

Undersøkelse av materialegenskapene til
lettklinker og skumglass fra
eksisterende veifyllinger og nye
materialer

Tine Langvatn Sæther

Master i veg og jernbane

Innlevert: mai 2017

Hovedveileder: Steinar Nordal, IBM

Medveileder: Murad Sayd, SV

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Institutt for bygg- og miljøteknikk

Forord

Rapporten er en selvstendig utarbeidet masteroppgave som omhandler en undersøkelse av materialeegenskapene til lettklinker og skumglass. I oppgaven er det sett på egenskapene til materialene i eksisterende veifyllinger og egenskapene til nye materialer. Litteraturstudie, planlegging av oppgraving, laboratorieforsøk og tolking av resultater har fortrinnsvis foregått hos Statens vegvesen i Oslo. Deler av arbeidet, blant annet kjøring av treaks- og ødometerforsøk, har blitt gjennomført ved Institutt for geoteknikk, NTNU.

Bakgrunnen for oppgaven har i hovedsak vært et ønske om å finne ut om materialeegenskapene til lettklinker og skumglass i gamle veifyllinger innfrir dagens krav. På grunn av endringer i materialsammensetninger og produksjon, har det også vært et ønske å undersøke om materialeegenskaper som ødometermodul og friksjonsvinkel har endret seg på nye materialer.

Jeg har vært og sett på produksjonsprosessen til Leca i Rælingen og Glasopor på Onsøy. Gjennom arbeidet har jeg fått god støtte fra både Jon Hauge, hos Leca og Thomas Bjørhusdal mfl. hos Glasopor. De har blant annet bidratt med å finne relevant litteratur om prosedyrer og liknende, mulige oppgravingssteder og bidratt med materialer til å kjøre treaks og ødometerforsøkene.

Takk til Tom- André Kynbråten, Jan Fredrik Hertenberg, Per Olav Sollien og Victor Hedfors på Statens vegvesens laboratorie i Oslo, som har hjulpet meg med å utforme prøvetaker til in situ densitet, selve prøvetakningen ute i vei og som har lært meg opp i prosedyrer for rutineanalysene på laboratoriet. Jeg vil også takke Inge Hoff, Institutt for bygg- og miljøteknikk, for hjelp til å kjøre treaksforsøkene.

Spesielt vil jeg takke for hjelp og veiledning fra Gudmund Eiksund, Institutt for bygg- og miljøteknikk, Murad Sani, Jan Vaslestad og Aina Anthi ved Statens vegvesen.

Sist men ikke minst vil jeg takke kjæreste, familie og venner for tålmodighet og god støtte under arbeidet med oppgaven.

Oslo, mai 2017

Tine Langvatn Sæther

Sammendrag

Lettklinker og skumglass brukes i flere veiprosjekter som lette fyllmasser. På grunn av krav til veikonstruksjonens bestandighet er det viktig å vite om materialeegenskapene er tilfredsstillende i eksisterende veifyllinger. Det er også viktig å vite om det er noen forandringer i dagens produkter, på grunn av endringer i produksjonsmetoder og materialsammensetning. Å ha bedre kunnskap om disse egenskapene vil kunne påvirke krav til eksempelvis dimensjonerende tyngdetetthet i fylling, valg av produkter i prosjektene og økonomi. Derfor er materialenes egenskaper som lett fyllmasse undersøkt i dette arbeidet.

Det er utviklet og produsert en prøvetaker for in situ densitet. Prøvetaking av materialer i felt er utført for å kunne undersøke materialeegenskapene i eksisterende veifyllinger. Materialer fra tre eksisterende veifyllinger er analysert i forhold til densitet, vanninnhold og korngradering. Videre er densitet og korngradering undersøkt på nye materialer fra leverandør, før treaksial- og ødometerforsøk på materialene ble utført. Resultatene er drøftet i forhold til krav i Statens vegvesens håndbøker, erfaringstall fra Statens vegvesens arkivsystem, Labsys, og resultater fra Gjenbruksprosjektet, MiljøIso og Geolight.

Resultatene fra testene utført i dette arbeidet tyder på at materialene i eksisterende veifyllinger endrer seg i liten grad i løpet av veiens levetid. Nedknusningen av materialene ser fortrinnsvis ut til å finne sted i løpet av komprimeringen av fyllingen. Skumglass viser allikevel antydninger til å bli ytterligere litt nedknust i løpet av videre veibyggning og fyllingens levetid. Det er hovedsakelig vanninnholdet til lettklinker som har verdier ulikt dagens tekniske spesifikasjoner og krav.

Videre viser resultatene fra forsøkene på nye materialer at materialenes egenskaper er i henhold til materialenes tekniske spesifikasjoner. For lettklinker virker Statens vegvesens håndbøker per dags dato utdaterte. Resultater fra ødometerforsøkene på lettklinker viser en lavere ødometermodul enn det som er funnet i tidligere forsøk, på ca. 10MPa. Materialene viser dermed en tendens til å ha dårligere motstand mot deformasjoner enn tidligere. Resultatene fra ødometerforsøk viser en høyere ødometermodul enn det som er funnet i tidligere forsøk, på ca. 3,5-4,5MPa. Materialene viser dermed tendenser til å ha større motstand mot deformasjoner enn tidligere. Fra treaksialforsøket på lettklinker er den funnet en friksjonsvinkel på 48° ved 2% deformasjon. Dette er en betydelig høyere friksjonsvinkel enn friksjonsvinkelen brukt i Statens vegvesens håndbok V221. Treaksialforsøket på skumglass

viser en friksjonsvinkel på 46° ved 2% deformasjon. Friksjonsvinkelen er tilnærmet lik den friksjonsvinkelen brukt i Statens vegvesens håndbok V221, dermed virker denne friksjonsvinkelen fremdeles gjeldende.

Resultatene kommer fra et lite datagrunnlag, der det burde ha vært tatt flere prøver fra eksisterende veifyllinger og tatt flere parallelle treksialforsøk for å kunne trekke klare konklusjoner. Denne studien har hatt et bredt fokus på flere ulike materialeegenskaper og to ulike materialtyper. Dette har ført til at det ikke har vært mulig å gå dypt inn i teori og egenskapene til hvert materiale. I fremtiden kan det derfor være aktuelt å se mer spesifikt på et begrenset område, slik at det vil være mulig å trekke klarere konklusjoner.

Abstract

Road projects requiring light weight fill often use lightweight aggregates and foam glass gravel. Having a better knowledge of the properties of these materials could have a substantial effect on requirements used to build new road, such as the design weight for the filling, choice of products in the projects and economics. Do the material properties in existing lightweight fills fulfil today's road construction requirements? Is the production methods and material composition of today's products the same or have they changed over time? These are some of the questions examined in this study when analysing the properties of the material used in light weight fillings, both new light weight fillings and existing ones.

There has been developed and manufactured a sampler for testing in-situ density of lightweight fills. The sampler has been used to investigate the material properties by sampling materials from three existing road fills. The samples were analysed in terms of density, water content and grain distribution. New materials delivered by the supplier were examined for density and grain distribution before triaxial- and oedometer tests were performed. The results have been compared to the requirements of the Norwegian Public Roads Administration's manuals, previous test results from the Norwegian Public Roads Administration's archive system, Labsys, and results from "Gjenbruksprosjektet", MiljøIso and Geolight.

The results indicate that there are no noteworthy changes in the materials in existing road fills. It appears as the crushing of the materials generally take place during the compression of the filling. However, during further road construction and the road's lifespan, foam glass gravel shows traces to aptitude to crumble. In addition, the values of water content of lightweight aggregates differs from today's technical specifications and requirements.

The properties of new materials are in accordance to the technical specifications. However, the Public Roads Administration's manuals is currently outdated for lightweight aggregates. The oedometer tests result on lightweight aggregates show a lower oedometer modulus value (approximately 10MPa) than in previous tests. The analyse tendency is that new lightweight aggregates materials have a poorer resistance to deformations than before. The results from oedometer tests on foam glass gravel show a higher oedometer modulus value (about 3.3-5-4.5MPa) than found in previous tests. The analyse tendency is that new foam glass gravel materials have a greater resistance to deformations than before. The triaxial test on lightweight aggregates has established a friction angle of 48° , at 2% deformation from the

triaxial test on lightweight aggregates. This is significantly higher than the friction angle applied in the Norwegian Road Administration's manual, V221. The triaxial test on foam glass gravel showed a friction angle of 46° at 2% deformation. The friction angle is approximately equal to the friction angle used in the Norwegian Road Administration's manual, V221, thus this friction angle still applies.

This study has had a broad focus where several different material properties and two different material types have been examined. As a result, it has not been possible to focus on the specific theory and characteristics of each material. With further research with more samples from existing roads and a focus on a specific area, an unambiguously conclusion could be acquired.

Innhold

| | | |
|-------|---|----|
| 1 | Innledning..... | 1 |
| 1.1 | Bakgrunn for oppgaven | 1 |
| 1.2 | Innhold..... | 1 |
| 1.3 | Fremdrift..... | 2 |
| 2 | Bakgrunnsstoff..... | 3 |
| 2.1 | Lettklinker | 3 |
| 2.1.1 | Materialkrav og tekniske spesifikasjoner..... | 6 |
| 2.1.2 | Labsys..... | 12 |
| 2.2 | Skumglass..... | 15 |
| 2.2.1 | Labsys..... | 21 |
| 3 | Felt- og laboratoriearbeid | 23 |
| 3.1 | Feltarbeid..... | 23 |
| 3.1.1 | E6 vinterbro-Assurtjern, Vinterbrosletta..... | 24 |
| 3.1.2 | E18 Krosby –Knapstad, Krosbykrysset | 24 |
| 3.1.3 | E 18 Gulli – Langåker, Hesbykrysset..... | 26 |
| 3.1.4 | E6 Solberg – Årum, Jarle bru..... | 27 |
| 3.1.5 | E 18 Krosby-Knapstad | 29 |
| 3.1.6 | E18 Gulli – Langåker, Borgekrysset..... | 31 |
| 3.1.7 | Prøvetakingsprosedyre | 32 |
| 3.2 | Laboratoriearbeid..... | 38 |
| 3.2.1 | In situ densitet | 38 |
| 3.2.2 | Løst lagret densitet | 39 |
| 3.2.3 | Vanninnhold | 41 |
| 3.2.4 | Korngradering | 42 |
| 3.2.5 | Ødometer..... | 43 |

| | | |
|-------|---|----|
| 3.2.6 | Treaksialforsøk..... | 52 |
| 4 | Resultater..... | 61 |
| 4.1 | Resultater eksisterende veifyllinger - Lettklinker | 61 |
| 4.1.1 | In situ densitet | 61 |
| 4.1.2 | Løst lagret densitet | 63 |
| 4.1.3 | Vanninnhold | 65 |
| 4.1.4 | Korngradering | 66 |
| 4.2 | Resultater eksisterende veifyllinger –Skumglass | 67 |
| 4.2.1 | In situ densitet | 67 |
| 4.2.2 | Løst lagret densitet | 67 |
| 4.2.3 | Vanninnhold | 68 |
| 4.2.4 | Korngradering | 69 |
| 4.3 | Resultater nye materialer rett fra fabrikk - Lettklinker..... | 70 |
| 4.3.1 | Løst lagret densitet | 70 |
| 4.3.2 | Korngradering | 71 |
| 4.3.3 | Ødometer..... | 72 |
| 4.3.4 | Treaksialforsøk..... | 78 |
| 4.4 | Resultater nye materialer rett fra fabrikk -Skumglass | 80 |
| 4.4.1 | Løst lagret densitet | 80 |
| 4.4.2 | Korngradering | 80 |
| 4.4.3 | Ødometer..... | 81 |
| 4.4.4 | Treaksialforsøk..... | 87 |
| 5 | Sammenligning og diskusjon..... | 89 |
| 5.1 | Lettklinker | 89 |
| 5.1.1 | Eksisterende fyllinger..... | 89 |
| 5.1.2 | Nye materialer | 90 |

| | | |
|-------|---------------------------------|----|
| 5.2 | Skumglass..... | 93 |
| 5.2.1 | Eksisterende fyllinger..... | 93 |
| 5.2.2 | Nye materialer..... | 94 |
| 6 | Konklusjon og anbefalinger..... | 96 |
| | Skumglas | 97 |
| 7 | Videre arbeid | 98 |
| 8 | Referanser..... | 99 |

Vedlegg

Vedlegg 1 - Oppgavetekst

Vedlegg 2 – Labsys statestikk, lettlinker

Vedlegg 3 - Labsys statestikk, skumglass

Vedlegg 4 – Liste over prøvenavn i Labsys

Vedlegg 5 – Eksisterende fyllinger, lettlinker

Vedlegg 6 – Eksisterende fyllinger, skumglass

Vedlegg 7 – Nye materialer – ødometer, lettlinker

Vedlegg 8 – Nye materialer – ødometer, skumglass

Figurliste

| | |
|---|----|
| Figur 2.1 Blanding av leiren, urenheter blir fjernet og leirmassen blir blandet til riktig blandingsforhold..... | 4 |
| Figur 2.2 Rotasjonsovn, der leiren tørkes og brennes | 4 |
| Figur 2.3 Ferdig Leca | 5 |
| Figur 2.4 Typisk siktekurve Leca lettklinker 0-32 (Leca, 2016) | 7 |
| Figur 2.5 Variasjonsområde for lettklinkermateriale (Statens vegvesen, 2014) | 7 |
| Figur 2.6 Idealisert modulkurve for komprimerte lettklinker 10-14% komprimering (Furuberg, et al., 2000)..... | 9 |
| Figur 2.7 Samlet oversikt over modul fra stort ødometerforsøk fra (Furuberg, et al., 2000) | 9 |
| Figur 2.8 Løst lagret densitet, lettklinker - Labsys | 12 |
| Figur 2.9 Vanninnhold, lettklinker - Labsys | 13 |
| Figur 2.10 % materiale < 2mm, lettklinker - Labsys | 14 |
| Figur 2.11 Knust emballasjeglasse..... | 15 |
| Figur 2.12 Ferdig nedknust glass, klar for å tilsettes aktivator | 16 |
| Figur 2.13 Ferdig skumglassgranulat | 16 |
| Figur 2.14 Ødometermodul og tøyning ved varierende spenningsnivå (Teknologiavdelingen, Vegdirektoratet, 2007) | 19 |
| Figur 2.15 Karakteristisk ødometermodul (Teknologiavdelingen, Vegdirektoratet, 2007)..... | 19 |
| Figur 2.16 Friksjonsvinkel (Teknologiavdelingen, Vegdirektoratet, 2007)..... | 20 |
| Figur 2.17 Løst lagret densitet, skumglass - Labsys | 21 |
| Figur 2.18 Vanninnhold, skumglass - Labsys | 22 |
| Figur 2.19 % materiale < 2mm, skumglass - Labsys | 22 |
| Figur 3.1 – Masser i grop 1, Vinterbrosletta | 24 |
| Figur 3.2 Oversiktsbilde, Krosbykrysset..... | 25 |
| Figur 3.3 Forurensning i fyllingen – hull 1, Krosbykrysset | 25 |
| Figur 3.4 Hull 1 til venstre, hull 2 til høyre, Krosbykrysset | 26 |

| | |
|---|----|
| Figur 3.5 In situ prøvetaking, Krosbykrysset..... | 26 |
| Figur 3.6 Forurensning av skumglassmaterialene, Hesbykrysset | 27 |
| Figur 3.7 Oversiktsbilde – E6 Jarle bru..... | 27 |
| Figur 3.8 Lettklinker hull 1, Jarle bru | 28 |
| Figur 3.9 Lettklinker hull 2, Jarle bru | 28 |
| Figur 3.10 Lettklinker hull 3, Jarle bru | 29 |
| Figur 3.11 Oversiktsbilde, Krosby-Knapstad..... | 30 |
| Figur 3.12 Hull 1, Krosby-Knapstad..... | 30 |
| Figur 3.13 Lettklinkerfylling, Krosby-Knapstad (foto. Jon Hauge) | 31 |
| Figur 3.14 Hull 1 i banketten, Borgekrysset (foto: Per Olav Sollien)..... | 31 |
| Figur 3.15 Hull 1, in situ prøvetaking, Borgekrysset (foto: Per Olav Sollien) | 32 |
| Figur 3.16 Skisse av in situ prøvetaker | 33 |
| Figur 3.17 Saging og fjerning av asfaltdekket | 33 |
| Figur 3.18 Utgraving av bærelaget..... | 34 |
| Figur 3.19 Fjerning av fiberduk og fjerning av de ti øverste cm av den lette fyllmassen slik at den direkte nedknusningen fra komprimeringen av fyllingen ikke skulle påvirke resultatene | 34 |
| Figur 3.20 Oppmåling av dybde ned til lettfyllingen..... | 35 |
| Figur 3.21 Plassere prøvetaker i prøvehull..... | 35 |
| Figur 3.22 Nedtrykking av prøvetaker med gravemaskin, jevnt og rett ned..... | 36 |
| Figur 3.23 Måling ned til prøvedybde i prøvetaker før og etter prøvetakning. Og fylle materialene i en solid og godt merket pose med tett lukking. (foto: Per Olav Sollien) | 36 |
| Figur 3.24 Veiing av posene for å være sikker på at vann ikke fordamper under transport og lagring..... | 37 |
| Figur 3.25 Reparasjon av prøvehullene..... | 37 |
| Figur 3.26 Løst lagret densitet - skumglass..... | 40 |
| Figur 3.27 Avretting av prøven | 40 |
| Figur 3.28 Lettklinker til tørking i varmeskap | 41 |

| | |
|--|----|
| Figur 3.29 Maskinell sikting av materialene | 42 |
| Figur 3.30 Stort ødometer, k/ø Anton | 45 |
| Figur 3.31 Prinsippskisse, tverrsnitt ødometer | 46 |
| Figur 3.32 Komprimeringsutstyr/ vibroplate | 47 |
| Figur 3.33 Ødometercelle med fiberduk, grease og plastfolie (det ble på de resterende analysene brukt diffusjonsplast fordi denne plastfolien var for tynn)..... | 49 |
| Figur 3.34 Vibratorplate montert i ødometeret | 50 |
| Figur 3.35 Påførte laster på prøve under treksialforsøk | 53 |
| Figur 3.36 a, Coulomb bruddkriterium b, kritisk bruddelement (Emdal, 2014) | 54 |
| Figur 3.37 Komprimeringsutstyr (Skoglund, 2002), a) stålform. B) Vibreringsutstyr | 55 |
| Figur 3.38 Treksialcelle med prøve (Skoglund, 2002)..... | 56 |
| Figur 3.39 Komprimering av prøven i stålsylinder | 58 |
| Figur 3.40 Treksialprøve heises til treksialapparatet, slangen holder sug i prøven..... | 59 |
| Figur 3.41 Prøve etter treksialforsøk, lettklinker..... | 60 |
| Figur 4.1 Korngradering Jarle bru og Borgekrysset..... | 66 |
| Figur 4.2 Korngradering Krosbykrysset..... | 69 |
| Figur 4.3 Korngradering lettklinker - urørt materiale og etter ødometeranalyse | 71 |
| Figur 4.4 Samleplott, tid - deformasjon, lettklinker | 73 |
| Figur 4.5 Samleplott, tid - deformasjon, lettklinker, 0-65kPa..... | 74 |
| Figur 4.6 Samleplott, spenning - tøyning, lettklinker | 75 |
| Figur 4.7 Samleplott, spenning - tøyning, lettklinker, 0-65kPa | 76 |
| Figur 4.8 Samleplott, spenning - ødometermodul, lettklinker | 77 |
| Figur 4.9 Treksialforsøk lettklinker..... | 78 |
| Figur 4.10 Treksialforsøk lettklinker..... | 79 |
| Figur 4.11 Korngradering skumglass - urørt materiale og etter ødometeranalyse | 80 |
| Figur 4.12 Komprimering - ødometer | 81 |

| | |
|--|----|
| Figur 4.13 Samleplott, tid - deformasjon, skumglass..... | 82 |
| Figur 4.14 Samleplott, tid - deformasjon, skumglass, 0-65kPa | 82 |
| Figur 4.15 Samleplott, spenning - tøyning, skumglass | 84 |
| Figur 4.16 Samleplott, spenning - tøyning, skumglass, 0-65kPa..... | 85 |
| Figur 4.17 Samleplott, spenning - ødometermodul, skumglass | 86 |
| Figur 4.18 Treksialforsøk skumglass | 87 |
| Figur 4.19 Treksialforsøk skumglass | 88 |

Tabelliste

| | |
|--|----|
| Tabell 2.1 Tekniske spesifikasjoner (Leca, 2016)..... | 6 |
| Tabell 2.2 Typiske tekniske egenskaper Lettklinker - MiljøIso..... | 8 |
| Tabell 2.3. Tekniske spesifikasjoner Leca, (Watn, et al., 2004). | 10 |
| Tabell 2.4 Oppsummering tekniske spesifikasjoner - lettklinker..... | 11 |
| Tabell 2.5 Tekniske spesifikasjoner (Glasopor AS, 2017b)..... | 17 |
| Tabell 2.6 Friksjonsvinkler skumglass, (Statens vegvesen, 2014)..... | 17 |
| Tabell 2.7 Materialtekniske egenskaper - Gjenbruksprosjektet (Teknologiavdelingen, Vegdirektoratet, 2007) | 18 |
| Tabell 2.8 Oppsummering tekniske spesifikasjoner Skumglass | 20 |
| Tabell 3.1 Prosjekter med eksisterende fyllinger med skumglass og lettklinker | 23 |
| Tabell 3.2 Lasttrinn ødometerforsøk | 51 |
| Tabell 4.1 In situ densitet - Jarle bru | 61 |
| Tabell 4.2 In situ densitet - Borgekrysset..... | 62 |
| Tabell 4.3 In situ densitet - lettklinker | 62 |
| Tabell 4.4 Løst lagret densitet - Jarle bru..... | 63 |
| Tabell 4.5 Løst lagret densitet - Borgekrysset..... | 63 |
| Tabell 4.6 Løst lagret densitet - lettklinker | 64 |
| Tabell 4.7 Vanninnhold Jarle bru | 65 |
| Tabell 4.8 Vanninnhold - Borgekrysset | 65 |
| Tabell 4.9 In situ densitet - Krosbykrysset..... | 67 |
| Tabell 4.10 Løst lagret densitet - Krosbykrysset..... | 68 |
| Tabell 4.11 Vanninnhold - Krosbykrysset | 68 |
| Tabell 4.12 Løst lagret densitet – lettklinker..... | 70 |
| Tabell 4.13 Komprimering - ødometer | 72 |
| Tabell 4.14 Friksjonsvinkler for lettklinker | 79 |

| | |
|--|----|
| Tabell 4.15 Løst lagret densitet - skumglass | 80 |
| Tabell 4.16 Friksjonsvinkler for skumglass | 88 |

1 Innledning

1.1 Bakgrunn for oppgaven

Krav til økonomisk lønnsomhet ved veibygging og krav til veikonstruksjonens styrke og bestandighet er økende. Lettklinker og skumglass er vesentlig dyrere enn flere andre vanlige fyllmasser, for eksempel sprengt stein. Materialene brukes i flere veiprojekter som lette fyllmasser, blant annet fordi materialene har lav densitet. Denne egenskapen har man for eksempel bruk for i prosjekter der det er behov for reduksjon av last på undergrunn, både på ny og eventuelt gammel setningsskadet vei, reduksjon av jordtrykk mot støttemurer og landkar, utbedring av rasområder og liknende (Statens vegvesen, 2014, s. 252). På grunn av krav til veikonstruksjonens bestandighet er det viktig å vite om materialeegenskapene er tilfredsstillende i eksisterende veifyllinger. Det er også viktig å vite om det er noen forandringer i dagens produkter, på grunn av endringer i produksjonsmetoder og materialsammensetning. Å ha bedre kunnskap om disse egenskapene vil kunne ha påvirkning på krav til eksempelvis dimensjonerende tyngdetetthet i fylling, valg av produkter i prosjektene og økonomi. I denne oppgaven er det fortrinnsvis sett på materialene som lett fyllmasse og det er derfor sett bort fra de materialeegenskapene som i hovedsak er forbundet med frostisolasjon.

1.2 Innhold

I første omgang er det sett på tekniske spesifikasjoner fra leverandører og materialkrav i dagens håndbøker. I den første delen av det praktiske arbeidet er det sett på materialeegenskapene til eksisterende veifyllinger bestående av enten lettklinker eller skumglass. Meningen med arbeidet er å kunne si noe om materialeneegenskapene tilfredsstillende dagens krav i veibygging. Videre er det sett på egenskapene til nye materialer levert rett fra fabrikk. Dette er gjort for å undersøke om materialenes egenskaper er forandret på grunn av endringer i produksjonsmetode og materialsammensetning.

Arbeidet er delt opp i tre deler. En teoridel, kapittel 2, der det er sett på tekniske spesifikasjoner, tidligere forsøksresultater og håndbokkrav. Kapittel 3 omhandler en felt- og laboratoriedel som ser på materialer fra eksisterende veifyllinger, forsøksteori og ødometer- og treaksanalyser av nye materialer. Den siste delen, kapittel 4 og 5, er en resultat- og

diskusjonsdel der resultatene fremstilles og diskuteres. Kapittel 6 og 7 inneholder konklusjoner fra diskusjonen samt forslag til videre arbeid med temaet.

1.3 Fremdrift

Oppgravingsprøvene har krevd mye planlegging i form av å finne prosjekter/veistrekninger med eksisterende lettklinker og skumglassfyllinger, skaffe godkjenning til å ta prøvene og å organisere selve oppgravingsarbeidet. Videre har laboratoriearbeidet med både rutineanalyser på oppgravingsprøvene i Oslo og treaks- og ødometeranalyser i Trondheim vært svært tidskrevende. Den siste tiden har gått med til strukturering av oppgaven og vurdering av forsøksresultatene.

2 Bakgrunnsstoff

I de følgende delkapitlene vil det bli beskrevet litt historie om lettklinker og skumglass brukt i veibygging. Det blir også forklart litt om materialene og hvordan de blir produsert. Videre er det beskrevet materialkrav fra håndbok V221 og tekniske spesifikasjoner fra leverandørene. Det er også presentert konklusjoner angående materialegenskaper fra tidligere forskningsprosjekter og resultater fra Statens vegvesens kvalitetskontroll av materialene fra arkivsystemet Labsys.

2.1 Lettklinker

Lettklinker har blitt brukt som lette fyllmasser her i landet siden 1958. Det første prosjektet som ble gjennomført var på E18 Drammensveien, ved Sjølyst. I dag blir lettklinker benyttet både som lett fyllmasse og som isolerende og drenerende materiale (Leca, 2016). I dag er Leca, som er en del av det franske selskapet Saint-Gobain, eneste produsent av lettklinker i Norge.

«Lettklinker er tilvirket av leire som er tørket i store roterovner og ekspandert ved 1200 °C. Leiren blir omdannet til kuleform med et hardt keramisk skall rundt en indre struktur med små, luftfylte celler.» (Statens vegvesen, 2014, s. 254). Materialet som dannes har en naturlig kornfordeling mellom 0-32mm (Leca, 2016). Figur 2.1 - Figur 2.3 viser en del av produksjonsprosessen av Leca på deres fabrikk i Rælingen.



Figur 2.1 Blanding av leiren, urenheter blir fjernet og leirmassen blir blandet til riktig blandingsforhold.



Figur 2.2 Rotasjonsovn, der leiren tørkes og brennes



Figur 2.3 Ferdig Leca

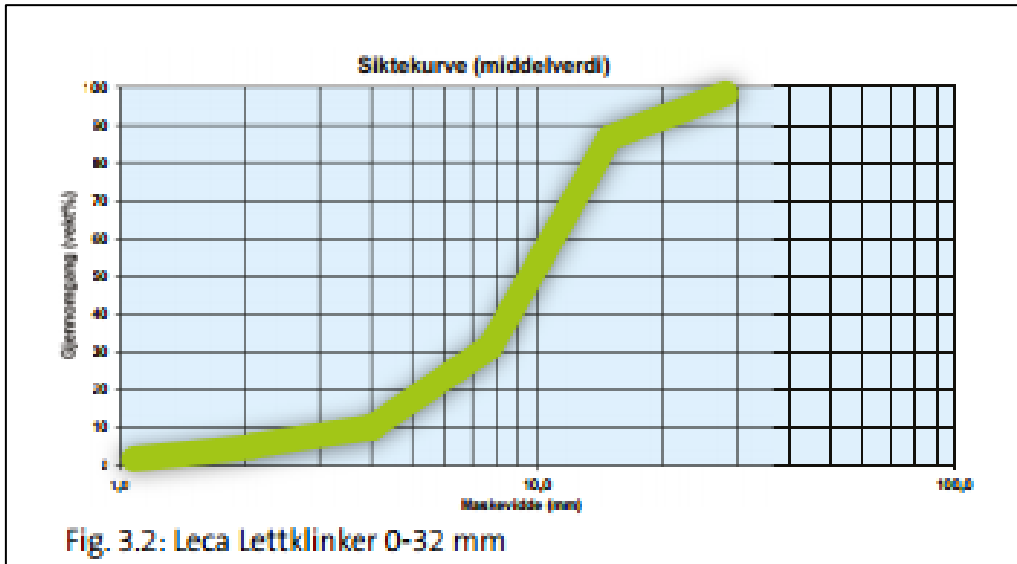
2.1.1 Materialkrav og tekniske spesifikasjoner

I henhold til tabellen i (Statens vegvesen, 2014, s. 254) er enkelte av kravene avvikende fra verdier oppgitt hos Leca, se Tabell 2.1. Nominell tørr densitet er satt til $< 400\text{kg/m}^3$, volumendring ved komprimering er 8-12%. Karakteristisk friksjonsvinkel er anbefalt på 35° , med en attraksjon på 0. Dimensjonerende tyngdetetthet i fylling er satt til $5,5\text{kN/m}^3$ (Dimensjonerende tyngdetetthet og tørrdensitet blir mest sannsynlig endret i ny revisjon av håndbøkene). Dimensjonerende tyngdetetthet er satt ut fra løs bulkdensitet, komprimeringsgrad, vanninnhold og en sikkerhetsfaktor. Kontrollkrav i (Statens vegvesen, 2014, s. 260) angir at tørr densitet ikke kan overstige avtalt densitet med mer enn 15%, prosentandelen finstoff mindre enn 2mm skal normalt ikke overstige 4%. Krav og spesifikasjoner for lettklinker i Statens vegvesens håndbøker varierer fra håndbok til håndbok og fra tabell til tabell, det er her tatt med de nyeste kravene i gjeldende håndbøker.

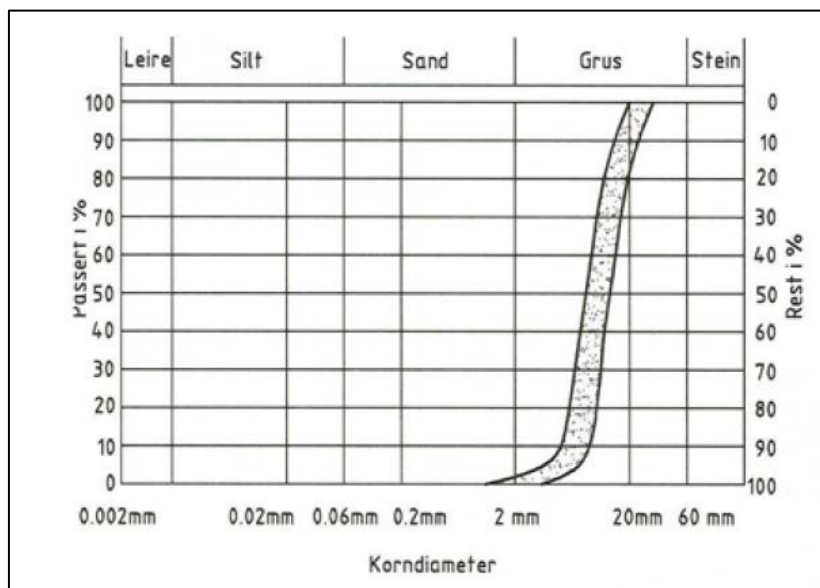
Tabell 2.1 Tekniske spesifikasjoner (Leca, 2016)

| Lette fyllinger | Størrelse |
|--|--|
| Kornstørrelse | 0-32 mm |
| Tørr densitet (løs bulkdensitet) | $275\text{ kg/m}^3 \pm 15\%$ |
| Dimensjonerende tyngdetetthet i fylling | $4,5\text{ kN/m}^3$ |
| Friksjonsvinkel | $40,5^\circ$ ved 2% deformasjon, $45,5$ ved brudd°. a=0 |

Figur 2.4 viser typiske siktekurver for Leca lettklinker, 0-32 (Leca, 2016). Figur 2.5 viser Statens vegvesens krav til variasjonsområde for lettklinker 0-32 (Statens vegvesen, 2014).



Figur 2.4 Typisk siktekurve Leca lettklinker 0-32 (Leca, 2016)



Figur 2.5 Variasjonsområde for lettlinkermateriale (Statens vegvesen, 2014)

Miljøriktige isolasjonsprodukter for BA-bransjen - MiljøIso

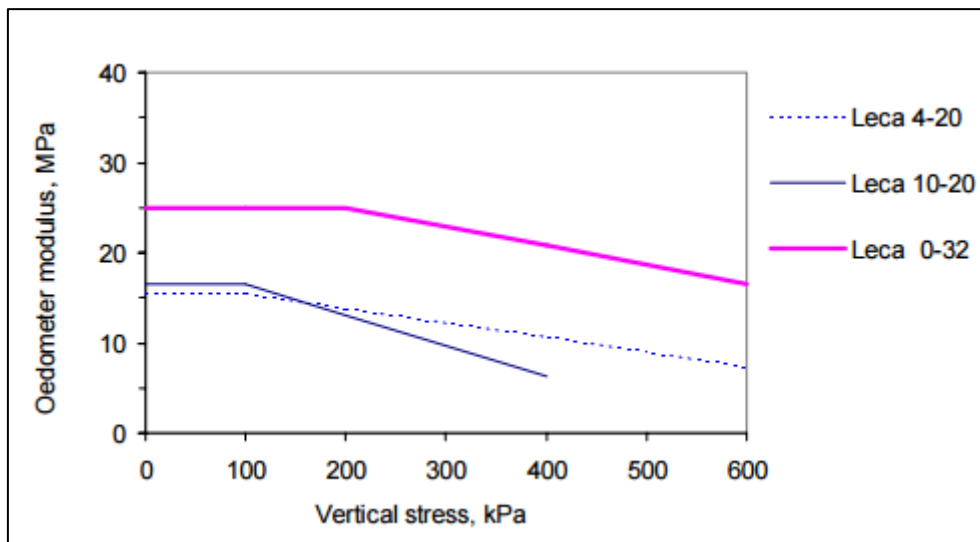
MiljøIso-prosjektets «hovedmål var å utvikle miljøriktige og konkurransedyktige isolasjonsprodukter og løsninger for bygg- og anleggsbransjen. Det ble utført en rekke undersøkelser for å bestemme mekaniske egenskaper for Leca» (Furuberg, et al., 2000).

Tabell 2.2 viser resultater fra dette prosjektet.

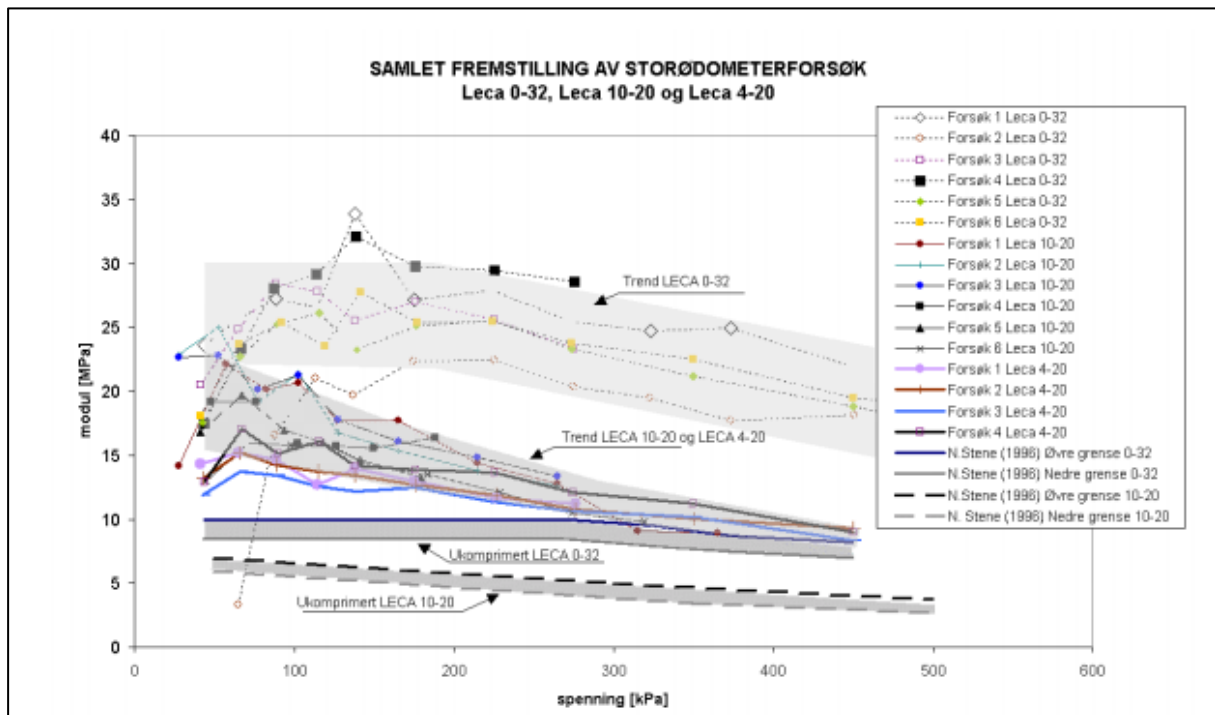
Tabell 2.2 Typiske tekniske egenskaper Lettklinker - MiljøIso

| Egenskaper | Leca 0-32 |
|---|--|
| Tørr densitet (løs bulkdensitet) | 335 kg/m ³ |
| Volumendring ved komprimering | 10% |
| Vanninnhold | 25% (15-45%, nederste del av fylling under grunnvannstand) |
| Total densitet i fylling | Ca. 460 kg/m ³ |
| Friksjonsvinkel | 40,5° ved 2% deformasjon, 45,5 ved brudd°. $\alpha=0$. (På grunnlag av treksforsøk utført av NGI 1990) |

For å unngå setninger er det viktig å ha nok motstand mot deformasjoner under statisk last. Ødometermodul benyttes som tallverdi for statisk stivhet. Figur 2.6 Idealisert modulkurve for komprimerte lettklinker 10-14% komprimering viser idealisert modulkurve fra ødometerforsøk utført i MiljøIso-prosjektet (Furuberg, et al., 2000). Resultatene er fra stort ødometer (Ø500mm, H 580mm). «Resultatene viser at modulen er konstant inntil økningen i middelspenning gir avskalling eller tendens til knusing i Leca-kulene.» (Furuberg, et al., 2000, s. 6). Figur 2.7 gir en samlet oversikt over de forsøkene som er utført på Leca lettklinker i stort ødometer. For spenninger under 250kPa viser grafen en konstant ødometerstivhet på ca. 25MPa, opp mot 30MPa i de forsøk som hadde størst densitet. For spenninger over 250kPa var stivheten svakt fallende ved økt belastning (Furuberg, et al., 2000).



Figur 2.6 Idealisert modulkurve for komprimerte lettklinker 10-14% komprimering (Furuberg, et al., 2000)



Figur 2.7 Samlet oversikt over modul fra stort ødometerforsøk fra (Furuberg, et al., 2000)

Geolight

Geolight prosjektet, (Watn, et al., 2004), var et prosjekt som prøvde å utvikle tekniske løsninger for bruk av lettklinker. Tabell 2.3 viser resultater de kom frem til i Geolightprosjektet med tanke på lettklinkers materialegenskaper. Deler av verdiene er basert på verdiene fra MiljøIso prosjektet.

Tabell 2.3. Tekniske spesifikasjoner Leca, (Watn, et al., 2004).

| Egenskaper | | Leca 0-32 |
|--|---------------------|------------------------------|
| Vanninnhold i drenert fylling | | <25% |
| Løst lagret densitet | | 3,5 kN/m ³ |
| Komprimeringsgrad | | 10-12% |
| Dimensjonerende tyngdetetthet i fylling | | 5 kN/m ³ |
| Testtype | Karakteristikk | Leca 0-32 |
| Ødometer (komprimert materiale) | Ødometermodul (Mpa) | 25 (spenningsnivå 0-150 KPa) |
| Treaksial test (statisk) | Friksjonsvinkel (°) | 38-41 |

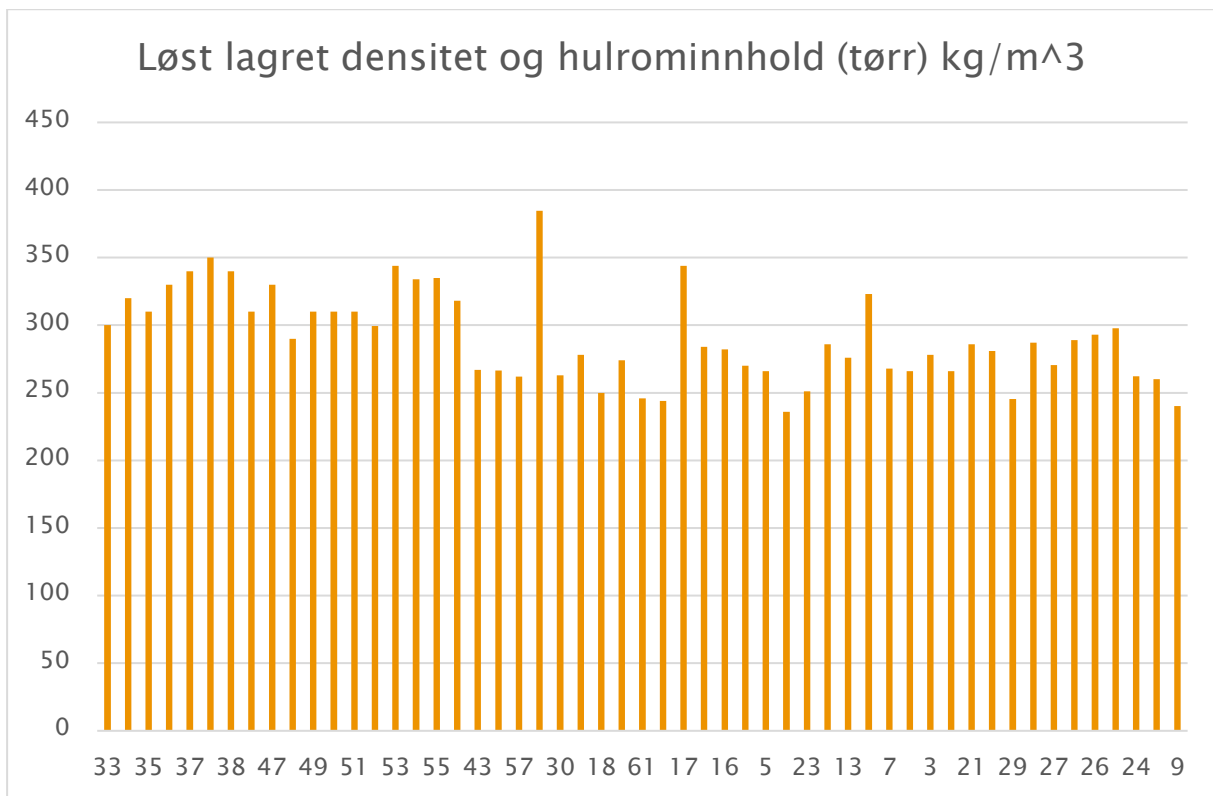
Tabell 2.4 viser en oppsummering av de tekniske spesifikasjonene for lettklinker.

Tabell 2.4 Oppsummering tekniske spesifikasjoner - lettklinker

| Lettklinker 0-32 | Teknisk Spesifikasjon Leca | Statens vegvesen V221 | MiljøIso | Geolight |
|--|---|-----------------------------|---|------------------------------------|
| Kornstørrelse | 0-32mm | 0-32mm | 0-32mm | |
| Tørr densitet (løs bulkdensitet) | 275kg/m ³ | <400kg/m ³ | 335kg/m ³ | 3,5kN/m ³ |
| | ±15% | ±15% | | |
| Dimensjonerende tyngdetetthet i fylling | 4,5kN/m ³ | 5,5kN/m ³ | 460kg/m ³ | 5kN/m ³ |
| Volumendring ved komprimering | | 8-12% | 10-14% | 10-12% |
| Vanninnhold | | | 25% (15-45%, nederste del av fylling under grunnvannstand) | <25% |
| Friksjonsvinkel | 40,5° ved 2% deformasjon, 45,5 ved brudd°. a=0 | 35°, a=0 | 40,5° ved 2% deformasjon, 45,5 ved brudd°. a=0. (På grunnlag av treaksforsøk utført av NGI 1990) | 38-41% |
| Prosentandel finstoff mindre enn 2mm | | <4% | | |
| Ødometermodul | | | Spenninger < 250kPa M= 25MPa | Spenninger < 150kPa M= 25MPa |

2.1.2 Labsys

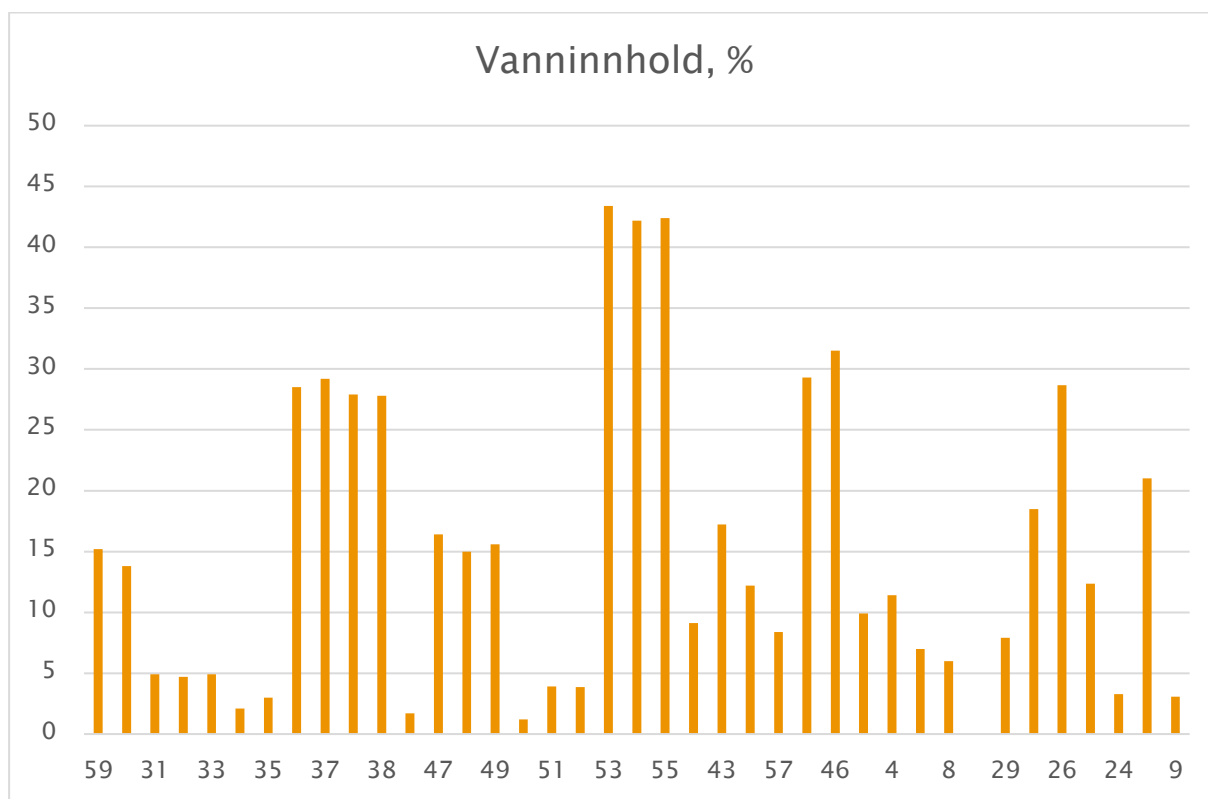
Labsys er Statens vegvesens system for dokumentasjon av utførelse og materialkontroll ved veibygging. Resultater fra alle analyser tatt på lettklinker fra Statens vegvesens veiprojekter er registrert her. Det er utført en sammensetning av de fleste resultatene fra 2005-2016, der det er sett bort fra enkelte resultater med for dårlig dokumentasjon og resultater med opplagte feilverdier. Figur 2.8 viser en kronologisk oversikt, der resultatet nærmest y-aksen er eldst, over forsøksresultater for løst lagret densitet. De fleste prøvene er tatt fra ferdig utlagt og komprimert fylling. Se vedlegg 2, for mer detaljert oversikt over resultatene.



