 6 er tolket som porerom i løsmasseprøven. I sirkelen nede i midten i bildene er et område med mye porerom. Ut fra bilde 3 er det grunn til å anta at mye av de svarte feltene ikke er åpne porer i prøven, men kanskje delvis fylt med finstoff. Generelt er det problemer med å finne og skille ut de minste fraksjonene i prøven.

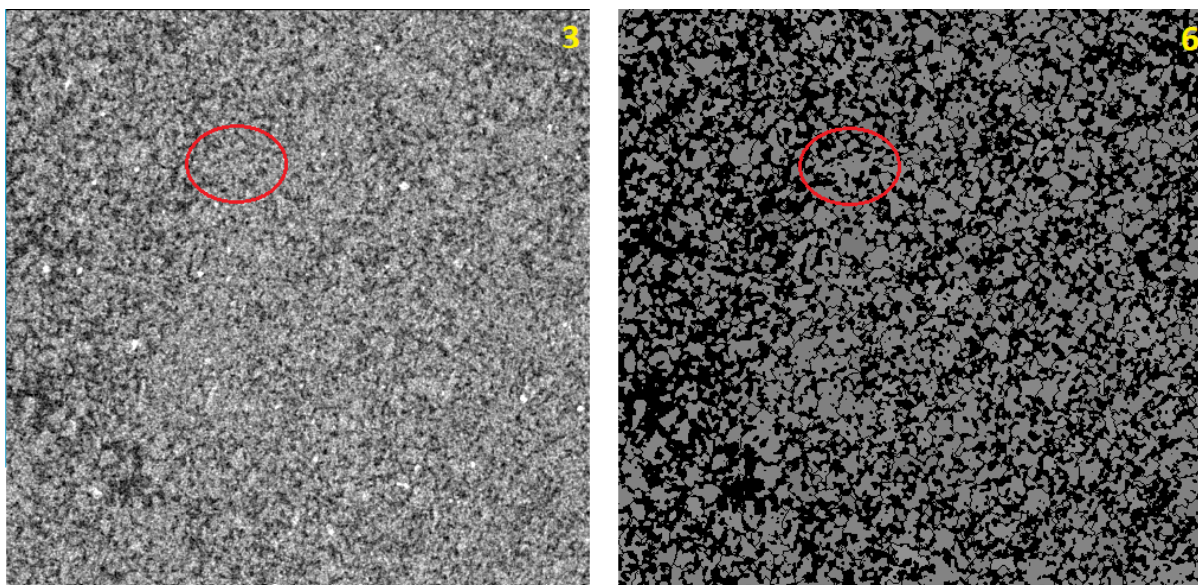


**Figur 6.4:** Sammenligning av korngrenser tolket av imageJ for "Hensmoen 2".

Prøvene fra Kilemoen er mer finkorning enn prøven fra Hensmoen, noe som vises i Figur 6.5 og Figur 6.6. Her vises problemet med de små kornene enda bedre enn for prøven fra Hensmoen. Siden det er en mer finkornig prøve er det å forvente at det vil få ganske stor betydning for resultatet fra kornfordelingsanalysen. Også her er det problemer med at korn har blitt slått sammen, og tolket som et langt sammenhengende korn hvor det i realiteten er mange små. Slike områder er ringet rundt i begge bildene.



**Figur 6.5:** Sammenligning av korngrenser tolket av imageJ for "Kilemoen 1".



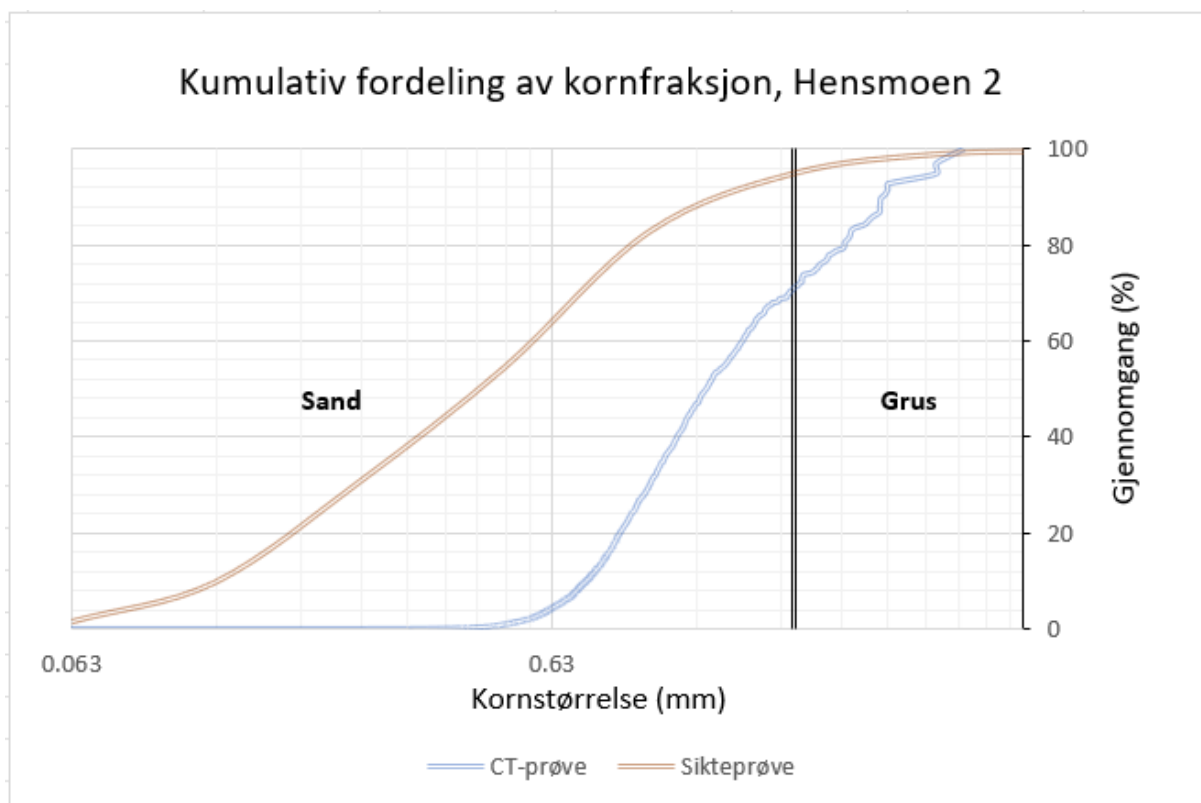
**Figur 6.6:** Sammenligning av korngrenser tolket av imageJ for "Kilemoen 3".

Ved å studere og sammenligne mCT-bildene før og etter bildeanalyse, vises det ganske fort at det ikke er en helt nøyaktig tolking av korngrenser. Både prøvene fra Kilemoen og Hensmoen bærer preg av at små korn ikke blir gjenkjent, og på flere steder slår forskjellige korn seg sammen til ett. Det ser ut til at prøvene fra Kilemoen er veldig påvirket av dette, og størsteparten av kornene er tolket til å være større enn de er i virkeligheten. Dette kan komme av flere grunner. Det kan være vår begrensede kunnskap og erfaring med ImageJ, som ikke brukte det optimalt og ikke vet hvordan funksjonene brukes på best måte. Det kan også være at ImageJ ikke er det beste programmet for dette arbeidet. ImageJ er et gratisprogram, og kanskje det finnes et bedre utviklet program som ville bearbeidet mCT-resultatene bedre. I vår oppgave valgte vi ut et område på 500x500x500 pixler, som tilsvarer rett i underkant av 1,5x1,5x1,5 cm. Dette utgjør en veldig liten andel av prøven. For sikting av disse prøvene måtte prøvestørrelsen være 0.6 kg for at det skulle gi et representativt bilde (Statens Vegvesen, 2016a). Området i prøvene det er gjennomført bildeanalyse på er veldig små i forhold til dette, og vil nok ikke gi et helt korrekt bilde på kornfordelingen. For å kunne analysere en prøve med stor nok størrelse til å få et godt representativt utvalg av massene, vil det antageligvis være nødvendig med sterkere og raskere datamasking og programvare.

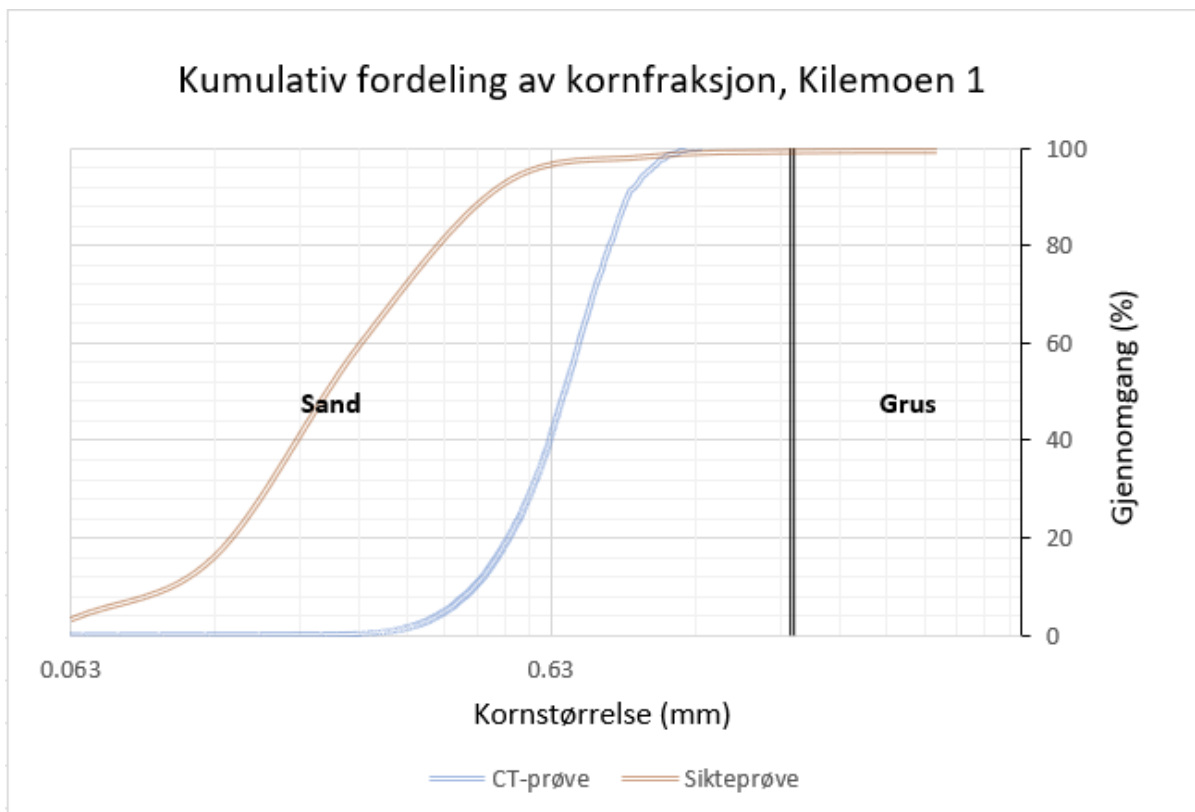
Problemene kan også komme av at resultatene fra mCT-skanningen ikke er god nok. Prøvene som ble analysert var 70 mm i diameter og 145 mm i lengde. Dette er veldig store prøver, noe som gjør at det kreves høy energi for å klare å trenge gjennom og få et bilde av hele prøven

