 <p>HØGSKOLEN I SØR – TRØNDELAG</p> <p><i>AVDELING FOR TEKNOLOGI</i></p> <p><i>Program for bygg og miljø</i></p> <p><i>7004 Trondheim</i></p> <p>Besøksadresse: Arkitekt Christies gt 2</p>			RAPPORT BACHELOROPPGAVEN	
			Tittel	
			Den optimale prosedyren for komprimering av leire i grøfter ved bruk av vibrasjonsplate montert på gravemaskin.	
			The optimal procedure for compacting clay in trenches using vibratory plate compactor mounted on excavator	
			Prosjektnr	
			29-2015	
			Forfattere	
			Enoch By	
			Jon Martin Støver-Hofstad	
			Oppdragsgiver eksternt	
			BL Entreprenør v/John Olaf Bolme	
Dato levert:	Antall del-rapporter:	Totalt antall sider:	Veileder internt	
26.05.2015	2 (rapport og vedlegg)	61 + vedlegg	Omar Sabri	
			Rapporten er ÅPEN	

Kort sammendrag

Vibrasjonsplate montert på gravemaskin er i mange tilfeller det eneste utstyret som er praktisk mulige å benytte ved komprimering av løsmasser i grøfter. Dette arbeidet finnes det ingen veiledning for eller dokumentasjon på. Arbeidet i denne oppgaven er gjennomført med mål om å lage en prosedyre for bruk av nevnte utstyr, spesielt med tanke på komprimering av leire.

Stikkord fra prosjektet

Komprimering

Grøft

Leire

Vibrasjonsplate



Bacheloroppgave 29-2015 Komprimering av leire i grøft



Oppgavetekst

Vibrasjonsplate på gravemaskin er en anerkjent og mye brukt komprimeringsmetode i anleggsbransjen. Spesielt i smale grøfter, gjerne med kryssende kabel- og rørgater, mener entreprenøren at metoden er overlegen. Dette finnes det derimot ingen dokumentasjon på, og heller ingen prosedyre som maskinførerne kan følge.

Vår oppgave blir å finne en god prosedyre for bruk av nevnte utstyr, ved komprimering av leire som fyllmasse i grøft. Vi skal planlegge og utføre felttester, samt kontrollere kvaliteten på komprimering utført med dette utstyret. Resultatet blir forhåpentligvis retningslinjer og en prosedyre som entreprenører kan følge ved bruk av vibrasjonsplate på gravemaskin, da spesielt ved komprimering av leire. En viktig del av oppgaven er å utføre alt med tanke på at arbeidet vårt blir godkjent slik at resultatet kan benyttes. Det blir viktig å ha tett kontakt med geotekniker og vegdirektoratet gjennom hele prosessen.

Forord

Denne rapporten er skrevet vårsemesteret 2015. Arbeidet har hatt et omfang tilsvarende 20 studiepoeng, og er utført i samarbeid med BL Entreprenør. Rapporten er et resultat av bacheloroppgaven «*Den optimale prosedyren for komprimering av grøfter med vibrasjonsplate montert på gravemaskin*» i emnet TBYG3008-A 14H Anleggsteknikk og ingeniørgeologi ved program for bygg og miljø ved Høgskolen i Sør-Trøndelag (HIST). Bacheloroppgaven er den avsluttende delen av byggingeniørstudiet, studieretning anleggsteknikk i årene 2012-2015.

I og med at gruppen vår besto av en person med bakgrunn som maskinfører, og den andre med noe erfaring fra grunnundersøkelser var det naturlig å se etter en praktisk oppgave med et geoteknisk tema. Oppgaven fra BL Entreprenør var dermed midt i blinken. Det var en forutsetning at vi kunne kjøre gravemaskin selv. Ved å være i stand til å utføre enkle geotekniske grunn- og laboratorieundersøkelser på egen hånd, reduserte vi også kostnadene knyttet til oppgaven. Vi mente at disse praktiske sidene ved oppgaven var viktig både for at oppgaven skulle være interessant å jobbe med, samt at den skulle bli bedre sett fra et akademisk perspektiv.

Det hadde ikke vært mulig å gjennomføre denne oppgaven uten bistand fra veiledere, bransjefolk og fagpersoner. Først en stor takk til veileder på HIST, Omar Sabri, som har vært til god hjelp med det akademiske knyttet til oppgaven. En stor takk også til John Bolme fra BL Entreprenør som kom med oppgaven. Bolme og BL Entreprenør har også stilt anlegg og utstyr til disposisjon for feltforsøk, og et lokale som vi har kunnet jobbe i. Takk til Erik Waldum fra Maskin-Entreprenørenes Forbund (MEF) som har vært til stor hjelp med organisering og veiledning særlig i oppstartsfasen. Takk for et godt samarbeid til byggeledelse og arbeidere ved anlegget i Heimdalsvegen, der feltforsøket har foregått. Takk også til Rambøll, ved Eilif Skjærvik for lån av utstyr til prøvetaking samt bistand til laboratoriearbeid. Thomas Uhlving ved Høgskolen i Sør-Trøndelag (HIST) fortjener også en stor takk for hjelp til gjennomføring av laboratorieundersøkelsene. Takk også til alle deltagerne på spørreundersøkelsen. Svarene herfra ga oss viktig informasjon og ble tatt med videre til feltforsøket.

Takk til Jostein Aksnes, Svein Hove og Per Ola Røkke fra Statens Vegvesen (SVV) for uvurderlig hjelp med organisering, geoteknisk vurdering og prøvetaking i felt. Takk også til Pon Equipment Tunga for utlån av grøftevals til feltforsøk, og til Hadak AS for rørkontroll av lagte og nedfylte rør i feltforsøket vårt.