Figur 2.8 Løst lagret densitet, lettklinker - Labsys

Resultatene gir et gjennomsnitt på 291 kg/m³. Verdiene varierer mellom 236kg/m³ og 385kg/m³. Prøven med en densitet på og 385kg/m³ skiller seg ut fra de resterende resultatene. Sett bort fra den blir gjennomsnittet 289kg/m³.

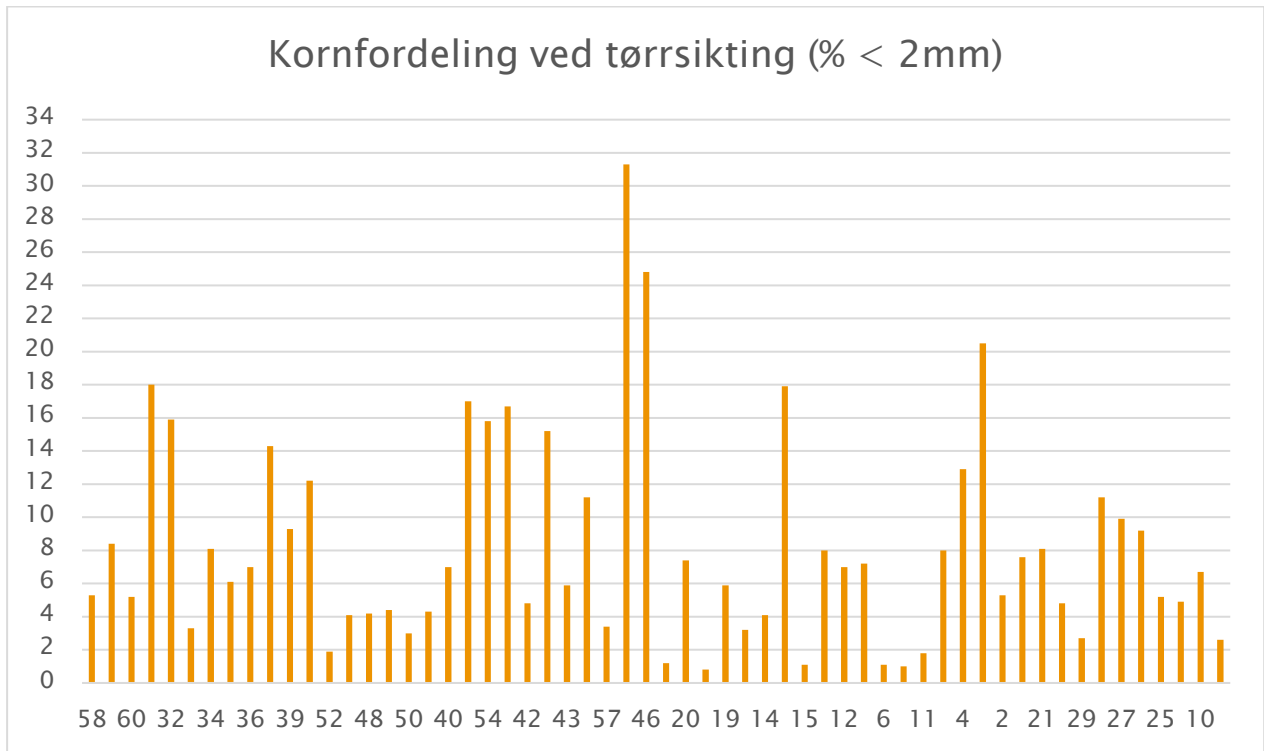
Figur 2.9 viser en kronologisk oversikt, der resultatet nærmest y-aksen er eldst, over forsøksresultater for vanninnhold i materialene. Se vedlegg 2, for mer detaljert oversikt over resultatene.



Figur 2.9 Vanninnhold, lettklinker - Labsys

Vanninnholdet varierer i stor grad fra prøve til prøve. Resultatene gir et gjennomsnitt på 15% der verdiene varierer mellom 1,2% og 43,4%.

Figur 2.10 viser en kronologisk oversikt, der resultatet nærmest y-aksen er eldst, over hvor stor prosent av materialet som er mindre enn 2 mm. Dette gir et bilde på hvor nedknust materialene er. Dette blir i stor grad påvirket av komprimeringen av materialet.



Figur 2.10 % materiale < 2mm, lettklinker - Labsys

Resultatene gir en gjennomsnittsverdi på 8,2%. Verdiene varierer mellom 0,8% og 31,3%. Sett bort fra de to største verdiene blir gjennomsnittsverdien 7,5%. Se vedlegg 2, for mer detaljert oversikt over resultatene.

2.2 Skumglass

«Produksjon av granulært skumglass kom først i gang i Norge på 1990-tallet. Statens vegvesen har siden 1998 anvendt slikt skumglass i veikonstruksjoner, først som isolasjonsmateriale og senere som lett fyllmasse.» (Teknologiavdelingen, Vegdirektoratet, 2007, s. 6) På den tiden var Glasopor AS den første bedriften som startet å produsere skumglass av returglass i Norge. Senere startet Miljøtek Hasopor AS produksjon av skumglass og da Glasopor AS gikk konkurs tok de over markedet (Teknologiavdelingen, Vegdirektoratet, 2007). Senere har Norsk Glassgjenvinning kjøpt seg inn i Glasopor AS (Glasopor AS, u.å.) og i dag er det kun Glasopor AS som produserer skumglass i Norge.

Skumglass er et granulært materiale produsert av resirkulert emballasjegglass, se Figur 2.11, som er knust ned til et fint pulver, se Figur 2.12, pulveret tilsettes en aktivator og spres på et transportbånd gjennom en tunnelovn. Glasspulveret smelter og det dannes mange små luftporer i materialet. Når skumglasset kommer ut av ovnen likner det en stor kake, denne sprekker opp på grunn av temperaturspenninger (Statens vegvesen, 2014). Materialet sprekker opp naturlig med en kornfordeling mellom 10-60mm (Glasopor AS, 2017b). Figur 2.13 viser bilde av ferdig skumglassgranulat.



Figur 2.11 Knust emballasjegglass



Figur 2.12 Ferdig nedknust glass, klar for å tilsettes aktivator



Figur 2.13 Ferdig skumglassgranulat

2.2.1 Materialkrav og tekniske spesifikasjoner

I henhold til tabellen i håndbok V221, (Statens vegvesen, 2014, s. 254), er materialkravene tilsvarende de tekniske spesifikasjonene til Glasopor, se Tabell 2.5. Kravene til friksjonsvinkel og statisk last i håndbok V221, (Statens vegvesen, 2014, s. 274), er også tilsvarende de tekniske spesifikasjonene. Kontrollkrav i håndbok V221, (Statens vegvesen, 2014, s. 278), angir at tørr densitet ikke kan overstige avtalt densitet med mer enn 15%, prosentandelen finstoff mindre enn 2 mm skal normalt ikke overstige 4% og det er brukt et dimensjonerende vanninnhold på 20-25%.

Tabell 2.6 viser friksjonsvinkler fra håndbok V221 for varierende sidetrykk.

Tabell 2.5 Tekniske spesifikasjoner (Glasopor AS, 2017b)

| Lette fyllinger | Størrelse |
|--|----------------------------|
| Kornstørrelse | 10-60 mm |
| Tørr densitet (løs bulkdensitet) | 180 kg/m ³ ±15% |
| Dimensjonerende tyngdetetthet i fylling | 3,5kN/m ³ |
| Volumendring ved komprimering | 15-25% |
| Friksjonsvinkel | 45° |

Tabell 2.6 Friksjonsvinkler skumglass, (Statens vegvesen, 2014)

| Aksialt tøyningsnivå | Innspenningsnivå / sidetrykk | | |
|----------------------|------------------------------|--------------------------|--------------------------------|
| | 0-20 kPa | 0-45 kPa | >75 kPa |
| 2 % | $\phi = 44.5, a = 0$ kPa | $\phi = 36.7, a = 0$ kPa | Maks vertikalt trykk = 220 kPa |
| 15 % | $\phi = 44,5, a = 0$ kPa | $\phi = 44.5, a = 0$ kPa | Maks vertikalt trykk = 350 kPa |

Gjenbruksprosjektet

I gjenbruksprosjektet ble det gjennomgått og forsket på tekniske data på skumglass (Teknologiavdelingen, Vegdirektoratet, 2007). Det er blant annet disse resultatene som har blitt brukt som grunnlag for Statens vegvesens håndbøker og tekniske spesifikasjoner fra Glasopor. Tabell 2.7 viser resultater på materialegenskapene fra gjenbruksprosjektet.

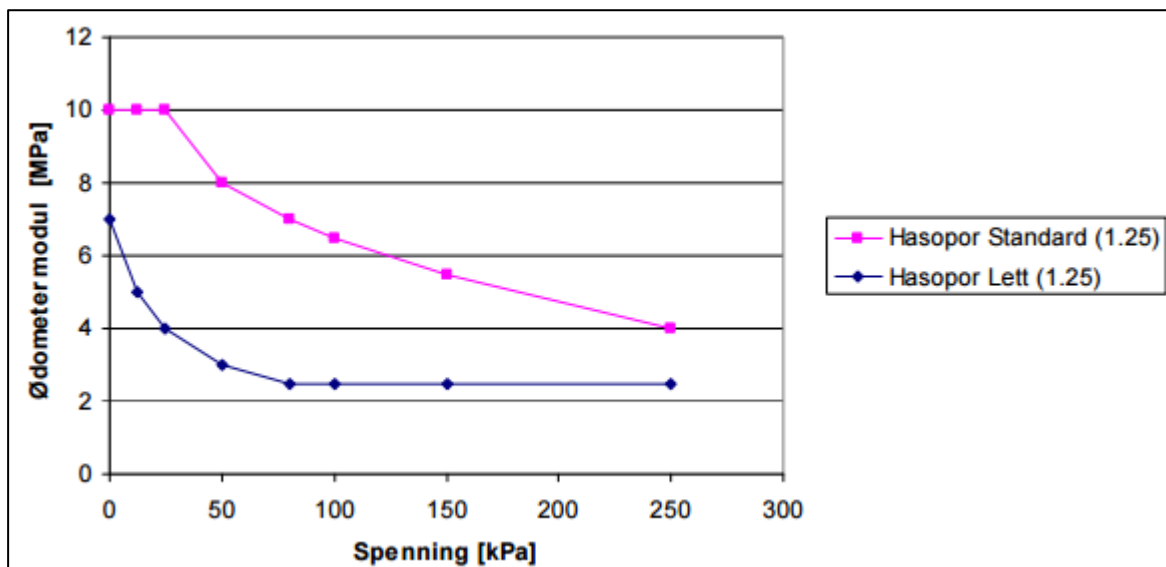
Tabell 2.7 Materialtekniske egenskaper - Gjenbruksprosjektet (Teknologiavdelingen, Vegdirektoratet, 2007)

| Lette fyllinger | Størrelse |
|---|----------------------|
| HASOPOR Lett (kun lett produseres i dag) | 180kg/m ³ |
| Kornstørrelse | 10-50mm |
| Statisk last | 80-120kPa |
| Vanninnhold i materialene | 20-25% |
| Dimensjonerende tyngdetetthet i fylling | 3,5kN/m ³ |
| Volumendring ved komprimering | 20-30% |
| Friksjonsvinkel ϕ | 45° |
| Dimensjonerende vanninnhold | 20-25 vekt-% |

For å unngå setninger, er det viktig å ha nok motstand mot deformasjoner under statisk last. Ødometermodul benyttes som tallverdi for statisk stivhet. Det er utført forsøk i stort ødometer med diameter 500mm i gjenbruksprosjektet. Resultater fra disse forsøkene vises i Figur 2.14 og Figur 2.15.

| Produkt | Løs densitet kg/m ³ | Komprimert densitet kg/m ³ | Komprimerings faktor | Spennings nivå kPa | Ødometer modul MPa | Tøyning % |
|--------------|-----------------------------------|--|----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------|
| Hasopor Lett | 180 | 225 | 1.25 | 0 | 7.0 | 0 |
| | | | | 25 | 4.0 | 0.4 |
| | | | | 50 | 3.0 | 1.2 |
| | | | | 80 | 2.5 | 2.4 |
| | | | | 100 | 2.5 | 3.1 |
| | | | | 150 | 2.5 | 5.1 |
| | | | | 250 | 2.5 | 9.0 |

Figur 2.14 Ødometermodul og tøyning ved varierende spenningsnivå (Teknologiavdelingen, Vegdirektoratet, 2007)



Figur 2.15 Karakteristisk ødometermodul (Teknologiavdelingen, Vegdirektoratet, 2007)

Observert rasvinkel når materialet legges ut indikerer en friksjonsvinkel på minst 45%. Det er utført 4 statiske treaksialforsøk i stor treaksrigg med prøvediameter ca. 300mm ved Sintef, for å finne skumglass sine styrkeegenskaper. Treaksforsøkene er kjørt med fire ulike celletrykk, henholdsvis 20, 45, 75 og 150kPa. For laveste innspenning fikk prøven et markert brudd ved ca. 1% deformasjon. På de øvrige testene ble det ikke registrert et markert brudd, isteden øker kraften jevnt med økende deformasjon. Friksjonsvinkler tolket fra forsøkene er vist i Figur 2.16 (Teknologiavdelingen, Vegdirektoratet, 2007).

| Aksialt tøyningsnivå | Innspenningsnivå / sidetrykk | | |
|----------------------|---------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|
| | 0 – 20 kPa | 0 – 45 kPa | >75 kPa |
| 2 % | $\phi = 44.5^\circ$, a = 0 kPa | $\phi = 36.7^\circ$, a = 0 kPa | Maks vertikalt trykk = 220 kPa |
| 15 % | $\phi = 44,5^\circ$, a = 0 kPa | $\phi = 44.5^\circ$, a = 0 kPa | Maks vertikalt trykk = 350 kPa |

Figur 2.16 Friksjonsvinkel (Teknologiavdelingen, Vegdirektoratet, 2007)

Tabell 2.8 viser en oppsummering av de tekniske spesifikasjonene for skumglass.

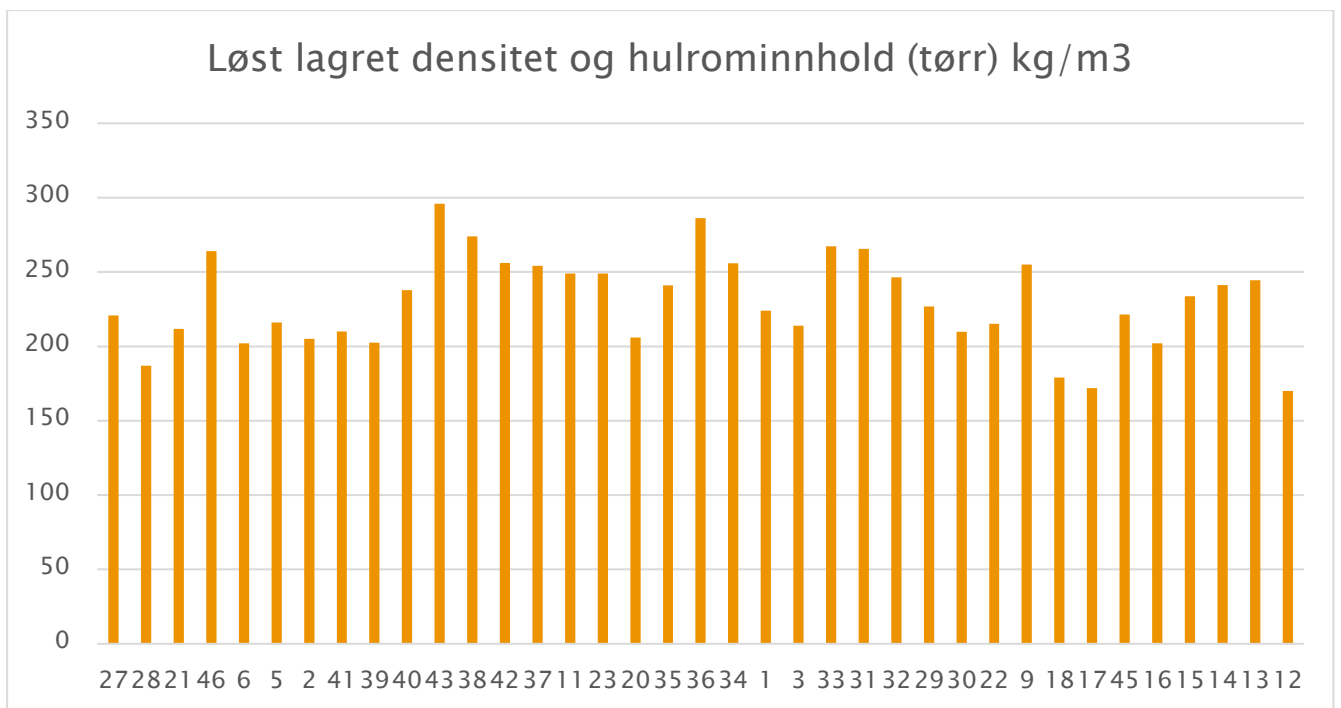
Tabell 2.8 Oppsummering tekniske spesifikasjoner Skumglass

| Skumglass 10-60 | Teknisk spesifisering Glasopor AS | Statens vegvesen V221 | Gjenbruksprosjektet |
|--|--------------------------------------|-----------------------|---|
| Kornstørrelse | 10-60mm | 10-60mm | 10-50mm |
| Tørr densitet (løs bulkdensitet) | 180kg/m ³ | 180kg/m ³ | 180kg/m ³ |
| | ±15% | ±15% | |
| Dimensjonerende tyngdetetthet i fylling | 3,5kN/m ³ | 3,5kN/m ³ | 3,5kN/m ³ |
| Volumendring ved komprimering | 15-25% | 15-25% | 20-30% |
| Vanninnhold | | 20-25% | 20-25% |
| Friksjonsvinkel | 45° | 45° | 45° |
| Prosentandel finstoff mindre enn 2mm | | <4% | |
| Ødometermodul | | | Synkende til $\sigma=50$ kPa og 2,5 MPa <250kPa |

2.2.2 Labsys

Labsys er Statens vegvesens system for dokumentasjon av utførelse og materialkontroll ved veibygging. Resultater fra alle analyser tatt på skumglass fra Statens vegvesens veiprosjekter er registrert her. Det er utført en sammensetning av de fleste resultatene fra 2011-2016 der det er sett bort fra enkelte resultater med for dårlig dokumentasjon og resultater med opplagte feilverdier.

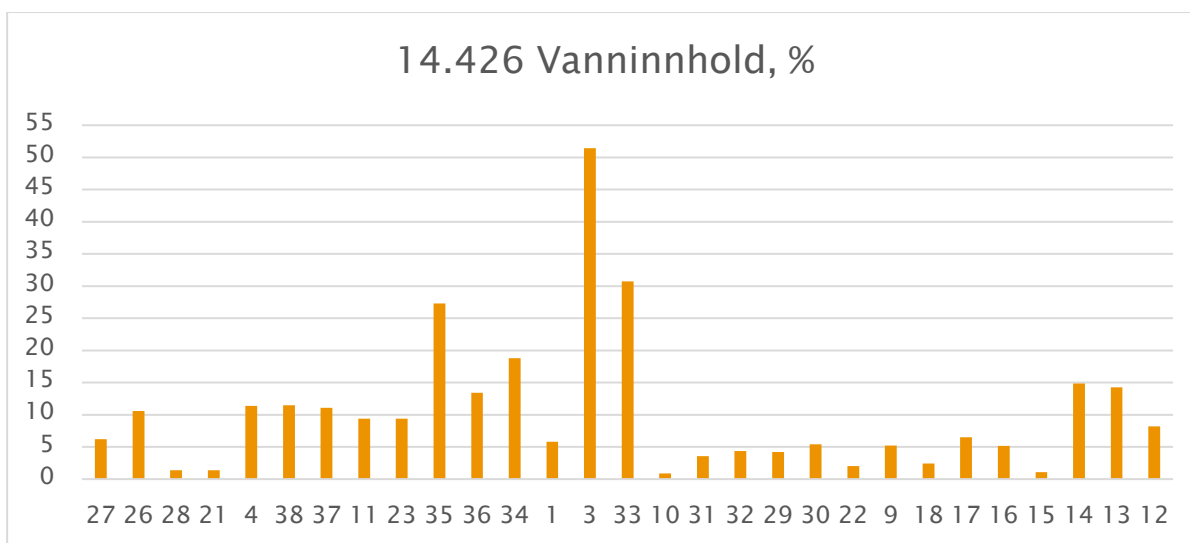
Figur 2.17 viser en kronologisk oversikt over forsøksresultater for løst lagret densitet. Resultatet nærmest y-aksen er eldst. De fleste prøvene er tatt fra ferdig utlagt og komprimert fylling. Se vedlegg 3 a og b, for mer detaljert oversikt over resultatene.



Figur 2.17 Løst lagret densitet, skumglass - Labsys

Resultatene gir et gjennomsnitt på 230kg/m³, med variasjon mellom 170kg/m³ og 296kg/m³. resultatene kan være noe usikre da analysene er kjørt med et lavere prøvevolum enn fastsatt i Norsk standard, (CEN, 1998).

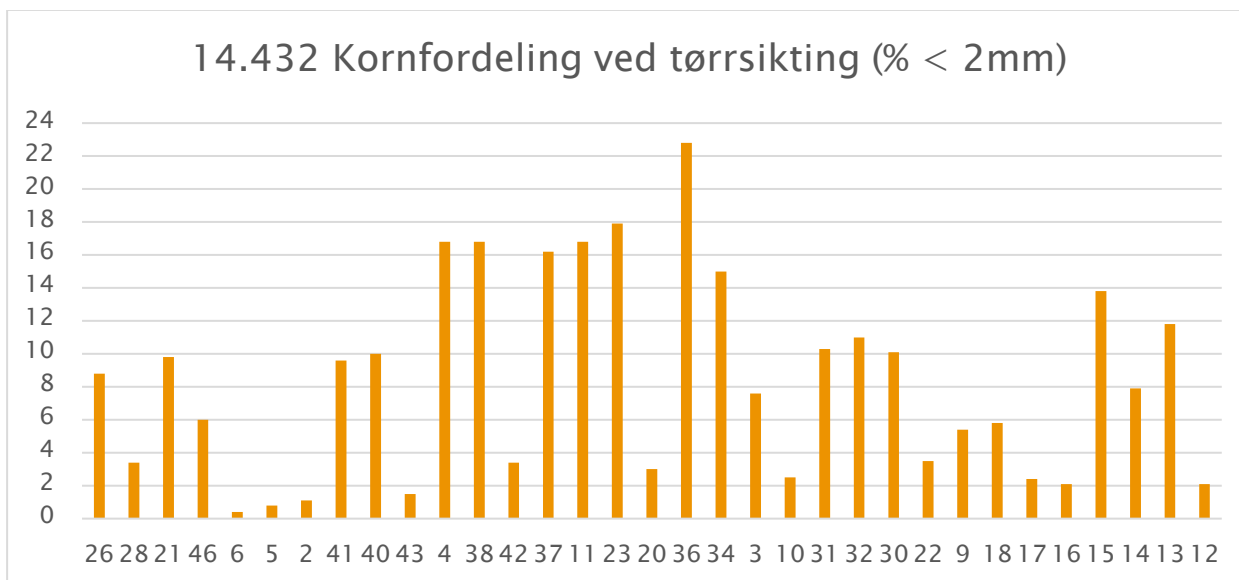
Figur 2.18 viser en kronologisk oversikt, der resultatet nærmest y-aksen er eldst, over hvor stor vanninnhold det er målt i materialene. Se vedlegg 3, for mer detaljert oversikt over resultatene.



Figur 2.18 Vanninnhold, skumglass - Labsys

Resultatene gir et gjennomsnitt på 10,3%, de varierer mellom 0,86% og 51%. Prøve 3 har et veldig høyt vanninnhold, sett bort fra prøve 3 blir gjennomsnittet 8,8%.

Figur 2.19 Figur 2.18 viser en kronologisk oversikt, der resultatet nærmest y-aksen er eldst, over hvor stor prosent av materialet som er mindre enn 2mm. Se vedlegg 3, for mer detaljert oversikt over resultatene.



Figur 2.19 % materiale < 2mm, skumglass - Labsys

Resultatene gir et gjennomsnitt på 8,7% < 2mm. Resultatene varierer mellom 0,4% og 22,8%.

3 Felt- og laboratoriearbeid

For å dokumentere om materialegenskapene til lettklinker og skumglass i eksisterende veifyllinger tilfredsstillende nåtidens krav, ble det valgt å ta oppgravingsprøver fra eksisterende veifyllinger. Disse oppgravingsprøvene ble analysert i laboratoriet for å undersøke densitet, kornfordeling og vanninnhold i tillegg til in situ densitet ute i felt. For å undersøke om materialegenskapene har endret seg på grunn av endringer i produksjon og materialsammensetning, har nytt materiale blitt undersøkt ved hjelp av treaksial- og ødometerforsøk i tillegg til undersøkelse av densitet og korngradering på laboratoriet. En detaljert beskrivelse av arbeidet som ble gjort følger i dette kapitlet.

3.1 Feltarbeid

Det ble bestemt å ta oppgravingsprøver i seks eksisterende veifyllinger, se Tabell 3.1. Dette ble valgt på grunn av tidsbegrensning og økonomi, i tillegg for å få en mest mulig representativ variasjon i materiale. For å få en bedre variasjon i materialene ble det valgt å grave tre hull i hver fylling slik at det mest sannsynlig ble tatt prøver fra forskjellige leveranser av materialene. For å få tillatelse av veieier til å ta oppgravingsprøvene ble det valgt å ta prøvene i banketten.

Tabell 3.1 Prosjekter med eksisterende fyllinger med skumglass og lettklinker

| Region | | Skumglass |
|--------|-----|---|
| 1 | Øst | E6 vinterbro-Assurtjern, vinterbrosletta |
| 2 | Øst | E18 Krosby -Knapstad -Krosbykrysset |
| 3 | Sør | E 18 Gulli - Langåker |
| Region | | Lettklinker |
| 1 | Øst | E6 Solberg – Årum – Jarle bru |
| 2 | Øst | E 18 Krosby-Knapstad - nordre landkarfylling for bru som krysser over Fv. 122 |
| 3 | Sør | E 18 Gulli – Langåker - Borgekrysset |

3.1.1 E6 vinterbro-Assurtjern, Vinterbrosetta

1.12.16 ble to kjørefelt av veien stengt i sørgående retning og oppgravingen av tre hull i banketten mot Tusenfryd ble startet. Plasseringen av hullene ble valgt etter «som bygd» tegningene fra da veien ble bygd. Dessverre fant vi ikke skumglass i disse hullene, se Figur 3.1. Det kan tenkes at dette kan ha kommet av at det i byggefasen ble det valgt bort skumglassfylling på noen deler av strekningen fordi de fant bedre grunn enn det de trodde på forhånd. Senere har dette ikke har blitt oppdatert på tegningene. Det er skumglassfylling i området, men dessverre ble det gravd på feil sted i denne omgang.



Figur 3.1 – Masser i grop 1, Vinterbrosetta

3.1.2 E18 Krosby –Knapstad, Krosbykrysset

Prøvetakningen av skumglass på pendlerparkeringen ved Krosbykrysset ble utført 9.11.2016. Fyllingen under pendlerparkeringen ble valgt slik at man skulle slippe å stenge veien. Dagen før ble det målt opp tre felt som skulle graves opp, med ca. tre meters mellomrom. Dessverre sto det en bil parkert i veien da vi skulle grave opp det ene feltet, dermed ble det kun gravd to hull ved Krosbykrysset, se Figur 3.2. Det ble tatt to in situprøver og to poseprøver i hvert av oppgravingshullene.



Figur 3.2 Oversiktsbilde, Krosbykrysset

Det hadde vært kaldt en liten uke og frosten hadde gått et stykke ned i bakken, men ikke helt ned til skumglassfyllingen. Fyllingen lå også dypere i begge hullene enn det «som bygd» tegningene viste. Massene i hull 1 inneholdt små biter av noe som liknet bitumenklumper, se Figur 3.3, noe som kan ha påvirket densiteten. I hull 2 var materialene visuelt mer nedknust enn i hull 1, Figur 3.4. og Figur 3.5 viser illustrasjonsbilde av in situ prøvetakningen ved Krosbykrysset.



Figur 3.3 Forurensning i fyllingen – hull 1, Krosbykrysset



Figur 3.4 Hull 1 til venstre, hull 2 til høyre, Krosbykrysset



Figur 3.5 In situ prøvetaking, Krosbykrysset

3.1.3 E 18 Gulli – Langåker, Hesbykrysset

Den 9.12.16 var det prøvetaking i Region sør. Det var dessverre ikke mulig å ta prøvene i veibanen fordi veieier ikke ønsket å legge asfalt da det var frost, dermed ble det prøvd å ta prøver i banketten. Banketten ved rampen til Hesbykrysset var veldig bratt og skumglasset ble forurenset av massene rundt da det ble forsøkt å grave, se Figur 3.6. Som følge av dette ble det valgt å ikke ta prøver i denne skumglassfyllingen.



Figur 3.6 Forurensning av skumglassmaterialene, Hesbykrysset

3.1.4 E6 Solberg – Årum, Jarle bru

24.11.16 ble det ytterste feltet i sørgående felt på E6 ved Jarle bru stengt slik at man kom til de tidligere oppmerkede områdene i banketten, se oversiktsbilde, Figur 3.7. Områdene ble valgt etter «som bygd» tegningene, med ca. ti meters mellomrom. Det ble gravd tre hull ved Jarle bru og tatt to til tre in situ og poseprøver i hvert hull, se Figur 3.8 - Figur 3.10.



Figur 3.7 Oversiktsbilde – E6 Jarle bru



Figur 3.8 Lettklinker hull 1, Jarle bru



Figur 3.9 Lettklinker hull 2, Jarle bru



Figur 3.10 Lettklinker hull 3, Jarle bru

3.1.5 E 18 Krosby-Knapstad

E18 nordover var stengt på grunn av veiarbeid, 9.11.2016. Dermed var det en god mulighet å kunne ta prøver denne dagen, i dagslys og uten ekstra arbeidsvarsling. Det var ikke mulig å få tak i «som bygd» tegningene, dermed ble det målt opp tre områder i banketten ved nordre landkarfylling for bru som krysser over Fv. 122, etter arbeidstegningene, se Figur 3.11. Det ble gravd dobbelt så dypt som tegningene viste at lettfyllingen skulle ligge, det ble ikke funnet lettklinker i noen av gropene, se Figur 3.12. I Figur 3.13 kan man se at lettklinkerfyllingen er lagt i store kvantiteter, men det kan hende at det er valgt bort å legge fyllingen helt ut og at dette muligens er oppdatert på «som bygd» tegningene.



Figur 3.11 Oversiktsbilde, Krosby-Knapstad



Figur 3.12 Hull 1, Krosby-Knapstad



Figur 3.13 Lettklinkerfylling, Krosby-Knapstad (foto. Jon Hauge)

3.1.6 E18 Gulli – Langåker, Borgekrysset

Den 9.12.16 ble det også tatt prøver ved Borgekrysset i Region sør. Det var dessverre ikke mulig å ta prøvene i veien, fordi veieier ikke ønsket å reasfaltere da det var frost, dermed ble prøvene tatt i banketten, se Figur 3.14. Det ble gravd to små prøvehull, se Figur 3.15, der det ble tatt en in situ prøvetaking og en poseprøve i hvert av hullene.



Figur 3.14 Hull 1 i banketten, Borgekrysset (foto: Per Olav Sollien)



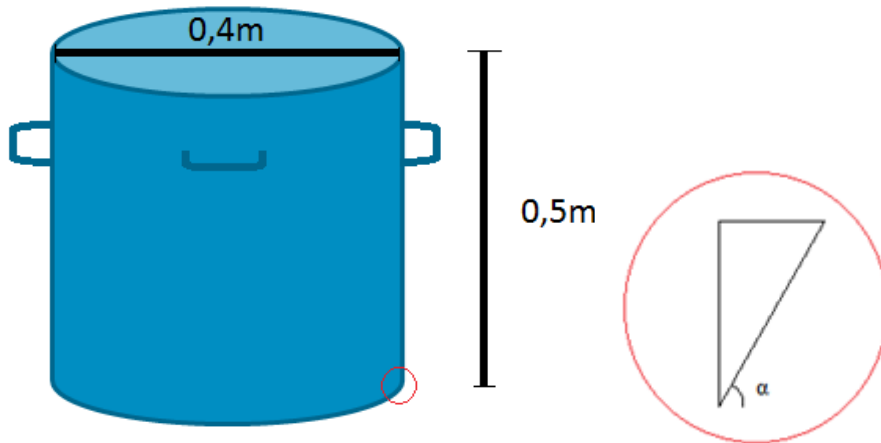
Figur 3.15 Hull 1, in situ prøvetaking, Borgekrysset (foto: Per Olav Sollien)

3.1.7 Prøvetakingsprosedyre

Ambisjonen var å grave tre hull i hver lettfylling og i hver av disse oppgravingshullene ta tre in situ densiteter og tre poseprøver til å ta inn på laboratoriet for å analysere materialene nærmere. Det ble valgt å ta en prøve til in situ-måling og en annen til de resterende analysene på laboratoriet. Dette var for å unngå at mulig nedknusning under in situ-prøvetakning skulle påvirke de andre resultatene.

In situ densitet, prøvetaking i felt

Måling av in situ-densitet brukes for komprimeringskontroll av utlagt og komprimert materiale. Det ble valgt å bruke prosedyre i henhold til (Statens vegvesen, 2014, s. 278) og (Solheim, 1998). Det ble produsert en prøvetaker av stål, se skisse med mål, Figur 3.16. Denne ble laget for å ha et litt mer solid og nøyaktig utstyr enn det som er brukt tidligere. Vinkel α ble valgt til 60° . Det ble også satt på håndtak for å enklere transportere/bære og et lokk slik at nedtrykningen av prøvetakeren med gravemaskin ikke skulle ødelegge prøvetakeren eller forurense massene.



Figur 3.16 Skisse av in situ prøvetaker

Prøvetakingsprosedyren er vist med illustrasjonsbilder fra prøvetaking av lettklinker ved Jarle bru, se Figur 3.17 - Figur 3.25. Utgravd masse ble veid og volumet av massene ble beregnet ved hjelp av rørets innvendige tverrsnitt ganget med utgravingsdybde. Dette ga grunnlaget for å beregne våt in situ densitet. Materialene som ble gravd ut ble tatt med inn og tørket på laboratoriet slik at det var mulig å regne ut vanninnhold og tørr in situ densitet. Delkapittel 3.2.1 viser beregningsformler for analysen.



Figur 3.17 Saging og fjerning av asfaltdekket



Figur 3.18 Utgraving av bærelaget



Figur 3.19 Fjerning av fiberduk og fjerning av de ti øverste cm av den lette fyllmassen slik at den direkte nedknusningen fra komprimeringen av fyllingen ikke skulle påvirke resultatene



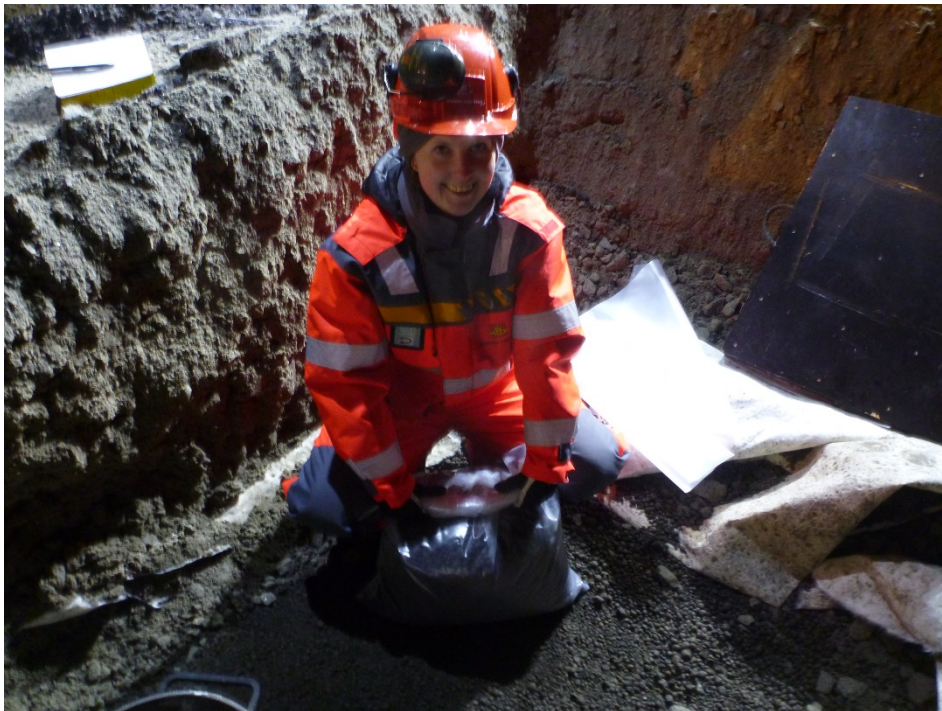
Figur 3.20 Oppmåling av dybde ned til lettfyllingen



Figur 3.21 Plassere prøvetaker i prøvehull



Figur 3.22 Nedtrykking av prøvetaker med gravemaskin, jevnt og rett ned.



Figur 3.23 Måling ned til prøvedybde i prøvetaker før og etter prøvetakning. Og fyller materialene i en solid og godt merket pose med tett lukking. (foto: Per Olav Sollien)



Figur 3.24 Veiing av posene for å være sikker på at vann ikke fordamper under transport og lagring.



Figur 3.25 Reparasjon av prøvehullene

Poseprøver

Det ble tatt 2-3 poseprøver fra hvert hull og merket godt. Posene ble veid slik at vanninnholdet i prøven skulle bli mest mulig nøyaktig når materialene ble analysert på laboratoriet.

3.2 Laboratoriearbeid

På laboratoriet ble det valgt å måle løst lagret densitet, vanninnhold og korngradering på poseprøvene fra eksisterende veifyllinger. På nye materialer ble det kjørt treaksial- og ødometerforsøk, løst lagret densitet og korngradering.

3.2.1 In situ densitet

Analysen ble utført etter prosedyre i henhold til Statens vegvesen (2014, s. 278) og Solheim (1998). Resultatene ble regnet ut etter formlene under, (Emdal, 2014):

$$\rho = \frac{m}{V}$$

hvor,

ρ = densitet

m = masse

V =Volum

$$\gamma = \rho * g$$

hvor,

γ = tyngdetettheten (kN/m³)

ρ = densitet

g = tyngdens akselerasjon

3.2.2 Løst lagret densitet

Analysen er utført etter metode 126 i Håndbok R210 (Statens vegvesen, 2015) som er utarbeidet etter NS-EN 1097-3 (CEN, 1998).

Det er krav til minimum tre delprøver etter Norsk standard, (CEN, 2012). Det er tilstrebet å ta mest mulig representative delprøver av materialene som er tatt fra eksisterende, eldre fyllinger og fra leverte sekker med nye materialer. Fra et par av fyllingene ble det tatt ut for små mengder materialer, dermed ble det her kun tatt to delprøver.

Analysen utføres ved at en bruker en tom, ren og tørr beholder på minimum 10 liter for materialer med øvre kornstørrelse 31,5 mm og minimum 20 liter for materialer med øvre kornstørrelse 63 mm. Denne beholderen veies (M_1) og settes på en vannrett flate. Deretter fylles delprøven i beholderen til det renner over, se Figur 3.26. Så avrettes prøven forsiktig, slik at volumet tilsvarer volumet av beholderen så godt som mulig og at materialene ikke blir komprimert, se Figur 3.27. Den fulle beholderen veies (M_2) og løst lagret densitet regnes ut ved formelen:

$$\rho_b = \left(\frac{M_2 - M_1}{V} \right)$$

hvor,

ρ_b = Løst bulkdensitet

V = Beholderens volum

Materialene tørkes og løst lagret tørrdensitet regnes ut. Henviser til Statens vegvesen (2015) for ytterligere beskrivelse av analysen.



Figur 3.26 Løst lagret densitet - skumglass



Figur 3.27 Avretting av prøven

3.2.3 Vanninnhold

Analysen er utført etter metode 121 i Håndbok R210 (Statens vegvesen, 2015) som er utarbeidet etter NS-EN 1097-5 (CEN, 2008).

Materialene veies ute i felt eller rett etter de ankommer laboratoriet for lagring(M_1). Dette for å sikre presist vanninnhold i materialene. Materialene plasseres i varmeskap og tørkes til konstant masse ved temperatur 110 ± 5 °C. Når prøven er tørr avkjøles den til romtemperatur og veies (M_2). Figur 3.28 viser materialer til tørking i varmeskap. Vanninnholdet regnes ut med formel:

$$w = \frac{(M_1 - M_2)}{(M_2 - M_3)} * 100$$

hvor,

w = vanninnhold i %

M_1 =Fuktig prøve inkl. tara

M_2 =Tørr prøve inkl. tara

M_3 = Vekt av beholder(tara)

Henviser til Statens vegvesen (2015) for ytterligere beskrivelse av analysen.



Figur 3.28 Lettklinker til tørking i varmeskap

3.2.4 Korngradering

Analysen er utført etter metode 133 i Håndbok R210 (Statens vegvesen, 2015) som er utarbeidet etter NS-EN 933-1 (CEN, 2012).

For å få passende mengde materiale til analysen er det behov for å splitte prøven ned til en mindre delprøve. For å få delprøven representativ for materialet, brukes metode 101 i R210, (Statens vegvesen, 2015), utarbeidet etter Norsk standard, (CEN, 1999).

Prøven tørkes til konstant masse ved 110 ± 5 °C og veies. Siktene som ble valgt var: 63 mm, 31,5mm, 22,4mm, 16mm, 11,2mm, 8mm, 4mm, 2mm, 1mm, 0,5mm, 0,063mm og bunnpanne for skumglass og 31,5mm, 22,4mm, 16mm, 11,2mm, 8mm, 4mm, 2mm, 1mm, 0,5mm, 0,063mm og bunnpanne for lettklinker. Materialene større enn 22,4mm ble siktet ut for hånd og de resterende materialene ble siktet maskinelt i maksimalt 5 minutter.



Figur 3.29 Maskinell sikting av materialene

Materialene ble veid opp ved summasjonsveiing. Resultatene fylles så inn i Statens vegvesen arkivsystem, Labsys og resultater i form av siktekurver blir tegnet opp. Figur 3.29 viser maskinell sikting av materialene.

Henviser til Statens vegvesen (2015) for ytterligere beskrivelse av analysen.

3.2.5 Ødometer

Formålet med ødometerforsøk utført på lettklinker og skumglass er å undersøke materialenes deformasjonsegenskaper. Dette delkapittelet består av en teori-, utstyr- og forsøksbeskrivelse på hvordan ødometerforsøkene er utført. Teorigrunnlaget er hentet fra: «Introduksjon til Geoteknikk» (Emdal, 2014) og «Grunnlag i geoteknikk» (Janbu, 1970).

Teoribeskrivelse

Å analysere et setningsproblem ut fra en endimensjonal deformasjon, ved at en antar at deformasjon skjer kun i belastningsretning, og dermed ingen sideveis deformasjon, er grunnlaget for ødometerforsøket. En spenning blir påført materialene og denne vil bestemme setningen i materialet.

Tøyning i materialet blir bestemt på grunnlag av resultatene fra ødometerforsøket, tøyningen er definert som:

$$\varepsilon = \frac{\Delta\delta}{H_0}$$

hvor,

$\Delta\delta$ = Endring i prøvehøyde

H_0 = Initiell prøvehøyde

Materialets stivhet, eller motstand for deformasjon i ødometertilstand defineres ved ødometermodulen. Ødometermodulen, M , er her definert som tangenten til spenning-tøyningskurven:

$$M = \frac{d\sigma'}{d\varepsilon}$$

hvor,

$d\sigma'$ = endring i vertikal effektivspenning

$d\varepsilon$ = endring i tøyning

Det er vanlig å fremstille resultatene fra ødometerforsøk i form av kurver. De vanligste kurvene er spenning-tøyningskurver (σ - ε) og spenning – ødometermodulkurve (σ - M).