(Ketcham, 2017). Vanligvis er størrelsen på prøvene som blir skannet her mye mindre, ned til et par *cm.*, og disse vil kunne oppnå bedre oppløsning. Grunnet størrelsen på prøvene er ikke oppløsningen på skanningen optimal. De har en oppløsning på  $29,85 \mu m$  og  $29,7 \mu m$ , noe som betyr at korn på milimeterskala kan oppfattes. Dette er ikke bra nok for bruk til kornfordelingsanalyse. Prøvene har kornstørrelser ned til leirfraksjon,  $0,063 mm$ , noe som ikke er mulig å se i mCT-resultatene våre. For å få høy nok oppløsning med samme utstyret må prøvene være mye mindre. Derimot vil ikke små prøver ha nok materiale til å være representativt for området, og det vil være knyttet stor usikkerhet til resultatet.

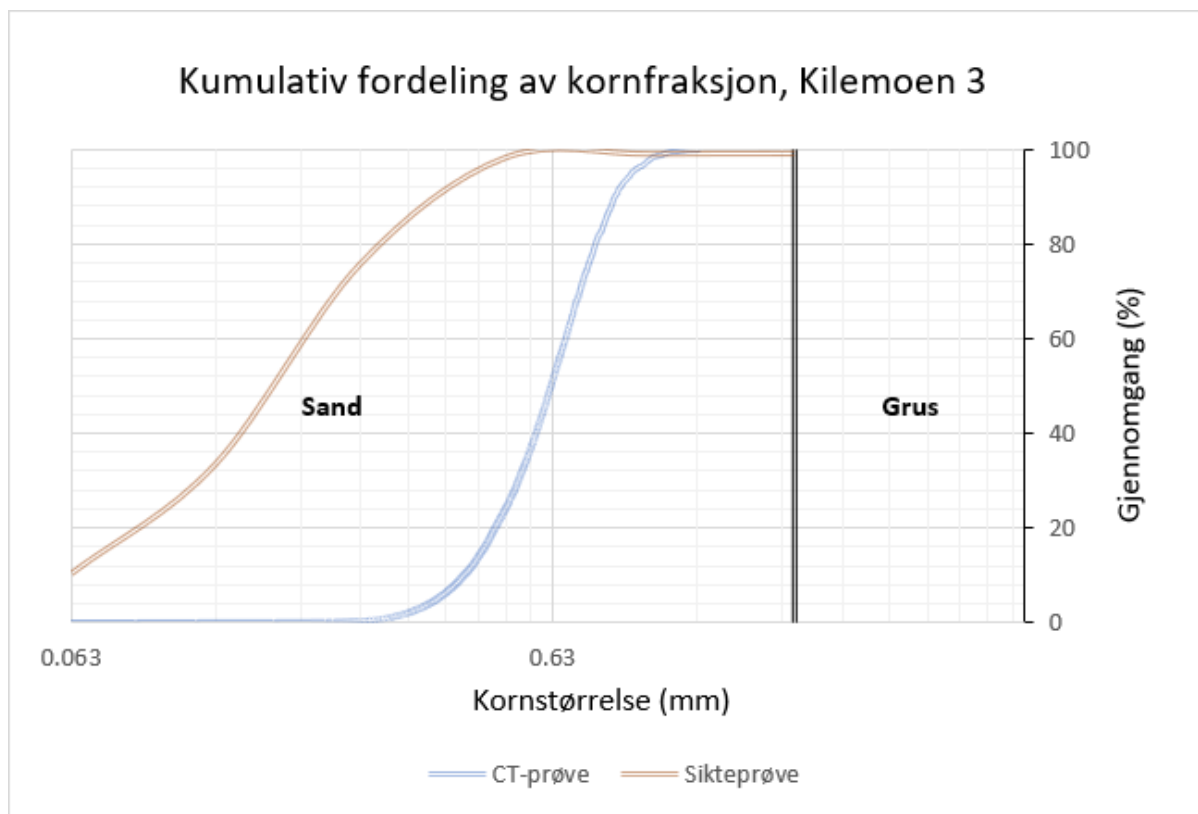
Figur 6.7 - Figur 6.9 viser kornfordelingskurver for "Hensmoen 2", "Kilemoen 1" og "Kilemoen 3". De viser både standard kornfordelingskurve fra sikting og kornfordelingskurven fra mCT-analysen. Her vises problemet med de små kornene veldig godt. Alle bildene viser at mCT-prøvene gir en grovere kornfordeling enn ved sikting.



**Figur 6.7:** Sammenligning av kornfordelingskurve fra sikting og mCT-prøve for "Hensmoen 2".



**Figur 6.8:** Sammenligning av kornfordelingskurve fra sikting og mCT-prøve for "Kilemoen 1".



**Figur 6.9:** Sammenligning av kornfordelingskurve fra sikting og mCT-prøve for "Kilemoen 3".

For å lage kornforelingskurvene fra mCT-skann, ble det tatt utgangspunkt i volumet til kornene for å finne prosent, og ikke vekt som ved standard sikteprøve. Dersom alle kornene i prøven hadde samme tetthet, ville dette gi samme resultater som ved standard siktekurve. Denne antagelsen vil nok ikke gi et helt riktig bilde på prøven, da det er fra en breelavsetning som har mange forskjellige bergarter, med forskjellige tettheter. Derimot kan det hende at fordelingen av de forskjellige bergartene er jevnt fordelt over alle kornstørrelsene, og at det dermed vil gi et fornuftig resultat likevel. Ut fra den petrografiske analysen av prøvene ser det ut til at det stort sett er de samme bergartene og mineralene i alle fraksjonene som er undersøkt, men med varierende mengde. For å finne kornstørrelsen som er brukt i kornfordelingskurven er det tatt utgangspunkt i at kornene er runde. Den petrografiske analysen viser at rundt 40-50 % av prøven er godt rundet og noe rundet. For disse kornene vil diameteren stemme ganske bra. For de resterende kornene vil kornstørrelsen bli noe feil med denne metoden. Både antagelsen om runde korn og om lik tetthet, vil gi en usikkerhet i hvor korrekt resultatet er, og antagelig gi litt avvik. Det er derimot tvilsomt at det alene vil gi så store forskjeller som det er i kornfordelingskurvene i dette tilfellet, så her er det nok kvaliteten på mCT-skanningen og bildeanalysen som har størst innvirkning. Tradisjonell sikting vi også ha usikkerhet knyttet til kornformen. Kornstørrelsen vil være basert på en av aksene til kornet, så dersom prøven har høyt innhold av flisige korn, vil samme usikkerhet finnes her som ved bildeanalyse.

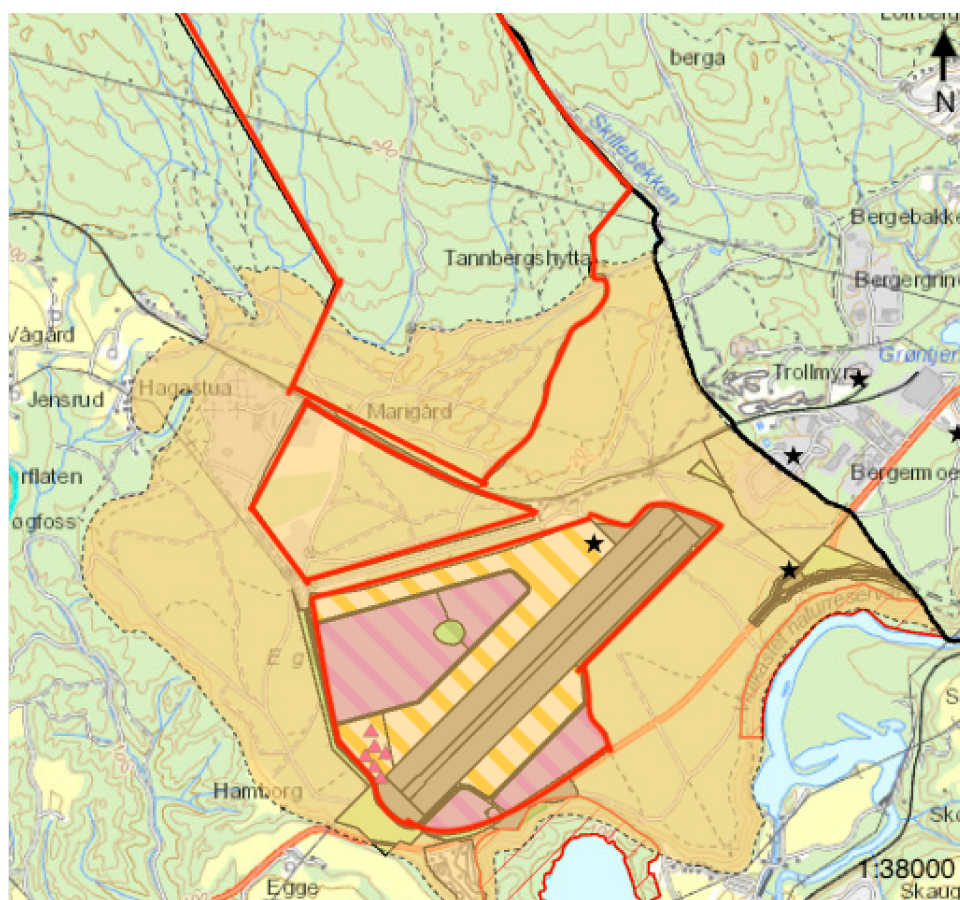
Det å finne kornfordeling ved mCT-skanning har tatt relativt lang tid. Å skanne en prøve tok 2 timer, og å kjøre analysen tok ca. 1 time. Dette er likevel en raskere og lettere metode enn sikting, der det gjerne tar flere dager om prøven skal vaskes og tørkes. Dersom mCT-bildene blir av god nok oppløsning, og det finnes et analyseprogram som gir mer korrekte resultater, vil dette være en metode som er mye lettere å gjennomføre enn sikting. Sikting krever mye ventetid når prøver skal tørkes, og mye aktiv tid på selve siktingen. mCT-skanning og bildeanalyse krever mest ventetid under skanningen av prøven. Bildeanalyse vil også kunne være mer nøyaktig, da sikting har flere punkt hvor menneskelig feil og unøyaktigheter kan inntreffe. Utstyret som trengs for mCT-skanning er dog mye dyrere enn utstyret for sikting (**hili**). Det må også ses nærmere på hvor mye feil det utgjør å anta at kornene er runde, og lik tetthet for hele massen, eller om det finnes en bedre måte å finne kornfordelingen ved mCT-analyse.