Uten hjelp og støtte fra alle disse aktørene hadde det ikke vært mulig å få til en oppgave med tilfredsstillende faglig tyngde.

Trondheim, mai 2015

Enoch By

Jon Martin Støver-Hofstad

Summary

Compacting trenches is an important but often not a prioritized part of the construction business. Most contractors use the vibratory plate compactor mounted on excavator for this kind of work. As it is one of few useable types of equipment on the market for the job, the lack of documentation for this equipment is a problem for the contractors. There is no description how the operators should use the equipment and therefore the quality of performed work varies a lot. In cooperation with BL Entreprenør, a Norwegian contractor in huge growth, and MEF, Norwegian Association of Heavy Equipment Contractors, our goal with this bachelor thesis was to develop a procedure for this equipment. This will make the compacting more even, and the contractor and the construction client will have something to refer to.

To be able to develop this procedure, we have been doing field experiments and laboratory investigations combined with a literature study. We have also asked different contractors in the Trondheim region about their thoughts regarding the equipment and routines using the vibratory plate compactor. Measuring performed compaction and geotechnical support is an important part of this report, and gives us the basis for the conclusion in this thesis.

During this bachelor thesis, we have discovered that clay is a very complicated material. Working with clay, you need to be aware of the many variables in the material. The quality of the material is critical. If the soil has high moisture, low strength or is too high silt content, it is not suitable for compacting and should not be used. If you are dealing with suitable clay with the right properties, you should get a good result if you are using the right equipment and following the procedure developed in this bachelor thesis.

Innholdsfortegnelse

Innhold

Forord	i
Summary	ii
Innholdsfortegnelse	iii
Figurliste	v
Tabelliste	vi
Innledning	1
1 Om oppgaven	2
1.1 Metodevalg.....	2
1.2 BL Entreprenør	3
1.3 Anlegget.....	4
1.3.1 Fv. 900 Heimdalsveien	4
1.3.2. Prosjektbeskrivelse fra Statens Vegvesen	4
2 Teori	5
2.1 Leir og leirjord.....	5
2.2 Komprimering	7
2.2.1 Hvorfor komprimere masser.....	7
2.2.2 Komprimering av leire	7
2.2.3 Gjeldende komprimeringsforskrifter SVV	9
3 Laboratorieundersøkelser	11
3.1 Sammendrag	11
3.2 Slemmeanalyse (kornfordeling).....	12
3.3 Vanninnhold	15
3.4 Korndensitet.....	16
3.5 Konusforsøk.....	17
3.6 Resultat fra forundersøkelser.....	18
4 Spørreundersøkelse	20
5 Skjema til bruk ved feltforsøk	22
5.1 Komprimeringsplan.....	22
5.1.1 Bakgrunn	22
5.1.2 Formål med komprimeringsplan.....	22
5.1.3 Komprimeringsplan for feltforsøk	23
5.2 Komprimeringskontroll	24
5.2.1 Bakgrunn	24
5.2.2 Bruk av komprimeringskontroll.....	24
5.2.3 Komprimeringskontroll for feltforsøk.....	25
6 Feltforsøk	26
6.1 Formål.....	26
6.2 Område for feltarbeid	26
6.2.1 Skisse over området.....	27

6.2.2 Grøftetverrsnitt.....	28
6.3 Utstyr til feltarbeid.....	29
6.3.1 Vibrerende plate montert på gravemaskin	30
6.3.2 Grøftevals selvgående.....	31
6.3.3 Anleggsvals selvgående	31
6.4 Gjennomføring av feltarbeid.....	32
6.4.1 Oppstart.....	32
6.4.2 Graving og komprimering.....	32
6.5 Måling av komprimeringsgrad.....	35
6.5.1 Valg av målemetode	35
6.5.2 Bruk av Troxler	35
6.5.3 Om Troxleren.....	36
6.5.4 Forklaring til tabellen.....	37
7 Resultat	39
7.1 Resultater fra komprimeringstester feltarbeid	39
7.2 Forslag til prosedyre.....	42
7.2.1 Om prosedyren.....	42
7.2.2 Prosedyre.....	43
7.2.3 Komprimeringsplan (vibrerende plate montert på gravemaskin).....	44
7.2.4 Komprimeringskontroll.....	45
8 Konklusjon.....	46
9 Forskning og utvikling.....	48
10 Forkortelser og forklaringer	50
11 Referanser	51

Vedlegg i eget hefte

- Vedlegg A Artikkel
- Vedlegg B Laboratorieundersøkelser
- Vedlegg C Feltarbeid
- Vedlegg D Resultat fra Troxler
- Vedlegg E Plakat