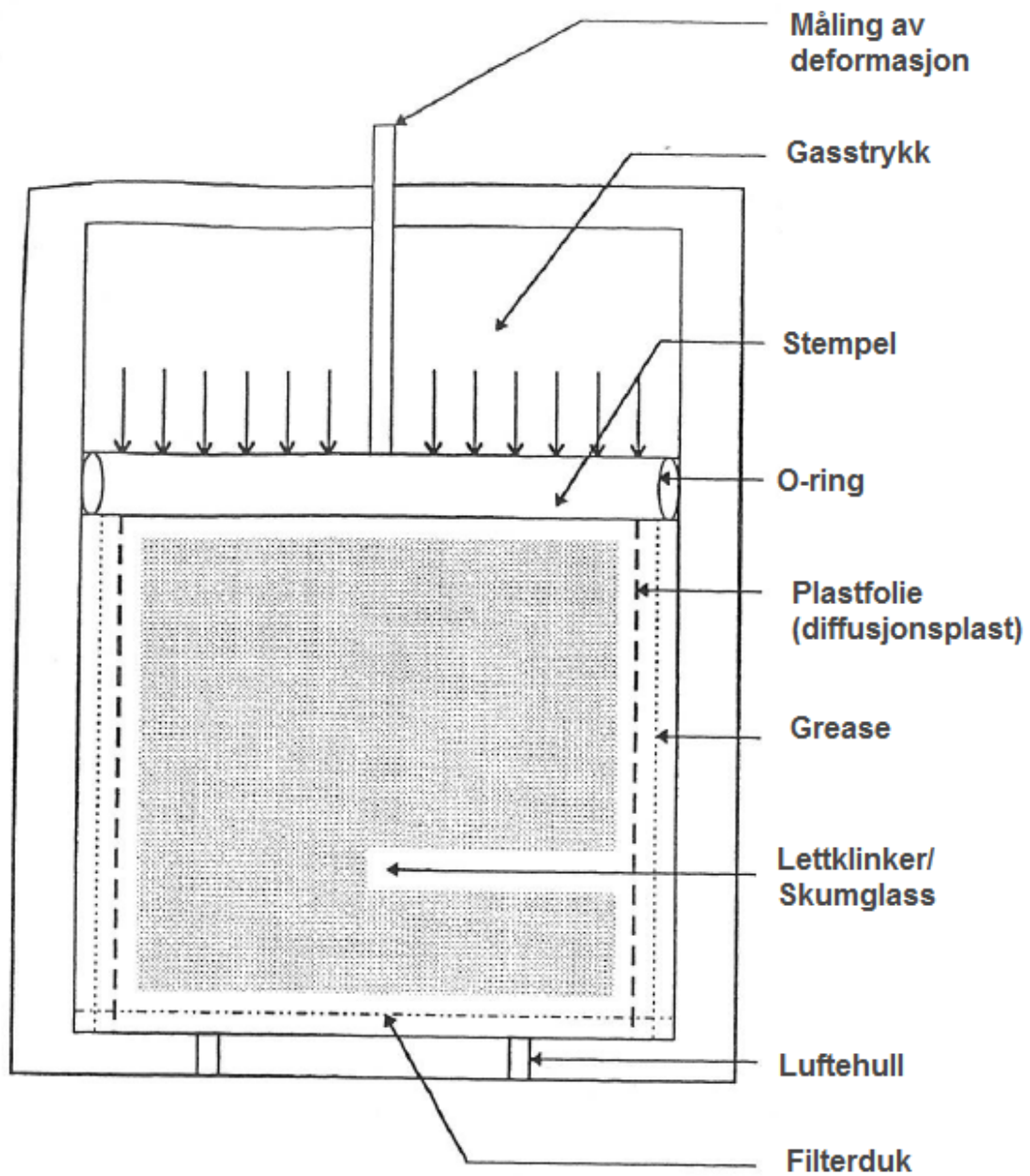
Forsøkene er kjørt som trinnvis ødometer. Ved trinnvis belastning påføres laster etter en forhåndsbestemt prosedyre. Underveis under påføringen og/eller ved slutten av hvert lasttrinn måles deformasjonen og et nytt lasttrinn kan settes i gang.

Utstyrsbeskrivelse

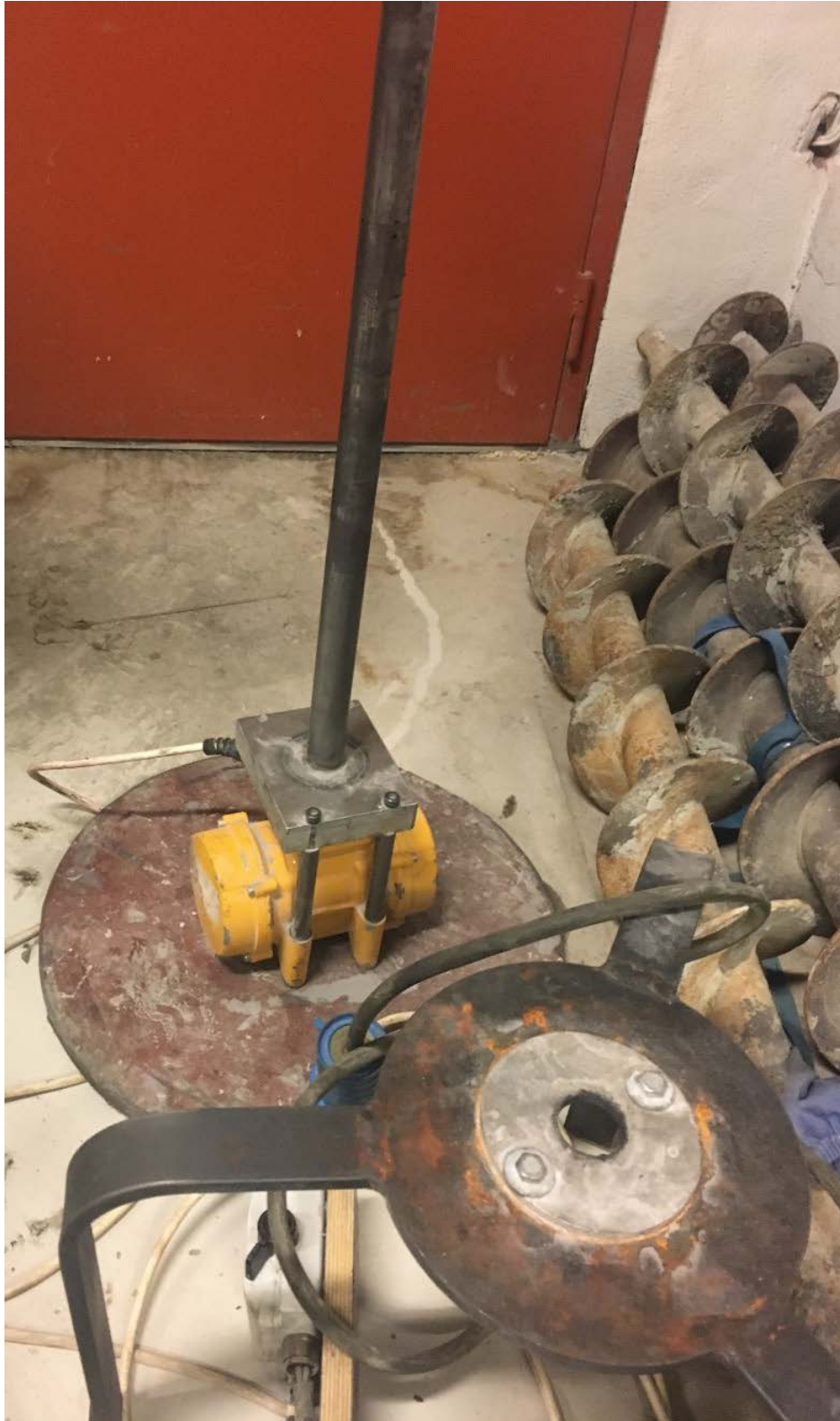
Utstyret som er brukt under forsøkene er et stort ødometer «k/ø Anton» med innvendig diameter =49,9cm og innvendig høyde = 57,5cm. Bilde av ødometeret er vist i Figur 3.30 og tverrsnitt av ødometeret, fra Stene (1996) med et par oppdateringer til dagens situasjon, er vist i Figur 3.31. En vibroplate ble brukt til komprimering av massene. Vibroplaten har en diameter på 497 mm og en vekt på 13,8 kg, fast frekvens og regulerbar amplitude. Bilde av vibratorplaten, med støttekonstruksjon er vist i Figur 3.32. Henviser til Stene (1996) og Prestegarden (1998) for ytterlige beskrivelser av utstyret.



Figur 3.30 Stort ødometer, k/ø Anton



Figur 3.31 Prinsippskisse, tverrsnitt ødometer



Figur 3.32 Komprimeringsutstyr/ vibroplate

Forsøksbeskrivelse

Det er utført ødometerforsøk på Leca lettklinker 0-32mm og Glasopor 10-60mm levert i sekker på henholdsvis 1m³ og 1,5m³ fra fabrikk. Det ble valgt å kjøre tre forsøk på hvert av materialene. Dette ble valgt fordi ødometerforsøket er et tidkrevende forsøk. Tre forsøk ble også valgt for å få et godt sammenligningsgrunnlag.

Det ble forøkt å ta ut representative gjennomsnittsprøver fra disse materialene til hver analyse, ved å ta materialer fra forskjellige områder fra de leverte materialene. Det ble valgt å ikke undersøke vanninnholdet på materialene, da det er antatt at vanninnholdet er så lavt at dette har liten eller tilnærmet ingen innvirkning på resultatene.

Det ble tatt en sikteprøve av en gjennomsnittsprøve direkte fra sekk i tillegg til en representativ prøve etter det første ødometerforsøket på hvert av materialene. Analysen ble utført etter metode beskrevet i kapittel 3.2.4. Siktene som ble valgt var: 63mm, 31,5mm, 22,4mm, 16mm, 11,2mm, 8mm, 4mm, og 2mm for skumglass og 31,5mm, 22,4mm, 16mm, 11,2mm, 8mm, 4mm, og 2mm for lettklinker. Disse ble valgt med hensyn på tilgjengelig laborieutstyr og de siktene som er brukt i rutineanalysene fra oppgravingsprøvene. Det ble valgt å sikte for hånd ned til 11,2mm og med maskin fra på siktene < 8mm. Deretter ble sikteresten på hvert sikt veid opp og siktekurven tegnet opp ved hjelp av Statens vegvesens arkivsystem, Labsys.

Løst lagret densitet ble tatt av gjennomsnittsprøve før hvert ødometerforsøk. Analysen ble utført etter metode beskrevet i kapittel 3.2.2. Materialene ble fylt forsiktig i metallbøtte på 50L, overflaten ble rettet forsiktig ut med målestokk og materialene ble veid.

Figur 3.33 viser forarbeidet med ødometercellen før forsøket. I bunnen av ødometeret ble det lagt et stykke fiberduk for å hindre at materialene datt ut av luftehullene i bunn av apparatet. Det ble smurt grease på innsiden av ødometeret og dekket med diffusjonsplast for å redusere friksjonen mellom stempel og ødometercelle.



Figur 3.33 Ødometercelle med fiberduk, grease og plastfolie (det ble på de resterende analysene brukt diffusjonsplast fordi denne plastfolien var for tynn)

Det ble i første omgang valgt å fylle seks lag med fast masse i ødometeret og komprimert et minutt med vibratorplate, se Figur 3.34. Lagtykkelse og komprimeringstid ble valgt ut av erfaringene til Prestegarden (1998). Det ble tilstrebet en komprimeringsgrad tilsvarende den komprimeringen som er ønsket i lettmassefyllinger, 10% for lettklinker og 20% for skumglass. På første ødometerforsøk på skumglass ble det siste laget halvparten så tykt som de andre lagene. Derfor ble det valgt å gå over til fem lag, slik at det ble en jevnere tykkelse på de komprimerte lagene. Materialene ble tømt fra bøtte over i ødometeret og jevnet forsiktig ut for hånd. Tykkelsene på lagene ble målt før og etter komprimering, dette for å regne ut den riktige densiteten og videre komprimeringsgraden i ødometeret. Densitetsberegningene er vist i vedlegg 7a og 8a. Etter ferdig komprimering av alle lagene ble lokket montert på ødometeret, deretter ble lufttrykk og pc til registrering av resultatene påkoblet.



Figur 3.34 Vibratorplate montert i ødometeret

Måleapparatet nullstilt før det ble kjørt til et kontaktrykk på 25kPa, før det ble nullstilt igjen, før selve forsøket ble startet. Forsøket ble kjørt trinnvis med på- og avlastning som vist i Tabell 3.2. Spenningsnivåene i forsøksprodusedyren ble blant annet valgt fordi «Spenningsnivået for en veikonstruksjon vil variere vesentlig avhengig av tykkelse og stivhet for de ulike lagene. Tillatt hjultrykk i Norge er 900kPa. Denne spenningen blir redusert nedover i konstruksjonen. I toppen av forsterkningslaget vil vertikalspenningene variere fra 50 til 400kPa» (Furuberg, et al., 2000, s. 6). Etter erfaring fra Prestegarden (1998), ble det valgt å kjøre 11 minutters pålastning pr. lasttrinn og 5 minutter ved avlastning. Etter observasjon av tidligere forsøk ble det valgt å bruke 20 minutters pålastning pr. lasttrinn med 50kPa økning på ødometer 3, skumglass. Deformasjonsutviklingen ble registret hvert sekund ved første forsøket på skumglass, men dette ble endret til hvert 5 sekund for de resterende prøvene på grunn av et ønske om å redusere datamengden. Deformasjonsutviklingen og spenningene på materialene ble registrert ved hjelp av Labview.

Tabell 3.2 Lasttrinn ødometerforsøk

| | Lasttrinn [kPa] | Tid [m] |
|-------------------|--------------------|------------|
| Pålastning | 25 | 11 |
| | 50 | 11 |
| | 75 | 11 |
| | 100 | 11 |
| | 125 | 11 |
| | 150 | 11 |
| | 200 | 11 (20) |
| | 250 | 11(20) |
| | 300 | 11 (20) |
| | 350 | 11 (20) |
| | 400 | 11 (20) |
| Avlastning | 200 | 5 |
| | 100 | 5 |
| | 50 | 5 |
| | 25 | 5 |
| | 0 | 5 |

Resultatene er fremstilt grafisk ved spenning-tøyningskurver og tilhørende modulkurver for hvert forsøk.

3.2.6 Treksialforsøk

Formålet med statisk treksialforsøk utført på lettklinker og skumglass er å bestemme friksjonsvinkel og eventuell attraksjon i materialet. Dette delkapittelet består av en Teori-, utstyr- og forsøksbeskrivelse på hvordan treksialforsøkene er utført. Teorigrunnlaget er hentet fra Emdal (2014).

Teoribeskrivelse

Testen går ut på å påføre statiske belastninger på materialene som er komprimert til en sylindrisk prøve, som er dekket med en gummimembran, med en bestemt sidespenning/celletrykk, for eksempel et lufttrykk.

Under forsøket utsettes prøven for forskjellige hovedspenninger slik at skjærspenninger oppstår. Spenningene består av et celletrykk, σ_3 , og en deviatorspenning, σ_d .

Deviatorspenningen er den vertikale påføringen av kraft på prøven. Figur 3.35 viser en illustrasjon av lastene som påføres prøven.

$$\sigma_d = \sigma_1 - \sigma_3$$

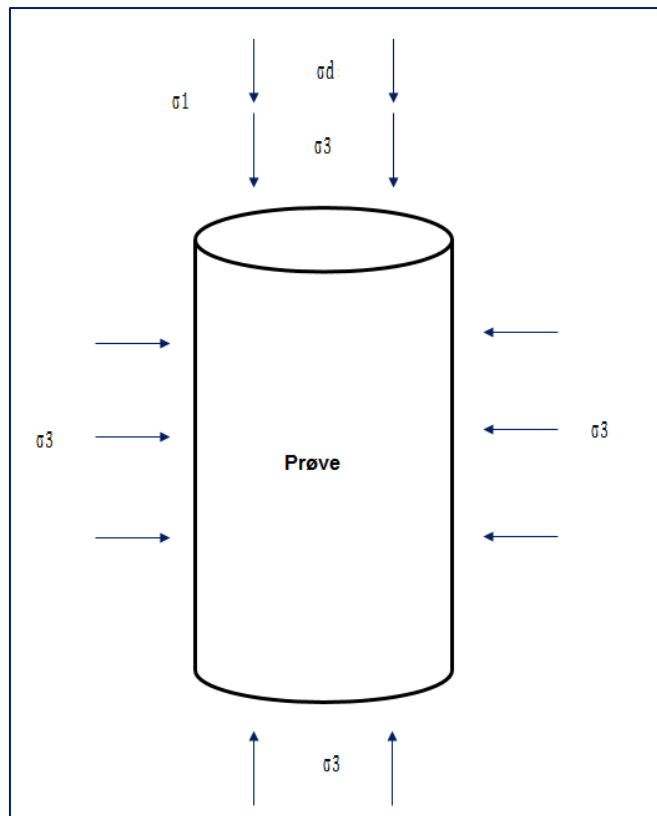
hvor,

σ_d = deviatorspenning

σ_1 = største hovedspenning

σ_3 = minste hovedspenning

Ved å registrere aksiell last, celletrykk og deformasjoner kan skjærspenningsforløpet beregnes og ut fra dette, verdier for materialets styrke.



Figur 3.35 Påførte laster på prøve under treaksialforsøk

Coulomb-kriteriet

«Coulomb-kriteriet beskriver hvordan den maksimale skjærspenning som kan tåles på et gitt plan varierer med normalspenningen til planet (Emdal, 2014).

$$T_f = (\sigma'_f + a) * \tan\Phi$$

hvor

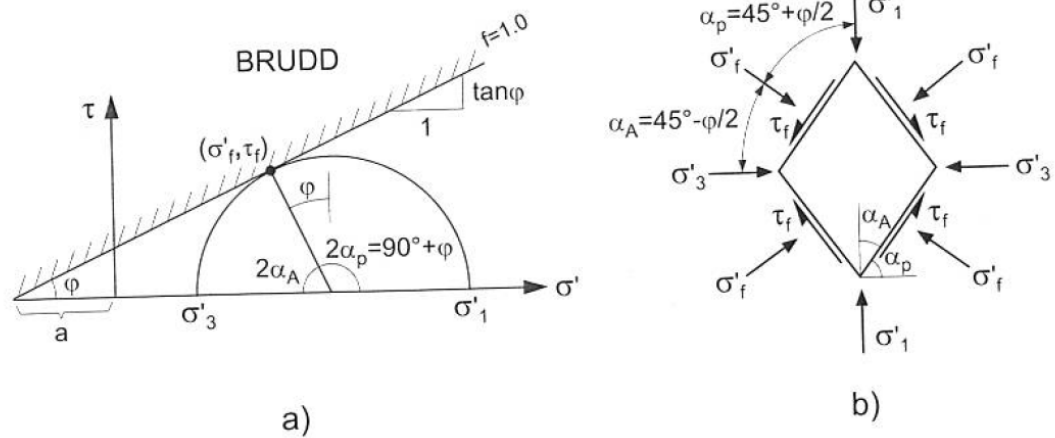
T_f = skjærspenningen på planet,

σ'_f = effektive normalspenningen på planet

a = attraksjonen, og

Φ = materialets friksjonsvinkel

Figur 3.36 viser likningen som bruddkriterium i et Mohr-diagram.



Figur 3.36 a, Coulomb bruddkriterium b, kritisk bruddelement (Emdal, 2014)

Forsøkene er kjørt som aktive treaksialforsøk. Det vil si at prøven presses sammen aksielt, mens celletrykket holdes konstant.

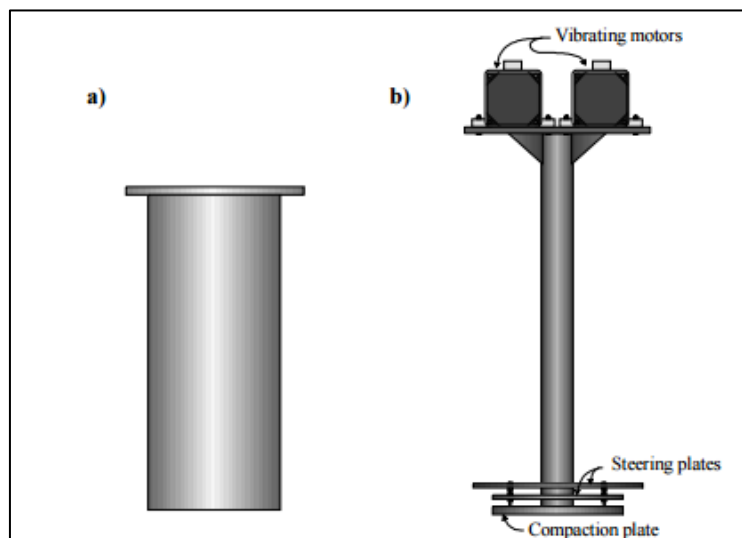
For tolkning av statiske treaksialforsøk brukes ofte spenningsnivå ved brudd for å karakterisere styrken til materialet. For lettklinker og skumglass kan man finne forskjellige styrkenivåer, avhengig av hvor stor deformasjon som er tillatt ved påføringen av forskjellige laster. Friksjonsvinkler fra statiske forsøk er nyttig for stabilitetsberegninger og liknende. «Bruddlinjen bestemt fra sykliske forsøk må ikke forveksles med friksjonsvinkler fra statiske treaksialforsøk. Statisk bruddverdi ligger høyere enn den sykliske.» (Furuberg, et al., 2000, s. 8)

Utstørsbeskrivelse

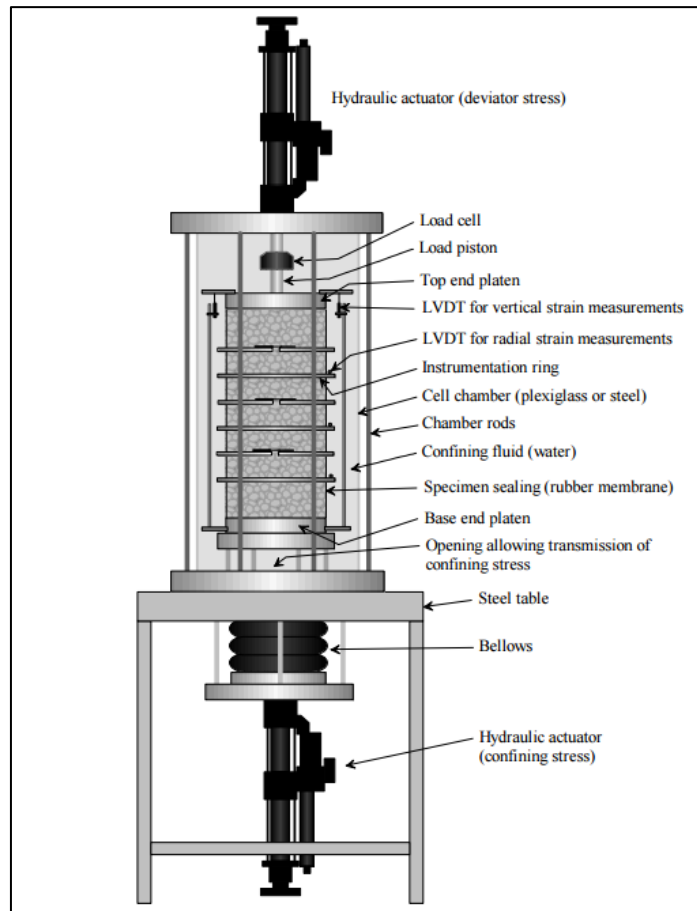
Treaksialapparatet som er benyttet i denne oppgaven er et utstøyr utviklet som en del av en doktorgrad fra NTNU (Skoglund, 2002), se Figur 3.38 for skisse av treaksialcellen. Cellen er designet for å kunne teste store materialprøver. Forsøkene i dette prosjektet ble utført der prøvene hadde en høyde på 600mm og en diameter på 300mm.

Tøyningene ble målt med en LVDT som sitter internt i jekken istedenfor mer nøyaktig målinger av tøyningene, dermed ble LVDT(Linear Variable Differential Transformers) ikke brukt i disse forsøkene. I følge Inge Hoff, professor på Institutt for bygg- og miljøteknikk ved NTNU, er ulempene med dette er at egendeforrasjonene i jekken også inkluderes i resultatene, men siden materialene er så små vil dette ikke utgjøre noe.

Materialene ble komprimert til ønsket komprimeringsgrad i en stålform med diameter på 300 mm og en høyde på 1000 mm. Materialene ble komprimert med vibrasjon, se Figur 3.37



Figur 3.37 Komprimeringsutstøyr (Skoglund, 2002), a) stålform. B) Vibreringsutstøyr



Figur 3.38 Treksialcelle med prøve (Skoglund, 2002)

For ytterligere beskrivelse av treksialcellen og stålfomen brukt til komprimering henvises til Skoglund (2002).

Forsøksbeskrivelse

Det er utført treaksialforsøk på Leca lettklinker 0-32mm og Glasopor 10-60mm levert i sekker på henholdsvis 1m^3 og $1,5\text{m}^3$ fra fabrikk.

Det var et ønske om tre forsøk på hvert av materialene, dette er minimumskravet i Norsk standard, (CEN, 2012). Dette kravet er for å få et godt sammenligningsgrunnlag. På grunn av tidsbruk og ressurser ble det valgt å kjøre et forsøk på hvert av materialene. Det ble forøkt å ta ut representative gjennomsnittsprøver av materialene til treaksialforsøkene. Dette ble gjort ved å ta materialer fra forskjellige områder fra de leverte sekkene. På grunn av antakelsen om lavt vanninnhold, ble det valgt å ikke undersøke vanninnholdet på materialene.

Det ble valgt å teste materialene ved hjelp av statisk treaksialforsøk, fordi det var hensiktsmessig i forhold til å finne materialenes styrkeparametere, fortrinnsvis friksjonsvinkel og maksimalspenninger i materialene.

Stor treaksialcelle med prøvediameter 300mm og høyde 600mm. Løst lagret densitet fra før ødometerforsøkene, se prosedyre i kapittel 3.2.2, ble brukt til å regne ut materialmengden som ga ønsket komprimeringsgrad. Komprimeringen ble utført i seks ca. like tykke lag til ønsket komprimeringsgrad, på henholdsvis 10% for lettklinker og 20% for skumglass. Figur 3.39 viser bilde av komprimeringsutstyret som ble brukt. Prøven ble komprimert i en stålsylinder med en gummimembran utenpå. Dette ble gjort for å kunne trykke prøven ut fra stålsylinder til gummimembranen. Overføring av prøve fra sylinder til gummimembran skjer samtidig som det er påført et sug i prøven for å unngå kollaps.



Figur 3.39 Komprimering av prøven i stålsylinder

Etter komprimeringen heises prøven inn i treksialapparatet. For å sikre at prøven holdes på plass i gummimembranen og beholder de egenskapene prøven fikk under komprimeringen, holdes suget på prøven helt til den er plassert i treksialcellen og celledrykket er satt på. Figur 3.40 viser heising av prøven med påkoblet slange for å holde suget i prøven.



Figur 3.40 Treaksialprøve heises til treaksialapparatet, slangen holder sug i prøven

Eventuelle hull i membranen ble tettet før treaksialcellen ble heist over prøven og festet. Det ble påført et sidetrykk på 25kPa, før suget i prøven ble fjernet og forsøket ble satt i gang. Hvert forsøk ble utført over en til to dager, der innbygging fant sted dag 1 og selve forsøket ble kjørt dag 2. Figur 3.41 viser lettklinkerprøve etter treaksialforsøk. Prøvene ble stoppet ved ca. 10% deformasjon.



Figur 3.41 Prøve etter treksialforsøk, lettklinker

4 Resultater

I de følgende delkapitlene vil resultater og tolkede verdier fra felt- og laboratorieforsøkene bli presentert. I delkapittel 4.1 og 4.2 vil det bli sett på resultatene fra oppgravingsprøvene fra eksisterende veifyllinger og i delkapittel 4.3 og 4.4 vil det bli sett på resultatene fra nye materialer rett fra fabrikk. Det er gitt kommentarer til hvert resultat og eventuelle feilkilder og mulige effekter av disse bli beskrevet.

4.1 Resultater eksisterende veifyllinger - Lettklinker

4.1.1 In situ densitet

In situ densiteten er påvirket av varierende vanninnhold, komprimeringsgrad og nedknusning av materialet i fyllingen. Prøveresultatene kan være unøyaktige på grunn av oppressing av materialer under prøvetakningen. Dette vil kunne føre til en løsere lagring av materialet. Mulig usikkerhet i målingene ned til materialene og veing av prøven vil også kunne påvirke resultatene. Analysene er utført etter prosedyre beskrevet i kapittel 3.2.1.

I Tabell 4.1 vises en oversikt over in situ densitetsresultatene fra fylling ved Jarle bru. Resultater mangler fra prøve hull 3-2 på grunn av manglende mål. Våtdensitetene varierer mellom $3,5\text{kN/m}^3$ - $4,37\text{kN/m}^3$.

Tabell 4.1 In situ densitet - Jarle bru

| Jarle bru | Våt [kN/m ³] | Tørr [kN/m ³] | Vanninnhold [%] |
|--------------|-----------------------------|------------------------------|--------------------|
| Hull 1 - 1 | 3,50 | 2,71 | 29 % |
| Hull 1 - 2 | 4,04 | 2,95 | 37 % |
| Hull 2 - 1 | 4,02 | 2,93 | 37 % |
| Hull 2 - 2 | 4,34 | 3,08 | 41 % |
| Hull 2 - 3 | 4,37 | 3,29 | 29 % |
| Hull 3 - 1 | 4,37 | 3,29 | 33 % |
| Gjennomsnitt | 4,11 | 3,04 | 34 % |

Tabell 4.2 viser en oversikt over in situ densitetene målt i fylling ved Borgekrysset. Våtdensitetene varierer mellom 3,86kN/m³ - 4,28kN/m³. Resultatene kan tyde på at det er hovedsakelig vanninnholdet som er grunnen til variasjonen mellom densitetene.

Tabell 4.2 In situ densitet - Borgekrysset

| Borgekrysset | Våt [kN/m ³) | Tørr [kN/m ³) | Vanninnhold [%] |
|--------------|-----------------------------|------------------------------|--------------------|
| Hull 1 - 1 | 3,86 | 3,07 | 26 % |
| Hull 2 - 1 | 4,28 | 3,15 | 36 % |
| Gjennomsnitt | 4,07 | 3,11 | 31 % |

Tabell 4.3 viser gjennomsnittsresultatene fra alle in situ densitetsprøvene tatt i de to fyllingene, nevnt over. Det er liten forskjell mellom gjennomsnittene i de to fyllingene, både når det gjelder våtdensitet og vanninnhold. Det kan være feil å se på et gjennomsnitt, da antall prøver fra hvert hull varierer og antall fyllinger er litt for få til å trekke konklusjoner ut fra, men det kan gi en pekepinn på hvilken densitet som kan forventes å finne i en eksisterende fylling med lettklinker.

Tabell 4.3 In situ densitet - lettklinker

| Lettklinker | Våt [kN/m ³) | Tørr [kN/m ³) | Vanninnhold [%] |
|--------------|-----------------------------|------------------------------|--------------------|
| Jarle bru | 4,11 | 3,04 | 34 % |
| Borgekrysset | 4,07 | 3,11 | 31 % |
| Gjennomsnitt | 4,09 | 3,08 | 33 % |

4.1.2 Løst lagret densitet

Mulig usikkerhet i målingene ned til materialene og veiing av prøven vil kunne påvirke resultatene. Densitetsresultatene varierer fortrinnsvis på grunn av nedknusning av materialene. Det er også noe grus som har forurenset massene. Analysene er utført etter prosedyre beskrevet i kapittel 3.2.2. Tabell 4.4 viser en oversikt over løst lagret densitet analyser fra lettklinkerfylling ved Jarle bru. Tørrdensiteten varierer mellom $292,63\text{kg/m}^3$ – $304,70\text{kg/m}^3$.

Tabell 4.4 Løst lagret densitet - Jarle bru

| Jarle bru | Våt [kg/m ³] | Tørr [kg/m ³] | Vanninnhold [%] |
|--------------|-----------------------------|------------------------------|--------------------|
| Hull 1 – 1 | 389,62 | 300,55 | 30 % |
| Hull 1 – 2 | 411,02 | 300,87 | 37 % |
| Hull 2 – 1 | 424,24 | 304,70 | 39 % |
| Hull 2 – 2 | 416,95 | 301,95 | 38 % |
| Hull 2 – 3 | 399,21 | 292,63 | 36 % |
| Hull 3 – 1 | 403,50 | 295,70 | 36 % |
| Hull 3 – 2 | 402,09 | 296,73 | 36 % |
| Gjennomsnitt | 406,66 | 299,02 | 36 % |

Tabell 4.5 viser en oversikt over løst lagret densitet fra fylling ved Borgekrysset.

Tørrdensiteten varierer mellom $298,93\text{kg/m}^3$ – $317,03\text{kg/m}^3$. Her er det ikke tatt med vann tapt i lagring på hull 2, det vil si at prøven muligens ville vært litt lettere, men det antas at denne feilen er liten. Våtdensitetene varierer ikke i så stor grad.

Tabell 4.5 Løst lagret densitet - Borgekrysset

| Borgekrysset | Våt [kg/m ³] | Tørr [kg/m ³] | Vanninnhold [%] |
|--------------|-----------------------------|------------------------------|--------------------|
| Hull 1 – 1 | 399,14 | 317,03 | 26 % |
| Hull 2 – 1 | 391,13 | 298,93 | 31 % |
| Gjennomsnitt | 395,14 | 307,98 | 28 % |

Tabell 4.6 viser gjennomsnittet fra løst lagret densitets-analysene fra Borgekrysset og Jarle bru. Det er ikke sikkert at det er riktig å se på gjennomsnittet, antall fyllinger er for få til å kunne konkludere, men det vil gi en pekepinn på hvilke løst lagrete densiteter som kan forventes å finne i en komprimert fylling. Densitetene varierer litt, tørrdensiteten ved Jarle bru er på $299,02\text{kg/m}^3$ og ved Borgekrysset $307,50\text{kg/m}^3$.

Tabell 4.6 Løst lagret densitet - lettklinker

| Lettklinker | Våt [kg/m ³] | Tørr [kg/m ³] | Vanninnhold [%] |
|--------------|-----------------------------|------------------------------|--------------------|
| Jarle bru | 406,66 | 299,02 | 36 % |
| Borgekrysset | 395,14 | 307,98 | 28 % |
| Gjennomsnitt | 400,90 | 303,50 | 32 % |

4.1.3 Vanninnhold

Mulig usikkerhet i veiing av materialene og eventuell fordamping av vann før prøvetaking og ved lagring vil kunne påvirke resultatene. Det er noe grus som har forurenset massene vil også kunne påvirke vanninnholdet i materialene. Analysene er utført etter prosedyre beskrevet i kapittel 3.2.3. Tabell 4.7 viser variasjonen i vanninnhold i lettklinkerfyllingen ved Jarle bru. Målingene varierer mellom 30%-41% som gir et totalt gjennomsnitt på 35% vanninnhold.

Tabell 4.7 Vanninnhold Jarle bru

| Jarle bru | Hull 1 | Hull 2 | Hull 3 | |
|---------------|--------|--------|--------|------|
| Løst lagret 1 | 30 % | 39 % | 36 % | |
| Løst lagret 2 | 37 % | 38 % | 36 % | |
| Løst lagret 3 | | 36 % | | |
| In situ 1 | 29 % | 37 % | 33 % | |
| In situ 2 | 37 % | 41 % | | |
| In situ 3 | | 29 % | | |
| Gjennomsnitt | 33 % | 37 % | 35 % | 35 % |

Tabell 4.8 viser variasjonen i målt vanninnhold i fyllingen ved Borgekrysset. Hull 1 ser ut til å ha et jevnt vanninnhold, hull 2 ser imidlertid ut til å ha et mer varierende vanninnhold. Vanninnholdet varierer fra 26%-36%. Dette gir et gjennomsnitt på 30%. Det er ikke inkludert vann tapt ved lagring av materialene fra hull 2. Dette vanntapet antas å ha liten påvirkning på resultatet. Vanninnholdet målt i fyllingene med lettklinker varierer mellom 26% og 41%. Gjennomsnittet fra fyllingene viser et vanninnhold på 30%- 35%.

Tabell 4.8 Vanninnhold - Borgekrysset

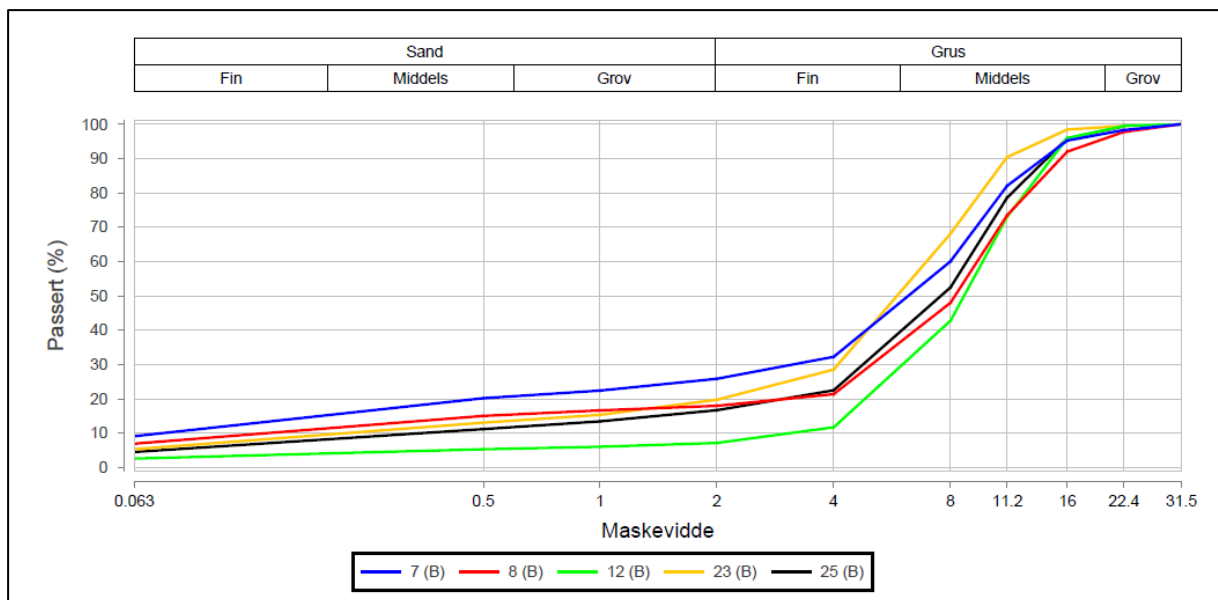
| Borgekrysset | Hull 1 | Hull 2 | |
|---------------|--------|--------|------|
| Løst lagret 1 | 26 % | 31 % | |
| In situ 1 | 26 % | 36 % | |
| Gjennomsnitt | 26 % | 33 % | 30 % |

4.1.4 Korngradering

Resultatene kan ha blitt påvirket av nedknusning ved prøvetakning og transport i tillegg til nedknusning under selve forsøket, hovedsakelig nedknusning ved maskinell sikting.

Analysene er utført etter prosedyre beskrevet i kapittel 3.2.4.

Det er valgt å se på resultatene i samleplott, for enkeltplott av grafene, se vedlegg 5 f og g. Etterfølgende Figur 4.1 viser resultatene fra korngraderingsanalysene på lettklinker fra Jarle bru og Borgekrysset. Kurvene er litt forskjellige, finstoffmengde <2mm varierer mellom ca. 7% og 25%. Imidlertid har kurvene relativt sammenfallende kurveforløp, dette tyder på at nedknusningen av materialene i fylling oppfører seg forholdsvis likt fra fylling til fylling.



Figur 4.1 Korngradering Jarle bru og Borgekrysset

Alle korngraderingene er tatt fra prøven; løst lagret 1. Prøve 7 og 8 er fra Borgekrysset, henholdsvis hull 1 og hull 2. Prøve 12, 23 og 25 er fra Jarle bru. Prøve 12 er fra hull 2, prøve 23 er fra hull 3 og prøve 25 er fra hull 1.

4.2 Resultater eksisterende veifyllinger –Skumglass

4.2.1 In situ densitet

In situ densiteten er påvirket av varierende vanninnhold, komprimeringsgrad og nedknusning av materialet i fyllingen. Prøveresultatene kan være unøyaktige på grunn oppressing av materialer under prøvetakningen. Dette vil kunne føre til en løsere lagring av materialet. Mulig usikkerhet i målingene ned til materialene og veiing av prøven vil også kunne påvirke resultatene. Analysene er utført etter prosedyre beskrevet i kapittel 3.2.1.

Tabell 4.9 viser en oversikt over in situ densitetsresultatene fra fylling ved Krosbykrysset. Våtdensitetene varierer mellom 2,93kN/m³ - 4,00kN/m³. Det er liten variasjon i densiteten innenfor hvert hull, men det varierer litt mellom hullene.

Tabell 4.9 In situ densitet - Krosbykrysset

| Krosbykrysset | Våt [kN/m ³) | Tørr [kN/m ³) | Vanninnhold [%] |
|---------------|-----------------------------|------------------------------|--------------------|
| Hull 1 – 1 | 2,99 | 2,41 | 24 % |
| Hull 1 – 2 | 2,93 | 2,32 | 26 % |
| Hull 2 – 1 | 3,47 | 2,93 | 18 % |
| Hull 2 – 2 | 4,00 | 3,29 | 21 % |
| Gjennomsnitt | 3,35 | 2,74 | 23 % |

4.2.2 Løst lagret densitet

Mulig usikkerhet i målingene ned til materialene og veiing av prøven vil kunne påvirke resultatene. Densitetsresultatene varierer hovedsakelig på grunn av nedknusning av materialene. Det er også noe grus som har forurenset massene. Analysene er utført etter prosedyre beskrevet i kapittel 3.2.2.

Tabell 4.10 viser en oversikt over løst lagret densitetsanalyser fra fylling ved Krosbykrysset. Resultatene av tørrdensiteten varierer mellom 282,27kg/m³ og 315,55kg/m³. Resultatene fra hull 2 er muligens unøyaktige, fordi standarden ikke er fulgt i dette tilfellet. Det er brukt prøvebeholder på 2*10 liter istedenfor 20 liter. Dette kan være uegnet til materialer med øvre

kornstørrelse $\geq 60\text{mm}$ (Statens vegvesen, 2015). I hull 1 inneholdt prøve 1 litt asfaltklumper. Dette vil kunne øke tørrdensiteten. Fra Krosbykrysset ble det testet kun en løst lagret densitet pr. prøve, ifølge håndbok R210 (Statens vegvesen, 2015), bør tre parallelle prøver analyseres.

Tabell 4.10 Løst lagret densitet - Krosbykrysset

| Krosbykrysset | Våt [kg/m ³] | Tørr [kg/m ³] | Vanninnhold [%] |
|---------------------|-----------------------------|------------------------------|--------------------|
| Hull 1 - 1 | 336,18 | 282,27 | 19 % |
| Hull 1 - 2 | 323,43 | 266,35 | 21 % |
| Hull 2 - 1 | 367,41 | 304,10 | 21 % |
| Hull 2 - 2 | 381,06 | 315,55 | 21 % |
| Gjennomsnitt | 352,02 | 292,07 | 21 % |

4.2.3 Vanninnhold

Mulig usikkerhet i veiingene av materialene og eventuell fordamping av vann før prøvetaking og ved lagring vil kunne påvirke resultatene. Det er noe asfaltklumper som har forurenset massene. Dette vil også kunne påvirke vanninnholdet i materialene. Analysene er utført etter prosedyre beskrevet i kapittel 3.2.3.

Tabell 4.11 viser variasjonen i målt vanninnhold i fyllingen ved Krosbykrysset. Hull 1 ser ut til å ha et litt varierende vanninnhold, hull 2 ser imidlertid ut til å ha et jevnere vanninnhold. Vanninnholdet varierer fra 18%-26%, dette gir et gjennomsnitt på 22%.

Tabell 4.11 Vanninnhold - Krosbykrysset

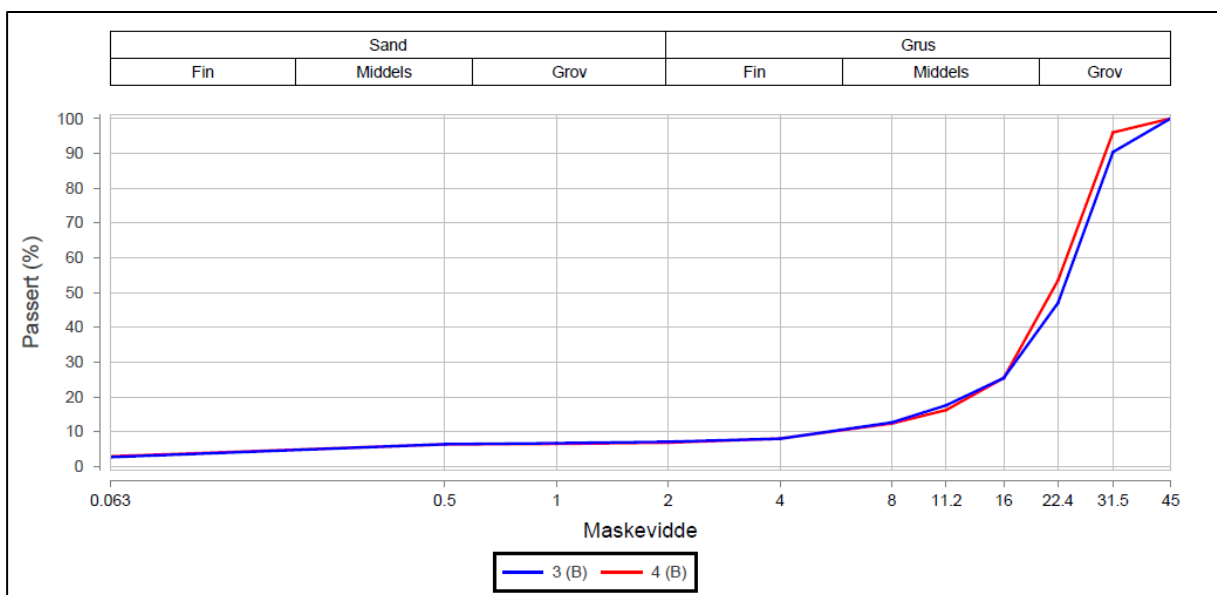
| Krosbykrysset | Hull 1 | Hull 2 | |
|---------------------|-------------|-------------|-------------|
| Løst lagret 1 | 19 % | 21 % | |
| Løst lagret 2 | 21 % | 21 % | |
| In situ 1 | 24 % | 18 % | |
| In situ 2 | 26 % | 21 % | |
| Gjennomsnitt | 23 % | 20 % | 22 % |

4.2.4 Korngradering

Resultatene kan ha blitt påvirket av nedknusning ved prøvetakning og transport i tillegg til nedknusning under selve forsøket, hovedsakelig nedknusning ved maskinell sikting.

Analysene er utført etter prosedyre beskrevet i kapittel 3.2.4.

Det er valgt å samle resultatene i samleplott, for mer informasjon om plottet, se vedlegg 6 c. Etterfølgende Figur 4.2 viser resultatene fra korngraderingsanalysene på skumglass ved Krosbykrysset. Kurvene har sammenfallende kurveforløp. Dette tyder på at nedknusningen av materialene i fyllingen er jevn i fyllingen. Finstoffmengde <2mm ligger på ca. 7%. Dette kan komme av at finstoff kan ha sunket i fyllingen da materialene ble komprimert i felt. Det lave finstoffet kan også bety at materialet er blitt lite nedknust under analyseprosessen. Skumglass har en kornstørrelse på 10-60mm. Materialets største kornstørrelse ligger på 45mm. Og ca. 12% av materialet har 8mm siktet. Dette tyder på at de største kornstørrelsene knuses ned til mindre korn under komprimering og veibygging.