## 6.3 GIS

### 6.3.1 Uttak av masser i fremtiden

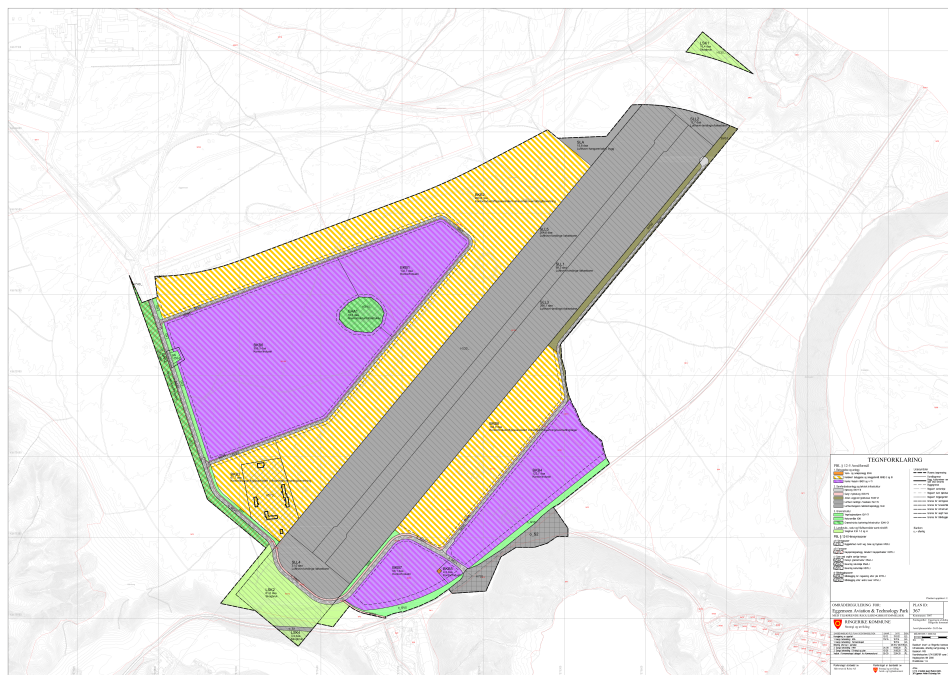
På både Hensmoen og Kilemoen er store deler av forekomsten regulert til masseuttak. Arealplankartene ligger i Vedlegg F.2 og F.3. Med nåværende reguleringsplaner kan det være drift på Hensmoen i ca. 75 år og 55 år på Kilemoen (Tenold mfl., 2014) (Nygård og Tenold, 2016). Nord på Kilemoen er det et vannverk som må tas hensyn til. Dette er ivaretatt i dagens reguleringsplaner, men det må gjøres nye vurderinger når uttaket nærmer seg vannverket om det skal reguleres for mer masseuttak eller om driften skal stoppes.

På Eggemoen er det flere områder med forskjellig arealplaner. Figur 6.10 viser forekomsten på Eggemoen, i tillegg til tre områder som har forskjellig regulering. Flyplassen med nærliggende områder i gult og lilla tilhører "Eggemoen aviation and technology park". Like nord for dette ligger et firkantet område som tilhører forsvaret og lengst nord har forsvaret enda ett område.



**Figur 6.10:** Reguleringsplaner på Eggemoen. Hver røde figur representerer hver sin reguleringsplan på Eggemoen.

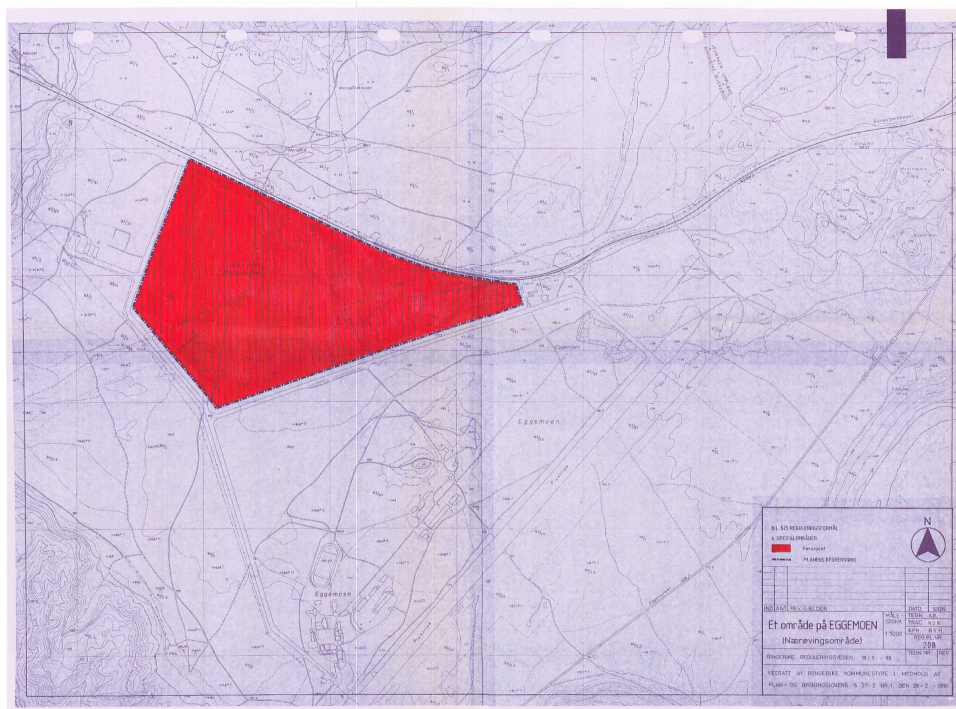
En del av Eggemoen aviation and technology park er flyplassen. Flyplassen blir ikke benyttet til kommersiell drift, men har som mål ”å avlaste og bygge et teknologisk miljø for luftfart i verdensklasse”(Tronrud, 2022). I dag benyttes flyplassen av private, offentlige og næringsaktører. Eggemoen er en god plassering for en flyplass siden det er god avstand til bebyggelse som bidrar til økt sikkerhet, og problematikk med støy er mindre (Tronrud, 2022). Den nyeste reguleringsplanen for Eggemoen aviation and technology park ble iverksatt i april 2020, selv om mye var bygget før dette, vist i Figur 6.11. Dette er altså en relativt ny plan som kommunen har vurdert som viktig. Verdien av næringsområdet er stor for regionen og videre vekst i Ringerike kommune. Siden det allerede ligger en flyplass der, med næringsarealer som en del av området, er det en aksept for at området skal videreutvikles. Likevel vil dette ha negativ betydning for biologisk mangfold og friluftsliv, og selvfølgelig at det båndlegger store arealer av grusressursen på Eggemoen. Det er flere områder for friluftsliv i regionen og det er stor sannsynlighet for tilsvarende funn av samme biologiske mangfold siden naturtypen er utbredt på østlandet. Det finnes ingen tilsvarende områdene som både har nærhet til flyplass og overordnet veinett i regionen. Utviklingen av næringsparken vil føre til befolkningsvekst og arbeidsplasser. Kommunen har derfor vurdert næringsparken som den viktigste bruken av arealene på Eggemoen (Ringerike kommune, 2020).



**Figur 6.11:** Reguleringsplan av Eggemoen aviation and technology park (Ringerike kommune, 2022)

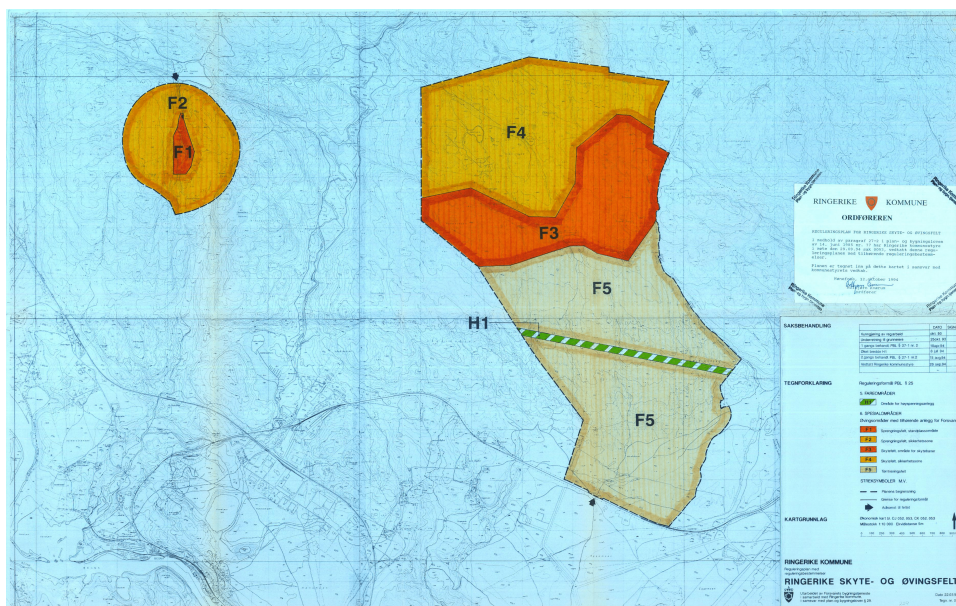


Området like nord for Eggemoen aviation and technology park tilhører forsvaret. Planen ble vedtatt av kommunestyret i 1991 og er regulert som et spesialområde og nærøvingsområde for forsvaret (Ringerike kommune, 2022). Arealplanen for området er vist i Figur 6.12.