Figurliste

Figur 1 Firma i BL-Gruppen.....	3
Figur 2 Oversiktskart over Heimdalsvegen (Statens vegvesen Fv. 900, 2014).....	4
Figur 3 Jords tre-fase system (Østlid, H. Statens Vegvesen, 1976)	8
Figur 4 Sammenheng mellom komprimeringsarbeid og densitet (fra V221)	9
Figur 5 Krav til komprimering av leire fig. 2-2-9 (Statens Vegvesen Hb V221, 2014).....	10
Figur 6 Prøve 7 fra hull P3. Siltig leire. Foto: JMSH	13
Figur 7 Prøve 1 fra hull P1. Leire. Foto: JMSH	13
Figur 8 Prøve 3 fra hull P2. Leirig silt. Foto: JMSH.....	14
Figur 9 Prøve 5 fra hull P4. Leire. Foto: JMSH	14
Figur 10 Tørking av et parti med prøver i forbindelse med troxler. Foto: JMSH.....	15
Figur 11 Konusapparat. Foto: Enoch By	17
Figur 12 Prinsippskisse av konusapparat fra Hb 014	17
Figur 13 Resultater fra forundersøkelser, vanninnhold W og omrørt skjærstyrke SUO.....	18
Figur 14 Kornfordeling fra forundersøkelser.....	19
Figur 15 Oversiktskart over området, avlastning 2 merket med rødt.....	27
Figur 16 Oversiktsskisse feltområde med grøfter og prøvepunkt	27
Figur 17 Grøftetverrsnitt fra Heimdalsveien (Statens Vegvesen, 2014)	28
Figur 18 Krav til grøfteprofil i kohesjonsjordarter (Fig. 6, Arbeidstilsynet, 1985).....	28
Figur 19 Begreper knyttet til gravemaskinen. Tegnet av: Enoch By.....	29
Figur 20 Stikkeposisjoner gravemaskin Tegnet av: Enoch By.....	30
Figur 21 Legging av rør i grøft. Foto: Enoch By	33
Figur 22 Komprimering av leire i grøft. Foto: JMSH	33
Figur 23 Rørkontroll med filmkamera. Foto: JMSH.....	34
Figur 24 Grøftevals 1,5 tonn Foto: Enoch By	34
Figur 25 Prøvetaking med troxler. Foto: Enoch By	34
Figur 26 Prøve for kontroll av vanninnhold. Foto: Enoch By.....	34
Figur 27 Troxler i bruk. Foto: Enoch By	35
Figur 28 Prinsippskisse troxler, figur A-1 fra manualen (Troxler Labs, 2006).....	35
Figur 29 Skjerm bilde fra Troxler, ved måling i løsmasser (Troxler Labs, 2006)	36
Figur 30 Utstyr for Troxlerundersøkelser fra manual (Troxler Labs, 2006)	37
Figur 31 Resultat fra feltarbeid fremstilt grafisk (SVV)	41

Tabelliste

Tabell 1 Regler for benevning fra vedlegg om jordklassifisering, tilhørende HB R210.....	5
Tabell 2 Komprimering av underbygning (fyllinger)(Statens Vegvesen Hb N200, 2014) ...	9
Tabell 3 Samlet oversikt over korreksjoner for slemmeanalyse fra HB R210.	13
Tabell 4 Korreksjonsfaktor for korndensitet (Statens vegvesen Hb R210, 2014).....	16
Tabell 5 Eksempel på komprimeringsplan benyttet i oppgaven	23
Tabell 6 Eksempel på komprimeringskontroll benyttet i oppgaven.....	25
Tabell 7 Tekniske spesifikasjoner (Caterpillar, 2015) (Engcon, 2015).....	30
Tabell 8 Resultater fra vekt ved Franzefoss.....	31
Tabell 9 Verdier fra måling med troxler	38
Tabell 10 Resultat fra feltforsøk	40
Tabell 11 Prosedyre for bruk av vibrerende plate på leire	43
Tabell 12 Prosedyre - komprimeringsplan	44
Tabell 13 Prosedyre - komprimeringskontroll	45

Innledning

Bakgrunnen for oppgaven er problemer med å dokumentere komprimeringsarbeid utført med vibrasjonsplate montert på gravemaskin. Komprimering og grunnarbeid har mye å si for konstruksjonens levetid, og strengere krav om kontroll og dokumentasjon skal sikre dette. I en grøft har du som regel, i tillegg til en vegbane på toppen, et rør eller ledningssystem i bunnen. Begge disse konstruksjonene skal ivaretas for at arbeidet skal være vellykket.

Problemene med dokumentasjon av utført arbeid gjelder spesielt leire som fyllmasse i grøfter. Arbeid utført med vibrasjonsplate kan ikke dokumenteres bare med antall overfarter, slik som arbeid utført med vals kan. Resultatet avhenger i stor grad av hvordan komprimeringsarbeidet gjennomføres, slik at det er opp til hver enkelt maskinfører hvor god komprimeringen blir. Det er også mangel på en prosedyre som maskinførere kan forholde seg til, samt sjekklister for å kontrollere utført komprimering. Som en følge av dette, kan kvaliteten på utført arbeid variere.

Formålet med oppgaven er å undersøke om dagens metoder for komprimering av grøft med vibrasjonsplate på gravemaskin er tilfredsstillende. Det er utført forsøk i praksis for å finne god prosedyre, særlig med tanke på lagtykkelse, mønster og massekvalitet. Deretter er det utarbeidet et forslag til en veiledning for bruk av nevnte utstyr. Sammen med en sjekkliste for komprimeringskontroll, vil denne veiledningen bidra til bedre og jevnere kvalitet og bedre dokumentasjon på utført arbeid.

I denne rapporten er det kun komprimering av leire i grøft med vibrasjonsplate på gravemaskin som er omtalt. Ved komprimering med nevnte utstyr er det mange faktorer som spiller inn. Egenskapene til massene, lagtykkelse, hvilket utstyr og hvordan dette benyttes har betydning for resultatet. For å holde oss innenfor rammene til oppgaven, både med tanke på tid og ressurser, måtte vi begrense oppgaven. Det ble tidlig bestemt at fokuset skulle ligge på to ulike vibrasjonsplater, to typer leire, en gitt tid og et bestemt mønster. Resultatene fra disse forsøkene skulle så sammenlignes med resultatet fra to ulike valser. Hovedfokuset vårt ble dermed hvilket utstyr som var egnet, og hvilken lagtykkelse og antall overfarter som ga tilfredsstillende resultat.