Figur 4.2 Korngradering Krosbykrysset

Alle korngraderingene er tatt fra løst lagret 1. Prøve 3 er fra hull 1, prøve 4 er fra hull 2.

4.3 Resultater nye materialer rett fra fabrikk - Lettklinker

4.3.1 Løst lagret densitet

En oversikt over løst lagret densitet målt før alle ødometeranalysene, rett fra sekk vises i Tabell 4.12. Densiteten varierer mellom 291,4kg/m³ og 309,5kg/m³. Dette gir et gjennomsnitt på 298,8kg/m³. Variasjonen kan komme av at prøvene er tatt fra forskjellige deler av sekken og at det kan ha skjedd spredning av materialene under transport og prøvetaking av materialene. Det er også utfordrende og rette ut overflaten perfekt, da materialene har store kornstørrelser. Analysene er utført etter prosedyre beskrevet i kapittel 3.2.2.

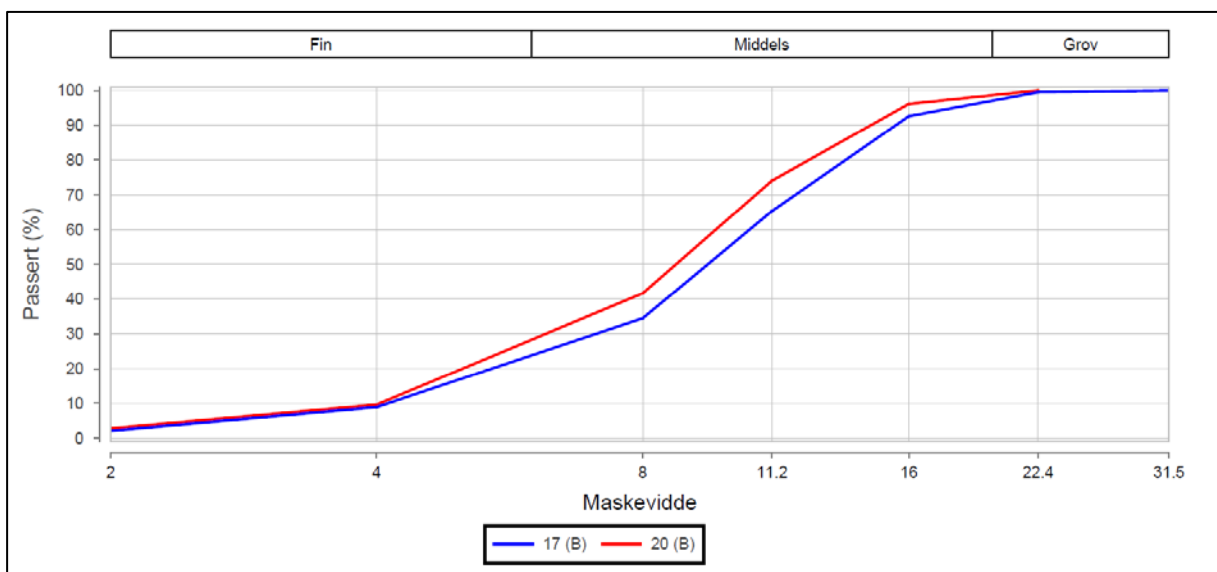
Tabell 4.12 Løst lagret densitet – lettklinker

| Prøve: | Løst lagret densitet [kg/m ³] |
|--------------|--|
| 1 | 309,5 |
| 2 | 295,4 |
| 3 | 291,4 |
| Gjennomsnitt | 298,8 |

4.3.2 Korngradering

Resultatene kan ha blitt påvirket av nedknusning under transporten av materialene, i tillegg til nedknusning under selve forsøket, hovedsakelig nedknusning under ødometerforsøket og ved maskinell sikting av materialene. Analysene er utført etter prosedyre beskrevet i kapittel 3.2.4.

Figur 4.3 viser siktekurver for lettlinker før og etter første ødometerforsøk. Kurvene viser at materialene i liten grad blir synlig nedknust ved komprimeringen og belastning opp til 400kPa. Grafen viser tendenser til at det er de største kornstørrelsene som knuses ned til mindre kornstørrelser og at lite finstoff blir dannet i prosessen.



Figur 4.3 Korngradering lettlinker - urørt materiale og etter ødometeranalyse

Prøve 17 er korngradering av representativ lettlinkerprøve rett fra sekk levert fra fabrikk og prøve 20 er korngradering fra prøve av materialene, tatt etter ødometeranalysen på første ødometer på lettlinker.

4.3.3 Ødometer

Resultatene og beregninger som er utført fra prøvene er gitt i vedlegg 7. Det er valgt å kommentere resultatene samlet. Det er sett bort fra vanninnhold på prøvene, da det er antatt at vanninnholdet er lavt og vil påvirke resultatene i liten grad. Videre kan resultatene ha blitt påvirket av at materialene kan ha blitt for mye komprimert, materialene kan også ha blitt litt skeivkomprimert, da komprimeringsutstyret hoppet ut av sporet i et par tilfeller. Resultatene kan også ha blitt påvirket av friksjon mellom stempel og ødometercelle. Analysene er utført etter prosedyre beskrevet i kapittel 3.2.5.

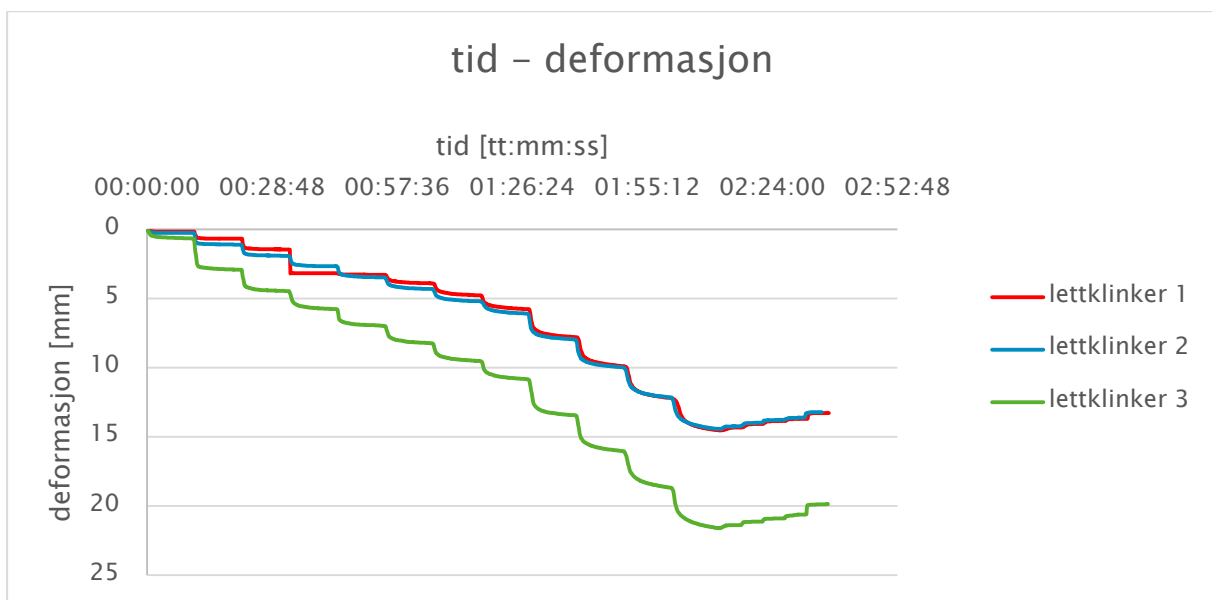
Komprimering

Tabell 4.13 viser løst lagret densitet fra sekk, komprimert densitet og komprimeringsfaktoren for komprimeringen av lettklinker i ødometeret. Løst lagret densitet er litt større enn oppgitt tørrdensitet fra leverandøren, som er på 275kg/m^3 , men ligger innen +15%, så det er innenfor kravene. Komprimeringsfaktoren er regnet ut fra gjennomsnittlig løst lagret densitet målt fra sekk. Komprimeringen avviker fra den tilsiktede tørrdensiteten, som var en komprimeringsfaktor på 1,08-1,12.

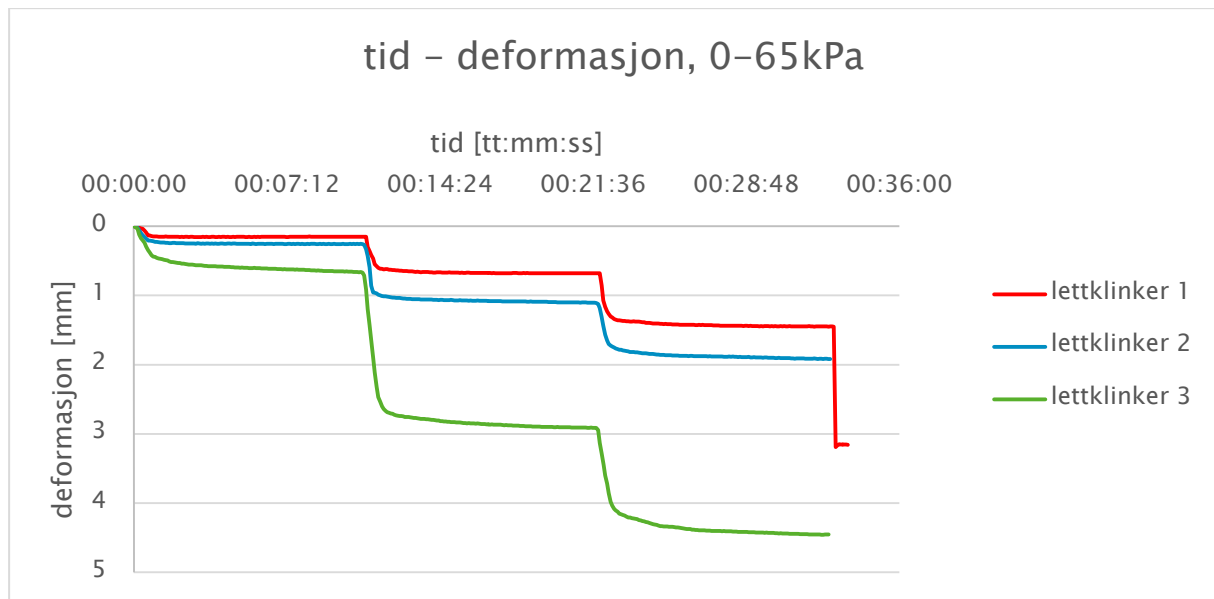
Tabell 4.13 Komprimering - ødometer

| Prøve: | Løst lagret densitet [kg/m ³] | Komprimert densitet [kg/m ³] | Komprimeringsfaktor |
|--------|--|---|---------------------|
| 1 | 298,76 | 355,5 | 1,19 |
| 2 | 298,76 | 348,3 | 1,17 |
| 3 | 298,76 | 342,3 | 1,15 |

Figur 4.4 viser tid –deformasjonskurvene for ødometerforsøkene på lettklinker. Prøve 1 og 2 har sammenfallende kurveforløp, med en deformasjon på ca. 15mm ved 400kPa. Prøve 3 avviker i stor grad fra prøve 1 og 2 med en deformasjon på ca. 21mm ved 400kPa. Trinntiden på lasttrinnene er brukbare, da kurvene er relativt flatet ut ved slutten av hvert lasttrinn. Figur 4.5 viser samleplott for tid –deformasjonskurver for lettklinker innenfor det praktiske belastningsnivået på ca. 0-65kPa. I følge Murad Sayd, senioringeniør i Statens vegvesen, ligger det praktiske belastningsnivået mellom 0-75kPa. Her er det praktiske belastningsnivået satt til 0-65kPa på grunn av reduksjon i spenning med hensyn på friksjon. Plottet viser en deformasjon på 1,5-2mm for prøve 1 og 2 og en deformasjon på 4,5mm for prøve 3. Et raskt skifte i trinnlasten ved 65kPa påvirker resultatene videre i de neste trinnene for prøve 1.

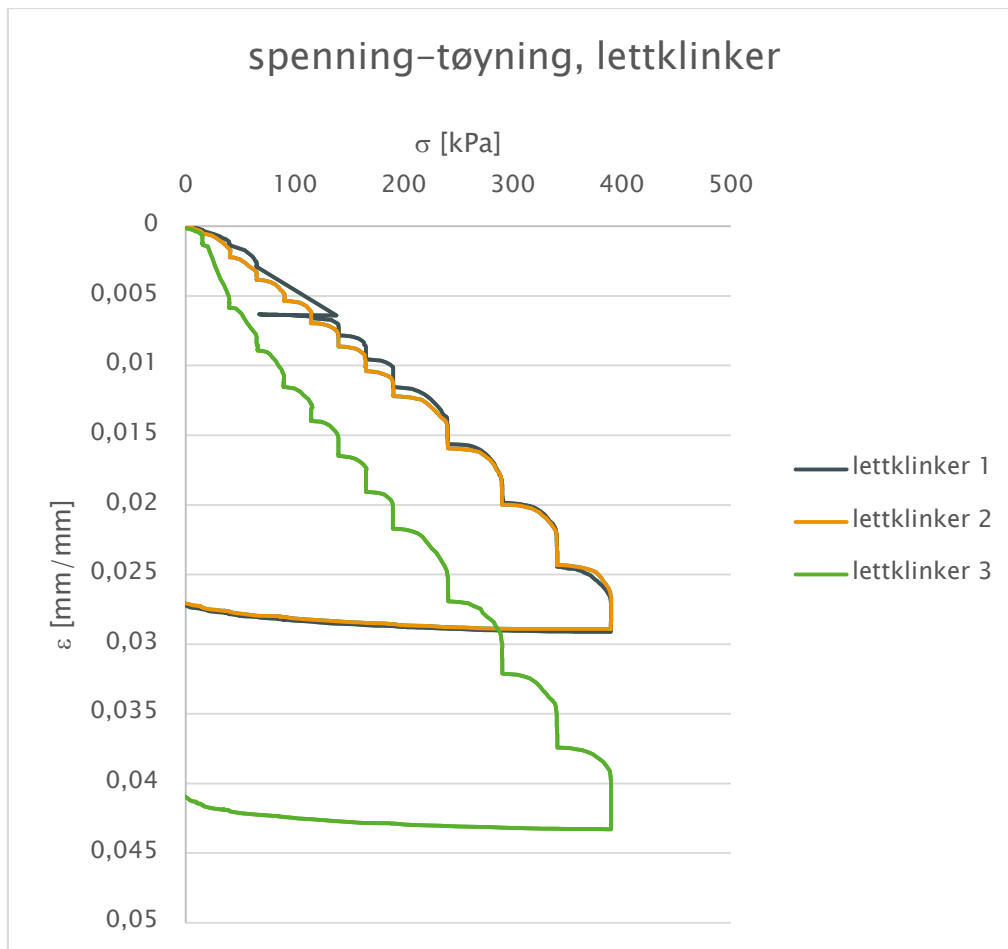


Figur 4.4 Samleplott, tid - deformasjon, lettklinker

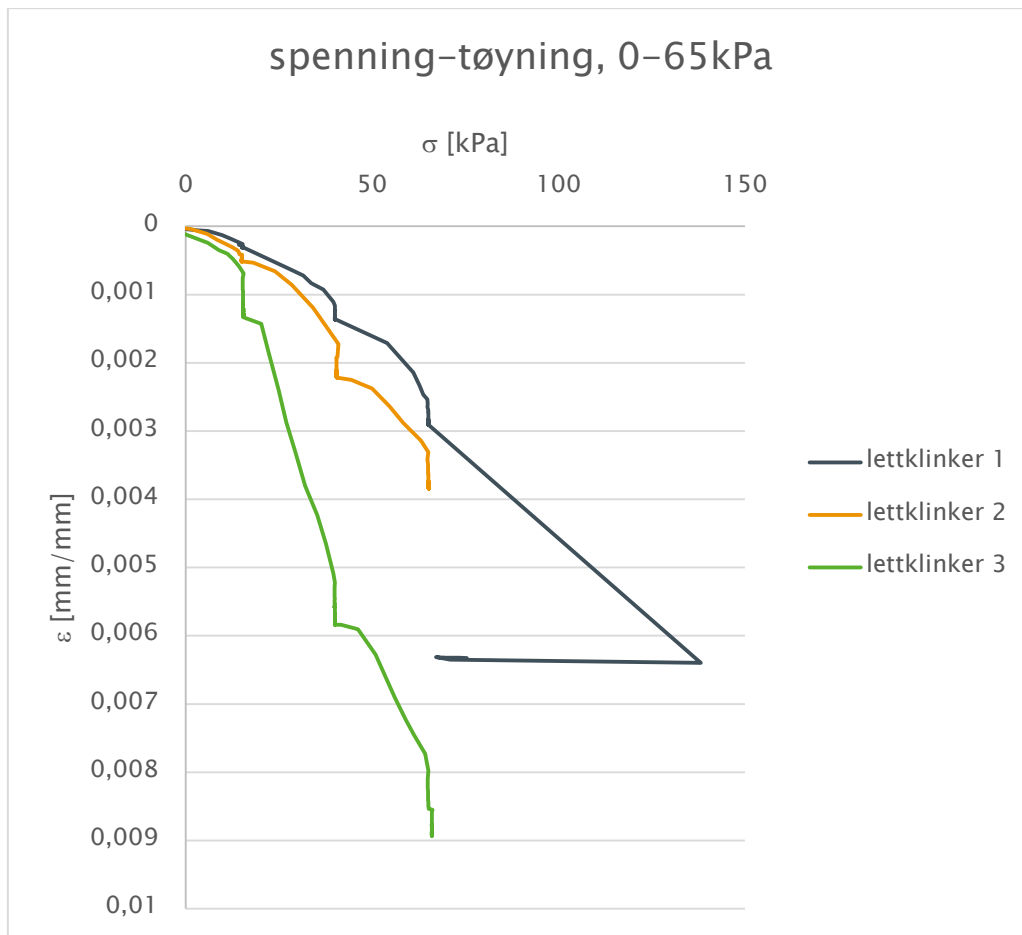


Figur 4.5 Samleplott, tid - deformasjon, lettlinker, 0-65kPa

Figur 4.6 viser spenning-tøyningsskurvene for ødometerforsøkene på lettlinker. Spenningen er redusert med 10kPa for å ta hensyn til friksjonen i ødometeret. Figur 4.6 viser det samme som Figur 4.4, at prøve 1 og 2 følger tilnærmet samme kurveforløp og at kurve 3 skiller seg ut. Ved forsøk 1 skjedde et plutselig fall i spenningen. Dette kan sees tydelig på kurven. Spenningsfallet har påvirket resultatene de neste lasttrinnene og videre har kurvene til 1 og 2 sammenfalt godt. Ved maksimal belastning på 400kPa på kurve 1 og 2 er tøyningen på i underkant av 3%, mens prøve 3 har en tøyning på i underkant av 4,5%. Kurvene viser at det under avlastning er lite endring i tøyningene, dette gir en indikasjon på at de opptredende deformasjonene i materialene er plastiske. Figur 4.7 viser samleplott for spenning-tøyningsskurvene for ødometerforsøkene på lettlinker for det praktiske belastningsnivået på ca. 0-65kPa. Sett bort fra den plutselige endringen i spenningen følger forsøk 1 og 2 ca. samme kurveforløp, men er litt forskjøvet i forhold til hverandre. Prøve 3 har større tøyningseendringer.

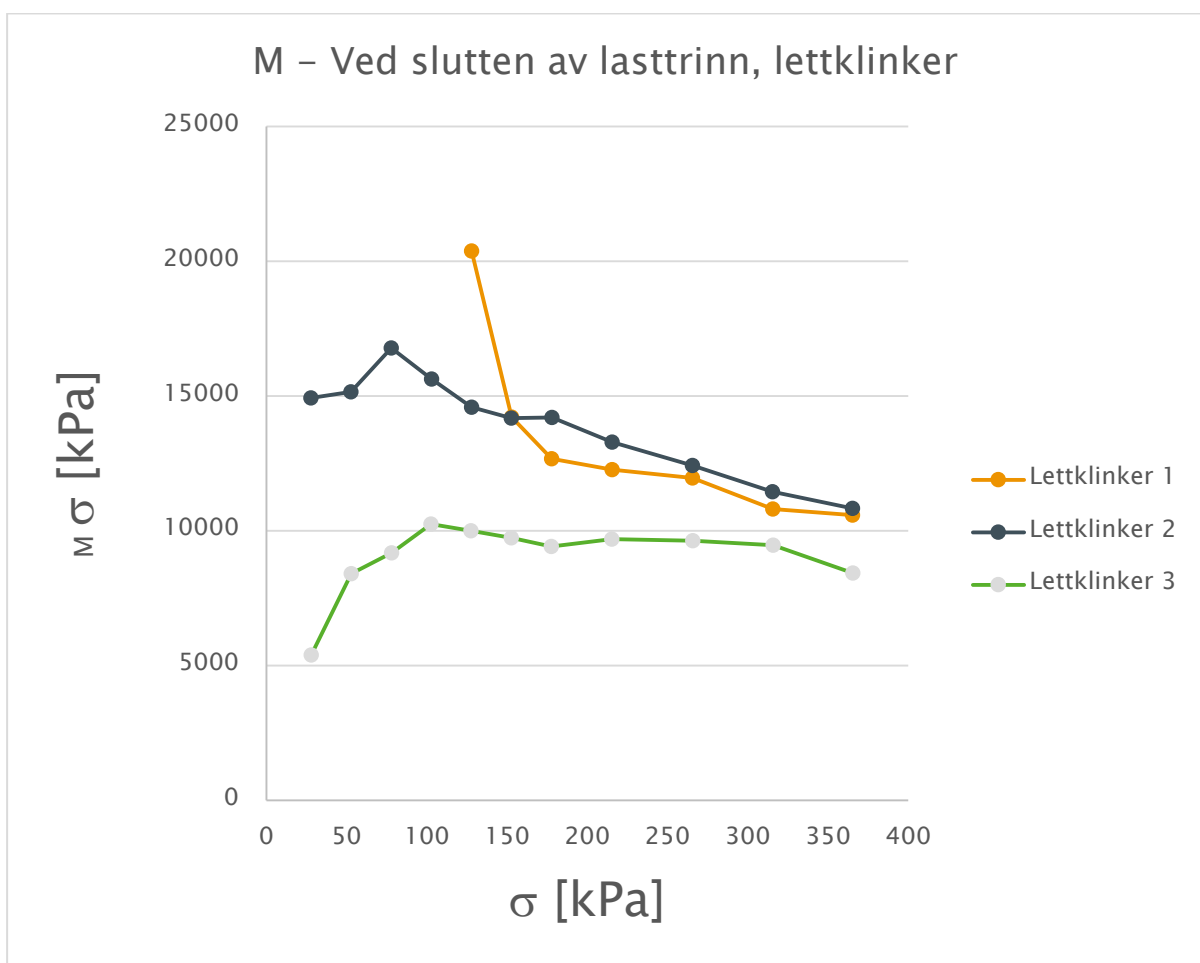


Figur 4.6 Samleplott, spenning - tøyning, lettklinker



Figur 4.7 Samleplott, spenning - tøyning, lettklinker, 0-65kPa

Figur 4.8 viser spenning-ødometermodulkurvene for ødometerforsøkene på lettklinker. Beregningene som disse kurvene er basert på og enkeltkurver er vist i vedlegg 7. Modulen fra de tre forsøkene på spenninger over 250kPa er relativ lik i alle forsøkene, på ca. 10MPa, og relativt konstant. Dette indikerer at materialene i liten grad omlagres eller knuses ved disse spenningene. For spenninger under 250kPa varierer verdiene i stor grad. Dette kan komme av den varierende startfriksjonen mellom stempel og ødometercelle. Disse verdiene er fjernet fra Figur 4.8, men kan finnes i vedlegg 7c. Den høye modulen på kurve 1 kommer av det plutselige fallet i spenning som kan sees i Figur 4.6.

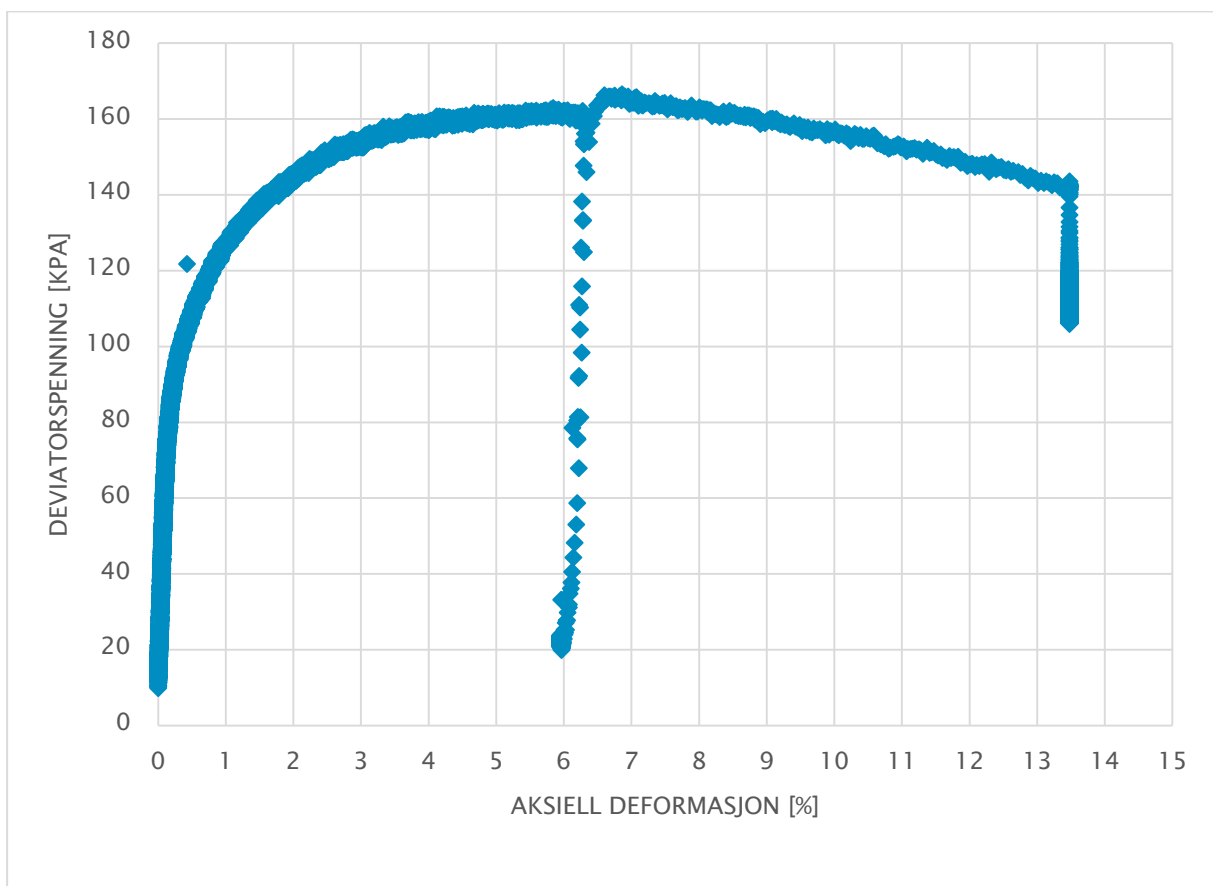


Figur 4.8 Samleplott, spenning - ødometermodul, lettklinker

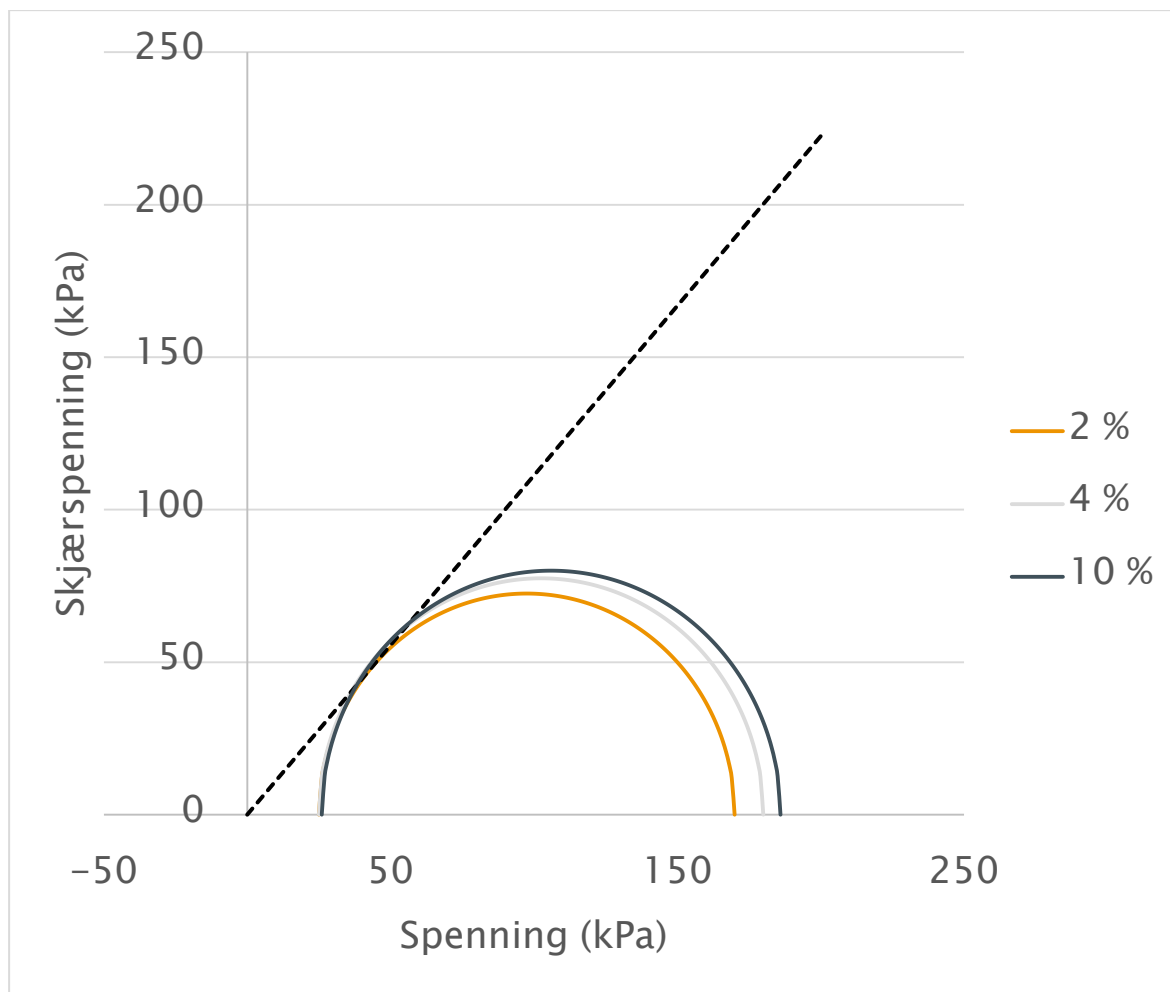
4.3.4 Treaksialforsøk

Fra forsøket fremstilles aksiell deformasjon i forhold til deviatorspenning i Figur 4.9. Droppet ved 6% deformasjon skyldes at hydraulikkagregatet ble stoppet på grunn av en grenseverdi som var satt for lavt og ble overskredet. Hydraulikken ble startet igjen og programmet fortsatte fra samme sted. Resultatene er ikke korrigert for motstand i gummi huden. Denne motstanden antas å påvirke resultatene i liten grad. Analysene er utført etter prosedyre beskrevet i kapittel 3.2.6.

Figur 4.10 viser resultatene fra treaksialforsøket på lettklinker plottet i et Mohr-diagram og tolket ut med Coulomb-kriteriet som bruddkriterium. Friksjonsvinkelen tolket ved 2% tøyning er tegnet inn på plottet. Linjen har en skjæring gjennom attraksjonspunktet, antatt $a=0$, og en helning, $\tan \phi$, der ϕ (friksjonsvinkelen) er 48° . Tabell 4.14 viser parameterne fra forsøket og tilhørende tolkede friksjonsvinkler ved 2%, 4% og 10% tøyning.



Figur 4.9 Treaksialforsøk lettklinker



Figur 4.10 Treaksialforsøk lettklinker

Tabell 4.14 Friksjonsvinkler for lettklinker

| | σ_3 (kPa) | σ_d (kPa) | σ_1 (kPa) | ρ | α | ϕ |
|-------------|---------------------|---------------------|---------------------|--------|----------|----------|
| 2 % | 25 | 145 | 170 | 72,5 | 97,5 | 48,03811 |
| 4 % | 25 | 160 | 185 | 80 | 105 | 49,63241 |
| 10 % | 25 | 155 | 180 | 77,5 | 102,5 | 49,12136 |

4.4 Resultater nye materialer rett fra fabrikk -Skumglass

4.4.1 Løst lagret densitet

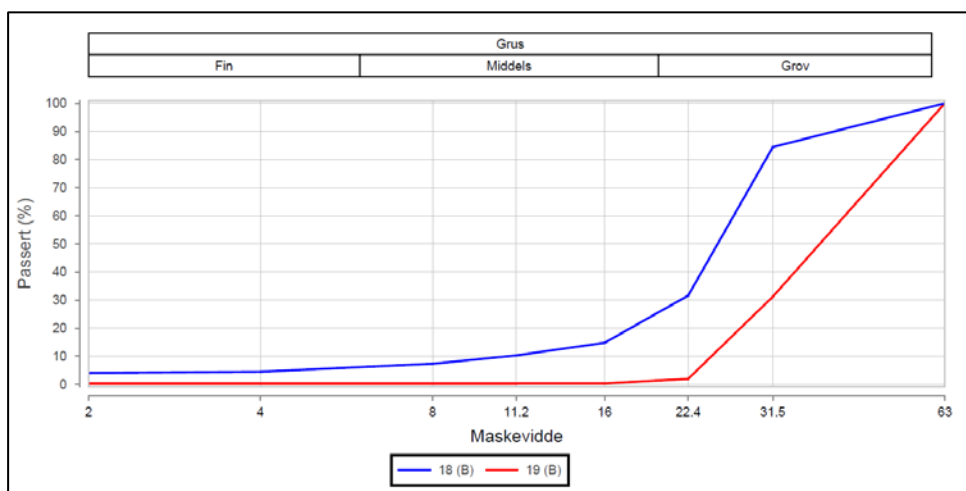
En oversikt over løst lagret densitet målt før alle ødometeranalysene, rett fra sekk, vises i Tabell 4.15. Densiteten varierer mellom $182,9\text{kg/m}^3$ og $198,9\text{kg/m}^3$, dette gir et gjennomsnitt på $190,2\text{kg/m}^3$. Analysene er utført etter prosedyre beskrevet i kapittel 3.2.2.

Tabell 4.15 Løst lagret densitet - skumglass

| Prøve: | Løst lagret densitet [kg/m^3] |
|--------------|--|
| 1 | 198,9 |
| 2 | 188,9 |
| 3 | 182,9 |
| Gjennomsnitt | 190,2 |

4.4.2 Korngradering

Figur 4.11 viser siktekurver for skumglass før og etter første ødometerforsøk. Kurvene viser at materialene blir synlig nedknust ved komprimeringen og belastning opp til 400kPa. Grafen viser tendenser til at det er de største kornstørrelsene som hovedsakelig knuses ned til mindre kornstørrelser og at en del finstoff blir dannet i prosessen. Analysene er utført etter prosedyre beskrevet i kapittel 3.2.4.



Figur 4.11 Korngradering skumglass - urørt materiale og etter ødometeranalyse

Prøve 18 er korngradering av skumglassprøve etter første ødometeranalyse og prøve 19 er korngradering av representativ prøve rett fra sekk levert fra fabrikk.

4.4.3 Ødometer

Resultatene og beregninger som er utført fra prøvene er gitt i vedlegg 8. Det er valgt å kommentere resultatene samlet. Det er sett bort fra vanninnhold på prøvene, da det er antatt at vanninnholdet er lavt og vil påvirke resultatene i liten grad. Videre kan resultatene ha blitt påvirket av at komprimeringsgraden. Materialene kan også ha blitt litt skeivkomprimert, da komprimeringsutstyret hoppet ut av sporet ved et par tilfeller. Resultatene kan også ha blitt påvirket av friksjon mellom stempel og ødometercelle. Analysene er utført etter prosedyre beskrevet i kapittel 3.2.5

Komprimering

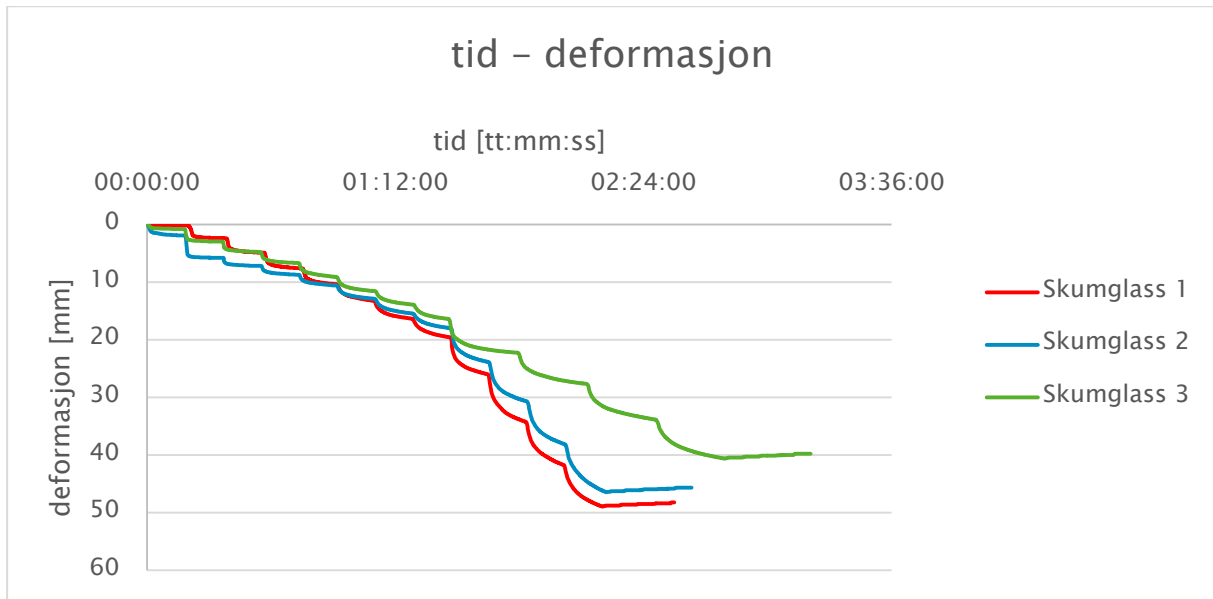
Løst lagret densitet er større enn oppgitt tørrdensitet fra leverandøren, som er på 180kg/m^3 , men ligger innen +15%, og er dermed innenfor kravene. Komprimeringen ligger innenfor og litt høyere enn den tilsiktete tørrdensiteten som var på 1,20-1,30. Komprimeringsgraden er regnet ut i forhold til gjennomsnittlig løst lagret densitet målt fra sekk.

| Prøve: | Løst lagret densitet [kg/m^3] | Komprimert densitet [kg/m^3] | Komprimeringsgrad |
|--------|--|---|-------------------|
| 1 | 190,2 | 251,4 | 1,32 |
| 2 | 190,2 | 227,5 | 1,20 |
| 3 | 190,2 | 237,9 | 1,25 |

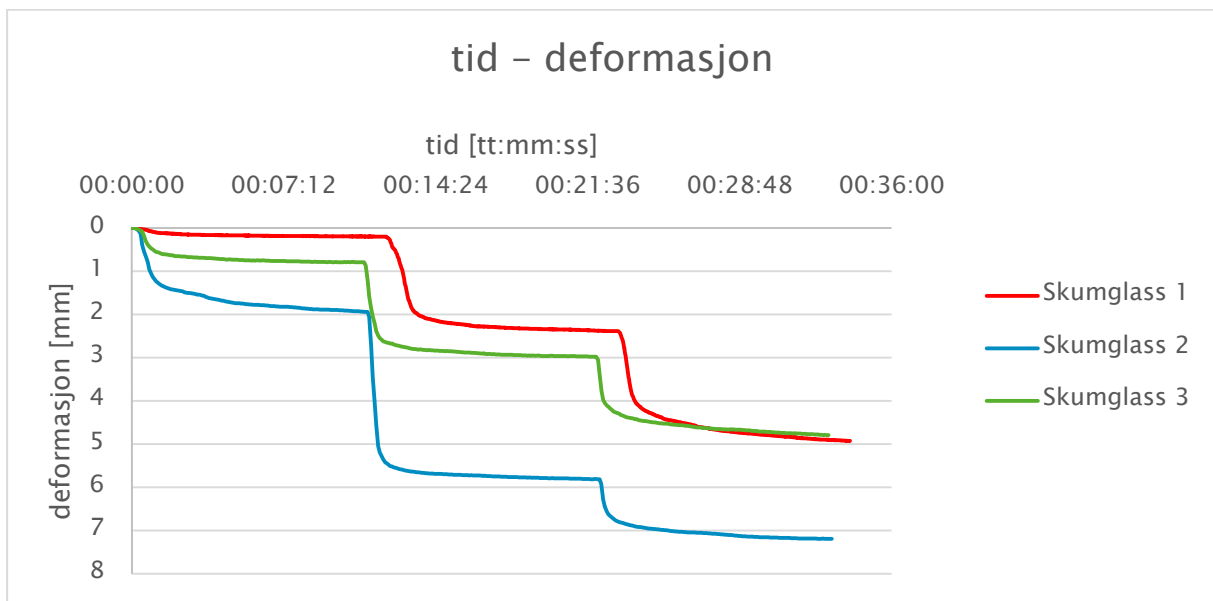
Figur 4.12 Komprimering - ødometer

Figur 4.13 viser tid –deformasjonskurvene for ødometerforsøkene på skumglass. Trinntiden på lasttrinnene er for korte og den endelige deformasjonen ved hvert lasttrinn er ikke oppnådd. Prøve 3 ser bedre ut, da det ble valgt å bruke lengre tid per lasttrinn. Heller ikke her er endelig deformasjon oppnådd. Ser en kun på lasttrinn 0-65kPa, Figur 4.14, ser det ut som endelig deformasjon for disse lasttrinn er oppnådd. Deformasjonene fra de forskjellige forsøkene varierer mellom 40mm for prøve 3, 45mm for prøve 2 og 48mm for prøve 1. Figur 4.14 viser samleplott for tid –deformasjonskurvene for skumglass innenfor det praktiske belastningsnivået på ca. 0-65kPa. Det praktiske belastningsnivået ligger mellom 0-75kPa ifølge Murad Sayd, senioringeniør i Statens vegvesen, her er det satt til 0-65kPa på grunn av reduksjon i spenning med hensyn på friksjon. Plottet viser en deformasjon på ca. 5mm på

prøve 1 og 3 og ca. 7mm for prøve 2. Fallet i prøve 1 ser ut til å ha påvirket deformasjonen i materialet på etterfølgende lasttrinn.



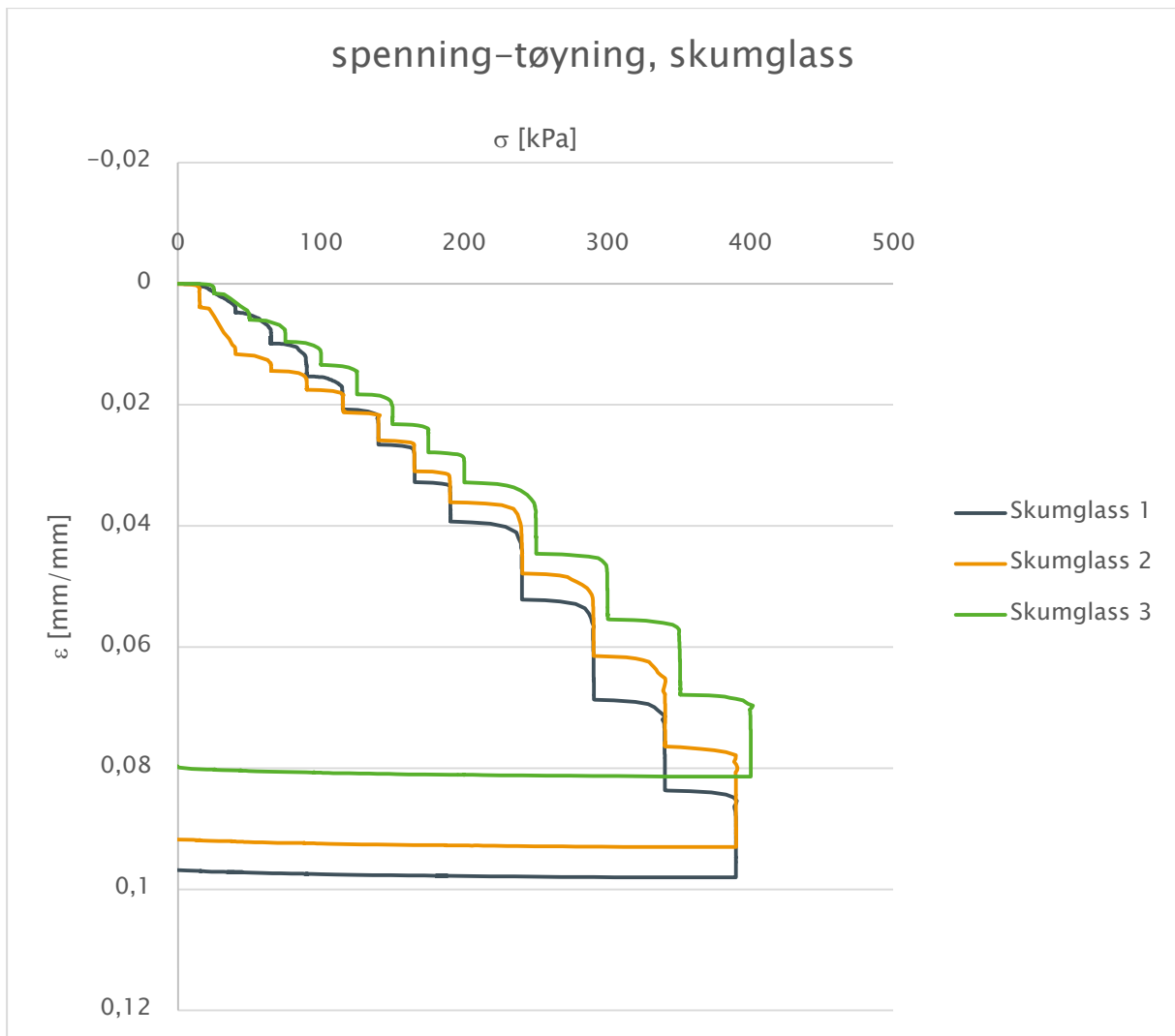
Figur 4.13 Samleplott, tid - deformasjon, skumglass



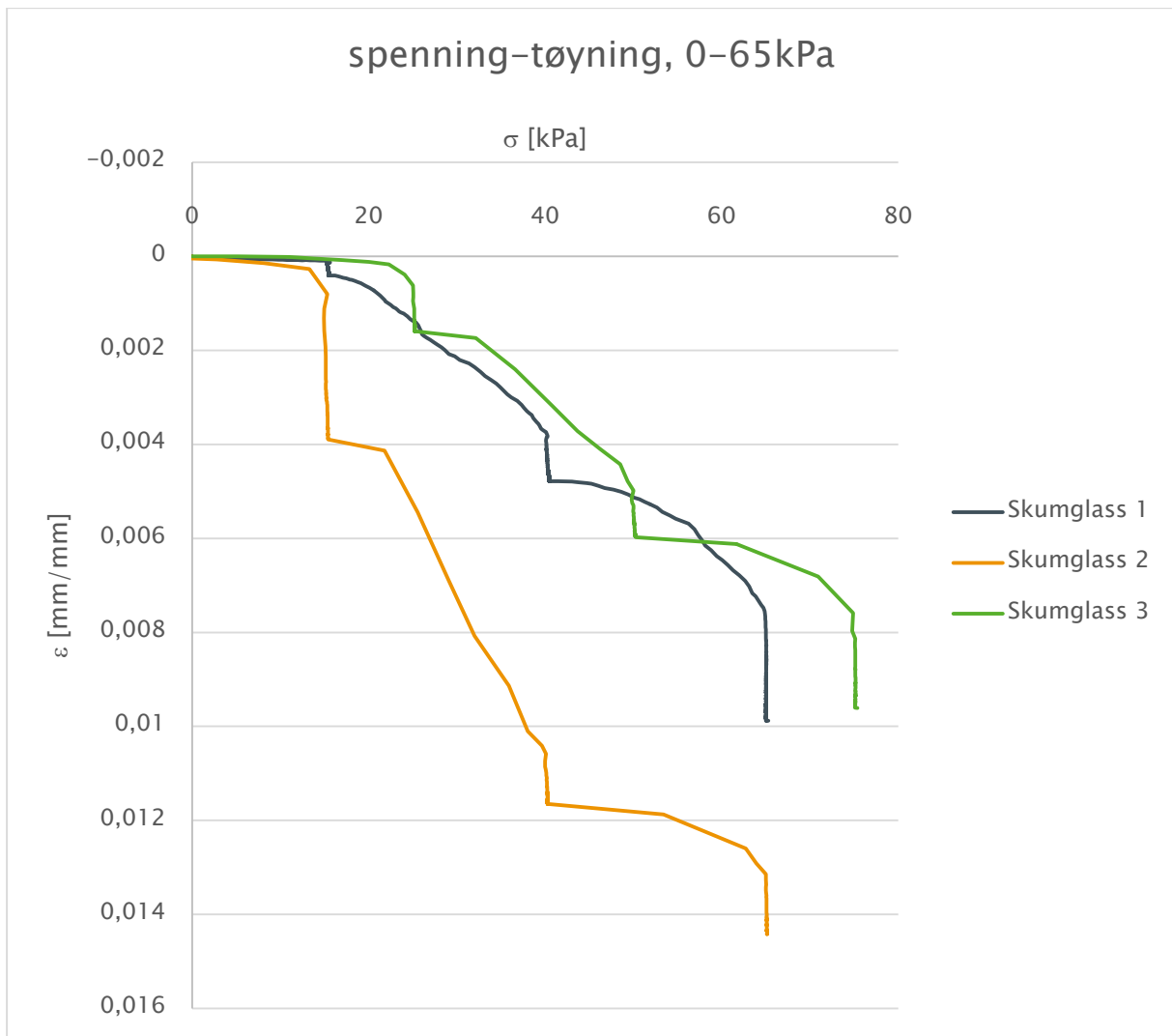
Figur 4.14 Samleplott, tid - deformasjon, skumglass, 0-65kPa

Figur 4.15 viser spenning-tøyningsskurvene for ødometerforsøkene på skumglass. Mellom spenninger på 0-100kPa er forsøk 1 og 3 tilnærmet sammenfallende, og forsøk 2 ligger litt lavere. Videre følger kurvene tilnærmet det samme kurveforløpet med litt forskyvning i forhold til hverandre. Ved maksimal belastning på 400kPa på prøvene ligger tøyningen mellom i overkant av 8% og underkant av 10%. Kurvene viser at ved avlastning er det lite endring i tøyningene. Dette gir en indikasjon på at de opptredende deformasjonene i materialene er plastiske.