**Figur 6.12:** Reguleringsplan over et område på Eggemoen (Ringerike kommune, 2022). Området er regulert til spesialområde og nærøvingsområde for forsvaret.

Lengst nord på forekomsten er det enda et område som tilhører forsvaret som vist i Figur 6.13. I 1994 vedtok kommunestyret at området skulle benyttes som et skyte- og øvingsfelt for forsvaret. Det er kun den sørligste delen (deler av F5) som er direkte arealkonflikt med grusforekomsten.



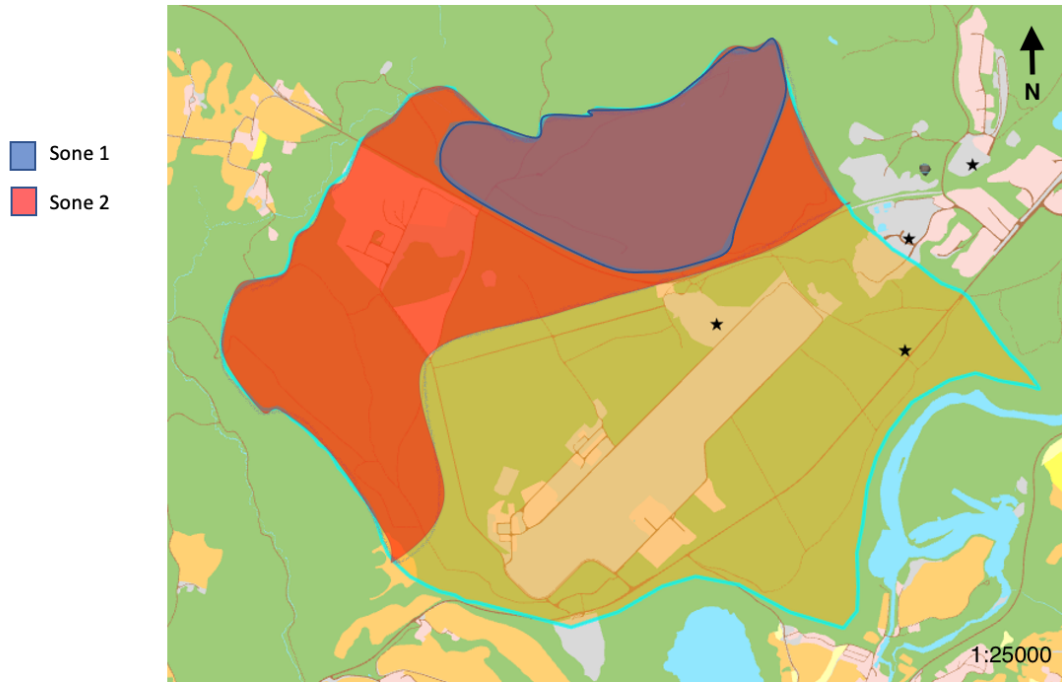
**Figur 6.13:** Reguleringsplan over område lengst nord på Eggemoen (Ringerike kommune, 2022). Området er regulert til skyte og øvingsfelt for forsvaret.

Når nye planer blir vedtatt skal de etter plan- og bygningsloven være langsiktige. En lang og demokratisk prosess ligger bak både kommuneplanens arealdel, og hver enkelt reguleringsplan. Det skal derfor være mulig å dispensere fra eller endre arealplaner. Avhengig av omfanget av endringen er det ulike prosesskrav knyttet til dette. Det kan være flere grunner for hvorfor en kommune vil endre formålet til et område. For eksempel kan det være man vil utvikle et boligområde til næring, kanskje det er dyrka mark i område som i senere tid står betydelig sterkere i plansammenheng enn det det gjorde for noen år siden. Eller kanskje ny kunnskap har dukket opp som gjør at kommunen må vurdere områder anderledes enn tidligere, som for eksempel nye registreringer av naturmangfold eller ny kunnskap om skredfare som gjør at område ikke bør bebygges. Ved større endringer gir kommunen som regel tilbakemelding til utbygger at slike endringer må vurderes i kommuneplanens arealdel som oppdateres hvert 4. år (Li, 2022).

I Trøndelag har uttak og forbruket av byggeråstoffer blitt tredoblet, mens grusomsetningen har blitt redusert med nesten 40 % siden sent på 80-tallet. Dette er kritiske tall, og denne etterpørselen av byggeråstoffer gjelder for store deler av landet. Miljøskadene fra transport av byggeråstoffene er også betydelige med tanke på CO2 utslipp, støv, støy og slitasje av veier, på grunn av lengre transportetapper (NGU, 2021b). Derfor kan det være nødvendig å utnytte seg av grusen på Eggemoen også som er av god kvalitet og nasjonal viktig (NGU, 2021a). Siden store deler Eggemoen allerede er regulert til andre formål må arealplanene endres for at det kan

bli aktuelt å utvinne grusen der. De to arealplanene på nordsiden av forekomsten på Eggemoen ble vedtatt på tidlig 1990-tallet. Disse planene er altså ganske gamle og arealplanleggere prioriterer forskjellige områder anderledes nå enn det som ble gjort for 30 år siden. Det er derfor større sannsynlighet for at disse planene kan endres enn Eggemoen aviation and technology park. Planen lengst nord er for at forsvaret kan ha et skyte og øvningsfelt. De disponerer allerede et mye større areal til dette formålet lenger nord og det er kun en liten del som er konfliktfyllt for grusforekomsten. Det andre område til forsvaret er et spesialområde og nærøvningsområde.

Ved etablering av masseuttak er det viktig å tenke på naboer med tanke på støy og støv. Driften må altså stoppe i en forsvarlig avstand fra bebyggelse. På den andre siden er det også viktig å kunne ta ut så mye grus som mulig hvis det først blir etablert et masseuttak. Figur 6.14 viser to soner på Eggemoen som vi tenker er fornuftige å begynne drift fra. Sone 1 er den delen av Eggemoen som er kartlagt av NGU som nasjonal betydning. Denne delen er altså den viktigste og uttaket bør starte her hvor volumet er  $8,3 \text{ mill.m}^3$ . Med en årlig drift lik driften på Kilemoen (uttak på ca 350 000 tonn per år), vil sone 1 ha en levetid på ca. 40 år. Dersom det er ønskelig å utvinne mer av grusen vil driften fortsett i sone 2. Her er det viktig at det gjøres kontinuerlige målinger av støv og støy med tanke på flystripa og bygningene på Eggemoen aviation and technology park. Sone 2 har et volum på ca  $5,7 \text{ mill.m}^3$ . Det betyr at sone 1 og 2 har et samlet volum på ca.  $14 \text{ mill.m}^3$ . Dette tilsvarer en levetid på ca. 65 år dersom forbruket er lik dagens forbruk på Kilemoen. Utrekningen av levetiden er gjort på samme måte som i områdereguleringen på Kilemoen (Tenold mfl., 2014).



**Figur 6.14:** Dersom det blir etablert uttak på Eggemoen bør det drives fra nordsiden. Uttaket bør starte i sone 1 og deretter videre i sone 2.

Med dagens uttak og forbruk er grusressursene stadig minkende, noe som kan bli et problem i framtiden med tanke på at det er en ikke-fornybar ressurs. Derimot vet vi ikke hvordan etterspørselen for grus blir i framtiden, og hvor langt teknologien har kommet på andre områder. Kanskje er det funnet en god måte å knuse og behandle berg på, slik at det blir mer avrundete korn, med mye av de samme egenskapene til grusen. Eller kanskje det har kommet et helt nytt type materiale som kan benyttes. Da vil grus i stor grad kunne byttes ut med andre alternativer, og mye av de vanskelige spørsmålene og problemene som er rundt grus i dag vil bli løst. Slik det ser ut i dag, vil de utvinnbare grusressursene bli brukt opp, og da står man igjen med store dilemma om foreksempel viktige kulturminner og fredet natur må flyttes og ødelegges for å få tilgangen til grusen.

Et felles problem for pukk og grus er transportavstand. Dette medfører både mye forurensing, og mye slitasje på veier. Det å bruke tunnelmasser der det i dag brukes pukk er noe som er ønskelig i større grad i framtiden. Massene fra tunneldriving i dag blir ofte transportert bort og deponert (Multiconsult, 2019). Dersom tunnelmassene kan gjenbrukes i stedet for å deponeres vil det spare transportvei. Gjenbruking av massene i samme anlegg vil også minke bruken av annen pukk som må bli fraktet fra annen plass. Å bruke tunnelmasser vil begrense driving av eksisterende pukkverk, noe som også er en minkende og ikke-fornybar ressurs. Problemene

med bruk av tunnelmasser er blant annet at det vil være dyrere å anvende enn å bruke pukk som kommer fra et pukkverk. Det er dyrt å sjekke om massene møter kravene som stilles for kvaliteten, og tunnelmasser er ofte ikke sprenget med tanke på at det skal anvendes i etterkant. Det er også billig å deponere masser, så det vil lønne seg for de fleste anlegg å deponere massene, selv om det ikke er det mest gunstige for framtidig behov og med tanke på miljøhensyn (Heimdal, u.å.).

### **6.3.2 Grenser og nøyaktigheten til datasett**

Det er forskjellige etater som kartlegger forskjellige områder. For eksempel er grusressursene kartlagt av NGU, mens naturvernområder er kartlagt av miljødirektoratet. Det vil si at det kan oppstå overlapp av områder som ikke nødvendigvis trenger å være et problem. Hvis begge etatene er litt unøyaktig med grensesettingen vil områder overlappe uten at de egentlig gjør det. Som Figur 5.29 viser, er det overlapp mellom naturvernområde og grusforekomst. Det betyr likevel ikke at det trenger å oppstå problem her ved eventuelt uttak. Forskjellige etater kartlegger områder på forskjellig målestokk og med forskjellig nøyaktighet. Hvis noe er kartlagt på en stor målestokk vil en grense i virkeligheten være mange meter bred. Eventuell problematikk som følge av overlappende lag må kartlegges nøye for å finne de riktige grensene.