1 Om oppgaven

1.1 Metodevalg

Denne oppgaven er gjennomført som en kombinasjon av litteraturstudium, feltforsøk, og spørreundersøkelse. I forbindelse med feltforsøket ble det også utført laboratorieundersøkelser.

Hovedvekten av arbeidet ligger på feltforsøket og planlegging av dette. Det skyldes oppgavens formål og mangel på teori om temaet. Tilgjengelig litteratur omhandler leire og komprimering generelt, og ikke spesielt relevant utstyr for oppgaven. For å få informasjon om temaet ble det gjennomført en spørreundersøkelse.

Spørreundersøkelsens hensikt var å kartlegge behovet for oppgaven, samt å få innspill til hva feltundersøkelsen burde inneholde.

Flere aktører var inne i bildet i oppstartsfasen, og det var ulike ønsker om hva som burde vektlegges og prøves ut under feltforsøket. Omfanget av oppgaven førte til at vi måtte begrense feltforsøket til å passe oppgaven. Begrensningene kom av tidsbruk på utstyr, personell for testing av utført arbeid og ikke minst usikkerhet knyttet til hvor mye etterarbeid utført feltarbeid førte med seg.

I utgangspunktet var en mer omfattende feltundersøkelser ønskelig, slik at flere faktorer kunne sjekkes grundigere. Det ble bestemt at feltforsøket skulle begrenses til hovedsakelig å basere seg på hva som gjøres i praksis i dag, samt oppdragsgivers interesser. Omfanget ble justert og vurdert helt fram til oppstart av felt. Målet var å bli ferdig med feltarbeid før påske, for så å bruke tiden fram mot levering til å bearbeide resultater og utarbeide en veiledning og en rapport.

Arbeidet med oppgaven kan deles inn i følgende fem hoveddeler:

- Litteraturstudium av aktuell teori og eksisterende forskrifter
- Spørreundersøkelse
- Forberedelser til feltarbeid, herunder enkle grunnundersøkelser og planlegging av feltforsøkene
- Feltarbeid og kontroll av utført komprimering
- Etterarbeid, vurdering og drøfting av resultater fra feltforsøk
- Utarbeidelse av forslag til prosedyre

1.2 BL Entreprenør

BL Entreprenør er et entreprenørfirma som ble etablert i juni 2007 av blant annet John Olaf Bolme og Roger Larsen, som en videreutvikling av maskinutleiefirmaet E.B. Maskiner. I april 2008 kom Jan Erik Isdahl inn i ledelsen og de begynte samtidig å regne på større offentlig jobber. Isdahl, Bolme og Larsen eier i dag firmaet sammen med investorfirmaet KB-gruppen.

Firmaet har siden oppstart vokst betraktelig, og hadde i 2014 en omsetning på cirka 320 millioner. BL Entreprenør er i dag en del av BL-gruppen, som omfatter BL Entreprenør, BL Utomhus, Geoland og E.B. Maskiner. Det er over 150 medarbeidere i BL-gruppen.

Fagområdene firmaet driver innenfor:

- Gravearbeider
- Vei, vann og avløpsarbeid
- Grunn- og betongarbeid
- Anleggsgartner
- Landmåling
- Transport

Markedsområde for BL Entreprenør er i utgangspunktet hele landet, men hovedsakelig i Midt-Norge. Som for mange anleggsentreprenører er den viktigste oppdragsgiveren offentlig sektor. De største anleggene i drift i dag (april 2015) er tre jobber for Statens Vegvesen, henholdsvis E6 på Oppdal, Fv. 900 Heimdalsvegen i Trondheim og Sentervegen i Trondheim. (Isdahl, 2015)



Figur 1 Firma i BL-Gruppen

1.3 Anlegget

1.3.1 Fv. 900 Heimdalsveien

Feltarbeidet skulle gjennomføres ved Statens vegvesen sitt anlegg langs Fv. 900 Heimdalsveien. De stedlige massene i anlegget var av variabel kvalitet, og det hadde i den forbindelse vært store utfordringer med komprimering av leire. Disse utfordringene er bakgrunnen for oppgaven, og det var naturlig å legge feltforsøket til dette anlegget.

1.3.2. Prosjektbeskrivelse fra Statens Vegvesen

I Kattemsdalen er det påvist sammenhengende og mektige områder med kvikkleire. For å oppnå tilfredsstillende sikkerhet mot utglidninger i området skal det utføres omfattende terrengtiltak, som medfører nedplanering av sideskrånninger og oppfylling i dalbunnen. Bekken Søra skal legges om og erosjonssikres, og i tillegg settes i stand slik at bekkens opprinnelige biologiske mangfold kommer tilbake.



Figur 2 Oversiktskart over Heimdalsvegen (Statens vegvesen Fv. 900, 2014)

Orienterende omfang:

- Cirka 4000 meter ny asfaltert gang og sykkelveg
- Cirka 4000 meter ny bekk, Søra- og Heggstadbekken
- Cirka 4000 meter pumpe spillvannsledning, MeTroVann
- Cirka 300 000 m³ masseflytting til fylling i dalen og heving av bekken Søra
- Justering, sideforflytting eller heving av eksisterende fylkesveg
- Avlaste områder for å gi områdestabilitet
- Bygging av dammer, fisketerskler og heving av grunnvannsnivå i hele dalen
- Bygge ny rundkjøring i det gamle Klettkrysset

Prosjektet er forventet ferdigstilt i slutten av 2015. (Statens vegvesen Fv. 900, 2014)

2 Teori

2.1 Leir og leirjord

Mineralkorn som er mindre en 0,002 mm, eller 2 μm , defineres som leir eller leirfraksjoner. Jordarter med så stort innhold av leir (fraksjoner) at det setter sitt preg på massen defineres som leire eller leirjord. Da disse minste jordpartiklene gjør seg meget sterkt gjeldende både fysisk og kjemisk, blir sand eller silt med bare 15% leir klassifisert som leirjord. I Norge er jord med mer enn 50 % leir sjelden (Christensen, 2011).