Figur 4.16 viser samleplott for spenning-tøyningsskurvene for ødometerforsøkene på skumglass for det praktiske belastningsnivået på ca. 0-65kPa. Forsøk 1 og 3 har ca. samme spenninger på ca. 0,9% ved 65kPa. Prøve 2 har større tøyningsemdringer og har ca. 1,4% tøyning ved 65kPa.

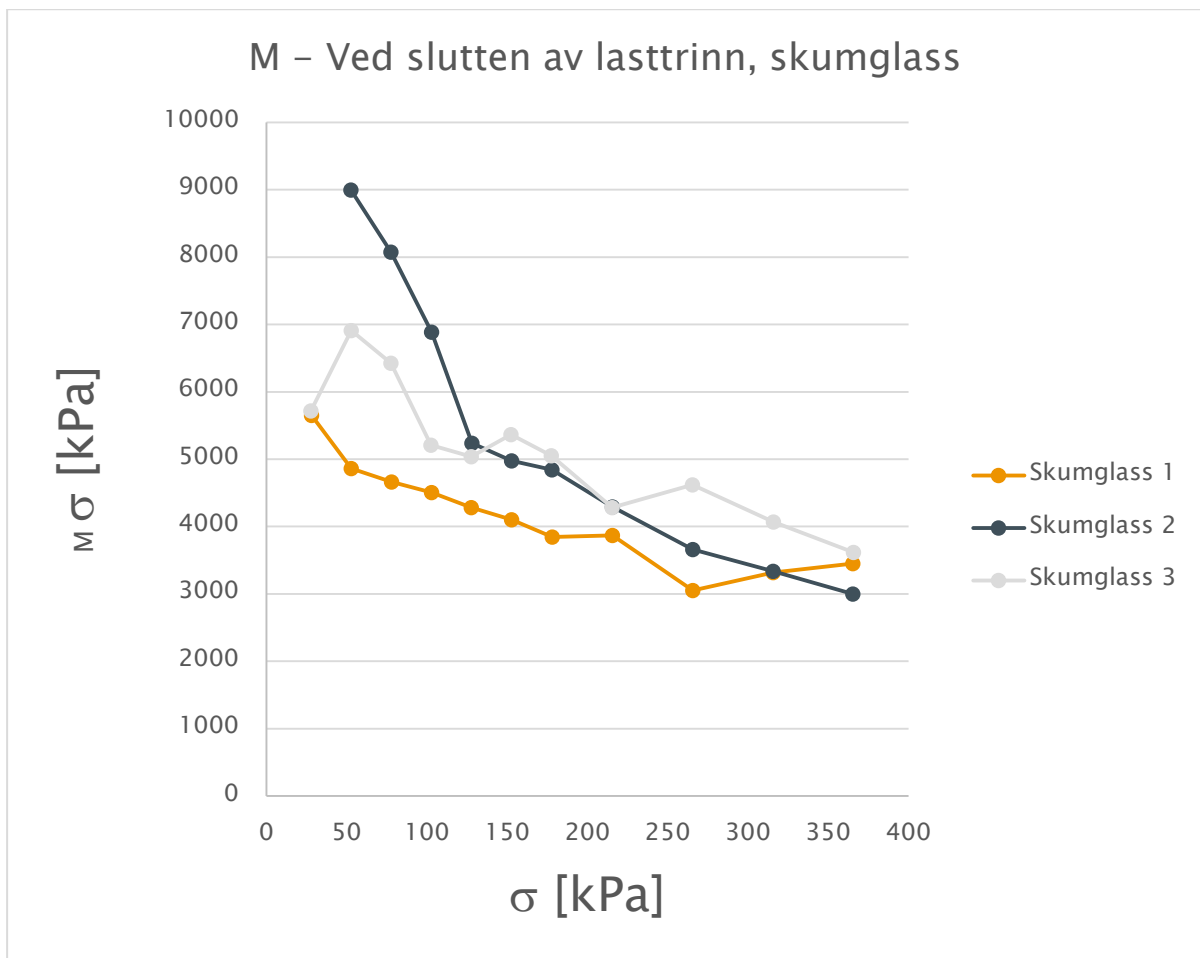


Figur 4.15 Samleplott, spenning - tøyning, skumglass



Figur 4.16 Samleplott, spenning - tøyning, skumglass, 0-65kPa

Figur 4.17 viser spenning-ødometermodulkurvene for ødometerforsøkene på skumglass. Beregningene som disse kurvene er basert på og enkeltkurver er vist i vedlegg 8. Modulen over 150kPa for forsøkene ligger rundt samme verdier fra ca. 4,5MPa og er svakt synkende til ca. 3,5MPa. Dette kan indikere at materialene knuses litt ved disse spenningene. For spenninger under 150kPa varierer verdiene i stor grad. Dette kan komme av den varierende starfriksjonen mellom stempel og ødometercelle. Disse verdiene er fjernet fra Figur 4.17 men kan finnes i vedlegg 8c.



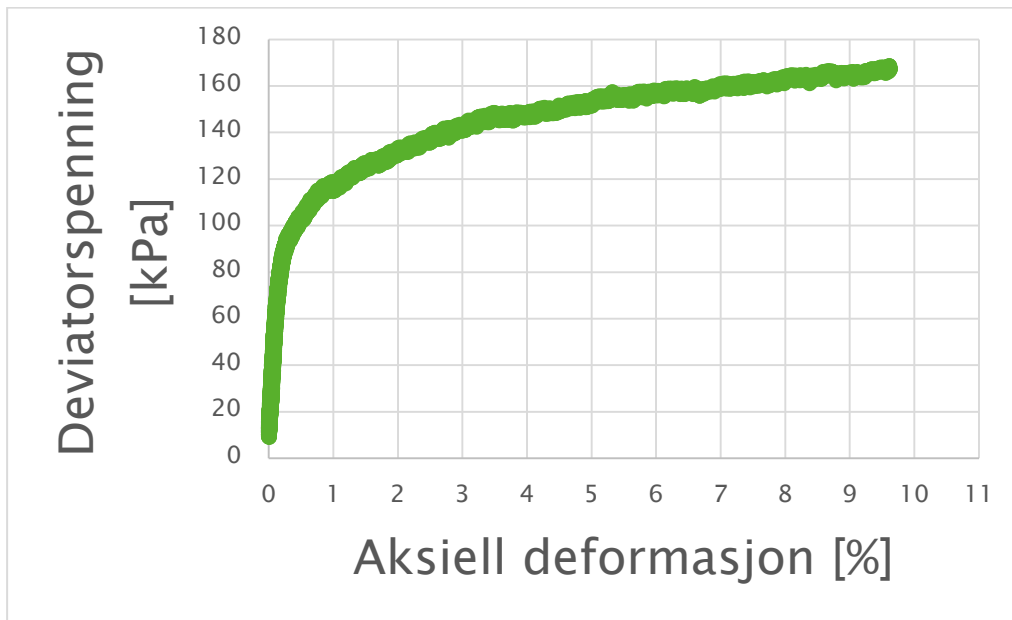
Figur 4.17 Samleplott, spenning - ødometermodul, skumglass

4.4.4 Treksialforsøk

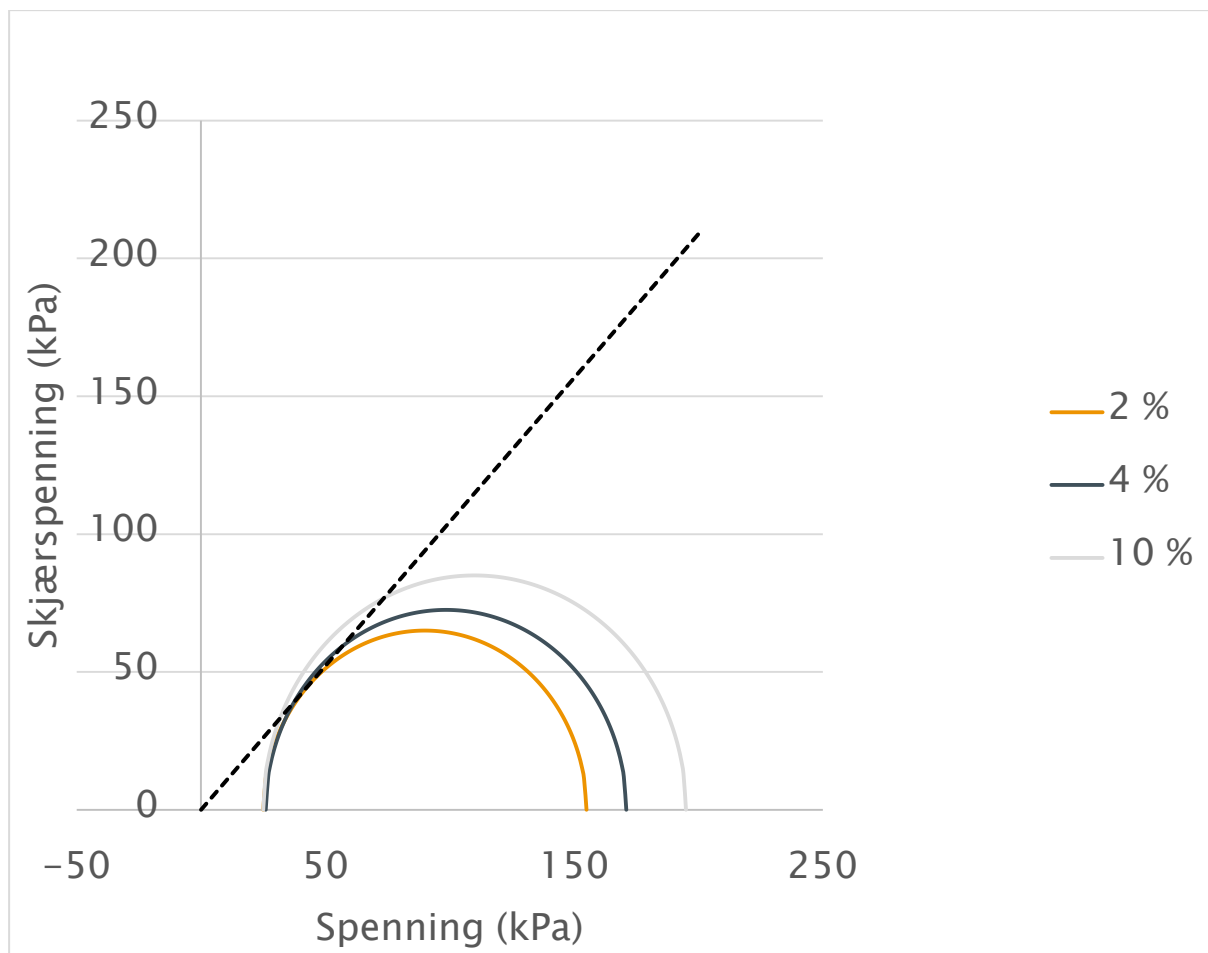
Fra forsøket fremstilles aksiell deformasjon i forhold til deviatorspenning i Figur 4.18.

Resultatene er ikke korrigert for motstand i gummimembranen. Denne motstanden antas å påvirke resultatene i liten grad. Analysene er utført etter prosedyre beskrevet i kapittel 3.2.6.

Figur 4.19 viser resultatene fra treksialforsøket på skumglass, plottet i et Mohr-diagram og tolket med Coulomb-kriteriet som bruddkriterium. Friksjonsvinkelen tolket ved 2% tøyning er tegnet inn på plottet. Linjen har en skjæring gjennom attraksjonspunktet, antatt $a=0$, og en helning, $\tan \phi$, der ϕ (friksjonsvinkelen) er 46° . Tabell 4.16 viser parameterne fra forsøket og tilsvarende tolkede friksjonsvinkler ved 2%, 4% og 10% tøyning.



Figur 4.18 Treksialforsøk skumglass



Figur 4.19 Treksialforsøk skumglass

Tabell 4.16 Friksjonsvinkler for skumglass

| | σ_3 (kPa) | σ_d (kPa) | σ_1 (kPa) | ρ | α | ϕ |
|-------------|---------------------|---------------------|---------------------|--------|----------|----------|
| 2 % | 25 | 130 | 155 | 65 | 90 | 46,23826 |
| 4 % | 25 | 145 | 170 | 72,5 | 97,5 | 48,03811 |
| 10 % | 25 | 170 | 195 | 85 | 110 | 50,59943 |

5 Sammenligning og diskusjon

I dette kapittelet blir resultatene som er presentert i kapittel 4 sammenstilt og vurdert. Tekniske spesifikasjoner, krav og erfaringsverdier nevnt i kapittel 2 legges til grunn for sammenlikningen og diskusjonen. I første omgang vil resultatene fra forsøkene på lettklinker bli presentert. Videre vil resultatene fra forsøkene på skumglass bli presentert. Dersom datagrunnlaget hadde vært større ville det vært mulig å trekke mer pålitelige konklusjoner.

5.1 Lettklinker

5.1.1 Eksisterende fyllinger

Resultater fra feltforsøkene for å finne **in situ densitet**, viser at våtdensitetene varierer mellom $3,5\text{kN/m}^3$ - $4,37\text{kN/m}^3$. Denne verdien kan sammenliknes med dimensjonerende tyngdetetthet i fylling for materialet, som nevnt i kapittel 2.1.1. Dimensjonerende tyngdetetthet i fylling varierer mellom $4,5\text{kN/m}^3$ - $5,5\text{kN/m}^3$. Den målte in situ densiteten ligger lavere enn dimensjonerende tyngdetetthet i fylling som er oppgitt i litteraturen. Dette kan muligens forklares med at prøvetakeren ikke måler helt nøyaktig på grunn av oppressing av materialene. Dette vil føre til en løsere lagring og en lavere densitet. Den mest logiske årsaken er nok at dimensjonerende tyngdetetthet inkluderer en sikkerhetsfaktor, slik at beregningene er på den sikre siden.

Løst lagret densitet har blitt målt til å variere mellom $292,63\text{kg/m}^3$ – $317,03\text{kg/m}^3$ fra de eksisterende fyllingene. På grunn av nedknusning av materialene under komprimering av fylling og bygging av vei over fyllingen vil løst lagret densitet målt fra eksisterende fylling være erfaringsmessig høyere enn tørr løs bulkdensitet oppgitt fra leverandør. Kapittel 2.1.2 viser løst lagret densitet, registrert i Labsys, tatt hovedsakelig fra ferdig komprimert fylling. Resultatene fra Labsys gir et gjennomsnitt på 289kg/m^3 , der maksimalverdien ligger på 350kg/m^3 . At målingene fra eksisterende fylling ligger innenfor målesjiktet i Labsys kan tyde på at nedknusningen av materialene hovedsakelig skjer under komprimeringen. Materialene blir dermed i liten grad knust i løpet av byggingen av resten av veien. Resultatene vil i liten grad være påvirket av trafikkbelastningen fordi prøvene er tatt i banketten.

Fra de eksisterende fyllingene er det blitt målt **vanninnhold** som varierer mellom 26 - 41%. Gjennomsnittet viser et vanninnhold på 30 - 35%. MiljøIso og Geolight, se Tabell 2.2 og Tabell 2.3, har kommet frem til et vanninnhold på ca. 25%. Resultater fra Labsys viser et vanninnhold mellom 1,2% og 43,4%, med et gjennomsnitt på 15%, se Figur 2.9. Resultatene fra eksisterende fyllinger viser et høyere vanninnhold enn MiljøIso, Geolight og gjennomsnittet fra Labsys. Målingene av vanninnholdet kommer fra et lite datagrunnlag, men de viser sammen med enkelte av resultatene fra Labsys at vanninnholdet i lettklinker kan være betydelig høyere enn 25%.

Krav til levert finstoffmengde i henhold til håndbok V221, (Statens vegvesen, 2014), er maks 4%. **Kornfordelingsforsøkene** viser at finstoff <2mm ligger mellom 7% og 25%. Dette viser at materialene blir noe nedknust under komprimering- og veibyggingprosessen. Figur 2.4 og Figur 2.5 viser typiske siktekurver for Leca lettklinker og variasjonsområde for lettklinkermateriale i håndbok V221. Kurveforløpet i Figur 4.1 følger i stor grad typisk kurveforløp i Figur 2.4, sett bort fra en viss nedknusning av materialene.

5.1.2 Nye materialer

Løst lagret densitet målt på nye materialer rett fra sekk ga et gjennomsnitt på 298,8kg/m³. I dag er løs bulkdensitet oppgitt i tekniske spesifikasjoner fra Leca på 275kg/m³ ± 15%. Som nevnt i kapittel 2.1.1 ligger kravene i Statens vegvesens håndbøker høyere, men at disse verdiene mest sannsynlig blir endret i ny revisjon av håndbøkene. Løst lagret densitet tilfredsstillers dagens krav i Statens vegvesens håndbøker (Statens vegvesen, 2014), og i teknisk spesifikasjon (Leca, 2016).

Figur 4.3 viser **siktekurvene** for lettklinkerprøve rett fra sekk og lettklinkerprøve etter første ødometeranalyse. Grafene følger typisk kurveforløp for Leca lettklinker, Figur 2.4, men ligger allikevel i liten grad utenfor variasjonsområde for lettklinkermateriale i håndbok V221, Figur 2.5. Kurven fra den nedknuste prøven viser tendenser til at det er de største kornstørrelsene som knuses ned til mindre kornstørrelser under komprimeringen og selve ødometerforsøket. Det blir også dannet lite finstoff i prosessene og materialene ligger innenfor krav på maks 4% finstoff.

Komprimeringsfaktoren for de tre **ødometerforsøkene** var litt større enn den tilsiktede komprimeringsfaktoren for forsøkene. Komprimeringsfaktorene var henholdsvis 1,19, 1,17 og 1,15 for forsøk 1, 2 og 3. Prøve 1 og 2 har sammenfallende kurveforløp, med en deformasjon på ca. 15mm. Prøve 3 avviker i stor grad fra prøve 1 og 2 med en deformasjon på ca. 21mm. Videre har kurvene til 1 og 2 sammenfalt godt. Ved maksimal belastning på 400kPa på kurve 1 og 2 er tøyningen på i underkant av 3%, mens prøve 3 har en tøyning på i underkant av 4,5%. Kurvene viser at ved avlastning er det lite endring i tøyningene, dette gir en indikasjon på at de opptredende deformasjonene i materialene er plastiske.

Innenfor det praktiske belastningsnivået på ca. 0-65kPa viser kurvene en logisk trend i forhold til komprimert densitet og komprimeringsfaktor. Der tøyning og deformasjon er større ved lavere komprimert densitet. Figur 4.4 viser en deformasjon på 1,5-2mm for forsøk 1 og 2 og en deformasjon på 4,5mm for prøve 3.

For spenninger under 250kPa varierer modulen i stor grad, dette kan komme av den varierende startfriksjonen mellom stempel og ødometercelle. En mulig forklaring på dette kan være at startfriksjonen er påvirket av komprimeringsgraden til materialene i ødometeret. Der større komprimert densitet fører til større friksjon. Modulen over 250kPa er ikke så ulik på de tre forsøkene og ligger på ca. 10MPa, og er relativt konstant. Dette indikerer at materialene i liten grad omlagres eller knuses ved disse spenningene. Ødometermodulen funnet i disse forsøkene er betydelig lavere enn modulen funnet i MiljøIso og Geolight. I disse prosjektene er det funnet en modul på 25MPa for spenninger lavere enn henholdsvis 250kPa og 150kPa. Videre er modulen svakt synkende for høyere spenninger. Modulkurvene følger i noen grad trenden til Leca 10-20 og Leca 4-20 vist i Figur 2.7 og viser dermed tendenser til at materialene har lavere ødometermodul og videre dårligere motstand mot deformasjoner enn tidligere.

Kapittel 4.3.4 viser resultatet fra et **treaksialforsøk** på lettklinker opptegnet i Mohr-diagram. Det er ikke lett å anta en riktig verdi for attraksjonen basert på et forsøk. Det burde blitt kjørt flere treaksforsøk med varierende sidespenning for å tolke ut en mer pålitelig attraksjon og videre en riktig friksjonsvinkel. Tolkning av friksjonsvinkel ved 2% deformasjon og attraksjon=0 gir en friksjonsvinkel på 48°. Denne øker litt mot en tøyning på 4% og synker til 49,1° ved 10% deformasjon. Dette viser at friksjon vinkelen er her avhengig av spenningsnivået. Erfaringer fra tidligere viser en attraksjon=0 og en friksjonsvinkel på

mellom 38° - $45,5^\circ$. Resultatene fra forsøket gir en høyere friksjonsvinkel enn det som er målt tidligere, dette kan muligens forklares med en annen komprimeringsgrad i materialet eller at det kan ha oppstått en attraksjon $\neq 0$. Det er vanskelig å konkludere med en grunn uten å ha kjørt flere forsøk

5.2 Skumglass

5.2.1 Eksisterende fyllinger

Resultater fra feltforsøkene for å finne **in situ densitet** viser at våtdensitetene varierer mellom $2,93\text{kN/m}^3$ - $4,00\text{kN/m}^3$. Denne verdien kan sammenliknes med dimensjonerende tyngdetetthet i fylling for materialet som er nevnt i kapittel 2.2.1 Dimensjonerende tyngdetetthet i fylling ligger på $3,5\text{kN/m}^3$ både i tekniske spesifikasjoner og i håndbok V221 (Statens vegvesen, 2014). Den målte in situ densiteten ligger både lavere og høyere enn den dimensjonerende tyngdetetthet som er oppgitt. Den dimensjonerende tyngdetetthet er beregnet ut fra løst lagret densitet, vanninnhold, komprimeringsgrad og en sikkerhetsmargin. Det ser ikke ut til at det er vanninnholdet som har påvirket de høyere resultatene, da de høyeste densitetene har lavest vanninnhold. Dermed kan resultatene muligens forklares med en for høy tørr densitet og nedknusning av materialene, eller en for stor komprimering av materialene. De laveste resultatene kan muligens forklares med at prøvetakeren ikke måler helt nøyaktig på grunn av oppressing av materialene, dette vil kunne føre til en løsere lagring og en dermed lavere densitet.

Løst lagret densitet har blitt målt til å variere mellom $282,27\text{kg/m}^3$ – $315,55\text{kg/m}^3$ fra den eksisterende fyllingen. På grunn av nedknusning av materialene under komprimering av fylling og bygging av veien over fyllingen vil løst lagret densitet målt fra eksisterende fylling være erfaringsmessig høyere enn tørr løs bulkdensitet oppgitt fra leverandør. Kapittel 2.2.2 viser løst lagret densitet, registrert i Labsys, tatt hovedsakelig fra ferdig komprimert fylling. Resultatene fra Labsys gir et gjennomsnitt på 230kg/m^3 , der maksimalverdien ligger på 296kg/m^3 . Resultatene ligger i øverste sikte og høyere enn resultatene fra Labsys, dette kan tyde på at materialene blir ytterligere knust etter komprimeringen, i løpet av byggingen av resten av veien. Resultatene fra hull 2, som ligger over den høyeste verdien i Labsys er analysert etter feil metode, dermed er det mulig at disse verdiene vil gi et feil bilde på virkeligheten. I forhold til sammenlikning med Labsysresultatene vil dette ha lite å si da de også er analysert etter metoden med for lite volum på prøvene. Resultatene vil i liten grad være påvirket av trafikkbelastningen fordi prøvene er tatt i banketten.

Fra de eksisterende fyllingene er det blitt målt et vanninnhold som varierer mellom 18% - 26%. Gjennomsnittet viser et vanninnhold på 22%. Statens vegvesens håndbok V221 og gjenbruksprosjektet har kommet frem til et vanninnhold på 20-25%. Resultater fra Labsys viser et vanninnhold mellom 0,86% og 51%, med et gjennomsnitt på 8,8%, Figur 2.18 Figur 2.9. Resultatene viser et vanninnhold innenfor kravene fra V221 og Gjenbruksprosjektet. Resultatene ligger en del over gjennomsnittet fra Labsys, men samtidig ligger de innenfor vanninnholdene i Labsys. En fylling gir et lite datagrunnlag, men de tyder på at mulighetene for et vanninnhold på 20-25% kan forventes i en skumglassfylling.

Krav til levert finstoffmengde, (Statens vegvesen, 2014), er maks 4%.

Korngraderingsforsøkene viser at finstoff <2mm ligger på ca. 7%. Dette tyder på at materialene blir noe nedknust under komprimering- og veibyggingsprosessen. Materialets øvre kornstørrelse ligger på 45mm og ca. 12% har passert 8mm siktet. Dette tyder på at materialet blir nedknust under komprimering og veibygging og at det er i hovedsak de største kornstørrelsene som knuses ned.

5.2.2 Nye materialer

Løst lagret densitet målt på nye materialer rett fra sekk ga et gjennomsnitt på 190,2 kg/m³.

Løs bulkdensitet oppgitt i tekniske spesifikasjoner fra Glasopor AS og krav i Statens vegvesens håndbok V221 på 180 kg/m³ ± 15%. Løst lagret densitet tilfredsstillers dagens krav i håndbøker, (Statens vegvesen, 2014), og i teknisk spesifikasjon, (Glasopor AS, 2017b).

Figur 4.11 viser **siktekurvene** for skumglassprøve rett fra sekk og skumglassprøve etter første ødometeranalyse. Ny prøve består hovedsakelig av store kornstørrelser og grafene viser tendenser til at det er de største kornstørrelsene som knuser under komprimeringen og selve ødometerforsøket. Dette kan muligens forklares med at det allerede er spenninger/riss i materialet fra produksjonen. Det blir dannet litt finstoff i prosessene og materialene ligger rundt krav på maks 4% finstoff. Under komprimeringen ble det observert at mye finstoff svevde ut av ødometeret.

Komprimeringsfaktoren for de tre **ødometerforsøkene** var i nærheten av den tilsiktede komprimeringsfaktoren for forsøkene på 1,20-1,30. Komprimeringsfaktorene var henholdsvis 1,32, 1,20 og 1,25 for forsøk 1, 2 og 3. Prøvene følger forskjellige kurveforløp, med deformasjon på ca. 41-49mm. Ved maksimal belastning på 400kPa på forsøkene varierer

tøyningen mellom ca. 8% og 10%. Innenfor det praktiske belastningsnivået på ca. 0-65kPa viser kurvene en logisk trend i forhold til komprimert densitet og komprimeringsfaktor. Der tøyning og deformasjon er større ved lavere komprimert densitet. Figur 4.14 viser en deformasjon på ca. 5mm for forsøk 1 og 3 og en deformasjon på ca. 7mm for prøve 2.

Kurvene viser at ved avlastning er det lite endring i tøyningene, dette gir en indikasjon på at de opptredende deformasjonene i materialene er plastiske. Modulen over 150kPa er ikke så ulik på alle de tre forsøkene på ca. 4,5MPa, og synkende ned til 3,5MPa. Dette viser tendenser til at materialene knuses ved disse spenningene. For spenninger under 150kPa varierer modulen i stor grad, dette kan komme av den varierende startfriksjonen mellom stempel og ødometercelle. En mulig forklaring på dette kan være at startfriksjonen er påvirket av komprimeringsgraden til materialene i ødometeret, der større komprimert densitet fører til større friksjon.

Ødometermodulen funnet i disse forsøkene er høyere enn modulen funnet i gjenbruksprosjektet. I dette prosjektet er det funnet en modul på 2,5MPa for spenninger lavere enn 250kPa. Modulen er svakt synkende for spenninger <50kPa. Resultatene viser dermed tendenser til at materialene har høyere ødometermodul og større motstand mot deformasjoner enn tidligere.

Kapittel 4.4.4 viser resultatet fra et **treaksialforsøk** på lettklinker opptegnet i Mohr-diagram. Det er ikke lett å anta en riktig verdi for attraksjonen basert på et forsøk. Det burde blitt kjørt flere treaksforsøk med varierende sidespenning for å tolke ut en mer pålitelig attraksjon og videre en riktig friksjonsvinkel. Tolkning av friksjonsvinkel ved 2% deformasjon og attraksjon=0 gir en friksjonsvinkel på 46°. Denne øker litt mot en tøyning på 4% og øker til 50,6° ved 10% deformasjon. Dette viser at friksjon vinkelen er her avhengig av spenningsnivået. Erfaringer fra tidligere viser en attraksjon=0 og en friksjonsvinkel på 45°. Resultatene fra forsøket gir en litt høyere friksjonsvinkel enn det som er målt tidligere, dette kan muligens forklares med en annen komprimeringsgrad i materialet eller at det kan ha oppstått en attraksjon \neq 0. Det er vanskelig å konkludere uten å ha kjørt flere forsøk, men det ser ut til at verdier oppgitt i teknisk spesifikasjon og håndbok V221 oppgir riktige verdier.

6 Konklusjon og anbefalinger

Målsetningen med felt- og laboratorieundersøkelsene var å undersøke eksisterende veifyllinger for å finne ut som materialeegenskapene i lette fyllmasser innfrir dagens krav. Videre var det ønsket å studere materialenes egenskaper og om disse har endret seg på grunn av endringer i materialets densitet, fremstillingsmetode og ujevn kvalitet på råmaterialet. Resultatene kommer fra et lite datagrunnlag, det er allikevel forsøkt å sett på tendenser og trender i resultatene.

Lettklinker

Utført feltarbeid viser at in situ densiteten i de eksisterende fyllinger som er undersøkt ligger lavere enn den dimensjonerende tyngdetettheten oppgitt fra leverandør og i Statens vegvesens håndbøker. Måling av løst lagret densitet viser tendenser til en viss nedknusning av materialene under komprimering av fylling, men resultatene tyder på at materialene knuses lite under videre bygging av vei og i løpet av veiens levetid. Målt vanninnhold varierer mellom 26-41% og viser at vanninnholdet i materialene kan være betydelig høyere enn 25%. I kornfordelingsforsøkene ser det ut til at materialene blir noe nedknust under komprimering- og veibyggingprosessen. Det finnes ingen direkte krav til hvilke materialeegenskaper lettklinker skal ha i fylling. I denne studien tyder resultatene på at materialene endrer seg i liten grad liggende i veifylling. Det er hovedsakelig vanninnholdet som har verdier ulikt dagens tekniske spesifikasjoner og krav.

Utført laboratoriearbeid på nye materialer viser en gjennomsnittlig løst lagret densitet høyere enn tekniske spesifikasjoner fra leverandør, men innenfor variasjonsområdet på $\pm 15\%$. Verdiene ligger betydelig lavere enn krav i Statens vegvesens håndbøker som per dags dato virker utdaterte. Siktekurven følger typisk kurveforløp oppgitt fra Leca og viser tendenser til liten dannelse av finstoff under komprimering og ødometerforsøket. Ødometerforsøkene ser ut til å være påvirket av materialenes komprimeringsfaktor. Denne påvirkningen er logisk ved at tøyning og deformasjon er større ved lavere komprimert densitet. Innenfor det praktiske belastningsnivået er det målt en deformasjon på 1,5-4,5mm. Modulen for spenning over 250kPa ligger på ca. 10MPa. Resultater fra disse forsøkene viser tendenser at materialene har lavere ødometermodul enn det som er funnet i tidligere forsøk og viser dermed at materialene kan ha en dårligere motstand mot deformasjoner enn tidligere.

Resultatene fra treaksialforøket viser en høyere tolket friksjonsvinkel enn det som er målt tidligere. Det burde vært tatt flere parallelle undersøkelser for sikre helt riktig tolkning av friksjonsvinkel. Statens vegvesens V221 bruker en friksjonsvinkel på 35°, ut fra dette forsøket og erfaringer fra MiljøIso og Geolight virker denne friksjonsvinkelen for lav i forhold til dagens materialer.

Skumglass

Utført feltarbeid viser at in situ densiteten i den eksisterende fyllingen som er undersøkt ligger både lavere og høyere enn den dimensjonerende tyngdetettheten oppgitt fra leverandør og i Statens vegvesens håndbøker. Måling av løst lagret densitet viser tendenser til en viss nedknusning av materialene under komprimering av fylling og nedknusning i løpet av byggingen av resten av veien. Målt vanninnhold varierer mellom 18-26% og viser at mulighetene for et vanninnhold på 20-25% kan forventes i en skumglassfylling. I kornfordelingsforsøkene ser det ut til at materiale blir noe nedknust under komprimering- og veibyggingprosessen. Det finnes ingen direkte krav til hvilke materialeegenskaper skumglass skal ha i fylling. I denne studien tyder resultatene på at materialene knuses litt enten på grunn av belastning under veibygging, eller på grunn av fyllingens levetid. Ellers ser det ut til å være små avvik i forhold til krav og tekniske spesifikasjoner på levert masse.

Utført laboratoriearbeid på nye materialer viser en gjennomsnittlig løst lagret densitet høyere enn tekniske spesifikasjoner fra leverandør og krav fra Statens vegvesen. Men densiteten ligger innenfor variasjonsområdet på $\pm 15\%$. Siktekurven viser tendenser til nedknusning av fortrinnsvis de største kornstørrelsene. Resultatene viser at det ble produsert litt finstoff under komprimeringen og selve forsøket. Dette kan ha vært påvirket av at deler av finstoffet forsvant under komprimeringen. Ødometerforsøkene ser ut til å være påvirket av materialenes komprimeringsfaktor. Denne påvirkningen er logisk ved at tøyning og deformasjon er større ved lavere komprimert densitet. Innenfor det praktiske belastningsnivået er det målt en deformasjon på 5-7mm. Modulen for spenning over 150kPa ligger på ca. 4,5MPa og svakt synkende til 3,5MPa. Ødometermodulen funnet i disse forsøkene er høyere enn modulen funnet i gjenbruksprosjektet. I gjenbruksprosjektet er det funnet en modul på 2,5MPa for spenninger lavere enn 250kPa. Resultatene viser dermed tendenser til at materialene har høyere ødometermodul og større motstand mot deformasjoner enn tidligere. Resultatene fra treaksialforøket viser en litt høyere tolket friksjonsvinkel enn det som er målt tidligere. Det

burde vært tatt flere parallelle undersøkelser for å sikre riktig tolkning av friksjonsvinkel. Statens vegvesens V221 bruker en friksjonsvinkel på 45°. Ut fra dette treaksialforsøket og erfaringer fra gjenbruksprosjektet virker denne friksjonsvinkelen fremdeles gjeldende.

7 Videre arbeid

Denne studien har hatt et bredt fokus på flere ulike materialegenskaper og to ulike materialtyper. Dette har ført til at det ikke har vært mulig å gå dypt inn i teori og egenskapene til hvert enkelt materiale. Det har blitt et for lite datagrunnlag til å trekke klare konklusjoner og i fremtiden kan det være aktuelt å se mer spesifikt på et mer begrenset område. Et av områdene som burde undersøkes nærmere er mulig vanninnhold i eksisterende fyllinger for både lettklinker og skumglass. Det er viktig å vite hvilket vanninnhold som kan oppstå i massene, da dette påvirker densiteten til materialet. Videre bør det også vurderes hvilke krav som skal være for ferdig komprimert materiale. Dette er viktig for at det skal være mulig å kontrollere materialene ferdig komprimert, slik at veifyllingen har de egenskapene som er ønsket. Til dette arbeidet kan det være en er det behov for å finne eller utvikle en bedre måte å måle in situ densitet.

Noen av analysene på nye materialer samsvarer ikke med tidligere forsøk på materialene. Derfor kan det være ønskelig å undersøke materialene videre for å kunne trekke klarere konklusjoner.

Fra litteraturen er det observert store variasjoner og lite oppdateringer, spesielt i forhold til lettklinker. Statens vegvesens håndbøker er for tiden under revisjon. Det viktig at disse oppdateres jevnlig som følge av ny kunnskap og endringer i materialene.

8 Referanser

CEN, 1998. *NS-EN 1097-3, Prøvningsmetoder for mekaniske og fysiske egenskaper for tilslag Del 3: Bestemmelse av løst lagret densitet og hulrominnhold*, s.l.: Standard Norge.

CEN, 1999. *NS-EN 932-2:1999 - Prøvningsmetoder for generelle egenskaper for tilslag - Del 2: Metoder for deling av laboratorieprøver*, s.l.: Norsk standard.

CEN, 2008. *NS-EN 1097-5 - Prøvningsmetoder for mekaniske og fysiske egenskaper for tilslag - Del 5: Bestemmelse av vanninnhold ved tørking i ventilert tørkeskap*, s.l.: Norsk standard.

CEN, 2012. *NS-EN 15732:2012 Lettefyllmasser og varmeisoleringsprodukter til anleggsformål - Lettklinker basert på ekspandert leire (LWA)*, s.l.: Standard Norge.

CEN, 2012. *NS-EN 933-1 - Prøvningsmetoder for geometriske egenskaper for tilslag - Del 1: Bestemmelse av kornstørrelsesfordeling - Sikteanalyse*, s.l.: Norsk standard.

Emdal, A., 2014. *Introduksjon til geoteknikk*. Trondheim: NTNU Geoteknikk.

Furuberg, T., Hoff, I. & Solheim, O. M., 2000. *STF22 F99620 - Miljøriktige isolasjonsprodukter for BA-bransjen.*, s.l.: Sintef.

Glasopor AS, 2017b. *Teknisk brosyre* - <https://www.glasopor.no/dokumentasjon/brosjyre/>.

[Internett]

Available at: <https://www.glasopor.no/dokumentasjon/brosjyre/>

[Funnet 25 04 2017].

Glasopor AS, u.å.. <https://www.glasopor.no/om-oss/>. [Internett]

Available at: <https://www.glasopor.no/om-oss/>

[Funnet 25 april 2017].

Janbu, N., 1970. *Grunnlag i geoteknikk*. Trondheim: Tapir forlag.

Leca, 2016. *Leca lett fyllmasse* <https://www.leca.no/main-navigation/brosjyrer/>. [Internett]

Available at: <https://www.leca.no/main-navigation/brosjyrer/>

[Funnet 25 April 2017].

Prestegarden, J., 1998. *Ødometerforsøk for vurdering av stivhet og nedknusning av leca lettklinker, prosjektoppgave*, Trondheim: NTNU.

Skoglund, K. A., 2002. *A Study of some Factors in Mechanistic Railway Track Design*, s.l.: NTNU.

Solheim, O. M., 1998. *Tilstandsundersøkelse av Leca-fylling på Rv 753 i Nord-Trøndelag, SINTEF RAPPORT STF F98648*, Trondheim: SINTEF Bygg og miljøteknikk.

Statens vegvesen, 2014. *V221 Grunnforsterkning, fyllinger og skråninger*. Oslo: Statens vegvesen.

Statens vegvesen, 2015. *R210 Laboratorieundersøkelser*. Oslo: Statens vegvesen.

Stene, N., 1996. *Undersøkelse av deformasjonsegenskaper og stivhet av lettklinker, Hovedoppgave*, Trondheim: NTNU.

Teknologiavdelingen, Vegdirektoratet, 2007. *Teknologirapport nr. 2445 Gjenbruksprosjektet - Prosjektrapport nr. 21*, s.l.: Statens vegvesen.

Watn, A. et al., 2004. *STF22 F0420 - LWAgeolight- LWA for Roads and Railways, Internordic Research and Development Project, Final technical report*, s.l.: Sintef.

Vedlegg 1 - Oppgavetekst

MASTEROPPGAVE

(BA6904 Masteroppgave studieretning veg)

VÅREN 2017
for
Statens vegvesen

Undersøkelse av egenskapene til lette tilslag fra eksisterende vegfyllinger

BAKGRUNN

Lettklinker har blitt brukt som lette fyllmasser siden slutten av 50-tallet. Fra slutten av 90-tallet har også granulært skumglass blitt brukt som lette fyllmasser i veifyllinger. Det er ønsket fra Statens vegvesen å undersøke egenskapene til lette fyllmasser fra eksisterende fyllinger. Oppfyller materialeegenskapene for lettklinker og skumglass dagens krav?

OPPGAVE

Beskrivelse av oppgaven

Oppgaven består av et litteraturstudie som omhandler materialeegenskapene til lettklinker og skumglass og relevante laboratorieanalyser. I tillegg til felt og laboratorieundersøkelser av lette fyllmasser fra flere forskjellige veifyllinger. I felt skal det tas lettklinkerprøver til rutineanalyser og skumglassprøver til rutineanalyser. Analyser i felt vil bestå av in-situ densitet og vanninnhold. Laboratorieanalyser vil bestå av løst lagret densitet, vanninnhold og kornfordelingsanalyse. Det er også planlagt tre ødometer- og treksialforsøk fra nye materialer for å undersøke materialenes mekaniske egenskaper.

Målsetting og hensikt

Finne ut om materialeegenskaper i fyllinger av lette fyllmasser innfrir dagens krav til materialene og om egenskaper, som for eksempel friksjonsvinkel, har endret seg på grunn av endringer i materialets densitet, fremstillingsmetode og ujevn kvalitet på råmaterialet.

Deloppgaver og forskningsspørsmål

Kandidaten skal i oppgaven utføre felt- og laboratorieforsøk på uttatte lette fyllmasser, av lettklinker og skumglass, fra eksisterende veifyllinger og nye materialer. På grunnlag av analysene av materialene og teori skal kandidaten vurdere:

Hvilke krav finnes til materialene og hvilke egenskaper har materialene som har blitt levert historisk i Statens vegvesen?

Innfrir materialer i eksisterende veifyllinger dagens krav, og har materialene endret egenskaper de siste årene?

GENERELT

Oppgaveteksten er ment som en ramme for kandidatens arbeid. Justeringer vil kunne skje underveis, når en ser hvordan arbeidet går. Eventuelle justeringer må skje i samråd med faglærer ved instituttet.

Ved bedømmelsen legges det vekt på grundighet i bearbeidningen og selvstendigheten i vurderinger og konklusjoner, samt at framstillingen er velredigert, klar, entydig og ryddig uten å være unødig voluminøs.

Besvarelsen skal inneholde

- standard rapportforside (automatisk fra DAIM, <http://daim.idi.ntnu.no/>)
- tittelside med ekstrakt og stikkord (mal finnes på siden <http://www.ntnu.no/bat/skjemabank>: 3) Om Masteroppgaven)
- sammendrag på norsk og engelsk (studenter som skriver sin masteroppgave på et ikke-skandinavisk språk og som ikke behersker et skandinavisk språk, trenger ikke å skrive sammendrag av masteroppgaven på norsk)
- hovedteksten
- oppgaveteksten (denne teksten signert av faglærer) legges ved som Vedlegg 1.

Besvarelsen kan evt. utformes som en vitenskapelig artikkel for internasjonal publisering. Besvarelsen inneholder da de samme punktene som beskrevet over, men der hovedteksten omfatter en vitenskapelig artikkel og en prosessrapport.

Råd og retningslinjer for masteroppgaven finnes på programmets nettsider.

http://videre.ntnu.no/pages/mastergrader/erfaringsbasert_masterprogram_i_veg_og_jernbane/priser_og_betinger/

Hva skal innleveres?

Rutiner knyttet til innlevering av masteroppgaven er nærmere beskrevet i *Retningslinjer masteroppgaven erfaringsbasert master veg og jernbane* og på <http://daim.idi.ntnu.no/>.