Generelt er datasettene nøyaktige og grensene ser ut til å stemme godt overens med ortofoto i Ringerike kommune. De samme etatene vil generelt kartlegge de samme type arealer over hele landet. For eksempel kartlegger NGU grusforekomster, mens miljødirektoratet kartlegger naturvernområder og forurenset grunn. NGU har trolig vært like nøyaktig på kartleggingen av grus i Ringerike som i Trøndelag. Det kan dermed antas at hvert datasett er kartlagt med samme nøyaktighet over hele landet.

## 7 Konklusjon

Glimmerinnholdet i prøvene fra Kilemoen møtte ikke kravene om et glimmerinnhold under 20 %, noe som høyst sannsynlig skyldes menneskelige feil. Resten av testene viser at sanden er innenfor kravene for betongtilslag. Siden det ble funnet såpass mye kvarts i fraksjonen 0,125-0,250 *mm*, må tilslaget testes videre for mikrokrySTALLIN kvarts. I tillegg bør det testes for svovel. Naturgrus kan kun brukes til frostsikring, veiklasse A i forsterkningslag og noen typer bituminøse bærelag og vegdekker. Grusen møter kravene for dette formålet. Den knuste grusen er av litt dårligere kvalitet, med god nok kvalitet for veidekker opp til ÅDT 3000, og veifundamet til over ÅDT 5000. I dag blir mesteparten av grusen og sanden fra Hensmoen og Kilemoen brukt til betong. Dette er naturlig da grusen og sanden egner seg best som betongtilslag.

I dette tilfellet var ikke mCT-skanningen en vellykket måte å finne kornfordelingen. Prøvene var for store for å kunne få en bra nok oppløsning til å finne de minste fraksjonene i prøven, og skille kornene fra hverandre på en korrekt måte. I tillegg var det kun et område på 1,5 x 1,5 x 1,5 *cm* fra prøven som ble analysert, noe som ikke vil inneholde en tilstrekkelig mengde av massene for å kunne gi et representativt bilde. Dersom det brukes en mCT-maskin med flere detektorer, og som med riktige innstillinger gir en tilstrekkelig oppløsning, vil denne metoden kunne bli en potensielt lettere og mer nøyaktig metode enn med sikting.

Forekomstene av nasjonal betydning har et samlet volum på 150 *mill.m*<sup>3</sup>. På Hensmoen er den årlige produksjonen på ca. 450 000 tonn (John Myrvang AS, 2021), mens på Kilemoen utvinnes ca. 350 000 tonn per år (Stange gruppen AS, 2021). Dette tilsvarer en levetid på henholdsvis 75 og 55 år. På Eggemoen har det ikke blitt opprettet et stort masseuttak enda på grunn av nåværende arealkonflikter. Eggemoen er også en stor grusforekomst og dersom det etableres et masseuttak her vil det kunne produseres store mengder tilslag her også.

Datasettene i GIS ser ut til å være ganske nøyaktige. Det er noen unøyaktigheter, men dette er på relativt liten skala, slik at det ikke vil utgjøre store forskjeller. Om datasettene er nøyaktige nok eller ikke, er avhengig av hva GIS skal brukes til. I vårt tilfelle brukes GIS til å beregne volum av grusforekomster og se hvor mye som er båndlagt av andre arealtyper. Forekomstene har en størrelse på flere millioner kubikkmeter og unøyaktighetene er på få kubikkmeter og kan derfor anses å være neglisjerbare.

Arealplanlegging er et vanskelig, men viktig tema i enhver kommune. Byggeråstoffer er en mangelvare flere steder, og kreves til både veibygging og boligbygging. Det vil si at det er helt nødvendig at forekomster av god kvalitet forvaltes riktig. Kommunene må altså bli flinkere på å ha langsiktige løsninger. Vegprosjekter må gjøre grundige grunnundersøkelser og benytte tunnelmasser for å unngå langtransportert råstoffer. Naturgrus er en ikke-fornybar ressurs, og det er viktig at ressursene forvaltes på en måte som tar hensyn til framtidige generasjoner. Derimot kan det hende det finnes ny teknologi og kunnskap i fremtiden som viser at det er andre alternativer for grus.

## Referanser

- Ache, B. (2020). *What is Micro-CT? An Introduction*. URL: <https://www.microphotonics.com/what-is-micro-ct-an-introduction/> (sjekket 01.05.2022).
- Adomako, S., Engelsen, C. J., Thorstensen, R. T. og Barbieri, D. M. (2021). *Review of the relationship between aggregates geology and Los Angeles and micro-Deval tests*. URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10064-020-02097-y> (sjekket 25.05.2022).
- Aurstad, J. (2016). *Lærebok Vegteknologi*. Statens Vegvesen.
- Brattli, B. (2015). *Ingeniørgeologi Løsmasser*. NTNU - Institutt for geologi og bergteknikk.
- Carlson, W. D., Rowe, T., Ketcham, R. A. og Colbert, M. W. (2003). *Applications of high-resolution X-ray computed tomography in petrology, meteoritics and palaeontology*. URL: <https://www.geokniga.org/bookfiles/geokniga-applications-x-ray-computed-tomography-geosciences.pdf> (sjekket 10.05.2022).
- City of Hattiesburg (2018). *GIS mapping*. URL: <https://www.hattiesburgms.com/mpo/gis/> (sjekket 02.05.2022).
- Dick, Ø. B. (2020). *Geografisk Informasjonssystem (GIS)*. URL: [https://snl.no/geografisk\\_informasjonssystem\\_-\\_GIS](https://snl.no/geografisk_informasjonssystem_-_GIS) (sjekket 18.03.2022).
- Eikeland, R. (2022). *Samtale med Rut Eikeland*. (Sjekket 04.02.2022).
- Erichsen, E. (2021). *Framtidsanalyse over behovet for byggeråstoffene grus pukk. Grunnlag for prioritering av kartlegging*. URL: [https://www.ngu.no/upload/Publikasjoner/Rapporter/2021/2021\\_014.pdf](https://www.ngu.no/upload/Publikasjoner/Rapporter/2021/2021_014.pdf) (sjekket 08.12.2021).
- Farin (u.å.). *Alkalireaksjoner*. URL: <http://www.farin.eu/alkaliereaksjoner/> (sjekket 24.05.2022).
- Forsvarsbygg (2018). *Eggemoen*. URL: <https://www.forsvarsbygg.no/no/verneplaner/landsverneplan-for-forsvaret/ostlandet/eggemoen/> (sjekket 27.04.2022).
- Frengstad, B. (2021). *Geobasserte miljøutfordringer. TGB4200 - Ingeniørgeologi løsmasser vk*. URL: <https://ntnu.blackboard.com> (sjekket 17.12.2021).
- Gillot, J. E. (1973). *Alkali-Aggregate reactions in concrete*. (Sjekket 23.05.2022).
- Granum, N. (2020). *FKB*. URL: <https://snl.no/FKB> (sjekket 08.02.2022).
- Gåsbakk, I. K. og Winther, T. L. (2021). *Naturgrus som byggeråstoff - Arealplanlegging og kvalitetsundersøkelser av ressurser i Ringerike kommune*. Trondheim.



- Harder, C. (2017). *The ArcGIS book: 10 Big Ideas about Applying The Science of Where*. 2nd. Esri Press.
- Heimdal, E. (u.å.). *Prosjektbeskrivelse, kortreist stein*. URL: [https://www.sintef.no/globalassets/sintef-byggforsk/prosjektbeskrivelse\\_kortreist-stein.pdf](https://www.sintef.no/globalassets/sintef-byggforsk/prosjektbeskrivelse_kortreist-stein.pdf) (sjekket 08.06.2022).
- ImageJ (2022). URL: [https://serc.carleton.edu/eyesinthesky2/week2/intro\\_imagej.html](https://serc.carleton.edu/eyesinthesky2/week2/intro_imagej.html) (sjekket 23.05.2022).
- ImageJ (2022a). *Distance Transform Watershed 3D*. URL: <https://imagej.net/plugins/distance-transform-watershed> (sjekket 05.04.2022).
- ImageJ (2022b). *Smooth*. URL: <https://imagej.nih.gov/ij/docs/menus/process.html> (sjekket 05.04.2022).
- ImageJ (2022c). *Thresholding*. URL: <https://imagej.net/imaging/thresholding> (sjekket 05.04.2022).
- John Myrvang AS (2021). *John Myrvang AS*. URL: <https://myrvang.no/> (sjekket 28.10.2021).
- Kartverket (2021). *Distribusjon av FKB-data*. URL: <https://www.kartverket.no/geodataarbeid/sfkb/distribusjon> (sjekket 08.02.2022).
- Kartverket (2022). *FKB-AR5 5.0*. URL: <https://sosi.geonorge.no/produkt-spesifikasjoner/FKB-AR5/5.0/> (sjekket 17.02.2022).
- Ketcham, R. (2017). *X-ray Computed Tomography (CT)*. URL: [https://serc.carleton.edu/research\\_education/geochemsheets/techniques/CT.html](https://serc.carleton.edu/research_education/geochemsheets/techniques/CT.html) (sjekket 01.05.2022).
- L. Olsen og K. Riiber (2018). *Beskrivelse til kvartærgeologisk kart over Østfold fylke i M 1:125 000*. URL: [https://www.ngu.no/upload/Publikasjoner/Rapporter/2017/2017\\_041.pdf](https://www.ngu.no/upload/Publikasjoner/Rapporter/2017/2017_041.pdf) (sjekket 09.12.2021).
- Landbruks- og matdepartementet (2021). *Jordvern*. URL: <https://www.regjeringen.no/no/tema/mat-fiske-og-landbruk/landbrukseiendommer/innsikt/jordvern/id2009553/> (sjekket 22.04.2022).
- Li, G. (2022). *Samtale med arealplanlegger i Ringerike kommune*. (Sjekket 04.05.2022).
- Lindgård, J. (2007). *Alkalireaksjoner i betong. Skademekanisme og regelverk ved nybygging*. URL: [https://www.byggforsk.no/dokument/299/alkalireaksjoner\\_i\\_betong\\_skademekanisme\\_og\\_regelverk\\_ved\\_nybygging](https://www.byggforsk.no/dokument/299/alkalireaksjoner_i_betong_skademekanisme_og_regelverk_ved_nybygging) (sjekket 08.12.2021).

