

Nytt resirkulert tilslag produsert fra grave- og byggavfall

MARIANN NORBY



VEILEDER

Christian John Engelsen, SINTEF
Rein Terje Thorstensen, Universitet i Agder

Universitetet i Agder, 2020

Fakultet for teknologi og realfag
Institutt for ingeniørvitenskap

Obligatorisk egenerklæring

Den enkelte student er selv ansvarlig for å sette seg inn i hva som er lovlige hjelpemidler, retningslinjer for bruk av disse og regler om kildebruk. Erklæringen skal bevisstgjøre studentene på deres ansvar og hvilke konsekvenser fusk kan medføre. Manglende erklæring fritar ikke studentene fra sitt ansvar.

1.	Jeg/vi erklærer herved at min/vår besvarelse er mitt/vårt eget arbeid, og at jeg/vi ikke har brukt andre kilder eller har mottatt annen hjelp enn det som er nevnt i besvarelsen.	<input checked="" type="checkbox"/>
2.	Jeg/vi erklærer videre at denne besvarelsen: <ul style="list-style-type: none"> - ikke har vært brukt til annen eksamen ved annen avdeling/universitet/høgskole innenlands eller utenlands. - ikke refererer til andres arbeid uten at det er oppgitt. - ikke refererer til eget tidligere arbeid uten at det er oppgitt. - har alle referansene oppgitt i litteraturlisten. - ikke er en kopi, duplikat eller avskrift av andres arbeid eller besvarelse. 	<input checked="" type="checkbox"/>
3.	Jeg/vi er kjent med at brudd på ovennevnte er å betrakte som fusk og kan medføre annullering av eksamen og utestengelse fra universiteter og høgskoler i Norge, jf. Universitets- og høgskoleloven §§4-7 og 4-8 og Forskrift om eksamen §§ 31.	<input checked="" type="checkbox"/>
4.	Jeg/vi er kjent med at alle innleverte oppgaver kan bli plagiatkontrollert.	<input checked="" type="checkbox"/>
5.	Jeg/vi er kjent med at Universitetet i Agder vil behandle alle saker hvor det foreligger mistanke om fusk etter høgskolens retningslinjer for behandling av saker om fusk.	<input checked="" type="checkbox"/>
6.	Jeg/vi har satt oss inn i regler og retningslinjer i bruk av kilder og referanser på biblioteket sine nettsider.	<input checked="" type="checkbox"/>

Publiseringsavtale

Fullmakt til elektronisk publisering av oppgaven

Forfatter(ne) har opphavsrett til oppgaven. Det betyr blant annet enerett til å gjøre verket tilgjengelig for allmennheten (Åndsverkloven. §2).

Alle oppgaver som fyller kriteriene vil bli registrert og publisert i Brage Aura og på UiA sine nettsider med forfatter(ne)s godkjenning.

Oppgaver som er unntatt offentlighet eller taushetsbelagt/konfidensiell vil ikke bli publisert.

Jeg/vi gir herved Universitetet i Agder en vederlagsfri rett til å gjøre oppgaven tilgjengelig for elektronisk publisering:

JA NEI

Er oppgaven båndlagt (konfidensiell)?
(Båndleggingsavtale må fylles ut)

JA NEI

- Hvis ja:

Kan oppgaven publiseres når båndleggingsperioden er over?

JA NEI

Er oppgaven unntatt offentlighet?

JA NEI

(inneholder taushetsbelagt informasjon. Jfr. Offl. §13/Fvl. §13)

Forord

Denne masteroppgaven er utarbeidet ved Institutt for Ingeniørvitenskap, som en del av masterprogrammet Bygg, konstruksjonsteknikk ved Universitet i Agder. Masteroppgaven er den avsluttende oppgaven i emnet BYG508. Oppgaven har et omfang på 30 studiepoeng og ble utarbeidet i fjerde semester, våren 2020.

Målet med oppgaven er å løfte fokuset på, og utnytte de ressursene som finnes i grave- og byggavfall. Jeg har fokusert på variasjonene i de mekaniske egenskapene og dokumenterer dette når kildematerialet varierer. Dokumentasjonen vil kunne bidra til at bruken av resirkulert tilslag produsert fra grave- og byggavfall øker.

Jeg ønsker å takke mine veiledere og rådgivere internt og eksternt. Takker eksternt veileder seniorforsker Christian John Engelsen hos SINTEF, intern veileder Professor Vice Dean Rein Terje Thorstensen ved Universitet i Agder, overingeniør Anette Heimdal ved Universitet i Agder, Stipendiat Solomon Adomako ved Universitet i Agder og ikke minst takk til min familie og min mann Kjetil Norby som har støttet og motivert meg igjennom en lang og givende utdanning.



Mariann Norby
06.06.2020 / Kristiansand

Summary

Recycled aggregate produced from excavation and construction waste is an important resource. This is because increased use of recycled aggregate will contribute to reduce the amount of waste delivered to landfill, which is an important environmental benefit. Recycled aggregate will replace some of the application areas of natural crushed aggregate, this will reduce the extraction of primary raw materials. The focus of this master thesis is to investigate and document variations in mechanical properties of recycled aggregate produced from excavation mass. The purpose of this is to document the stability of mechanical properties and examine how changes in the source material will affect test results. Stable mechanical properties will contribute to an extended use of excavation mass, instead of being delivered as landfill. In order to investigate variations in recycled aggregate there is used methods like Los-Angeles, micro-Deval, petrographic analysis and x-ray diffraction (XRD). To get an overview of existing research on recycled aggregate and variations in mechanical properties, a literature review is conducted. In conclusion, the methods used shows consistently good results. Recycled aggregate is a well-suited material for road projects, and as filler in pipe trenches.

Innholdsfortegnelse

Obligatorisk egenerklæring	I
Publiseringsavtale.....	II
Forord	III
Summary	IV
Innholdsfortegnelse	V
Figurliste	VIII
Tabelliste	IX
1 Innledning	1
2 Samfunnsperspektiv	3
3 Teoribakgrunn	5
3.1 Grave- og byggavfall	5
3.2 Sirkulær økonomi	6
3.3 Tilslagsmaterialer	7
3.4 Mekanisk styrke.....	7
3.5 Analysemetoder	8
3.5.1 Los Angeles-test.....	8
3.5.2 Micro-Deval-test.....	10
3.5.3 Flisighetsindeks.....	11
3.5.4 Petrografisk analyse	12
3.5.5 Sikteanalyse.....	12
3.6 Aktuelle standarder for tilslag	13
3.7 Aktuelle håndbøker	13
3.8 Andre studier og prosjekter	14
3.8.1 RESGRAM.....	14
3.8.2 Sustainable management of excavated soil and rock in urban areas	14
4 Forskerspørsmål	16
4.1 Avgrensninger.....	16
5 Case.....	17
6 Metode	18
6.1 Fremgangsmåte.....	18
6.2 Valg av problemstilling	19
6.3 Laboratorieforsøk.....	20
6.3.1 Utstyr til Los Angeles-test.....	21

6.3.2	Forberedelser av testmaterialet.....	21
6.3.3	Utførelse av Los Angeles-test.....	22
6.3.4	Sikteanalyse.....	23
6.3.5	Prøverapport for Los Angeles-test.....	24
6.3.6	Røntgendiffraksjon (XRD-analyse).....	24
6.3.7	Fremstilling av resultater.....	25
6.4	Eksterne laboratorieforsøk.....	25
6.5	Litteraturstudie.....	25
7	Resultat.....	27
7.1	Resultater laboratorieforsøk.....	27
7.1.1	Variasjon i mekanisk styrke (Los Angeles).....	27
7.1.2	Bestemmelse av gradering med sikteanalyse.....	29
7.1.3	Bestemmelse av mineralogi med XRD-analyse.....	33
7.2	Resultater eksterne laboratorieforsøk.....	34
7.2.1	Variasjon i mekanisk styrke (Los Angeles og micro-Deval).....	34
7.2.2	Bestemmelse av bergarter ved petrografisk analyse.....	35
7.2.3	Los Angeles og micro-Deval resultater fra pågående studier.....	37
7.3	Resultater fra litteraturstudiet.....	38
7.3.1	Bergarter.....	38
7.3.2	Mohs hardhetsskala.....	38
7.3.3	Mineraler og sammensetning i bergarter.....	39
7.3.4	Røntgendiffraksjon (XRD).....	40
7.3.5	Bergarters materialegenskaper.....	41
7.3.6	Tilslagsmaterialer og krav.....	42
7.3.7	Vurdering av testmetoder for tilslagsmaterialer.....	44
7.3.8	Undersøkelse av pukkeforekomst Langemyr i Lillesand kommune.....	44
7.3.9	Kornform og mekaniske egenskaper for et granodiorittmateriale etter testknusing og laboratorieknusing.....	46
7.3.10	Experimental Research on Mechanical Property of Phyllite Tunnel Surrounding Rock Under Different Moisture State.....	47
8	Diskusjon.....	48
8.1	Variasjoner i testresultater.....	48
8.2	Mekaniske egenskaper og bergarter.....	50
8.3	Testmetoder.....	54

8.4	Resirkulert tilslag som ressurs	55
9	Konklusjon	56
10	Anbefalinger	57
11	Referanser.....	58
12	Vedlegg	61
12.1	Prøverapporter fra laboratorieforsøk	62
12.2	XRD-analyse.....	89
12.3	Prøverapporter fra Velde	93
12.4	Petrografisk analyse	110
12.5	Referater fra veiledning.....	129

Figurliste

Figur 3-1 Avfallshierarkiet [7].	5
Figur 3-2 Los Angeles-apparatur som anvendes til testen [14].	9
Figur 3-3 Prinsippskisse for micro-Deval-apparatur [14].	10
Figur 6-1 Sammenheng mellom virkelighet, empiri og teori [28].	18
Figur 6-2 Los Angeles-test maskin med innebygd telleverk [29].	21
Figur 6-3 Siktesett for sikting til LA-fraksjon 10/14 [29].	22
Figur 6-4 Siktesett med alle delfraksjonene etter utført sikting [29].	22
Figur 6-5 Stålbakke under LA-maskinen og stålkulene [29].	23
Figur 6-6 Prøvematerialet etter LA-test som er mindre enn 1,6 mm [29].	24
Figur 7-1 Siktekurver for resirkulert tilslag (RNA) i fraksjon 4/16 [34].	29
Figur 7-2 Siktekurver for naturlig knust tilslag (NA) i fraksjon 8/16 [34].	30
Figur 7-3 Siktekurver etter LA-test for resirkulert tilslag (RNA), større enn 1,6 mm [34].	31
Figur 7-4 Siktekurver etter LA-test for naturlig knust tilslag (NA), større enn 1,6 mm [34].	32
Figur 7-5 Resultat av XRD-analyse [35]	33
Figur 7-6 Fremstilling av XRD-analyse basert på Rietveld-metoden [35].	33
Figur 7-7 Målte Los Angeles-verdier for norske bergarter, viser antall prøver, maksimum/minimums verdier og gjennomsnitt [20].	42
Figur 7-8 Forslag til oppbygning av parkeringsarealer. Forsterkningslag og bærelag er resirkulert tilslag [45].	42
Figur 7-9 Skisse av tverrsnitt av VA-grøft [45].	43
Figur 8-1 Trykkfasthet og E-modul [20].	50
Figur 8-2 Grafisk fremstilling av mekaniske egenskaper og sammensetningen for batch 1 [34].	51
Figur 8-3 Grafisk fremstilling av mekaniske egenskaper og sammensetningen for batch 2 [34].	51
Figur 8-4 Grafisk fremstilling av mekaniske egenskaper og sammensetningen for batch 3 [34].	52

Tabelliste

Tabell 3-1 Egenskaper som kreves dokumentert for nasjonalt for mekanisk stabiliserte og hydrauliske stabiliserte materialer (minstekrav) [11].	8
Tabell 3-2 Kategorier for Los Angeles-verdier [11].	10
Tabell 3-3 Kategorier for micro-Deval-koeffisienter [11].	11
Tabell 3-4 Kategorier for flisighetsindeks [11].	12
Tabell 6-1 Tabell for siktekurver for mottatt tilslag [30].	24
Tabell 6-2 Tabell for siktekurver for prøvemateriale etter Los Angeles-test [30].	24
Tabell 7-1 Resultat etter LA-test for batch 1 fra egne forsøk på UiA [30],[33].	27
Tabell 7-2 Resultat etter LA-test for batch 2 fra egne forsøk på UiA [30].	28
Tabell 7-3 Resultat etter LA-test for batch 3 fra egne forsøk på UiA [30].	28
Tabell 7-4 Resultat etter LA-test og M_{DE} -test for batch 1 fra Velde [36].	34
Tabell 7-5 Resultat etter LA-test og M_{DE} -test for batch 2 fra Velde [36].	34
Tabell 7-6 Resultat etter LA-test og M_{DE} -test for batch 3 fra Velde [36].	35
Tabell 7-7 Innholdet fra naturlig knust tilslag og resirkulert tilslag for batch 1 [31].	35
Tabell 7-8 Innholdet fra naturlig knust tilslag og resirkulert tilslag for batch 2 [31].	36
Tabell 7-9 Innholdet fra naturlig knust tilslag og resirkulert tilslag for batch 3 [31].	36
Tabell 7-10 Oversikt over testmaterialet, opphavssted og fraksjonen [32].	37
Tabell 7-11 Resultater for tilslag og sammensatte prøver med to forskjellige tilslag [32].	37
Tabell 7-12 Mohs hardhetsskala [14].	39
Tabell 7-13 En-aksiell trykkfasthet og E-modul for et utvalg av skandinaviske bergarter, oppgitt som middelerverdier og antall prøver [20].	41
Tabell 7-14 Krav til mekaniske egenskaper og knusingsgrad til forsterkningslag for steinmaterialer, grus og resirkulerte materialer [18].	43
Tabell 7-15 Resultatoversikt over prøvene og referanseprøvene som er tatt ved Langemyr [47].	45
Tabell 8-1 Sammenstilling av resultatene fra forsøkene for batch 1 [30].	48
Tabell 8-2 Sammenstilling av resultatene fra forsøkene for batch 2 [30].	48
Tabell 8-3 Sammenstilling av resultatene fra forsøkene for batch 3 [30].	49

1 Innledning

Bygging av infrastruktur, slik som veg og VA-anlegg, samt nye bolig og næringsområder skaper et behov for store mengder sand, grus og pukk. En fellesbenevnelse for slike materialer er tilslag. Slike tilslag forekommer både naturlig og resirkulert. Naturlig tilslag inkluderer løsmasser eller knust berg fra naturlige forekomster [1]. Resirkulert tilslag er produsert av uorganiske materialer fra grave- og byggavfall [2].

Byggebransjen genererer store mengder med grave- og byggavfall. Tall hentet fra Statistisk sentralbyrå [3] viser at 1,9 millioner tonn med byggavfall ble generert i 2017 i Norge. En stor andel av dette går til deponi og brukes som tildekningsmateriale. Statistikken til SSB tar ikke med gravemasser generert i bygg- og anleggsprosjektene. Det anslås at 1,5 millioner tonn gravemasser blir generert på Nord-Jæren [2] og 10-15 millioner tonn på landsbasis [4].

Bygg- og anleggsbransjen har et felles ansvar for å ivareta ressurser og miljø. Ved økt bruk av resirkulert tilslag kan en bidra til å redusere avfallsmengder i form av gravemasser som går til deponi, bidra til å øke materialutnyttelse, skape mer effektiv sirkulær økonomi og bedre materialstrøm av grave- og byggavfall. I tillegg kan økt bruk av resirkulert tilslag bidra til at det reduseres uttak av primære råvarer til naturlig tilslag.

I Norge har det de siste 20 årene vært mest fokus på resirkulert tilslag fra betong og tegl, og det har blitt utført mange demonstrasjonsprosjekter [2]. Resirkulert tilslag produsert fra gravemasser er en blanding av jord og stein, eller en blandet masse som kan inneholde knust betongavfall og tegl [4]. Slike gravemasser kan behandles fysisk og kjemisk på gjenvinningsanlegg og brukes som resirkulert tilslag [2]. Sammensetningen av massene vil avhenge av hva kildematerialet er, derfor er det viktig å dokumentere de mekaniske egenskapene til det resirkulerte tilslaget. Nytteverdien er stor, da gravemasser utgjør et stort volum, derfor er det viktig å undersøke hvordan resirkulert tilslag produsert fra grave- og byggavfall kan utnyttes som ressurs.

Masteroppgaven er utarbeidet i samarbeid med Velde AS, SINTEF og Universitet i Agder. Velde AS er leverandør av pukk, asfalt og betong i Sandnes i Rogaland, og satser stort på gjenvinningsprodukter. Velde AS har et av verdens største gjenvinningsanlegg som produserer resirkulert tilslag fra gravemasser. Gravemassene kan inneholde rester av byggavfall som betong, tegl, asfalt og andre rester fra byggeaktivitet. SINTEF er i dag et av Europas største uavhengige forskningsinstitutter som i samarbeid med Velde AS undersøker bruk av resirkulert tilslag i bygg og anleggsnæringen.

Oppgaven er valgt fordi jeg ønsker fokus på miljøtiltak og ressursbruk i byggebransjen og ønsker et fokus på de materialene som allerede er til stede, som kan gjenbrukes og bidra til god materialstrøm og sirkulær økonomi.

Masteroppgaven er bygd opp etter rapportmalen som er utgitt av Universitet i Agder for masterprogrammet Bygg. Masteroppgaven er bygd opp med 12 hovedkapitler som følger;

Kapittel 1: Innledning

Presenterer bakgrunnen for oppgaven, beskrivelse av problemområdet, samarbeidspartnere og oppbygging av rapporten.

Kapittel 2: Samfunnsperspektiv

Setter oppgaven i en større sammenheng og tar for seg tema om uttak av stein og materialgjenvinning.

Kapittel 3: Teoribakgrunn

Litteraturstudie er presentert som teoribakgrunnskunnskap og omhandler miljø, tilslag, mekaniske egenskaper og standarder for tilslagsmaterialer.

Kapittel 4: Forskerspørsmål

Forskerspørsmålet blir presentert med hovedspørsmål, underspørsmål og avgrensinger.

Kapittel 5: Case

Beskriver oppgaven og materialene som benyttes.

Kapittel 6: Metode

Beskriver metodene som er benyttet for å besvare oppgaven.

Kapittel 7: Resultat

Resultatene fra laboratorietester, resultater fra eksterne tester og litteraturstudie blir presentert.

Kapittel 8: Diskusjon

Drøfting av resultater basert på teoribakgrunn.

Kapittel 9: Konklusjon

Knytter de viktigste funnene sammen med forskerspørsmålet.

Kapittel 10: Anbefalinger

Anbefalinger til videre arbeid.

Kapittel 11: Referanser

Referanser som er brukt i masteroppgaven.

Kapittel 12: Vedlegg

Inneholder vedlegg som testrapporter og møtereferater.

2 Samfunnsperspektiv

De primære råvarene som grus og pukk er ikke ubegrensede ressurser, derfor er det viktig med økt fokus på kunnskap om tilgjengelige forekomster. Samfunnsutviklingen øker i vekst og medfører økt press på arealer og ressurser, dette er veldig tydelig nær byer og tettsteder [5]. For at utviklingen skal være bærekraftig må det legges til rette for en forsvarlig og fremtidsrettet utnyttelse av ressursene. Hvilke materialer som benyttes i arealplansammenheng er viktig. Det kan vises til at det ofte er områder med gode forekomster som benyttes til annet formål enn råstoffutvinning. Derfor er det nødvendig at de som planlegger har tilstrekkelig kunnskap om forekomster for å gjøre de beste avveiningene i planprosessen, og for utarbeidelse av reguleringsplaner [6]. Reguleringsplaner inneholder betingelser som ivaretar tidsrammer for drift, utforming og avslutning for uttaksområdene og driftsplaner for hvordan reguleringsbestemmelsene skal bli fulgt opp [5].

Pukk har de samme bruksområdene som naturlig sand og grus, men det er en høyere kostnad å produsere pukk ettersom må sprengning og knuse berg. Likevel er det et økende forbruk av pukk som byggeråstoff. Dette har en sammenheng med ressursknapphet på lokale sand- og grusforekomster og økte kvalitetskrav til byggeråstoffer som ikke naturlig grus alltid tilfredsstiller [6].

På landsbasis bruker hver eneste person i Norge et lastebillass på cirka 10 tonn med pukk og grus årlig [6]. I 2009 var råstoffuttaket 65 millioner tonn, og i 2010 på 67 millioner tonn i Norge. Slike mengder genererer enorme transportkostnader. Derfor er det viktig at grus- og pukkproduksjon foregår så lokalt som mulig i forhold til anvendelsesområdet. Så mye som 42 % brukes til vegformål og 29 % brukes til betongproduksjon. Resten brukes til formål som fyllmasse, planering av anleggsområder og tildekking av rørledninger [6]. Det er viktig at ressursene ivaretas, og bransjen må fortsette å øke fokuset på avfall og avfallshåndtering for å øke ressursutnyttelsen som finnes i bygg- og anleggsavfall.

For fremtiden er det viktig at samfunnet ser nytten av bedre avfallshåndtering og ressursutnyttelse i et større perspektiv for å ivareta miljøet. Mye av avfallet inneholder ressurser som kan utnyttes og erstatte primære råvarer. Ombruk, materialgjenvinning eller energiutnyttelse vil bidra til god avfallshåndtering [7]. Det vil bidra til å redusere forurensing og gi økt ressursutnyttelse. Utslippene er redusert mye de siste årene, men det er fortsatt viktig å ha fokus på at avfallsbehandlingen ikke skal gi skadevirkninger på klima, natur eller helse [7].

Økt bruk av materialgjenvinning og energiutnyttelse av avfall vil bidra til at det forbrukes mindre av primære råvarer. Dermed vil utslippene for fremstilling av råvarene reduseres, slike utslipp er større enn utslippene fra gjenvinningen. Ifølge EUs avfallshierarki [7] er materialgjenvinning et bedre alternativ enn forbrenning. I Norge har utbygging av forbrenningsanlegg bidratt til at mindre mengder avfall sendes til deponi, og at energi overføres til fjernvarmeformål [7]. Myndigheter må bidra til at avfall med høy materialkvalitet gjenvinnes fremfor forbrenning når det er teknisk, miljømessig og samfunnsøkonomisk mulig, for å ivareta ressursene.

Undersøkelser viser at avfallsmengdene fremover, spesielt fra husholdning og fra bygg- og anleggsbransjen, kommer til å øke i mengde. Derfor skjerper Miljøverndepartementet fokuset mot et utvalg prioriterte områder [7]. Forebygging av reduksjon i avfallsmengder må styrkes, og kunnskap om miljøeffekter igjennom livsløpet til materialene må økes. Bygg- og anleggsavfall er en stor del av den totale avfallsmengden i Norge [7],[3]. Det forventes at mengden kommer til å øke og det er viktig å forebygge så mye som mulig.

Avfall fra bygg- og anleggsbransjen kan grupperes i to; byggavfall og anleggsavfall. Alt avfall fra bygging, rehabilitering og rivning av bygninger defineres som byggavfall. Avfall fra bygging, rehabilitering og rivning av anlegg som broer, kaier og veger defineres som anleggsavfall [7]. I tillegg genereres store mengder gravemasser fra anlegg og oppgravingsarbeid som i omfang er større enn byggavfall [2]. Dette er ressurser som med fordel kan gjenvinnes fremfor å leveres til deponi.

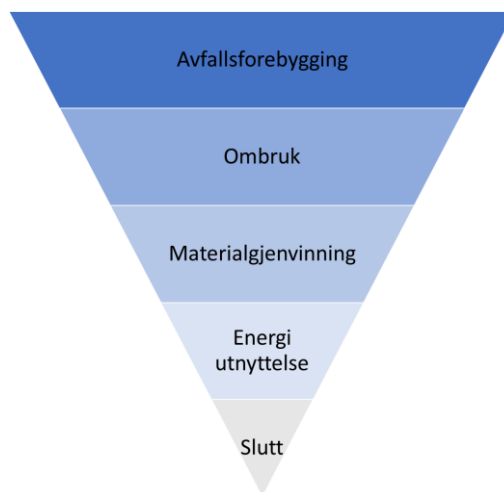
Gjenvinning av bygg- og anleggsavfall, gravemasser fra anlegg og oppgravingsarbeid vil bidra til at både råvareuttak og mengden avfall som levers til deponi reduseres. Dette gjør at materialene holdes lengre i et sirkulært kretsløp, som vil være med å styrke en sirkulær økonomi [2].

3 Teoribakgrunn

Dette kapitlet inneholder bakgrunnsteori som danner grunnlag for forståelse av oppgavens formål og innhold. Litteraturstudie er brukt for å innhente informasjon om teoribakgrunn, metoden beskrives i kapittel 6.

3.1 Grave- og byggavfall

Det har i lengre tid vært fokus på at avfallsmengdene skal og bør reduseres betraktelig. Nasjonale mål fra Miljøverndepartementet setter krav til at avfall ikke skal gjøre skade på mennesker og naturen, men skal håndteres på en forsvarlig måte. Avfallshierarkiet i Figur 3-1 forklarer en prioritert rekkefølge på avfallshåndteringen [7]. Der kommer det tydelig fram at forebygging av avfall er det viktigste vi kan gjøre, men også ombruk og materialgjenvinning er viktige tiltak for miljøet. Store deler av alt avfall er ressurser som kan utnyttes og det kan være med på å bidra til at uttak av primærråvarer reduseres, noe som igjen bidrar til å redusere klimautslipp.



Figur 3-1 Avfallshierarkiet [7].

Gjenbruk som begrep brukes for å beskrive både materialgjenvinning og ombruk. Begrepet *materialgjenvinning* forteller oss at materialer blir omformet gjennom en industriell prosess før det tilbakeføres som et «nytt» materiale. Begrepet *ombruk* forteller oss at materialer utnyttes på nytt i sin opprinnelige form, altså uten en industriell prosess [8].

Ombruk av bygningselementer er tidkrevende og kostbart gjennom alle fasene i prosjektgjennomføringen. Derfor blir betongelementer i praksis som oftest heller revet. Betong som leveres til miljøstasjoner koster 30-50 kr per tonn [8]. Denne kostnaden og belastningen med avfall kan reduseres ved at betong knuses ned og brukes som erstatningsmasse ved vegbygging.

For fremtiden kan det gjennom å øke bevisstheten rundt ombruk allerede i prosjekteringsfasen bidra til utvikling av ombrukbare bygningselementer. Grundig FDV-dokumentasjon bør øke graden av ombruk [8], og gjøre det mulig å gjennomføre på en tids- og kostnadseffektiv måte.

For bygg- og anleggsbransjen vil materialgjenvinning av avfall bidra til å redusere mengdene som leveres til deponi. Bygg- og anleggsavfall er alt avfall som blir generert før eller under bygging. I følge Miljøverndepartementet [7] fra 2012 så er det oppnådd 50 % i materialgjenvinningsgrad, nyere tall hentet fra SSB i 2019 [3] dokumenterer en nedgang i materialgjenvinning til 34 %. Dette er den laveste andelen med materialgjenvinning siden den årlige statistikken ble etablert. Mengden avfall som blir levert til deponi har økt med 10 % fra 2016 til 2017. Dagens materialgjenvinning er et godt stykke unna EUs krav på 70 % innen 2020.

I tall innhentet fra SSB i 2019 [3] er det dokumentert at det i 2017 ble generert om lag 1,90 millioner tonn bygg- og anleggsavfall i Norge. Dette kun i forbindelse med nybygging, rehabilitering og riving. Andel avfall fra riving øker, mens andel fra nybygg holdes stabil. I tillegg til dette sendes store mengder masser fra utgraving til deponi. Det er estimert til å være i størrelsesorden 10-15 millioner tonn årlig i Norge [4]. Enorme mengder havner på deponi. Gravemasser har et kjempepotensial til å utnyttes som resirkulert tilslag, og bidra til mindre råvareuttak.

For å kunne ivareta de utfordringene som vil komme i fremtiden er det i TEK 17, kapittel 9 definert de kravene som gjelder for bygg- og anleggsavfall. Forskriften definerer de ulike kravene for bygging, rehabilitering og riving [3].

3.2 Sirkulær økonomi

Sirkulær økonomi er et begrep som vi hører mange ulike steder, begrepet brukes stadig i større grad i industrien og i samfunnsdebatter. Sirkulær økonomi brukes også ofte i den norske byggenæringen. Det er mange måter å uttrykke og forklare hva sirkulær økonomi er for noe, og det finnes flere fellestrekk som går igjen [9]. Forenklet kan det beskrives som;

- En overgang fra en lineær verdikjede til noe som går i lukket krets
- Økt utnyttelse av ressurser
- Grønn økonomisk vekst
- Sammenhengen mellom økonomisk vekst og forbruk av ressurser kuttes

Sirkulær økonomi kan implementeres og brukes i flere satsningsområder i byggebransjen. Som eksempler nevnes optimalisert arealutnyttelse, energieffektive bygninger, ressursutnyttelse i byggeprosessen og bærekraftig håndtering av materialer og byggavfall [9]. For denne oppgaven er materialer og ressursutnyttelse i fokus.

Hovedpoenget med sirkulær økonomi er økt ressursutnyttelse, ny verdiskaping og sikker tilgang til råvarer [9]. Økt ressursutnyttelse er med på å gi lavere klimagassutslipp og andre miljøbelastninger minker. For å kunne realisere dette er det behov for nye forretningsmodeller som gjør det mulig å bidra til verdiskaping, økonomisk vekst og nye arbeidsplasser.

Sirkulær økonomi assosieres ofte med bedre håndtering av byggematerialer når bygget skal rives eller rehabiliteres, og hvordan disse materialene kan utnyttes fremfor å havne på miljøstasjoner. Gjenvinning av grave-, bygge-, og rivematerialer er de viktigste komponentene i sirkulær økonomi.

Det er store volum som har potensiale til å utnyttes. Gravemasser utgjør en betydelig større andel enn byggavfall og har derfor gode muligheter til å utnyttes som resirkulert tilslag [2].

Hovedfokuset er at materialavfall skal bli håndtert slik at de blir en ressurs, og at deponimengende reduseres. Dette vil gi redusert uttak av nye primær råvare. En god sirkulær økonomi vil bidra til en grønn økonomisk vekst. Det handler om at det er muligheter for å skape både økonomiske og miljømessige gevinster [9]. Dette vil være med på å tilfredsstille kravene fra det offentlige om reduksjon av forurensing.

3.3 Tilslagsmaterialer

Tilslag er små steinmaterialer og er en fellesbetegnelse for sand, stein, grus og resirkulerte uorganiske materialer [10]. Tilslag grupperes i tre; naturlig tilslag, industrielt fremstilt tilslag og resirkulert tilslag [11]. De deles videre opp i fraksjoner som henviser til intervallet på siktestørrelsene. Fraksjonene beskrives som d/D , der minste d er minste nedre siktestørrelse mens D er øvre største siktestørrelse oppgitt i millimeter [11].

Tilslag brukes som hovedmaterialer i betong, asfalt og vegbygging. Det skilles mellom bunden og ubundne bruksområder for tilslag. Bunden bruk er når tilslaget brukes i en matriks som er sement- eller asfaltbasert. Ubunden bruk er ulike former for utlegging og mekanisk stabilisering som avretting, tilbakefylling, grøfter og veger [4].

Naturlig tilslag er moreneforekomster og ble dannet naturlig for omkring 10 000 år siden. Råvareressursene er begrensede og ikke fornybare. Forekomstene har vært størst rundt Oslofjorden og i Trøndelag men ressursene tømmes [12]. Industrielt fremstilt tilslag er naturlig berg som knuses. Råmaterialet er ofte blokker eller sprengstein som knuses i store knusere. Tilslaget får en mer kantet og kubisk form på tilslagskornene enn naturlig tilslag [12].

Resirkulert tilslag er uorganiske materialer som har vært brukt i bygg- og anleggsarbeider. Kildematerialene varierer avhengig av hva som er levert til anlegget og hvor det kommer fra. De vanligste kildematerialene er; betong, murverk med mørtel og tegl, asfalt samt gravemasser av naturlig jord, sand, grus og stein [2]. Videreforedling til resirkulert tilslag kan foregå i en tørr- eller våtprosess. I en tørrprosess blir materialet knust og siktet til ønskede fraksjoner, mens i en våtprosess renses og siktes materialet til ønskede fraksjoner. Resirkulert tilslag produsert fra grave- og byggavfall produseres i en våtprosess hvor materialet blir vasket og siktet gjennom flere trinn [2].

3.4 Mekanisk styrke

Mekaniske egenskaper uttrykker materialets reaksjoner på de ytre mekaniske kreftene. Mekaniske egenskaper beskriver egenskapene til materialet og i hvilken grad det er egnet som konstruksjonsmateriale. Disse egenskapene blir testet og definert ved bruk av egne prøvemaskiner og metoder [13]. Mekaniske testmetoder er empiriske og resultatet uttrykker motstand mot nedknusing, motstand mot slitasje eller en simulert bruk av materialet. Resultatene etter testene er viktig for forståelsen hvordan materialet påvirkes når det er i bruk i for eksempel en vegkonstruksjon [13].

3.5 Analysemetoder

Der det finnes analysemetoder beskrevet i standarder, benyttes disse. For metoder som ikke har standarder, er det de analysemetodene som er definert i Håndbok R210 Laboratorieundersøkelser [14] som benyttes [15]. For steinmaterialer som brukes i bære-, forsterknings- og frostsikringslag vil de viktigste analysene være;

- Måling av motstand mot nedknusing ved bruk av Los Angeles-metoden, LA-verdi
- Måling av motstand mot slitasje etter micro-Deval- metoden, M_{DE} -koeffisienten
- Kornfordeling ved bruk av sikteanalyser for bestemmelse av korngraderingen
- Kornform ved måling av flisighetsindeks, FI
- Petrografisk analyse
- Måling av motstand mot slitasje etter kulemølle-metoden
- Knusingsgrad [15]

Tabell 3-1 viser minste prøvingshyppighet, og er hentet fra Tabell NA.1 i NS-EN 13242 [11]. En kontrakt kan ha strengere krav til prøvehyppighet enn det som er definert.

Tabell 3-1 Egenskaper som kreves dokumentert for nasjonalt for mekanisk stabiliserte og hydrauliske stabiliserte materialer (minstekrav) [11].

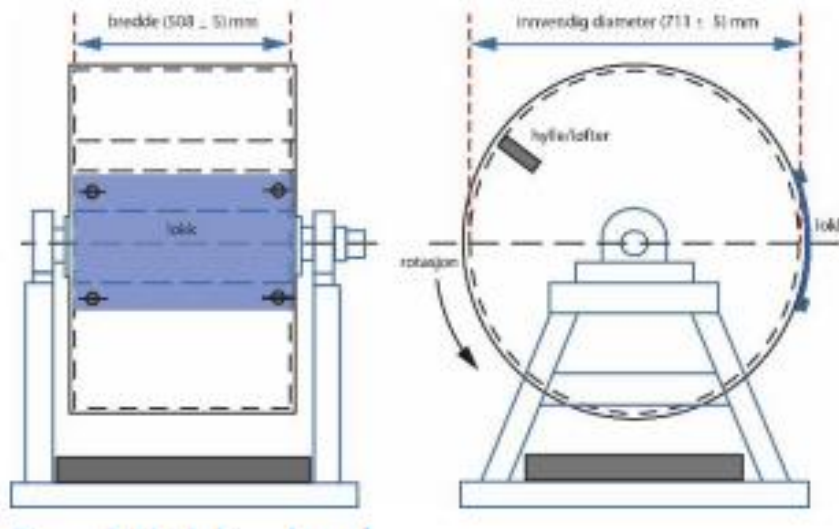
Punkt	Egenskap	Prøvemethode	Merknad	Minste prøvingshyppighet
4.3 inkl. u. punkter	Gradering	NS-EN 933-1	Kategori/ toleranse	1 per uke
4.4	Kornform for grovt tilslag- flisighetsindeks	NS-EN 933-3	Kategori	1 per måned ¹⁾
4.5	Prosentdel av knuste korn	NS-EN 933-5	Kategori	1 per måned
4.6	Finstoffinnhold	NS-EN 933-1	Kategori	1 per uke
5.2	Motstand mot knusing for grovt tilslag (Los Angeles)	NS-EN 1097- 2:1999, punkt 5	Kategori	2 per år
5.3	Motstand mot slitasje for grovt tilslag (micro-Deval) ²⁾	NS-EN 1097-1	Kategori	2 per år

- 1) Prøvingshyppigheten gjelder for knust tilslag. Prøvehyppigheten for naturgrus avhenger av forekomsten og kan reduseres.
- 2) Dokumentasjon av motstand mot slitasje for grovt tilslag ved micro-Deval gjelder kun for materialer til vegbyggingsformål.

3.5.1 Los Angeles-test

Etter innføring av den europeiske standarden brukes det klassifisering av mekanisk styrke etter Los Angeles-test. Testen er tidligere omtalt som en sammensatt abrasjon- og knusetest, og ble tidligere utført på ulike fraksjoner [16]. I dag utføres dem på to fraksjoner [11]. I Norge har Los Angeles-testen vært brukt fra 1999, og fra 2005 erstattet den sprøhetstallet som frem til da var benyttet for å beskrive materialets motstand mot nedknusing [16].

Los Angeles-testen har som hensikt å simulere den samme påkjenningen som tilslaget blir utsatt for når det brukes i en veg. Testen brukes for å tallfeste tilslagets motstandsevne mot nedknusing. Testmaterialet tromles tørt sammen med stålkuler i Los Angeles-apparatur som vist i Figur 3-2. Etter testen gir mengden nedknust materiale et uttrykk for bestandigheten for tilslaget [14].



Figur 3-2 Los Angeles-apparatur som anvendes til testen [14].

Uttrykket er definert som Los Angeles-verdi (LA-verdi), en prosentvis andel av det materialet som er knust ned til mindre enn 1,6 mm etter tromlingen. Det er satt en standard testfraksjon i Norge på 10/14, derfor utføres testmetoden på denne fraksjonen [14].

Motstand mot nedknusing bestemmes og angis ved bruk av Los Angeles-verdien (LA-verdi) som er beskrevet i NS-EN 1097-2:2010 «Prøvningsmetoder for mekaniske og fysiske egenskaper for tilslag – Del 2: Metoder for bestemmelse av motstand mot knusing», punkt 5 [17] og Statens vegvesen håndbok R210 Laboratorieundersøkelser [14]. Los Angeles-prøvemethoden er metoden som brukes for å bestemme motstand mot nedknusing. Den kartlegges ved bruk av kategorien som er angitt i Tabell 3-2, avhengig av sluttbruken [11].

Tabell 3-2 Kategorier for Los Angeles-verdier [11].

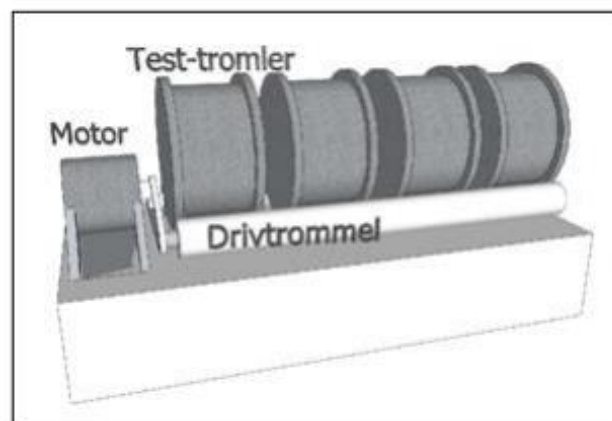
Los Angeles-verdi	Kategori LA
≤20	LA ₂₀
≤25	LA ₂₅
≤30	LA ₃₀
≤35	LA ₃₅
≤40	LA ₄₀
A ₁ > ≤45	LA ₄₅ < A ₁
≤50	LA ₅₀
≤60	LA ₆₀
>60	LA _{Deklaret}
Ingen krav	LA _K

Steinmaterialet klassifiseres etter LA-verdi, og LA-kategori har spredning fra LA₁₅ til LA₆₀ [11]. Den beste klassen er LA₁₅, og det betyr at LA-verdien er mindre eller lik 15. LA₆₀ er den svakeste klassen og har LA-verdien er mindre eller lik 60. Statens vegvesen har i håndbok N200 Vegbygging [18] satt krav til LA-verdien for forsterkingslag og bærelag [19].