Trykking av masteroppgaven bestilles via DAIM direkte til Skipnes Trykkeri som leverer den trykte oppgaven til instituttkontoret 2-4 dager senere. Instituttet betaler for trykkingen, og 1 eksemplar blir sendt til studenten. Ekstra eksemplarer må bekostes av kandidaten/ ekstern samarbeidspartner.

Videre skal kandidaten levere innleveringsskjemaet (fra DAIM) Innleveringsskjema sendes til NTNU VIDERE.

Dokumentasjon som med instituttets støtte er samlet inn under arbeidet med oppgaven skal leveres inn sammen med besvarelsen.

Besvarelsen er etter gjeldende reglement NTNUs eiendom. Eventuell benyttelse av materialet kan bare skje etter godkjenning fra NTNU (og ekstern samarbeidspartner der dette er aktuelt). Instituttet har rett til å bruke resultatene av arbeidet til undervisnings- og forskningsformål som om det var utført av en ansatt. Ved bruk ut over dette, som utgivelse og annen økonomisk utnyttelse, må det inngås særskilt avtale mellom NTNU og kandidaten.

Helse, miljø og sikkerhet (HMS):

NTNU legger stor vekt på sikkerheten til den enkelte arbeidstaker og student. Den enkeltes sikkerhet skal komme i første rekke og ingen skal ta unødige sjanser for å få gjennomført arbeidet. Studenten skal derfor ved uttak av masteroppgaven få utdelt brosjyren "Helse, miljø og sikkerhet ved feltarbeid m.m. ved NTNU".

Dersom studenten i arbeidet med masteroppgaven skal delta i feltarbeid, tokt, befaring, feltkurs eller ekskursjoner, skal studenten sette seg inn i "Retningslinje ved feltarbeid m.m.". Dersom studenten i arbeidet med oppgaven skal delta i laboratorie- eller verkstedarbeid skal studenten sette seg inn i og følge reglene i "Laboratorie- og verkstedhåndbok". Disse dokumentene finnes på fakultetets HMS-sider på nettet, se <http://www.ntnu.no/ivt/adm/hms/>. Alle studenter som skal gjennomføre laboratoriearbeid i forbindelse med prosjekt- og masteroppgave skal gjennomføre et web-basert TRAINOR HMS-kurs. Påmelding på kurset skjer til daniel.erland@ntnu.no

Studenter har ikke full forsikringsdekning gjennom sitt forhold til NTNU. Dersom en student ønsker samme forsikringsdekning som tilsatte ved universitetet, anbefales det at han/hun tegner reiseforsikring og personskadeforsikring. Mer om forsikringsordninger for studenter finnes under samme lenke som ovenfor.

Oppstart og innleveringsfrist:

Frist innlevering masterkontrakt **15. august**, frist innlevering masteroppgaven **15. mai**

Hovedveileder ved NTNU: Gudmund Eiksund/Djamalddine Boumezerane

Lokal veileder : Murad Sayd – SVV – Region øst / Nye veiledere fra Januar 2017: Aina Anthi og Jan Varslestad – SVV – Region øst

Institutt for bygg, anlegg og transport, NTNU

Dato: 15.mai.2016, (revidert: 10.05.2017)

Underskrift



Veileder

Vedlegg 2 – Labsys statestikk, lettlinker

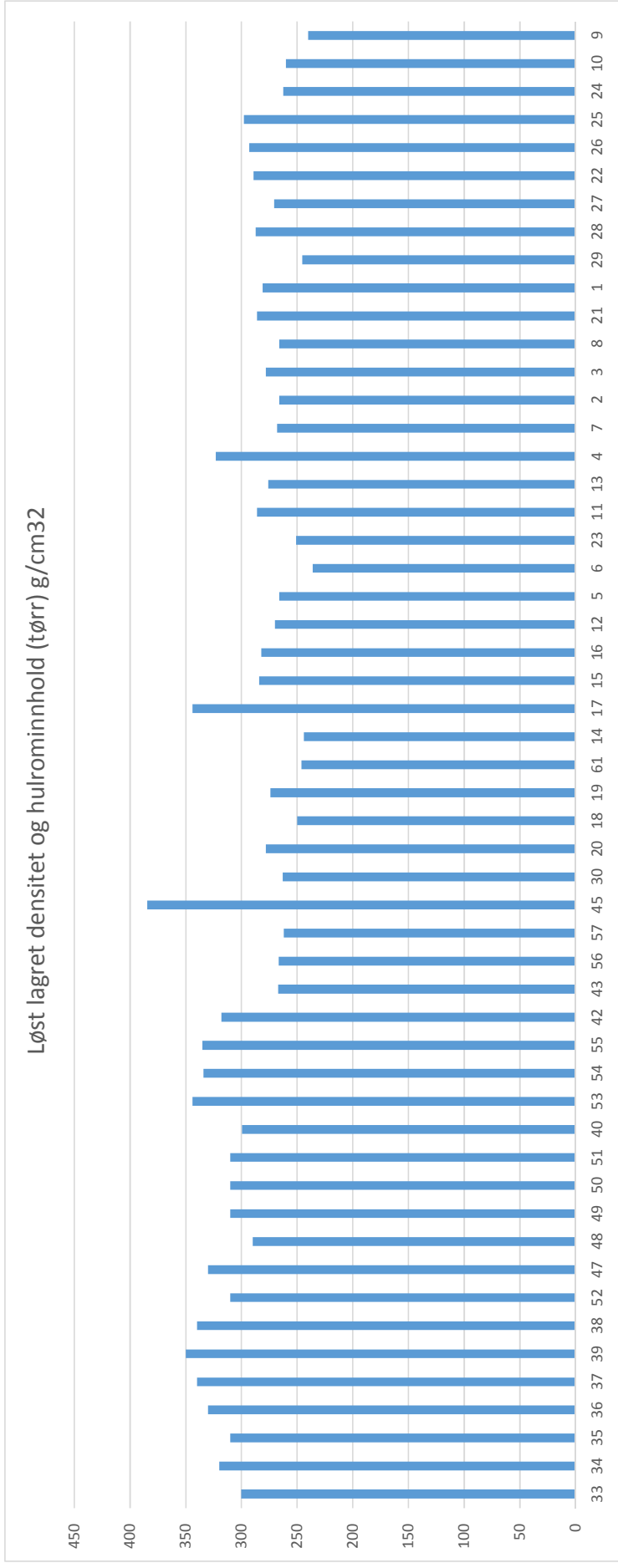
2a – Prøveoversikt

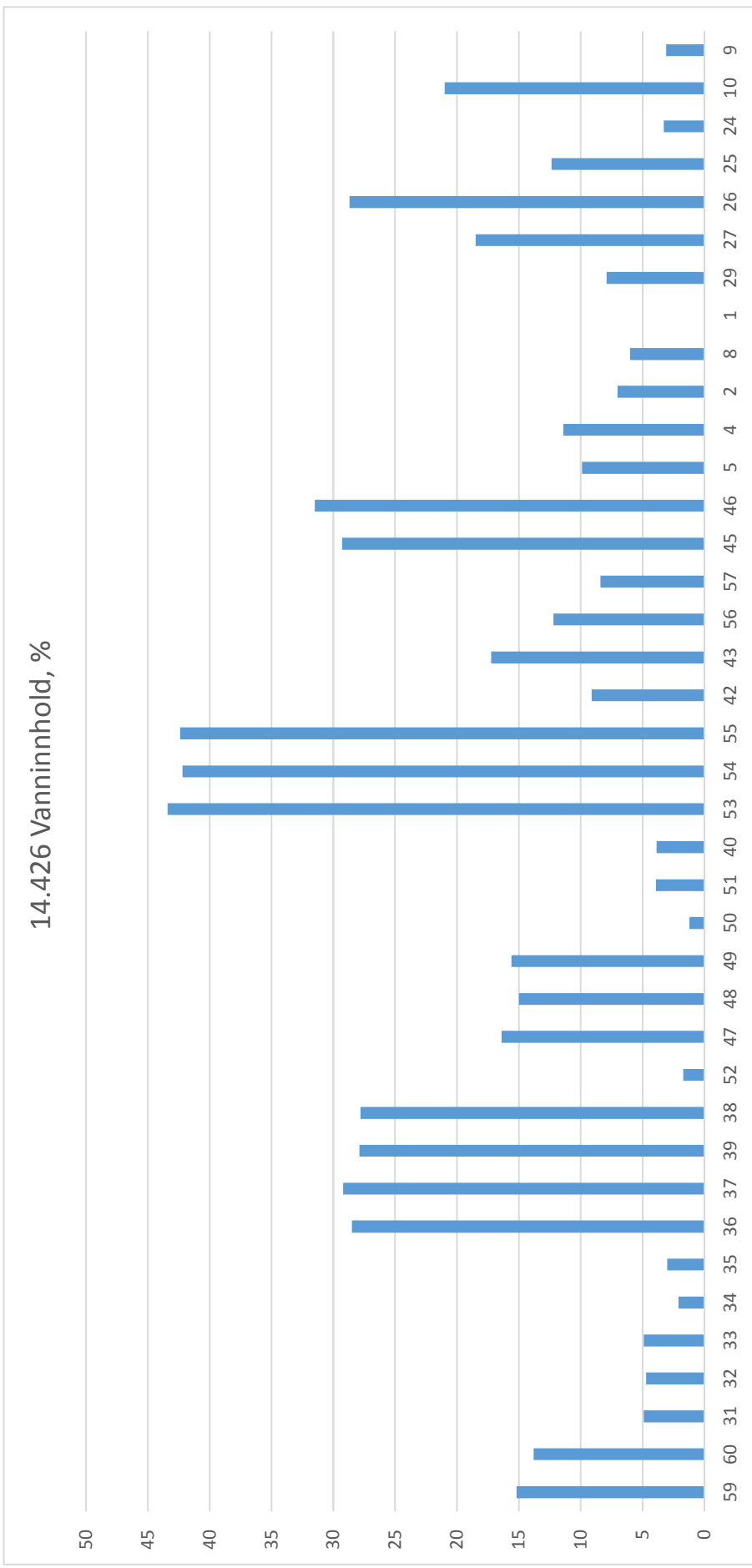
2b – Løst lagret densitet og hulrom – graf

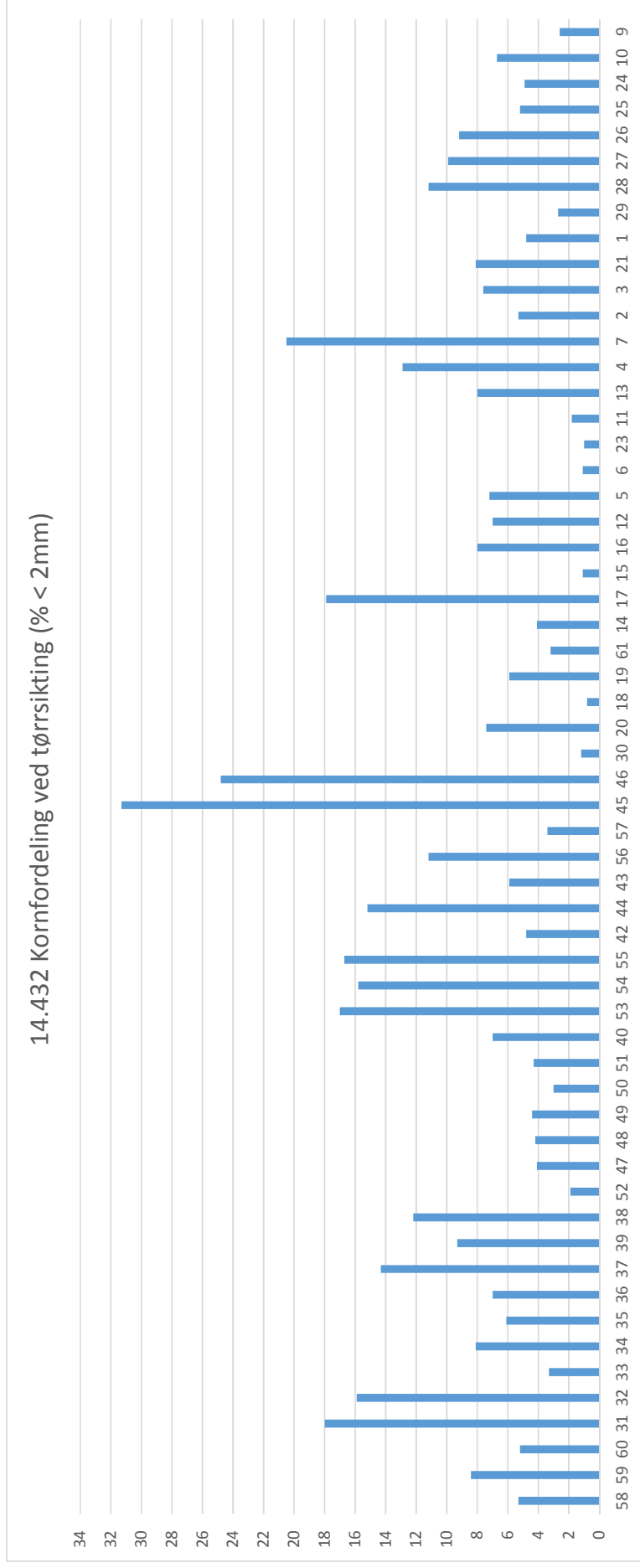
2c – Vanninnhold – graf

2d – Kongradering – graf

| Prøvenr. | Løst lagret densitet og hulrominnhold (tørr) g/cm ³ | 14.426 Vanninnhold, % | 14.432 Kornfordeling ved tørrsiktning (% < 2mm) | Dato |
|----------|--|-----------------------|---|------------|
| 1 | 0,28 | 42,6 | 4,8 | 17.01.2014 |
| 2 | 0,27 | 7 | 5,3 | 02.12.2013 |
| 3 | 0,28 | - | 7,6 | 02.12.2013 |
| 4 | 0,32 | 11,4 | 12,9 | 03.05.2013 |
| 5 | 0,27 | 9,9 | 7,2 | 03.01.2013 |
| 6 | 0,24 | - | 1,1 | 08.01.2013 |
| 7 | 0,27 | - | 20,5 | 04.11.2013 |
| 8 | 0,27 | 6 | - | 02.12.2013 |
| 9 | 0,24 | 3,08 | 2,6 | 06.05.2016 |
| 10 | 0,26 | 21 | 6,7 | 13.11.2015 |
| 11 | 0,29 | - | 1,8 | 11.04.2013 |
| 12 | 0,27 | - | 7 | 04.12.2012 |
| 13 | 0,28 | - | 8 | 11.04.2013 |
| 14 | 0,24 | - | 4,1 | 03.07.2012 |
| 15 | 0,28 | - | 1,1 | 12.10.2012 |
| 16 | 0,28 | - | 8 | 12.10.2012 |
| 17 | 0,34 | - | 17,9 | 03.09.2012 |
| 18 | 0,25 | - | 0,8 | 16.05.2012 |
| 19 | 0,27 | - | 5,9 | 16.05.2012 |
| 20 | 0,28 | - | 7,4 | 15.05.2012 |
| 21 | 0,29 | - | 8,1 | 05.12.2013 |
| 22 | 0,29 | - | - | 18.11.2014 |
| 23 | 0,25 | - | 1 | 03.04.2013 |
| 24 | 0,26 | 3,28 | 4,9 | 25.08.2015 |
| 25 | 0,30 | 12,36 | 5,2 | 24.06.2015 |
| 26 | 0,29 | 28,68 | 9,2 | 11.03.2015 |
| 27 | 0,27 | 18,48 | 9,9 | 30.10.2014 |
| 28 | 0,29 | 0,00 | 11,2 | 07.08.2014 |
| 29 | 0,25 | 7,90 | 2,7 | 17.03.2014 |
| 30 | 0,26 | - | 1,2 | 26.04.2012 |
| 31 | - | 4,90 | 18 | 21.06.2006 |
| 32 | - | 4,70 | 15,9 | 21.06.2006 |
| 33 | 0,30 | 4,90 | 3,3 | 21.06.2006 |
| 34 | 0,32 | 2,10 | 8,1 | 21.06.2006 |
| 35 | 0,31 | 3,00 | 6,1 | 21.06.2006 |
| 36 | 0,33 | 28,50 | 7 | 24.10.2006 |
| 37 | 0,34 | 29,20 | 14,3 | 24.10.2006 |
| 38 | 0,34 | 27,80 | 12,2 | 30.10.2006 |
| 39 | 0,35 | 27,90 | 9,3 | 24.10.2006 |
| 40 | 0,30 | 3,85 | 7 | 07.11.2007 |
| 41 | - | - | - | 00.01.1900 |
| 42 | 0,32 | 9,12 | 4,8 | 10.09.2009 |
| 43 | 0,27 | 17,23 | 5,9 | 01.12.2010 |
| 44 | - | - | 15,2 | 08.09.2010 |
| 45 | 0,38 | 29,30 | 31,3 | 11.10.2011 |
| 46 | - | 31,50 | 24,8 | 18.10.2011 |
| 47 | 0,33 | 16,40 | 4,1 | 22.11.2006 |
| 48 | 0,29 | 15,00 | 4,2 | 22.11.2006 |
| 49 | 0,31 | 15,60 | 4,4 | 22.11.2006 |
| 50 | 0,31 | 1,20 | 3 | 22.11.2006 |
| 51 | 0,31 | 3,90 | 4,3 | 22.11.2006 |
| 52 | 0,31 | 1,70 | 1,9 | 14.11.2006 |
| 53 | 0,34 | 43,40 | 17 | 19.05.2008 |
| 54 | 0,33 | 42,20 | 15,8 | 19.05.2008 |
| 55 | 0,34 | 42,40 | 16,7 | 19.05.2008 |
| 56 | 0,27 | 12,20 | 11,2 | 20.01.2011 |
| 57 | 0,26 | 8,40 | 3,4 | 16.05.2011 |
| 58 | - | - | 5,3 | 22.09.2005 |
| 59 | - | 15,2 | 8,4 | 22.09.2005 |
| 60 | - | 13,8 | 5,2 | 26.09.2005 |
| 61 | 0,25 | - | 3,2 | 28.06.2012 |





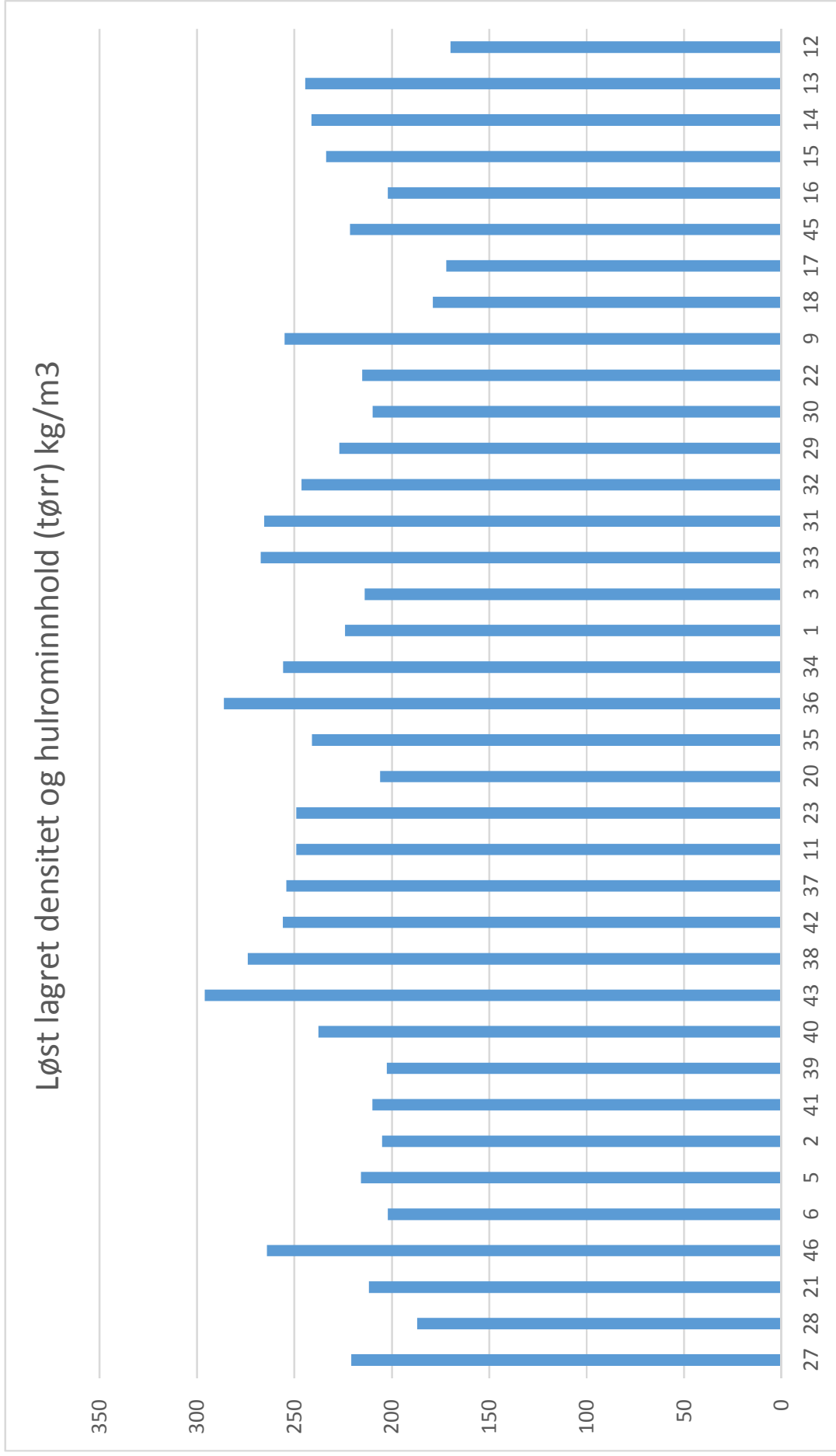


Vedlegg 3 - Labsys statestikk, skumglass

3a – Prøveoversikt

3b – Løst lagret densitet og hulrom – graf

| Prøvenr. | Løst lagret densitet og hulrominnhold (tørr) g/cm ³ | 14.426 Vanninnhold, % | 14.432 Kornfordeling ved tørrsiktning (% < 2mm) | Dato |
|----------|--|-----------------------|---|------------|
| 1 | 0,22 | 5,80 | - | 22.01.2014 |
| 2 | 0,21 | - | 1,1 | 11.07.2013 |
| 3 | 0,21 | 51,45 | 7,6 | 31.01.2014 |
| 4 | 0,25 | 11,40 | 16,8 | 02.10.2013 |
| 5 | 0,22 | - | 0,8 | 12.06.2013 |
| 6 | 0,20 | - | 0,4 | 25.03.2013 |
| 7 | - | - | - | 12.10.2012 |
| 8 | 0,20 | - | - | 13.06.2013 |
| 9 | 0,26 | 5,22 | 5,4 | 24.07.2014 |
| 10 | 0,20 | 0,86 | 2,5 | 23.04.2014 |
| 11 | 0,25 | 9,40 | 16,8 | 02.12.2013 |
| 12 | 0,17 | 8,18 | 2,1 | 11.13.2016 |
| 13 | 0,24 | 14,27 | 11,8 | 02.12.2015 |
| 14 | 0,24 | 14,88 | 7,9 | 24.11.2015 |
| 15 | 0,23 | 1,07 | 13,8 | 24.08.2015 |
| 16 | 0,20 | 5,15 | 2,1 | 30.06.2015 |
| 17 | 0,17 | 6,51 | 2,4 | 24.02.2015 |
| 18 | 0,18 | 2,40 | 5,8 | 11.02.2015 |
| 19 | 0,00 | - | - | 04.02.2013 |
| 20 | 0,206 | - | 3 | 05.12.2013 |
| 21 | 0,21 | 1,40 | 9,8 | 10.05.2012 |
| 22 | 0,22 | 2,04 | 3,5 | 11.07.2014 |
| 23 | 0,25 | 9,40 | 17,9 | 02.12.2013 |
| 24 | - | - | - | 00.01.1900 |
| 25 | - | - | - | 00.01.1900 |
| 26 | - | 10,60 | 8,8 | 25.10.2011 |
| 27 | 0,22 | 6,20 | - | 20.01.2011 |
| 28 | 0,19 | 1,40 | 3,4 | 31.01.2012 |
| 29 | 0,23 | 4,23 | - | 09.07.2014 |
| 30 | 0,21 | 5,39 | 10,1 | 09.07.2014 |
| 31 | 0,27 | 3,58 | 10,3 | 28.05.2014 |
| 32 | 0,25 | 4,34 | 11 | 28.05.2014 |
| 33 | 0,27 | 30,71 | - | 07.04.2014 |
| 34 | 0,26 | 18,80 | 15 | 20.01.2014 |
| 35 | 0,24 | 27,30 | - | 15.01.2014 |
| 36 | 0,29 | 13,40 | 22,8 | 15.01.2014 |
| 37 | 0,25 | 11,10 | 16,2 | 11.11.2013 |
| 38 | 0,27 | 11,50 | 16,8 | 02.10.2013 |
| 39 | 0,20 | - | - | 23.09.2013 |
| 40 | 0,24 | - | 10 | 23.09.2013 |
| 41 | 0,21 | - | 9,6 | 11.07.2013 |
| 42 | 0,26 | - | 3,4 | 17.10.2013 |
| 43 | 0,30 | - | 1,5 | 23.09.2013 |
| 44 | - | - | - | 23.05.2014 |
| 45 | 0,22 | - | - | 17.04.2015 |
| 46 | 0,26 | - | 6 | 26.06.2012 |



Vedlegg 4 – Liste over prøvenavn i Labsys

| Prøve | Hvor | hull | analyse | hvilken | hva |
|-------|---------------|------|-------------|---------|-------------|
| 1 | Krosbykrysset | 1 | Insitu | 1 | Skumglass |
| 2 | Krosbykrysset | 2 | Insitu | 1 | Skumglass |
| 3 | Krosbykrysset | 1 | Løst lagret | 1 | Skumglass |
| 4 | Krosbykrysset | 2 | Løst lagret | 1 | Skumglass |
| 5 | Borgekrysset | 1 | Insitu | 1 | Lettklinker |
| 6 | Borgekrysset | 2 | Insitu | 1 | Lettklinker |
| 7 | Borgekrysset | 1 | Løst lagret | 1 | Lettklinker |
| 8 | Borgekrysset | 2 | Løst lagret | 1 | Lettklinker |
| 9 | Jarle bru | 1 | Insitu | 2 | Lettklinker |
| 10 | Jarle bru | 2 | Insitu | 2 | Lettklinker |
| 11 | Jarle bru | 2 | Insitu | 1 | Lettklinker |
| 12 | Jarle bru | 2 | Løst lagret | 3 | Lettklinker |
| 13 | Jarle bru | 2 | Insitu | 3 | Lettklinker |
| 14 | Trondheim | | Treaks | topp | Lettklinker |
| 15 | Trondheim | | Treaks | bunn | Lettklinker |
| 16 | Trondheim | | Treaks | Hele | Lettklinker |
| 17 | Trondheim | | urørt | | Lettklinker |
| 18 | Trondheim | | Ødometer | | Skumglass |
| 19 | Trondheim | | urørt | | Skumglass |
| 20 | Trondheim | | Ødometer | | Lettklinker |
| 21 | Jarle bru | 3 | Insitu | 1 | Lettklinker |
| 22 | Jarle bru | 3 | Insitu | 2 | Lettklinker |
| 23 | Jarle bru | 3 | Løst lagret | 1 | Lettklinker |
| 24 | Jarle bru | 1 | Insitu | 1 | Lettklinker |
| 25 | Jarle bru | 1 | Løst lagret | 2 | Lettklinker |
| 26 | Jarle bru | 3 | Løst lagret | 2 | Lettklinker |
| 27 | Jarle bru | 1 | Løst lagret | 1 | Lettklinker |
| 28 | Jarle bru | 2 | Løst lagret | 1 | Lettklinker |
| 29 | Jarle bru | 2 | Løst lagret | 2 | Lettklinker |

Vedlegg 5 – Eksisterende fyllinger, lettlinker

5a – In situ densitet, Borgekrysset

5b – In situ densitet, Jarle bru

5c – Løst lagret densitet, Borgekrysset

5d – Løst lagret densitet, Jarle bru

5e – Korngradering – Samleplott, lettlinker

5f – Korngradering, Jarle bru

5g – Korngradering, Borgekrysset

Borgekrysset

| Hull 1 | | Dybde til prøve | | Dybde til utgravd | | H |
|--------|--------------|-----------------|----|-------------------|------|-----|
| Prøve | Måling | 1 | 2 | 3 | 4 | |
| 1 | | 16 | 14 | 17 | 17 | |
| | | 43 | 45 | 42 | 45 | |
| | | | | | | |
| | Gjennomsnitt | 16,0 | | | 43,8 | 0,3 |

| Laboratoriet: | (g) |
|-------------------------------------|---------|
| Våt inkl. pose | 13861,5 |
| Våt inkl. pose- vann tapt i lagring | 13852 |
| Våt uten pose- vann tapt i lagring | 13726 |
| Pose | 126 |
| Våt uten pose | 13735,5 |
| Tørr uten pose | 10897 |

| Utregnet: | |
|--|--------|
| Vanninnhold: | 26 % |
| Volum prøve (m ³): | 0,03 |
| Insitu densitet (våt) | 393,89 |
| Insitu densitet (tørr) | 312,49 |
| Insitu densitet (våt) kN/m ³ | 3,86 |
| Insitu densitet (tørr) kN/m ³ | 3,07 |

| Hull 2 | | Litt finstoff igjen i posen | | |
|--------------|------|-----------------------------|----|------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | |
| | 21 | 21 | 21 | 45 |
| | 21 | 21 | 21 | 47 |
| | 21 | 21 | 21 | 47 |
| | 21 | 21 | 21 | 48 |
| Gjennomsnitt | 21,0 | | | 46,8 |
| | | | | 0,3 |

| Laboratoriet: | |
|-------------------------------------|-------|
| Våt inkl. pose | 14256 |
| Våt inkl. pose- vann tapt i lagring | 14253 |
| Våt uten pose- vann tapt i lagring | 14101 |
| Pose | 152 |
| Våt uten pose | 14104 |
| Tørr uten pose | 10391 |

| Utregnet: | |
|--|--------|
| Vanninnhold: | 36 % |
| Volum prøve (m ³): | 0,03 |
| Insitu densitet (våt) | 435,87 |
| Insitu densitet (tørr) | 321,12 |
| Insitu densitet (våt) kN/m ³ | 4,28 |
| Insitu densitet (tørr) kN/m ³ | 3,15 |

Jarle bru – In situ densitet

Hull 1 – 97 cm ned til duk

| Prøve | Måling | Dybde til prøve | Dybde til utgravd | H |
|-------|--------------|-----------------|-------------------|-----|
| 1 | 1 | 14 | 32 | |
| | 2 | 15 | 32,5 | |
| | 3 | 18 | 30 | |
| | 4 | 15 | 31 | |
| | Gjennomsnitt | 15,5 | 31,4 | 0,2 |

| | | | | |
|---|--------------|------|------|-----|
| 2 | 1 | 17 | 39,5 | |
| | 2 | 18 | 40 | |
| | 3 | 19,5 | 40 | |
| | 4 | 18 | 42 | |
| | Gjennomsnitt | 18,1 | 40,4 | 0,2 |

Hull 2 – 101 cm til duk, 117cm til masse

| Prøve | Måling | Dybde til prøve | Dybde til utgravd | H |
|-------|--------------|-----------------|-------------------|-----|
| 1 | 1 | 20 | 42 | |
| | 2 | 20 | 43 | |
| | 3 | 20 | 42 | |
| | 4 | 20 | 40 | |
| | Gjennomsnitt | 20,0 | 41,8 | 0,2 |

| | | | | |
|---|--------------|------|------|-----|
| 2 | 1 | 21 | 43 | |
| | 2 | 22 | 44 | |
| | 3 | 22 | 44 | |
| | 4 | 22 | 43 | |
| | Gjennomsnitt | 21,8 | 43,5 | 0,2 |

| | | | | |
|---|--------------|------|------|-----|
| 3 | 1 | 24 | 44 | |
| | 2 | 25 | 43 | |
| | 3 | 24 | 44 | |
| | 4 | 24 | 44 | |
| | Gjennomsnitt | 24,3 | 43,8 | 0,2 |

Hull 3 – 124cm til duk, 129cm til masse

| Prøve | Måling | Dybde til prøve | Dybde til utgravd | H |
|-------|--------------|-----------------|-------------------|-----|
| 1 | 1 | 23 | 43 | |
| | 2 | 21 | 45 | |
| | 3 | 23 | 44 | |
| | 4 | 22,5 | 42 | |
| | Gjennomsnitt | 22,4 | 43,5 | 0,2 |

| Laboratoriet: | | (g) |
|-------------------------------------|--|------|
| Våt inkl. pose | | 7229 |
| Våt inkl. pose- vann tapt i lagring | | 7206 |
| Våt uten pose- vann tapt i lagring | | 7086 |
| Pose | | 120 |
| Våt uten pose | | 7109 |
| Tørr uten pose | | 5510 |

| Laboratoriet: | | (g) |
|-------------------------------------|--|-------|
| Våt inkl. pose | | 11638 |
| Våt inkl. pose- vann tapt i lagring | | 11604 |
| Våt uten pose- vann tapt i lagring | | 11482 |
| Pose | | 122 |
| Våt uten pose | | 11516 |
| Tørr uten pose | | 8418 |

| Laboratoriet: | | (g) |
|-------------------------------------|--|---------|
| Våt inkl. pose | | 11332,5 |
| Våt inkl. pose- vann tapt i lagring | | 11316 |
| Våt uten pose- vann tapt i lagring | | 11193 |
| Pose | | 123 |
| Våt uten pose | | 11209,5 |
| Tørr uten pose | | 8156 |

| Laboratoriet: | | (g) |
|-------------------------------------|--|---------|
| Våt inkl. pose | | 12208,5 |
| Våt inkl. pose- vann tapt i lagring | | 12196 |
| Våt uten pose- vann tapt i lagring | | 12070 |
| Pose | | 126 |
| Våt uten pose | | 12082,5 |
| Tørr uten pose | | 8593 |

| Laboratoriet: | | (g) |
|-------------------------------------|--|-------|
| Våt inkl. pose | | 10903 |
| Våt inkl. pose- vann tapt i lagring | | 10898 |
| Våt uten pose- vann tapt i lagring | | 10777 |
| Pose | | 121 |
| Våt uten pose | | 10782 |
| Tørr uten pose | | 8332 |

| Laboratoriet: | | (g) |
|-------------------------------------|--|-------|
| Våt inkl. pose | | 11947 |
| Våt inkl. pose- vann tapt i lagring | | 11896 |
| Våt uten pose- vann tapt i lagring | | 11776 |
| Pose | | 120 |
| Våt uten pose | | 11827 |
| Tørr uten pose | | 8903 |

| Utregnet: | | |
|--|--|--------|
| Vanninnhold: | | 29 % |
| Volum prøve (m ³): | | 0,02 |
| Insitu densitet (våt) | | 356,36 |
| Insitu densitet (tørr) | | 276,20 |
| Insitu densitet (våt) kN/m ³ | | 3,50 |
| Insitu densitet (tørr) kN/m ³ | | 2,71 |

| Utregnet: | | |
|--|--|--------|
| Vanninnhold: | | 37 % |
| Volum prøve (m ³): | | 0,03 |
| Insitu densitet (våt) | | 411,87 |
| Insitu densitet (tørr) | | 301,07 |
| Insitu densitet (våt) kN/m ³ | | 4,04 |
| Insitu densitet (tørr) kN/m ³ | | 2,95 |

| Utregnet: | | |
|--|--|--------|
| Vanninnhold: | | 37 % |
| Volum prøve (m ³): | | 0,03 |
| Insitu densitet (våt) | | 410,13 |
| Insitu densitet (tørr) | | 298,41 |
| Insitu densitet (våt) kN/m ³ | | 4,02 |
| Insitu densitet (tørr) kN/m ³ | | 2,93 |

| Utregnet: | | |
|--|--|--------|
| Vanninnhold: | | 41 % |
| Volum prøve (m ³): | | 0,03 |
| Insitu densitet (våt) | | 442,07 |
| Insitu densitet (tørr) | | 314,40 |
| Insitu densitet (våt) kN/m ³ | | 4,34 |
| Insitu densitet (tørr) kN/m ³ | | 3,08 |

| Utregnet: | | |
|--|--|--------|
| Vanninnhold: | | 29 % |
| Volum prøve (m ³): | | 0,02 |
| Insitu densitet (våt) | | 440,00 |
| Insitu densitet (tørr) | | 340,02 |
| Insitu densitet (våt) kN/m ³ | | 4,32 |
| Insitu densitet (tørr) kN/m ³ | | 3,34 |

| Utregnet: | | |
|--|--|--------|
| Vanninnhold: | | 33 % |
| Volum prøve (m ³): | | 0,03 |
| Insitu densitet (våt) | | 445,52 |
| Insitu densitet (tørr) | | 335,37 |
| Insitu densitet (våt) kN/m ³ | | 4,37 |
| Insitu densitet (tørr) kN/m ³ | | 3,29 |

Borgekrysset

| Prøve | Laboratoriet | (g) |
|--------|-------------------------------------|----------|
| hull 1 | Våt inkl. pose | 1 2448,5 |
| | Våt inkl. pose- vann tapt i lagring | 1 2438 |
| | Pose | 123 |
| | Våt u. pose | 1 2325,5 |
| | Våt u. pose- vann tapt i lagring | 1 2315 |
| | Vanninnhold mistet | 0,1 % |

| Prøve | Laboratoriet | (g) |
|--------|-------------------------------------|-----|
| hull 2 | Våt inkl. pose | |
| | Våt inkl. pose- vann tapt i lagring | |
| | Pose | |
| | Våt u. pose | |
| | Våt u. pose- vann tapt i lagring | |
| | Vanninnhold mistet | |

| | 1 | 2 | 3 |
|--------------|--------|--------|--------|
| Vekt våt | 4032,4 | 4144,5 | 3797,2 |
| Vekt tørr | 3201 | 3290 | 3020 |
| Volum | 0,01 | 0,01 | 0,01 |
| Vanninnhold: | 26 % | 26 % | 26 % |

| | 1 | 2 | 3 |
|--------------|--------|--------|--------|
| Vekt våt | 3888,0 | 3909,0 | 3937,0 |
| Vekt tørr | 2952 | 2997 | 3019 |
| Volum | 0,01 | 0,01 | 0,01 |
| Vanninnhold: | 32 % | 30 % | 30 % |

| | |
|-----------------------|-------|
| Middel densitet Våt: | 399,1 |
| Middel densitet Tørr: | 317,0 |
| Middel vanninnhold | 26 % |

| | |
|-----------------------|-------|
| Middel densitet Våt: | 391,1 |
| Middel densitet Tørr: | 298,9 |
| Middel vanninnhold | 31 % |

Jarle bru

Hull 1

| Prøve | Laboratoriet | (g) |
|--------------------|-------------------------------------|---------|
| 1 | Våt inkl. pose | 11706,5 |
| | Våt inkl. pose- vann tapt i lagring | 11639 |
| | Pose | 122 |
| | Våt u. pose | 11584,5 |
| | Våt u. pose- vann tapt i lagring | 11517 |
| Vanninnhold mistet | | 0,6 % |

| | 1 | 2 |
|--------------|--------|--------|
| Vekt våt | 3840,5 | 3952,0 |
| Vekt tørr | 2965 | 3046 |
| Volum | 0,01 | 0,01 |
| Vanninnhold: | 30 % | 30 % |

| | |
|-----------------------|-------|
| Middel densitet Våt: | 389,6 |
| Middel densitet Tørr: | 300,6 |
| Middel vanninnhold | 30 % |

| Prøve | Laboratoriet | (g) |
|--------------------|-------------------------------------|---------|
| 2 | Våt inkl. pose | 14156,5 |
| | Våt inkl. pose- vann tapt i lagring | 14109 |
| | Pose | 124 |
| | Våt u. pose | 14032,5 |
| | Våt u. pose- vann tapt i lagring | 13985 |
| Vanninnhold mistet | | 0,3 % |

| | 1 | 2 | 3 |
|--------------|--------|--------|--------|
| Vekt våt | 4075,8 | 4175,1 | 4079,8 |
| Vekt tørr | 3049 | 3007 | 2970 |
| Volum | 0,01 | 0,01 | 0,01 |
| Vanninnhold: | 34 % | 39 % | 37 % |

| | |
|-----------------------|-------|
| Middel densitet Våt: | 411,0 |
| Middel densitet Tørr: | 300,9 |
| Middel vanninnhold | 37 % |

Hull 2

| Prøve | Laboratoriet | (g) |
|--------------------|-------------------------------------|-------|
| 1 | Våt inkl. pose | 14851 |
| | Våt inkl. pose- vann tapt i lagring | 14601 |
| | Pose | 129 |
| | Våt u. pose | 14722 |
| | Våt u. pose- vann tapt i lagring | 14472 |
| Vanninnhold mistet | | 1,7 % |

| | 1 | 2 | 3 |
|--------------|--------|--------|--------|
| Vekt våt | 4347,8 | 4250,2 | 4129,1 |
| Vekt tørr | 3059 | 3075 | 3007 |
| Volum | 0,01 | 0,01 | 0,01 |
| Vanninnhold: | 42 % | 38 % | 37 % |

| | |
|-----------------------|-------|
| Middel densitet Våt: | 424,2 |
| Middel densitet Tørr: | 304,7 |
| Middel vanninnhold | 39 % |

| Prøve | Laboratoriet | (g) |
|--------------------|-------------------------------------|---------|
| 2 | Våt inkl. pose | 14533,5 |
| | Våt inkl. pose- vann tapt i lagring | 14456 |
| | Pose | 141 |
| | Våt u. pose | 14392,5 |
| | Våt u. pose- vann tapt i lagring | 14315 |
| Vanninnhold mistet | | 0,5 % |

| | 1 | 2 |
|--------------|--------|--------|
| Vekt våt | 4145,3 | 4193,6 |
| Vekt tørr | 2983 | 3056 |
| Volum | 0,01 | 0,01 |
| Vanninnhold: | 39 % | 37 % |

| | |
|-----------------------|-------|
| Middel densitet Våt: | 416,9 |
| Middel densitet Tørr: | 302,0 |
| Middel vanninnhold | 38 % |

| Prøve | Laboratoriet | (g) |
|--------------------|-------------------------------------|-------|
| 3 | Våt inkl. pose | 12918 |
| | Våt inkl. pose- vann tapt i lagring | 12907 |
| | Pose | 123 |
| | Våt u. pose | 12795 |
| | Våt u. pose- vann tapt i lagring | 12784 |
| Vanninnhold mistet | | 0,1 % |

| | 1 | 2 | 3 |
|--------------|--------|--------|--------|
| Vekt våt | 4152,6 | 4009,4 | 3814,3 |
| Vekt tørr | 3007 | 2956 | 2816 |
| Volum | 0,01 | 0,01 | 0,01 |
| Vanninnhold: | 38 % | 36 % | 35 % |

| | |
|-----------------------|-------|
| Middel densitet Våt: | 399,2 |
| Middel densitet Tørr: | 292,6 |
| Middel vanninnhold | 36 % |

Hull 3

| Prøve | Laboratoriet | (g) |
|--------------------|-------------------------------------|---------|
| 1 | Våt inkl. pose | 13319,5 |
| | Våt inkl. pose- vann tapt i lagring | 13290 |
| | Pose | 114 |
| | Våt u. pose | 13205,5 |
| | Våt u. pose- vann tapt i lagring | 13176 |
| Vanninnhold mistet | | 0,2 % |

| | 1 | 2 | 3 |
|--------------|--------|--------|--------|
| Vekt våt | 4051,0 | 4056,1 | 3997,9 |
| Vekt tørr | 2967 | 2980 | 2924 |
| Volum | 0,01 | 0,01 | 0,01 |
| Vanninnhold: | 37 % | 36 % | 37 % |

| | |
|-----------------------|-------|
| Middel densitet Våt: | 403,5 |
| Middel densitet Tørr: | 295,7 |
| Middel vanninnhold | 36 % |

| Prøve | Laboratoriet | (g) |
|--------------------|-------------------------------------|-------|
| 2 | Våt inkl. pose | 14534 |
| | Våt inkl. pose- vann tapt i lagring | 14464 |
| | Pose | 126 |
| | Våt u. pose | 14408 |
| | Våt u. pose- vann tapt i lagring | 14338 |
| Vanninnhold mistet | | 0,5 % |

| | 1 | 2 | 3 |
|--------------|--------|--------|--------|
| Vekt våt | 3998,4 | 4090,9 | 3973,3 |
| Vekt tørr | 2979 | 3006 | 2917 |
| Volum | 0,01 | 0,01 | 0,01 |
| Vanninnhold: | 34 % | 36 % | 36 % |

| | |
|-----------------------|-------|
| Middel densitet Våt: | 402,1 |
| Middel densitet Tørr: | 296,7 |
| Middel vanninnhold | 36 % |



Korngradering

Oppdragnr. 1170005
 Prosjektnummer
 Ansvarsområde

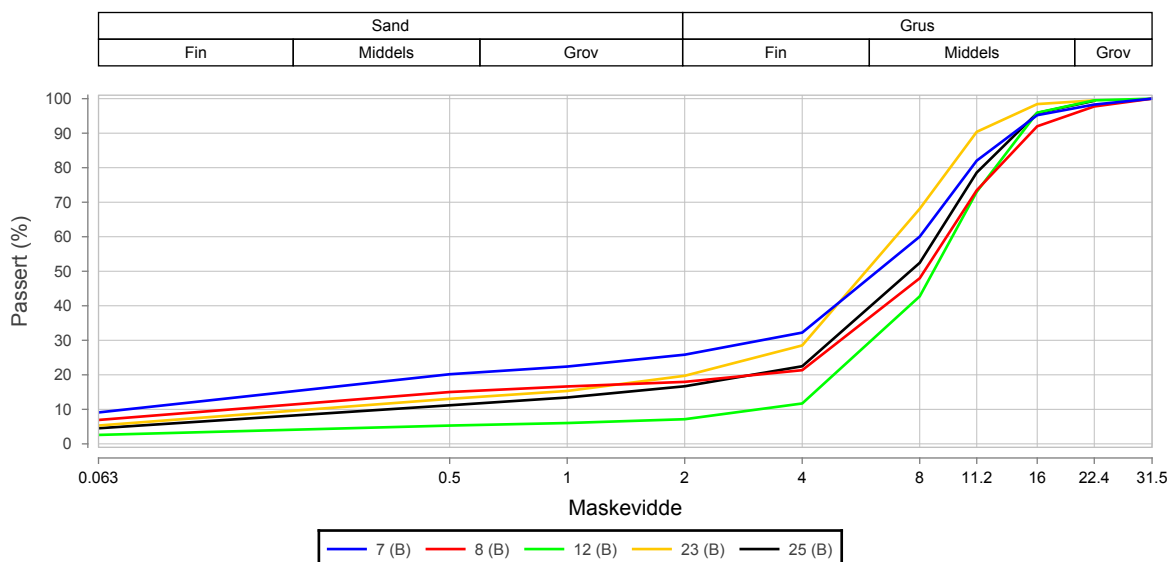
Oppdragsnavn Masteroppgave Tine Sæther
 Prosjektnavn
 Ansvarlig