Long-Sanouiller, H. (2022). *Samtale med Haili Long-Sanouiller*. (Sjekk 04.05.2022).

Lovdata (2016). *Forskrift om vern av Rankedal naturreservat, Ringerike kommune, Buskerud*.  
URL: <https://lovdata.no/dokument/LF/forskrift/2016-06-10-627>  
(sjekk 27.04.2022).

Malmin, P. (2021). *Betongtilslag*. URL: <https://www.norstone.no/no/betongtilslag>  
(sjekk 03.12.2021).

Margreth, A. (2021a). *Byggeråstoffer i Ringerike kommune*. NGU.

Margreth, A. (2021b). *Samtale med Annina Margreth*. (Sjekk 10.12.2021).

Miljødirektoratet (2016a). *Naturbase faktaark - Rankedal naturreservat*. URL: <https://faktaark.naturbase.no/?id=VV00003224> (sjekk 27.04.2022).

Miljødirektoratet (2016b). *Naturbase faktaark - Viulkastet naturreservat*. URL: <https://faktaark.naturbase.no/?id=VV00003226> (sjekk 27.04.2022).

Multiconsult (2019). *Mer bruk av kortreist stein i veibygging*. URL: <https://www.multiconsult.no/mer-bruk-av-kortreist-stein-til-veibygging/> (sjekk 08.06.2022).

Neeb, P. R. (1992). *Byggeråstoffer - Kartlegging, undersøkelser og bruk*. 1st. Tapir.

Nesje, A. (2021). *Isranddelta*. URL: <https://snl.no/Isranddelta> (sjekk 25.05.2022).

Newheek (2022). *What are the advantages and disadvantages of the DR flat panel detector?* URL: <https://www.xraydr.com/what-are-the-advantages-and-disadvantages-of-the-dr-flat-panel-detector/> (sjekk 03.05.2022).

NGU (2014). *Kvartærgeologi*. URL: <https://www.ngu.no/emne/kvart%C3%A6rgeologi> (sjekk 30.09.2021).

NGU (2021a). *Grusdatabase*. URL: [https://geo.ngu.no/kart/grus\\_pukk\\_mobil/](https://geo.ngu.no/kart/grus_pukk_mobil/) (sjekk 15.12.2021).

NGU (2021b). *MÅ SIKRE FRAMTIDIG TILGANG PÅ GRUS OG PUKK*. URL: <https://www.ngu.no/nyheter/ma-sikre-framtidig-tilgang-pa-grus-og-pukk> (sjekk 11.05.2022).

NGU (2021c). *Ressursregnskap for byggeråstoffer Trøndelag 2018*. URL: [https://www.ngu.no/upload/Publikasjoner/NGU-Tema/NGU-tema\\_3.pdf](https://www.ngu.no/upload/Publikasjoner/NGU-Tema/NGU-tema_3.pdf) (sjekk 16.03.2022).

NGU (2022a). *GIS: Informasjon skrevet av NGU, funnet i ArcGIS*. (Sjekk 27.04.2022).

NGU (2022b). *Ordbok*. URL: <https://www.ngu.no/grunnvanninorge/ordbok>  
(sjekk 10.05.2022).

- NGU (2021d). *Berggrunn - Nasjonal berggrunnsdatabase*. URL: <http://geo.ngu.no/kart/berggrunn/> (sjekket 10.12.2021).
- NGU (2021e). *Løsmasser - Nasjonal løsmassedatabase*. URL: [http://geo.ngu.no/kart/losmasse\\_mobil/](http://geo.ngu.no/kart/losmasse_mobil/) (sjekket 02.12.2021).
- Nikon (2022). *XT H 225 ST 2x / XT H 225 Industrial CT Scanning*. URL: [https://www.nikon.com/products/industrial-metrology/lineup/xray\\_ct/ct/xth225/](https://www.nikon.com/products/industrial-metrology/lineup/xray_ct/ct/xth225/) (sjekket 30.04.2022).
- Norkart Geoservice AS (2010). *Quadri Map Server*. URL: <https://www.kartverket.no/globalassets/geodataarbeid/sfkb/quadri-map-server----overordnet-beskrivelse.pdf> (sjekket 02.05.2022).
- Norsk Geoteknisk Forening (1982). *Veiledning for symboler og definisjoner i geoteknikk, identifisering og klassifisering av jord*. (Sjekket 16.03.2022).
- NVE (u.å). *Begrunnelse for valg av harde eksklusjonskriterier*. URL: <https://www.nve.no/Media/6753/begrunnelse-for-valg-av-harde-eksklusjonskriterier.pdf> (sjekket 22.05.2022).
- Nygård, T. og Tenold, H. (2016). *Sanduttak på Hensmoen - forslag til reguleringsplan med konsekvensutredning*. URL: <https://kart.ringerike.kommune.no/webinnsyn/Content/plandialog/GetGIplanregisterFil.aspx?systemid=4239E17-4705E434E96A862B5775433BE&k=3007&arkivnavn=WINMAP> (sjekket 25.05.2022).
- Nålsund, R. og Haugen, M. (2019). *Bruk av tynnslipsanalyser sett opp mot andre undersøkelser av steinmaterialer*. URL: <https://www.sintef.no/globalassets/project/kortreist-stein/016-notat-bruk-av-tynnslippanalyse-v3.0-endelig.pdf> (sjekket 30.11.2021).
- Olsen, T. Ø. (2021). *Ringerike*. URL: <https://www.naturarv.no/ringerike.329227-32419.html> (sjekket 30.09.2021).
- Pedersen, B. (2017). *Betongtilslag*. Statens Vegvesen. (Sjekket 10.12.2021).
- Ramberg, I. B., Bryhni, I. og Nøttvedt, A. (2006). *Landet blir til - Norges geologi*. Norges Geologisk Forening: Trondheim, Norge.
- Ringerike kommune (2020). *Planbeskrivelse med konsekvensutredning 367 "Eggemoen Aviation Technology Park"*. URL: <https://kart.ringerike.kommune.no/webinnsyn/Content/plandialog/GetGIplanregisterFil.aspx?systemid=181fc33e-62ca4a4c8444920ba70d23cb&k=3007&arkivnavn=WINMAP> (sjekket 04.05.2022).

- Ringerike kommune (2022). *Kart informasjonsside*. URL: <https://www.ringerike.kommune.no/innhold/kart/kart-informasjonsside/> (sjekket 03.05.2022).
- Rodrigues, A. A. (2016). *Concrete deterioration due to sulphide-bearing aggregates. PhD thesis at Université Laval, Québec, Canada*. (Sjekket 18.12.2021).
- Scibilia, E. (2020). *Aggregates for concrete. TGB4200 - Ingeniørgeologi løsmasser vk*. URL: <https://ntnu.blackboard.com> (sjekket 03.12.2021).
- Stabbetorp, O. og Erikstad, L. (1999). *Kartlegging av verdifull og sårbar natur ved Egge-moen i Ringerike kommune*. URL: <https://www.nina.no/archive/nina/PppBasePdf/oppdragsmelding/577.pdf> (sjekket 13.11.2021).
- Stange gruppen AS (2021). *Svelviksand AS*. URL: <https://stangegruppen.no/svelviksand/avdeling/honefoss/> (sjekket 07.12.2021).
- Statens Vegvesen (2005). *Håndbok R210 Labriatorieundersøkelser, kap 14.444 Humusinnhold etter NaOH-metoden*. URL: <https://www.vegvesen.no/globalassets/fag/handboker/hb-r210-gl-2005.pdf> (sjekket 05.12.2021).
- Statens Vegvesen (2016a). *Håndbok R210 Labriatorieundersøkelser, kap 13. Korngradering*. URL: [https://fileserver.motocross.io/trafikksiden/HB\\_R210\\_Laboratorieundersokelser\\_2016r2.pdf](https://fileserver.motocross.io/trafikksiden/HB_R210_Laboratorieundersokelser_2016r2.pdf) (sjekket 30.10.2021).
- Statens Vegvesen (2016b). *Håndbok R210 Labriatorieundersøkelser, kap 14. Kornform og mekaniske egenskaper*. URL: [https://fileserver.motocross.io/trafikksiden/HB\\_R210\\_Laboratorieundersokelser\\_2016r2.pdf](https://fileserver.motocross.io/trafikksiden/HB_R210_Laboratorieundersokelser_2016r2.pdf) (sjekket 30.10.2021).
- Statens Vegvesen (2018a). *N200 Vegbygging, kap 5 dimensjonering av vegoverbygning*. URL: <https://svv-cm-sv-apppublic-prod.azurewebsites.net/product/859924/nb> (sjekket 03.12.2021).
- Statens Vegvesen (2018b). *N200 Vegbygging, kap 6 Materialer og utførelse*. URL: <https://svv-cm-sv-apppublic-prod.azurewebsites.net/product/859924/nb> (sjekket 09.11.2021).
- Tenold, H., Nygård, T., Solvang, R., Kraft, P., Stenerud, S., Furu, L. E., Ringstad, K. A. og Rømsvik, R. (2014). *Områderegulering for sanduttak på Kilemoen*. URL: <https://kart.ringerike.kommune.no/webinnsyn/Content/plandialog/Get-GIplanregisterFil.aspx?systemid=6D05AE675E884BAFB60B02C4F4B7-19AB&k=3007&arkivnavn=WINMAP> (sjekket 12.12.2021).