Tabell 1 Regler for benevning fra vedlegg om jordklassifisering, tilhørende HB R210.

Regler for benevning etter kornstørrelse.		
Etter leirinnholdet		
Beskrivelse av jordarter etter innholdet av leire:		
$\geq 30 \%$	leirinnhold:	Jordarten angis bare som leire.
15-30 %	leirinnhold:	Jordarten angis som leire med
		de øvrige fraksjoner i adjektivsform i den utstrekning det er av betydning for klassifisering av jordarten.
5-15 %	leirinnhold:	Jordarten angis i adjektivsform som leirig.
< 5 %	leirinnhold:	Angis ikke, eventuelt beskrives materialet som leirfattig.

Leirjord er vanlig i Norge, spesielt i mange av de beste jordbruksområdene. Dette kommer av at leirjorden vanligvis er næringsrik og har god evne til å holde på næringen. Områdene med mye leirjord er lavereliggende (under marin grense), gjerne i tilknytning til elver eller havet. Rundt Trondheimsfjorden finner vi mange områder som inneholder mye leirjord.

For bruk av leire i forbindelse med vegkonstruksjoner stilles det store krav. Leire er telefarlig og skal ikke brukes i selve vegoppbyggingen. Som fyllmasse mellom traue og grøftebunn kan den derimot benyttes, så lenge den oppfyller kravene. Egnede masse skal ha et leirinnhold over 15%, et vanninnhold W på mellom 20 og 30%, samt en omrørt skjærstyrke over 10 kN/m^2 (Østlid, 1981) (E-post: Svein Hove, geotekniker SVV). Dette undersøkes ved laboratorieundersøkelser, beskrevet nærmere i Hb R210 og senere i oppgaven.

Den tiden det tar fra pålastingsøyeblikket til poretrykket har utjevnet seg igjen, kalles konsolideringstiden. I motsetning til sand, hvor det skjer umiddelbart, kan det ta flere tiår for tett leire.

Belastning → porevannet presses ut → konsolidering → setninger

(Aarhaug, 1984, p. 115)

Den lange konsolideringstiden fører til at man, ved bruk av leire som fyllmasse, vil få setninger selv om komprimeringsarbeidet er tilfredsstillende. Godt utført komprimering vil føre til jevne og dermed ofte akseptable setninger.

2.2 Komprimering

Komprimering kan defineres som arbeidet som utføres på masser for å øke densiteten og dermed bæreevnen og styrken. Det er hovedsakelig luftmengden i massene som reduseres ved komprimering, men ved særdeles våte masser kan også vann presses ut. Er massene for dårlig komprimert, kan det forekomme svikt eller deformasjon i konstruksjonen som bygges over.

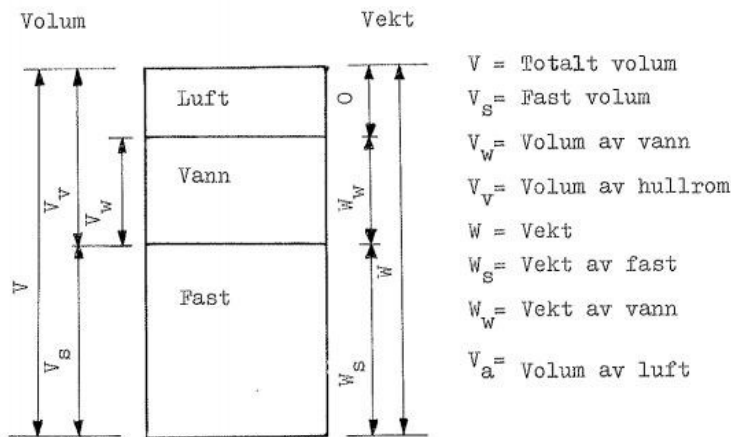
2.2.1 Hvorfor komprimere masser

Massene i vegoppbyggingen komprimeres for å øke bæreevnen og sikre tilstrekkelig styrke for vegbyggingsmaterialene. Vegene er dimensjonert med tanke på at materialene skal ha en lastfordelende evne, og det oppnås ved at materialene komprimeres for å øke tettheten. Hvis ikke de ulike massene i en vegoppbygging blir komprimert tilstrekkelig, kan dette føre til økt belastning på andre områder i oppbyggingen.

Det er viktig at lagene over planum er godt komprimert. Planum, eller traubunn, er overflaten av underbygningen i en vegkonstruksjon. Er lagene over planum dårlig komprimert, kan det føre til økt belastning på undergrunnen. Dette kan igjen gå utover fyllingen i grøften og ledninger i grunnen. Godt komprimeringsarbeid over og under planum, fører derfor til at levetiden til vegene øker og vedlikeholdskostnadene blir lavere. (Flatvad & Aksnes, 2014)

2.2.2 Komprimering av leire

Leirjord inneholder både jord, vann og luft. Fordelingen av disse komponentene bestemmer mange av egenskapene til leira. Det optimale er en godt komprimert leire der vannet fyller hulrom i jorden, og det er minst mulig luft i materialet. Når ikke alle hulrom er fylt med vann, er det en delvis mettet eller umettet leire. Det vil det i praksis alltid være, selv om leiren er tilsynelatende godt komprimert. Mengden av innestengt luft vil variere med vanninnhold, komprimeringsmetode samt hvilken type leire det er. Figur 3 gir et bilde av tre-fase systemet som består av leirpartikler, vann og luft. Forholdet mellom disse bestanddelene brukes ved beregninger av blant annet vanninnhold.