Prøvedata

| Prøvenr | 7 _(B) | 8 _(B) | 12 _(B) | 23 _(B) | 25 _(B) |
|---------------------|------------------|------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| Uttatt dato | | | | | |
| Uttatt kl. | | | | | |
| Uttakssted | På veg | På veg | På veg | På veg | På veg |
| Analysetype | Tørssikt | Tørssikt | Tørssikt | Tørssikt | Tørssikt |
| Massetak | | | | | |
| Består av | | | | | |
| Grenseverdir. | | | | | |
| Vegnr/HP | | | | | |
| Meter/*profil | | | | | |
| Avstand høyre kant | | | | | |
| Dybde | - | - | - | - | - |
| Vanninnhold (%) | 26.0 | 30.8 | 36.3 | | |
| Vannabsorpsjon (%) | | | | | |
| Humus (Glødetap) | | | | | |
| Fraksjon (mm) | | | | | |
| Overstørrelse | 0.0 | 0.0 | 0.0 | | |
| Understørrelse | | | | | |
| % <63µm av <delsikt | 9.3 (22,4 mm) | 7.1 (22,4 mm) | 2.6 (22,4 mm) | 5.3 (22,4 mm) | 4.5 (22,4 mm) |
| % <20µm av <delsikt | | | | | |
| Finstoffinnhold f | 9.1 | 6.9 | 2.6 | 5.3 | 4.5 |
| Godkjent siktekurve | Nei | Nei | Nei | Nei | Nei |

Siktedata - Passert (%)

| Pr.nr. | µm | | mm | | | | | | | |
|-------------------|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| | 63 | 500 | 1 | 2 | 4 | 8 | 11.2 | 16 | 22.4 | 31.5 |
| 7 _(B) | 9.1 | 20.2 | 22.4 | 25.8 | 32.2 | 60.0 | 82.0 | 95.2 | 98.3 | 100.0 |
| 8 _(B) | 6.9 | 15.0 | 16.6 | 18.0 | 21.3 | 48.0 | 73.5 | 92.0 | 97.7 | 100.0 |
| 12 _(B) | 2.6 | 5.3 | 6.0 | 7.1 | 11.7 | 42.7 | 73.0 | 95.9 | 99.5 | 100.0 |
| 23 _(B) | 5.3 | 13.0 | 15.3 | 19.7 | 28.5 | 68.1 | 90.4 | 98.4 | 99.5 | |
| 25 _(B) | 4.5 | 11.2 | 13.4 | 16.7 | 22.5 | 52.4 | 78.6 | 95.8 | 99.4 | |



| Pr.nr | Vegnr | Meter/*profil | HP | Avst.hk. | Dybde(m) | Jordart | Cu (* = Cu75) | TG |
|-------------------|-------|---------------|----|----------|----------|---------|---------------|----|
| 7 _(B) | | | | | - | | 107.2 | |
| 8 _(B) | | | | | - | | 67.6 | |
| 12 _(B) | | | | | - | | 3.1 | |
| 23 _(B) | | | | | - | | 31.4 | |
| 25 _(B) | | | | | - | | 25.4 | |

Sted: _____

Dato: _____

Signatur: _____



Korngradering

Oppdragnr. 1170005
 Prosjektnummer
 Ansvarsområde

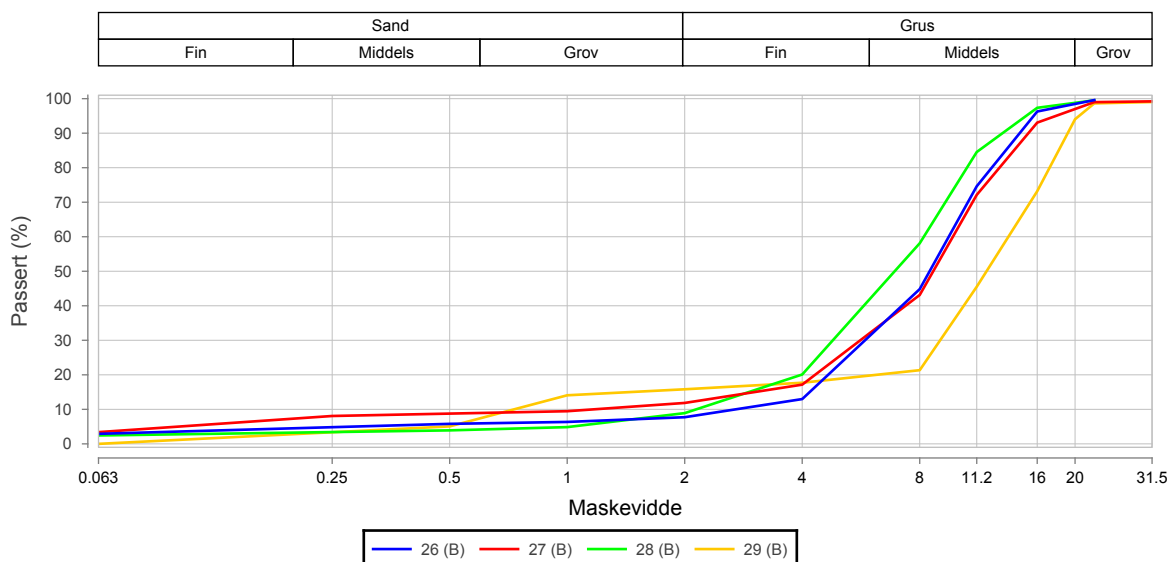
Oppdragsnavn Masteroppgave Tine Sæther
 Prosjektnavn
 Ansvarlig

Prøvedata

| | | | | | |
|---------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|--|
| Prøvenr | 26(B) | 27(B) | 28(B) | 29(B) | |
| Uttatt dato | | | | | |
| Uttatt kl. | | | | | |
| Uttakssted | På veg | På veg | På veg | På veg | |
| Analysetype | Tørrsikt | Tørrsikt | Tørrsikt | Tørrsikt | |
| Massetak | | | | | |
| Består av | | | | | |
| Grenseverdir. | | | | | |
| Vegnr/HP | | | | | |
| Meter/*profil | | | | | |
| Avstand høyre kant | | | | | |
| Dybde | - | - | - | - | |
| Vanninnhold (%) | | | | | |
| Vannabsorpsjon (%) | | | | | |
| Humus (Glødetap) | | | | | |
| Fraksjon (mm) | | | | | |
| Overstørrelse | | 0.8 | | 1.0 | |
| Understørrelse | | | | | |
| % <63µm av <delsikt | 2.9 (22,4 mm) | 3.4 (22,4 mm) | 2.4 (22,4 mm) | 0.0 (22,4 mm) | |
| % <20µm av <delsikt | | | | | |
| Finstoffinnhold f | 2.9 | 3.4 | 2.4 | 0.0 | |
| Godkjent siktekurve | Nei | Nei | Nei | Nei | |

Siktedata - Passert (%)

| Pr.nr. | µm | | | mm | | | | | | | | |
|--------|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 63 | 250 | 500 | 1 | 2 | 4 | 8 | 11.2 | 16 | 20 | 22.4 | 31.5 |
| 26(B) | 2.9 | | 5.8 | 6.3 | 7.7 | 13.0 | 44.8 | 74.6 | 96.3 | | 99.6 | |
| 27(B) | 3.4 | 8.1 | | 9.5 | 11.8 | 17.2 | 43.1 | 72.1 | 93.1 | | 99.0 | 99.2 |
| 28(B) | 2.4 | | 3.9 | 4.8 | 8.9 | 20.1 | 58.1 | 84.5 | 97.3 | | 99.5 | |
| 29(B) | 0.0 | | 5.1 | 14.1 | 15.8 | 17.7 | 21.3 | 45.5 | 73.2 | 94.0 | 98.6 | 99.0 |



| Pr.nr | Vegnr | Meter/*profil | HP | Avst.hk. | Dybde(m) | Jordart | Cu (* = Cu75) | TG |
|-------|-------|---------------|----|----------|----------|---------|---------------|----|
| 26(B) | | | | | - | | 3.5 | |
| 27(B) | | | | | - | | 8.3 | |
| 28(B) | | | | | - | | 3.8 | |
| 29(B) | | | | | - | | 18.5 | |

Sted: _____

Dato: _____

Signatur: _____



Korngradering

Laboratorium: Sentrallaboratoriet Oslo - I henhold til HO14 labprosess: 14.423, 14.424, 14.432, 14.433, 14.434, 14.439

Prøveopplav: (B) Byggherre (E) Entreprenør (P) Produsent

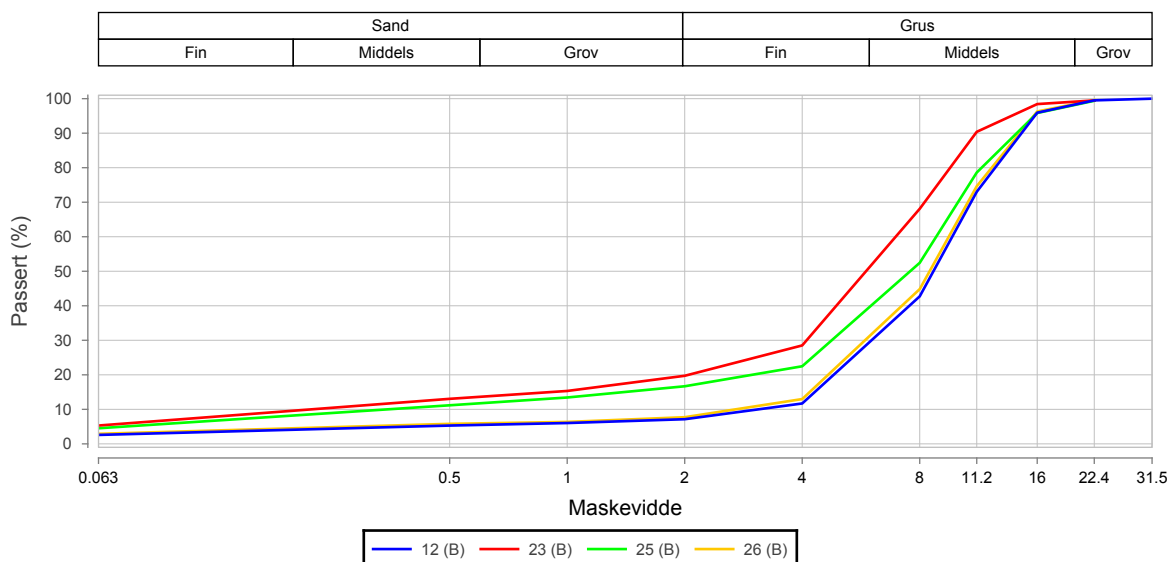
| | | | |
|----------------|---------|--------------|---------------------------|
| Oppdragnr. | 1170005 | Oppdragsnavn | Masteroppgave Tine Sæther |
| Prosjektnummer | | Prosjektnavn | |
| Ansvarsområde | | Ansvarlig | |

Prøvedata

| | | | | | |
|---------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|--|
| Prøvenr | 12 _(B) | 23 _(B) | 25 _(B) | 26 _(B) | |
| Uttatt dato | | | | | |
| Uttatt kl. | | | | | |
| Uttakssted | På veg | På veg | På veg | På veg | |
| Analysetype | Tørssikt | Tørssikt | Tørssikt | Tørssikt | |
| Massetak | | | | | |
| Består av | | | | | |
| Grenseverdirn. | | | | | |
| Vegnr/HP | | | | | |
| Meter/*profil | | | | | |
| Avstand høyre kant | | | | | |
| Dybde | - | - | - | - | |
| Vanninnhold (%) | 36.3 | | | | |
| Vannabsorpsjon (%) | | | | | |
| Humus (Glødetap) | | | | | |
| Fraksjon (mm) | | | | | |
| Overstørrelse | 0.0 | | | | |
| Understørrelse | | | | | |
| % <63µm av <delsikt | 2.6 (22,4 mm) | 5.3 (22,4 mm) | 4.5 (22,4 mm) | 2.9 (22,4 mm) | |
| % <20µm av <delsikt | | | | | |
| Finstoffinnhold f | 2.6 | 5.3 | 4.5 | 2.9 | |
| Godkjent siktekurve | Nei | Nei | Nei | Nei | |

Siktedata - Passert (%)

| Pr.nr. | µm | | mm | | | | | | | |
|-------------------|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| | 63 | 500 | 1 | 2 | 4 | 8 | 11.2 | 16 | 22.4 | 31.5 |
| 12 _(B) | 2.6 | 5.3 | 6.0 | 7.1 | 11.7 | 42.7 | 73.0 | 95.9 | 99.5 | 100.0 |
| 23 _(B) | 5.3 | 13.0 | 15.3 | 19.7 | 28.5 | 68.1 | 90.4 | 98.4 | 99.5 | |
| 25 _(B) | 4.5 | 11.2 | 13.4 | 16.7 | 22.5 | 52.4 | 78.6 | 95.8 | 99.4 | |
| 26 _(B) | 2.9 | 5.8 | 6.3 | 7.7 | 13.0 | 44.8 | 74.6 | 96.3 | 99.6 | |



| Pr.nr | Vegnr | Meter/*profil | HP | Avst.hk. | Dybde(m) | Jordart | Cu (* = Cu75) | TG |
|-------------------|-------|---------------|----|----------|----------|---------|---------------|----|
| 12 _(B) | | | | | - | | 3.1 | |
| 23 _(B) | | | | | - | | 31.4 | |
| 25 _(B) | | | | | - | | 25.4 | |
| 26 _(B) | | | | | - | | 3.5 | |

Sted: _____

Dato: _____

Signatur: _____



Korngradering

Laboratorium: Sentrallaboratoriet Oslo - I henhold til HO14 labprosess: 14.423, 14.424, 14.432, 14.433, 14.434, 14.439

Prøveopplav: (B) Byggherre (E) Entreprenør (P) Produsent

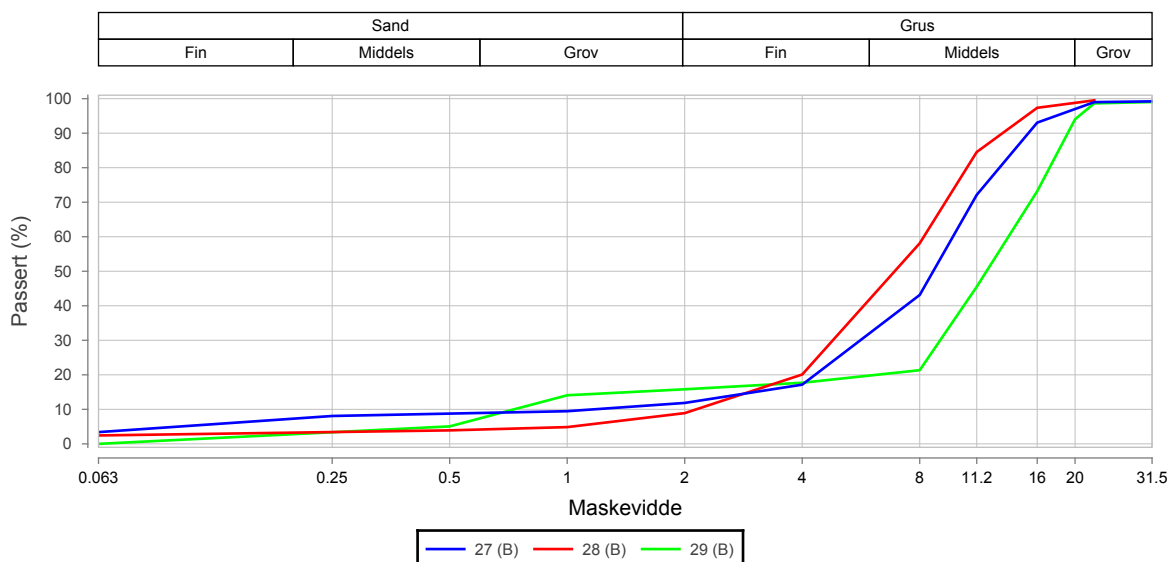
| | | | |
|----------------|---------|--------------|---------------------------|
| Oppdragnr. | 1170005 | Oppdragsnavn | Masteroppgave Tine Sæther |
| Prosjektnummer | | Prosjektnavn | |
| Ansvarsområde | | Ansvarlig | |

Prøvedata

| | | | | | |
|---------------------|-------------------|-------------------|-------------------|--|--|
| Prøvenr | 27 _(B) | 28 _(B) | 29 _(B) | | |
| Uttatt dato | | | | | |
| Uttatt kl. | | | | | |
| Uttakssted | På veg | På veg | På veg | | |
| Analysetype | Tørssikt | Tørssikt | Tørssikt | | |
| Massetak | | | | | |
| Består av | | | | | |
| Grenseverdirn. | | | | | |
| Vegnr/HP | | | | | |
| Meter/*profil | | | | | |
| Avstand høyre kant | | | | | |
| Dybde | - | - | - | | |
| Vanninnhold (%) | | | | | |
| Vannabsorpsjon (%) | | | | | |
| Humus (Glødetap) | | | | | |
| Fraksjon (mm) | | | | | |
| Overstørrelse | 0.8 | | 1.0 | | |
| Understørrelse | | | | | |
| % <63µm av <delsikt | 3.4 (22,4 mm) | 2.4 (22,4 mm) | 0.0 (22,4 mm) | | |
| % <20µm av <delsikt | | | | | |
| Finstoffinnhold f | 3.4 | 2.4 | 0.0 | | |
| Godkjent siktekurve | Nei | Nei | Nei | | |

Siktedata - Passert (%)

| Pr.nr. | µm | | | mm | | | | | | | | |
|-------------------|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 63 | 250 | 500 | 1 | 2 | 4 | 8 | 11.2 | 16 | 20 | 22.4 | 31.5 |
| 27 _(B) | 3.4 | 8.1 | | 9.5 | 11.8 | 17.2 | 43.1 | 72.1 | 93.1 | | 99.0 | 99.2 |
| 28 _(B) | 2.4 | | 3.9 | 4.8 | 8.9 | 20.1 | 58.1 | 84.5 | 97.3 | | 99.5 | |
| 29 _(B) | 0.0 | | 5.1 | 14.1 | 15.8 | 17.7 | 21.3 | 45.5 | 73.2 | 94.0 | 98.6 | 99.0 |



| Pr.nr | Vegnr | Meter/*profil | HP | Avst.hk. | Dybde(m) | Jordart | Cu (* = Cu75) | TG |
|-------------------|-------|---------------|----|----------|----------|---------|---------------|----|
| 27 _(B) | | | | | - | | 8.3 | |
| 28 _(B) | | | | | - | | 3.8 | |
| 29 _(B) | | | | | - | | 18.5 | |

Sted: _____

Dato: _____

Signatur: _____



Korngradering

Oppdragnr. 1170005
 Prosjektnummer
 Ansvarsområde

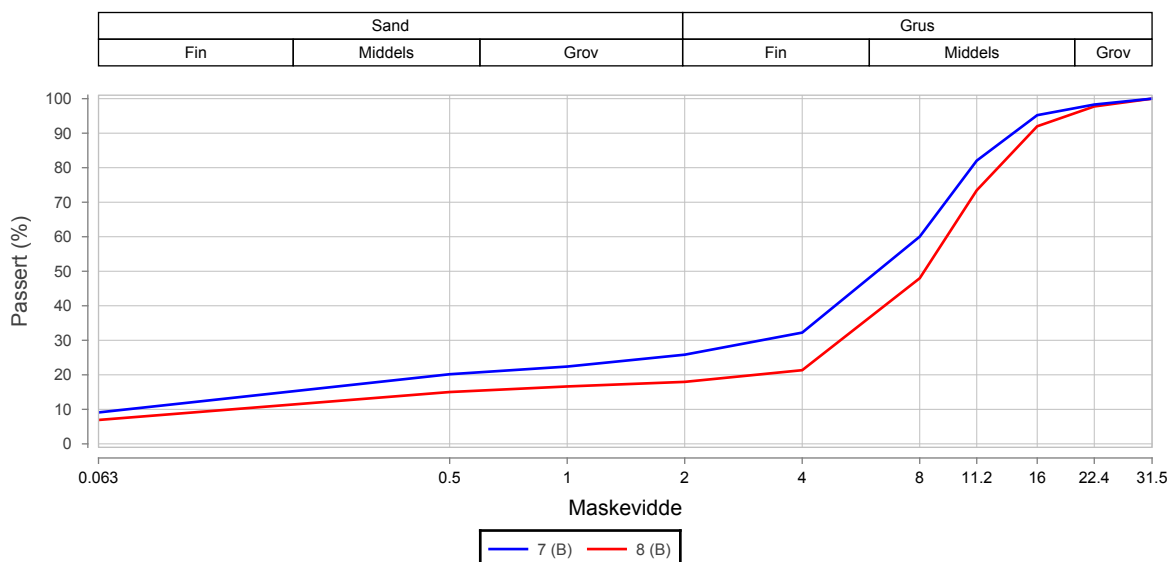
Oppdragsnavn Masteroppgave Tine Sæther
 Prosjektnavn
 Ansvarlig

Prøvedata

| | | | | | |
|---------------------|------------------|------------------|--|--|--|
| Prøvenr | 7 _(B) | 8 _(B) | | | |
| Uttatt dato | | | | | |
| Uttatt kl. | | | | | |
| Uttakssted | På veg | På veg | | | |
| Analysetype | Tørrsikt | Tørrsikt | | | |
| Massetak | | | | | |
| Består av | | | | | |
| Grenseverdirn. | | | | | |
| Vegnr/HP | | | | | |
| Meter/*profil | | | | | |
| Avstand høyre kant | | | | | |
| Dybde | - | - | | | |
| Vanninnhold (%) | 26.0 | 30.8 | | | |
| Vannabsorpsjon (%) | | | | | |
| Humus (Glødetap) | | | | | |
| Fraksjon (mm) | | | | | |
| Overstørrelse | 0.0 | 0.0 | | | |
| Understørrelse | | | | | |
| % <63µm av <delsikt | 9.3 (22,4 mm) | 7.1 (22,4 mm) | | | |
| % <20µm av <delsikt | | | | | |
| Finstoffinnhold f | 9.1 | 6.9 | | | |
| Godkjent siktekurve | Nei | Nei | | | |

Siktedata - Passert (%)

| Pr.nr. | µm | | mm | | | | | | | |
|------------------|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| | 63 | 500 | 1 | 2 | 4 | 8 | 11.2 | 16 | 22.4 | 31.5 |
| 7 _(B) | 9.1 | 20.2 | 22.4 | 25.8 | 32.2 | 60.0 | 82.0 | 95.2 | 98.3 | 100.0 |
| 8 _(B) | 6.9 | 15.0 | 16.6 | 18.0 | 21.3 | 48.0 | 73.5 | 92.0 | 97.7 | 100.0 |



| Pr.nr | Vegnr | Meter/*profil | HP | Avst.hk. | Dybde(m) | Jordart | Cu (* = Cu75) | TG |
|------------------|-------|---------------|----|----------|----------|---------|---------------|----|
| 7 _(B) | | | | | - | | 107.2 | |
| 8 _(B) | | | | | - | | 67.6 | |

Sted: _____

Dato: _____

Signatur: _____

Vedlegg 6 – Eksisterende fyllinger, skumglass

6a – In situ densitet, Krosbykrysset

6b – Løst lagret densitet, Krosbykrysset

6c – Korngradering, Krosbykrysset

Krosbykrysset – In situ densitet

Hull 1 Inneholder asfaltklumper fra fyllingen

| Prøve | Måling | Dybde til prøve (cm) | Dybde til utgravd (cm) | H (m) |
|-------|--------------|----------------------|------------------------|-------|
| 1 | 1 | 22 | 37,5 | |
| | 2 | 19 | 38 | |
| | 3 | 19,5 | 39 | |
| | 4 | 20,5 | 40 | |
| | Gjennomsnitt | 20,3 | 38,6 | 0,2 |

| | | | | |
|---|--------------|------|------|-----|
| 2 | 1 | 17 | 33 | |
| | 2 | 17 | 34,5 | |
| | 3 | 16,5 | 34 | |
| | 4 | 18 | 34,5 | |
| | Gjennomsnitt | 17,1 | 34,0 | 0,2 |

Hull 2 Inneholder finkornet asfalt

| Prøve | Måling | Dybde til prøve | Dybde til utgravd | H |
|-------|--------------|-----------------|-------------------|-----|
| 1 | 1 | 22,5 | 34,5 | |
| | 2 | 23 | 33,5 | |
| | 3 | 23 | 33 | |
| | 4 | 22 | 34 | |
| | Gjennomsnitt | 22,6 | 33,8 | 0,1 |

| | | | | |
|---|--------------|------|------|-----|
| 2 | 1 | 13 | 29 | |
| | 2 | 14,5 | 29 | |
| | 3 | 14 | 28,5 | |
| | 4 | 15 | 28 | |
| | Gjennomsnitt | 14,1 | 28,6 | 0,1 |

| Laboratoriet: | | (g) |
|-------------------------------------|--|------|
| Våt inkl. pose | | 7150 |
| Våt inkl. pose– vann tapt i lagring | | 7113 |
| Våt uten pose– vann tapt i lagring | | 6992 |
| Pose | | 121 |
| Våt uten pose | | 7029 |
| Tørr uten pose | | 5662 |

| Laboratoriet: | | (g) |
|-------------------------------------|--|------|
| Våt inkl. pose | | 6457 |
| Våt inkl. pose– vann tapt i lagring | | 6433 |
| Våt uten pose– vann tapt i lagring | | 6310 |
| Pose | | 123 |
| Våt uten pose | | 6334 |
| Tørr uten pose | | 5022 |

| Laboratoriet: | | (g) |
|-------------------------------------|--|------|
| Våt inkl. pose | | 5070 |
| Våt inkl. pose– vann tapt i lagring | | 5049 |
| Våt uten pose– vann tapt i lagring | | 4928 |
| Pose | | 121 |
| Våt uten pose | | 4949 |
| Tørr uten pose | | 4179 |

| Laboratoriet: | | (g) |
|-------------------------------------|--|------|
| Våt inkl. pose | | 7548 |
| Våt inkl. pose– vann tapt i lagring | | 7527 |
| Våt uten pose– vann tapt i lagring | | 7403 |
| Pose | | 124 |
| Våt uten pose | | 7424 |
| Tørr uten pose | | 6117 |

| Utreignet: | |
|--|--------|
| Vanninnhold: | 24 % |
| Volym prøve (m ³): | 0,02 |
| Insitu densitet (våt) | 304,41 |
| Insitu densitet (tørr) | 245,21 |
| Insitu densitet (våt) kN/m ³ | 2,99 |
| Insitu densitet (tørr) kN/m ³ | 2,41 |

| Utreignet: | |
|--|--------|
| Vanninnhold: | 26 % |
| Volym prøve (m ³): | 0,02 |
| Insitu densitet (våt) | 298,69 |
| Insitu densitet (tørr) | 236,82 |
| Insitu densitet (våt) kN/m ³ | 2,93 |
| Insitu densitet (tørr) kN/m ³ | 2,32 |

| Utreignet: | |
|--|--------|
| Vanninnhold: | 18 % |
| Volym prøve (m ³): | 0,01 |
| Insitu densitet (våt) | 354,00 |
| Insitu densitet (tørr) | 298,93 |
| Insitu densitet (våt) kN/m ³ | 3,47 |
| Insitu densitet (tørr) kN/m ³ | 2,93 |

| Utreignet: | |
|--|--------|
| Vanninnhold: | 21 % |
| Volym prøve (m ³): | 0,02 |
| Insitu densitet (våt) | 407,44 |
| Insitu densitet (tørr) | 335,71 |
| Insitu densitet (våt) kN/m ³ | 4,00 |
| Insitu densitet (tørr) kN/m ³ | 3,29 |

Krosbykrysset

Hull 1

| Prøve | Laboratoriet | (g) |
|-------|---------------------------------------|-------|
| 1 | Våt inkl. pose | 13991 |
| | Våt inkl. pose- vann tapt i lagring | 13882 |
| | Pose | 121 |
| | Våt u. pose | 13870 |
| | Våt u. pose- vann tapt i lagring | 13761 |
| | Vanninnhold mistet | 0,8 % |
| | Våt (stor bøtte)- vann tapt i lagring | 12341 |
| | Våt inkl. tapt vann | 12439 |
| | Tørr prøve | 10444 |

| | |
|--------------------------------|--------|
| Utregnet: | |
| Vanninnhold: | 19 % |
| Volum prøve (m ³): | 0,04 |
| Løst lagret densitet (våt) | 336,18 |
| Løst lagret densitet (tørr) | 282,27 |

| Prøve | Laboratoriet | (g) |
|-------|---------------------------------------|-------|
| 2 | Våt inkl. pose | 12208 |
| | Våt inkl. pose- vann tapt i lagring | 12105 |
| | Pose | 121 |
| | Våt u. pose | 12087 |
| | Våt u. pose- vann tapt i lagring | 11984 |
| | Vanninnhold mistet | 0,9 % |
| | Våt (stor bøtte)- vann tapt i lagring | 11865 |
| | Våt inkl. tapt vann | 11967 |
| | Tørr prøve | 9855 |

| | |
|--------------------------------|--------|
| Utregnet: | |
| Vanninnhold: | 21 % |
| Volum prøve (m ³): | 0,04 |
| Løst lagret densitet (våt) | 323,43 |
| Løst lagret densitet (tørr) | 266,35 |

Hull 2

| Prøve | Laboratoriet | (g) |
|-------|-------------------------------------|-------|
| 1 | Våt inkl. pose | 12538 |
| | Våt inkl. pose- vann tapt i lagring | 12438 |
| | Pose | 121 |
| | Våt u. pose | 12417 |
| | Våt u. pose- vann tapt i lagring | 12317 |
| | Vanninnhold mistet | 0,8 % |
| | Våt (10L*2)- vann tapt i lagring | 7289 |
| | Våt inkl. tapt vann | 7348 |
| | Tørr prøve | 6082 |

| | |
|--------------------------------|--------|
| Utregnet: | |
| Vanninnhold: | 21 % |
| Volum prøve (m ³): | 0,02 |
| Løst lagret densitet (våt) | 367,41 |
| Løst lagret densitet (tørr) | 304,10 |

| Prøve | Laboratoriet | (g) |
|-------|-------------------------------------|-------|
| 2 | Våt inkl. pose | 12469 |
| | Våt inkl. pose- vann tapt i lagring | 12412 |
| | Pose | 121 |
| | Våt u. pose | 12348 |
| | Våt u. pose- vann tapt i lagring | 12291 |
| | Vanninnhold mistet | 0,5 % |
| | Våt (10L*2)- vann tapt i lagring | 7586 |
| | Våt inkl. tapt vann | 7621 |
| | Tørr prøve | 6311 |

| | |
|--------------------------------|--------|
| Utregnet: | |
| Vanninnhold: | 21 % |
| Volum prøve (m ³): | 0,02 |
| Løst lagret densitet (våt) | 381,06 |
| Løst lagret densitet (tørr) | 315,55 |



Korngradering

Oppdragnr. 1170005
 Prosjektnummer
 Ansvarsområde

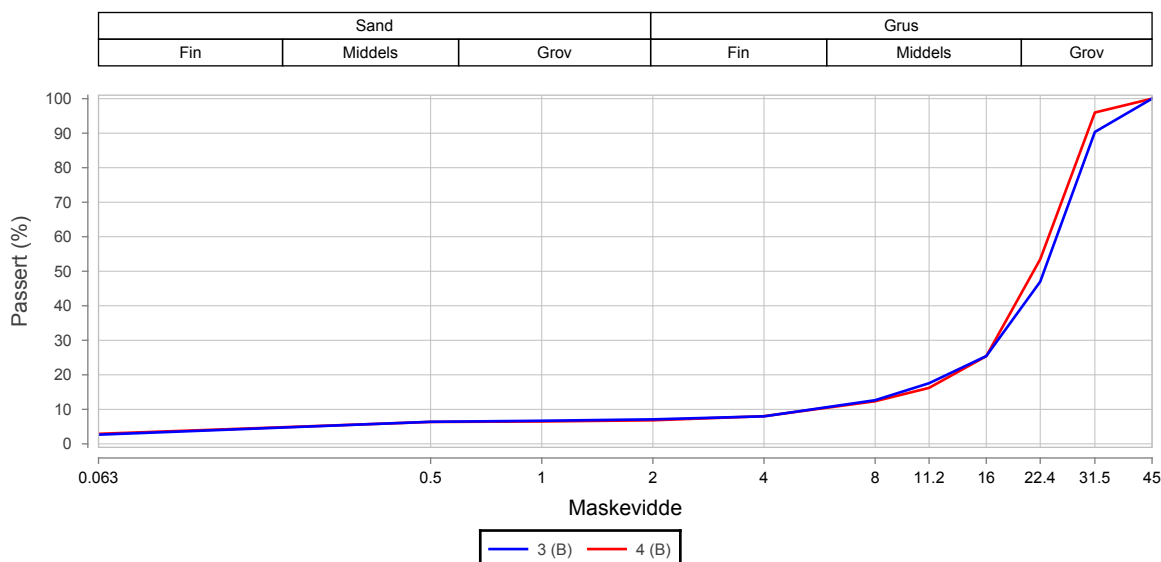
Oppdragsnavn Masteroppgave Tine Sæther
 Prosjektnavn
 Ansvarlig

Prøvedata

| | | | | | |
|---------------------|---------------|---------------|--|--|--|
| Prøvenr | 3(B) | 4(B) | | | |
| Uttatt dato | | | | | |
| Uttatt kl. | | | | | |
| Uttakssted | På veg | På veg | | | |
| Analysetype | Kont. sikt | Tørrsikt | | | |
| Massetak | | | | | |
| Består av | | | | | |
| Grenseverdir. | | | | | |
| Vegnr/HP | | | | | |
| Meter/*profil | | | | | |
| Avstand høyre kant | | | | | |
| Dybde | - | - | | | |
| Vanninnhold (%) | 20.2 | | | | |
| Vannabsorpsjon (%) | | | | | |
| Humus (Glødetap) | | | | | |
| Fraksjon (mm) | | | | | |
| Overstørrelse | | | | | |
| Understørrelse | 15.9 | 14.9 | | | |
| % <63µm av <delsikt | 5.7 (22,4 mm) | 5.4 (22,4 mm) | | | |
| % <20µm av <delsikt | | | | | |
| Finstoffinnhold f | 2.7 | 2.9 | | | |
| Godkjent siktekurve | | | | | |

Siktedata - Passert (%)

| Pr.nr. | µm | | | mm | | | | | | | |
|--------|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|-------|
| | 63 | 500 | 1 | 2 | 4 | 8 | 11.2 | 16 | 22.4 | 31.5 | 45 |
| 3(B) | 2.7 | 6.4 | 6.7 | 7.1 | 8.0 | 12.7 | 17.6 | 25.4 | 47.0 | 90.3 | 100.0 |
| 4(B) | 2.9 | 6.3 | 6.5 | 6.8 | 8.0 | 12.3 | 16.2 | 25.4 | 53.5 | 96.0 | 100.0 |



| Pr.nr | Vegnr | Meter/*profil | HP | Avst.hk. | Dybde(m) | Jordart | Cu (* = Cu75) | TG |
|-------|-------|---------------|----|----------|----------|---------|---------------|----|
| 3(B) | | | | | - | | 4.6 | |
| 4(B) | | | | | - | | 4.3 | |

Sted: _____

Dato: _____

Signatur: _____

Vedlegg 7 – Nye materialer – ødometer, lettklinker

7a – Komprimering av lag i ødometer

7b – Korngradering nye materialer og ødometer

7c – Spenning – modulkurve, samleplott

7d – Ødometer 1

7e – Ødometer 2

7f - Ødometer 3

Leca

1

Vekt prøve
Vanninnhold

15,4 Løst lagret densitet:

309,4737182

355,5328184

Antatt tørr

Komprimering:

| Lag | Masse innfylt (kg) | Tykkelse (cm) | Tykkelse etter komprimering(cm) | Deformasjon etter komprimering (cm) | Densitet etter komprimering |
|------|--------------------|---------------|---------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------|
| 1 | 6,7 | 10,5 | 9,5 | 1 | 1,11 |
| 2 | 6,7 | 10,5 | 9 | 1,5 | 1,17 |
| 3 | 6,7 | 11 | 9 | 2 | 1,22 |
| 4 | 6,7 | 11,5 | 10 | 1,5 | 1,15 |
| 5 | 6,7 | 11 | 10 | 1 | 1,10 |
| Sum: | 33,5 | 54,5 | 47,5 | 7 | 1,15 |

2

Vekt prøve
Vanninnhold

14,7 Løst lagret densitet:

295,406731

348,3208139

Antatt tørr

Komprimering:

| Lag | Masse innfylt (kg) | Tykkelse (cm) | Tykkelse etter komprimering(cm) | Deformasjon etter komprimering (cm) | Densitet etter komprimering |
|------|--------------------|---------------|---------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------|
| 1 | 6,7 | 10,5 | 9 | 1,5 | 1,17 |
| 2 | 6,7 | 11,5 | 9,5 | 2 | 1,21 |
| 3 | 6,7 | 11 | 9,5 | 1,5 | 1,16 |
| 4 | 6,7 | 11,5 | 9,5 | 2 | 1,21 |
| 5 | 6,7 | 11,5 | 10 | 1,5 | 1,15 |
| Sum: | 33,5 | 56 | 47,5 | 8,5 | 1,18 |

3

Vekt prøve
Vanninnhold

14,5 Løst lagret densitet:

291,3875918

342,3021904

Antatt tørr

Komprimering:

| Lag | Masse innfylt (kg) | Tykkelse (cm) | Tykkelse etter komprimering(cm) | Deformasjon etter komprimering (cm) | Densitet etter komprimering |
|------|--------------------|---------------|---------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------|
| 1 | 6,7 | 11,5 | 9,5 | 2 | 1,21 |
| 2 | 6,7 | 11,5 | 10 | 1,5 | 1,15 |
| 3 | 6,7 | 11 | 9 | 2 | 1,22 |
| 4 | 6,7 | 12 | 10 | 2 | 1,20 |
| 5 | 6,7 | 12 | 11 | 1 | 1,09 |
| Sum: | 33,5 | 58 | 49,5 | 8,5 | 1,17 |



Korngradering

Oppdragnr. 1170005
 Prosjektnummer
 Ansvarsområde

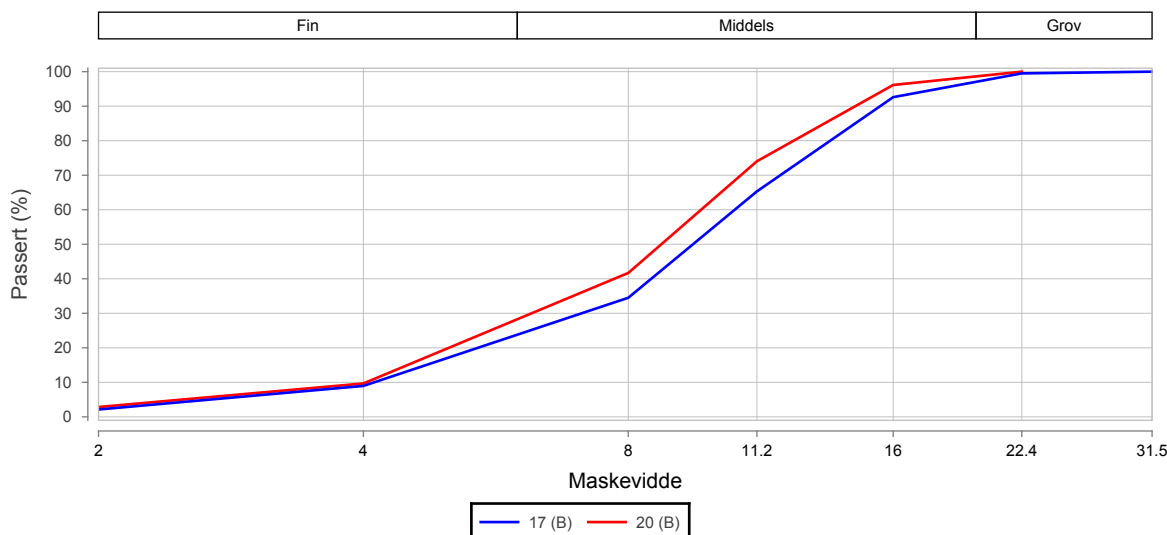
Oppdragsnavn Masteroppgave Tine Sæther
 Prosjektnavn
 Ansvarlig

Prøvedata

| | | | | | |
|---------------------|-------------------|-------------------|--|--|--|
| Prøvenr | 17 _(B) | 20 _(B) | | | |
| Uttatt dato | 23.01.2017 | 23.01.2017 | | | |
| Uttatt kl. | | | | | |
| Uttakssted | Annet | Annet | | | |
| Analysetype | Kont. sikt | Kont. sikt | | | |
| Massetak | | | | | |
| Består av | | | | | |
| Grenseverdirn. | | | | | |
| Vegnr/HP | | | | | |
| Meter/*profil | | | | | |
| Avstand høyre kant | | | | | |
| Dybde | - | - | | | |
| Vanninnhold (%) | | | | | |
| Vannabsorpsjon (%) | | | | | |
| Humus (Glødetap) | | | | | |
| Fraksjon (mm) | | | | | |
| Overstørrelse | 0.0 | | | | |
| Understørrelse | | | | | |
| % <63µm av <delsikt | | | | | |
| % <20µm av <delsikt | | | | | |
| Finstoffinnhold f | | | | | |
| Godkjent siktekurve | Nei | Nei | | | |

Siktedata - Passert (%)

| Pr.nr. | mm | | | | | | |
|-------------------|-----|-----|------|------|------|-------|-------|
| | 2 | 4 | 8 | 11.2 | 16 | 22.4 | 31.5 |
| 17 _(B) | 2.1 | 9.0 | 34.5 | 65.3 | 92.6 | 99.5 | 100.0 |
| 20 _(B) | 2.8 | 9.7 | 41.7 | 74.0 | 96.1 | 100.0 | |

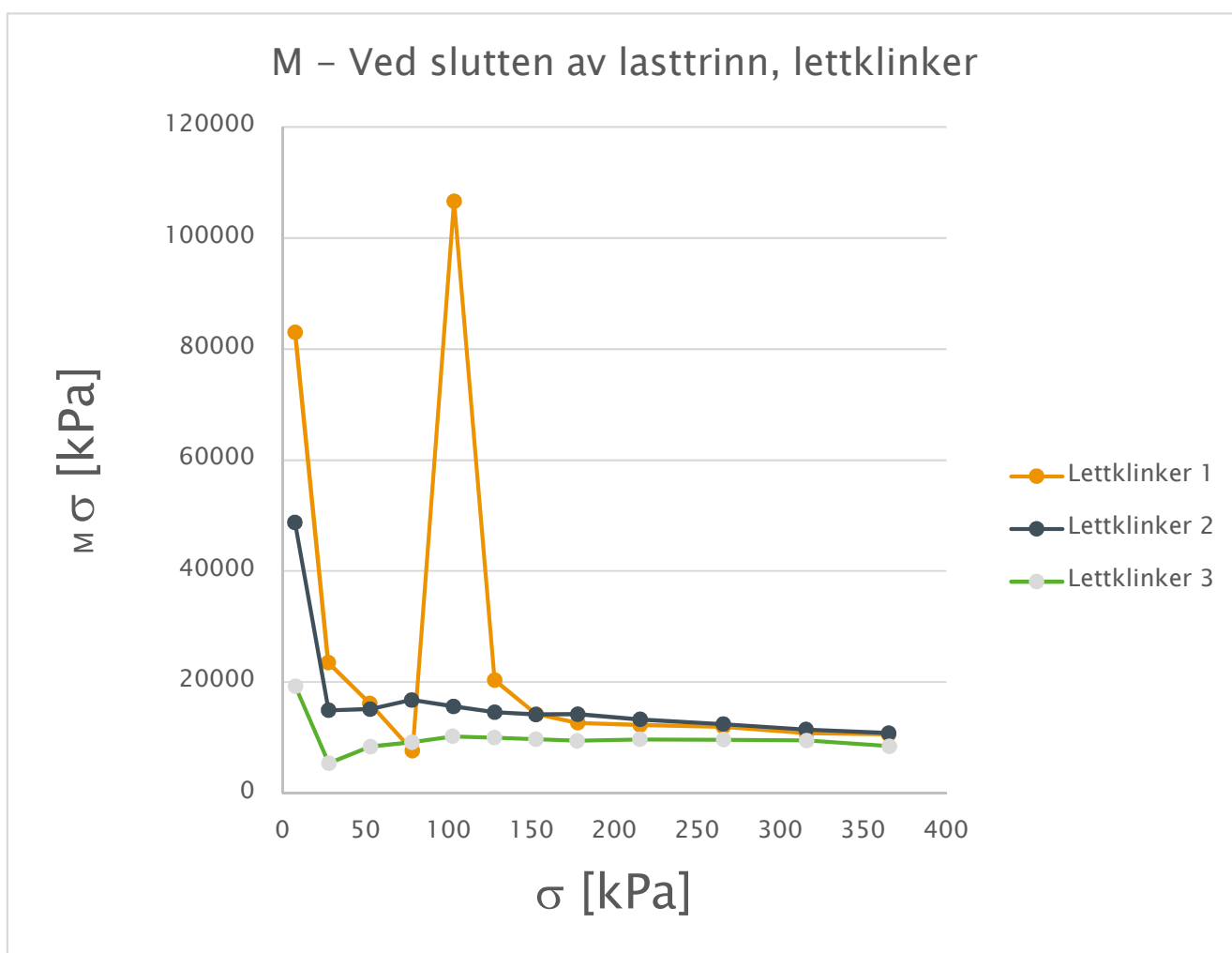


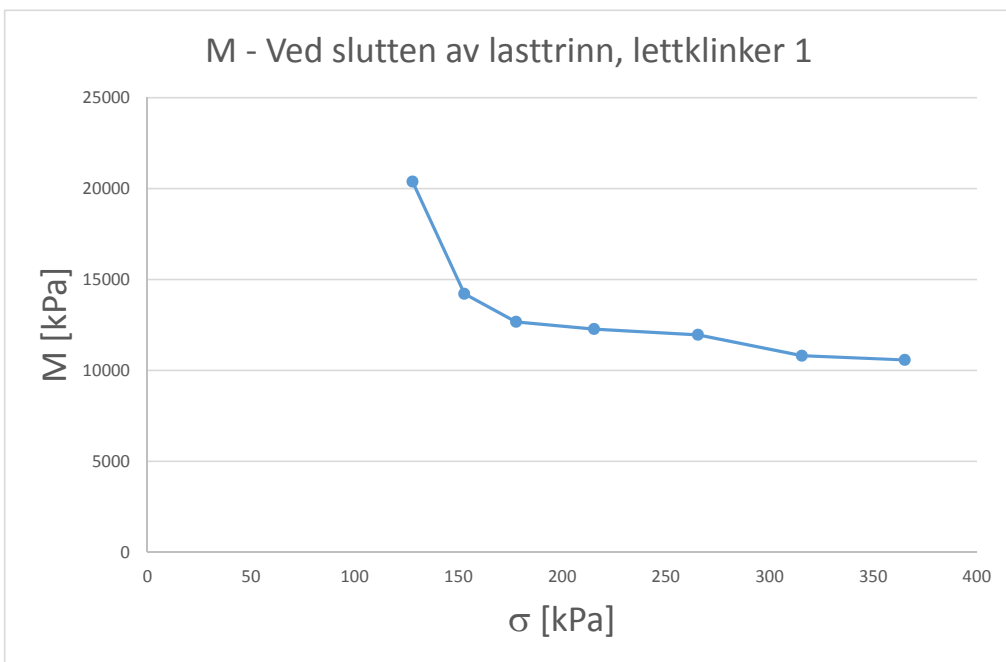
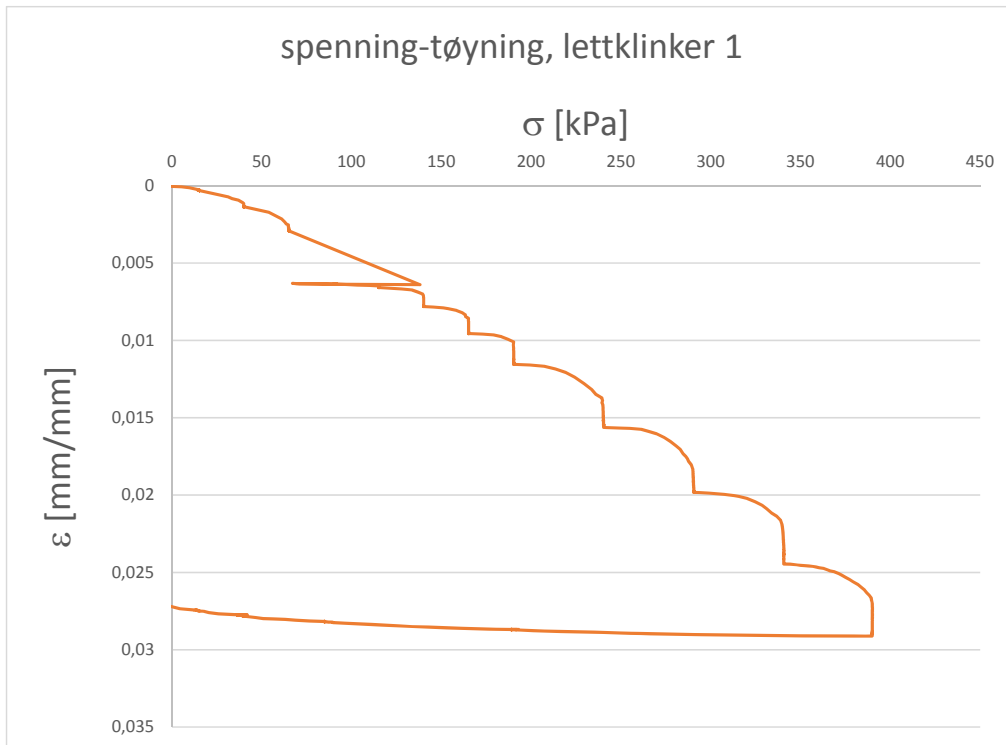
| Pr.nr | Vegnr | Meter/*profil | HP | Avst.hk. | Dybde(m) | Jordart | Cu (* = Cu75) | TG |
|-------------------|-------|---------------|----|----------|----------|---------|---------------|----|
| 17 _(B) | | | | | - | | 2.6 | |
| 20 _(B) | | | | | - | | 2.4 | |