Metoden kan gi feilaktig gode resultater for enkelte bergarter som har dårlige slitasjeegenskaper. Basert på erfaringer gjelder dette for sedimentære bergarter, bergarter med høyt innhold av glimmer eller bergarter med kalkinnhold [20].

3.5.2 Micro-Deval-test

Micro-Deval-test gir en verdi som forteller noe om materialets motstandsevner mot abrasiv slitasje [14]. Testen har som hensikt å simulere den slitasjen som et grovt tilslag blir utsatt for i et mekanisk stabilisert bære- og forsterkningslag. Testen kan benyttes til alle typer tilslag. Testmateriellet tromles i vann sammen med stålkuler i en maskin som vist i Figur 3-3.



Figur 3-3 Prinsippkisse for micro-Deval-apparatur [14].

Etter testen uttrykker den bortslitte massen (vekttapet) noe om materialets motstandsevne mot abrasiv slitasje [14]. Uttrykket er definert som micro-Deval-koeffisienten (M_{DE}), prosentvist innhold av det materialet som er mindre enn 2,0 mm etter utført test. Slitesterke materialer har

lave verdier. Det er satt en testfraksjon i Norge på 10/14, foreløpig er det kun denne fraksjonen det stilles krav til [14].

Motstand mot slitasje for grovt tilslag bestemmes og angis ved bruk av micro-Deval-koeffisienten (M_{DE}) som er beskrevet i NS-EN 1097-1 «Prøvningsmetoder for mekaniske og fysiske egenskaper for tilslag - Del 1: Bestemmelse av motstand mot slitasje (micro-Deval)» [21] og Statens vegvesen håndbok R210 Laboratorieundersøkelser [14]. Micro-Deval-prøvemethoden benyttes for å bestemme motstand mot slitasje. Den kartlegges ved bruk av kategorien som er angitt i Tabell 3-3, avhengig av sluttbruken [11].

Tabell 3-3 Kategorier for micro-Deval-koeffisienter [11].

Micro-Deval-koeffisient	Kategori M_{DE}
≤15	M_{DE15}
≤20	M_{DE20}
≤25	M_{DE25}
≤30	M_{DE30}
≤35	M_{DE35}
≤40	M_{DE40}
≤45	M_{DE45}
≤50	M_{DE50}
>50	M_{DE} Deklarert
Ingen krav	M_{DEK}

Steinmaterialet klassifiseres etter micro-Deval-koeffisienten, og micro-Deval-kategori har spredning fra M_{DE15} til M_{DE50} [11]. Den beste klassen er M_{DE15} , det betyr at micro-Deval-koeffisienten er mindre eller lik 15. M_{DE50} er den svakeste klassen, og har micro-Deval-koeffisienten er mindre eller lik 50. Statens vegvesen har i håndbok N200 Vegbygging [18] satt krav til micro-Deval-koeffisient for forsterkingslag og bærelag [19].

3.5.3 Flisighetsindeks

Flisighetsindeksen sier noe om kornformen til et grovt tilslag. Flisighet beskriver forholdet mellom bredde og tykkelse på korn. Et korn som er spesielt flisig vil være et relativt flatt korn [10].

Flisighetsindeksen gjelder for tilslagskorn i fraksjonen 4-100 mm. Det benyttes sikting med kvadratsikter og stavsikter. Den totale flisighetsindeksen beregnes som den totale massen av korn som har passert gjennom stavsiktene. Tallet er prosent av prøvens totale tørrmasse [18].

Kornformen beskriver den geometriske formen til et korn. For å beskrive kornet benyttes tre hovedformer; kubisk, flisig og stenglig. Det er gunstig for mekaniske egenskaper til tilslaget med en kubisk form på kornene, mens det er ugunstig med høy andel flisig og stenglige korn.

Bergartsegenskapene til et tilslag har innvirkning på kornformen, men også knuseteknikkene innvirker på kornformen. Kornformen til grovt tilslag beskrives gjennom flisighetsindeksen, mens for sandfraksjoner er det ikke krav til kornform [1].

Formen på grovt tilslag, skal når det kreves, bestemmes som flisighetsindeks, som er angitt i NS-EN 933-3 «Prøvningsmetoder for geometriske egenskaper for tilslag - Del 3: Bestemmelse av

kornform – Flisighetsindeks» [22]. Flisighetsindeksen er referanseprøvingen som brukes for å bestemme formen på grovt tilslag. Den skal kartlegges ved bruk av kategorien som er angitt i Tabell 3-4, avhengig av sluttbruken [11].

Tabell 3-4 Kategorier for flisighetsindeks [11].

Flisighetsindeks	Kategori FI
≤20	FI ₂₀
≤35	FI ₃₅
≤50	FI ₅₀
>50	FI _{Deklarert}
Ingen krav	FI _k

3.5.4 Petrografisk analyse

Naturlig tilslag som sand, grus og knust berg er viktige bestanddeler i mange bygningsmaterialer. Tilslagsmaterialets geologiske sammensetning vil ha betydning for sluttproduktet [15]. Gjennom å utføre en forenklet petrografisk analyse vil det gi nyttig informasjon om geologiske faktorer. Metoden gir ingen detaljkunnskap om petrografi. Den kan brukes til å identifisere kornform, eventuelle belegg på bergartskornene, forvitring eller om de er forurenset. Det er mulig å indentifisere hvilke mineraler som finnes og hvilken bergart som er representert i testmaterialet [15].

Dersom det kreves en mer nøyaktig mineral- og bergartsbestemmelse kan det brukes en tynnslipsanalyse med mikroskopering. Tynnslip er en analyse hvor et cirka 0,03 mm tykt snitt med bergart ellet et annet mineral festes til et objektglass. Med så tynne prøvematerialer vil de fleste bergartsdannende mineraler være gjennomsiktige. Slik vil det være mulig å kunne bestemme mineralene ut fra de optiske egenskapene, det brukes et polarisasjonsmikroskop [23]. Det er også mulig å studere mineralorientering og tekstur ved bruk av tynnslip.

Det finnes andre metoder som tar for seg andre spesifikke forhold som kan ha innvirkning på sluttproduktet. Det kan være bestemmelse av mengden fri glimmer samt grad av runding på korn og slam- og skjellinnhold [15]. Utførelse av petrografisk analyse gjøres i henhold til standarden NS-EN 932-3 «Prøvningsmetoder for generelle egenskaper for tilslag, Del 3: Prosedyre og termologi for forenklet petrografisk beskrivelse» [24].

3.5.5 Sikteanalyse

Graderingen av partiklene er en viktig egenskap i et tilslag, da det påvirker egenskapene til materialet og til sluttproduktet. Gjennom bruk av riktig utstyr og prosedyrer i produksjonen kan graderingen overvåkes, kontrolleres og justeres. Andre faktorer som påvirker graderingen av tilslaget negativt er lagring og transport [1].

Graderingen bestemmes ved bruk av siktekurve. Tilslaget siktes da gjennom sikter med kvadratiske duker med standard maskevidder. Etter sikting veies det som er igjen i hver sikt, og man får en siktekurve [25]. Siktekurven beskriver vektfordelingen i partikkelstørrelsene. Rette siktekuver beskriver at det sammenliknet med vekt er like mye materiale i hver fraksjon. Tilslagets korn vil være godt pakket, og det er lite hulrom mellom dem [1]. Siktekurver utføres i henhold til

beskrivelser og metoder som er definert i NS-EN 933-1 «Prøvemeter for geometriske egenskaper for tilslag-Del 1: Bestemmelse av kornstørrelsesfordeling-Sikteanalyse» [25].

3.6 Aktuelle standarder for tilslag

Flere standarder er aktuelle som godt teoretisk bakgrunnsmateriale for denne oppgaven. Standardene som er brukt i denne oppgaven er et felles europeisk regelverk for prosjektering av bygg- og anleggsarbeid. De har som hensikt å sikre en forsvarlig utførelse av alt arbeid i alle ledd. Resirkulert tilslag er inkludert i alle NS-EN standarder som beskriver naturlig tilslag [2]. Følgende standarder benyttes:

NS-EN 13242:2002+A1:2007+NA:2009- «Tilslag for mekaniske stabiliserte og hydraulisk stabiliserte materialer til bruk i bygg- og anleggsarbeid og vegbygging» [11]. Omhandler tilslag og spesifiserer egenskaper som oppnås ved produksjon av naturlig, industrielt og resirkulert tilslag. Gjelder for tilslag brukt som mekanisk stabiliserte og hydraulisk stabiliserte materialer til bygg- og anleggsarbeid og vegbygging. Standarden inneholder geometriske, fysiske og kjemiske krav [11].

NS-EN 933-1:2012 «Prøvemeter for geometriske egenskaper for tilslag-Del 1: Bestemmelse av kornstørrelsesfordeling-Sikteanalyse» [25]. Omhandler metoder for hvordan vaske og tørke tilslag, bestemmelser for kornstørrelsesfordelingen og geometriske egenskaper for tilslag.

NS-EN 1097-2:2010 «Prøvmeter for mekaniske og fysiske egenskaper for tilslag – Del 2: Metoder for bestemmelse av motstand mot knusing» [17]. Omhandler referansemeteren Los Angeles-testen, som brukes for å bestemme motstand mot nedknusing av grovt tilslag. Standarden gjelder for naturlig-, industrielt fremstilt- og resirkulert tilslag som skal brukes i bygg- og anleggsarbeid [17].

NS-EN 1097-1 «Prøvmeter for mekaniske og fysiske egenskaper for tilslag - Del 1: Bestemmelse av motstand mot slitasje (micro-Deval)» [21]. Omhandler testmetoden micro-Deval, som brukes for å bestemme motstand mot slitasje av tilslag. Standarden gjelder for naturlig, industrielt fremstilt og resirkulert tilslag som skal brukes i bygg- og anleggsarbeid [21].

NS-EN 933-3 «Prøvmeter for geometriske egenskaper for tilslag - Del 3: Bestemmelse av kornform – Flisighetsindeks» [22]. Omhandler metoder og prosedyrer for bestemmelser av kornform, flisighet. Metoden gjelder for grovt tilslag, 4-100 mm.

NS-EN 932-3 «Prøvmeter for generelle egenskaper for tilslag, Del 3: Prosedyre og termologi for forenklet petrografisk beskrivelse» [24]. Omhandler metoder og prosedyrer for å bestemme; kornform, eventuelle belegg på bergartskornene, forvitring eller om de er forurenset.

3.7 Aktuelle håndbøker

Flere håndbøker er aktuelle for denne oppgaven for å kunne danne en god teoribakgrunn. Det er spesielt håndbøkene til Statens vegvesen som har bidratt med nyttig kunnskap.

Statens vegvesen håndbok R210 Laboratorieundersøkelser [14], Metodebeskrivelser som forteller hvordan laboratorieanalysene skal utføres. Håndboken er en samlet beskrivelse av mange aktuelle analyser. Boka gir en god og tydelig metodebeskrivelse, særlig der hvor standardene er tungt fremstilt og har flere valgmuligheter. Metodebeskrivelsene er dannet på det grunnlaget som er gjeldende standarder for håndbokens utgivelsestidspunkt [14].

Statens vegvesen håndbok N200 Vegbygging [18], Utarbeidet med hjemmel i Samferdselsdepartementets forskrifter. Inneholder grunnlaget for all planlegging, dimensjonering og bygging av veg og er beregnet på hele det faglige miljøet i Norge, særlig rettet mot Statens vegvesens arbeid [18].

3.8 Andre studier og prosjekter

Følgende er oversikt over tidligere utførte studier, benyttet som grunnlag i denne oppgaven. På bakgrunn av problemstilling har jeg funnet frem til disse aktuelle prosjektene:

3.8.1 RESGRAM

RESGRAM (Utvikling av resirkulert tilslag fra byggavfall og gravemasser til bruk i vegbygging og betongproduksjon) er et pågående prosjekt som varer ut 2020. Prosjektet har fokus på tilslag produsert fra grave- og byggavfall [2]. RESGRAM vil bidra til en sirkulær økonomi som er en viktig del av Regjeringens fokusområde for klima- og miljøvennlig omstilling, det grønne skifte. SINTEF har ønske om å bidra i denne tematikken, og ønsker å samle fagmiljøer i en langsiktig plan på tvers av organisasjoner for å bidra til sirkulær økonomi [2].

Flere demonstrasjonsprosjekt er planlagt og utført ved bruk av resirkulert tilslag. Et testprosjekt har undersøkt støp av betonggulv med 100 % resirkulert tilslag i 2019, og det er et planlagt testprosjekt hvor resirkulert tilslag skal benyttes i rørgrøft og vegkropp [2]. Resirkulert tilslag som materiale i rørgrøft er vurdert med hensyn på tidligere erfaringer og eksisterende kunnskap. Tilslag produsert fra grave- og byggavfall er testet i henhold til bunden og ubunden bruk, og har oppnådd tilfredsstillende resultater.

Rapporten er aktuell da den vurderer resirkulert tilslag produsert fra grave- og byggavfall og har høyt fokus på sirkulær økonomi. Det er lite dokumentert arbeid innenfor feltet, så selv om dette er et pågående prosjekt er det viktig å ta med de resultatene og funnene som er gjort så langt [2].

3.8.2 Sustainable management of excavated soil and rock in urban areas

Magnusson et al. har i denne artikkelen [26] fra 2015 undersøkt hvordan utbygging og forvaltning av byggematerialer blir håndtert. De ser på materialstrømmen for urbane prosjekter, for at det skal være større ressursutnyttelse og mer bærekraftig i bransjen. Hensikten med studiet er å lage en fremstilling av litteraturen og bransjepraksisen.

Gravemasser med innhold av jord og stein blir ofte levert til deponi, selv om dette er materialer som kan brukes til høykvalitetsformål. Det er funnet lite litteratur og kunnskap på hvordan gravemasser utnyttes i urbane områder, det er mer fokus på materialstrømmer fra byggematerialer [26]. Det er liten oversikt over hvor store mengder med gravemasser som blir

generert, eller hva som skjer med disse massene. Det er tydelig at massene blir levert til deponi, og at gjenvinningsgraden er lav. Det er behov for å vurdere gravemasser som en viktig ressurs, og vurdere potensialet som konstruksjonsmateriale [26].

Behovet er stort for ressurseffektivitet og reduksjon av klimabelastende utslipp for å bidra til en bærekraftig utvikling. Økt gjenbruk av gravemasser og stein til byggearbeid kan bidra til å redusere både kostnader og klimabelastninger ved mindre transport, deponering og at råvareuttakene reduseres. Det er behov for mer forskning for å tydeliggjøre både de miljømessige og de økonomiske fordelene, da dagens litteratur er for mangelfull når det gjelder bruk og omfang av gravemasser [26].

Artikkelen konkluderer med at den regionale styringen for byggematerialer og gravemasser kan ha utbytte av koordinering og strategisk planlegging i en tidlig fase. Dette er viktig for den fremtidige etterspørselen og tilgjengeligheten av materialet. Både for byggeprosjekter og for å øke og å endre forholdene for gjenbruk er dette viktig. Det er et behov for å øke bruken og bruksområder for gravemasser og stein, og å inkludere dette som en ressurs [26].

4 Forskerspørsmål

Basert på oppgavebeskrivelse, litteraturgjennomgangen i kapittel 3 og i samarbeid med veiledere, er forskerspørsmålet og underspørsmål for masteroppgaven *Nytt resirkulert tilslag produsert fra grave- og byggavfall* som følger:

Hvordan dokumentere at resirkulert tilslag produsert fra grave- og byggavfall er egnet materiale for vegbygning?

1. Hvilke variasjoner viser testresultatene i motstand mot nedknusing?
2. Hvilken sammenheng er det mellom egenskaper til bergarter i gravemasser og motstand mot nedknusing?
3. Hvilke testmetoder bør benyttes for å dokumentere tilslagetets kvalitet?
4. Hvorfor er resirkulert tilslag produsert fra grave- og byggavfall en viktig ressurs?

4.1 Avgrensninger

Følgende avgrensninger settes for oppgaven:

- Det er kun resirkulert og naturlig tilslag fra Velde som er testet
- Det er kun fokusert på mekaniske egenskaper til tilslaget
- Resirkulert tilslag til bruk i betong vurderes ikke i denne oppgaven

5 Case

Det skal undersøkes hvor mye de mekaniske egenskapene for resirkulert tilslag produsert fra grave- og byggavfall varierer. For gjennomføring og analysing av testene brukes relevante standarder samt Statens vegvesens håndbøker. Alle tester utføres etter prosedyrene som er beskrevet i underlaget. Los Angeles-metoden benyttes for å dokumentere og tallfeste verdien for motstand mot nedknusing. Testen utføres på resirkulert tilslag produsert fra grave- og byggavfall i fraksjon 4/16 og på naturlig knust tilslag i fraksjon 8/16. Tester utføres på naturlig knust tilslag for å gi et sammenligningsgrunnlag mot resirkulert tilslag produsert fra grave- og byggavfall.

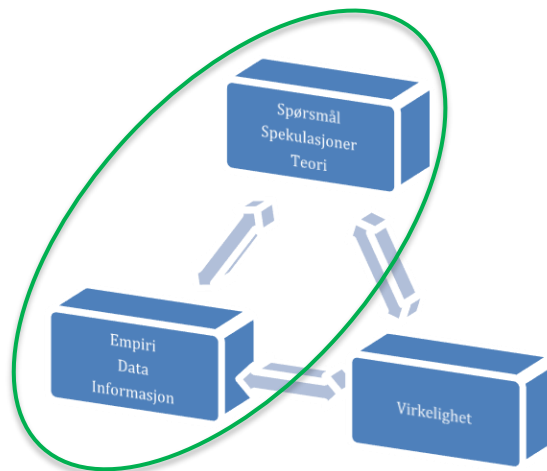
Velde AS er leverandør av pukk, asfalt og betong i Rogaland. De satser stort på gjenvinningsprodukter og de planlegger og jobber langsiktig for å begrense miljøbelastningene fremover. Velde AS er en stor produsent av naturlig knust tilslag og resirkulert tilslag. Naturlig knust tilslag er produsert fra bergarten lys granitt, og resirkulert tilslag fra gravemasser er produsert i en våtprosess ved gjenvinningsanlegget. Velde jobber for en bærekraftig og miljøvennlig produksjon av råvarer. Gjenvinning av materialer står sentralt i deres verdikjede [27].

Prøver er tatt ut fra anlegget hos Velde i perioden oktober til desember 2019. Disse prøvene er notert som dagsprøver. 25 dagsprøver er hentet ut på forskjellige dager i denne perioden; 18 prøver med resirkulert tilslag og 7 prøver med knust naturlig tilslag. Dagsprøvene er levert til Universitet i Agder i tre batcher. Hver dagsprøve har en vekt mellom 22-50 kg.

For å danne et godt datagrunnlag skal det utføres Los Angeles-tester på laboratoriet ved Universitet i Agder. Velde AS skal i tillegg utføre Los Angeles-test og micro-Deval-test på de samme dagsprøvene på sitt laboratorium. Resirkulert tilslag produsert fra grave- og byggavfall må oppfylle de samme kravene som naturlig knust tilslag. Det er sendt dagsprøver til SINTEF, hvor det skal utføres petrografisk analyse for å se på innholdet og sammensetningen av tilslagsmaterialet.

6 Metode

Ifølge Dag Ingvar Jacobsen sin bok «Hvordan gjennomføre undersøkelser?» [28] er hensikten med forskning å frembringe gyldig og troverdig kunnskap om virkeligheten. I vitenskapen kalles informasjon om virkeligheten for empiri. For å gjennomføre dette må forskeren ha en strategi for hvordan vedkommende skal gå frem. Dette utgjør en *metode*. Metodens domene konsentrerer seg om det som er ringet inn i Figur 6-1. Metodekapittelet beskriver alle de metodene som er brukt for å kunne besvare forskerspørsmålet.



Figur 6-1 Sammenheng mellom virkelighet, empiri og teori [28].

Ifølge Jacobsen [28] utgjør undersøkelsene metoder for å samle inn empiri, hvorav det er to krav som bør tilfredsstilles;

- 1) Empirien må være gyldig og relevant (valid)
- 2) Empirien må være pålitelig og troverdig (reliabel)

At empirien må være gyldig og relevant betyr at empirien som samles inn, faktisk gir svar på forskerspørsmålene som er stilt. Med pålitelighet og troverdighet menes det at undersøkelsen må være til å stole på, at det som fremkommer må være troverdig og vekke tillit [28].

6.1 Fremgangsmåte

Problemstillingen og temaet for oppgaven er utgangspunktet ved oppstart av litteratursøket. For å kunne komme frem til og å kunne svare på forskerspørsmålet er det nødvendig å innhente informasjon om temaet. Følgende metoder er benyttet for å undersøke dette:

Litteraturstudiet blir brukt som grunnlag til en tilfredsstillende teoribakgrunn og for å finne kunnskapshull. Gjeldende standardverk og Statens vegvesens håndbøker er brukt for finne prosedyrer for testmetoder og materialkrav for tilslag. Kvantitativ metode i form av Los Angeles-test er utført etter Statens vegvesen håndbok R210 Laboratorieundersøkelse [14] og NS-EN 1097-

2:2010 «Prøvemethoder for mekaniske og fysiske egenskaper for tilslag» [25]. Det ble utført XRD-analyse for å finne mineralsammensetningen til det nedknuste materialet etter utført Los Angeles-test.

Resultater fra Velde er innhentet for de mekaniske egenskapene (Los Angeles- og micro-Deval), og fra SINTEF for petrografiske analyse. De har testet materialer som er fra samme uttaket som dagsprøvene jeg har testet. Det er innhentet resultater fra Los Angeles- og micro-Deval-tester fra et pågående forskningsprosjekt på UiA.

Litteraturstudie er brukt for å finne tilstrekkelig informasjon til å kunne svare på forskerspørsmålet og underspørsmålene. Når alle resultatene var fremstilt, ble funnene analysert og diskutert med hensyn på litteraturen og hverandre, og som resulterer i konklusjonen og anbefalinger til videre arbeid.

6.2 Valg av problemstilling

Temaet for denne oppgaven er *nytt resirkulert tilslag produsert fra grave- og byggavfall*. Som utgangspunkt for enhver empirisk undersøkelse må en ha et tema. Basert på valgt tema må en problemstilling utformes. Problemstillingen skal avgrense fokuset og bidra til å utarbeide hvilken metode som skal brukes for å samle inn empiri. Denne oppgavens overordnede forskerspørsmål er:

Hvordan dokumentere at resirkulert tilslag produsert fra grave- og byggavfall er egnet materiale for vegbygning?

I følge Jacobsen [28] kan de sentrale komponentene i problemstillingen brytes ned til følgende elementer:

- Hva er vi interessert i?
 - *Dette vil være undersøkelsens variabler*
- Hvem er vi interessert i?
 - *Dette omhandler de enhetene som vi ønsker å undersøke*
- Hvor skal undersøkelsen finne sted?
 - *Avgrensning av de fysiske rammene*
- Når skal undersøkelsen finne sted?
 - *Avgrensning i tid*

Hva og hvem elementene er med på å danne kjernen av problemstillingen. Elementene som tar for seg tid og rom danner rammen for undersøkelsen.

- *Hva* som skal undersøkes, er resirkulert tilslag produsert fra grave- og byggavfall
- For denne undersøkelsen vil *hvem* være selve tilslaget og de materialtekniske egenskapene.
- Når det gjelder *hvor* undersøkelsen finner sted, så er det ikke relatert til et geografisk område, men alle norske bygg- og anleggsprosjekter som bruksområde

- Undersøkelsen i *tid* plasseres til høsten 2019 og våren 2020

For å utforske temaet undersøkes de potensielle bruksområdene og mekaniske egenskapene til resirkulert tilslag. For å konkretisere oppgaven har vi kommet frem til følgende underspørsmål til det overordnede forskerspørsmålet:

1. Hvilke variasjoner viser testresultatene i motstand mot nedknusing?
2. Hvilken sammenheng er det mellom egenskaper til bergarter i gravemasser og motstand mot nedknusing?
3. Hvilke testmetoder bør benyttes for å dokumentere tilslagets kvalitet?
4. Hvorfor er resirkulert tilslag produsert fra grave- og byggavfall en viktig ressurs?

Samtidig som vi jobber med problemstillingen vil det skje en utvikling. Det kan være behov for å inkludere nye variabler. I følge Jacobsen [28] bør det settes opp tre krav som problemstillingen skal tilfredsstille før man går i gang med en empirisk undersøkelse. De tre kravene omhandler;

Problemstillingen skal være spennende. Det innebærer at vi som skal gjennomføre undersøkelsen ikke i forkant kjenner til resultatet. Undersøkelsen bør inneholde overraskende resultater, om ikke vil undersøkelsen bli overflødig. Hvem problemstillingen er spennende for er ganske snevert, men om den som undersøker syntes det er spennende og nytt kan det være nok [28].

Problemstillingen skal være enkel og vil veldig ofte gi de beste resultatene. Det kan ofte være fristende å prøve å ta med «alt», men det kan bidra til å ødelegge undersøkelsen fordi man ikke klarer å dekke alt og man mister oversikten hva som er viktig og uviktig. Ingen forskningsprosjekter bør prøve å dekke hele virkeligheten, men heller ha som mål å dekke en flik av den. Problemstillingen bør være så godt snevret inn som mulig [28].

Problemstillingen skal være fruktbar, og kan gjerne deles i to deler. Første del er at den kan undersøkes empirisk. Andre del bør være at problemstillingen tilfører ny kunnskap. Det betyr ikke at det skal være noe helt nytt og revolusjonerende, men at det bygger på tidligere forskning og dermed tilfører noe nytt der. Det vil da være med på å bygge en kumulativ kunnskap, men det kan også være en ikke-kumulativ som avkrefter det som er funnet tidligere [28].

Problemstillingen for denne oppgaven er spennende fordi resultatet ikke nødvendigvis er kjent før undersøkelsen. Det er mulig å undersøke empirisk. Kunnskapen som er samlet inn er ikke nødvendigvis ny, men bygger på tidligere forskning og regelverk. Empirien samles på én plass og undersøkes for å finne utfordringer og muligheter. Problemstillingen i denne undersøkelsen er uklar da det er et tema som det finnes relativt lite samlet kunnskap om fra tidligere.

6.3 Laboratorieforsøk

Kvantitativ metode i form av laboratorieforsøk er utført hvor hensikten er å simulere påkjenningen som tilslaget blir utsatt for når det brukes i vegkonstruksjonen. Dette bidrar til å dokumentere de materialtekniske egenskapene til tilslaget. For å dokumentere motstand mot nedknusing er det utført Los Angeles-tester. Denne testen er valgt for å kunne gjennomføre en

rekke tester på laboratoriet til UiA for å kartlegge om det er stor spredning i LA-verdi i de forskjellige dagsprøvene. Bakgrunnsinformasjon om metoden er beskrevet i kapittel 3.5.1.

Los Angeles-metoden er utført på 25 prøver som er levert av Velde AS. Prøvene er hentet ut fra anlegget mellom oktober 2019 og desember 2019. Antallet av prøver og spredning i uttaksdatoene er valgt for å gi et godt datagrunnlag for oppgaven.

6.3.1 Utstyr til Los Angeles-test

For å gjennomføre en Los Angeles-test benyttes det en Los Angeles-maskin med et innebygd telleverk som vist i Figur 6-2, et LA-siktesett, vekt med høy nøyaktighet, stålkuler og tørkeskap. Siktesett og kuler skal være i henhold til beskrivelse i Statens vegvesen håndbok R210 Laboratorieundersøkelser [14].



Figur 6-2 Los Angeles-test maskin med innebygd telleverk [29]

6.3.2 Forberedelser av testmaterialet

Resirkulert tilslag produsert fra grave- og byggavfall, er levert i fraksjon 4/16, og er notert med RNA videre i tabeller og prøver. Naturlig knust tilslag er levert i fraksjon 8/16, og er notert med NA videre i tabeller og prøver.

Testmaterialet må tørkes til konstant massevekt. Dette gjøres etter beskrivelser i NS-EN 933-1 «Prøvemethoder for geometriske egenskaper for tilslag-Del 1» [25], og avkjøles til romtemperatur før det siktes over til 10/14 fraksjonen, standard testfraksjon [17].

Sikting over til testfraksjonen gjøres med LA-siktene og gjøres etter prosedyrebeskrivelse etter Statens vegvesen håndbok R210 Laboratorieundersøkelser [14] og NS-EN 1097-2:2010 [17]. Siktesettet er satt sammen av tre kvadratiske sikter; 10,0 mm, 12,5 mm, 14,0 mm og topplokk og bunnpanne, som vist Figur 6-3. 2,5 kg tilslag legges i på toppen, og settet festes til siktemaskinen og vibreres i ti minutter [14].



Figur 6-3 Siktesett for sikting til LA-fraksjon 10/14 [29].

Etter utført sikting deles det i delfraksjoner. I Figur 6-4 er det de to i midten som skal brukes videre; fraksjon 10,0-12,5 mm og 12,5-14,0 mm legges i separate beholdere mens de to fraksjonene som er <10,0 mm og >14,0 mm ikke inngår i LA-testen. Når alt testmaterialet er siktet må det vaskes og tørkes til konstant massevekt [25] og avkjøles til romtemperatur [14].



Figur 6-4 Siktesett med alle delfraksjonene etter utført sikting [29].

6.3.3 Utførelse av Los Angeles-test

For å utføre testen settes testmaterialet sammen av to delfraksjoner; 10,0-12,5 mm og 12,5-14,0 mm. Materialprøven skal veie 5000 gram \pm 5 gram. Fraksjon 10,0-12,5 mm skal veie 3250 gram (65%) og 12,5-14,0 mm skal veie 1750 gram (35%), utført i henhold til Statens vegvesen håndbok R210 Laboratorieundersøkelser [14].

Oppveid testmateriale, 5000 gram \pm 5 gram, legges i Los Angeles-maskinen, som vist i Figur 6-2, sammen med 11 stålkuler. Stålkulene har en diameter på 45-49 mm, og hver kule veier mellom 400-445 gram. Samlet vekt ligger mellom 4690-4860 gram. Lokket festes og maskinen skal gå 500 omdreininger, ca. 15-16 minutter. Deretter tippes prøven over i en stålbakke som står plassert

under LA-maskinen, som vist i Figur 6-5, og stålkulene fjernes. Det er viktig at alt som er i trommelen blir tatt med.



Figur 6-5 Stålbakke under LA-maskinen og stålkulene [29].

Prøven tørresiktes før den våtsiktes i henhold til Standarden NS-EN 1097-2:2010 [17].

Testmaterialet som er $\geq 1,6$ mm tørkes til konstant massevekt, etterpå avkjøles testmaterialet til romtemperatur før det veies. Vekten på prøven, massen (m) skal oppgis i hele gram og brukes i formel (1) [14].

$$LA = \frac{(5000 - m)}{50} \quad (1)$$

6.3.4 Sikteanalyse

Det er laget siktekurver av alle materialprøvene. Prøvene er utført i henhold til NS-EN 933-1:2012 [25]. Dette gjelder for både resirkulert og knust naturlig tilslag. Det er også laget siktekurver av fraksjonen som er $\geq 1,6$ mm etter utført Los Angeles-test.

Det er lik prosedyre for begge siktekurvefremstillingene. For å lage en siktekurve blir det tatt ut 1000 gram med tørt materiale, både for mottatt resirkulert tilslag, knust naturlig tilslag og fra materiale som er $\geq 1,6$ mm etter Los Angeles-test. Det settes sammen et siktesett med flere sikter med kvadratiske standard maskevidder, hvor størrelsene er vist i Tabell 6-1 for mottatt materiale og i Tabell 6-2 for prøvemateriale etter Los Angeles-test.

Siktesettet med tilslag siktes i ti minutter. Deretter veies hver enkelt fraksjon for seg, og plottes inn i et regneark for en grafisk fremstilling av siktekurvene. Siktekurvene viser en grafisk fremstilling av vektfordelingen mellom fraksjonene i prøvene [1].

Tabell 6-1 Tabell for siktekurver for mottatt tilslag [30].

gram	gram	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
Vekt	Kontroll	22,4	16	11,2	8	2	0,25	0,063

Tabell 6-2 Tabell for siktekurver for prøvemateriale etter Los Angeles-test [30].

gram	gram	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
Vekt	Kontroll	16	11,2	8	4	2	1	0,5	0,25	0,125

6.3.5 Prøverapport for Los Angeles-test

For hver prøve lages det en prøverapport som inneholder referanser til standarden NS-EN 1097-2:2010 «Prøvingsmetoder for mekaniske og fysiske egenskaper for tilslag – Del 2: Metoder for bestemmelse av motstand mot knusing» [17]. Prøverapport skal inneholde; sted, dato for prøveuttak, hvilke materialer og fraksjoner som er testet, hvilke laboratorium som har utført testene, dato for analysen, oppnådd LA-verdi og eventuelle avvik [14]. Prøverapportene ligger i vedlegg 12.1.

6.3.6 Røntgendiffraksjon (XRD-analyse)

Informasjon om røntgendiffraksjon (XRD-analyse) er beskrevet i kapittel 7.3.4. Etter hver LA-test utført på laboratoriet ble materialet som var <1,6 mm plassert i prøvepose, og merket med dagsprøvenavnet og når prøven var tatt. Alle prøveposer ble satt på ett oppbevaringslager til alle testene var fullført. Figur 6-6 viser hvordan finstoffet ser ut etter en LA-test.



Figur 6-6 Prøvematerialet etter LA-test som er mindre enn 1,6 mm [29].

Når alle testene var fullført, tok jeg et valg på hvilke prøver som var interessante å undersøke videre med XRD. To relevante prøver med naturlig knust tilslag og tre relevante prøver med resirkulert tilslag ble sendt til SINTEF i Oslo for utførelse av XRD-analyse. Målet med å utføre en

slik analyse er å kunne dokumentere hvilke mineraler som blir nedknust under LA-testen. Resultatene etter XRD-analysen blir presentert i kapittel 7.1.3.

6.3.7 Fremstilling av resultater

Resultatene fra Los Angeles-testene og sikteanalysene blir plottet i et regneark for å lage grafiske fremstillinger av tabeller, siktekurver og oversikter.

6.4 Eksterne laboratorieforsøk

For å få et tilstrekkelig datagrunnlag har jeg samlet inn data fra andre som har utført mekaniske testmetoder og petrografiske analyser.

Velde AS har utført parallelle tester av prøvematerialet som er testet ved Universitet i Agder. Velde AS har på sitt laboratorium utført Los Angeles-test og micro-Deval-test på de samme dagsprøvene. Prøveresultatene fra Velde AS er mottatt som testresultater med tilhørende prøverapporter i vedlegg 12.3. For å få oversikt over Velde AS sine resultater, og for å sammenligne med testene fra Universitet i Agder, er LA-verdiene og M_{DE} -koeffisientene til Velde fremstilt i egne tabeller i kapittel 7.2.1. Tabellene er delt opp i tre deler; batch 1, batch 2 og batch 3 etter leveransene.

SINTEF har mottatt testmaterialet fra de samme dagsprøvene som Universitet i Agder og Velde AS. SINTEF har for RESGRAM prosjektet [2] utført en petrografisk karakterisering ved bruk av stereomikroskop [31] hvor hensikten er å definere hva som er i sammensetningen til tilslagsmaterialet. Prøveresultatene er mottatt som en rapport fra den petrografiske karakteriseringen og ligger i vedlegg 12.4. Informasjonen om innholdet i prøven er fremstilt i egne tabeller for å danne en oversikt over de enkelte dagsprøvene. Tabellene er delt opp i tre deler; batch 1, batch 2 og batch 3 etter leveransene.

Ved et pågående forskningsprosjekt ved Universitet i Agder, er det utført mange tester av mekaniske egenskaper på en rekke ulike tilslagsmaterialer. Det er utført både Los Angeles-metoden og micro-Deval-metoden. Et utdrag av resultatene fra forskningsprosjektet har jeg hentet ut fra et regneark som er oversendt per mail 16 april 2020 [32]. Resultater og materialer som er interessant i forhold til sammensetningene er trukket ut og presentert i egne tabeller.

6.5 Litteraturstudie

Litteraturstudiet har som hensikt å øke kunnskapen, finne tidligere studier og resultater som er relatert til oppgaven. Dette er en viktig innsamling av data for å kunne skrive teoribakgrunnskapittelet som danner grunnlaget for forskerspørsmålet og forståelsen av oppgaven. I tillegg skal litteraturen beskrive og underbygge det som skal undersøkes igjennom oppgaven.

I litteraturstudiet er det hentet litteratur fra anerkjente utgivere som Statens vegvesen sine håndbøker, Standard Norge, SINTEF og Byggforskserien. Det er utført søk etter aktuell litteratur med søkemotorer som Google Scholar, ScienceDirect.com og Oria.no. Alle kilder er vurdert med hensyn på når de er skrevet, hvem som har skrevet litteraturen, hvem som er mottaker og hvor

litteraturen er publisert. Litteraturen som er valgt blir presentert i teoribakgrunnskapittelet som grunnlag for oppgaven og i resultatkapittelet som resultater og funn.

For å komme frem til bakgrunnsteori og oppbygning mot forskerspørsmål er det benyttet blant annet følgende søkeord:

- Resirkulert tilslag
- Uttaks områder for pukk
- Materialgjenvinning
- Tilslagsmaterialer
- Mekaniske egenskaper
- Mechanical properties
- Analysemetoder for tilslag
- Los Angeles-test
- Micro-Deval-test
- Petrografisk analyse
- Flisighetsindeks
- Sikteanalyse
- Laboratorieundersøkelser for tilslag
- Graveavfall
- Byggavfall
- Excavated soil

For å kunne svare på forskerspørsmålet er det benyttet blant annet følgende søkeord:

- Testmetoder for tilslag
- Diffraction XRD
- Mineralogi
- Bergarter
- Mekaniske egenskaper
- Mechanical properties
- Fyllitt
- Phyllite
- Mineralsammensetninger

7 Resultat

I dette kapittelet presenteres først resultater fra Los Angeles-testene fra egne forsøk og XRD-analysen i 7.1. Resultater fra eksterne laboratorieforsøk presenteres i 7.2. Til slutt er resultatene fra litteraturstudiet presentert i 7.3.

7.1 Resultater laboratorieforsøk

Naturlig knust tilslag er notert med NA 8/16 og et prøvenummer, og resirkulert tilslag produsert fra grave- og byggavfall er notert med RNA 4/16 og et prøvenummer som referanse.

Batch 1 er dagsprøver for tilslag tatt ut hos Velde fra 09.10.19 til 17.10.19

Batch 2 er dagsprøver for tilslag tatt ut hos Velde fra 29.10.19 til 06.11.19

Batch 3 er dagsprøver for tilslag tatt ut hos Velde fra 19.11.19 til 05.12.19

7.1.1 Variasjon i mekanisk styrke (Los Angeles)

Resultatene og laboratorierapporter fra Los Angeles-testene ligger i vedlegg 12.1. Resultatene fra forsøkene utført på laboratoriet ved Universitet i Agder, er fremstilt i tabeller.