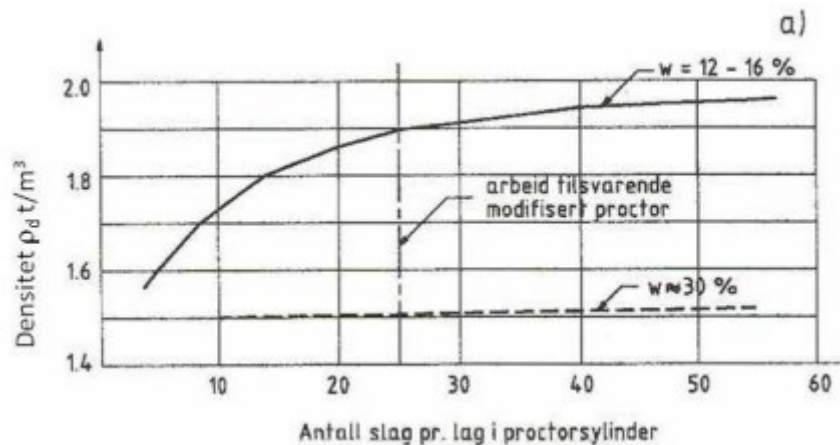


Figur 3 Jords tre-fase system (Østlid, H. Statens Vegvesen, 1976)

Selv en mettete leire, altså leire uten luft, vil ved utgraving, utlegging og komprimering bli umettete. Det kommer av at det ikke er mulig å komprimere leira tilbake til sin naturlige form etter at den er gravd opp. Volumøkningen som følge av dette fører til at leiren vil ha en lavere romvekt (densitet) enn før utgraving. Etter en tid kan leiren bli mettete og få tilbake sin opprinnelige form og densitet. Dette skyldes den lange konsolideringstiden leira har.

Leirfyllinger kan være vanskelige å komprimere. Resultatet på utført komprimeringsarbeid avhenger i stor grad av egenskapene til massene som anvendes. Skal man få gode resultater ved komprimering av leire må massene ha riktige egenskaper og håndteres korrekt ved oppbevaring og utlegging. Spesielt viktig er at massene har riktig vanninnhold og kornfordeling samt at det utføres jevnt og systematisk komprimeringsarbeid.

Figur 4 viser forholdet mellom utført komprimering og densitet, for tørr og våt leire. Med meget tørr leire (vanninnhold 12-16%) kan man oppnå høy densitet, men det krever mye komprimeringsarbeid. Bløt leire (vanninnhold rundt 30%) vil enkelt komprimeres. Densiteten vil til gjengjeld forbli lav, uansett hvor mye komprimeringsarbeid som utføres på massen. (Statens Vegvesen Hb V221, 2014)



Figur 4 Sammenheng mellom komprimeringsarbeid og densitet (fra V221)

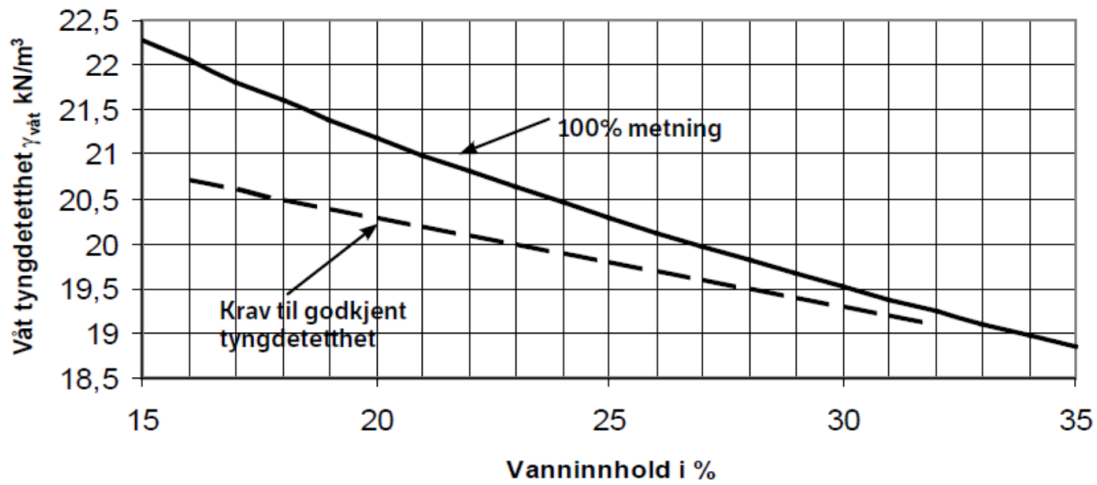
2.2.3 Gjeldende komprimeringsforskrifter SVV

Fra før er det kun beltemaskin og dumper/hjullaster som er beskrevet som egnet utstyr for komprimering av leire. Dette utstyret er det ikke praktisk mulig å benytte i en grøft, men beskrivelsen kan være til hjelp ved utvikling av prosedyrer for andre typer utstyr. Hvert lag skal komprimeres tilstrekkelig, slik at klumper knuses og det oppnås en homogen masse med minst mulig luftinnhold.