Sted: _____

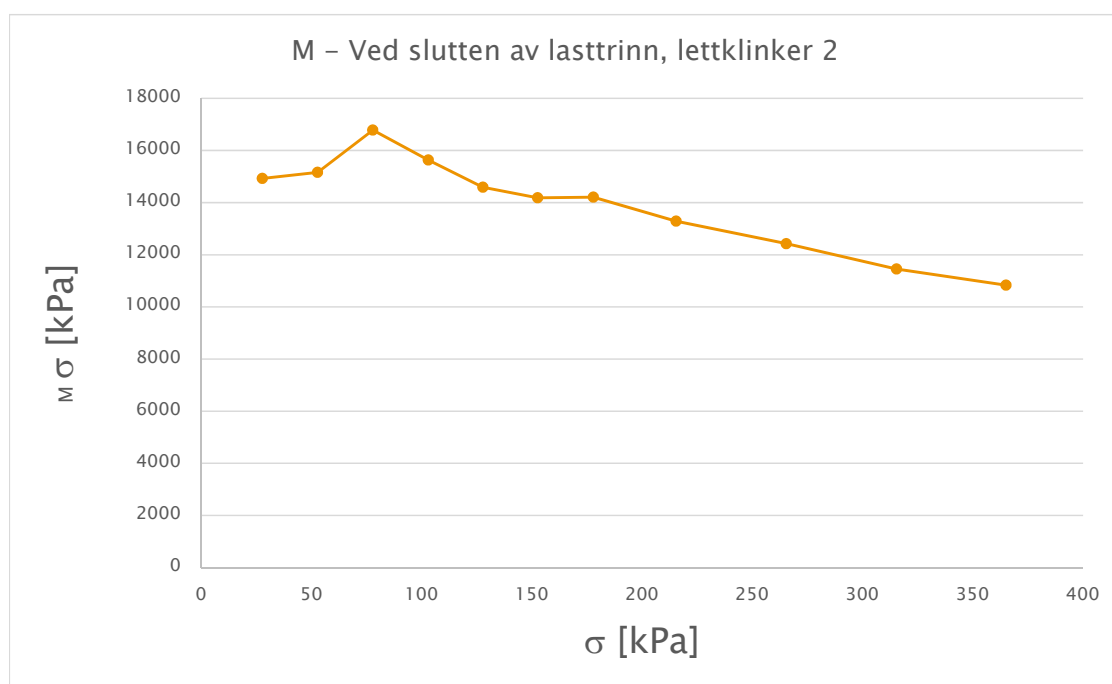
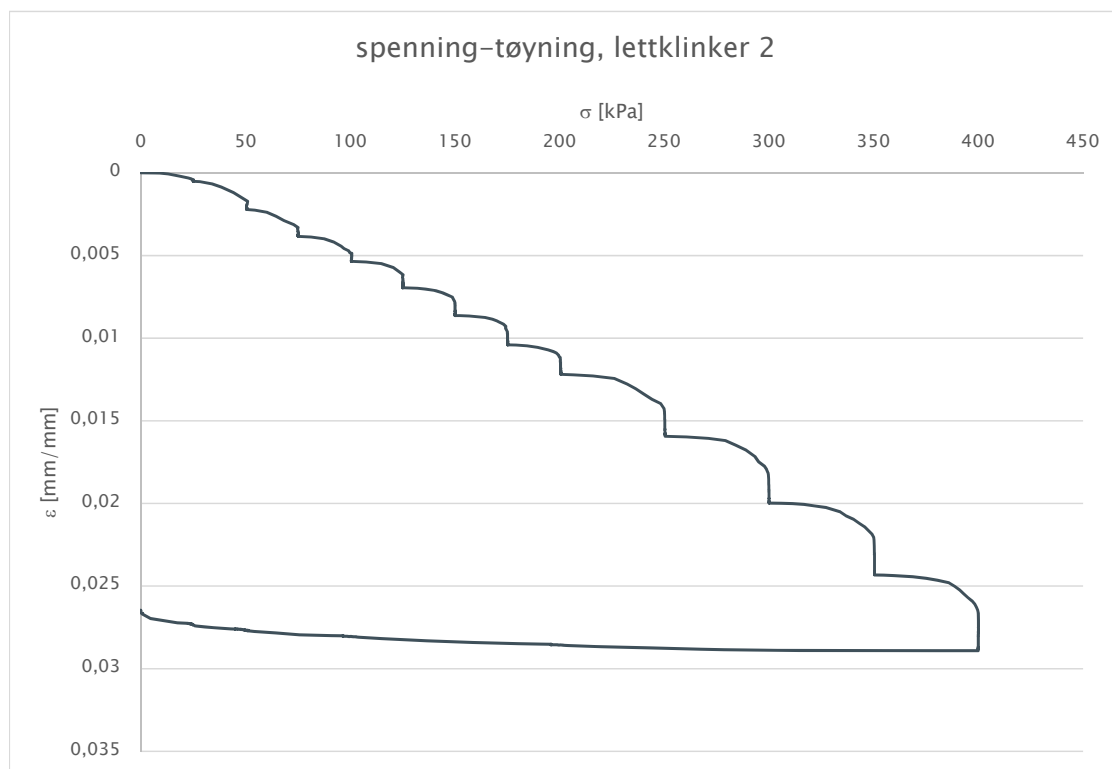
Dato: _____

Signatur: _____



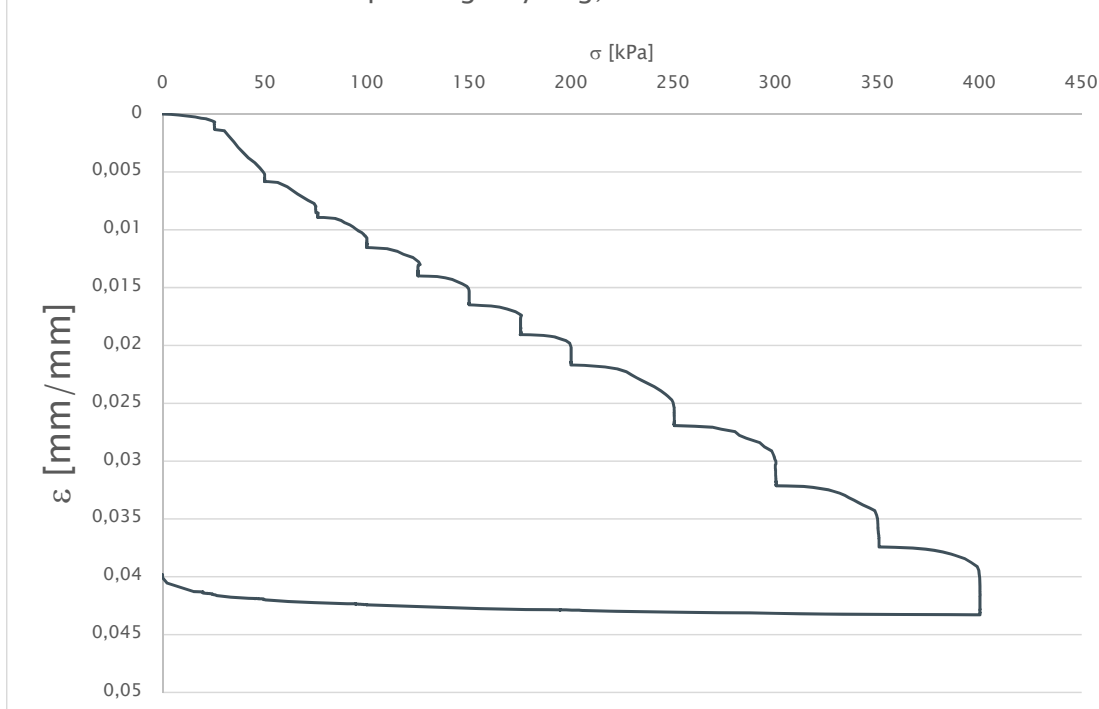


| sig | M | eps | M | sigplot |
|---------|-------------|------------|-------------|----------|
| 0 | 83011,66093 | 0 | 83011,66093 | 7,61195 |
| 15,2239 | 83011,66093 | 0,00030386 | 23539,2305 | 27,6299 |
| 40,0359 | 23521,52137 | 0,00135793 | 16190,3032 | 52,5737 |
| 65,1115 | 16192,03751 | 0,00290673 | 7637,737376 | 78,30175 |
| 91,492 | 7640,887903 | 0,00636070 | 106606,1769 | 103,3725 |
| 115,253 | 106557,5253 | 0,00658359 | 20382,10109 | 127,827 |
| 140,401 | 20382,48501 | 0,00781741 | 14215,43422 | 152,7925 |
| 165,184 | 14328,08441 | 0,00956080 | 12667,58838 | 177,78 |
| 190,376 | 12671,12116 | 0,01154950 | 12272,90674 | 215,4115 |
| 240,447 | 12273,83952 | 0,01562930 | 11954,08164 | 265,535 |
| 290,623 | 11962,1819 | 0,01982669 | 10807,94361 | 315,637 |
| 340,651 | 10808,63354 | 0,02445551 | 10576,7985 | 365,2765 |
| 389,902 | 10573,45251 | 0,02911202 | | |

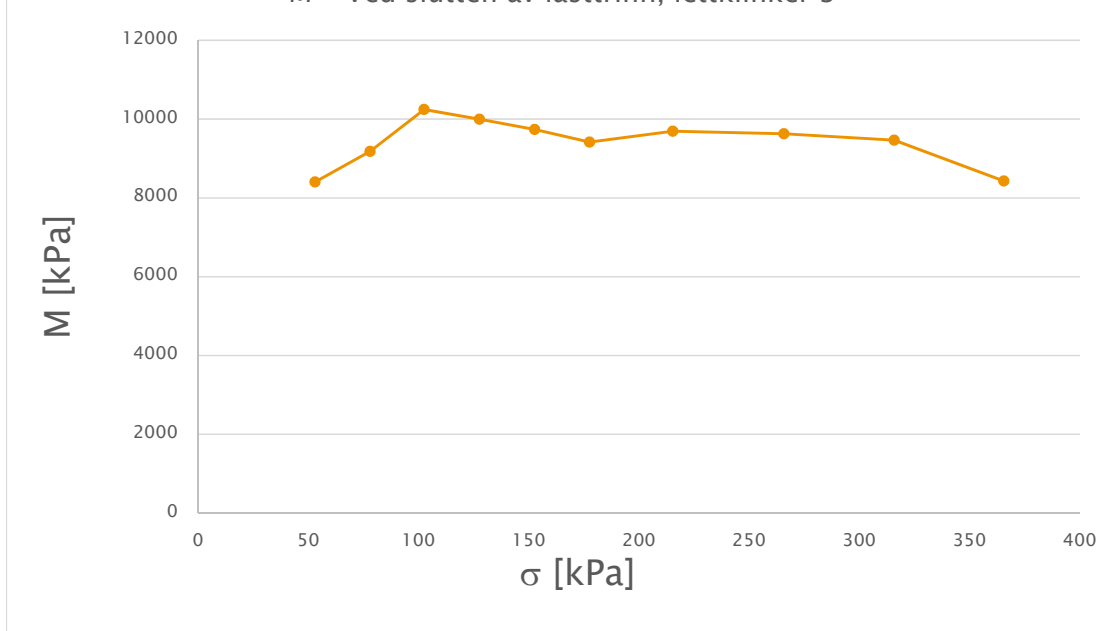


| sig | M | eps | M | sigplot |
|---------|-------------|------------|-------------|----------|
| 0 | 48793,02969 | 0 | 48793,02969 | 7,51815 |
| 15,0363 | 48793,02969 | 0,00051311 | 14929,11399 | 27,76325 |
| 40,4902 | 14929,9527 | 0,00221810 | 15159,12931 | 52,8136 |
| 65,137 | 15161,07288 | 0,00384397 | 16783,42145 | 77,829 |
| 90,521 | 16782,46494 | 0,00535641 | 15636,80581 | 103,0165 |
| 115,512 | 15635,19985 | 0,00695463 | 14588,77533 | 127,798 |
| 140,084 | 14832,23823 | 0,00863894 | 14185,11017 | 152,631 |
| 165,178 | 14186,42915 | 0,01040798 | 14208,29183 | 177,8715 |
| 190,565 | 14215,06382 | 0,01219475 | 13288,95091 | 215,469 |
| 240,373 | 13285,78484 | 0,01594283 | 12425,96612 | 265,4295 |
| 290,486 | 12428,93336 | 0,01997575 | 11451,29255 | 315,431 |
| 340,376 | 11562,04117 | 0,02433246 | 10831,67916 | 365,138 |
| 389,9 | 10830,00234 | 0,02890461 | | |

spenning-tøyning, lettklinker 3



M - Ved slutten av lasttrinn, lettklinker 3



| sig | M | eps | M | sigplot |
|---------|-------------|------------|-------------|-----------|
| 0 | 19253,56301 | 0 | 19253,56301 | 7,8761 |
| 15,7522 | 19253,56301 | 0,00133753 | 5390,277403 | 27,88855 |
| 40,0249 | 5459,146248 | 0,00584058 | 8406,145624 | 53,0113 |
| 65,9977 | 8400,919725 | 0,00893032 | 9180,72829 | 77,9619 |
| 89,9261 | 9184,061147 | 0,01153669 | 10243,14222 | 102,48955 |
| 115,053 | 10242,37039 | 0,01398974 | 9997,984142 | 127,5615 |
| 140,07 | 9994,110186 | 0,01649194 | 9737,238836 | 152,6085 |
| 165,147 | 9733,821852 | 0,01906731 | 9417,000708 | 177,543 |
| 189,939 | 9352,17463 | 0,02170000 | 9693,200798 | 215,2705 |
| 240,602 | 9688,902317 | 0,02692665 | 9626,205543 | 265,661 |
| 290,72 | 9630,059764 | 0,03213307 | 9463,369561 | 315,76 |
| 340,8 | 9516,254579 | 0,03742505 | 8429,531448 | 365,4965 |
| 390,193 | 8428,905685 | 0,04328457 | | |

Vedlegg 8 – Nye materialer – ødometer, skumglass

8a – Komprimering av lag i ødometer

8b – Korngradering nye materialer og ødometer

8c – Spenning – modulkurve, samleplott

8d – Ødometer 1

8e – Ødometer 2

8f - Ødometer 3

1 Vekt prøve Vanninnhold Komprimering: 9,9 Løst lagret densitet: 198,9 Komprimert densitet: 251,4
Antatt tørr

| Lag | Masse innfylt (kg) | Tykkelse (cm) | Tykkelse etter komprimering(cm) | Deformasjon etter komprimering (cm) | Densitet etter komprimering |
|------|--------------------|---------------|---------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------|
| 1 | 4 | 11 | 8 | 3 | 1,4 |
| 2 | 4 | 9,5 | 7,5 | 2 | 1,3 |
| 3 | 4 | 10 | 9 | 1 | 1,1 |
| 4 | 4 | 12 | 9 | 3 | 1,3 |
| 5 | 4 | 9 | 7 | 2 | 1,3 |
| 6 | 2 | 6 | 5 | 1 | 1,2 |
| Sum: | 22 | 57,5 | 45,5 | 12 | 1,26 |

2 Vekt prøve Vanninnhold Komprimering: 9,4 Løst lagret densitet: 188,9 Komprimert densitet: 227,5
Antatt tørr

Gar over til 5 lag for å få mer riktig tykkelse på de innlagte lagene

| Lag | Masse innfylt (kg) | Tykkelse (cm) | Tykkelse etter komprimering(cm) | Deformasjon etter komprimering (cm) | Densitet etter komprimering |
|------|--------------------|---------------|---------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------|
| 1 | 4,6 | 10,5 | 8,5 | 2 | 1,2 |
| 2 | 4,6 | 11 | 9,5 | 1,5 | 1,2 |
| 3 | 4,6 | 11,5 | 9,5 | 2 | 1,2 |
| 4 | 4,6 | 11 | 10 | 1 | 1,1 |
| 5 | 4,6 | 12 | 9 | 3 | 1,3 |
| Sum: | 23 | 56 | 46,5 | 9,5 | 1,2 |

3 Vekt prøve Vanninnhold Komprimering: 9,1 Løst lagret densitet: 182,9 Komprimert densitet: 237,9
Antatt tørr

| Lag | Masse innfylt (kg) | Tykkelse (cm) | Tykkelse etter komprimering(cm) | Deformasjon etter komprimering (cm) | Densitet etter komprimering |
|------|--------------------|---------------|---------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------|
| 1 | 4,6 | 11 | 8,5 | 2,5 | 1,3 |
| 2 | 4,6 | 12 | 8,5 | 3,5 | 1,4 |
| 3 | 4,6 | 13 | 10 | 3 | 1,3 |
| 4 | 4,6 | 11,5 | 9,5 | 2 | 1,2 |
| 5 | 4,6 | 13 | 10 | 3 | 1,3 |
| Sum: | 23 | 60,5 | 46,5 | 14 | 1,3 |



Korngradering

Oppdragnr. 1170005
 Prosjektnummer
 Ansvarsområde

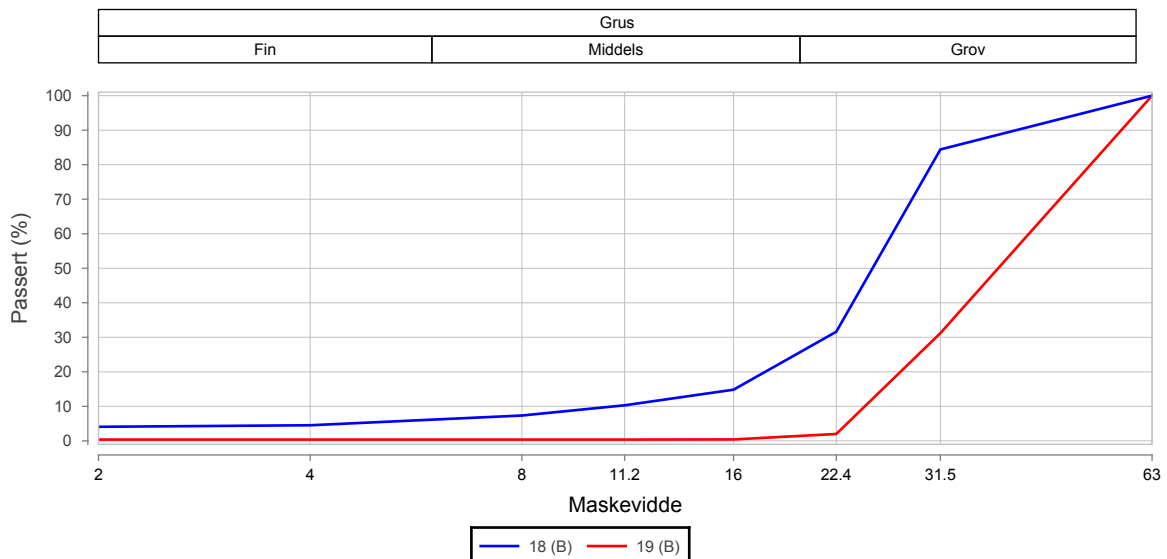
Oppdragsnavn Masteroppgave Tine Sæther
 Prosjektnavn
 Ansvarlig

Prøvedata

| | | | | | |
|---------------------|-------------------|-------------------|--|--|--|
| Prøvenr | 18 _(B) | 19 _(B) | | | |
| Uttatt dato | 23.01.2017 | 23.01.2017 | | | |
| Uttatt kl. | | | | | |
| Uttakssted | Annet | Annet | | | |
| Analysetype | Kont. sikt | Kont. sikt | | | |
| Massetak | | | | | |
| Består av | | | | | |
| Grenseverdirn. | | | | | |
| Vegnr/HP | | | | | |
| Meter/*profil | | | | | |
| Avstand høyre kant | | | | | |
| Dybde | - | - | | | |
| Vanninnhold (%) | | | | | |
| Vannabsorpsjon (%) | | | | | |
| Humus (Glødetap) | | | | | |
| Fraksjon (mm) | | | | | |
| Overstørrelse | 0.0 | 0.0 | | | |
| Understørrelse | 9.3 | 0.4 | | | |
| % <63µm av <delsikt | | | | | |
| % <20µm av <delsikt | | | | | |
| Finstoffinnhold f | | | | | |
| Godkjent siktekurve | | | | | |

Siktedata - Passert (%)

| Pr.nr. | mm | | | | | | | |
|-------------------|-----|-----|-----|------|------|------|------|-------|
| | 2 | 4 | 8 | 11.2 | 16 | 22.4 | 31.5 | 63 |
| 18 _(B) | 4.1 | 4.5 | 7.3 | 10.3 | 14.8 | 31.6 | 84.4 | 100.0 |
| 19 _(B) | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 2.0 | 31.2 | 100.0 |

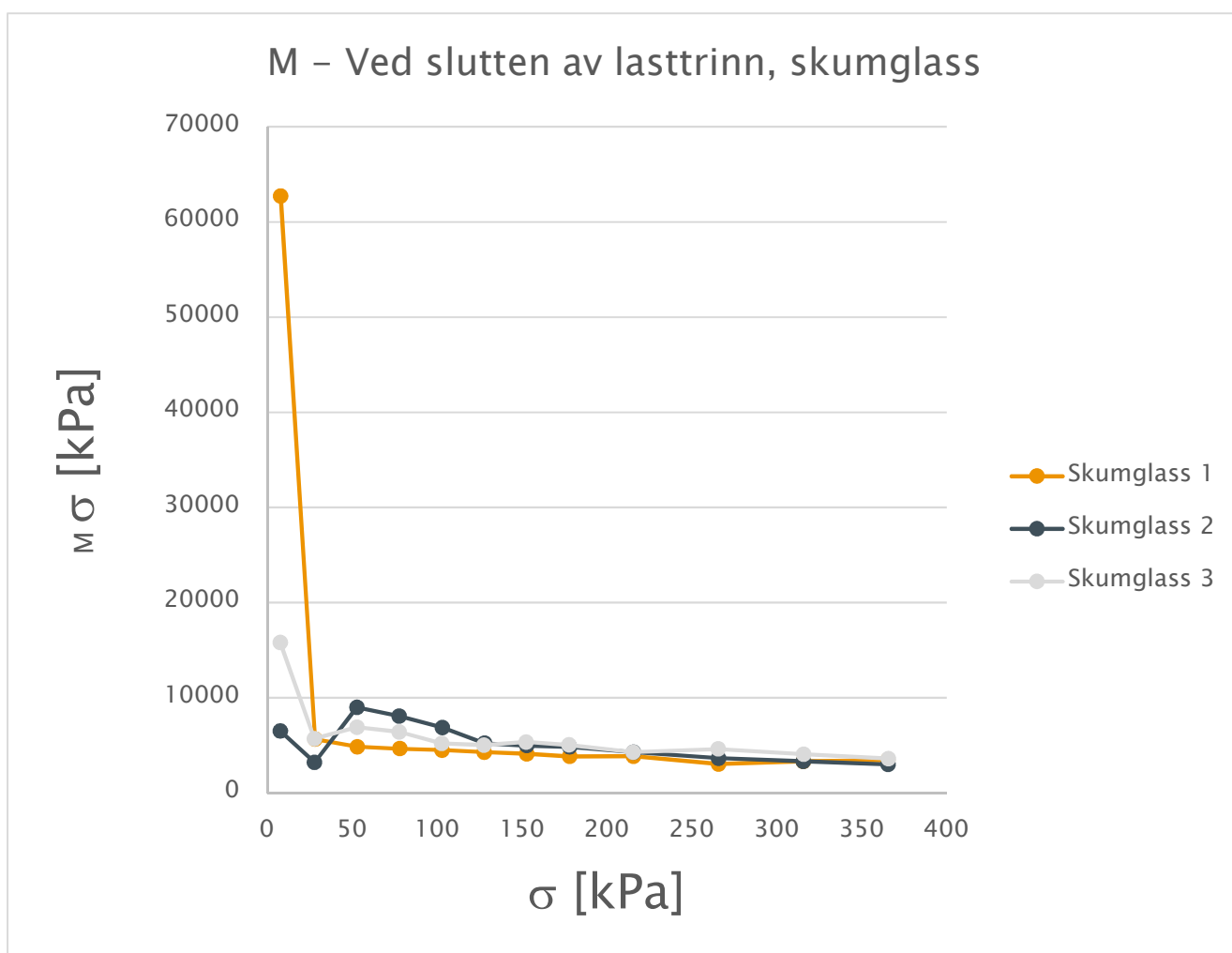


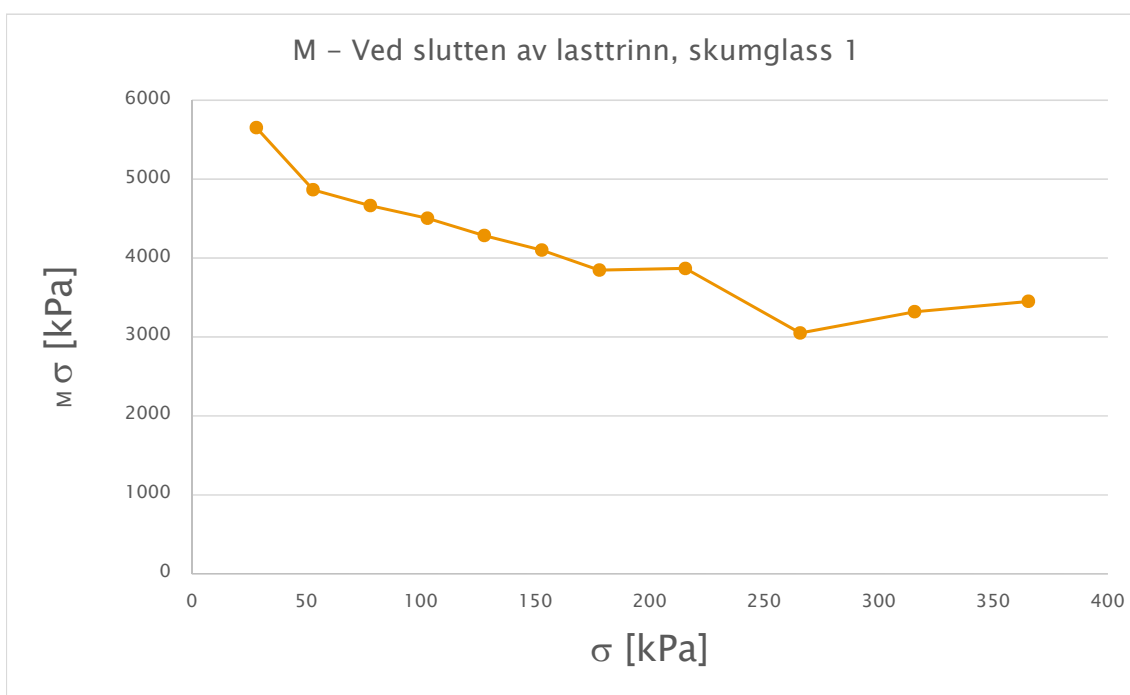
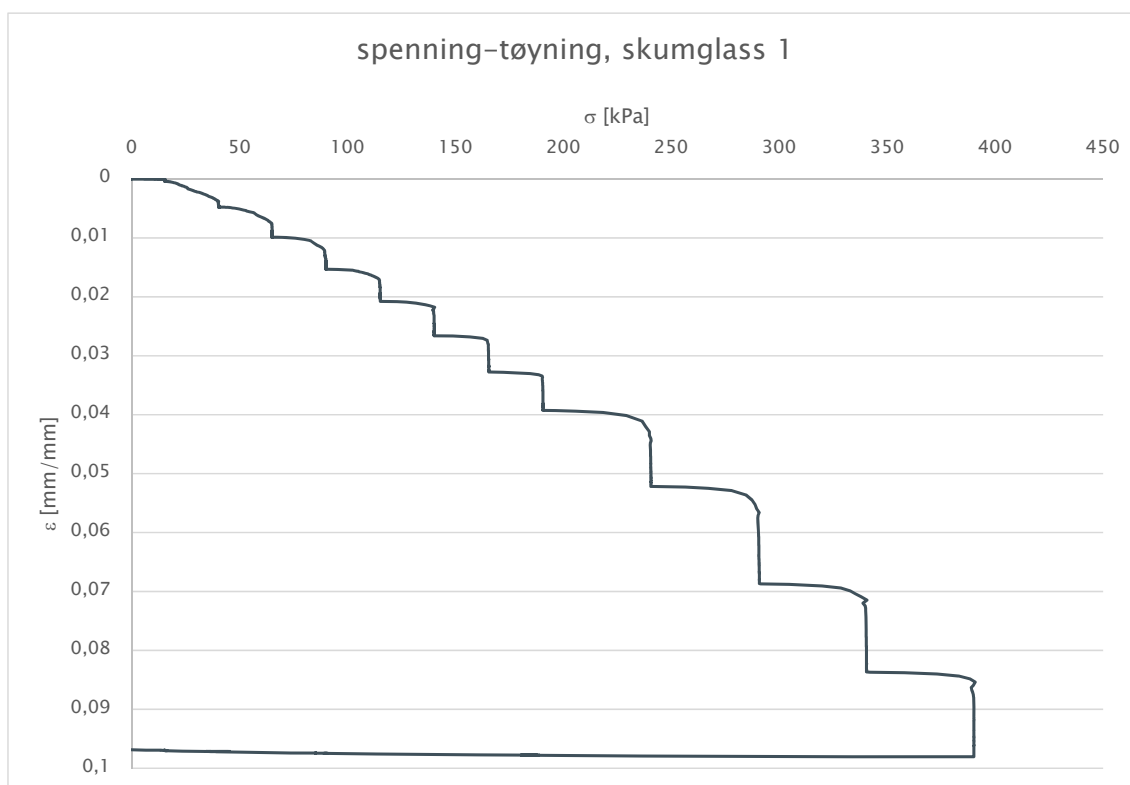
| Pr.nr | Vegnr | Meter/*profil | HP | Avst.hk. | Dybde(m) | Jordart | Cu (* = Cu75) | TG |
|-------------------|-------|---------------|----|----------|----------|---------|---------------|----|
| 18 _(B) | | | | | - | | 2.5 | |
| 19 _(B) | | | | | - | | 1.7 | |

Sted: _____

Dato: _____

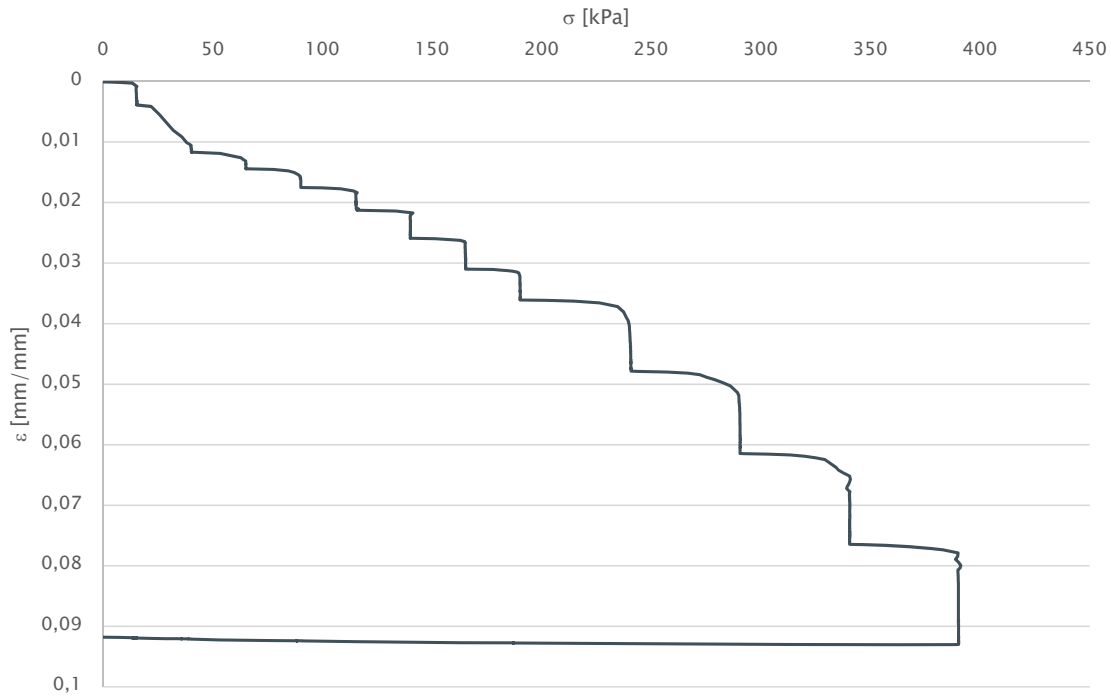
Signatur: _____



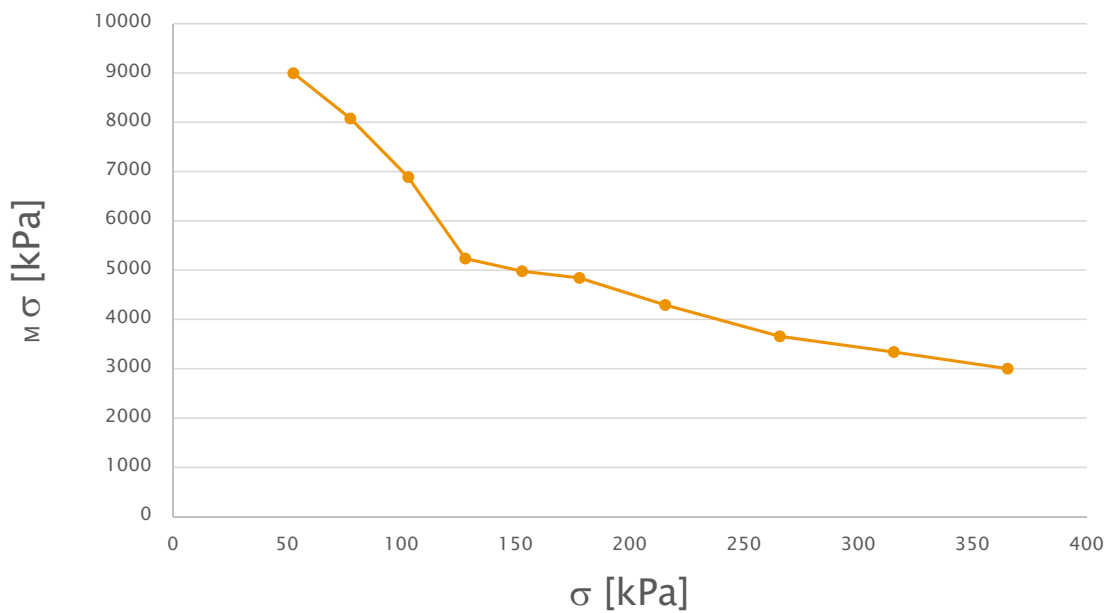


| sig | M | eps | M | sigplot |
|---------|-------------|------------|-------------|----------|
| 0 | 62731,56746 | | 62731,56746 | 7,9046 |
| 15,8092 | 62731,56746 | 0,00041142 | 5652,387356 | 28,1655 |
| 40,5218 | 5720,124428 | 0,00478349 | 4864,757041 | 52,90675 |
| 65,2917 | 4874,189379 | 0,00987519 | 4664,98345 | 77,97335 |
| 90,655 | 4713,212968 | 0,01531214 | 4503,789786 | 102,9165 |
| 115,178 | 4621,044285 | 0,02075711 | 4284,725663 | 127,69 |
| 140,202 | 4285,393594 | 0,02659739 | 4100,588484 | 152,8185 |
| 165,435 | 4241,790576 | 0,03275090 | 3847,518742 | 177,983 |
| 190,531 | 3844,579437 | 0,03927355 | 3868,142607 | 215,503 |
| 240,475 | 3870,620364 | 0,05218517 | 3050,414601 | 265,629 |
| 290,783 | 3047,219456 | 0,06867735 | 3320,113108 | 315,607 |
| 340,431 | 3321,76086 | 0,08363106 | 3451,521446 | 365,274 |
| 390,117 | 3452,484717 | 0,09802645 | | |

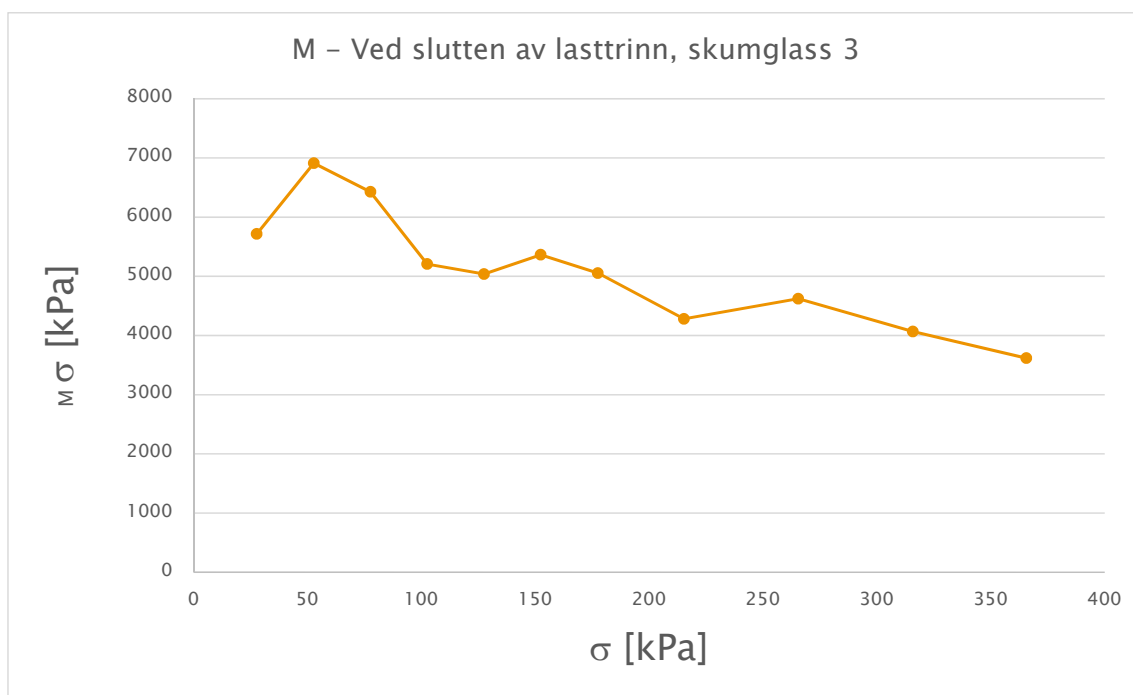
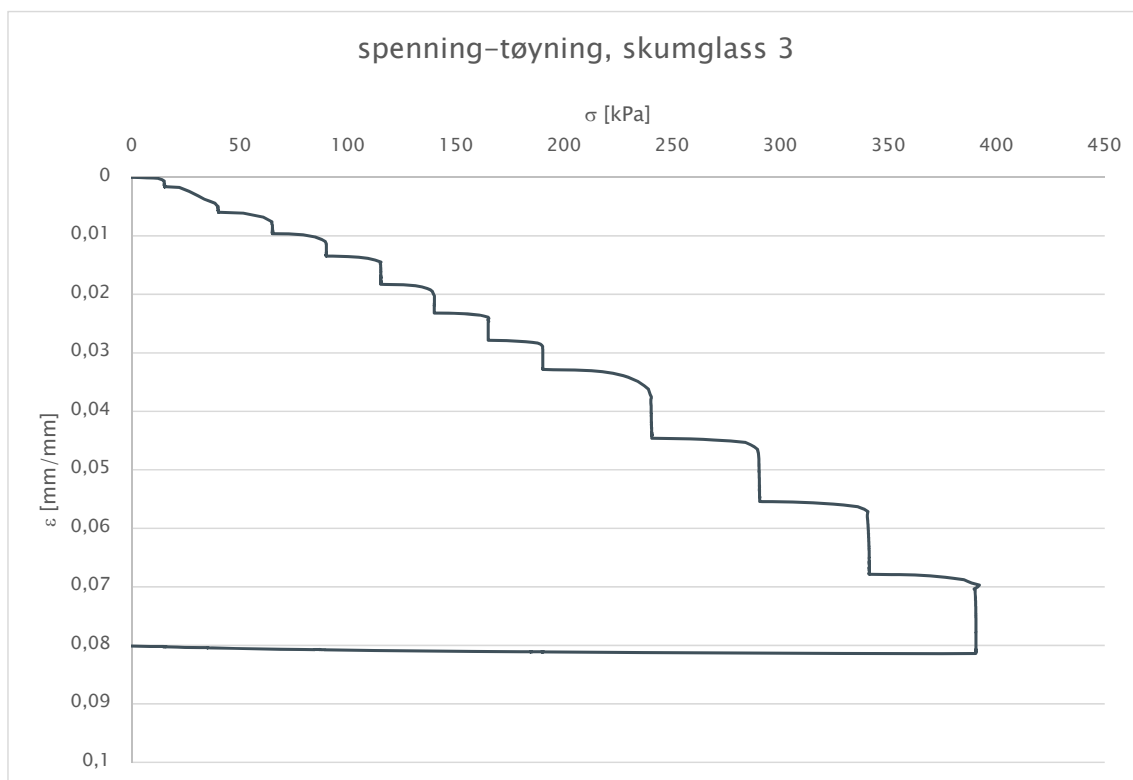
spenning-tøyning, skumglass 2



M - Ved slutten av lasttrinn, skumglass 2



| sig | M | eps | M | sigplot |
|---------|-------------|------------|-------------|----------|
| 0 | 6523,022959 | 0 | 6523,022959 | 7,70545 |
| 15,4109 | 6523,022959 | 0,00389557 | 3204,655766 | 27,8379 |
| 40,2649 | 3207,3011 | 0,01165116 | 8995,416603 | 52,7021 |
| 65,1393 | 8999,417716 | 0,01441639 | 8077,020772 | 77,65415 |
| 90,169 | 8078,22588 | 0,01751527 | 6886,386815 | 102,997 |
| 115,825 | 6888,8939 | 0,02124088 | 5235,717248 | 127,9705 |
| 140,116 | 5219,391721 | 0,02588036 | 4977,675148 | 152,838 |
| 165,56 | 4977,309624 | 0,03099198 | 4843,5179 | 177,91 |
| 190,26 | 4894,519107 | 0,03609158 | 4292,653218 | 215,5045 |
| 240,749 | 4293,666675 | 0,04785331 | 3657,790829 | 265,648 |
| 290,547 | 3659,864195 | 0,06146754 | 3338,203827 | 315,527 |
| 340,507 | 3339,074364 | 0,07643367 | 3000,499189 | 365,345 |
| 390,183 | 3000,370439 | 0,09298958 | | |



| sig | M | eps | M | sigplot |
|---------|-------------|------------|-------------|----------|
| 0 | 15810,07344 | 0 | 15810,07344 | 7,6175 |
| 15,235 | 15810,07344 | 0,00159613 | 5716,296599 | 27,75145 |
| 40,2679 | 5716,516847 | 0,00597535 | 6912,272614 | 52,82725 |
| 65,3866 | 6926,087785 | 0,00960928 | 6426,803548 | 77,6938 |
| 90,001 | 6495,751179 | 0,01343924 | 5207,300145 | 102,5855 |
| 115,17 | 5204,807529 | 0,01827265 | 5038,286715 | 127,5605 |
| 139,951 | 5035,453458 | 0,02319118 | 5364,298317 | 152,441 |
| 164,931 | 5361,15769 | 0,02784790 | 5053,753315 | 177,535 |
| 190,139 | 5052,368589 | 0,03283587 | 4280,432332 | 215,3275 |
| 240,516 | 4281,888117 | 0,04460501 | 4621,631858 | 265,483 |
| 290,45 | 4620,045469 | 0,05540942 | 4066,824298 | 315,767 |
| 341,084 | 4066,927206 | 0,06785992 | 3617,146219 | 365,5715 |
| 390,059 | 3613,289989 | 0,08139960 | | |