- Texas Geosciences (2020). *RESOLUTION AND SIZE LIMITATIONS*. URL: <https://www.ctlab.geo.utexas.edu/about-ct/resolution-and-size-limitations/> (sjekket 29.04.2022).
- Thue, J. V. (2019). *Betong*. URL: <https://snl.no/betong> (sjekket 03.12.2021).
- Tronrud, O. (2022). *Eggemoen aviation and technology park*. URL: <https://www.eggemoen.no/no> (sjekket 24.04.2022).
- Tvinnereim, A. B. (2021). *Masseforvaltning i kommunene*. URL: <https://viken.no/tjenester/klima-miljo-og-natur/masseforvaltning-i-kommunene/?print=1&securelevel=token#chapter-13196> (sjekket 17.03.2022).
- University of Memphis (2002). *Aggregates for concrete, Chapter 5*. URL: [http://www.ce.memphis.edu/1101/urldates/concrete/PCA\\_manual/Chap05.pdf](http://www.ce.memphis.edu/1101/urldates/concrete/PCA_manual/Chap05.pdf) (sjekket 06.12.2021).
- WaygateTechnologies (2020). *Dynamic 41 digital detectors*. URL: <https://dam.bakerhughesds.com/m/22747456343a9298/original/Phoenix-Dynamic-41-EN-BHPD31354-072020.pdf> (sjekket 03.05.2022).
- Wold, M. og Sandven, R. (2016). *Jordklassifisering*. URL: <http://ngf.no/wp-content/uploads/2016/09/13.-Wold-Klassifisering-i-felt.pdf>. (Hentet: 22.02.2022).
- Wolden, K. og Ulvik, A. (2006). *Sand, grus og pukk som byggeråstoff. Grunnlagsmateriale for revisjon av kommuneplanens arealdel, Ringerike kommune*. NGU.
- Aasly, K., Oberthardt, N., Pedersen, B. M., Wigum, B. J. og Hagelia, P. (2020). *Et lite mineralkorn kan skape store problemer i betong!* URL: <https://www.geoforskning.no/nyheter/grunnforskning/2285-et-lite-mineralkorn-kan-skape-store-problemer-i-betong> (sjekket 15.12.2021).
- Aasly, K. A., Margreth, A., Erichsen, E., Rise, T. og Alnæs, L. (2019). *Forundersøkelser og bruk av kortreist stein*. (Sjekket 01.06.2022).

# Vedlegg

## A Beregning av kulemølleverdi

**NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE**  
 Beregning av flisighetsindeks og mølleverdi ( $A_N$ ); fraksjon 11,2-16,0mm

Sted: 084634 Hensmoen      Oppdrag: 382900  
 Utført av: Håvard Grønnevik      Dato: 14.12.2021  
 Lab. nr.: 2021055

Forbehandling: Hver delprøve, 11.2/14 mm og 14/16 mm, skal vaskes og tørkes til konstant masse ved  $(110 \pm 5)^\circ\text{C}$ .

Densitet	2.69	Laboratorieknust i %:		Krav til fraksjoner	
$m_i - [(densitet \cdot 1000) / 2.65] \pm 5$	1015.1	11.2/14 mm: $m_i \cdot (65 \pm 1)\%$	659.8	14/16 mm	355.3
		Parallell 1		Parallell 2	
Fraksjon	11.2/14mm	14/16mm	11.2/14mm	14/16mm	Maks avvik $\pm 5,0$ gram
Innveid mengde $m_i$	659.1	355.8	659.4	355.2	Para. 1    Para. 2
					0.2    0.5
					OK    OK
					OK    OK
Gjennomstavsikt	< 7	0.0	1.9	KULER DIAM. 15mm	
	< 8	4.4	8.0	Gj.snitt	Std.avvik
Flisighetsindeks		1.0	0.0		1.00
Kvadratsikt	> 14	309.4	282.3	Fraksjonene skal våt-siktes og tørkes til konstant masse etter tromling.	
	14 - 11,2	583.4	570.9		
	11,2 - 8	44.8	75.1		
	8 - 2	2.4	5.9		
$m_i - m_j$ ( $m_j = \text{sum} > 2\text{mm}$ )	74.9	80.4	Gj.snitt	Std.avvik	
Residual $A_N$ (> 11.2)	88.0	84.1	86.1	2.76	
$A_N = (m_i - m_j) / m_i \cdot 100$	7.4	7.9	7.7	0.35	

Differanse mellom $A_N$ parallell 1 og 2	0.50	Skal være mindre enn	10 % av gjennomsnittsverdi for parallell 1 og 2	0.77	6.5 %
--	------	----------------------	---	------	-------

Mekanisk laboratorium - NGU lab. NGU-2018

Figur A.1: Beregning av kulemølleverdi for Hensmoen

# NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE

Beregning av flisighetsindeks og mølleverdi ( $A_N$ ); fraksjon 11,2-16,0mm

Sted: 084635 Kilemoen Oppdrag: 382900  
 Utført av: Håvard Grønnevik Dato: 27.10.2021  
 Lab. nr.: 2021054

Forbehandling: Hver delprøve, 11,2/14 mm og 14/16 mm, skal vaskes og tørkes til konstant masse ved  $(110 \pm 5)^\circ\text{C}$ .

Densitet	2.67	Laboratorieknust i %:				<b>Krav til fraksjoner</b>	
$m_i - [(densitet \cdot 1000) / 2.65] \pm 5$	<b>1007.5</b>	11.2/14 mm: $m_i \cdot (65 \pm 1)\%$ =		<b>654.9</b>	14/16mm = <b>352.6</b>		
		<b>Parallell 1</b>		<b>Parallell 2</b>		<b>Maks avvik <math>\pm 5,0</math> gram</b>	
Fraksjon		11.2/14mm	14/16mm	11.2/14mm	14/16mm	<b>Para. 1    Para. 2</b>	
Innveid mengde mi		654.4	352.6	653.9	352.3	<b>0.5    1.3</b>	
						<b>OK    OK</b>	
						<b>OK    OK</b>	
Gjennomstavsikt	< 7	15.7		18.4		<b>KULER DIAM. 15mm</b>	
	< 8		7.5		8.5	<b>Gj.snitt    Std.avvik</b>	
Flisighetsindeks		2.0	2.0	3.0	2.0	<b>2.5    0.50</b>	
Kvadratsikt	> 14	253.1		261.8		<b>Fraksjonene skal våt-siktes og tørkes til konstant masse etter tromling.</b>	
	14 - 11,2	572.1		527.0			
	11,2 - 8	96.5		119.2			
	8 - 2	4.1		8.7			
$m_i - m_2$ ( $m_2 = \text{sum} > 2\text{mm}$ )		81.2		89.5		<b>Gj.snitt    Std.avvik</b>	
Residual $A_N$ (> 11.2)		81.9		78.4		<b>80.2    2.47</b>	
$A_N = (m_i - m_2) / m_i \cdot 100$		8.1		8.9		<b>8.5    0.57</b>	

Differanse mellom $A_N$ parallell 1 og 2	0.80	Skal være mindre enn	10 % av gjennomsnittsverdi for parallell 1 og 2	0.85	<b>9.4 %</b>
--	------	----------------------	---	------	--------------

Figur A.2: Beregning av kulemølleverdi for Kilemoen

## B Beregning av Los Angeles-verdi

**NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE**  
 Beregning av flisighetsindeks og Los Angeles verdi (LA); fraksjon 10/14 mm

Sted: 084634 Hensmoen      Oppdrag: 382900  
 Utført av: Håvard Grønnevik      Dato: 27.10.2021  
 Lab. nr.: 2021053

Forbehandling: Hver delprøve, 10/11,2 mm og 11,2/14 mm, skal vaskes og tørkes til konstant masse ved (110 ± 5) °C.

10/11,2 mm : 30%-40% (ca. 1750 g)  
 11,2/14 mm : 60%-70% (ca. 3250 g)

Laboratoriekunst i %:		10/11,2 mm	11,2/14 mm	10/14 mm	
Fraksjon		10/11,2 mm	11,2/14 mm	10/14 mm	Maks + 5,0 g
Innveid mengde mi		1749.9	3250.6	5000.5	-0.5
					OK
					OK
Gjennomstavsikt	< 5,6mm	3.2			
	< 7mm		26.6	29.8	
Flisighetsindeks		0.2	0.8	0.6	
LA - CEN = 1.6 (10/14 mm)	Kvadratsikt	> 10		1311.0	
		10 - 4		1940.4	
		4 - 1.6 (1.7)		571.6	
LA - ASTM = 1.7 (9.5/19 mm)	m = sum > 1.6 (1.7) mm			3823.0	
	Residual LA (> 10 mm)			26.2	
Prøven skal våtsiktes og tørkes til konstant masse etter tromling.	LA = (5000-m)/50			23.5	24
	Kvadratsikt	1.6 - 1.0		144.2	Glim. telling
		1.0 - 0.5		210.6	
		0.5 - 0.250		214.5	
		0.250 - 0.125		254.6	
		0.125 - 0.063		226.3	
		< 0,063		71.5	
% < 0.063			1.4 %	Lagres	
Tap			55.8		

< 1.6 mm =

Mekanisk laboratorium - NGU lab. NGU-2018

Figur B.1: Beregning av los Angeles-verdi for Hensmoen



# NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE

Beregning av flisighetsindeks og Los Angeles verdi (LA); fraksjon 10/14 mm

Sted: 084635 Kilemoen Oppdrag: 382900  
 Utført av: Håvard Grønnevik Dato: 27.10.2021  
 Lab. nr.: 2021054

Forbehandling: Hver delprøve, 10/11,2 mm og 11,2/14 mm, skal vaskes og tørkes til konstant masse ved (110 ± 5) °C

10/11,2 mm : 30%-40% (ca. 1750 g)  
 11,2/14 mm : 60%-70% (ca. 3250 g)

Laboratoriekunst i %:		10/11,2 mm	11,2/14 mm	10/14 mm	Maks + 5,0 g
Fraksjon					
Innveid mengde mi		1750.3	3250.5	5000.8	-0.8
					OK
					OK
Gjennomstavsikt	< 5,6mm	17.9			
	< 7mm		80.3	98.2	
Flisighetsindeks		1.0	2.5	2.0	
LA - CEN = 1.6 (10/14 mm)	Kvadratsikt	> 10		1208.4	
		10 - 4		1995.9	
		4 - 1.6 (1.7)		610.0	
LA - ASTM = 1.7 (9.5/19 mm)	m = sum > 1.6 (1.7) mm			3814.3	
		Residual LA (> 10 mm)		24.2	
Prøven skal våtsiktes og tørkes til konstant masse etter tromling.	LA = (5000-m)/50			23.7	24
		Kvadratsikt	1.6 - 1.0		158.3
	1.0 - 0.5			223.1	
	0.5 - 0.250			214.1	
	0.250 - 0.125			230.8	
	0.125 - 0.063			243.9	
	< 0,063			79.8	Lagres
	% < 0.063		1.6 %		
Tap		36.5			

< 1.6 mm =

Figur B.2: Beregning av Los Angeles-verdi for Kilemoen

## C Beregning av micro-Deval koeffisient

**NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE**  
 Beregning av flisighetsindeks og micro-Deval koeffisient ( $M_{DE}$ ); fraksjon 10/14 mm

Sted: 084634 Hensmoen      Oppdrag: 382900  
 Utført av: Håvard Grønnevik      Dato: 27.10.2021  
 Lab. nr.: 2021053

Forbehandling: Hver delprøve, 10/11,2 mm og 11,2/14 mm skal vaskes og tørkes til konstant masse ved  $(110 \pm 5)^\circ\text{C}$ .