Batch 1 i Tabell 7-1

Batch 2 i Tabell 7-2

Batch 3 i Tabell 7-3

Noen av dagsprøvene er notert med a og b etter prøvenummeret, det betyr at det er tatt ut to dagsprøver samme dag, men forskjellig tidspunkt på uttaket. For noen dagsprøver er det utført to LA-tester av samme prøven, de er notert med 1 og 2 etter prøvenavnet. Prøvenumrene er satt opp etter en bestillingsliste utarbeidet av SINTEF. Alle LA-verdiene tilfredsstiller kravene til Statens vegvesen som er fremstilt i Tabell 7-14.

Tabell 7-1 Resultat etter LA-test for batch 1 fra egne forsøk på UiA [30],[33].

Nr.	Prøvenavn	LA-verdi	LA-kategori
1	NA 8/16-5	23	LA ₂₅
2	NA 8/16-7-1	23	LA ₂₅
	NA 8/16-7-2	23	LA ₂₅
3	NA 8/16-9	23	LA ₂₅
4	RNA 4/16-3a-1	27	LA ₃₀
	RNA 4/16-3a-2	27	LA ₃₀
5	RNA 4/16-3b-1	27	LA ₃₀
	RNA 4/16-3b-2	26	LA ₃₀
6	RNA 4/16-8a	26	LA ₃₀
7	RNA 4/16-9a-1	26	LA ₃₀
	RNA 4/16-9a-2	26	LA ₃₀

Tabell 7-2 Resultat etter LA-test for batch 2 fra egne forsøk på UiA [30].

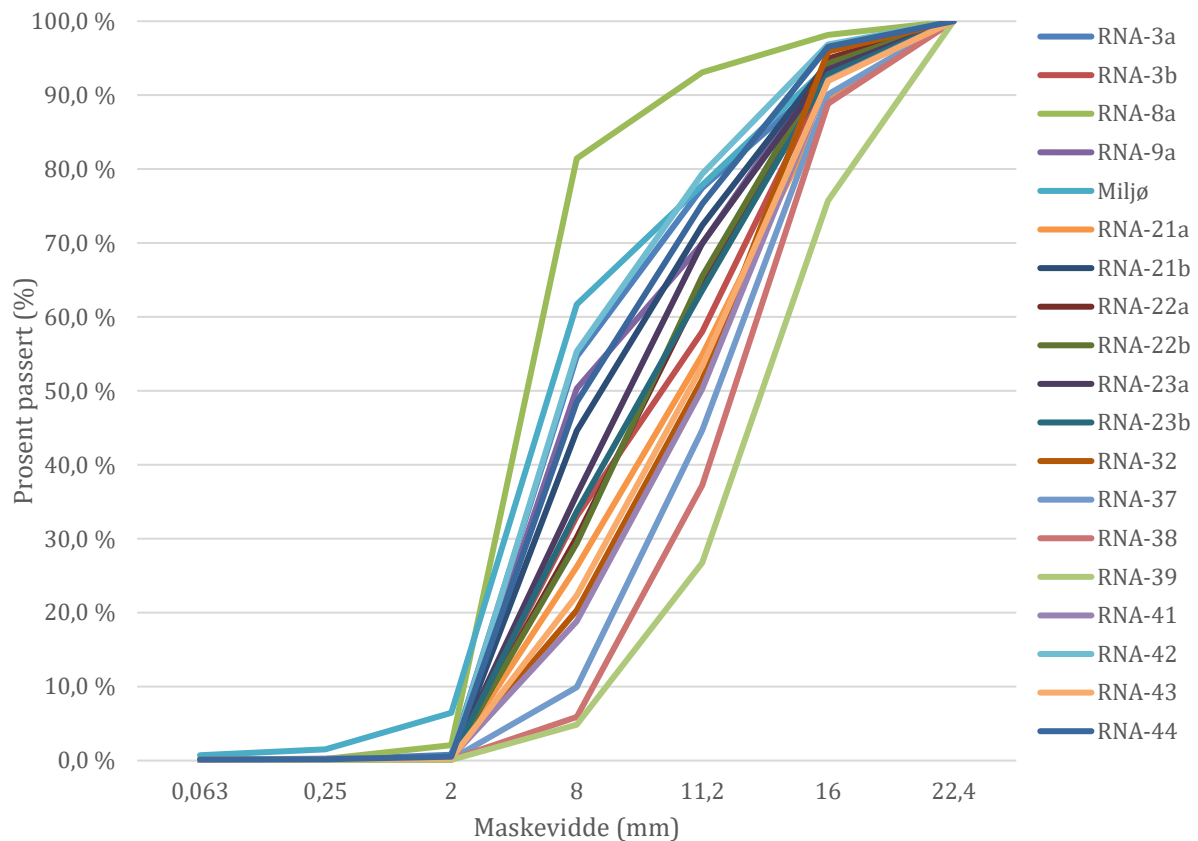
Nr.	Prøvenavn	LA-verdi	LA-kategori
8	NA 8/16-17	28	LA ₃₀
9	NA 8/16-22	24	LA ₂₅
10	RNA 4/16-21a-1	26	LA ₃₀
	RNA 4/16-21a-2	27	LA ₃₀
11	RNA 4/16-21b-1	28	LA ₃₀
	RNA 4/16-21b-2	28	LA ₃₀
12	RNA 4/16-22a-1	27	LA ₃₀
	RNA 4/16-22a-2	27	LA ₃₀
13	RNA 4/16-22b-1	26	LA ₃₀
	RNA 4/16-22b-2	26	LA ₃₀
14	RNA 4/16-23a	25	LA ₂₅
15	RNA 4/16-23b	25	LA ₂₅

Tabell 7-3 Resultat etter LA-test for batch 3 fra egne forsøk på UiA [30].

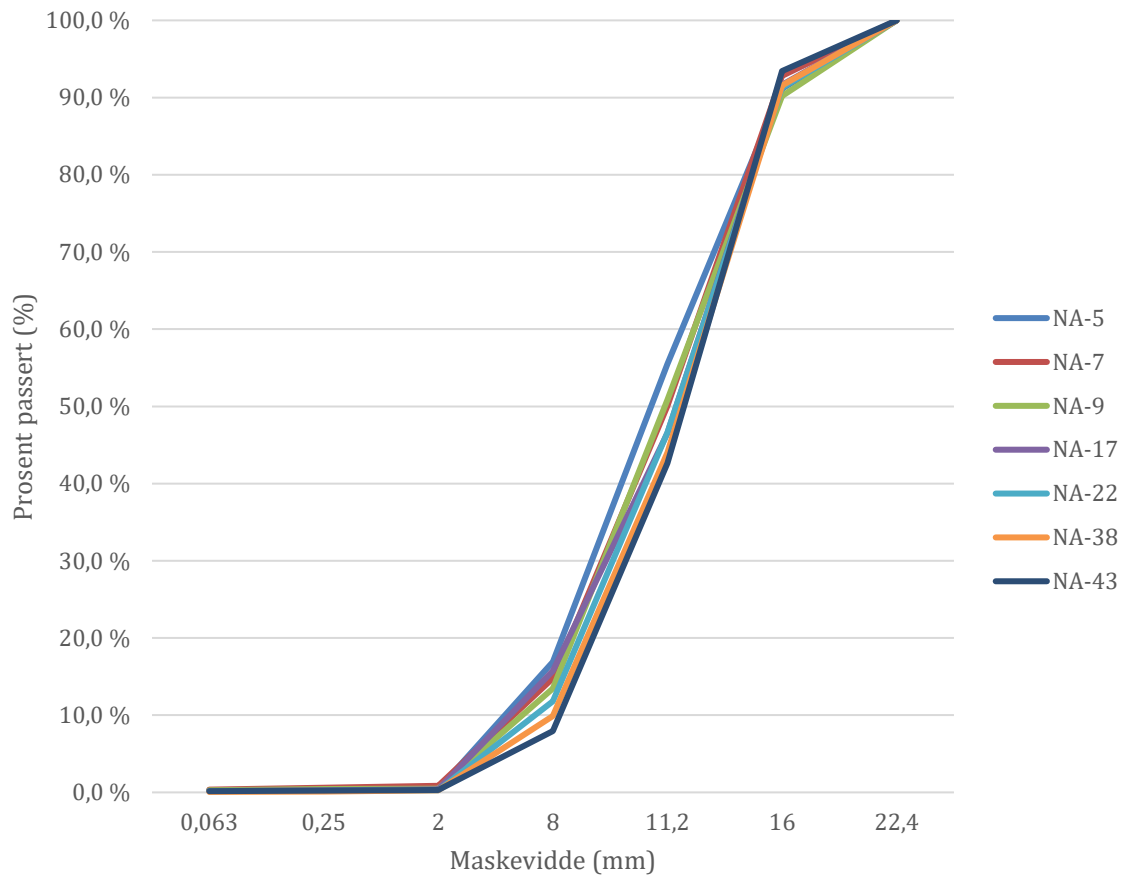
Nr.	Prøvenavn	LA-verdi	LA-kategori
16	NA 8/16-38	30	LA ₃₀
17	NA 8/16-43	24	LA ₂₅
18	RNA 4/16-32-1	26	LA ₃₀
	RNA 4/16-32-2	27	LA ₃₀
19	RNA 4/16-37-1	27	LA ₃₀
	RNA 4/16-37-2	27	LA ₃₀
20	RNA 4/16-38-1	26	LA ₃₀
	RNA 4/16-38-2	26	LA ₃₀
21	RNA 4/16-39-1	27	LA ₃₀
	RNA 4/16-39-2	26	LA ₃₀
22	RNA 4/16-41-1	25	LA ₂₅
	RNA 4/16-41-2	25	LA ₂₅
23	RNA 4/16-42	26	LA ₃₀
24	RNA 4/16-43	25	LA ₂₅
25	RNA 4/16-44	26	LA ₃₀

7.1.2 Bestemmelse av gradering med sikteanalyse

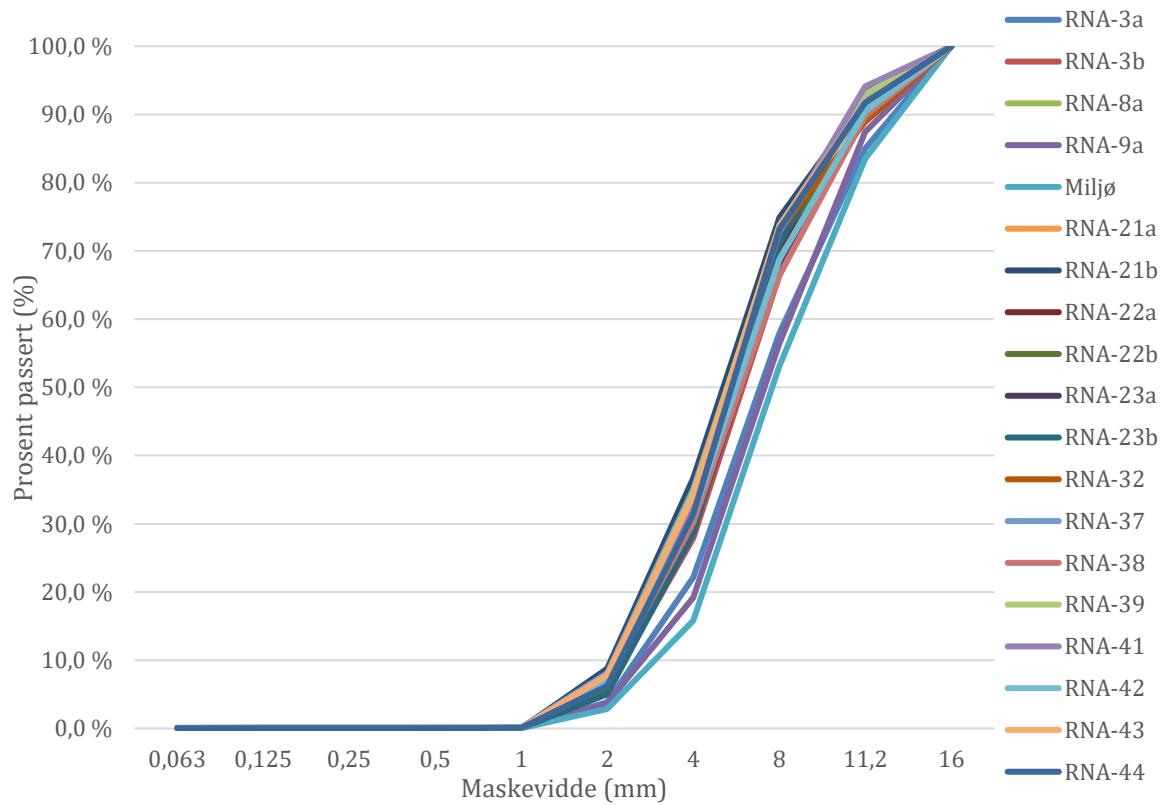
Det er laget fire ulike fremstillinger av siktekurver; resirkulert tilslag i Figur 7-1, naturlig knust tilslag i Figur 7-2 og etter LA-test for materialet større enn 1,6 mm for både resirkulert tilslag i Figur 7-3 og naturlig knust tilslag i Figur 7-4. Resultatene er hentet og fremstilt fra laboratorierapporten som ligger i vedlegg 12.1.



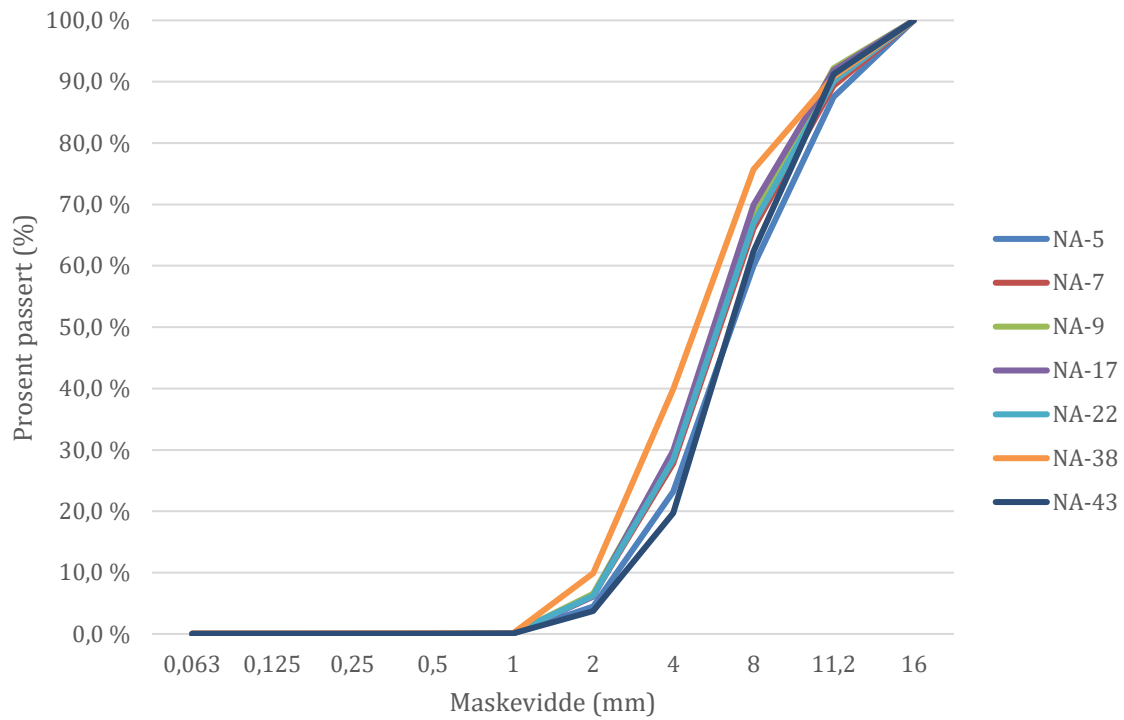
Figur 7-1 Siktekurver for resirkulert tilslag (RNA) i fraksjon 4/16 [34].



Figur 7-2 Siktetekurver for naturlig knust tilslag (NA) i fraksjon 8/16 [34].



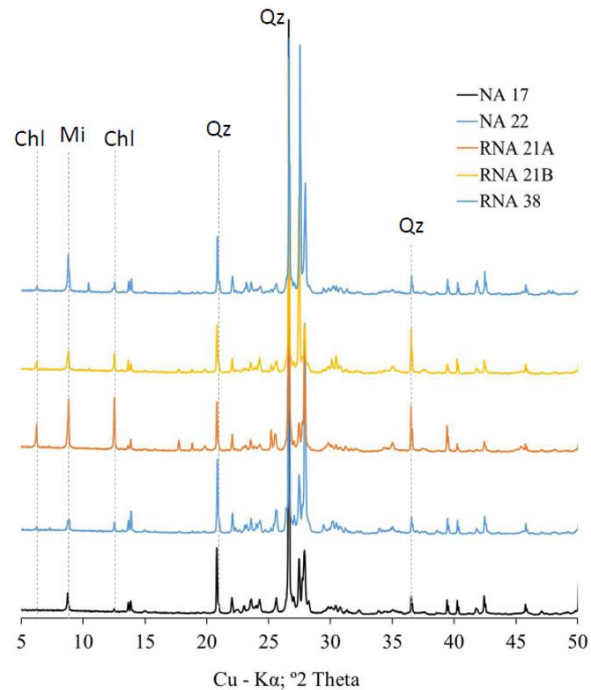
Figur 7-3 Siktekurver etter LA-test for resirkulert tilslag (RNA), større enn 1,6 mm [34].



Figur 7-4 Siktekurver etter LA-test for naturlig knust tilslag (NA), større enn 1,6 mm [34].

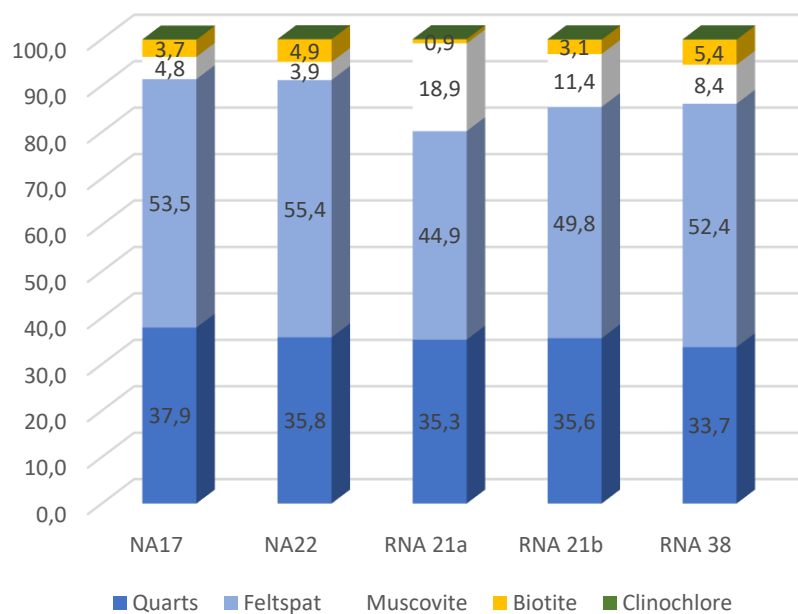
7.1.3 Bestemmelse av mineralogi med XRD-analyse

Figur 7-5 viser intensitetstoppene etter XRD-analysen. Toppene uten navn er i hovedsak feltspat, og Mi er en samlet betegnelse for biotitt og muskovitt. Qz er kvarts og Chl er kloritt. Resultatene fra XRD-analysen ligger i vedlegg 12.2.



Figur 7-5 Resultat av XRD-analyse [35]

Resultatene etter røntgendiffraksjonen (XRD-analyse) er fremstilt i Figur 7-6, de ulike fargene i søylene representere andelen med de forskjellige mineralene som ble funnet i prøvene.



Figur 7-6 Fremstilling av XRD-analyse basert på Rietveld-metoden [35].

7.2 Resultater eksterne laboratorieforsøk

Naturlig knust tilslag er notert med NA 8/16 og et prøvenummer, og resirkulert tilslag produsert fra grave- og byggavfall er notert med RNA 4/16 og et prøvenummer som referanse.

Batch 1 er dagsprøver for tilslag tatt ut hos Velde fra 09.10.19 til 17.10.19

Batch 2 er dagsprøver for tilslag tatt ut hos Velde fra 29.10.19 til 06.11.19

Batch 3 er dagsprøver for tilslag tatt ut hos Velde fra 19.11.19 til 05.12.19

7.2.1 Variasjon i mekanisk styrke (Los Angeles og micro-Deval)

Resultatene fra Los Angeles-test og micro-Deval-test ligger i vedlegg 12.3. Resultatene fra forsøkene som er utført på laboratoriet hos Velde AS, er fremstilt i tabeller.

Batch 1 i Tabell 7-4

Batch 2 i Tabell 7-5

Batch 3 i Tabell 7-6

Noen av dagsprøvene er notert med a og b etter prøvenummeret, det betyr at det er tatt ut to dagsprøver samme dag, men forskjellig tidspunkt på uttaket. Prøvenumrene er satt opp etter en bestillingsliste utarbeidet av SINTEF.

Tabell 7-4 Resultat etter LA-test og M_{DE} -test for batch 1 fra Velde [36].

Nr.	Prøvenavn	LA-verdi	LA-kategori	M_{DE} -koeffisient	M_{DE} -kategori
1	NA 8/16-5	23	LA ₂₅	6	M_{DE15}
2	NA 8/16-7	23	LA ₂₅	6	M_{DE15}
3	NA 8/16-9	23	LA ₂₅	6	M_{DE15}
4	RNA 4/16-3a	28	LA ₃₀	20	M_{DE20}
5	RNA 4/16-3b	27	LA ₃₀	15	M_{DE15}
6	RNA 4/16-8a	26	LA ₃₀	9	M_{DE15}
7	RNA 4/16-9a	27	LA ₃₀	7	M_{DE15}

Tabell 7-5 Resultat etter LA-test og M_{DE} -test for batch 2 fra Velde [36].

Nr.	Prøvenavn	LA-verdi	LA-kategori	M_{DE} -koeffisient	M_{DE} -kategori
8	NA 8/16-17	27	LA ₃₀	8	M_{DE15}
9	NA 8/16-22	22	LA ₂₅	6	M_{DE15}
10	RNA 4/16-21a	25	LA ₂₅	17	M_{DE20}
11	RNA 4/16-21b	28	LA ₃₀	10	M_{DE15}
12	RNA 4/16-22a	24	LA ₂₅	10	M_{DE15}
13	RNA 4/16-22b	25	LA ₂₅	7	M_{DE15}
14	RNA 4/16-23a	24	LA ₂₅	10	M_{DE15}
15	RNA 4/16-23b	26	LA ₃₀	9	M_{DE15}

Tabell 7-6 Resultat etter LA-test og M_{DE} -test for batch 3 fra Velde [36].

Nr.	Prøvenavn	LA-verdi	LA-kategori	M_{DE} -koeffisient	M_{DE} -kategori
16	NA 8/16-38	29	LA ₃₀	-	-
17	NA 8/16-43	24	LA ₂₅	6	M_{DE15}
18	RNA 4/16-32	26	LA ₃₀	10	M_{DE15}
19	RNA 4/16-37	26	LA ₃₀	11	M_{DE15}
20	RNA 4/16-38	24	LA ₂₅	10	M_{DE15}
21	RNA 4/16-39	25	LA ₂₅	11	M_{DE15}
22	RNA 4/16-41	24	LA ₂₅	8	M_{DE15}
23	RNA 4/16-42	26	LA ₃₀	9	M_{DE15}
24	RNA 4/16-43	25	LA ₂₅	8	M_{DE15}
25	RNA 4/16-44	27	LA ₃₀	12	M_{DE15}

7.2.2 Bestemmelse av bergarter ved petrografisk analyse

Petrografisk karakterisering er utført ved bruk av stereomikroskop hos SINTEF [31]. Rapport fra den petrografiske karakterisering fra SINTEF ligger i vedlegg 12.4. Tabellene er laget ut ifra de rapportene og viser hvilket innhold som er funnet i naturlig knust tilslag og resirkulert tilslag produsert fra grave- og byggavfall. Bergartstypene og materialfraksjonene er angitt som prosentandel av tellende korn.

Tabell 7-7 viser batch 1

Tabell 7-8 viser batch 2

Tabell 7-9 viser batch 3

Tabell 7-7 Innholdet fra naturlig knust tilslag og resirkulert tilslag for batch 1 [31].

Nr.	Prøvenavn	Fraksjon [mm]	Granitt/gneis/kvartsitt/feltpatiskstein	Fyllitt	Mørk stein	Lettvekt partikkel	Asfalt	Mørtel	Tegl	Tre	Metall	Slagg
1	NA 8/16-5	8/16	100 %									
2	NA 8/16-7	8/16	100 %									
3	NA 8/16-9	8/16	100 %									
4	RNA 4/16-3a	4/8	69 %	24 %	1 %	1 %	2 %	1 %	1 %	0 %	1 %	0 %
		8/16	70 %	23 %	4 %	<1 %	3 %	<1 %	0 %	<1 %	0 %	0 %
5	RNA 4/16-3b	4/8	70 %	24 %	4 %	0 %	1 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %
		8/16	69 %	27 %	3 %	1 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %
6	RNA 4/16-8a	4/8	96 %	<1 %	4 %	0 %	0 %	<1 %	0 %	0 %	0 %	0 %
		8/16	94 %	1 %	2 %	0 %	2 %	1 %	0 %	0 %	0 %	0 %
7	RNA 4/16-9a	4/8	98 %	1 %	1 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %
		8/16	94 %	3 %	2 %	1 %	1 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %

Tabell 7-8 Innholdet fra naturlig knust tilslag og resirkulert tilslag for batch 2 [31].

Nr.	Prøvenavn	Fraksjon [mm]	Granitt/ gneis/ kvartsitt/ feltspatisk- stein	Fyllitt	Mørk stein	Lettvekt partikkel	Asfalt	Mørtel	Tegl	Tre	Metall	Slagg
8	NA 8/16-17	8/16	100 %									
9	NA 8/16-22	8/16	100 %									
10	RNA 4/16-21a	4/8	75 %	21 %	1 %	0 %	1 %	1 %	1 %	0 %	0 %	0 %
		8/16	71 %	25 %	2 %	0 %	2 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %
11	RNA 4/16-21b	4/8	92 %	5 %	2 %	0 %	0 %	0 %	1 %	0 %	0 %	0 %
		8/16	91 %	6 %	0 %	1 %	1 %	1 %	0 %	0 %	0 %	0 %
12	RNA 4/16-22a	4/8	92 %	7 %	0 %	0 %	1 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %
		8/16	89 %	8 %	1 %	0 %	2 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %
13	RNA 4/16-22b	4/8	89 %	4 %	2 %	0 %	5 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %
		8/16	97 %	1 %	0 %	0 %	2 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %
14	RNA 4/16-23a	4/8	93 %	3 %	1 %	0 %	2 %	1 %	0 %	0 %	0 %	0 %
		8/16	93 %	3 %	0 %	0 %	3 %	1 %	0 %	0 %	0 %	0 %
15	RNA 4/16-23b	4/8	91 %	5 %	1 %	0 %	2 %	1 %	0 %	0 %	0 %	0 %
		8/16	89 %	5 %	2 %	0 %	2 %	1 %	0 %	0 %	0 %	1 %

Tabell 7-9 Innholdet fra naturlig knust tilslag og resirkulert tilslag for batch 3 [31].

Nr.	Prøvenavn	Fraksjon [mm]	Granitt/ gneis/ kvartsitt/ feltspatisk- stein	Fyllitt	Mørk stein	Lettvekt partikkel	Asfalt	Mørtel	Tegl	Tre	Metall	Sement klump
16	NA 8/16-38	8/16	100 %									
17	NA 8/16-43	8/16	99 %		1 %							
18	RNA 4/16-32	4/8	93 %	7 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %
		8/16	93 %	4 %	<1%	0 %	1 %	2 %	<1%	0 %	0 %	0 %
19	RNA 4/16-37	4/8	94 %	4 %	0 %	0 %	1 %	1 %	<1%	0 %	0 %	0 %
		8/16	95 %	4 %	0 %	0 %	0 %	1 %	0 %	0 %	0 %	0 %
20	RNA 4/16-38	4/8	96 %	<1%	3 %	0 %	0 %	1 %	<1%	0 %	0 %	0 %
		8/16	98 %	2 %	0 %	0 %	0 %	<1%	0 %	0 %	0 %	0 %
21	RNA 4/16-39	4/8	95 %	3 %	0 %	0 %	<1%	2 %	0 %	0 %	0 %	0 %
		8/16	92 %	3 %	2 %	0 %	0 %	2 %	0 %	0 %	0 %	1 %
22	RNA 4/16-41	4/8	98 %	2 %	0 %	0 %	0 %	0 %	<1 %	0 %	0 %	0 %
		8/16	97 %	3 %	0 %	0 %	0 %	<1%	<1 %	0 %	0 %	0 %
23	RNA 4/16-42	4/8	95 %	3 %	0 %	0 %	2 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %
		8/16	94 %	5 %	0 %	0 %	0 %	1 %	0 %	0 %	0 %	0 %
24	RNA 4/16-43	4/8	94 %	2 %	1 %	0 %	3 %	<1%	0 %	0 %	0 %	0 %
		8/16	93 %	7 %	0 %	0 %	<1%	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %
25	RNA 4/16-44	4/8	91 %	6 %	2 %	0 %	1 %	<1%	<1%	0 %	0 %	0 %
		8/16	94 %	4 %	1 %	0 %	1 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %

7.2.3 Los Angeles og micro-Deval resultater fra pågående studier

Det pågående forskningsprosjektet ved Universitet i Agder har utført både Los Angeles-metoden og micro-Deval-metoden på ulike typer materialer [32]. Tabell 7-10 viser navn, hvor testmaterialet kommer fra og fraksjon. Tabell 7-11 viser LA-verdi og M_{DE} -koeffisient til de ulike testmaterialene og viser LA-verdi og M_{DE} -koeffisient for sammensatte prøver med varierende andel av svake og sterke materialer.

Tabell 7-10 Oversikt over testmaterialet, opphavssted og fraksjonen [32].

Navn	Sted	Fraksjon [mm]
Knust stein	Reddal	8/16
Gravemasser	Velde	4/16
Amfibolitt	Kristiansand	8/16
Kalkstein	Verdal	10/20

Tabell 7-11 Resultater for tilslag og sammensatte prøver med to forskjellige tilslag [32].

KNUST STEIN 100%		
LA		M_{DE}
36	A	16
36	B	14
36	C	15

AMFIBOLITT 100%		
LA		M_{DE}
16	A	13
16	B	12
16	C	13

GRAVEMASSER 100%		
LA		M_{DE}
28	A	7
28	B	7
28	C	7

KALKSTEIN 100%		
LA		M_{DE}
33	A	29
34	B	29
33	C	29

GRAVEMASSER OG KALKSTEIN		
20% K AND 80% GR		
LA		M_{DE}
28	A	10
29	B	13
28	C	12

40% K AND 60% GR		
LA		M_{DE}
30	A	16
29	B	14
30	C	17

60% K AND 40% GR		
LA		M_{DE}
31	A	20
31	B	21
31	C	19

80% K AND 20% GR		
LA		M_{DE}
31	A	23
32	B	23
32	C	25

7.3 Resultater fra litteraturstudiet

Resultatene etter litteraturstudiet blir presentert her.

7.3.1 Bergarter

Mineralogi er et felles begrep som omhandler vitenskapen om mineraler og deres dannelser, forekomster, egenskaper, sammensetninger og klassifikasjoner [37]. Etter hvert som analytisk kjemi, krystallografi og fysikalsk kjemi utviklet seg, utviklet også mineralogien seg. På 1900-tallet kom det flere nye metoder som røntgen til strukturbestemmelse og instrumentelle analyse som mikrosonder og elektronmikroskop. Dette har hatt stor betydning for mineralogien og utviklingen [37].

Jordskorpen er bygd opp av ulike bergarter. Enkeltbestanddelene er ofte krystalliserte mineraler, men det kan også forekomme glass og organiske materialer. Geologisk sett er leire, sand og grus betraktet som bergarter, men betegnes helst som jordarter. Petrografi er vitenskapen som brukes for å beskrive bergartene, og petrologi er vitenskapen om bergartenes dannelse [38].

Magmatiske bergarter er størknet smeltetmasse, og kalles også eruptive bergarter, størkningsbergarter eller smeltebergarter. Hvor de er dannet er avgjørende for korndannelsene. De som er dannet dypt under jordens overflate er grovkrystallinske, og er dypbergarter. Dersom de er størknet på sprekker eller spalter lenger mot jordens overflate, dannes det en mer finkornet bergart, dette er gangbergarter. De bergartene som er flytt ut på overflaten og størknet på jordens overflate, er lava- eller dagbergarter [38].

Sedimentære bergarter kalles også avsetningsbergarter, og er dannet gjennom herding av sedimenter. Hvorav sedimentene er dannet ved forvitring, nedbrytning og avsetning på jordens overflate eller som en kjemisk prosess [38]. Klastiske sedimenter er sedimentære bergarter som består av avsatte partikler. Disse blir delt etter kornstørrelse inn i leire, sand og grus. Gjennom herding til faste bergarter omdannes de til; kalkstein, slamstein, leirstein, skifer eller sandstein. Prosessen er for de fleste klastiske sedimenter avsatt i vann, men for noen er de avsatt av vind eller is [38].

Metamorfe bergarter er omvandlingsbergarter som kan ha opphav fra magmatiske og sedimentære bergarter. Disse blir dannet ved høyt trykk og høye temperaturer, eller gjennom en kjemisk prosess hvor krystallene i opprinnelsesbergarten blir omstrukturert. De beholder mer eller mindre særtrekk fra opprinnelsesbergarten [14].

7.3.2 Mohs hardhetsskala

Friedrich Mohs (1773-1839) foreslo i 1822 en hardhetsskala for ti vanlige mineraler, som i dag er Mohs hardhetsskala [39]. Tabell 7-12 viser de ti vanlige mineralene. Den relative hardhet (H) klassifiseres fra 1 til 10, hvor 10 er hardest og 1 er mykest. Hardheten sier noe om mineralet og hvor stor motstand det har til å motstå riss. Mineraler mindre enn $H=2$, kan risses med en negl, mens mineraler som har $H=5$ kan risses av en knivspiss. Mineraler som har $H=6$ kan påføre riss i glass [39]. Klassene angis i hele og halve enheter. Hardhet er en retningsavhengig egenskap, og kan derfor være ulike på de forskjellige overflatene og retningene til mineralet.

Tabell 7-12 Mohs hardhetsskala [14].

Mineral	Hardhet
Talk	1
Gips	2
Kalsitt	3
Fluoritt	4
Apatitt	5
Feltspat	6
Kvarts	7
Topas	8
Korund	9
Diamant	10

Referansemateriale	Hardhet
Negl	2,5
Messing	4,5
Stål	5,5
Glass	6,0

7.3.3 Mineraler og sammensetning i bergarter

Glimmer er en gruppe med silikatmineraler. De har særtrekk ved at de lett lar seg dele i tynne flak. Glimmer har høy glans og fargen er fra grålig hvit og over til svartbrun. Mineralet har lav hardhet på Mohs hardhetsskala, 2-3. De mest utbredte typene er Muskovitt - lys glimmer og biotitt - mørk glimmer. Glimmer er vanlig i granitt, gneis, fyllitt og glimmerskifer [40].

Muskovitt er et glinsende og delvisgjennomsiktig mineral, og hører til i glimmergruppen. Det har flere tilnavn som; kaliglimmer, lys glimmer og kråkesølv. Muskovitt har hardhet på 2,5 på Mohs hardhetsskala [40]

Biotitt brukes som en fellesbetegnelse for mørke mineraler i glimmergruppen. Mørke glimmermineraler består av en fast løsningsserie av annitt (svart) og flogopitt (brun farge) [41]. Sammensetningen gjør at mineralet er sprøtt og kan deles opp i bøyebare tynne flak. Fargen blir gyllen ved forvitring av små biotittkorn, derfor har det fått tilnavnet kråkegull. Biotitt er vanlig i mange metamorfe bergarter (glimmerskifer) og magmatiske bergarter (granitt). Biotitt har hardhet på 2,5-3,0 på Mohs hardhetsskala. Jordskorpa består av omkring 7% biotitt [41].

Kloritt, en gruppe med mineraler som kan deles opp i flak på grunn av en sjiktgitterstruktur. En forskjell fra glimmer er at flakene ikke er elastiske. Fargen går fra grågrønn, over til gråsvart, og har en symmetri som stort sett er monoklin. Klorittene er hydroksylholdige silikater av aluminium, magnesium og jern. Kloritter er vanlig forekomst i lavmetamorfe bergarter som; fyllitt, grønnskifer og kleberstein. Kloritt har hardhet på 1,0-2,5 på Mohs hardhetsskala [14].

Kvarts er et mineral som består av silisiumdioksid [42]. Fargen er fra hvit over mot grå, med en hvit strekfarge. Formen er uregelmessig og kornet, og har ingen spaltbarhet. Det er nest mest etter feltspat i mengede utbredte mineral i jordskorpen. Kvarts finnes i løsavsetninger, magmatiske-, metamorfe- og sedimentære bergarter. Noen eksempler på bergarter som inneholder kvarts inkluderer kvarts-sandstein, granitt, syenitt, leirstein, kvartsitt, glimmerskifer, gneis, og amfibolitt. Kvarts er et hardt mineral, kan risse glass og har en hardhet på 7,0 på Mohs hardhetsskala [14].

Feltspat er et mineral, og grunnlaget for klassifikasjonen for magmatiske bergarter. Feltspat er lys grå over til hvit i fargen eller den kan være rødlig grå farge. Strekfargen er hvit. Formen er

uregelmessig kornet eller prismatisk. Feltspat finnes i magmatiske- samt de fleste metamorfe bergartene. Feltspat har hardhet på 6,0 på Mohs hardhetsskala [14].

Fyllitt er en metamorf bergart og består av mineralinnhold fra glimmer og kloritt, mer enn 50 % angitt i volum, og feltspat, kvarts, kalkspat, muskovitt og granat, med varierte mengder. Strukturen er sterkt skifrig, bløt og finkornet til middelskornet. Fyllitt er sterkt foldet. Fargen variere fra middels grå over til nærmere svart, grønnaktig til brunlig grå [14].

Gneis er en metamorf bergart og kan inneholde flere mineraler som feltspat, kvarts, amfibol, pyroksen, glimmer og granat, andelen av de enkelte kan variere. Fargen på gneis har nyanser i grått, rødlige feltspatrike og det er mørke bånd som inneholder amfibol, pyroksen og glimmer [14].

Granitt er en vanlig magmatisk dypbergart som inneholder flere mineraltyper, som feltspat, amfibol, glimmer, muskovitt, biotitt og kvarts. Strukturen er grovkornet, homogen og middelskornet. Fargen er fra lys grå til rødlig grå [14].

Kvartsitt er en metamorf bergart som inneholder flere mineraler som blant annet kvarts og feltspat. Strukturen er korning eller glassaktig, og fargen kan variere mellom hvit, grå eller rødlig [14].

7.3.4 Røntgendiffraksjon (XRD)

Røntgendiffraksjon har i løpet av de siste hundre årene gradvis blitt en viktig analytisk tilnærming for undersøkelse av geologiske prøver. XRD-analyse er mest sannsynlig den mest egnede metoden for kvantitativ analyse [43].