Tabell 2 viser nødvendige antall passeringer avhengig av materiale, komprimeringsutstyr og lagtykkelse. Dersom det begrunnes i måleresultat fra setningsnivellment, platebelastning eller responsmålinger, kan det settes andre krav enn i tabell 2 (Statens Vegvesen Hb N200, 2014).

Tabell 2 Komprimering av underbygning (fyllinger)(Statens Vegvesen Hb N200, 2014)

Underbygningsmateriale	Konsistens	Komprimeringsutstyr	Statisk linjelast [kN/m]	Masse [tonn]	Lagtykkelse etter komprimering [mm]	Antall passeringer
Sprengt stein	-	Vibrerende vals	> 45		Utlagt på endetipp	10
			> 30		500-2000	5
Grus, sand, selvdrenerende	Bløt	Vibrerende vals	> 30		200-600	4-6
	Tørr	Vibrerende vals	> 30		200-300	6-8
Finsand, silt	Bløt	Beltemaskin		10-20	200	2-4
	Tørr	Vibrerende vals	> 30		200	4-6
		Dumper/hjullaster		25-70	200	2-4
Leire, siltig leire	Bløt	Beltemaskin (lavt marktrykk)		10-20	200	2-4
	Tørr	Dumper/hjullaster		40	200	2-4



Figur 5 Krav til komprimering av leire fig. 2-2-9 (Statens Vegvesen Hb V221, 2014)

Det er våtdensitet som brukes for å indikere komprimeringsgrad. Leirmasser med et vanninnhold lavere enn 15% lar seg vanskelig komprimere, og vil kunne absorbere vann over tid. Skjærfastheten vil reduseres som en følge av dette, og kan skape setningsproblematikk og deformasjoner. Ved masser med et vanninnhold over 30%, vil utlegging og komprimering være vanskelig da leira er for bløt. På figur 5 kommer det tydelig fram at leire med et lavt vanninnhold har strengere krav til våtdensitet, enn en leire med et høyere vanninnhold. (Statens Vegvesen Hb V221, 2014)

3 Laboratorieundersøkelser

3.1 Sammendrag

For å kartlegge egenskapene til massene, ble det gjennomført grunn- og laboratorieundersøkelser på prøvefeltet i Heimdalsvegen. Det ble tatt opp til sammen 8 poseprøver fra 4 forskjellige hull ved hjelp av gravemaskin. Etter oppfordring fra geotekniker i SVV, ble det gjennomført 5 slemmeanalyser for å finne kornfordelingen. Det ble også gjennomført prøving for vanninnhold og konusforsøk for å finne SUO, omrørt skjærstyrke. Ut i fra disse resultatene kunne vi konkludere med at det hovedsakelig var massene fra 0-1meters dybde som var egnet, og at vi burde flytte feltforsøket litt bort fra et hull hvor det var leirig silt. Materialer med for stort siltinnhold egner seg ikke for komprimering.

Den andre runden med laboratorieundersøkelser ble gjennomført under selve feltforsøket. I feltforsøket ble det brukt troxlermålinger for å finne densitet og vanninnhold til ferdig komprimerte masser. Målingene skulle gi et svar på hvor god komprimeringen var. I forbindelse med denne testingen, krevdes det en vanninnholdsprøve for hver enkelte måling med troxleren. Dette førte til 44 vanninnholdsforsøk.

Alle forsøk ble utført i samarbeid med laboratoriepersonell, og etter beskrivelser i Norsk standard og vegvesenets håndbøker.

Blå tekst er direkte sitat fra faglitteratur.

3.2 Slemmeanalyse (kornfordeling)

En kornfordelingsanalyse utføres ved våt eller tørr sikting av fraksjonene med diameter $d > 0,063$ mm. For mindre partikler bestemmes den ekvivalente korndiameteren ved slemmeanalyse og bruk av hydrometer. I slemmeanalysen slemmes materialet opp i vann og densiteten av suspensjonen måles ved bestemte tidsintervaller. Kornfordelingen kan da bestemmes fra Stokes lov om sedimentering av kuleformede partikler i vann. Det vil ofte være nødvendig med en kombinasjon av metodene. (Norsk Standard 8005, 1990)

Metode for bestemmelse av fordelingen av kornstørrelsene i jordarter med høyt innhold av finstoff ved hjelp av slemmeanalyse. Metoden brukes for undersøkelse av leirig silt, siltig leire og lignende finkornig materiale, hovedsakelig i forbindelse med Ø 54 mm uforstyrrede prøver. (Statens vegvesen Hb R210, 2014)