Laboratoriekunst i %:

**Krav til fraksjoner**  
 10/14 mm :  $500 \pm 2\text{g}$   
 Maks avvik  $\pm 2,0\text{ gram}$

Fraksjon	Parallell 1		Parallell 2		Para. 1	Para. 2
	10/11,2 mm	11,2/14 mm	10/11,2 mm	11,2/14 mm		
Innveid mengde mi	174.5	324.9	175.3	325.6	0.6	-0.9
					OK	OK
					OK	OK
Sum 10/14 mm	499.4		500.9			
Gjennomstavsikt	< 5,6	0.0	2.0			
	< 7		2.20	0.00	Gj.snitt	Std.avvik
Flisighetsindeks	0.0	1.0	1.0	0.0	0.4	0.58
Kvadratsikt	> 10	418.0	432.0		Fraksjonene skal våt-siktes og tørkes til konstant masse etter tromling.	
	10 - .4	46.8	38.4			
	.4 - 16	0.5	0.1			
m = sum > 1.6 mm	465.3		470.5		Gj.snitt	Std.avvik
Residual $M_{DE}$ (> 10 mm)	83.6		86.4		85.0	1.98
$M_{DE} = (500 - m) / 5$	6.9		5.9		6.4	0.71
$M_{DE}$ (avrundet)					6	15.6 %

10/11,2 mm : 30%-40% (ca. 175 g)  
 11,2/14 mm : 60%-70% (ca. 325 g)

Mekanisk laboratorium - NGU lab. NGU-2018

Figur C.1: Beregning av micro-Deval koeffisient for Hensmoen

# NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE

Beregning av flisighetsindeks og micro-Deval koeffisient ( $M_{DE}$ ); fraksjon 10/14 mm

Sted: 084635 Kilemoen Oppdrag: 382900  
 Utført av: Håvard Grønnevik Dato: 27.10.2021  
 Lab. nr.: 2021054

Forbehandling: Hver delprøve, 10/11,2 mm og 11,2/14 mm skal vaskes og tørkes til konstant masse ved (110 ± 5)°C

Laboratoriekunst i %:		Parallell 1		Parallell 2		Krav til fraksjoner 10/14 mm : 500 ± 2g Maks avvik ± 2,0 gram	
Fraksjon		10/11,2 mm	11,2/14 mm	10/11,2 mm	11,2/14 mm	Para. 1	Para. 2
Innveid mengde mi		175.3	324.6	175.0	325.2	0.1	-0.2
						OK	OK
						OK	OK
Sum 10/14 mm		499.9		500.2			
Gjennomstavsikt	< 5,6	0.0		1.3			
	< 7		11.50		4.50	Gj.snitt	Std.avvik
Flisighetsindeks		0.0	4.0	1.0	1.0	1.7	1.73
Kvadratsikt	> 10	411.5		442.2			
	10 - .4	54.4		30.5			
	.4 - 16	0.7		0.6			
m = sum > 1.6 mm		466.6		473.3		Gj.snitt	Std.avvik
Residual $M_{DE}$ (> 10 mm)		82.3		88.4		85.4	4.31
$M_{DE} = (500 - m) / 5$		6.7		5.3		6.0	0.99
$M_{DE}$ (avrundet)						6	23.3 %

10/11,2 mm : 30%-40% (ca. 175 g)  
 11,2/14 mm : 60%-70% (ca. 325 g)

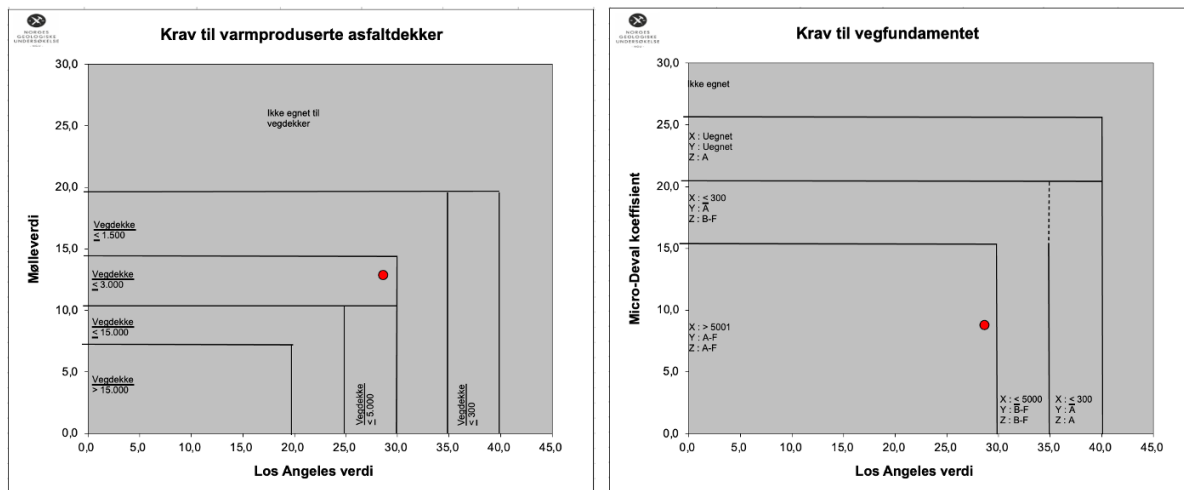
Fraksjonene skal våt-siktes og tørkes til konstant masse etter tromling.

Mekanisk laboratorium - NGU lab.

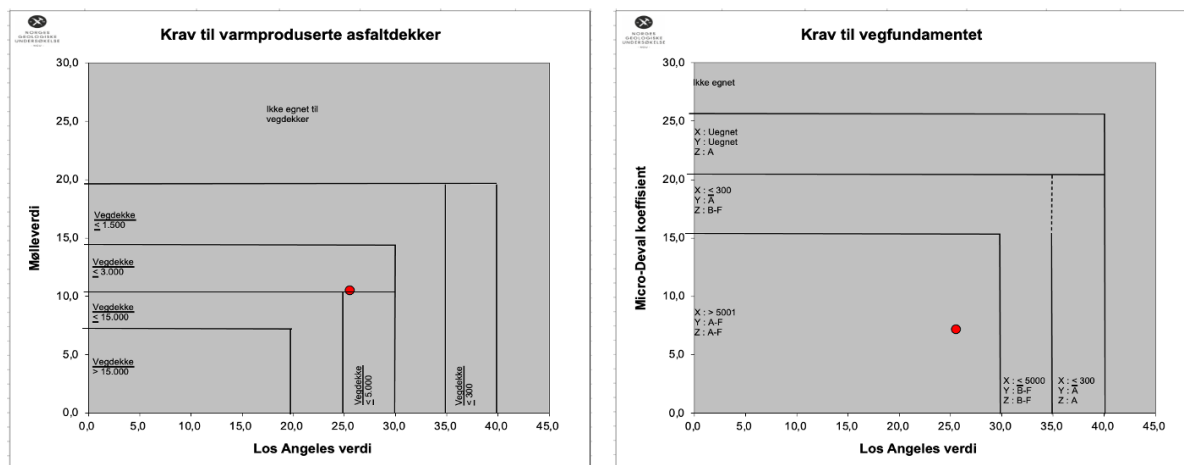
NGU-2018

Figur C.2: Beregning av micro-Deval koeffisient for Kilemoen

## D Mekaniske tester



**Figur D.1:** Testresultater fra knust grus fra Hensmoen mot krav til veidekke og veifundament. Laget av NGU i sammenheng med laboratorietesting.



**Figur D.2:** Testresultater fra knust grus fra Kilemoen mot krav til veidekke og veifundament. Laget av NGU i sammenheng med laboratorietesting.

## E Petrografisk analyse

Tabell E.1: Petrografisk analyse for Hensmoen.

Kategori	0.125-0.250 mm	1-2 mm	2-4 mm
Bergart/mineral			
Glimmer	10%	5%	-
Kvarts	65%	25%	10%
Feltspat	20%	15%	5%
Møreke mineraler (Amfibol/pyroksen)	5%	-	-
Glimmergneis	-	35%	30%
Granitt	-	20%	35%
Gneis	-	-	5%
Mafiske bergarter (Basalt/Gabbro)	-	-	10%
Sandstein	-	-	2%
Leirstein	-	-	3%
Kornform			
Flisig	5%	5%	3%
Skarpkantet	40%	30%	42%
Kantslitt	45%	40%	35%
Rundet	10%	25%	20%
Overflate			
	Ingen belegg	Stort sett ingen belegg. Noen få korn med rustbelegg	Noen korn med rustbelegg
Fysisk tilstand			
	God fysisk tilstand	God fysisk tilstand	God fysisk tilstand

**Tabell E.2:** Petrografisk analyse for Kilemoen.

Kategori	0.125-0.250 mm	1-2 mm	2-4 mm
<b>Bergart/mineral</b>			
Glimmer	23%	25%	10%
Kvarts	65%	20%	5%
Feltspat	10%	15%	-
Mørreke mineraler (Amfibol/pyroksen)	2%	15%	-
Glimmergneis	-	10%	30%
Granitt	-	15%	40%
Gneis	-	-	-
Mafiske bergarter (Basalt/Gabbro)	-	-	15%
Sandstein	-	-	-
Leirstein	-	-	-
<b>Kornform</b>			
Flisig	30%	25%	10%
Skarpkantet	37%	30%	45%
Kantslitt	23%	35%	30%
Rundet	10%	10%	15%
<b>Overflate</b>			
	Stort sett ingen belegg. Leirebellegg på leireprøven (Kilemoen 2)	Stort sett ingen belegg. Leirebellegg på leireprøven (Kilemoen 2)	Ingen belegg
<b>Fysisk tilstand</b>			
	God fysisk tilstand. Noen få korn som smuldrer	God fysisk tilstand. Noen leireklumper som går i oppløsning	God fysisk tilstand