Den krystallinske prøven blir plassert foran røntgenstrålen. Under analysen vil krystallen bryte vinkelen til røntgenstrålen som måles av en detektor [44]. Røntgenstrålen sendes mot krystallen i forskjellige vinkler. Hver krystall har ulike karakteristiske plan, og røntgenstrålene vil reflektere forskjellig og ha ulik intensitet. Det er dette som er med på å bestemme hvilke mineraler prøven består av. Metoden brukes av de fleste geologer [44].

I forkant av en XRD-analyse blir prøvematerialet først pulverisert og pakket i en prøvebeholder, dette er for å sikre at pulveret er tilfeldig orientert. Orienteringen av mineralpartikler påvirker XRD-intensiteten til prøvene. Dette er antatt den største feilkilden ved kvantitativ analyse av mineraler. Derfor er målingene basert på nedknust prøve for å sikre en tilfeldig orientering av prøvematerialet. Andre mulige feilkilder kan oppstå ved metoden i forberedning av prøvematerialet og ved XRD-instrumentet [43]. Skanningen av testmaterialet tar omkring 20 minutter. Testresultatene krever ikke viderebehandling. Intensitetstoppene i dataene sammenlignes mot et bibliotek for å identifisere hvilke mineraler prøven inneholder [44].

Rietveld-metoden er en av to mønstermetoder som brukes for kvantifisering av mineraler, og bruker kalibrete krystallografiske data for en profilanalyse [43]. Rietveld-metoden ble først og

fremst utviklet for å kunne analysere krystallinske strukturer, og for å finne mineralsammensetninger i prøver.

7.3.5 Bergarters materialegenskaper

Bergarter i Norge er jevnt over sterke og gode materialer. Det er likevel store variasjoner i trykkfasthet og E-modul i de ulike bergartene. Dette påvirker egenskapene til tilslaget. En intern undersøkelse utført av Statens vegvesen [20] dokumenterer at det er høy grad av korrelasjon mellom tilslagenes Los Angeles-verdi, trykkfasthet og E-modul.

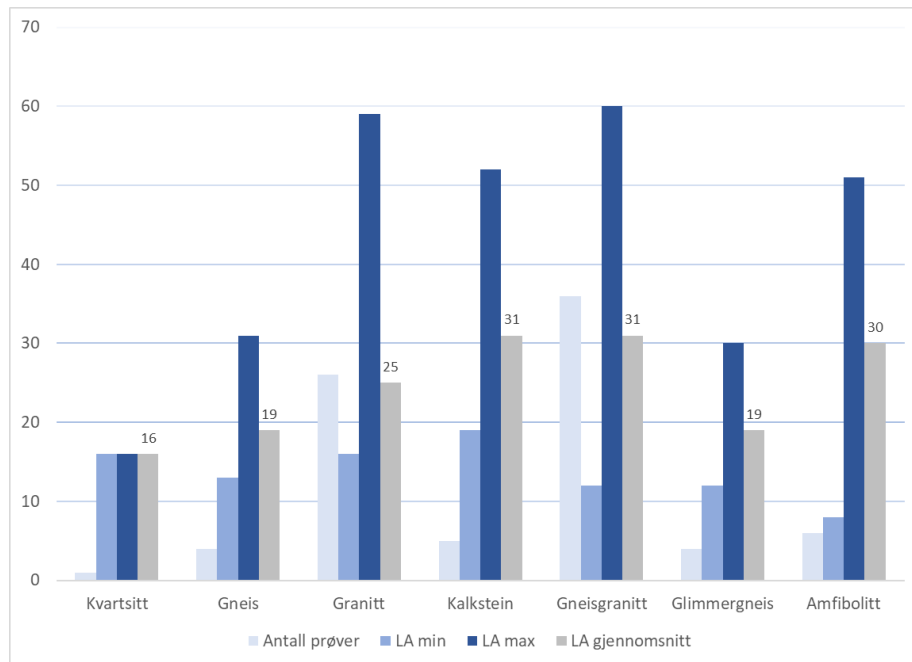
Bergartenes middelkornstørrelse kan rangeres som den isolert viktigste egenskapen når det gjøres vurderinger med hensyn til mekaniske egenskaper. Finkornige dagbergarter som basalt og ryolitt kan ofte oppnå bedre mekaniske egenskaper enn grovkornige dypbergarter selv med lik mineralogi, som gabbro og granitt [20]. Bergartenes tekstur vil i tillegg spille inn på de mekaniske egenskapene. De bergartene som har en definert mineralorientering, hvor det er bånd eller lagdelt, vil ha en eller flere svakhetsretninger. Eksempel på dette er gneis og skifer. Slike svakheter kan gi redusert mekanisk styrke. Bergartens mineralogi, spesielt hardhet vil ha stor betydning for den mekaniske styrken [20].

For å vise variasjonsspekteret i mekaniske egenskaper, viser Tabell 7-13 en sammenstilling av en-aksiell trykkfasthet og E-modul for et utvalg av skandinaviske vanlige bergarter. Variasjonene kan være store for de enkelte testresultatene innenfor de enkelte bergartene. Som et eksempel kan enkelte granitter ha trykkfasthet på mindre enn 100 MPa, men den målte gjennomsnittsverdien i Norden for granitt er på 169 MPa [20].

Tabell 7-13 En-aksiell trykkfasthet og E-modul for et utvalg av skandinaviske bergarter, oppgitt som middelveier og antall prøver [20].

Bergart	Trykkfasthet, MPa	E-modul, GPa	Antall prøver
Kalkstein	74	71	25
Fyllitt	61	46	12
Sandstein	147	28	5
Kvartsitt	172	56	7
Gneis	130	50	107
Granitt	169	42	20
Basalt	207	82	3

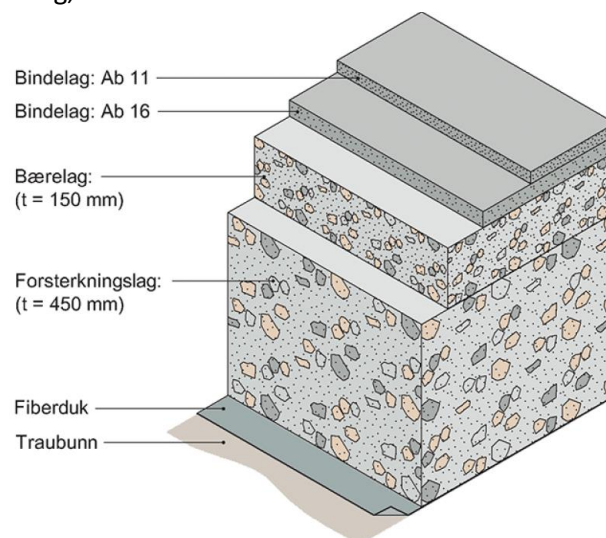
Figur 7-7 viser en oversikt over målte Los Angeles-verdier for norske bergarter. Det er tydelig av figuren at spredningen er stor i målte LA-verdier for mange av bergartene. Type bergart kan kun gi en antydning om hvilke mekaniske egenskaper som kan være forventet. Derfor er det viktig at den aktuelle forekomsten blir testet og vurdert for å dokumentere de mekaniske egenskapene til bergarten som er aktuell [20].



Figur 7-7 Målte Los Angeles-verdier for norske bergarter, viser antall prøver, maksimum/minimums verdier og gjennomsnitt [20].

7.3.6 Tilslagsmaterialer og krav

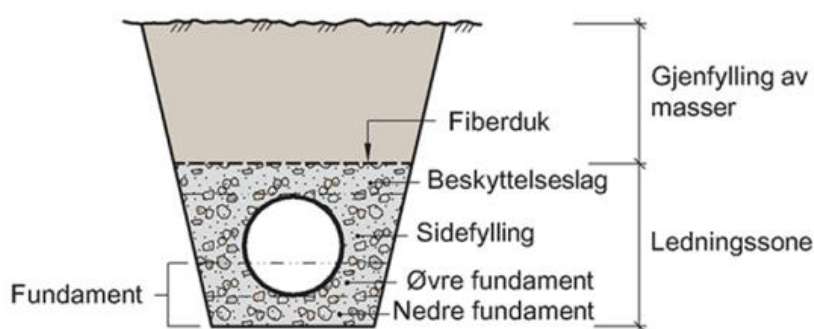
Tillatte materialer som forsterkningslag omfatter knust eller uknust grus eller knuste steinmaterialer fra berg og resirkulerte materialer. Knuste steinmaterialer vil si; kult, pukk og samfengt knust berg. Disse materialene er egnet som forsterkningslag til veg i alle trafikkgrupper fra A-F [18]. Resirkulerte materialer som inneholder knust betong eller blandede masser er egnet som forsterkningslag i veg og kan brukes i trafikkgruppe A-D [18]. Bruksområder for resirkulert tilslag er som ubunden bruk er i forsterkningslag i veger, men kan brukes i bærelag og forsterkningslag i veger som har mindre trafikkbelastning slik som gang- og sykkelveg [45]. Figur 7-8 viser et forslag hvor resirkulert tilslag kan benyttes. Det er en begrensning på andel knust murverk når det brukes til bærelag, da må ikke andelen overskride 10 %.



Figur 7-8 Forslag til oppbygning av parkeringsarealer. Forsterkningslag og bærelag er resirkulert tilslag [45].

De materialtekniske egenskapene må innfris for begge bruksområdene. Dokumentasjon av mekaniske egenskaper er meget viktig for ubunden bruk. Prøvemethodene er utviklet for naturlig grus og steinmaterialer, og ikke for resirkulert tilslag. Los Angeles-metoden er mest brukt, selv om den har noen svakheter når den brukes til resirkulert tilslag. Det finnes andre prøvemethoder som er under utvikling der hele testmaterialet blir vurdert, tester på et helt lag av materialet [45].

Resirkulert tilslag er aktuelt for VA-grøfter, og er et godt alternativ til naturlig tilslag til bruk i ledningssonen. Resirkulert tilslag kan sammenlignes med naturlig tilslag når det gjelder mekanisk stabilitet, lastfordelende evne og drenering. Figur 7-9 viser en skisse av et tverrsnitt i en VA-grøft. Det er ikke spesielle krav til resirkulert tilslag i VA-grøfter, men må tilfredsstille de kravene som er gjeldende for naturlig tilslag [45].



Figur 7-9 Skisse av tverrsnitt av VA-grøft [45].

Materialsammensetningen skal bestemmes ut fra NS-EN 933-11 «Prøvmethoder for geometriske egenskaper for tilslag - Del 11: Metode for klassifisering av bestanddelene av grovt resirkulert tilslag» [46]. Krav til mekaniske egenskaper til bruk i forsterkningslag i veg er gjengitt i Tabell 7-14.

Tabell 7-14 Krav til mekaniske egenskaper og knusingsgrad til forsterkningslag for steinmaterialer, grus og resirkulerte materialer [18].

	Trafikkgrupper	Trafikkgrupper
Krav til mekaniske egenskaper (knuste steinmaterialer)	A ¹	B, C, D, E og F
Los Angeles-verdi, LA	≤40	≤35
Micro-Deval-koeffisient, M _{DE}	≤25	≤20
Krav til mekaniske egenskaper (knuste og uknust grus)	A ¹	B og C
Los Angeles-verdi, LA	≤40	≤35
Micro-Deval-koeffisient, M _{DE}	≤25	≤20
Krav til mekaniske egenskaper (resirkulerte materialer)	A ¹	B, C og D
Los Angeles-verdi, LA	≤40	≤35
Micro-Deval-koeffisient, M _{DE}	≤25	≤20

1) Gjelder også gang- og sykkelveger og parkeringsplasser for lette kjøretøy

Minstekrav til kontrollomfang skal være oppfylt ved produksjonskontroll hos produsent i henhold til aktuell standard, og materialet skal være fra kjent forekomst og ha en stabil kvalitet. For resirkulerte materialer hvor kilden er gjenbruksbetong, må prøvehyppigheten økes dersom kilden endrer seg eller ulike kilder ikke homogeniseres ved blanding. Dette for å fange opp eventuelle variasjoner. Det samme gjelder for steinmaterialer som kommer fra grave- og anleggsmasser da det kan være variasjoner i kvaliteten på materialet [18].

7.3.7 Vurdering av testmetoder for tilslagsmaterialer

Erichsen har i NGU-rapporten *Vurdering av testmetoder for tilslagsmaterialer* fra 2012 [16] undersøkt testmetodene som brukes for å kvalitetsbedømme tilslagsmaterialer til vegformål. Hensikten er å gjøre en vurdering av de materialtekniske testmetodene som Los Angeles, micro-Deval, kulemåll og den geometriske kornformen. Den geometriske kornformen er viktig å undersøke da den har påvirkning på mekaniske egenskaper [16].

Et godt poeng som Erichsen trekker frem er at ved bruk av standard testfraksjon er det kun et lite spekter av det totale tilslaget som blir testet. Han trekker også frem at steinmaterialer som er inhomogent og har variert knusemotstand, kan skape en fremstilling om at sterkt materiale beskytter svakt materiale. Dette gjelder for grus, men kan også gjelde pukkkverk som har stor variasjon i berggrunnen. Analyse av siktekurver etter Los Angeles-test og micro-Deval-test kan beskrive noe om nedbrytningsprosessen av materialet. Velgraderte siktekurver vil beskrive knusing, mens ensgradert siktekurver tilsier slitasje. Kornformen etter testen kan også beskrive hva materialet er utsatt for [16].

Flisigheten kan påvirke de materialtekniske egenskapene. Når det gjelder sammenhengen mellom Los Angeles-metoden og kornform, vil det for noen bergarter være slik at sprøhetstallet påvirker mere enn flisigheten. Når det gjelder testfraksjoner med liten kornstørrelse, kan det vises til at micro-Deval er mer følsom for flisighet enn Los Angeles-testen. Med lik flisighet i alle fraksjonsstørrelser, vil de mekaniske testmetodene gi tilnærmet samme resultat utført på ulike sorteringer. Det er uvisst hvor stor innvirkning flisighet har for trommeltestene, for i tillegg vil resultatene variere avhengig av bergartene [16].

En samlet vurdering av testmetodene viser at det er kun Los Angeles-metoden som har en velgradert siktekurve som beskriver knusing. De andre testene viser en ensgradert siktekurve, som beskriver slitasje. Los Angeles-metoden påvirker de ulike tilslagsmaterialene ulikt. Noen sedimentære bergarter kan oppnå for gode resultater med bruk av Los Angeles-testen. Dette er en svakhet, det er derfor viktig å utføre en slitasjetest i tillegg [16].

7.3.8 Undersøkelse av pukkkforekomst Langemyr i Lillesand kommune

I forbindelse med ønske om oppstart av pukkkuttak på Langemyr i Lillesand kommune, ble det i 2017 utarbeidet en rapport av Norges geologiske undersøkelse (NGU) [47]. NGU utførte feltobservasjoner, geologisk kartlegging og prøveuttak. Det ble også utført laboratorieanalyser for mekaniske egenskaper og tynnslipundersøkelser. Hensikten var å gjøre vurdering for hvor egnet materialet er som byggeråstoff.

Det kommer frem i rapporten at bergartene i området mellom Lillesand og Kristiansand har innhold av både magmatisk og sedimentær opprinnelse, og tilhører det Sør-norske Bamble-komplekset. Berggrunnen er hovedsakelig bestående av lysgrå, finkornet felsisk granittisk kvartsfeltspat-gneis, men granittisk gneis er den bergarten som dominerer i området. Denne bergarten er relativt massiv og hard som kan gi ulike spenninger i fjellmassen og vil påvirke bergartens styrke. Bergartssammensetningen (mineralogi) og bergartens tekstur (primært kornstørrelsen) spiller inn på de mekaniske egenskapene til pukk [47].

Kulemølle, micro-Deval og Los Angeles ble utført for å teste mekaniske egenskaper. Petrografisk undersøkelse ble utført for utvalgte prøver av bergarten. Resultatene etter petrografiske mikroskopering av den granittiske gneisen viser at det er variasjoner mellom de ulike prøveuttakene [47]. Resultatene viser i Tabell 7-15 at det er to prøver som avviker veldig i forhold til de andre prøvene, prøve Langemyr pkt. 4 og Langemyr pkt. 4/2. Det ble av NCC Industri tatt åtte nye prøver med håndboring på mindre enn 1m dybde. I tillegg ble det utført mikrosprekk-analyse for å finne en forklaring på hvorfor Los Angeles-verdien var så høy. Resultatene viser at det forekommer variasjoner innenfor en og samme forekomst, derfor er resultatene kun gjeldende for enkeltprøver og ikke for hele forekomsten [47].

Tabell 7-15 Resultatoversikt over prøvene og referanseprøvene som er tatt ved Langemyr [47].

Lokalitet	Los Angeles (LA-verdi)	Micro-Deval (M _{DE} -verdi)
Langemyr pkt 1	23	5
Langemyr pkt 3	25	5
Langemyr pkt 4	71	8
Langemyr pkt 4/2	54	6
Langemyr prøve 1	25	
Langemyr prøve 2	29	
Langemyr prøve 3	29	
Langemyr prøve 4	31	
Langemyr prøve 5	27	
Langemyr prøve 6	31	
Langemyr prøve 7	32	
Langemyr prøve 8	21	

For å prøve å finne årsaken til det svake resultatet utførte de UV-fluorescens impregnerte tynnslip, og fant sammenhengende nettverk av mikrosprekker og tykkere korngrenser. Det defineres som intergranulære (det vil si at det oppstår mellom kornene) mikrosprekker og bidrar til svakhetssoner i bergarten. Slike svakhetssoner kan forklare hvorfor Los Angeles-verdien ble så høy. En tidligere studie har kommet frem til at mikrosprekker er overflatefenomen i dagsfjellsoner [47], men at det avtar bare noen få meter ned i dypet. Dette kan være gjeldende for Langemyrs prøver.

Konklusjonen i rapporten viser at granittisk gneis utgjør hoveddelen av volumet i det kartlagte området, og er godt egnet materiale til pukkproduksjon. Testresultatene for prøve 1 og prøve 3 oppnår gode verdier for kulemølle og micro-Deval, men fikk gjennomsnittlige Los Angeles-verdier

og flisighetsindeks. Testresultatene viser at materialet fra prøve 1 og prøve 3 er velegnet til vegformål. Testresultatene for prøve 4 viser dårligere materialegenskaper enn det inntrykket som var ved feltobservasjonene, og er uegnet til vegformål [47].

7.3.9 Kornform og mekaniske egenskaper for et granodiorittmateriale etter testknusing og laboratorieknusing

Luke har i masteroppgaven fra 2017 [48] vurdert effektene på mekaniske egenskaper ved å studere kornform, da ved bruk av flisighetsindeks og stenglighetsindeks. Han hevder at det ikke er gjort forsøk tidligere på finne sammenhengen mellom stenglighetsindeks og mekaniske egenskaper. Han gjør også vurderinger på hvordan laboratorieknusing påvirker steinmaterialet når det knuses ned til testfraksjon 10/14 [48]. Oppgaven tester kun én forekomst, noe som er en svakhet ved arbeidet. Resultatene er kun gjeldene for Nokiabergarten.

Luke har i konklusjonen og oppsummering av litteratursøket [48] kommet frem til at det er en sammenheng mellom mekaniske egenskaper og kornform, men for Los Angeles- og micro-Deval-metodene påvirkes resultatet lite ved endring i flisighet. Det er viktig at prøvemengdene er tilstrekkelig store, om ikke kan det gi laboratorieknust materiale som har ugunstig kornform. Knusingen kan fjerne eventuelle mikrosprekker som kan øke den mekaniske styrken i materialet. Det kan vises til at laboratorieknusing av korn som er større enn 63 mm, er det en forbedring i flisighetsindeks, stenglighetsindeks, Los Angeles-verdi og micro-Deval-verdi. Størst endring er det for kornformen, men det er også forbedret verdier for de mekaniske egenskapene [48].

Det er funnet en viss korrelasjon mellom Los Angeles-testen og flisighet, men tidligere studier viser at det lite endring for Los Angeles-verdien når det er endringer i flisighet. Micro-Deval-verdiene blir mer påvirket når det er endringer i flisighet. Endringen i kornformen likevel være betydelig for at det kan være mulig å påvise noen sammenheng. Små sprekker i materialet reduserer styrken. Bruddplanene vil starte ved slike sprekker. Gjennom laboratorieknusingen kan steinmaterialet få brudd langs de svakere områdene, mikrosriss fjernes, og dette kan være med på å gjenopprette og forbedre sine styrkeegenskaper [48].

Nokiamaterialet som er testet er et mellomsterkt materiale. For det førstegangsknuste materialet er det ikke funnet noen sammenheng mellom kornformen og de mekaniske egenskapene, men det betyr ikke at den ikke eksisterer. For de mekaniske egenskapene og stenglighetsmetoden, er det noe variasjoner som gjør det vanskelig å påvise korrelasjonene mellom dem. Det kan vises til at det må være rimelig store forskjeller i kornform for å kunne påvise slike sammenhenger [48].

Laboratorieknusingen viser at det er en betydelig forbedring av kornform og styrke for håndstykker større enn 63 mm. Mulig årsak til dette kan være at materialenes kubisitet har økt som igjen har ført til at materialet har økt styrken mot nedknusing og slitasje. Dette fordi kubisk materiale har færre svake punkter og motstår bedre trommeltestene. Det er også mulig at laboratorieknusingen har fjernet svakheter som mikrosriss og sprekker i materialet, som igjen har bidratt til økt styrke. Det er ikke grunnlag for å konkludere med hvordan effekten bidrar til å øke styrke gjennom laboratorieknusing for disse ni prøvene som er undersøkt i denne oppgaven [48].

7.3.10 Experimental Research on Mechanical Property of Phyllite Tunnel Surrounding Rock Under Different Moisture State

Wang et al. har i artikkelen fra 2017 [49] undersøkt hvordan vann påvirker trykkfastheten til steinmaterialer. En del forskning som har dokumentert hvordan vann påvirker steinmaterialer, men lite når det gjelder spesifikt på fyllitt og vann. Prosjektet som nevnes her har hatt som hensikt å samle informasjon om temaet, og de har utført flere tester for trykkfasthet, fysiske og mekaniske egenskaper.

Testene ble utført i forskjellige fukttilstander, samt tørr tilstand for å undersøke om det vil påvirke materialets egenskaper. Testene er utført i flere faser; 0 dager, 5 dager, 10 dager, 15 dager og 20 dager nedsunket i vann. De har igjennom prosjektet testet ti fyllittprøver. Det er utført tynnslip, mikrotest, elektronmikroskop og XRD.

Fyllitt har tydelig stratifikasjons struktur, som er lagdeling og er vanlig i alle typer bergarter. Leiremineralene i fyllitt er illitt og kloritt, men inneholder også mineralene glimmer, kalsitt, kvarts og feltspat. Dette fører til svakhetene i bergarten.

Konklusjonen i artikkelen [49] viser at det er en sammenheng mellom trykkfastheten og tiden som fyllitten har vært nedsunket i vann. Flytespenningen og svakheten til bergarten øker med økningen i tid nedsunket i vann. Hvor lengre tid fyllitten er nedsunket, desto tydeligere kommer de svake egenskapene frem.

8 Diskusjon

Litteratur og andre studier er brukt for å kunne gjøre vurderinger av resultater og som sammenligningsgrunnlag. Diskusjonskapittelet binder sammen teori og resultater, og danner grunnlaget for konklusjonen.

8.1 Variasjoner i testresultater

Resultatene fra egne forsøk utført ved Universitet i Agder og Velde AS er satt sammen for å gi en bedre oversikt av resultatene. Sammenstilling av resultatene er fremstilt i Tabell 8-1, Tabell 8-2 og Tabell 8-3.

Tabell 8-1 Sammenstilling av resultatene fra forsøkene for batch 1 [30].

Nr.	Prøvenavn	UiA LA-verdi	Velde LA-verdi	Velde M _{DE}
1	NA 8/16-5	23	23	6
2	NA 8/16-7-1	23	23	6
	NA 8/16-7-2	23	23	6
3	NA 8/16-9	23	23	6
4	RNA 4/16-3a-1	27	28	19
	RNA 4/16-3a-2	27	28	19
5	RNA 4/16-3b-1	26	27	15
	RNA 4/16-3b-2	26	27	15
6	RNA 4/16-8a	26	26	9
7	RNA 4/16-9a-1	26	27	7
	RNA 4/16-9a-2	26	27	7

Tabell 8-2 Sammenstilling av resultatene fra forsøkene for batch 2 [30].

Nr.	Prøvenavn	UiA LA-verdi	Velde LA-verdi	Velde M _{DE}
8	NA 8/16-17	28	27	8
9	NA 8/16-22	24	22	6
10	RNA 4/16-21a-1	26	25	17
	RNA 4/16-21a-2	27	25	17
11	RNA 4/16-21b-1	28	28	10
	RNA 4/16-21b-2	28	28	10
12	RNA 4/16-22a-1	27	24	10
	RNA 4/16-22a-2	27	24	10
13	RNA 4/16-22b-1	26	25	7
	RNA 4/16-22b-2	26	25	7
14	RNA 4/16-23a	25	24	10
15	RNA 4/16-23b	25	26	9

Tabell 8-3 Sammenstilling av resultatene fra forsøkene for batch 3 [30].

Nr.	Prøvenavn	UiA LA-verdi	Velde LA-verdi	Velde M _{DE}
16	NA 8/16-38	30	29	-
17	NA 8/16-43	24	24	6
18	RNA 4/16-32-1	26	26	10
	RNA 4/16-32-2	27	26	10
19	RNA 4/16-37-1	27	25	11
	RNA 4/16-37-2	27	25	11
20	RNA 4/16-38-1	26	24	9
	RNA 4/16-38-2	26	24	9
21	RNA 4/16-39-1	27	25	11
	RNA 4/16-39-2	26	25	11
22	RNA 4/16-41-1	25	24	8
	RNA 4/16-41-2	25	24	8
23	RNA 4/16-42	26	26	9
24	RNA 4/16-43	25	25	8
25	RNA 4/16-44	26	28	12

Resultatene fra Universitet i Agder og Velde AS i Tabell 8-1, Tabell 8-2 og Tabell 8-3 viser at testresultatene er tilnærmet like fra begge laboratoriene. Det indikerer at testene er gjennomført riktig og at testresultatene er gyldige, da testene er utført uavhengig av hverandre og på ulike laboratorier og på de samme dagsprøvene. Resultatene viser at LA-verdi og M_{DE}-koeffisient tilfredsstiller kravene i Tabell 7-14 hvor strengeste krav til LA-verdi er <35 og M_{DE}-koeffisient er <20.

Figur 7-7 viser antall prøver, gjennomsnitt og maksimum/minimums LA-verdier for noen norske bergarter. Her ser vi stor spredning innenfor en og samme bergart. Resultatene fra egne forsøk for både naturlig knust tilslag og resirkulert tilslag er innenfor denne spredningen.

I oppgaven er det gjennomført en rekke tester på naturlig knust og resirkulert tilslag. Naturlig knust tilslag er hovedmaterialet som blir levert til byggenæringen. Resirkulert tilslag er gravemasser som har blitt vasket og siktet i en våtprosess. Forventningen i forkant av oppgaven var at det naturlige tilslaget ville gi stabile og gode resultater, mens det resirkulerte tilslaget ville gi stor spredning. Overraskende nok så viser resultatene at det resirkulerte tilslaget har mest stabile verdier, og har like gode LA-verdier som naturlig knust tilslag basert på de testene som er gjennomført i denne oppgaven.

Siktekurver for resirkulert tilslag i fraksjon 4/16 i Figur 7-1 viser at det er større spredning i graderingen enn for naturlig knust tilslag i fraksjon 8/16 i Figur 7-2. Kurvene til resirkulert tilslag har ulik form og det er stor variasjon i kornfordelingen, mens for naturlig knust tilslag er kurvene like og det er liten variasjon i kornfordelingen. Dette viser at det er variert sammensetning i resirkulert tilslag, mens for naturlig knust tilslag er kurvene stabile og kvaliteten på tilslaget er

jevnt. Dette kom tydelig frem under sikting i forberedelse til testfraksjonen at mengden tilslag som var under 10 mm varierte veldig for resirkulert tilslag, og veldig mye i forhold til naturlig knust tilslag.

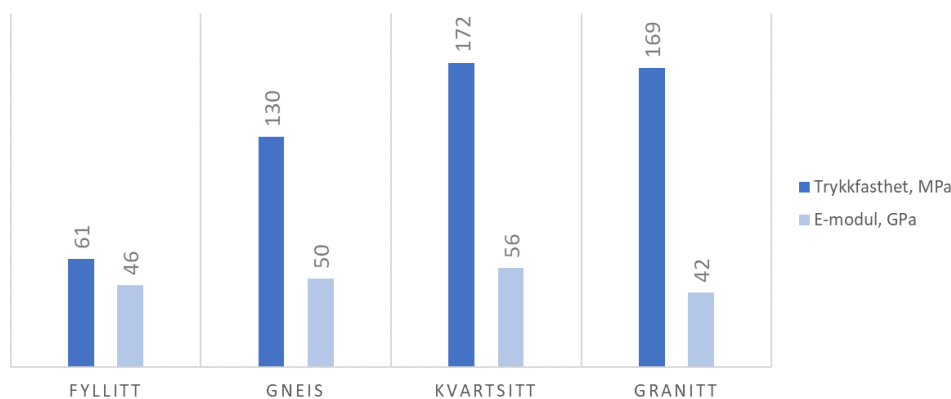
Siktekurvene etter utført LA-test, både RNA 4/16 og NA 8/16, viser at kurvene er rette og relativt like for alle testresultatene. Velgradert siktekurve tyder på at materialet utsatt for nedknusing, noe som stemmer godt overens med kurvene etter LA-testen. For RNA 4/16 er det noe mer spredning i resultatene, men kurvene relativt like. For NA 8/16 er kurvene relativt like, men det er et lite avvik for NA 38, der kurven er noe mere forskjøvet mot venstre. Det er den prøven med høyest LA-verdi, dette tilslagsmaterialet er mer nedknust enn de andre prøvene noe som høyere LA-verdi også viser.

8.2 Mekaniske egenskaper og bergarter

Resultatene etter petrografisk analyse gjengitt i Tabell 7-7, Tabell 7-8 og Tabell 7-9 viser at hoveddelen i sammensetningen er granitt/gneis/kvartsitt/feltspatisk-stein for alle prøvene. For naturlig knust tilslag viser resultatene at prøvene ikke inneholder andre bergarter enn granitt/gneis/kvartsitt/feltspatisk-stein. For resirkulert tilslag var det som forventet en del andre bergarter og noen andre funn. I tillegg til hoveddelen av granitt/gneis/kvartsitt/feltspatisk-stein ble det funnet inntil 27 % med fyllitt og inntil 7 % annet materiale som asfalt, betong, mørk stein og tegl.

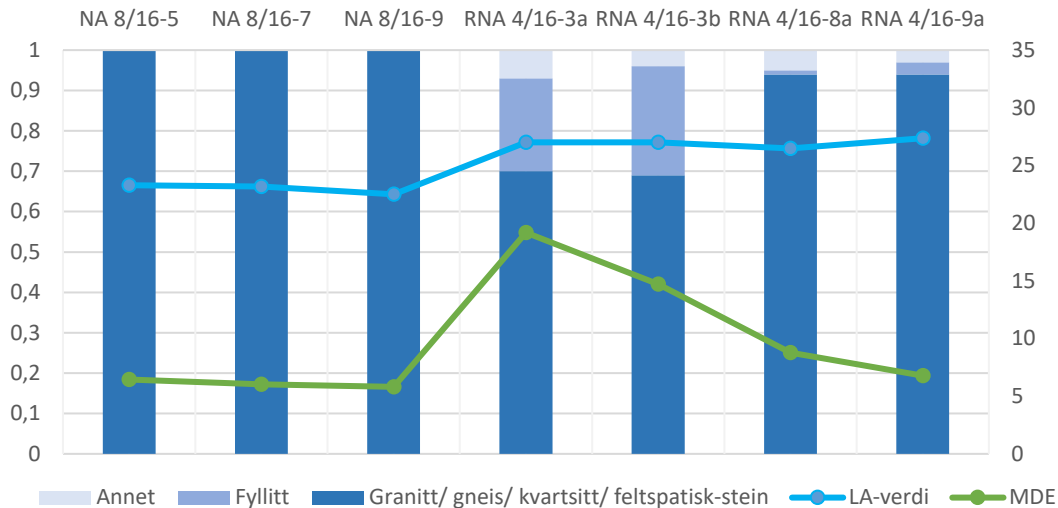
For den petrografiske analysen er fraksjonen 4/16 delt i to deler, 4/8 og 8/16. Det er interessant å se om andelen med fyllitt er større i den ene eller andre fraksjonen. Tallverdiene viser at andelen er like stor i begge fraksjonene, og at man kan anta en jevn fordeling av fyllitt i prøvene.

Figur 8-1 viser oversikt over bergartene i hoveddelen og tilhørende trykkfasthet og E-modul. Det er tydelig at fyllitt har mye lavere trykkfasthet enn granitt/gneis/kvartsitt. En intern undersøkelse utført av Statens vegvesen dokumenterer at det er høy grad av korrelasjon mellom Los Angeles-verdi, trykkfasthet og E-modul [20]. Dermed er det forventet at dette vil påvirke LA-verdi negativt.



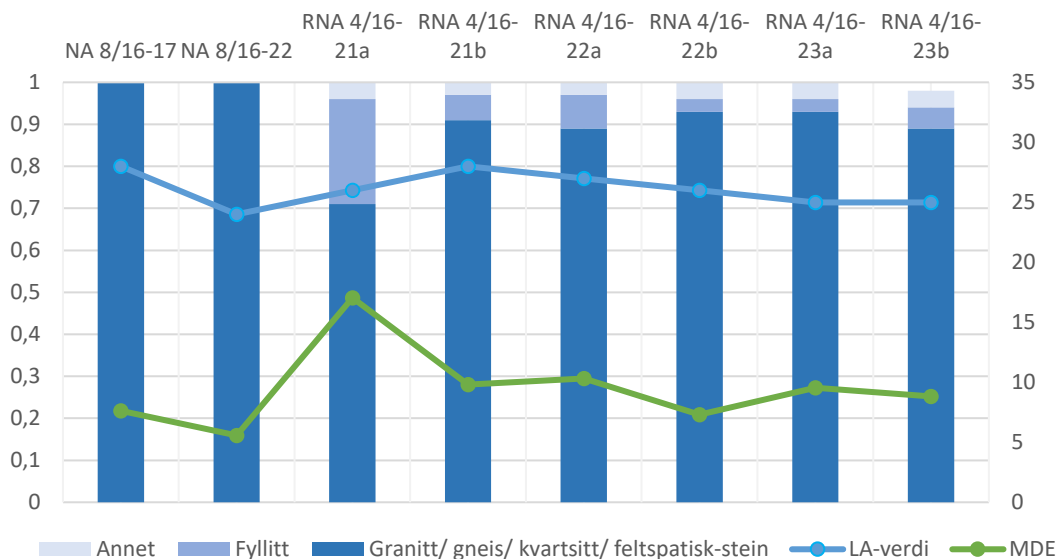
Figur 8-1 Trykkfasthet og E-modul [20].

Figur 8-2 viser at NA 8/16 prøvene har stabile LA-verdier og M_{DE} -koeffisienter. For RNA 4/16 er LA-verdiene tilnærmet like, selv om fyllittinnholdet varierer påvirker det i liten grad LA-verdiene. M_{DE} -koeffisientene for RNA 3a og RNA 3b er helt tydelig påvirket av andelen fyllitt ettersom prøvene for øvrig består av de samme bergartene.



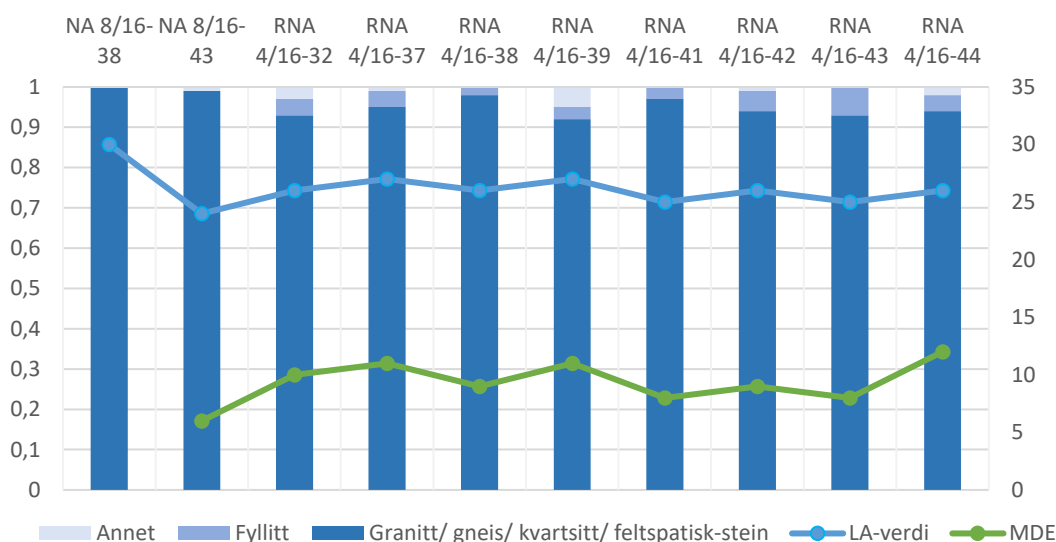
Figur 8-2 Grafisk fremstilling av mekaniske egenskaper og sammensetningen for batch 1 [34].

Figur 8-3 viser at NA 8/16 prøvene har større variasjon i LA-verdiene enn i batch 1, selv om det ikke er endring i sammensetningen basert på den petrografiske analysen. For RNA 4/16 er det mindre variasjoner i LA-verdi, men ikke så mye som NA 8/16. RNA 21a har inntil 25 % andel med fyllitt og 26 i LA-verdi, det indikerer at LA-verdien igjen ikke er vesentlig påvirket av fyllittinnholdet. M_{DE} -koeffisienten for den samme prøven er her vesentlig høyere og tydelig påvirket av fyllittinnholdet enn de andre RNA-prøvene i batch 2.



Figur 8-3 Grafisk fremstilling av mekaniske egenskaper og sammensetningen for batch 2 [34].

Figur 8-4 viser at NA 8/16 prøvene har større variasjon i LA-verdiene enn i batch 1, selv om det ikke er endring i sammensetningen. For RNA 4/16 varierer LA-verdien mellom 25 og 27 og M_{DE} -koeffisientene har variasjoner fra 8 til 12. Andelen med fyllitt i batch 3 varierer fra 1-7 %, noe som er for liten andel til at M_{DE} -koeffisientene blir vesentlig påvirket av dette. LA-verdiene er også svært stabile for denne batchen.



Figur 8-4 Grafisk fremstilling av mekaniske egenskaper og sammensetningen for batch 3 [34].

Tabell 7-11 viser resultatene fra et forsøk med tilslag fra gravemasser og kalkstein, hvor andelen med kalkstein øker for hver test [32]. Resultatet viser at det er korrelasjon mellom økning i andel kalkstein og økning i LA-verdi og M_{DE} -koeffisient. Det er i Tabell 7-11 vist at differansen i LA-verdi er 4-5 og differansen for M_{DE} -koeffisient er 21. Disse resultatene bekrefter svakere mekaniske egenskaper når et sterkt materiale blir blandet med andel av svakere materialer, i dette tilfelle kalkstein.

Basert på funnene i [32] og i Statens vegvesen [20] var det forventet at LA-verdiene skulle være tydelig varierende for prøver med større andel av svake materialer. For fyllmasser som skal benyttes til vegformål ønsker man å bruke materialer av god kvalitet, dermed er det viktig å sikre at det ikke er for store andeler med materialer som har lav trykkfasthet. Overraskelsen ble derfor stor når resultatene fra petrografisk analyse ble sammenstilt med LA testene. Som presentert i Figur 8-2, Figur 8-3 og Figur 8-4 er det ingen tydelig tendens til at LA-verdien er påvirket selv med inntil 27 % andel av fyllitt i prøven.

I rapporten *Vurdering av testmetoder for tilslagsmaterialer* [16], kommer det frem at steinmaterialer med varierende knusemotstand kan skape en feil fremstilling om at sterke materialer beskytter svakere materialer. Dette er en mulig forklaring på de gode LA-resultatene til tross for at prøven har inneholdt store andeler med svake materialer når man ser på motstand mot nedknusing, men også motstridende i forhold til tester utført med Kalkstein [32].

Det som klart ble avdekket er at M_{DE} -resultatene i stor grad ble påvirket av innholdet av fyllitt. På alle prøvene som hadde 20-27 % andel med fyllitt ble M_{DE} -koeffisienten tydelig høyere enn de

andre prøvene. Ettersom disse prøvene ikke hadde vesentlig annen sammensetning enn øvrige prøver, indikerer dette at fyllitt har vært utslagsgivende for prøven. Prøvene som kun har inntil 7 % fyllitt andel har ikke like tydelige utslag, det vil derfor være avgjørende hvor stor andel av materialet som tilhører de svakere bergartene hvilken effekt det har på resultatet.

Dette underbygger også påstanden om at i LA-test blir de svake materialene beskyttet, mens når man utfører M_{DE} -testen så vil man ikke oppnå den samme effekten. En annen faktor som kan være med å påvirke M_{DE} -resultatene er at fyllitt er et sterkt skifrig, bløt og finkornet til middelskornet. Det er dokumentert sammenheng mellom trykkfastheten og tiden som fyllitt er nedsunket i vann ifølge Wang et al. [49]. Fordi micro-Deval-testen utføres i vann, kan dette være en faktor for at testmaterialet som inneholder en større andel med fyllitt oppnår et svakere resultat i M_{DE} -koeffisient enn for LA-verdi.

Jeg har i litteraturstudiet mitt ikke funnet noen artikler som tar opp problemstillingene rundt fyllitt innhold i gravemasser og hvilke effekter det kan ha. Til tross for at inntil 27 % andel med prøvene var dokumentert svake materialer, tilfredsstillende alle LA-verdier og M_{DE} -resultatene kravene til de aktuelle bruksområdene. Det bør gjøres mer forskning på området for å belyse effektene på mekaniske egenskaper ved svake bergarter som fyllitt i resirkulert tilslag.

Det ble utført en XRD-analyse av testmaterialet etter LA-testen for å prøve å finne en sammenheng mellom de nedknuste bergartene og LA-verdi. Forventning i forkant av analysen var at resultatet ville vise at det var mest nedknust av de svake materialene. Hensikten var å undersøke hvorfor NA 17 fikk høyere LA-verdi i forhold til de øvrige naturlig knuste prøvene, og for å identifisere noen sammenhenger mellom prøven med mye fyllitt i forhold til de andre prøvene med resirkulert tilslag.

Figur 7-5 viser resultat fra XRD-analysen hvor intensitet og vinkel til røntgenstrålen er identifisert, og kan avleses mot et bibliotek for å identifisere mineralene. For denne XRD-analysen er Rietveld-metoden benyttet for å gjennomføre profilanalysen. Figur 7-6 viser andelen nedknuste mineraler etter LA-test for fem prøver. Basert på hardhetsskalaen så er det størst andel med harde mineraler som er knust ned under testen. Feltspat og kvarts er hoveddelen av det nedknuste materialet, med en hardhet mellom 6 og 7 på Mohs hardhetsskala. Resterende materiale består av mineraler som muskovitt, biotitt og kloritt, og har en hardhet mellom 2 og 3 på Mohs hardhetsskala.

For resirkulert tilslag ser vi en tendens til sammenheng mellom andelen fyllitt og andelen nedknust muskovitt. Ved en betraktning av andelen oppgitt i prosent er det korrelasjon mellom fyllitt og nedknust muskovitt, og mellom andel fyllitt og biotitt. Muskovitt er lys glimmer og finnes i fyllitt. Biotitt er ikke naturlig innhold i fyllitt, og det er en meget lav andel biotitt i RNA-prøvene. Bergartene granitt/gneis/kvartsitt/feltspatisk-stein inneholder naturlig andeler med svake mineraler som glimmer, det kan være både muskovitt og biotitt noe som også kommer frem i XRD-resultatene for NA 17 og NA 22.

Resultatene fra XRD-analysen indikerer ingen store forskjeller mellom funnene i nedknuste bergarter sett opp mot resultatene fra den petrografiske analysen. Her ble heller ikke

forventningen om større andel av svake mineraler innfridd. Selv i prøve RNA 21a som inneholder 25 % fyllitt var det ikke større andel med svake mineraler i sett opp mot hva som ble avdekket i petrografisk analyse.

XRD-analysen avdekket ikke forskjeller i mineralsammensetningen for NA 17 i forhold til NA 22 som har gjennomsnittlig LA-verdi. I rapporten *Langemyr* [47], og i *Kornform og mekaniske egenskaper* [48] er det identifisert microriss i enkelte av prøvene som gir høyere LA-verdi for et ellers tilsynelatende likt materiale. Det er sannsynlig at microriss kan være årsak til at NA 17 har høyere verdi, men det er ikke gjort analyser som kan dokumentere dette for denne prøven.

8.3 Testmetoder

For å dokumentere tilslagetets kvalitet må det gjennomføres ulike tester. De viktigste testene er Los Angeles-test, micro-Deval-test, kornfordeling og flisighetsindeks. Krav til prøvehyppighet er gjengitt i Tabell 3-1.

Basert på testresultater fra egne laboratorieforsøk og *Langemyr* [47] hvor testresultatene varierer innenfor en og samme bergart og samme lokasjon, kan man stille spørsmål ved at det holder å teste 2 ganger i året for alle uttakene. Det vil være variasjoner som ikke blir fanget opp og ikke dokumenteres med sine reelle mekaniske egenskaper. Resultatene fra egne forsøk viser at det er like store variasjoner i LA-verdi for naturlig knust tilslag og resirkulert tilslag. Av testmaterialet som jeg har testet er resirkulert tilslag mer stabilt enn naturlig knust tilslag.

For NA 8/16 er hoveddelen granitt/gneis/kvartsitt/feltspatisk-stein for alle prøvene. Resultatene viser at LA-verdiene varierer for de ulike prøvene, og det er interessant at resultatene kan variere så mye når kildematerialet er det samme. Fra rapporten *Langemyr* [47] fikk de varierende testresultater. Det gjaldt både fra de ulike områdene med lik sammensetning av bergarter, men også fra prøver som var tatt på samme område, men én meter ned i fjellet på samme sted. Det ble funnet intergranulære mikrosprekker, noe som bidrar til svakhetssoner i bergarten og som kan forklare hvorfor LA-verdien blir så høy. Det kan være noe av forklaringen på hvorfor dagsprøvene med naturlig knust tilslag fra Velde varierer, selv med lik sammensetning av bergarter.

Det kommer frem i masteroppgaven om kornform og mekaniske egenskaper [48] at det er en sammenheng mellom mekaniske egenskaper og kornform, men at endring i flisighet ikke påvirker vesentlig LA-verdi og M_{DE} -koeffisient. Det må være store variasjoner i flisighet for at det kan være sporbart. For naturlig knust tilslag kan kornformen styres i produksjonen, mens for resirkulert tilslag fra grave- og byggavfall så kan ikke dette styres. Basert på funn i [48] så er det ikke kornformen som påvirker LA- og M_{DE} -verdiene hovedsakelig.

For dagsprøve RNA 8a, var det mottatt 49 kg med prøvemateriale i fraksjon 4/16, og etter sikting til testfraksjonen var det kun 7,7 kg igjen i 10/14. Dette betyr at det faktisk er en liten andel av testmaterialet som blir testet. Det er ikke dokumentert hvilken mekanisk styrke tilslaget i fraksjon 4/10 har. Dette er en svakhet med Los Angeles- og micro-Deval-metoden, som gjør at en stor andel av fraksjonen som ikke er testet. Det mottatte materialet med naturlig knust tilslag i fraksjon 8/16, oppnår en bedre dokumentasjon fordi det er en mindre andel av tilslaget som siktes bort når det siktes til testfraksjonen.

8.4 Resirkulert tilslag som ressurs

EUs krav om 70 % materialgjenvinning innen 2020 er et langt stykke unna hva som er realiteten i dagens samfunn. Tall fra 2019 [3] viser at vi har den laveste andelen med materialgjenvinning i bygg- og anleggsbransjen siden etableringen av statistikken. Også tallene for mengde av avfall som ender til deponi øker, og det kan ha en sammenheng med strenge krav til ombruk og gjenvinning. Dette er noe som kan endre seg når byggebransjen har fått en bedre struktur på prosjekteringsfasen og FDV-dokumentasjonen med tanke på ombruk og gjenvinning.

Ved å øke fokuset på sirkulær økonomi kan dette være med å bidra til økt ressursutnyttelse, ny verdiskaping og sikre tilgang på råvarer. Gjennom å utnytte ressursene som finnes i grave- og byggavfall kan det bidra til å begrense uttak av nye råvarer. Reduserte råvareuttak kan bidra til lavere klimagassutslipp og andre miljøbelastninger minsker. Resirkulert tilslag produsert fra grave- og byggavfall vil gjennom sirkulær økonomi bidra til en grønn økonomisk vekst.

Tidligere forskning [26] har vist at det er lite dokumentasjon på materialstrømmen til gravemasser. Gravemassene blir ofte levert til deponi, til tross for at dette er avfall som kan utnyttes til høykvalitets formål. Det er behov for mer forskning på dette feltet, og det er viktig at det legges til rette for koordinering og strategisk planlegging i en tidlig fase for å bidra til økt ressursutnyttelse [26]. RESGRAM er et pågående prosjekt som varer ut 2020, fokusområdet for dette prosjektet er resirkulert tilslag fra grave- og byggavfall. Det er utført og planlagt flere fullskala demonstrasjonsprosjekter, både på bunden og ubunden bruk hvor det er oppnådd tilfredsstillende resultater [2].

De mekaniske egenskapene til resirkulert tilslag produsert fra grave- og byggavfall er realtvis stabile også sammenlignet med knust tilslag. En slik dokumentasjon kan være med på endre fokuset i bransjen til å ta valg om å bruke resirkulert tilslag oftere. Resirkulert tilslag er et meget godt valg til bruk i VA-grøfter og som forsterkningslag i veg. Her ser vi det største potensialet for utnyttelse av ressursen.

9 Konklusjon

Hvilke variasjoner viser testresultatene i motstand mot nedknusing?

- Testresultatene viser liten grad av variasjon i motstand mot nedknusing for resirkulert tilslag
- Alle testresultatene tilfredsstiller bruk til vegformål

Hvilken sammenheng er det mellom egenskaper til bergarter i gravemasser og motstand mot nedknusing?

- Sammensetningen i gravemassene som er testet er i hovedsak granitt/gneis/kvartsitt/feltspatisk-stein og varierende andel med fyllitt
- Granitt/gneis/kvartsitt er bergarter som har høy trykkfasthet, mens fyllitt er en bergart med lavere trykkfasthet. Sammensetningen har tilfredsstillende mekaniske egenskaper i motstand mot nedknusing

Hvilke testmetoder bør benyttes for å dokumentere tilslagetts kvalitet?

- Det må alltid utføres Los Angeles- og micro-Deval-test på tilslagsmaterialet for å sikre kvaliteten, fordi svake bergarter påvirker testene med ulikt utfall
- Det bør utføres petrografisk analyse av tilslagsmaterialet for å avdekke andelen svake bergarter
- Sikteanalyse må gjennomføres for å dokumentere tilfredsstillende korngradering i tilslaget

Hvorfor er resirkulert tilslag produsert fra grave- og byggavfall en viktig ressurs?

- Bidrar til grønn økonomisk vekst
- Bidrar til sirkulær økonomi
- Reduserer primæruttak av råvarer, og kan erstatte naturlig knust tilslag

Med bakgrunn i underspørsmålene, resultater fra litteraturstudie og laboratorietester kan forskerspørsmålet besvares:

Hvordan dokumentere at resirkulert tilslag produsert fra grave- og byggavfall er egnet materiale for vegbygning?

- Ved å gjennomføre Los Angeles- og micro-Deval-test, petrografisk analyse og sikteanalyse sikrer man en god dokumentasjon av kvaliteten til tilslaget
- Dokumentasjonen bør utføres hyppig slik at man sikrer jevn kvalitet i tilslaget
- Resirkulert tilslag testet i oppgaven viser vel så gode egenskaper som naturlig knust tilslag, og er dermed velegnet for bruk til vegformål og som fyllmasse for VA-anlegg

10 Anbefalinger

Råd til videre arbeid

- Det bør gjøres forsøk med fyllitt sammen med et annet sterkt materiale, der andelen med fyllitt økes gradvis for hvert forsøk. Det bør gjøres både Los Angeles-test og micro-Deval-test for å undersøke hvor mye fyllitt som kan tilsettes. Det kan være tester med for eksempel 20, 30, 40, 50, 60 og 80 % fyllittmateriale og knust steinmateriale
- Utføre forsøk med alternative testfraksjoner, for å dokumentere hvilken Los Angeles-verdi fraksjoner 4/10 mm har sammenlignet med fraksjon 10/14 fra samme testmateriell

Råd til Velde AS

- Resirkulert tilslag produsert fra grave- og byggavfall bør produseres i fraksjon 8/16, for å erstatte knust tilslag og for å øke bruksområdet

11 Referanser

- [1] M. Haugen, J. Lindgård og S. Hjorth-Hansen. *Naturlig tilslag i betong. Egenskaper og dokumentasjon*. Hentet fra: https://www.byggforsk.no/dokument/284/naturlig_tilslag_i_betong_egenskaper_og_dokumentasjon#. Lastet ned: 09.01.20.
- [2] C. J. Engelsen og T. Rise, "Vurdering av resirkulert tilslag. Egnethet i rørgrøfter," SINTEF AS, 2019.
- [3] SSB. 2019. *Mindre til materialgjennvinning* [SSB]. Hentet fra: <https://www.ssb.no/natur-og-miljo/artikler-og-publikasjoner/mindre-til-materialgjennvinning>. Lastet ned: 14.01.20.
- [4] J. Mehus, L. Skaare og Ø. Myhre, "Ubunden bruk av resirkulert tilslag i VA-grøfter. Resiba-prosjektrapport," 2002.
- [5] R. M. Dahl, K. A. Aasly og E. Erichsen. *Areal planlegging*. Hentet fra: <https://www.ngu.no/emne/arealplanlegging>. Lastet ned: 03.04.20.
- [6] *Mineralressurser i norge 2010 : Mineralstatistikk og bergindustriberetning* (Publikasjon (norges geologiske undersøkelse : Trykt utg.)). Trondheim: Direktoratet for mineralforvaltning med Bergmesteren for Svalbard Norges geologiske undersøkelse, 2011.
- [7] Miljøverndepartementet, "Fra avfall til ressurs," 06.2013, 2013, [T-1531], <https://www.regjeringen.no/no/dokumenter/t-1531-fra-avfall-til-ressurs/id733163/>.
- [8] K. Sørnes, A. S. Nordby, H. Fjeldheim, S. M. B. Hashem, M. Mysen og R. D. Schlanbusch, "Anbefalinger ved ombruk av byggematerialer," 2014.
- [9] A. Moum, C. Skaar og K. T. Midthun, "Sirkulær økonomi i morgendagens byggenæring," 2017.
- [10] M. Haugen og J. Lindgård. 2012. *Tilslagsmaterialer for betong*. Hentet fra: https://www.byggforsk.no/dokument/588/tilslagsmaterialer_for_betong. Lastet ned: 14.01.20.
- [11] *Tilslag for mekanisk stabiliserte og hydraulisk stabiliserte materialer til bruk i bygg- og anleggsarbeid og vegbygging*, NS-EN 13242:2002+A1:2007+NA:2009, 2002.
- [12] SINTEF. *Knust fjell gir stor miljøgevinst*. Hentet fra: <https://www.sintef.no/siste-nytt/knust-fjell-gir-stor-miljogevinst/>
Lastet ned: 15.01.20.
- [13] Store Norske Leksikon. 2019. *Mekaniske egenskaper*. Hentet fra: https://snl.no/mechaniske_egenskaper. Lastet ned: 30.01.20.
- [14] Statens vegvesen, *R 210 Laboratorieundersøkelser*, vol. 2015, nr. Issue, s. Pages, E-Pub, Hentet fra: <https://www.vegvesen.no/attachment/185231/binary/1090658>
- [15] Aurstad Joralf, *Lærebok vegteknologi*, vol. Nr. 626, nr. Issue, s. Pages, E-Pub, [Online].
- [16] E. Erichsen, "En vurdering av testmetoder for tilslagsmaterialer til vegformål," *NGU rapport*, 2012.
- [17] *Prøvmetsmetoder for mekaniske og fysiske egenskaper for tilslag - del 2: Metoder for bestemmelse av motstand mot knusing*, NS-EN 1097-2:2010, 2010.
- [18] Vegdirektoratet, *Vegbygging : Normal [håndbok n200]*. Statens vegvesen, 2014.

- [19] N. Karlsson. 2004. *572.108 steinmaterialer. Sand, grus og pukk*. Hentet fra: https://www.byggforsk.no/dokument/3204/steinmaterialer_sand_grus_og_pukk. Lastet ned: 15.01.20.
- [20] B. Pedersen og R. Kompen, *Trykkfasthet og E-modul for Sv-40 betong : En studie av tilslagets betydning,* vol. Nr. 177, nr. Issue, s. Pages, E-Pub, [Online].
- [21] *Prøvningsmetoder for mekaniske og fysiske egenskaper for tilslag - del 1: Bestemmelse av motstand mot slitasje (micro-Deval)*, NS-EN 1097-1 :2011 2011.
- [22] *Prøvningsmetoder for geometriske egenskaper for tilslag - del 3: Bestemmelse av kornform - flisighetsindeks*
NS-EN 933-3:2012, 2012.
- [23] Store norske leksikon. 2009. *Tynnslip*. Hentet fra: <https://snl.no/tynnslip>. Lastet ned: 30.01.20.
- [24] *Endringsblad a1 - prøvningsmetoder for generelle egenskaper for tilslag - del 3: Prosedyre og terminologi for forenklet petrografisk beskrivelse*, 2003.
- [25] *Prøvningsmetoder for geometriske egenskaper for tilslag - del 1: Bestemmelse av kornstørrelsesfordeling - sikteanalyse*, NS-EN 933-1:2012 2012.
- [26] S. Magnusson, K. Lundberg, B. Svedberg og S. Knutsson, "Sustainable management of excavated soil and rock in urban areas—a literature review," *Journal of Cleaner Production*, vol. 93, s. 18-25, 2015.
- [27] VeldeAS. 2019. *Velde as/om velde*. Hentet fra: <https://www.veldeas.no/omvelde>. Lastet ned: 06.09.19.
- [28] D. I. Jacobsen, *Hvordan gjennomføre undersøkelser? : Innføring i samfunnsvitenskapelig metode*, 3. utg. utg. Oslo: Cappelen Damm akademisk, 2015.
- [29] M. Norby, "Eget bilde," utg., 2020.
- [30] M. Norby, "Egen tabell," utg., 2020.
- [31] M. Haugen, "Characterization of recycled aggregates from excavation materials from Velde industri AS, october 2019," SINTEF 06.12.19 2019, Lastet ned: 10.02.20.
- [32] S. Adomako, "Los Angeles- og micro-Deval resultat,," utg., 2020.
- [33] M. Norby, "Los Angels-resultater fra forprosjekt," utg., 2019.
- [34] M. Norby, "Egen figur," utg., 2020.
- [35] "Resultat XRD-analyse," utg.: SINTEF, 2020.
- [36] Velde AS, "Resultat LA og M_{DE}," utg., 2020.
- [37] Store norske leksikon. 2018. *Mineralogi*. Hentet fra: <https://snl.no/mineralogi>. Lastet ned: 10.02.20.
- [38] Store norske leksikon. *Bergarter*. Hentet fra: <https://snl.no/bergarter>. Lastet ned: 03.02.20.
- [39] T. T. Garmo, *Norsk steinbok : Norske mineral og bergarter*, 3. utg. utg. Oslo: Universitetsforl., 1995.
- [40] Store norske leksikon. *Glimmer*. Hentet fra: <https://snl.no/glimmer>. Lastet ned: 06.05.20.
- [41] Store Norske Leksikon. *Biotitt*. Hentet fra: <https://snl.no/biotitt>. Lastet ned: 06.05.20.
- [42] Norges geologiske undersøkelse. 2019. *Kvarts og kvartsitt*. Hentet fra: <https://www.ngu.no/fagomrade/kvarts-og-kvartsitt>. Lastet ned: 06.05.20.
- [43] X. Zhou *et al.*, "XRD-based quantitative analysis of clay minerals using reference intensity ratios, mineral intensity factors, rietveld, and full pattern summation methods: A critical review," *Solid Earth Sciences*, vol. 3, nr. 1, s. 16-29, 2018.

- [44] K. Shih, *X-ray diffraction : Structure, principles, and applications*," nr. Issue, s. Pages, E-Pub, [Online].
- [45] C. J. Engelsen, "Resirkulert tilslag av tegl og betong," 10.01.20 2015, vol. 2, https://www.byggforsk.no/dokument/3162/resirkulert_tilslag_av_tegl_og_betong
- [46] *Prøvmåter for geometriske egenskaper for tilslag - del 11: Metode for klassifisering av bestanddelene av grovt resirkulert tilslag* NS-EN 933-11:2009, 2009.
- [47] M. Simoni, R. Tangstad og J. Keiding, "Undersøkelse av pukkeforekomst Langemyr i Lillesand kommune," 2017.
- [48] N. A. F. Luke, "Kornform og mekaniske egenskaper for et granodiorittmateriale etter testknusing og laboratorieknusing", 2017.
- [49] K. Hu, Q. Feng og X. Wang, "Experimental research on mechanical property of phyllite tunnel surrounding rock under different moisture state," *An International Journal*, vol. 35, nr. 1, s. 303-311, 2017.

12 Vedlegg

12.1 Prøverapporter fra laboratorieforsøk

Prøverapportene dokumenterer registrerte data fra laboratorieforsøkene. Rapportene inneholder LA-resultat og siktekurver for testmaterialet. Rapportene er listet opp under;

- Prøverapport RNA 3a
- Prøverapport RNA 3b
- Prøverapport RNA 8a
- Prøverapport RNA 9a
- Prøverapport NA 5
- Prøverapport NA 7
- Prøverapport NA 9
- Prøverapport Miljø
- Prøverapport NA 17
- Prøverapport NA 22
- Prøverapport NA 38
- Prøverapport NA 43
- Prøverapport RNA 21a
- Prøverapport RNA 21b
- Prøverapport RNA 22a
- Prøverapport RNA 22b
- Prøverapport RNA 23a
- Prøverapport RNA 23b
- Prøverapport RNA 32
- Prøverapport RNA 37
- Prøverapport RNA 39
- Prøverapport RNA 41
- Prøverapport RNA 42
- Prøverapport RNA 43
- Prøverapport RNA 44

Prøverapport RNA3a

Standard	NS-EN 1097-2
Sted prøveuttak	Velde AS
Dato prøveuttak	09.10.19
Totalvekt prøve motatt	37,8 kg
Etter sikting til 10/14	11,0 kg
Materialtype	RNA 4/16
Laboratorium	UiA, Grimstad

Prøvenummer	RNA3a - 1
Dato	05.11.19
Fraksjon	10/14
m	3648 g
Analyseverdi LA	27
Avvik / Kommentarer	

Prøvenummer	RNA3a-2
Dato	05.11.19
Fraksjon	10/14
m	3638 g
Analyseverdi LA	27
Avvik / Kommentarer	

$$LA = \frac{(5000 - m)}{50}$$

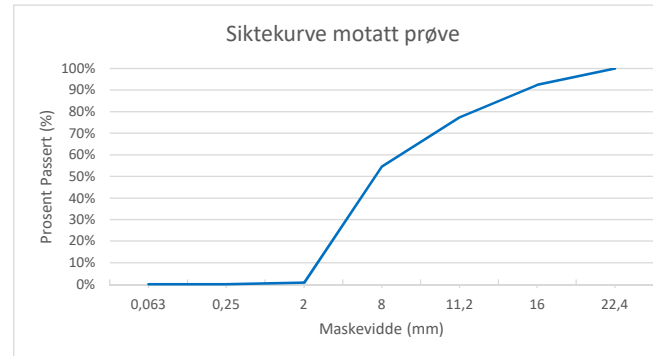
Formel (1)

Sikteanalyse mottatt prøve

Vekt	Kontroll	0,063	0,25	2	8	11,2	16	22,4
1000,4	1000,4	999,4	999,2	992,6	453,8	225,6	75,2	0
		0,1 %	0,1 %	0,8 %	54,6 %	77,4 %	92,5 %	100,0 %

Sikteanalyse LA

Vekt	Kontroll	0,063	0,125	0,25	0,5	1	2	4	8	11,2	16
1000	999,8	999,6	999,6	999,4	999,4	999,2	961,4	778,6	420,4	150	0
		0,0 %	0,0 %	0,1 %	0,1 %	0,1 %	3,9 %	22,1 %	58,0 %	85,0 %	100,0 %



Prøverapport RNA3b

Standard	NS-EN 1097-2
Sted prøveuttak	Velde AS
Dato prøveuttak	09.10.19
Totalvekt prøve motatt	35,8 kg
Etter sikting til 10/14	10,4 kg
Materialtype	RNA 4/16
Laboratorium	UiA, Grimstad

Prøvenummer	RNA3b - 1
Dato	01.11.19
Fraksjon	10/14
m	3632 g
Analyseverdi LA	27
Avvik / Kommentarer	

Prøvenummer	RNA3b-2
Dato	01.11.19
Fraksjon	10/14
m	3682 g
Analyseverdi LA	26
Avvik / Kommentarer	

$$LA = \frac{(5000 - m)}{50}$$

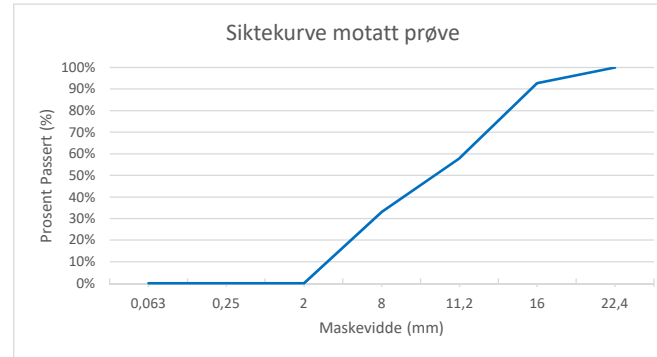
Formel (1)

Sikteanalyse mottatt prøve

Vekt	Kontroll	0,063	0,25	2	8	11,2	16	22,4
1000,4	1000,4	1000	999,8	999,2	669,8	420,2	72,4	0
		0,0 %	0,1 %	0,1 %	33,0 %	58,0 %	92,8 %	100,0 %

Sikteanalyse LA

Vekt	Kontroll	0,063	0,125	0,25	0,5	1	2	4	8	11,2	16
1000	1000	1000	1000	1000	999,8	999,6	943	720,8	335,6	88,6	0
		0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	5,7 %	27,9 %	66,4 %	91,1 %	100,0 %



Prøverapport RNA8a

Standard	NS-EN 1097-2
Sted prøveuttak	Velde AS
Dato prøveuttak	16.10.19
Totalvekt prøve motatt	49,0 kg
Etter sikting til 10/14	7,7 kg
Materialtype	RNA 4/16
Laboratorium	UiA, Grimstad

Prøvenummer	RNA8a - 1
Dato	07.11.19
Fraksjon	10/14
m	3724 g
Analyseverdi LA	26
Avvik / Kommentarer	

$$LA = \frac{(5000 - m)}{50}$$

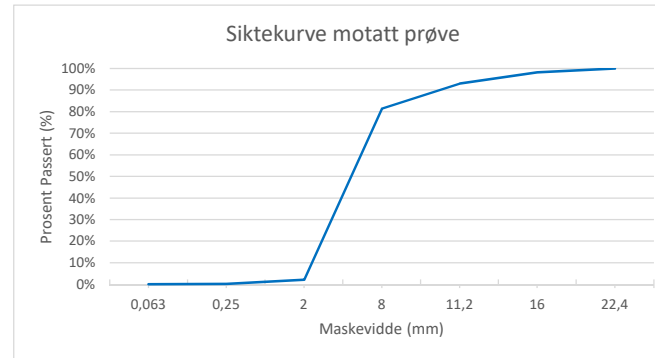
Formel (1)

Sikteanalyse mottatt prøve

Vekt	Kontroll	0,063	0,25	2	8	11,2	16	22,4
1000,2	999,6	998,8	998	979,2	185,6	69,4	18,6	0
		0,1 %	0,2 %	2,1 %	81,4 %	93,1 %	98,1 %	100,0 %

Sikteanalyse LA

Vekt	Kontroll	0,063	0,125	0,25	0,5	1	2	4	8	11,2	16
1000,4	1000,2	1000	1000	1000	1000	1000	936,8	698,6	330,8	92,6	0
		0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	6,4 %	30,2 %	66,9 %	90,7 %	100,0 %



Prøverapport RNA9a

Standard	NS-EN 1097-2
Sted prøveuttak	Velde AS
Dato prøveuttak	17.10.2019
Totalvekt prøve motatt	48,1 kg
Etter sikting til 10/14	11,0 kg
Materialtype	RNA 4/16
Laboratorium	UiA, Grimstad

Prøvenummer	RNA9a -1
Dato	31.10.2019
Fraksjon	10/14
m	3687 g
Analyseverdi LA	26
Avvik / Kommentarer	

Prøvenummer	RNA9a -2
Dato	31.10.2019
Fraksjon	10/14
m	3705 g
Analyseverdi LA	26
Avvik / Kommentarer	

$$LA = \frac{(5000 - m)}{50}$$

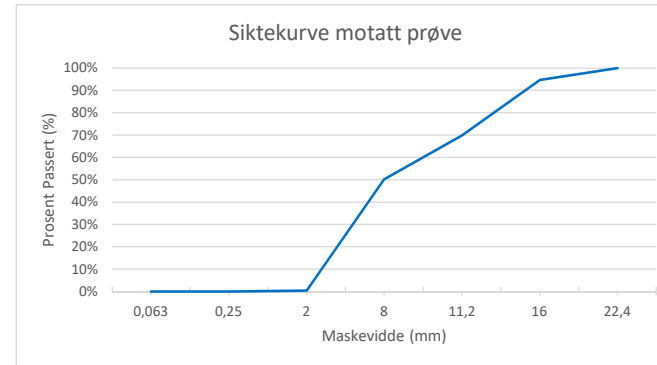
Formel (1)

Sikteanalyse mottatt prøve

Vekt	Kontroll	0,063	0,25	2	8	11,2	16	22,4
1000	1000	1000	999,4	996	497	301	54,4	0
		0,0 %	0,1 %	0,4 %	50,3 %	69,9 %	94,6 %	100,0 %

Sikteanalyse LA

Vekt	Kontroll	0,063	0,125	0,25	0,5	1	2	4	8	11,2	16
1000	999,8	999,6	999,6	999,4	999,4	999,2	963	808	435,4	125,6	0
		0,0 %	0,0 %	0,1 %	0,1 %	0,1 %	3,7 %	19,2 %	56,5 %	87,4 %	100,0 %



Prøverapport NA5

Standard	NS-EN 1097-2
Sted prøveuttak	Velde AS
Dato prøveuttak	09.10.2019
Totalvekt prøve motatt	25,4 kg
Etter sikting til 10/14	9,0 kg
Materialtype	NA 8/16
Laboratorium	UiA, Grimstad

Prøvenummer	NA5-1
Dato	07.11.2019
Fraksjon	10/14
m	3853 g
Analyseverdi LA	23
Avvik / Kommentarer	

$$LA = \frac{(5000 - m)}{50}$$

Formel (1)

Sikteanalyse mottatt prøve

Vekt	Kontroll	0,063	0,25	2	8	11,2	16	22,4
1000,2	1000	997,6	997	996,2	831	445	88,6	0
		0,3 %	0,3 %	0,4 %	16,9 %	55,5 %	91,1 %	100,0 %

Sikteanalyse LA

Vekt	Kontroll	0,063	0,125	0,25	0,5	1	2	4	8	11,2	16
1000	999,6	999,6	999,6	999,6	999,4	999,4	955,2	768,2	399,6	124,6	0
		0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,1 %	0,1 %	4,5 %	23,2 %	60,0 %	87,5 %	100,0 %



Prøverapport NA7

Standard	NS-EN 1097-2
Sted prøveuttak	Velde AS
Dato prøveuttak	16.10.2019
Totalvekt prøve motatt	25,5 kg
Etter sikting til 10/14	10,6 kg
Materialtype	NA 8/16
Laboratorium	UiA, Grimstad

Prøvenummer	NA7-1
Dato	11.11.2019
Fraksjon	10/14
m	3868 g
Analyseverdi LA	23
Avvik / Kommentarer	

Prøvenummer	NA7-2
Dato	11.11.2019
Fraksjon	10/14
m	3865 g
Analyseverdi LA	23
Avvik / Kommentarer	

$$LA = \frac{(5000 - m)}{0}$$

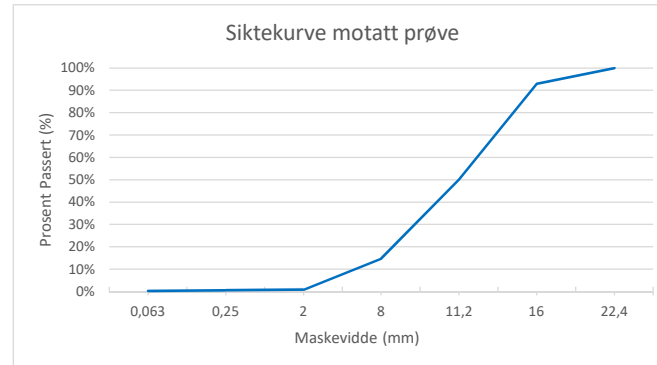
Formel (1)

Sikteanalyse mottatt prøve

Vekt	Kontroll	0,063	0,25	2	8	11,2	16	22,4
1000,2	1000,2	996,6	994,2	991,8	852,4	499,6	71,8	0
		0,4 %	0,6 %	0,8 %	14,8 %	50,0 %	92,8 %	100,0 %

Sikteanalyse LA

Vekt	Kontroll	0,063	0,125	0,25	0,5	1	2	4	8	11,2	16
1000	1000	1000	1000	1000	999,6	999,6	937,4	722,4	339	106,8	0
		0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	6,3 %	27,8 %	66,1 %	89,3 %	100,0 %



Prøverapport NA9

Standard	NS-EN 1097-2
Sted prøveuttak	Velde AS
Dato prøveuttak	17.10.2019
Totalvekt prøve motatt	23,6 kg
Etter sikting til 10/14	7,9 kg
Materialtype	NA 8/16
Laboratorium	UiA, Grimstad

Prøvenummer	NA9-1
Dato	11.11.2019
Fraksjon	10/14
m	3863 g
Analyseverdi LA	23
Avvik / Kommentarer	

$$LA = \frac{(5000 - m)}{50}$$

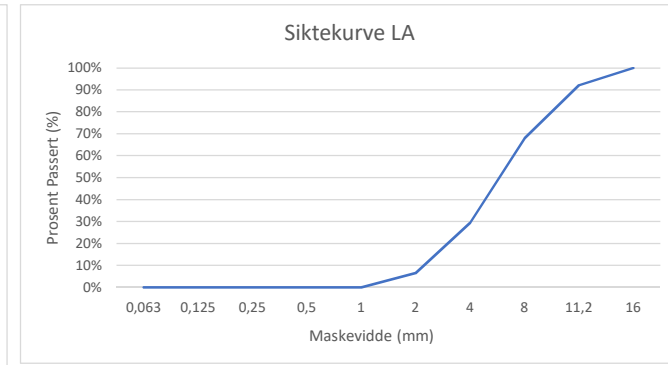
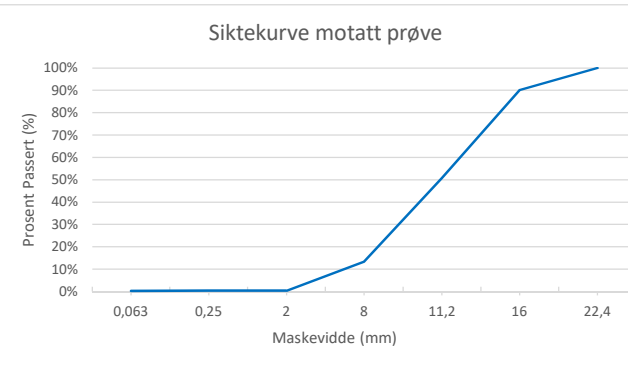
Formel (1)

Sikteanalyse mottatt prøve

Vekt	Kontroll	0,063	0,25	2	8	11,2	16	22,4
1000,2	1000	997,4	995,8	995,2	865,8	491,4	98	0
		0,3 %	0,4 %	0,5 %	13,4 %	50,9 %	90,2 %	100,0 %

Sikteanalyse LA

Vekt	Kontroll	0,063	0,125	0,25	0,5	1	2	4	8	11,2	16
1000,2	1000,2	1000,2	1000,2	1000,2	1000,2	1000	934,9	705,4	320,4	77,8	0
		0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	6,5 %	29,5 %	68,0 %	92,2 %	100,0 %



Prøverapport Miljø

Standard	NS-EN 1097-2
Sted prøveuttak	Velde AS
Dato prøveuttak	Uke 39
Totalvekt prøve motatt	50,0 kg
Etter sikting til 10/14	11,0 kg
Materialtype	Miljø 4/16
Laboratorium	UiA, Grimstad

Prøvenummer	Miljø - 1
Dato	31.10.2019
Fraksjon	10/14
m	3678 g
Analyseverdi LA	26
Avvik / Kommentarer	

Prøvenummer	Miljø-2
Dato	31.10.2019
Fraksjon	10/14
m	3684 g
Analyseverdi LA	26
Avvik / Kommentarer	

$$LA = \frac{(5000 - m)}{50}$$

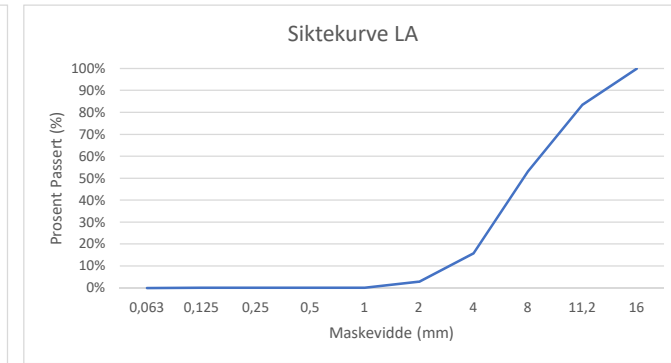
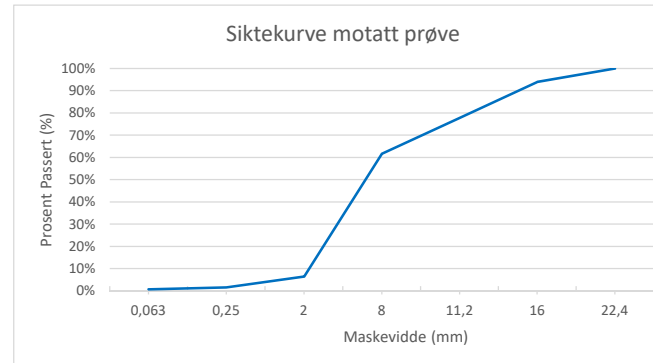
Formel (1)

Sikteanalyse mottatt prøve

Vekt	Kontroll	0,063	0,25	2	8	11,2	16	22,4
1000	998,6	992,8	985	935,6	383	221,6	60,8	0
		0,7 %	1,5 %	6,4 %	61,7 %	77,8 %	93,9 %	100,0 %

Sikteanalyse LA

Vekt	Kontroll	0,063	0,125	0,25	0,5	1	2	4	8	11,2	16
1000,2	1000,2	1000,2	999,8	999,8	999,8	999,8	971,8	842	469,2	165	0
		0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	2,8 %	15,8 %	53,1 %	83,5 %	100,0 %



Prøverapport NA17

Standard	NS-EN 1097-2
Sted prøveuttak	Velde AS
Dato prøveuttak	29.10.19
Totalvekt prøve motatt	26,4 kg
Etter sikting til 10/14	8,0 kg
Materialtype	NA 8/16
Laboratorium	UiA, Grimstad

Prøvenummer	NA17-1
Dato	13.02.19
Fraksjon	10/14
m	3607 g
Analyseverdi LA	28
Avvik / Kommentarer	

$$LA = \frac{(5000 - m)}{50}$$

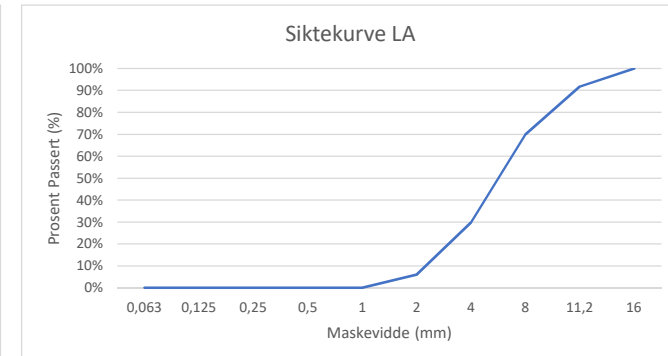
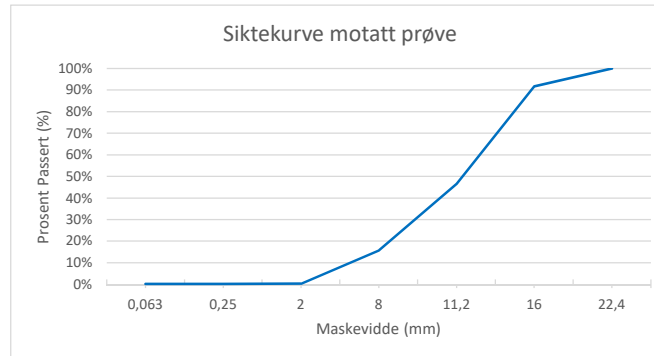
Formel (1)

Sikteanalyse mottatt prøve

Vekt	Kontroll	0,063	0,25	2	8	11,2	16	22,4
1000,4	1000,2	998,6	997,8	996,6	843	534,6	83,4	0
		0,2 %	0,3 %	0,4 %	15,7 %	46,6 %	91,7 %	100,0 %

Sikteanalyse LA

Vekt	Kontroll	0,063	0,125	0,25	0,5	1	2	4	8	11,2	16
1000,4	999,8	999,8	999,8	999,6	999,6	999,4	939,6	701,8	300,8	81,6	0
		0,1 %	0,1 %	0,1 %	0,1 %	0,1 %	6,1 %	29,8 %	69,9 %	91,8 %	100,0 %



Prøverapport NA22

Standard	NS-EN 1097-2
Sted prøveuttak	Velde AS
Dato prøveuttak	05.11.19
Totalvekt prøve motatt	23,1 kg
Etter sikting til 10/14	7,6 kg
Materialtype	NA 8/16
Laboratorium	UiA, Grimstad

Prøvenummer	NA22-1
Dato	13.02.20
Fraksjon	10/14
m	3785 g
Analyseverdi LA	24
Avvik / Kommentarer	

$$LA = \frac{(5000 - m)}{50}$$

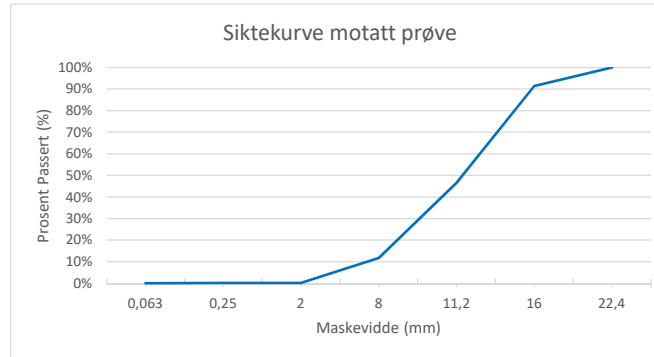
Formel (1)

Sikteanalyse mottatt prøve

Vekt	Kontroll	0,063	0,25	2	8	11,2	16	22,4
1000	999,8	998,4	998	997,4	882,2	533,8	86,8	0
		0,2 %	0,2 %	0,3 %	11,8 %	46,6 %	91,3 %	100,0 %

Sikteanalyse LA

Vekt	Kontroll	0,063	0,125	0,25	0,5	1	2	4	8	11,2	16
1000,4	1000,4	1000,4	1000,4	1000,4	1000,2	999,8	937,8	716,4	330,8	99,4	0
		0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,1 %	6,3 %	28,4 %	66,9 %	90,1 %	100,0 %



Prøverapport NA38

Standard	NS-EN 1097-2
Sted prøveuttak	Velde AS
Dato prøveuttak	27.11.19
Totalvekt prøve motatt	22,6 kg
Etter sikting til 10/14	10,1 kg
Materialtype	NA 8/16
Laboratorium	UiA, Grimstad

Prøvenummer	NA38-1
Dato	16.02.20
Fraksjon	10/14
m	3500 g
Analyseverdi LA	30
Avvik / Kommentarer	

$$LA = \frac{(5000 - m)}{50}$$

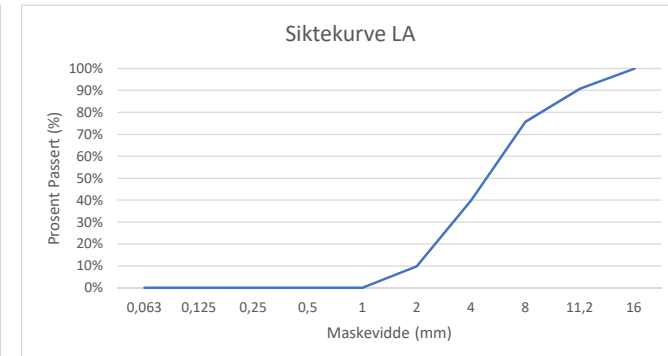
Formel (1)

Sikteanalyse mottatt prøve

Vekt	Kontroll	0,063	0,25	2	8	11,2	16	22,4
1000,4	1000,2	999,8	999,4	997,6	901,6	560,2	84,2	0
		0,1 %	0,1 %	0,3 %	9,9 %	44,0 %	91,6 %	100,0 %

Sikteanalyse LA

Vekt	Kontroll	0,063	0,125	0,25	0,5	1	2	4	8	11,2	16
1000,4	999,8	999,8	999,8	999,6	999,6	999,6	901,6	601,4	243	92	0
		0,1 %	0,1 %	0,1 %	0,1 %	0,1 %	9,9 %	39,9 %	75,7 %	90,8 %	100,0 %



Prøverapport NA43

Standard	NS-EN 1097-2
Sted prøveuttak	Velde AS
Dato prøveuttak	04.12.19
Totalvekt prøve motatt	21,9 kg
Etter sikting til 10/14	9,9 kg
Materialtype	NA 8/16
Laboratorium	UiA, Grimstad

Prøvenummer	NA43-1
Dato	
Fraksjon	10/14
m	3814 g
Analyseverdi LA	24
Avvik / Kommentarer	

$$LA = \frac{(5000 - m)}{50}$$

Formel (1)

Sikteanalyse mottatt prøve

Vekt	Kontroll	0,063	0,25	2	8	11,2	16	22,4
1000,6	1000,2	999	998,4	997,6	921	574	65,8	0
		0,2 %	0,2 %	0,3 %	8,0 %	42,6 %	93,4 %	100,0 %

Sikteanalyse LA

Vekt	Kontroll	0,063	0,125	0,25	0,5	1	2	4	8	11,2	16
1000,4	1000,2	1000,2	1000,2	1000,2	1000,2	999,8	963,2	803,4	376,2	87,8	0
		0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,1 %	3,7 %	19,7 %	62,4 %	91,2 %	100,0 %



Prøverapport RNA21a

Standard	NS-EN 1097-2
Sted prøveuttak	Velde AS
Dato prøveuttak	04.11.19
Totalvekt prøve motatt	41,2 kg
Etter sikting til 10/14	15,0 kg
Materialtype	RNA 4/16
Laboratorium	UiA, Grimstad

Prøvenummer	RNA21a-1
Dato	13.02.20
Fraksjon	10/14
m	3677 g
Analyseverdi LA	26
Avvik / Kommentarer	

Prøvenummer	RNA21a-2
Dato	13.02.20
Fraksjon	10/14
m	3667 g
Analyseverdi LA	27
Avvik / Kommentarer	

$$LA = \frac{(5000 - m)}{50}$$

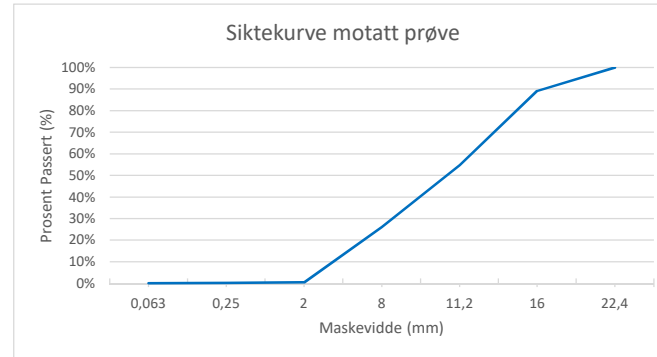
Formel (1)

Sikteanalyse mottatt prøve

Vekt	Kontroll	0,063	0,25	2	8	11,2	16	22,4
1000	999,6	998,8	998,2	995,6	737,9	451,6	108	0
		0,1 %	0,2 %	0,4 %	26,2 %	54,8 %	89,2 %	100,0 %

Sikteanalyse LA

Vekt	Kontroll	0,063	0,125	0,25	0,5	1	2	4	8	11,2	16
1000,2	1000	999,8	999,8	999,8	999,8	999,4	929	693,2	293,8	76	0
		0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,1 %	7,1 %	30,7 %	70,6 %	92,4 %	100,0 %



Prøverapport RNA21b

Standard	NS-EN 1097-2
Sted prøveuttak	Velde AS
Dato prøveuttak	04.11.19
Totalvekt prøve motatt	41,5 kg
Etter sikting til 10/14	11,5 kg
Materialtype	RNA 4/16
Laboratorium	UiA, Grimstad

Prøvenummer	RNA21b-1
Dato	13.02.20
Fraksjon	10/14
m	3615 g
Analyseverdi LA	28
Avvik / Kommentarer	

Prøvenummer	RNA21b-2
Dato	13.02.20
Fraksjon	10/14
m	3583 g
Analyseverdi LA	28
Avvik / Kommentarer	

$$LA = \frac{(5000 - m)}{50}$$

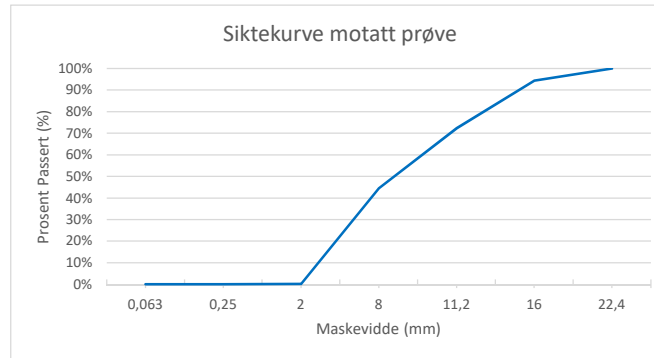
Formel (1)

Sikteanalyse mottatt prøve

Vekt	Kontroll	0,063	0,25	2	8	11,2	16	22,4
1000	1000	999,4	999,2	998,4	554,2	276	56	0
		0,1 %	0,1 %	0,2 %	44,6 %	72,4 %	94,4 %	100,0 %

Sikteanalyse LA

Vekt	Kontroll	0,063	0,125	0,25	0,5	1	2	4	8	11,2	16
1000	999,8	999,8	999,6	999,4	999,4	999,4	912,4	633	251,4	78	0
		0,0 %	0,0 %	0,1 %	0,1 %	0,1 %	8,8 %	36,7 %	74,9 %	92,2 %	100,0 %



Prøverapport RNA22a

Standard	NS-EN 1097-2
Sted prøveuttak	Velde AS
Dato prøveuttak	05.11.19
Totalvekt prøve motatt	45,7 kg
Etter sikting til 10/14	11,7 kg
Materialtype	RNA 4/16
Laboratorium	UiA, Grimstad

Prøvenummer	RNA22a-1
Dato	13.02.20
Fraksjon	10/14
m	3635 g
Analyseverdi LA	27
Avvik / Kommentarer	

Prøvenummer	RNA22a-2
Dato	13.02.20
Fraksjon	10/14
m	3675 g
Analyseverdi LA	27
Avvik / Kommentarer	

$$LA = \frac{(5000 - m)}{50}$$

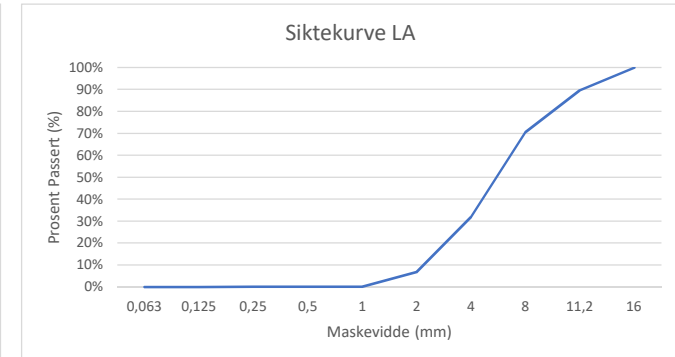
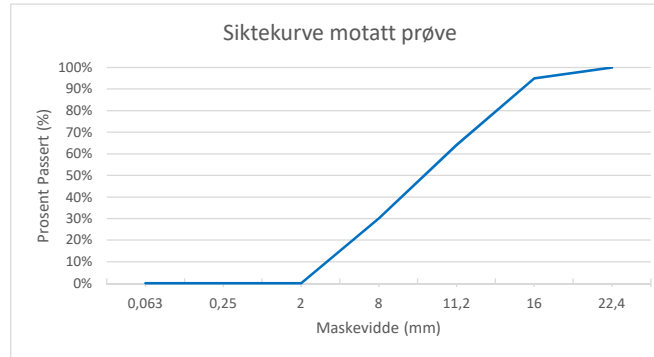
Formel (1)

Sikteanalyse mottatt prøve

Vekt	Kontroll	0,063	0,25	2	8	11,2	16	22,4
1000	1000	999,4	999,2	998,8	698	358,6	50,6	0
		0,1 %	0,1 %	0,1 %	30,2 %	64,1 %	94,9 %	100,0 %

Sikteanalyse LA

Vekt	Kontroll	0,063	0,125	0,25	0,5	1	2	4	8	11,2	16
1000	999,8	999,8	999,8	999,6	999,4	999,4	932,4	681,4	294,6	103,8	0
		0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,1 %	0,1 %	6,8 %	31,9 %	70,5 %	89,6 %	100,0 %



Prøverapport RNA22b

Standard	NS-EN 1097-2
Sted prøveuttak	Velde AS
Dato prøveuttak	05.11.19
Totalvekt prøve motatt	41,6 kg
Etter sikting til 10/14	14,0 kg
Materialtype	RNA 4/16
Laboratorium	UiA, Grimstad

Prøvenummer	RNA22b-1
Dato	13.02.20
Fraksjon	10/14
m	3699 g
Analyseverdi LA	26
Avvik / Kommentarer	

Prøvenummer	RNA22b-2
Dato	13.02.20
Fraksjon	10/14
m	3704 g
Analyseverdi LA	26
Avvik / Kommentarer	

$$LA = \frac{(5000 - m)}{50}$$

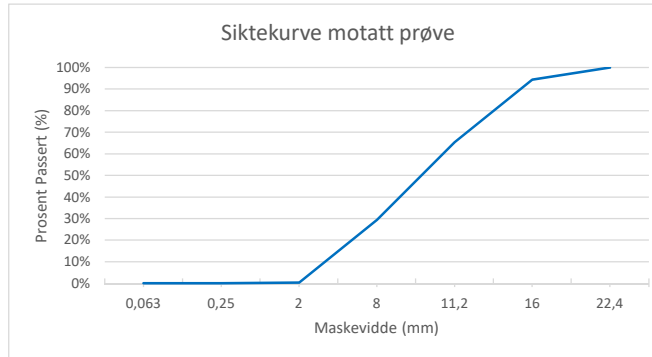
Formel (1)

Sikteanalyse mottatt prøve

Vekt	Kontroll	0,063	0,25	2	8	11,2	16	22,4
1000,4	1000,2	999,8	999,6	996,4	706,2	345	57,2	0
		0,1 %	0,1 %	0,4 %	29,4 %	65,5 %	94,3 %	100,0 %

Sikteanalyse LA

Vekt	Kontroll	0,063	0,125	0,25	0,5	1	2	4	8	11,2	16
1000	1000	1000	1000	999,8	999,8	999,8	940,4	698,8	284,6	106,4	0
		0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	6,0 %	30,1 %	71,5 %	89,4 %	100,0 %



Prøverapport RNA23a

Standard	NS-EN 1097-2
Sted prøveuttak	Velde AS
Dato prøveuttak	06.11.19
Totalvekt prøve motatt	42,7 kg
Etter sikting til 10/14	9,4 kg
Materialtype	RNA 4/16
Laboratorium	UiA, Grimstad

Prøvenummer	RNA23a-1
Dato	14.02.20
Fraksjon	10/14
m	3756 g
Analyseverdi LA	25
Avvik / Kommentarer	

$$LA = \frac{(5000 - m)}{50}$$

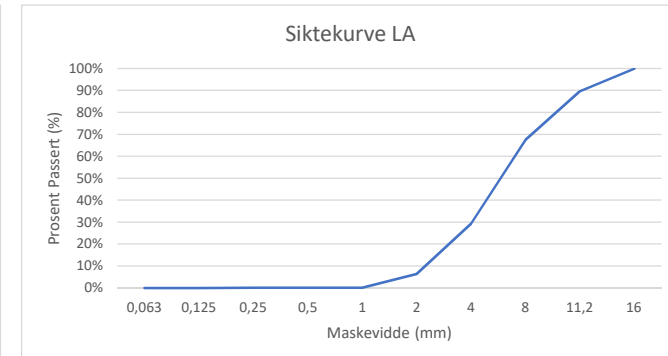
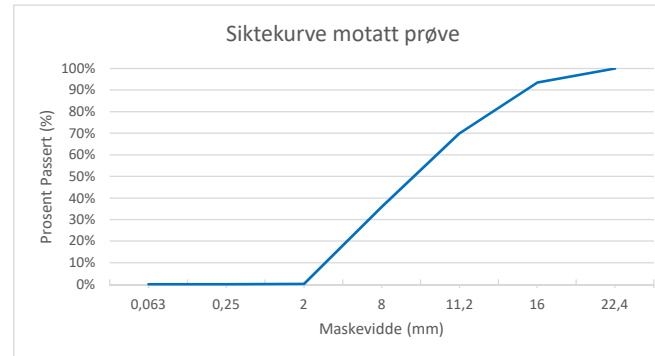
Formel (1)

Sikteanalyse mottatt prøve

Vekt	Kontroll	0,063	0,25	2	8	11,2	16	22,4
1000,2	1000,2	999,6	999,4	998,6	640,2	300,4	65,2	0
		0,1 %	0,1 %	0,2 %	36,0 %	70,0 %	93,5 %	100,0 %

Sikteanalyse LA

Vekt	Kontroll	0,063	0,125	0,25	0,5	1	2	4	8	11,2	16
1000	1000	1000	1000	999,9	999,8	999,6	936,2	707,6	325,4	104	0
		0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	6,4 %	29,2 %	67,5 %	89,6 %	100,0 %



Prøverapport RNA23b

Standard	NS-EN 1097-2
Sted prøveuttak	Velde AS
Dato prøveuttak	06.11.19
Totalvekt prøve motatt	42,6 kg
Etter sikting til 10/14	9,6 kg
Materialtype	RNA 4/16
Laboratorium	UiA, Grimstad

Prøvenummer	RNA23b-1
Dato	14.02.20
Fraksjon	10/14
m	3736 g
Analyseverdi LA	25
Avvik / Kommentarer	

$$LA = \frac{(5000 - m)}{50}$$

Formel (1)

Sikteanalyse mottatt prøve

Vekt	Kontroll	0,063	0,25	2	8	11,2	16	22,4
1000	1000	999,2	999,8	998,4	663,2	364,2	71,6	0
		0,1 %	0,0 %	0,2 %	33,7 %	63,6 %	92,8 %	100,0 %

Sikteanalyse LA

Vekt	Kontroll	0,063	0,125	0,25	0,5	1	2	4	8	11,2	16
1000	999,6	999,4	999,2	999,2	999	999	949,6	713,8	290,8	67,5	0
		0,1 %	0,1 %	0,1 %	0,1 %	0,1 %	5,0 %	28,6 %	70,9 %	93,3 %	100,0 %



Prøverapport RNA32

Standard	NS-EN 1097-2
Sted prøveuttak	Velde AS
Dato prøveuttak	19.11.19
Totalvekt prøve motatt	30,6 kg
Etter sikting til 10/14	11,4 kg
Materialtype	RNA 4/16
Laboratorium	UiA, Grimstad

Prøvenummer	RNA32-1
Dato	14.02.20
Fraksjon	10/14
m	3683 g
Analyseverdi LA	26
Avvik / Kommentarer	

Prøvenummer	RNA32-2
Dato	14.02.20
Fraksjon	10/14
m	3669 g
Analyseverdi LA	27
Avvik / Kommentarer	

$$LA = \frac{(5000 - m)}{50}$$

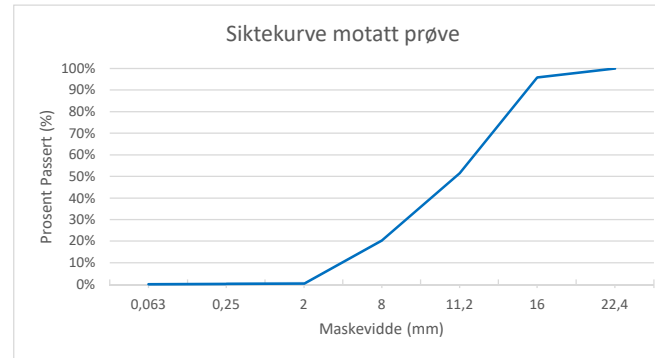
Formel (1)

Sikteanalyse mottatt prøve

Vekt	Kontroll	0,063	0,25	2	8	11,2	16	22,4
1000	1000	999,2	998,4	996,2	796,8	485	41,2	0
		0,1 %	0,2 %	0,4 %	20,3 %	51,5 %	95,9 %	100,0 %

Sikteanalyse LA

Vekt	Kontroll	0,063	0,125	0,25	0,5	1	2	4	8	11,2	16
1000,4	1000,4	1000,4	1000,4	1000,4	1000,4	1000,2	929,4	683,8	270,6	111	0
		0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	7,1 %	31,6 %	73,0 %	88,9 %	100,0 %



Prøverapport RNA37

Standard	NS-EN 1097-2
Sted prøveuttak	Velde AS
Dato prøveuttak	26.11.19
Totalvekt prøve motatt	30,1 kg
Etter sikting til 10/14	11,5 kg
Materialtype	RNA 4/16
Laboratorium	UiA, Grimstad

Prøvenummer	RNA37-1
Dato	14.02.20
Fraksjon	10/14
m	3643 g
Analyseverdi LA	27
Avvik / Kommentarer	

Prøvenummer	RNA37-2
Dato	14.02.20
Fraksjon	10/14
m	3637 g
Analyseverdi LA	27
Avvik / Kommentarer	

$$LA = \frac{(5000 - m)}{50}$$

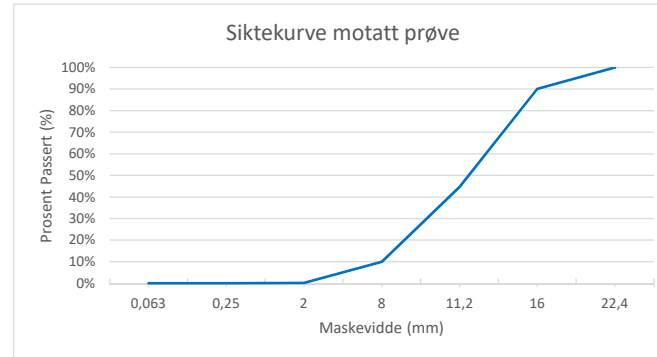
Formel (1)

Sikteanalyse mottatt prøve

Vekt	Kontroll	0,063	0,25	2	8	11,2	16	22,4
1000	1000	999,2	998,8	998,2	900,6	553,4	99,2	0
		0,1 %	0,1 %	0,2 %	9,9 %	44,7 %	90,1 %	100,0 %

Sikteanalyse LA

Vekt	Kontroll	0,063	0,125	0,25	0,5	1	2	4	8	11,2	16
1000	999,2	999	998,8	998,8	998,8	998,6	918,8	648,6	270,4	75,8	0
		0,1 %	0,1 %	0,1 %	0,1 %	0,1 %	8,1 %	35,1 %	73,0 %	92,4 %	100,0 %



Prøverapport RNA38

Standard	NS-EN 1097-2
Sted prøveuttak	Velde AS
Dato prøveuttak	27.11.19
Totalvekt prøve motatt	30,2 kg
Etter sikting til 10/14	11,1 kg
Materialtype	RNA 4/16
Laboratorium	UiA, Grimstad

Prøvenummer	RNA38-1
Dato	15.02.20
Fraksjon	10/14
m	3697 g
Analyseverdi LA	26
Avvik / Kommentarer	

Prøvenummer	RNA38-2
Dato	15.02.20
Fraksjon	10/14
m	3725 g
Analyseverdi LA	26
Avvik / Kommentarer	

$$LA = \frac{(5000 - m)}{50}$$

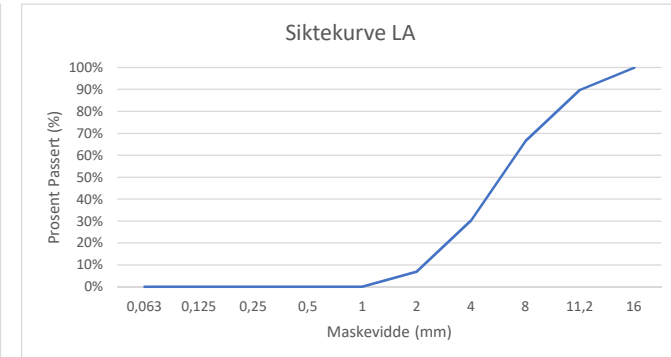
Formel (1)

Sikteanalyse mottatt prøve

Vekt	Kontroll	0,063	0,25	2	8	11,2	16	22,4
1000,4	1000,4	999,6	999,4	999	941,6	628	111,6	0
		0,1 %	0,1 %	0,1 %	5,9 %	37,2 %	88,8 %	100,0 %

Sikteanalyse LA

Vekt	Kontroll	0,063	0,125	0,25	0,5	1	2	4	8	11,2	16
1000,6	1000,4	1000,2	1000	1000	999,8	999,6	931,8	698,6	335,8	101,8	0
		0,0 %	0,1 %	0,1 %	0,1 %	0,1 %	6,9 %	30,2 %	66,4 %	89,8 %	100,0 %



Prøverapport RNA39

Standard	NS-EN 1097-2
Sted prøveuttak	Velde AS
Dato prøveuttak	28.11.19
Totalvekt prøve motatt	30,4 kg
Etter sikting til 10/14	12,2 kg
Materialtype	RNA 4/16
Laboratorium	UiA, Grimstad

Prøvenummer	RNA39-1
Dato	15.02.20
Fraksjon	10/14
m	3643 g
Analyseverdi LA	27
Avvik / Kommentarer	

Prøvenummer	RNA39-2
Dato	15.02.20
Fraksjon	10/14
m	3688 g
Analyseverdi LA	26
Avvik / Kommentarer	

$$LA = \frac{(5000 - m)}{50}$$

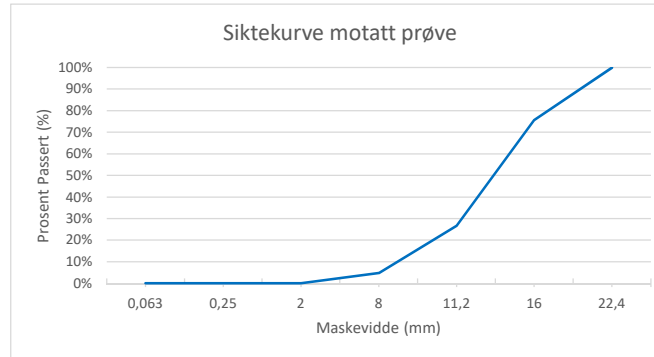
Formel (1)

Sikteanalyse mottatt prøve

Vekt	Kontroll	0,063	0,25	2	8	11,2	16	22,4
1000	1000	999,4	999,2	999	951,4	732,2	243	0
		0,1 %	0,1 %	0,1 %	4,9 %	26,8 %	75,7 %	100,0 %

Sikteanalyse LA

Vekt	Kontroll	0,063	0,125	0,25	0,5	1	2	4	8	11,2	16
1000	1000	1000	999,8	999,8	999,8	999,6	923,6	653,4	264,6	70	0
		0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	7,6 %	34,7 %	73,5 %	93,0 %	100,0 %



Prøverapport RNA41

Standard	NS-EN 1097-2
Sted prøveuttak	Velde AS
Dato prøveuttak	01.12.19
Totalvekt prøve motatt	30,0 kg
Etter sikting til 10/14	11,1 kg
Materialtype	RNA 4/16
Laboratorium	UiA, Grimstad

Prøvenummer	RNA41-1
Dato	16.02.20
Fraksjon	10/14
m	3732 g
Analyseverdi LA	25
Avvik / Kommentarer	

Prøvenummer	RNA41-2
Dato	16.02.20
Fraksjon	10/14
m	3742 g
Analyseverdi LA	25
Avvik / Kommentarer	

$$LA = \frac{(5000 - m)}{50}$$

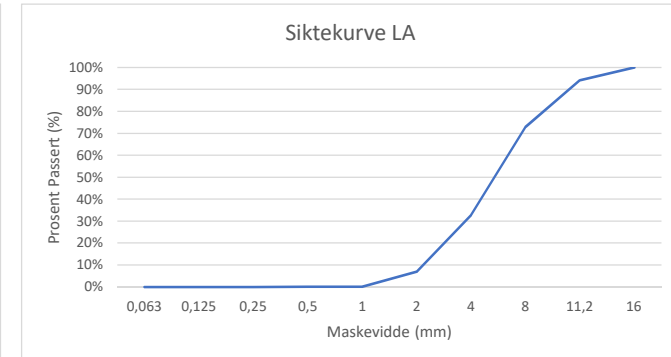
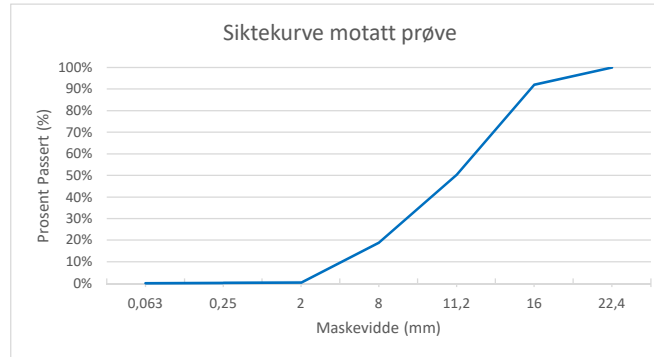
Formel (1)

Sikteanalyse mottatt prøve

Vekt	Kontroll	0,063	0,25	2	8	11,2	16	22,4
1000	1000	998,8	997,4	995,8	811,6	497,2	79,6	0
		0,1 %	0,3 %	0,4 %	18,8 %	50,3 %	92,0 %	100,0 %

Sikteanalyse LA

Vekt	Kontroll	0,063	0,125	0,25	0,5	1	2	4	8	11,2	16
1000,4	1000,4	1000,4	1000,4	1000,4	1000,2	1000	930,8	672,6	271,6	58,6	0
		0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	7,0 %	32,8 %	72,9 %	94,1 %	100,0 %



Prøverapport RNA42

Standard	NS-EN 1097-2
Sted prøveuttak	Velde AS
Dato prøveuttak	03.12.19
Totalvekt prøve motatt	30,4 kg
Etter sikting til 10/14	7,7 kg
Materialtype	RNA 4/16
Laboratorium	UiA, Grimstad

Prøvenummer	RNA42-1
Dato	16.02.20
Fraksjon	10/14
m	3716 g
Analyseverdi LA	26
Avvik / Kommentarer	

$$LA = \frac{(5000 - m)}{50}$$

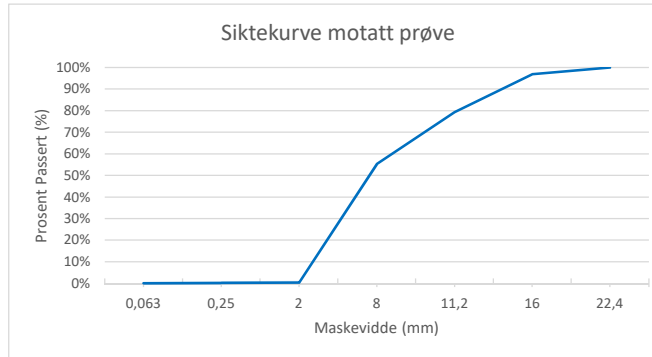
Formel (1)

Sikteanalyse mottatt prøve

Vekt	Kontroll	0,063	0,25	2	8	11,2	16	22,4
1000	1000	998,8	998	996	446,6	206,4	31,6	0
		0,1 %	0,2 %	0,4 %	55,3 %	79,4 %	96,8 %	100,0 %

Sikteanalyse LA

Vekt	Kontroll	0,063	0,125	0,25	0,5	1	2	4	8	11,2	16
1000,2	1000,2	1000,2	1000,2	1000,2	1000,2	999,4	926,8	687	312,2	95,4	0
		0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,1 %	7,3 %	31,3 %	68,8 %	90,5 %	100,0 %



Prøverapport RNA43

Standard	NS-EN 1097-2
Sted prøveuttak	Velde AS
Dato prøveuttak	04.12.19
Totalvekt prøve motatt	30,1 kg
Etter sikting til 10/14	8,1 kg
Materialtype	RNA 4/16
Laboratorium	UiA, Grimstad

Prøvenummer	RNA43-1
Dato	16.02.20
Fraksjon	10/14
m	3734 g
Analyseverdi LA	25
Avvik / Kommentarer	

$$LA = \frac{(5000 - m)}{50}$$

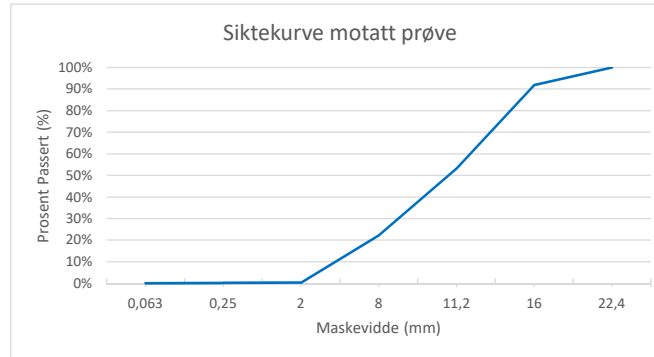
Formel (1)

Sikteanalyse mottatt prøve

Vekt	Kontroll	0,063	0,25	2	8	11,2	16	22,4
1000,4	1000	999,2	998,4	997,4	777	467	81	0
		0,1 %	0,2 %	0,3 %	22,3 %	53,3 %	91,9 %	100,0 %

Sikteanalyse LA

Vekt	Kontroll	0,063	0,125	0,25	0,5	1	2	4	8	11,2	16
1000	1000	999,8	999,6	999,6	999,6	999,4	921,6	659	262,4	82,2	0
		0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,1 %	7,8 %	34,1 %	73,8 %	91,8 %	100,0 %



Prøverapport RNA44

Standard	NS-EN 1097-2
Sted prøveuttak	Velde AS
Dato prøveuttak	05.12.19
Totalvekt prøve motatt	30,4 kg
Etter sikting til 10/14	7,0 kg
Materialtype	RNA 4/16
Laboratorium	UiA, Grimstad

Prøvenummer	RNA44-1
Dato	16.02.20
Fraksjon	10/14
m	3693 g
Analyseverdi LA	26
Avvik / Kommentarer	

$$LA = \frac{(5000 - m)}{50}$$

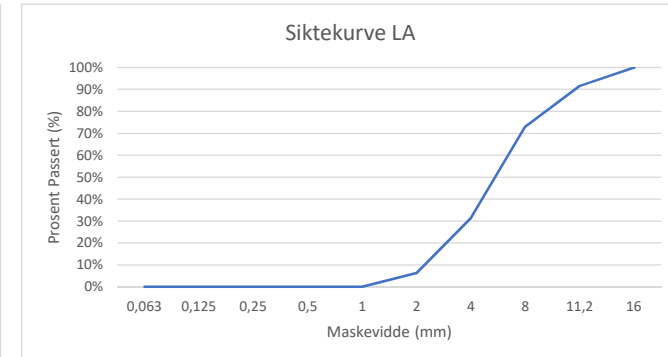
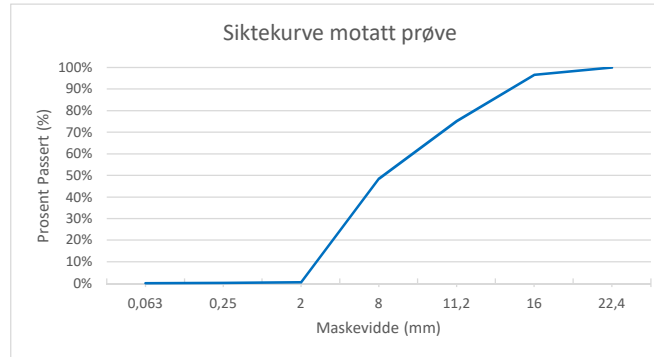
Formel (1)

Sikteanalyse mottatt prøve

Vekt	Kontroll	0,063	0,25	2	8	11,2	16	22,4
1000	999,4	998,6	998	994,8	515,2	247	34,6	0
		0,1 %	0,2 %	0,5 %	48,5 %	75,3 %	96,5 %	100,0 %

Sikteanalyse LA

Vekt	Kontroll	0,063	0,125	0,25	0,5	1	2	4	8	11,2	16
1000,2	1000	999,8	999,8	999,8	999,6	999,4	937,6	686	268,2	82,6	0
		0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,1 %	0,1 %	6,3 %	31,4 %	73,2 %	91,7 %	100,0 %

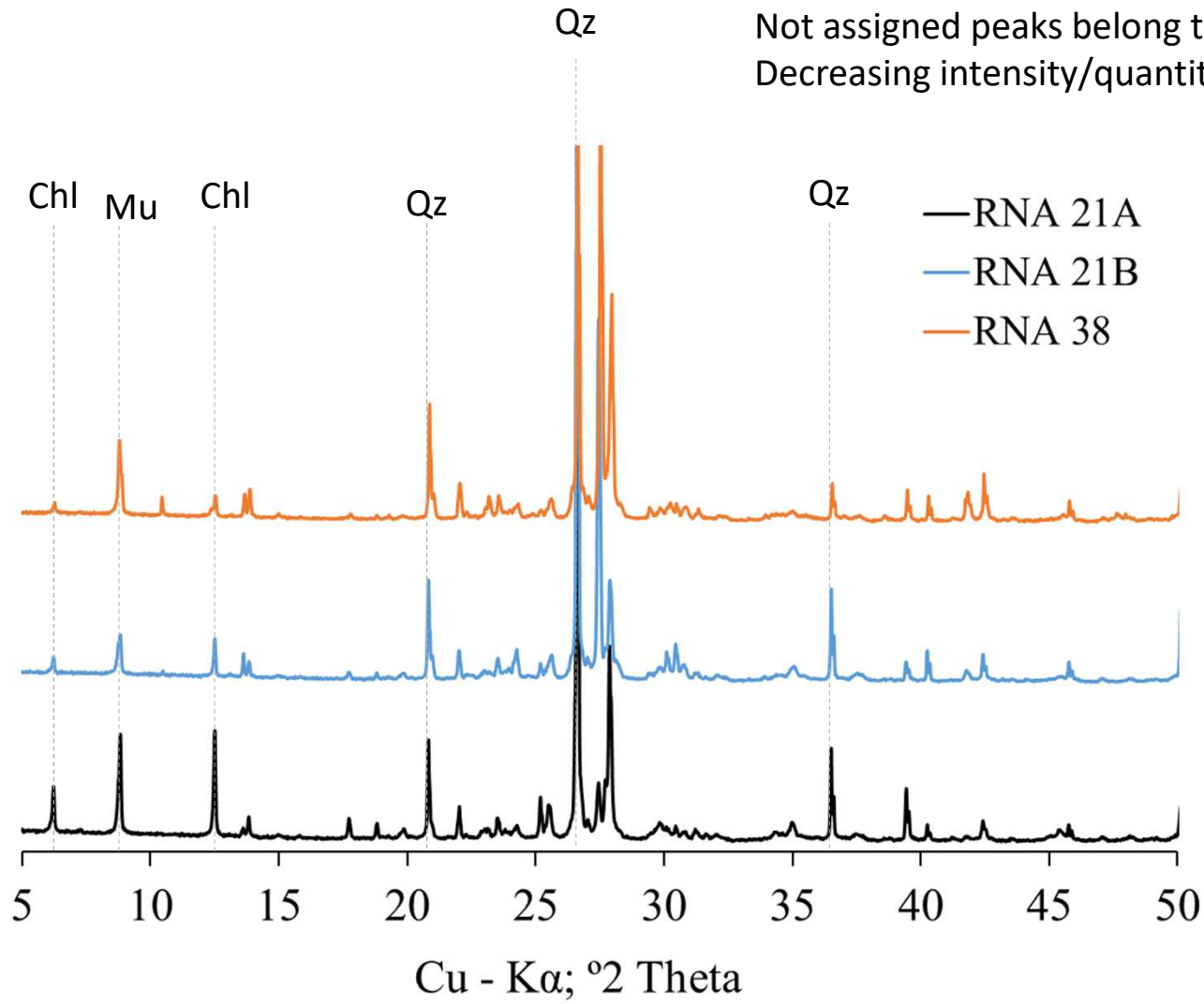


12.2 XRD-analyse

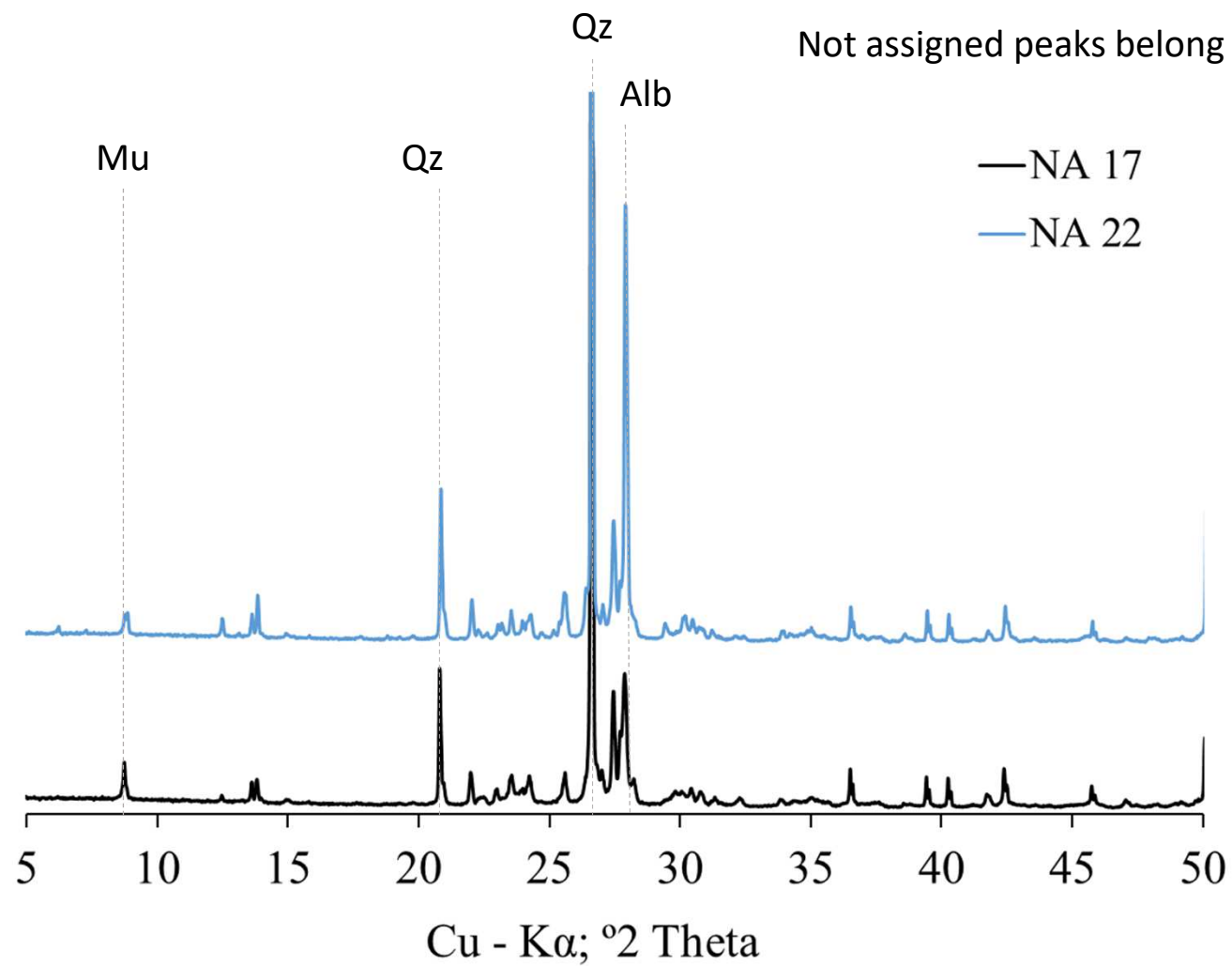
Resultat etter XRD-analyse.

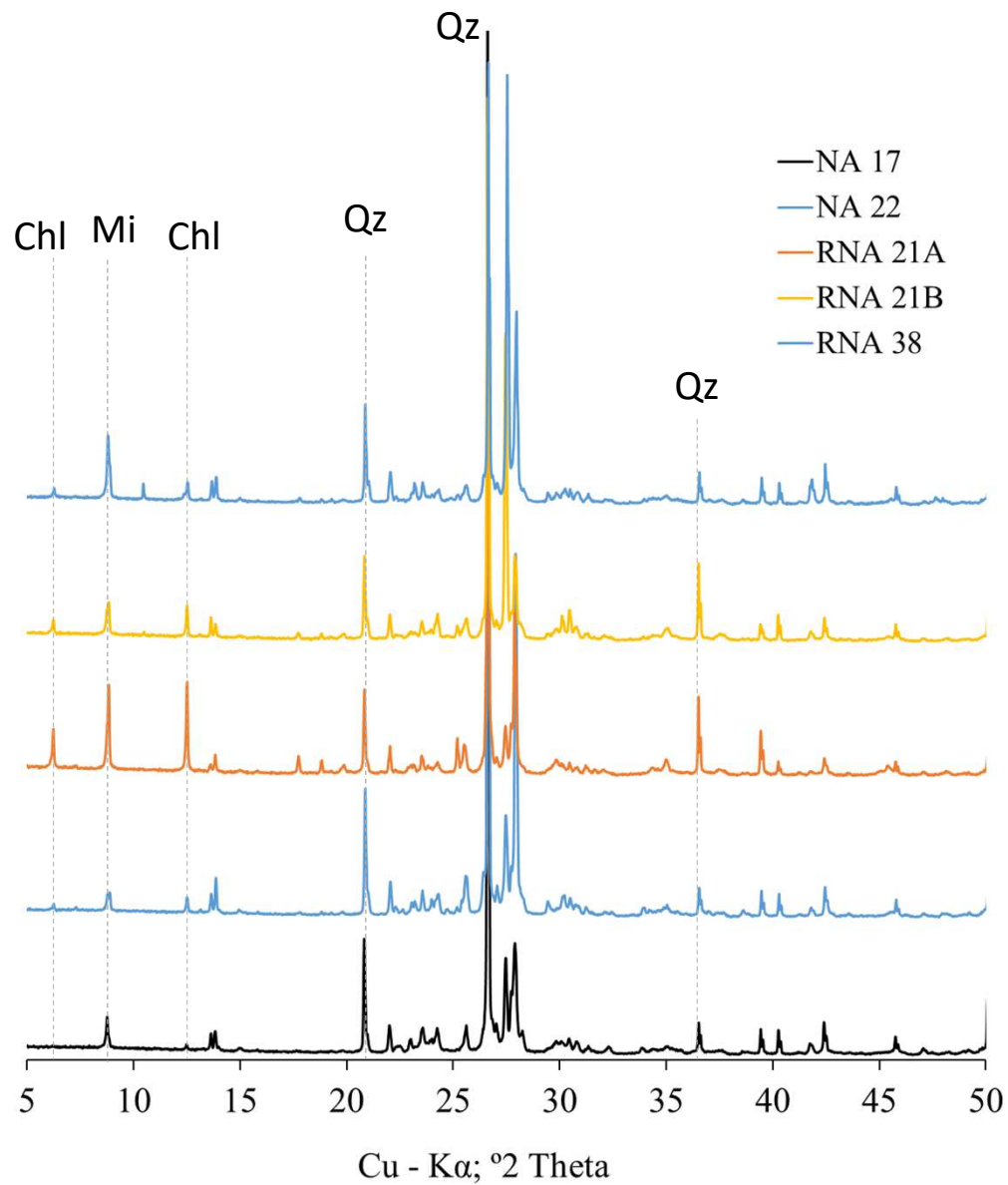
RESGRAM Project: 102013302; XRD Analyse

Not assigned peaks belong to different feldspar minerals
Decreasing intensity/quantity of chlorite (21A > 21B > 38)



RESGRAM Project: 102013302; XRD Analyse





Mi = Mica (biotite and muscovite)

Not assigned peaks belong mainly to different feldspar minerals

Rietveld Analysis

	NA 17	NA 22	RNA 21 A	RNA 21B	RNA 38
Albite	28.2	29.2	21.3	27.4	26.2
Anorthite	3.5	5.2	8.6	3.1	10.1
Microcline	21.8	21.0	15	19.3	16.1
Orthoclase					
Quartz	37.9	35.8	35.3	35.6	33.7
Muscovite	4.8	3.9	18.9	11.4	8.4
Biotite	3.7	4.9	0.9	3.1	5.4
Clinochlore	0.03	0.03	0.11	0.08	0.06

12.3 Prøverapporter fra Velde

Prøverapportene fra laboratorieforsøk hos Velde AS.

LOS ANGELES

NS-EN 1097-2

Materiale: 4-16mm Miliøanlegg Sintef RNA 4/16-3a
 Dato: 09.10.2019
 Sign: Kamil

Vekt av kuler til Los Angeles-maskinen før test:

1	<u>429,9</u>	Gram
2	<u>429,8</u>	Gram
3	<u>429,9</u>	Gram
4	<u>431,1</u>	Gram
5	<u>430,4</u>	Gram
6	<u>431,1</u>	Gram
7	<u>430,2</u>	Gram
8	<u>430,1</u>	Gram
9	<u>431,5</u>	Gram
10	<u>431,6</u>	Gram
11	<u>430,9</u>	Gram
12	<u>0</u>	Gram
Kulene veier:	<u><u>4736,5</u></u>	Gram

Kravet er at hver kule skal veie mellom 400 og 445 g. Kuler som avviker fra kravet, skal erstattes med kuler som tilfredsstillt kravet.

Innveid masse:

Referansegradering - 10/14 mm.

10,0 / 12,5 mm. 3250,7

12,5 / 14,0 mm. 1750,4

5001,1

Referansegradering - 31,5/50 mm

31,5 / 40,0 mm. 0

40,0 / 50,0 mm. 0

0

For fin gradering skal samlet prøve være 5000±5 g. for grov gradering 10000±100 g.

Innveid prøve etter vask og tørk (m): 3598,7 g.

Innveid prøve etter vask og tørk (m-grov): 0 g.

LA = (5000 - m)/50	→	28,04 %
LAgrov = (10000 - mgrov)/100	→	#DIV/0!

LOS ANGELES

NS-EN 1097-2

Materiale: 4-16mm Miliøanlegg Sintef RNA 4/16-3b
 Dato: 09.10.2019
 Sign: Kamil

Vekt av kuler til Los Angeles-maskinen før test:

1	<u>430,4</u>	Gram
2	<u>429,9</u>	Gram
3	<u>429,9</u>	Gram
4	<u>431,1</u>	Gram
5	<u>430,4</u>	Gram
6	<u>431,1</u>	Gram
7	<u>430,2</u>	Gram
8	<u>430,1</u>	Gram
9	<u>431,5</u>	Gram
10	<u>431,6</u>	Gram
11	<u>430,9</u>	Gram
12	<u>0</u>	Gram
Kulene veier:	<u><u>4737,1</u></u>	Gram

Kravet er at hver kule skal veie mellom 400 og 445 g. Kuler som avviker fra kravet, skal erstattes med kuler som tilfredsstillt kravet.

Innveid masse:

Referansegradering - 10/14 mm.

10,0 / 12,5 mm. 3249,7

12,5 / 14,0 mm. 1750,9

5000,6

Referansegradering - 31,5/50 mm

31,5 / 40,0 mm. 0

40,0 / 50,0 mm. 0

0

For fin gradering skal samlet prøve være 5000±5 g. for grov gradering 10000±100 g.

Innveid prøve etter vask og tørk (m): 3644,9 g.

Innveid prøve etter vask og tørk (m-grov): 0 g.

LA = (5000 - m)/50	→	27,11 %
LAgrov = (10000 - mgrov)/100	→	#DIV/0!

NS-EN 1097-1: Micro-Deval

Materiale: 4-16mm Miljøanlegg Sintef RNA 4/16-3a
Dato: 09.10.2019
Sign: jakub

Vekt av kuler til Micro-Deval-maskinen før test:

	Prøve I		Prøve II	
Kulene veier:	<u>4997,4</u>	Gram	<u>4997,9</u>	Gram

Kravet er at kulene skal veie mellom 5000 ± 10 g. Kulene siktes først på kalibreringsbrett for å sikre at de har rett størrelse. Kuler som avviker fra kravet, skal erstattes med kuler som tilfredsstillt kravet.

Innveid masse:

	Prøve I		Prøve II	
10,0 - 12,5 mm.	<u>325</u>	(65 ± 1)%	10,0 - 12,5 mm	<u>325,3</u>
12,5 - 14,0 mm.	<u>174,6</u>	(35 ± 1)%	12,5 - 14,0 mm	<u>176,1</u>
(m ₁) Σ	<u>499,6</u>	ca. 500 gr.	(m ₁) Σ	<u>501,4</u>

Prøven settes sammen til graderingen 10 - 14 mm . Det skal analyseres 2 delprøver på ca. 500 g. hver. Prøven skal vaskes og tørkes før innveiling.

Innveid prøve etter vask og tørk:

Prøve I (m₂): 405,8 g.
Prøve II (m₂): 403,2 g.

$$M_{DE} = (100 \times (m_1 - m_2)) / m_1$$

$$M_{DE I} = 18,78$$

$$M_{DE} = 19,18$$

$$M_{DE II} = 19,59$$

NS-EN 1097-1: Micro-Deval

Materiale: 4-16mm Miljøanlegg Sintef RNA 4/16-3b
Dato: 09.10.2019
Sign: jakub

Vekt av kuler til Micro-Deval-maskinen før test:

	Prøve I		Prøve II	
Kulene veier:	<u>4999,5</u>	Gram	<u>4998,2</u>	Gram

Kravet er at kulene skal veie mellom 5000 ± 10 g. Kulene siktes først på kalibreringsbrett for å sikre at de har rett størrelse. Kuler som avviker fra kravet, skal erstattes med kuler som tilfredsstillt kravet.

Innveid masse:

	Prøve I		Prøve II	
10,0 - 12,5 mm.	<u>325,1</u>	(65 ± 1)%	10,0 - 12,5 mm	<u>325,2</u>
12,5 - 14,0 mm.	<u>175,2</u>	(35 ± 1)%	12,5 - 14,0 mm	<u>174,7</u>
(m ₁) Σ	<u>500,3</u>	ca. 500 gr.	(m ₁) Σ	<u>499,9</u>

Prøven settes sammen til graderingen 10 - 14 mm . Det skal analyseres 2 delprøver på ca. 500 g. hver. Prøven skal vaskes og tørkes før innveiling.

Innveid prøve etter vask og tørk:

Prøve I (m ₂):	<u>433,1</u>	g.
Prøve II (m ₂):	<u>419,9</u>	g.

$$M_{DE} = (100 \times (m_1 - m_2)) / m_1$$

$$M_{DE I} = 13,43$$

$$M_{DE} = 14,72$$

$$M_{DE II} = 16,00$$



LOS ANGELES

NS-EN 1097-2

Materiale: (8/16mm Ute) SINTEF NA 8/16-5
Dato 09.10.2019
Sign: Ali

Vekt av kuler til Los Angeles-maskinen før test:

1	<u>430,6</u>	Gram
2	<u>430,8</u>	Gram
3	<u>430,9</u>	Gram
4	<u>431,4</u>	Gram
5	<u>429,8</u>	Gram
6	<u>430,7</u>	Gram
7	<u>430,9</u>	Gram
8	<u>430</u>	Gram
9	<u>430,8</u>	Gram
10	<u>430,8</u>	Gram
11	<u>431,4</u>	Gram
12	<u>0</u>	Gram
Kulene veier:	<u><u>4738,1</u></u>	Gram

Kravet er at hver kule skal veie mellom 400 og 445 g. Kuler som avviker fra kravet, skal erstattes med kuler som tilfredsstillter kravet.

Innveid masse:

Referansegradering - 10/14 mm.

10,0 / 12,5 mm. 3250,3

12,5 / 14,0 mm. 1750,1

5000,4

Referansegradering - 31,5/50 mm

31,5 / 40,0 mm. 0

40,0 / 50,0 mm. 0

0

For fin gradering skal samlet prøve være 5000±5 g. for grov gradering 10000±100 g.

Innveid prøve etter vask og tørk (m): 3835,7 g.

Innveid prøve etter vask og tørk (m-grov): 0 g.

$LA = (5000 - m)/50$ → **23,29 %**

$LAgrov = (10000 - mgrov)/100$ → **#DIV/0!**

Micro-Deval

NS-EN 1097-1

Materiale: (8/16mm Ute) SINTEF NA 8/16-5
Dato: 09.10.2019
Sign: Ali

Vekt av kuler til Micro-Deval-maskinen før test:

Kulene veier: Prøve I 5001 Gram Prøve II 5000,1 Gram

Kravet er at kulene skal veie mellom 5000 ± 10 g. Kulene siktes først på kalibreringsbrett for å sikre at de har rett størrelse. Kuler som avviker fra kravet, skal erstattes med kuler som tilfredsstiller kravet.

Innveid masse:

Prøve I		Prøve II	
10,0 - 12,5 mm.	<u>325,3</u> (65 ± 1)%	10,0 - 12,5 mm	<u>325</u>
12,5 - 14,0 mm.	<u>175</u> (35 ± 1)%	12,5 - 14,0 mm	<u>175,2</u>
(m ₁) Σ	<u>500,3</u> ca. 500 gr.	(m ₁) Σ	<u>500,2</u>

Prøven settes sammen til graderingen 10 - 14 mm . Det skal analyseres 2 delprøver på ca. 500 g. hver. Prøven skal vaskes og tørkes før innveing.

Inveid prøve etter vask og tørk:

Prøve I (m₂): 468 g.
Prøve II (m₂): 468 g.

$$M_{DE} = (100 \times (m_1 - m_2)) / m_1$$

$$M_{DE I} = 6,46$$

$$M_{DE II} = 6,44$$

$$M_{DE} = 6,45$$



LOS ANGELES

NS-EN 1097-2

Materiale: 4-16mm Miliøanlegg Sintef RNA 4/16- 8a
Dato: 16.10.2019
Sign: Ali

Vekt av kuler til Los Angeles-maskinen før test:

1	<u>431,3</u>	Gram
2	<u>430,6</u>	Gram
3	<u>429,8</u>	Gram
4	<u>430,8</u>	Gram
5	<u>430,6</u>	Gram
6	<u>430,7</u>	Gram
7	<u>430,7</u>	Gram
8	<u>430,5</u>	Gram
9	<u>430,9</u>	Gram
10	<u>431,4</u>	Gram
11	<u>430</u>	Gram
12	<u>0</u>	Gram
Kulene veier:	<u><u>4737,3</u></u>	Gram

Kravet er at hver kule skal veie mellom 400 og 445 g. Kuler som avviker fra kravet, skal erstattes med kuler som tilfredsstiller kravet.

Innveid masse:

Referansegradering - 10/14 mm.

10,0 / 12,5 mm. 3250,2

12,5 / 14,0 mm. 1750,3

5000,5

Referansegradering - 31,5/50 mm.

31,5 / 40,0 mm. 0

40,0 / 50,0 mm. 0

0

For fin gradering skal samlet prøve være 5000±5 g. for grov gradering 10000±100 g.

Innveid prøve etter vask og tørk (m): 3676,7 g.

Innveid prøve etter vask og tørk (m-grov): 0 g.

LA = (5000 - m)/50 → **26,47 %**

LA_{grov} = (10000 - m_{grov})/100 → **#DIV/0!**

NS-EN 1097-1: Micro-Deval

Materiale: (4-16mm Miljøanlegg) SINTEF RNA 4/16-8a
Dato: 16.10.2019
Sign: Ali

Vekt av kuler til Micro-Deval-maskinen før test:

	Prøve I		Prøve II	
Kulene veier:	<u>5000</u>	Gram	<u>5000,6</u>	Gram

Kravet er at kulene skal veie mellom 5000 ± 10 g. Kulene siktes først på kalibreringsbrett for å sikre at de har rett størrelse. Kuler som avviker fra kravet, skal erstattes med kuler som tilfredsstiller kravet.

Innveid masse:

Prøve I			Prøve II	
10,0 - 12,5 mm.	<u>325,1</u>	(65 ± 1)%	10,0 - 12,5 mm	<u>325</u>
12,5 - 14,0 mm.	<u>175,2</u>	(35 ± 1)%	12,5 - 14,0 mm	<u>175,1</u>
(m ₁) Σ	<u>500,3</u>	ca. 500 gr.	(m ₁) Σ	<u>500,1</u>

Prøven settes sammen til graderingen 10 - 14 mm . Det skal analyseres 2 delprøver på ca. 500 g. hver. Prøven skal vaskes og tørkes før innveing.

Inveid prøve etter vask og tørk:

Prøve I (m₂): 459,8 g.
Prøve II (m₂): 452,8 g.

$$M_{DE} = (100 \times (m_1 - m_2)) / m_1$$

$$M_{DE I} = 8,10$$

M_{DE} = 8,78

$$M_{DE II} = 9,46$$



LOS ANGELES

NS-EN 1097-2

Materiale: (8/16mm Ute) SINTEF NA 8/16-7
Dato 16.10.2019
Sign: Ali

Vekt av kuler til Los Angeles-maskinen før test:

1	<u>430,7</u>	Gram
2	<u>430,9</u>	Gram
3	<u>430</u>	Gram
4	<u>431,3</u>	Gram
5	<u>430,8</u>	Gram
6	<u>430,6</u>	Gram
7	<u>430,5</u>	Gram
8	<u>430,8</u>	Gram
9	<u>430,9</u>	Gram
10	<u>430,6</u>	Gram
11	<u>431,4</u>	Gram
12	<u>0</u>	Gram
Kulene veier:	<u><u>4738,5</u></u>	Gram

Kravet er at hver kule skal veie mellom 400 og 445 g. Kuler som avviker fra kravet, skal erstattes med kuler som tilfredsstillter kravet.

Innveid masse:

Referansegradering - 10/14 mm.

10,0 / 12,5 mm. 3250,1

12,5 / 14,0 mm. 1750,1

5000,2

Referansegradering - 31,5/50 mm

31,5 / 40,0 mm. 0

40,0 / 50,0 mm. 0

0

For fin gradering skal samlet prøve være 5000±5 g. for grov gradering 10000±100 g.

Innveid prøve etter vask og tørk (m): 3841 g.

Innveid prøve etter vask og tørk (m-grov): 0 g.

$LA = (5000 - m)/50$ → **23,18 %**

$LAgrov = (10000 - mgrov)/100$ → **#DIV/0!**

Micro-Deval

NS-EN 1097-1

Materiale: (8/16mm Ute) SINTEF NA 8/16-7
Dato: 16.10.2019
Sign: Ali

Vekt av kuler til Micro-Deval-maskinen før test:

	Prøve I		Prøve II	
Kulene veier:	<u>5001,3</u>	Gram	<u>5001,1</u>	Gram

Kravet er at kulene skal veie mellom 5000 ± 10 g. Kulene siktes først på kalibreringsbrett for å sikre at de har rett størrelse. Kuler som avviker fra kravet, skal erstattes med kuler som tilfredsstiller kravet.

Innveid masse:

Prøve I			Prøve II	
10,0 - 12,5 mm.	<u>325,2</u>	(65 ± 1)%	10,0 - 12,5 mr	<u>325,4</u>
12,5 - 14,0 mm.	<u>175,4</u>	(35 ± 1)%	12,5 - 14,0 mr	<u>175,1</u>
(m ₁) Σ	<u><u>500,6</u></u>	ca. 500 gr.	(m ₁) Σ	<u><u>500,5</u></u>

Prøven settes sammen til graderingen 10 - 14 mm . Det skal analyseres 2 delprøver på ca. 500 g. hver. Prøven skal vaskes og tørkes før innveing.

Inveid prøve etter vask og tørk:

Prøve I (m₂): 470,7 g.
Prøve II (m₂): 470 g.

$$M_{DE} = (100 \times (m_1 - m_2)) / m_1$$

M_{DE I} = 5,97

M_{DE} = 6,03

M_{DE II} = 6,09



LOS ANGELES

NS-EN 1097-2

Materiale: 4-16mm Miliøanlegg Sintef RNA 4/16-9a
Dato: 17.10.2019
Sign: Ali

Vekt av kuler til Los Angeles-maskinen før test:

1	<u>430</u>	Gram
2	<u>430,7</u>	Gram
3	<u>429,7</u>	Gram
4	<u>430,9</u>	Gram
5	<u>431,3</u>	Gram
6	<u>430,7</u>	Gram
7	<u>431,3</u>	Gram
8	<u>430,8</u>	Gram
9	<u>430,5</u>	Gram
10	<u>430,6</u>	Gram
11	<u>430,4</u>	Gram
12	<u>0</u>	Gram
Kulene veier:	<u><u>4736,9</u></u>	Gram

Kravet er at hver kule skal veie mellom 400 og 445 g. Kuler som avviker fra kravet, skal erstattes med kuler som tilfredsstillter kravet.

Innveid masse:

Referansegradering - 10/14 mm.

10,0 / 12,5 mm. 3250

12,5 / 14,0 mm. 1750,5

5000,5

Referansegradering - 31,5/50 mm

31,5 / 40,0 mm. 0

40,0 / 50,0 mm. 0

0

For fin gradering skal samlet prøve være 5000±5 g. for grov gradering 10000±100 g.

Innveid prøve etter vask og tørk (m): 3632,2 g.

Innveid prøve etter vask og tørk (m-grov): 0 g.

$LA = (5000 - m)/50$ → **27,36 %**

$LA_{grov} = (10000 - m_{grov})/100$ → **#DIV/0!**

NS-EN 1097-1: Micro-Deval

Materiale: (4-16mm Miljøanlegg) SINTEF RNA 4/16-9a
Dato: 17.10.2019
Sign: Ali

Vekt av kuler til Micro-Deval-maskinen før test:

Kulene veier: Prøve I 5003,1 Gram Prøve II 5003,8 Gram

Kravet er at kulene skal veie mellom 5000 ± 10 g. Kulene siktes først på kalibreringsbrett for å sikre at de har rett størrelse. Kuler som avviker fra kravet, skal erstattes med kuler som tilfredsstiller kravet.

Innveid masse:

Prøve I		Prøve II	
10,0 - 12,5 mm.	<u>325,1</u> (65 ± 1)%	10,0 - 12,5 mm	<u>325,1</u>
12,5 - 14,0 mm.	<u>175</u> (35 ± 1)%	12,5 - 14,0 mm	<u>175,3</u>
(m ₁) Σ	<u><u>500,1</u></u> ca. 500 gr.	(m ₁) Σ	<u><u>500,4</u></u>

Prøven settes sammen til graderingen 10 - 14 mm . Det skal analyseres 2 delprøver på ca. 500 g. hver. Prøven skal vaskes og tørkes før innveing.

Inveid prøve etter vask og tørk:

Prøve I (m₂): 467,1 g.
Prøve II (m₂): 465,5 g.

$$M_{DE} = (100 \times (m_1 - m_2)) / m_1$$

$$M_{DE I} = 6,60$$

$$M_{DE} = 6,79$$

$$M_{DE II} = 6,97$$



LOS ANGELES

NS-EN 1097-2

Materiale: (8/16mm Ute) SINTEF NA 8/16-9
Dato 17.10.2019
Sign: Ali

Vekt av kuler til Los Angeles-maskinen før test:

1	<u>430</u>	Gram
2	<u>430,9</u>	Gram
3	<u>430</u>	Gram
4	<u>430,3</u>	Gram
5	<u>430,8</u>	Gram
6	<u>430,6</u>	Gram
7	<u>430,5</u>	Gram
8	<u>430</u>	Gram
9	<u>430,2</u>	Gram
10	<u>430,1</u>	Gram
11	<u>430,1</u>	Gram
12	<u>0</u>	Gram
Kulene veier:	<u><u>4733,5</u></u>	Gram

Kravet er at hver kule skal veie mellom 400 og 445 g. Kuler som avviker fra kravet, skal erstattes med kuler som tilfredsstillter kravet.

Innveid masse:

Referansegradering - 10/14 mm.

10,0 / 12,5 mm. 3251

12,5 / 14,0 mm. 1750,2

5001,2

Referansegradering - 31,5/50 mm

31,5 / 40,0 mm. 0

40,0 / 50,0 mm. 0

0

For fin gradering skal samlet prøve være 5000±5 g. for grov gradering 10000±100 g.

Innveid prøve etter vask og tørk (m): 3876 g.

Innveid prøve etter vask og tørk (m-grov): 0 g.

$LA = (5000 - m)/50$ → **22,50 %**

$LA_{grov} = (10000 - m_{grov})/100$ → **#DIV/0!**

Micro-Deval

NS-EN 1097-1

Materiale: (8/16mm Ute) SINTEF NA 8/16-9
Dato: 17.10.2019
Sign: Ali

Vekt av kuler til Micro-Deval-maskinen før test:

	Prøve I		Prøve II	
Kulene veier:	<u>5001,8</u>	Gram	<u>5001,8</u>	Gram

Kravet er at kulene skal veie mellom 5000 ± 10 g. Kulene siktes først på kalibreringsbrett for å sikre at de har rett størrelse. Kuler som avviker fra kravet, skal erstattes med kuler som tilfredsstiller kravet.

Innveid masse:

Prøve I			Prøve II	
10,0 - 12,5 mm.	<u>324,6</u>	175,5	10,0 - 12,5 mr	<u>325,7</u>
12,5 - 14,0 mm.	<u>175,4</u>	(35 ± 1)%	12,5 - 14,0 mr	<u>175,2</u>
(m ₁) Σ	<u>500</u>	ca. 500 gr.	(m ₁) Σ	<u>500,9</u>

Prøven settes sammen til graderingen 10 - 14 mm . Det skal analyseres 2 delprøver på ca. 500 g. hver. Prøven skal vaskes og tørkes før innveing.

Inveid prøve etter vask og tørk:

Prøve I (m₂): 470,9 g.
Prøve II (m₂): 471,8 g.

$$M_{DE} = (100 \times (m_1 - m_2)) / m_1$$

$$M_{DE I} = 5,82$$

$$M_{DE} = 5,81$$

$$M_{DE II} = 5,81$$

Batch 2

Uke	dato	Prøve id.	Analysen resultat	
			LA	MD
44	29.10.2019	NA 8/16-17	27,11	7,62
45	04.11.2019	RNA 4/16-21a	25,3	17,04
		RNA 4/16-21b	27,54	9,8
	05.11.2019	RNA 4/16-22a	23,86	10,32
		RNA 4/16-22b	25,45	7,31
		NA 8/16-22	21,93	5,57
	06.11.2019	RNA 4/16-23a	23,58	9,55
		RNA 4/16-23b	26,42	8,82

Batch 3

Uke	dato	Prøve id.	Analysen resultat	
			LA	MD
47	19.11.2019	RNA 4/16-32	26,41	9,92
48	26.11.2019	RNA 4/16-37	25,48	10,71
	27.11.2019	RNA 4/16-38	24,46	9,27
	27.11.2019	NA 8/16-38	28,85	<i>ikke testet</i>
	28.11.2019	RNA 4/16-39	24,88	11,12
49	02.12.2019	RNA 4/16-41	23,88	8,40
	03.12.2019	RNA 4/16-42	26,41	8,95
	04.12.2019	RNA 4/16-43	24,82	8,39
	04.12.2019	NA 8/16-43	23,93	6,27
	05.12.2019	RNA 4/16-44	27,65	12,28

12.4 Petrografisk analyse

Rapportene fra petrografisk analyse fra Marit Haugen på SINTEF. Rapportene er listet opp under;

- Batch 1
- Batch 2
- Batch 3

Test report

Characterization of recycled aggregates from excavation materials from Velde Industri AS, October 2019

Concrete Laboratory**Date:**
2019-12-06**Project manager:**
Christian John Engelsen**Client(s):**
The NFR project RESGRAM**Client's reference:**
Hernan Mujica**Project No:**
102013302**Number of pages/Appendices:**
5 / 0 appendices**Abstract:**

2019-10-24 SINTEF received seven bags with totally 42 kg recycled aggregates from excavation materials in two different fractions from the client. The materials are from the Stavanger area. The labelling of the samples is given in the report. The sampling was performed by Velde Industri AS and SINTEF.

For the different samples a petrographic classification was carried out.

The testing was carried out in the period 2019-10-31--12-03. The results are given on page 2-5.

Utstyrs ID	B-238
-------------------	-------

Author:
Marit Haugen

Marit Haugen Haugen Marit Kristin
Signature 2019.12.06 14:55:13 +01'00'

Checked by:
For Jan Lindgård

Ola Skjølsvold Digitally signed by Skjølsvold Ola
Signature Date: 2019.12.06 14:56:48 +01'00'

Report Nr:
3302-H2**Classification:**
Restricted

1 Sample

2019-10-24 SINTEF received seven bags with totally 42 kg recycled aggregates from excavation materials in two different fractions from the client. The materials are from the Stavanger area. The labelling of the samples is given in the table below. The sampling was performed by Velde Industri AS and SINTEF.

Sample labelled	Total amount, kg
RNA 4/16-3a	7.3
RNA 4/16-3b	7.1
RNA 4/16 8a	5.1
RNA 4/16 9a	6.0
NA 8/16-5	5.3
NA 8/16-7	5.2
NA 8/16-9	6.1

2 Analysis

The following analysis was carried out:

- * Petrographic characterization with use of a stereo microscope. The material components (rock type/material fraction) are given as % of counted grains.

3 Results

The following results are obtained:

Petrographic characterization of samples in the fraction 4/16 mm (the samples were divided by SINTEF in the fractions 4/8 mm and 8/16 mm):

Velde Industri, recycled aggregates from excavation materials	Fraction, mm	RNA 4/16- 3a								
		Granite/ gneiss/ quartzite/ felspathic rock	Phyllite	Dark rock	Light weighth particles	Asphalt	Mortar	Brick	Wood chipp-ings	Metal chips
Approximately rock-/mineral composition, % of counted grains	4/8	69	24	1	1	2	1	1	-	1
	8/16	70	23	4	<1	3	<1	-	<1	-
Grain shape		Dominance of cubical grains								
Roundness		Dominance of sharp angular particles. Some particles are partly rounded								
Degree of wheatering		Mainly fresh grain surfaces								
Coating		No visible coating								

Velde Industri, recycled aggregates from excavation materials	Fraction, mm	RNA 4/16- 3b			
		Granite/gneiss/quartzite/ felspathic rock	Phyllite	Dark rock	Asphalt
Approximately rock-/mineral composition, % of counted grains	4/8	70	24	4	2
	8/16	69	27	3	1
Grain shape		Dominance of cubical grains			
Roundness		Dominance of sharp angular particles. Some particles are partly rounded			
Degree of wheatering		Mainly fresh grain surfaces			
Coating		No visible coating			

Velde Industri, recycled aggregates from excavation materials	Fraction, mm	RNA 4/16- 8a				
		Granite/ gneiss/ quartzite/ felspathic rock	Phyllite	Dark rock	Asphalt	Mortar
Approximately rock-/mineral composition, % of counted grains	4/8	96	< 1	4		< 1
	8/16	94	1	2	2	1
Grain shape		Dominance of cubical grains				
Roundness		Dominance of sharp angular particles. Some particles are partly rounded				
Degree of wheatering		Mainly fresh grain surfaces				
Coating		No visible coating				

Velde Industri, recycled aggregates from excavation materials	Fraction, mm	RNA 4/16- 9a				
		Granite/ gneiss/ quartzite/ felspathic rock	Phyllite	Dark rock	Asphalt	Mortar
Approximately rock-/mineral composition, % of counted grains	4/8	98	1	1		
	8/16	94	3	2	1	< 1
Grain shape		Dominance of cubical grains				
Roundness		Dominance of sharp angular particles. Some particles are partly rounded				
Degree of wheatering		Mainly fresh grain surfaces				
Coating		No visible coating				

Petrographic characterization of the sample in fraction 8/16 mm:

Velde Industri, recycled aggregates from excavation materials	NA 8/16-5
Rock composition, % of counted grains	Granite/gneiss/quartzite/feltspathic rock (100 %)
Grain shape	Dominance of cubical grains
Roundness	Sharp angular particles
Degree of wheatering	Fresh grain surfaces
Coating	No visible coating

Velde Industri, recycled aggregates from excavation materials	NA 8/16-7
Rock composition, % of counted grains	Granite/gneiss/quartzite/feltspathic rock (100 %)
Grain shape	Dominance of cubical grains
Roundness	Sharp angular particles
Degree of wheatering	Fresh grain surfaces
Coating	No visible coating

Velde Industri, recycled aggregates from excavation materials	NA 8/16-9
Rock composition, % of counted grains	Granite/gneiss/quartzite/feltspathic rock (100 %)
Grain shape	Dominance of cubical grains
Roundness	Sharp angular particles
Degree of wheatering	Fresh grain surfaces
Coating	No visible coating

Test report

Characterization of recycled aggregates from excavation materials from Velde Industri AS, November 2019

Concrete Laboratory**Date:**
2020-01-23**Project manager:**
Christian John Engelsen**Client(s):**
The NFR project RESGRAM**Client's reference:**
Hernan Mujica**Project No:**
102013302**Number of pages/Appendices:**
6 / 0 appendices**Abstract:**

2019-11-22, SINTEF received eight bags from the client with totally about 40 kg recycled aggregates produced from excavation materials. The materials originate from the Stavanger area, and the sampling was performed by Velde Industri AS and SINTEF.

For the different samples a petrographic classification was carried out.

The testing was carried out in the period 2019-11-25--2020-01-15. The results are presented on page 2-5.

Utstyrs ID	B-238
-------------------	-------

Author:
Marit Haugen

Signature  Haugen Marit Kristin
2020.01.23 14:11:25 +01'00'

Checked by:
For Jan Lindgård

Signature  Digitally signed by Skjølsvold Ola
Date: 2020.01.24 10:47:51 +01'00'

Report Nr:
3302-H2**Classification:**
Restricted

1 Sample

2019-11-22, SINTEF received eight bags from the client with totally about 40 kg recycled aggregates produced from excavation materials. The materials originate from the Stavanger area, and the sampling was performed by Velde Industri AS and SINTEF.

The labelling of the samples is given in the table below.

Sample labelled	Prøvetakingsdato	Amount, kg
NA 8/16-17	29.10.2019	About 5 kg each
NA 8/16-22	05.11.2019	
RNA 4/16-21-a	04.11.2019	
RNA 4/16-21-b	04.11.2019	
RNA 4/16-22-a	05.11.2019	
RNA 4/16-22-b	05.11.2019	
RNA 4/16-23-a	06.11.2019	
RNA 4/16-23-b	06.11.2019	

2 Analysis

The following analysis was carried out:

- * Petrographic characterization with use of a stereo microscope. The material components (rock type/material fraction) are given as % of counted particles. In addition, particle shape, roundness and degree of weathering were assessed. Furthermore, presence of any coating or any other materials (contaminations) were investigated.

3 Results

The following results are obtained:

Petrographic characterization of the two samples in the fraction 8/16 mm:

Velde Industri, recycled aggregates from excavation materials	NA 8/16-17
Rock composition, % of counted particles	Granite/gneiss/quartzite/feltspathic rock (100 %)
Particle shape	Dominance of cubical particles
Roundness	Sharp angular particles
Degree of weathering	Fresh grain surfaces
Coating	No visible coating

Velde Industri, recycled aggregates from excavation materials	NA 8/16-22
Rock composition, % of counted particles	Granite/gneiss/quartzite/feltspathic rock (100 %)
Particle shape	Dominance of cubical particles
Roundness	Sharp angular particles
Degree of wheatering	Fresh particle surfaces
Coating	No visible coating

Petrographic characterization of the six samples in the fraction 4/16 mm (the samples were divided by SINTEF into the fractions 4/8 mm and 8/16 mm):

Velde Industri, recycled aggregates from excavation materials	Fraction, mm	RNA 4/16- 21-a					
		Granite/ gneiss/ quartzite/ feltspathic rock	Phyllite	Dark rock	Asphalt	Mortar	Brick
		4/8	75	21	1	1	1
Approximately rock-/mineral composition, % of counted particles	8/16	71	25	2	2	-	-
Particle shape		Dominance of cubical particles					
Roundness		Dominance of sharp angular particles. Some particles are partly rounded					
Degree of wheatering		Mainly fresh particle surfaces					
Coating		No visible coating					

Velde Industri, recycled aggregates from excavation materials	Fraction, mm	RNA 4/16- 21-b						
		Granite/ gneiss/ quartzite/ felspathic rock	Phyllite	Dark rock	Asphalt	Mortar/ dark rock	Light weight particles	Brick
Approximately rock-/mineral composition, % of counted particles	4/8	92	5	2	-	-	-	1
	8/16	91	6	-	1	1	1	-
Particle shape		Dominance of cubical particles						
Roundness		Dominance of sharp angular particles. Some particles are partly rounded						
Degree of wheathering		Mainly fresh particle surfaces						
Coating		No visible coating						

Velde Industri, recycled aggregates from excavation materials	Fraction, mm	RNA 4/16- 22-a			
		Granite/ gneiss/ quartzite/ felspathic rock	Phyllite	Dark rock	Asphalt
Approximately rock-/mineral composition, % of counted particles	4/8	92	7		1
	8/16	89	8	1	2
Particle shape		Dominance of cubical particles			
Roundness		Dominance of sharp angular particles. Some particles are partly rounded			
Degree of wheathering		Mainly fresh particle surfaces			
Coating		No visible coating			

Velde Industri, recycled aggregates from excavation materials	Fraction, mm	RNA 4/16- 22-b			
		Granite/ gneiss/ quartzite/ felspathic rock	Phyllite	Dark rock	Asphalt
Approximately rock-/mineral composition, % of counted particles	4/8	89	4	2	5
	8/16	97	1	-	2
Particle shape		Dominance of cubical particles			
Roundness		Dominance of sharp angular particles. Some particles are partly rounded			
Degree of weathering		Mainly fresh particle surfaces			
Coating		No visible coating			

Velde Industri, recycled aggregates from excavation materials	Fraction, mm	RNA 4/16- 23-a				
		Granite/ gneiss/ quartzite/ felspathic rock	Phyllite	Dark rock	Asphalt	Mortar
Approximately rock-/mineral composition, % of counted particles	4/8	93	3	1	2	1
	8/16	93	3	-	3	1
Particle shape		Dominance of cubical particles				
Roundness		Dominance of sharp angular particles. Some particles are partly rounded				
Degree of weathering		Mainly fresh particle surfaces				
Coating		No visible coating				

Velde Industri, recycled aggregates from excavation materials	Fraction, mm	RNA 4/16- 23-b					
		Granite/ gneiss/ quartzite/ felspathic rock	Phyllite	Dark rock	Asphalt	Mortar	Slag
Approximately rock-/mineral composition, % of counted particles	4/8	91	5	1	2	1	
	8/16	89	5	2	2	1	1
Particle shape		Dominance of cubical particles					
Roundness		Dominance of sharp angular particles. Some particles are partly rounded					
Degree of weathering		Mainly fresh particles surfaces					
Coating		No visible coating					

Address:
Postboks 4760 Torgarden
NO-7465 Trondheim
NORWAY
Telephone: +47 400 05 100

info@sintef.no
<http://www.sintef.no/Byggforsk/>
Enterprise /VAT No:
NO 919303808 MVA



Test report

Characterization of recycled aggregates from excavation materials from Velde Industri AS, December 2019

Concrete Laboratory**Date:**
2020-03-23**Project manager:**
Christian John Engelsen**Client(s):**
The NFR project RESGRAM**Client's reference:**
Hernan Mujica**Project No:**
102013302**Number of pages/Appendices:**
7 / 0 appendices**Abstract:**

2019-12-17, SINTEF received ten bags from the client with totally about 60 kg recycled aggregates produced from excavation materials. The materials originate from the Stavanger area, and the sampling was performed by Velde Industri AS and SINTEF.

For the different samples a petrographic classification was carried out.

The testing was carried out in the period 2020-01-08--03-20. The results are presented on page 2-7.

Utstyrs ID	B-238
-------------------	-------

Author:
Marit Haugen

Signature  Haugen Marit Kristin
2020.03.23 16:22:42
+01'00'

Checked by:
Jan Lindgård

Signature  2020.03.23
16:24:42 +01'00'

Report Nr:
3302-H2**Classification:**
Restricted

1 Sample

2019-12-17, SINTEF received ten bags from the client with totally about 60 kg recycled aggregates produced from excavation materials. The materials originate from the Stavanger area, and the sampling was performed by Velde Industri AS and SINTEF.

The labelling of the samples is given in the table below.

Sample labelled	Prøvetakingsdato	Amount, kg
NA 8/16-38	27.11.2019	Each about 6 kg
NA 8/16-43	04.12.2019	
RNA 4/16-32	19.11.2019	
RNA 4/16-37	26.11.2019	
RNA 4/16-38	27.11.2019	
RNA 4/16-39	28.11.2019	
RNA 4/16-41	02.12.2019	
RNA 4/16-42	03.12.2019	
RNA 4/16-43	04.12.2019	
RNA 4/16-44	05.12.2019	

2 Analysis

The following analysis was carried out:

- * Petrographic characterization with use of a stereo microscope. The material components (rock type/material fraction) are given as % of counted particles. In addition, particle shape, roundness and degree of weathering were assessed. Furthermore, presence of any coating or any other materials (contaminations) were recorded.

3 Results

The following results are obtained:

Petrographic characterization of the two samples in the fraction 8/16 mm:

Velde Industri, recycled aggregates from excavation materials	NA 8/16-38
Rock composition, % of counted particles	Granite/gneiss/quartzite/feltpathic rock (100 %)
Particle shape	Dominance of cubical particles
Roundness	Sharp angular particles
Degree of weathering	Mostly fresh surfaces
Coating	Mainly no visible coating

Velde Industri, recycled aggregates from excavation materials	Fraction, mm	NA 8/16-43	
Approximately rock-/mineral composition, % of counted particles	8/16	Granite/gneiss/quartzite/feltspathic rock	Dark rock
		99	1
Particle shape		Dominance of cubical particles	
Roundness		Sharp angular particles	
Degree of weathering		Fresh particle surfaces	
Coating		Mainly no visible coating	

Petrographic characterization of the eight samples in the fraction 4/16 mm (the samples were divided by SINTEF into the fractions 4/8 mm and 8/16 mm):

Velde Industri, recycled aggregates from excavation materials	Fraction, mm	RNA 4/16- 32					
Approximately rock-/mineral composition, % of counted particles		Granite/ gneiss/ quartzite/ feltspathic rock *	Phyllite	Mortar	Asphalt	Dark rock	Brick
	4/8	93	7	-	-	-	-
	8/16	93	4	2	1	< 1	< 1
Particle shape		Dominance of cubical particles					
Roundness		Dominance of sharp angular particles. Some particles are partly rounded/rounded					
Degree of weathering		Mostly fresh particle surfaces					
Coating		Traces of relatively loose coating on the particle surfaces					

* A few particles have traces of asphalt

Velde Industri, recycled aggregates from excavation materials	Fraction, mm	RNA 4/16- 37				
		Granite/gneiss/quartzite/ fcltspathic rock *	Phyllite	Asphalt	Mortar	Brick
Approximately rock-/mineral composition, % of counted particles	4/8	94	4	1	1	< 1
	8/16	95	4	-	1	-
Particle shape		Dominance of cubical particles				
Roundness		Dominance of sharp angular particles. Some particles are partly rounded/rounded				
Degree of weathering		Mostly fresh particle surfaces				
Coating		No visible coating				

* A few particles have traces of asphalt

Velde Industri, recycled aggregates from excavation materials	Fraction, mm	RNA 4/16- 38				
		Granite/gneiss/quartzite/ fcltspathic rock *	Phyllite	Mortar	Dark rock	Brick
Approximately rock-/mineral composition, % of counted particles	4/8	96	< 1	1	3	< 1
	8/16	98	2	< 1	-	-
Particle shape		Dominance of cubical particles				
Roundness		Dominance of sharp angular particles. Some particles are partly rounded/rounded				
Degree of weathering		Mostly fresh particle surfaces				
Coating		Some, relatively loose coating on some of the particle surfaces				

* A few particles have traces of asphalt

Velde Industri, recycled aggregates from excavation materials	Fraction, mm	RNA 4/16- 39					
		Granite/gneiss/ quartzite/ feldspathic rock *	Phyllite	Mortar	Asphalt	Dark rock	Cement lump
Approximately rock-/mineral composition, % of counted particles	4/8	95	3	2	< 1	-	-
	8/16	92	3	2	-	2	1
Particle shape		Dominance of cubical particles					
Roundness		Dominance of sharp angular particles. Some particles are partly rounded/rounded					
Degree of weathering		Mostly fresh particle surfaces					
Coating		Some, relatively loose coating on some of the particle surfaces					

* A few particles have traces of asphalt

Velde Industri, recycled aggregates from excavation materials	Fraction, mm	RNA 4/16- 41			
		Granite/gneiss/quartzite/ feldspathic rock *	Phyllite	Mortar	Brick
Approximately rock-/mineral composition, % of counted particles	4/8	98	2	-	< 1
	8/16	97	3	< 1	< 1
Particle shape		Dominance of cubical particles			
Roundness		Dominance of sharp angular particles. Some particles are partly rounded			
Degree of weathering		Mostly fresh particle surfaces			
Coating		Some, relatively loose coating on some of the particle surfaces			

* A few particles have traces of asphalt

Velde Industri, recycled aggregates from excavation materials	Fraction, mm	RNA 4/16- 42			
		Granite/gneiss/quartzite/ felspathic rock *	Phyllite	Asphalt	Mortar
Approximately rock-/mineral composition, % of counted particles	4/8	95	3	2	-
	8/16	94	5	-	1
Particle shape		Dominance of cubical particles			
Roundness		Dominance of sharp angular particles. Some particles are partly rounded/rounded			
Degree of weathering		Mostly fresh particle surfaces			
Coating		Some, relatively loose coating on some of the particle surfaces			

* A few particles have traces of asphalt

Velde Industri, recycled aggregates from excavation materials	Fraction, mm	RNA 4/16- 43				
		Granite/gneiss/quartzite/ felspathic rock *	Phyllite	Dark rock	Asphalt	Mortar
Approximately rock-/mineral composition, % of counted particles	4/8	94	2	1	3	< 1
	8/16	93	7	-	< 1	-
Particle shape		Dominance of cubical particles				
Roundness		Dominance of sharp angular particles. Some particles are partly rounded/rounded				
Degree of weathering		Mostly fresh particle surfaces				
Coating		Some, relatively loose coating on some of the particle surfaces				

* A few particles have traces of asphalt

Velde Industri, recycled aggregates from excavation materials	Fraction, mm	RNA 4/16- 44					
		Granite/gneiss/ quartzite/ felspathic rock *	Phyllite	Mortar	Asphalt	Dark rock	Brick
Approximately rock-/mineral composition, % of counted particles	4/8	91	6	< 1	1	2	< 1
	8/16	94	4	-	1	1	-
Particle shape		Dominance of cubical particles					
Roundness		Dominance of sharp angular particles. Some particles are partly rounded					
Degree of weathering		Mostly fresh particle surfaces					
Coating		Some, relatively loose coating on some of the particle surfaces					

* A few particles have traces of asphalt

12.5 Referater fra veiledning

Det er gjennom semestret vært flere veiledningstimer med intern og ekstern veileder. Det er for hvert møte ført referat. Referatene er listet opp under;

- Referat 1 13.01.20
- Referat 2 27.01.20
- Referat 3 10.02.20
- Referat 4 24.02.20
- Referat 5 09.03.20
- Referat 6 23.03.20
- Referat 7 06.04.20
- Referat 8 04.05.20

Møtereferat nr 1

Møtereferat fra første veiledningsmøte for masteroppgave om «Nytt resirkulert tilslag produsert fra grave- og byggavfall (Sintef, Mapei, UIA)».

Møte ble gjennomført på Skype mandag 13.01.20, og tilstede var Christian John Engelsen, ekstern veileder fra Sintef, Rein Terje Thorstensen, intern veileder fra UIA og Mariann Norby, masterstudent fra UIA. Det er Mariann Norby som skriver referatet.

1. Oppsummering av høsten 2019 og hva som ble resultatet av den leverte rapporten og drøftet litt rundt dette. Diskuterte særlig rundt dette med kilder på egenproduserte grafer og tabeller i resultat kapitelet. Christian og Rein Terje mente at det ikke skal være kilde på nye egenproduserte grafer og tabeller i resultatkapitel.
2. Gjennomgang av de viktigste datoene for våren;
 - 07.02.20 Innlevering forskerspørsmål og fremdriftsplan
 - 25.05.20 Innlevering rapport og A3 poster
3. Drøftet litt om hva som er aktuelt å undersøke nærmere i masterprosjektet i forhold til de funnene som kom frem i forprosjektet. Det er flere forslag som er aktuelle for å få en god dybde på masteroppgaven;
 - Koble mot «RESGRAM».
 - Fokus på mekaniske egenskaper
 - Micro-Deval-test
 - Analyser av kildematerialet

Det er mange muligheter for analyser og metoder. Drøftet å bruke det restmaterialet (både det som er mindre enn 1,6 mm og det som er større enn 1,6 mm) som er igjen etter LA-test for noen av prøvene. Mariann skal sjekke om det finnes noen lab-poser, om ikke skal hun få det bestilt. Arkivere alle prøvene fra resirkulert tilslag frem til det er bestemt hvilke prøver og hvilke tester som skal gjøres av restmaterialet. Mariann skal undersøke mer rundt dette og ser hva hun finner som kan være interessant for denne masteroppgaven.

4. Forskerspørsmålet og fremdriftsplanen er første jobb nå i planleggingen. Mariann anbefales å finne tidligere sammenlignbare oppgaver og tidligere artikler, og begynne å skrive på bakgrunns teori for å komme frem til et forskerspørsmål som kan besvares.
5. Nytt møte ble avtalt 27.01.20 klokka 12.00 på Skype. Det er satt opp fast avtale hver mandag annen hver uke fremover for veiledning for intern og ekstern veileder. Kan flyttes om det ikke lar seg gjennomføre.

Møtereferat nr. 2

Møtereferat fra andre veiledningsmøte for masteroppgave om «Nytt resirkulert tilslag produsert fra grave- og byggavfall (Sintef, Mapei, UIA)».

Møte ble gjennomført på Skype mandag 27.01.20, og tilstede var Christian John Engelsen, ekstern veileder fra Sintef, Rein Terje Thorstensen, intern veileder fra UIA og Mariann Norby, masterstudent fra UIA. Det er Mariann Norby som skriver referatet.

1. Enkel gjennomgang av ukene som har gått.
2. Drøftet litt om hva Mariann tenker angående hva som er aktuelt å se nærmere på laboratoriet. Mariann forteller at hun tenker at LA-test, M_{DE} -test og flisighets undersøkelser er det som virker aktuelt å ta videre. Diskutere litt rundt mulighetene her.
3. Christian kommer med innspill på at Velde har testet de samme materialene som Mariann testet før jul, og at det er aktuelt å sammenligne disse med Mariann sine resultater. Det er sendt prøver i Trondheim for testing av innholdet av de samme materialene. Det er aktuelt å bruke disse resultatene sammen med Mariann sine resultater i forbindelse med å undersøke hvilke bergarter som nedknes under LA-test ved å undersøke materialet som er mindre enn 1,6 mm.
4. Christian skal sende dokumentene fra Velde sin testing og resultatene fra Marit Haugen sine funn på innhold av bergarter i gravemassene.
5. Mariann skal lage en tabell på det materialet som har ankommet bygglabben på UiA. Kartlegge navn, vekt, uttaks dato og annet nyttig informasjon. Lage en prøvematrix for å få en god oversikt, for å danne et godt grunnlag.
6. Forskerspørsmålet og fremdriftsplan. Diskuterte litt rundt forskerspørsmålet. Mariann hadde ett utkast, men skal jobbe mer med utformingen og underspørsmålene.
7. Nytt møte ble avtalt 10.02.20 klokka 12.00 på Skype. Det er satt opp fast avtale hver mandag annen hver uke fremover for veiledning for intern og ekstern veileder. Kan flyttes om det ikke lar seg gjennomføre.

Møtereferat nr. 3

Møtereferat fra tredje veiledningsmøte for masteroppgave om «Nytt resirkulert tilslag produsert fra grave- og byggavfall (Sintef, Mapei, UIA)».

Møte ble gjennomført på Skype mandag 10.02.20, og tilstede var Christian John Engelsen, ekstern veileder fra Sintef, Rein Terje Thorstensen, intern veileder fra UIA og Mariann Norby, masterstudent fra UIA. Det er Mariann Norby som skriver referatet.

1. Enkel gjennomgang av ukene som har gått.
2. Forskerspørsmålet; Mariann har sendt forskerspørsmålet til Christian og Rein Terje. Christian syntes det var greit formulert og greie underspørsmål. Forskerspørsmålet levert og godkjent.
3. Prøveoversikten; Mariann har sendt prøveoversikt av mottatt prøvemateriale til Christian og Rein Terje. Christian lagt til de prøvene som analysert ved SINTEF
4. Velde har utført tester på de samme dagsprøvene som er mottatt på UiA, resultatene er oversendt.
5. Sammensetningsresultatene fra SINTEF er klare for 1 og 2 batch, resultatene er oversendt.
6. Christian kommer med kommentar til forprosjektet, angående presentasjon av resultater og funn. Det er kun det som er viktige resultater som skal fremstilles i tabellen. Diskuterte litt rundt dette.
7. Rein Terje kommer med innspill på at de studentene som jobber med relaterte materialer og tester, bør utveksle resultater, for å øke datagrunnlaget.
8. Nytt møte ble avtalt 24.02.20 klokka 12.00 på Skype. Det er satt opp fast avtale hver mandag annen hver uke fremover for veiledning for intern og ekstern veileder. Kan flyttes om det ikke lar seg gjennomføre.

Møtereferat nr. 4

Møtereferat fra fjerde veiledningsmøte for masteroppgave om «Nytt resirkulert tilslag produsert fra grave- og byggavfall (Sintef, Mapei, UIA)».

Møte ble gjennomført på Skype mandag 24.02.20, og tilstede var Christian John Engelsen, ekstern veileder fra Sintef og Mariann Norby, masterstudent fra UIA, Rein Terje Thorstensen, intern veileder fra UIA var ikke tilsted. Det er Mariann Norby som skriver referatet.

1. Enkel gjennomgang av ukene som har gått.
2. Informasjonen som kommer fra Velde AS og SINTEF, Mariann spør om hvordan resultatene fra Velde og SINTEF skal legges inn i rapporten; resultatene skal brukes og refereres til på samme måte som andre artikler og kilder. Så de skal legges inn som kilder i dokumentet, og de skal ikke legges ved som vedlegg i rapporten min.
3. Når er det aktuelt å sende inn det nedknuste materialet; når alle resultatene er klare og systematisert, og kan vi bestemme hvilke prøver som er aktuelle å sende inn til SINTEF for analyse av det nedknuste materialet, for å finne ut hvilke bergarter som er blitt knust mest.
4. Velde har utført tester på de samme dagsprøvene som er mottatt på UiA; Christian skal sjekke med Velde når de de siste prøveresultatene er ferdige. Mariann har mottatt for batch 1.
5. Sammensetningsresultatene fra SINTEF er klare for batch 1 og batch 2 resultatene er oversendt; SINTEF holder på med batch 3 fortsatt.
6. Solomon skal gjøre forsøk med fyllitt; han skal tilsette fyllitt og se hvordan dette påvirker de mekaniske egenskapene. Dette er resultater som kan være nyttige for masteroppgaven.
7. NA17 og NA38; Mariann har oppnådd høye verdier, 28 og 30 i LA-verdi. Diskuterte eventuelle feilkilder og muligheter for prøve å finne ut av hva som kan skjedd. Diskuterte litt alternative metoder for dette. Mariann skal sjekke torsdag denne uken hvilke materialer og mengder som mulig å teste ut med.
8. Nytt møte ble avtalt 09.03.20 klokka 12.00 på Skype. Det er satt opp fast avtale hver mandag annen hver uke fremover for veiledning for intern og ekstern veileder. Kan flyttes om det ikke lar seg gjennomføre.

Møtereferat nr. 5

Møtereferat fra femte veiledningsmøte for masteroppgave om «Nytt resirkulert tilslag produsert fra grave- og byggavfall (Sintef, Mapei, UIA)».

Møte ble gjennomført på Skype mandag 09.03.20, og tilstede var Christian John Engelsen, ekstern veileder fra Sintef og Mariann Norby, masterstudent fra UIA, Rein Terje Thorstensen, intern veileder fra UIA var ikke tilsted. Det er Mariann Norby som skriver referatet.

1. Enkel gjennomgang av ukene som har gått.
2. Testene som kommer fra Velde AS og SINTEF, Mariann spør om hvordan det går med resultatene fra Velde og SINTEF; Marit Haugen holder fortsatt på med analysene, men på Velde er det redusert bemanning på laboratoriet, så det er noe usikkert når resultatene er klare. Mangler batch 2 og batch 3 fra Velde og batch 3 fra SINTEF.
3. Når er det aktuelt å sende inn det nedknuste materialet; Resultatene fra UiA er nå klare så prøvene kan sendes inn nå. Det skal gjøres analyse av både materialet < 1,6 mm og materialet > 1,6 mm. Prøvematerialet skal splittes og kvartes ned. Prøvene skal sendes til Christian på SINTEF for analyse. Det er 4 prøver som skal analyseres; en med naturlig knust tilslag og tre med resirkulert tilslag. Hensikten er å så hvilke bergarter som er blitt nedknust.
4. Solomon skal gjøre forsøk med fyllitt; han skal tilsette fyllitt og se hvordan dette påvirker de mekaniske egenskapene. Han skal tilsette opp mot 100 % med fyllitt. Dette er resultater som kan være nyttige for masteroppgaven.
5. NA17 og NA38; Mariann har oppnådd høye verdier, 28 og 30 i LA-verdi. Velde har fått de samme verdiene for sine prøver.
6. Nytt møte ble avtalt 23.03.20 klokka 12.00 på Skype. Det er satt opp fast avtale hver mandag annen hver uke fremover for veiledning for intern og ekstern veileder. Kan flyttes om det ikke lar seg gjennomføre.

Møtereferat nr. 6

Møtereferat fra sjette veiledningsmøte for masteroppgave om «Nytt resirkulert tilslag produsert fra grave- og byggavfall (Sintef, Mapei, UIA)».

Møte ble gjennomført på Skype mandag 23.03.20, og tilstede var Christian John Engelsen, ekstern veileder fra Sintef, Rein Terje Thorstensen, intern veileder fra UIA og Mariann Norby, masterstudent fra UIA. Det er Mariann Norby som skriver referatet.

1. Enkel gjennomgang av ukene som har gått. Alle holder seg friske og tilpasser seg den nye hverdagen.
2. Testene fra fra Velde AS og SINTEF; Mariann spør om hvordan det går med resultatene fra Velde og SINTEF; Marit Haugen holder fortsatt på med analysene og forventer at det er klart i dag 23.03.20, men på Velde har de redusert bemanning på laboratoriet, så det er noe usikkert når resultatene er klare. Mangler batch 2 og batch 3 fra Velde.
3. Mariann sender inn det nedknuste materialet denne uken til analyse på SINTEF; Det er fem prøver som skal analyseres. Hensikten er å så hvilke bergarter som er blitt nedknust.
4. Tips til masteroppgaven; Det er fornuftig finne 2-3 tidligere masteroppgaver for å se hvordan de har fremstilt de ulike kapitlene, og for å sammenligne med dem. Det er lurt å lage kreative/originalt fremstillinger av resultatene. Lage gode systematiske fremstillinger av resultatene. Bruk resultatene til å søke videre, stykk det mer opp for å finne god informasjon. Metode og litteraturstudie; må søke på flere engelske forskningsartikler, må få frem hvordan litteraturen er behandlet.
5. Solomon skal gjøre forsøk med fyllitt; han skal tilsette fyllitt og se hvordan dette påvirker de mekaniske egenskapene. Han skal tilsette opp mot 100 % med fyllitt. Det er ikke sikkert at resultatene er klarere for denne masteroppgaven, fordi universitet er stengt.
6. Nytt møte ble avtalt 26.04.20 klokka 12.00 på Skype. Det er satt opp fast avtale hver mandag annen hver uke fremover for veiledning for intern og ekstern veileder. Kan flyttes om det ikke lar seg gjennomføre.

Møtereferat nr. 7

Møtereferat fra syvende veiledningsmøte for masteroppgave om «Nytt resirkulert tilslag produsert fra grave- og byggavfall (Sintef, Mapei, UIA)».

Møte ble gjennomført på Skype mandag 06.04.20, og tilstede var Christian John Engelsen, ekstern veileder fra Sintef, Rein Terje Thorstensen, intern veileder fra UIA og Mariann Norby, masterstudent fra UIA. Det er Mariann Norby som skriver referatet.

1. Enkel gjennomgang av ukene som har gått. Alle holder seg friske og tilpasser seg den nye hverdagen. Hverdagen er mer preget av Corona tiltakene, ny hverdag for alle.
2. Testene fra Velde AS og SINTEF; Mariann spør om hvordan det går med resultatene fra Velde og SINTEF; prøvene <1,6 mm er klargjort og sendt til SINTEF for XRD-analyse, men på Velde har de redusert bemanning på laboratoriet, så det er noe usikkert når resultatene er klare. Mangler batch 2 og batch 3 fra Velde.
3. Tips til masteroppgaven; Det er lurt å lage grafiske fremstillinger av resultatene, da det kan bidra til løfte og finne nye interessante resultater til oppgaven. Lage gode systematiske fremstillinger av resultatene. Metode og litteraturstudie; må skille mellom det som er teori for å komme frem til forskerspørsmålet og det som er metode for å finne svar på forskerspørsmålet. Viktig å få frem hvordan litteraturen er behandlet og hvordan man har jobbet for å komme frem til svarene. Bør lage en god oversikt over hva jeg skal diskutere.
4. Må få frem tydelige hva som er likt og hva som er forskjellig for RNA og NA, dette bør komme veldig tydelig frem. Her bør det komme frem hva som er svakheter i sammensetningene.
5. Solomon skal gjøre forsøk med fyllitt; han skal tilsette fyllitt og se hvordan dette påvirker de mekaniske egenskapene. Han skal tilsette opp mot 100 % med fyllitt. Solomon har mange resultater fra tidligere LA-tester, dette er resultater som kan innhentes og brukes som informasjon i masteroppgaven.
6. Nytt møte ble avtalt 20.04.20 klokka 12.00 på Skype. Det er satt opp fast avtale hver mandag annen hver uke fremover for veiledning for intern og ekstern veileder. Kan flyttes om det ikke lar seg gjennomføre.

Møtereferat nr. 8

Møtereferat fra syvende veiledningsmøte for masteroppgave om «Nytt resirkulert tilslag produsert fra grave- og byggavfall (Sintef, Mapei, UIA)».

Møte ble gjennomført på Skype mandag 04.05.20, og tilstede var Christian John Engelsen, ekstern veileder fra Sintef, Rein Terje Thorstensen, intern veileder fra UIA og Mariann Norby, masterstudent fra UIA. Det er Mariann Norby som skriver referatet.

1. Enkel gjennomgang av ukene som har gått.
2. Resultatene fra XRD analysen er klare; vi går igjennom resultatene fra XRD-analysen og diskutere rundt funnene. Diskutere rundt andel fyllitt som var i de testmaterialet og LA-verdiene. Skal prøve å kartlegge om det er et mønster som kan beskrive resultatet. Kan benytte Mohrskalaen, som beskriver hardheten til mineralene for å vurdere om det kan gi noen forklaringer.
3. Diskusjonskapitlet; RNA og NA, dette bør komme veldig tydelig frem. Her bør det komme frem hva som er svakheter i sammensetningene.
4. Mariann spør om hvordan det går med resultatene fra Velde, mangler batch 2 og batch 3 fra Velde; Christian har purret på dem men vet fortsatt ikke når eller om de kommer.
5. Solomon; resultatene om dolomitt var ikke ferdigstilt, derfor var ikke dette riktig resultater.
6. Nytt møte ble avtalt 18.05.20 klokka 12.00 på Skype. Det er satt opp fast avtale hver mandag annen hver uke fremover for veiledning for intern og ekstern veileder. Kan flyttes om det ikke lar seg gjennomføre.



Innledning

Bygging av infrastruktur, slik som veg og VA-anlegg, samt nye bolig og næringsområder skaper et behov for store mengder sand, grus og pukk. En fellesbenevnelse for slike materialer er tilslag. Slike tilslag forekommer både naturlig og resirkulert. Naturlig tilslag inkluderer løsmasser eller knust berg fra naturlige forekomster. Resirkulert tilslag er produsert av uorganiske materialer fra grave- og byggavfall.

Byggebransjen genererer store mengder med grave- og byggavfall. Tall hentet fra Statistisk sentralbyrå viser at 1,9 millioner tonn med byggavfall ble generert i 2017 i Norge. En stor andel av dette går til deponi og brukes som tildekningsmateriale. Statistikken til SSB tar ikke med gravemasser generert i bygg- og anleggsprosjektene. Det anslås at 1,5 millioner tonn gravemasser blir generert på Nord-Jæren og 10-15 millioner tonn på landsbasis.

Case

Det skal undersøkes hvor mye de mekaniske egenskapene for resirkulert tilslag produsert fra grave- og byggavfall varierer. For gjennomføring og analysing av testene brukes relevante standarder samt Statens vegvesens håndbøker. Alle tester utføres etter prosedyrene som er beskrevet i underlaget. Los Angeles-metoden benyttes for å dokumentere og tallfeste verdien for motstand mot nedknusing. Testen utføres på resirkulert tilslag produsert fra grave- og byggavfall i fraksjon 4/16 og på naturlig knust

tilslag i fraksjon 8/16. Tester utføres på naturlig knust tilslag for å gi et sammenligningsgrunnlag mot resirkulert tilslag produsert fra grave- og byggavfall.

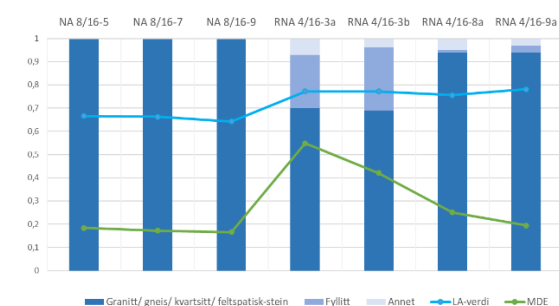
For å danne et godt datagrunnlag skal det utføres Los Angeles-tester på laboratoriet ved Universitet i Agder. Velde AS skal i tillegg utføre Los Angeles-test og micro-Deval-test på de samme dagsprøvene på sitt laboratorium. Resirkulert tilslag produsert fra grave- og byggavfall må oppfylle de samme kravene som naturlig knust tilslag. Det er sendt dagsprøver til SINTEF, hvor det skal utføres petrografisk analyse for å se på innholdet og sammensetningen av tilslagsmaterialet.

Metode

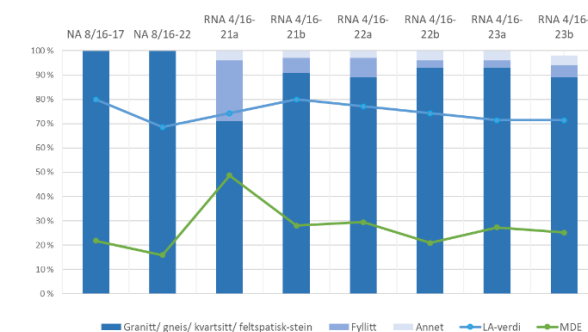
Problemstillingen og temaet for oppgaven er utgangspunktet ved oppstart av litteratursøket. For å kunne komme frem til og å kunne svare på forskerspørsmålet var det nødvendig å innhente informasjon om temaet. Litteraturstudiet blir brukt som grunnlag til en tilfredsstillende teoribakgrunn og for å finne kunnskapshull. Gjeldende standardverk og Statens vegvesens håndbøker er brukt for finne prosedyrer for testmetoder og materialkrav for tilslag. Kvantitativ metode i form av Los Angeles-test er utført etter Statens vegvesens håndbok R210 Laboratorieundersøkelse og NS-EN 1097-2:2010. Det ble utført XRD-analyse for å finne mineralsammensetningen til det nedknuste materialet etter utført Los Angeles-test.

Diskusjon

Resultatene etter petrografisk analyse viser at hoveddelen i sammensetningen er granitt/gneis/kvartsitt/feltspatisk-stein for alle prøvene. For naturlig knust tilslag viser resultatene at prøvene ikke inneholder andre bergarter enn granitt/gneis/kvartsitt/feltspatisk-stein. For resirkulert tilslag var det som forventet en del andre bergarter og noen andre funn.



For RNA 4/16 er LA-verdiene tilnærmet like, selv om fyllittinnholdet varierer påvirker det i liten grad LA-verdiene. M_{DE} -koeffisientene for RNA 3a og RNA 3b er helt tydelig påvirket av andelen fyllitt. Figur under viser at NA 8/16 prøvene har større variasjon i LA-verdiene, selv om det ikke er endring i sammensetningen basert på den petrografiske analysen. For RNA 4/16 er det mindre variasjoner i LA-verdi, men ikke så mye som NA 8/16. RNA 21a har inntil 25 % andel med fyllitt og 26 i LA-verdi, det indikerer at LA-verdien igjen ikke er vesentlig påvirket av fyllittinnholdet. M_{DE} -koeffisienten for den samme prøven er her vesentlig høyere og tydelig påvirket av fyllittinnholdet.



De mekaniske egenskapene til resirkulert tilslag produsert fra grave- og byggavfall er reeltivt stabile også sammenlignet med knust tilslag. En slik dokumentasjon kan være med på endre fokuset i bransjen til å ta valg om å bruke resirkulert tilslag oftere. Resirkulert tilslag er et meget godt valg til bruk i VA-grøfter og som forsterkningslag i veg. Her ser vi det største potensialet for utnyttelse av ressursen.

Konklusjon

Hvordan dokumentere at resirkulert tilslag produsert fra grave- og byggavfall er egnet materiale for vegbygning?

- Ved å gjennomføre Los Angeles- og micro-Deval-test, petrografisk analyse og sikteanalyse sikrer man en god dokumentasjon av kvaliteten til tilslaget
- Dokumentasjonen bør utføres hyppig slik at man sikrer jevn kvalitet i tilslaget
- Resirkulert tilslag testet i oppgaven viser vel så gode egenskaper som naturlig knust tilslag, og er dermed velegnet for bruk til vegformål og som fyllmasse for VA-anlegg