Utstyr

- Hydrometer type 152H
- Glassylinder 1 liter
- Vekt
- Termometer
- Stoppeklokke

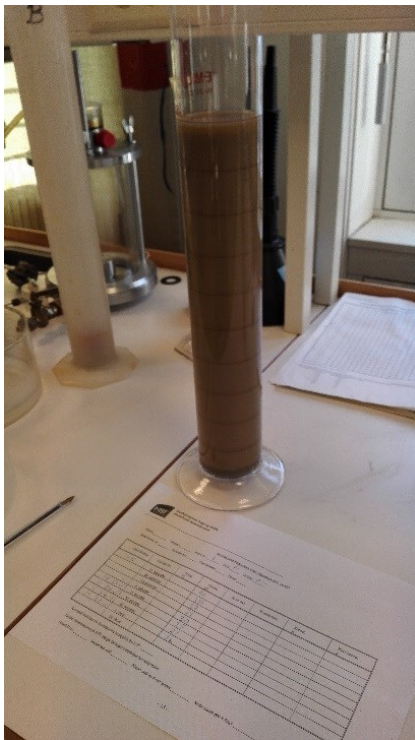
I slemmeanalysen bruker man et hydrometer, som er kalibrert for en spesiell mengde prøve og en gitt sylindrestørrelse. En bit av jordprøven blandes godt med destillert vann, og helles i prøvesylindere. Deretter settes hydrometer forsiktig oppi cylinderen, og avlesningene kan begynne. Forsøket går over 24 timer, med avlesninger på hydrometret etter henholdsvis 37, 60, 105 sekund, 4, 15, 30, 60 minutt, 4 og 24 timer. Etter siste avlesning skal prøven tørkes i ca. et døgn. Deretter veies den tørkede prøven, slik at masseprosent for de ulike kornstørrelsene kan bestemmes. Man må ta hensyn til korreksjonsfaktorer for korndensitet (kap. 3.4), temperatur, avlesningsnivå og bruk av dispergeringsmiddel. Under forsøkene utført i denne oppgaven var temperaturen på 21°C slik at korreksjonen ble 0,99 på samtlige forsøk. Dispergeringsmiddel kan brukes for å unngå at korn klumper seg sammen, men ble ikke benyttet i dette tilfellet. Tabell 3 er en oversikt over alle korreksjoner man må ta hensyn til i forsøket.

Tabell 3 Samlet oversikt over korreksjoner for slemmeanalyse fra HB R210.

Korreksjon for 115 ml dispergeringsmiddel (gjelder avlesning)		Korreksjon for korndensitet (gjelder avlesning og kornstørrelse)		Korreksjon for temperatur (gjelder kornstørrelse)		Korreksjon for avlesningsnivå/menisk (gjelder avlesning)	
Temperatur (°C)	Avlesningsendring	Korndensitet ρ_s	Korreksjons-faktor	Temperatur (°C)	Korreksjons-faktor	Avlesningsnivå	Avlesningsendring
		2,85	0,96	18	1,03	Øvre rand	+ 0,5
19	- 7,5	2,80	0,97	19	1,01	Vannflate	0
20	- 7,0	2,75	0,98	20	1,00		
21	- 6,5	2,70	0,99	21	0,99		
		2,65	1,00	22	0,98		
		2,60	1,01				
		2,55	1,02				

Forsøket er nærmere beskrevet i Håndbok R210 Laboratorieundersøkelser. (Statens vegvesen Hb R210, 2014)

Vi gjennomførte 5 slemmeanalyser, der 4 var prøver fra 0-1 meters dybde i alle prøvehullene, samt én prøve fra 1-2m i prøvehull P3. Etter avlesning og korrigering ble resultatet plottet i en graf ved hjelp av et regneark, utviklet og i bruk av Rambøll. Kornfordelingskurven brukes til å bestemme leirinnholdet i jorden, slik at man kan navngi massene.



Figur 7 Prøve 1 fra hull P1. Leire.
Foto: JMSH



Figur 6 Prøve 7 fra hull P3. Siltig leire. Foto: JMSH



Figur 8 Prøve 3 fra hull P2. Leirig silt. Foto: JMSH



Figur 9 Prøve 5 fra hull P4. Leire. Foto: JMSH

3.3 Vanninnhold

Undersøkelsen utføres for å bestemme en prøves vanninnhold ved hjelp av vektbestemmelse før og etter tørking av et materiale til konstant vekt. (Statens Vegvesen, 2014)

Utstyr

- Nummerte skåler
- Tørkeskap
- Vekt



Figur 10 Tørking av et parti med prøver i forbindelse med troxler. Foto: JMSH

Vanninnholdet er vesentlig for egenskapene til leira og dokumentasjon av det var viktig for oppgaven. Det bestemmes ved at man veier en våt jordprøve (cirka 50 gram) og tørker den i tørkeskap som holder omtrent 110 grader. Deretter veies den tørre prøven, og vekttapet skyldes vannet som er fordampet. Vanninnholdet beregnes i masseprosent av den tørkede prøvens masse. Denne testen ble utført på de 8 prøvene vi tok opp som forberedende arbeider til feltforsøkene, samt de 44 prøvene som ble tatt i forbindelse med troxler-målingene underveis i feltforsøket. Resultatene fra vanninnholdforsøkene er i sin helhet vedlagt som vedlegg B.

3.4 Korndensitet

For å få korrekte verdier på slemmeanalysen, må korndensiteten bestemmes. Korndensiteten brukes til å bestemme en korreksjonsfaktor for korndensitet forskjellig fra 2,65.

«Korreksjon ved avvikende korndensitet (ρ_s): Har det undersøkte materiale en annen korndensitet (ρ_s) enn 2,65, må både avlesning og kornstørrelser korrigeres. Avlesningene og kornstørrelsene korrigeres ved å multiplisere med faktor som er avhengig av korndensiteten.» (Statens vegvesen Hb R210, 2014)

Utstyr

- Pyknometer (glassflaske som brukes til å bestemme tettheten av bl.a. væsker)
- Vekt
- Skål for tørking
- Tørkeskap

Korndensiteten bestemmes ved bruk av pyknometer. I testen bruker man et pyknometer, en glasskolbe med topp, som har volum 100 ml. Man fyller først opp kolben med destillert vann og veier dette. Deretter fyller man opp kolben med en bit av prøven utrørt i destillert vann. Denne veies, før innholdet tømmes i en skål og tørkes i tørkeskap. Til slutt bruker man massen til den tørre prøven og forskjellen i masse (og dermed volum) for vannet, til å finne korndensiteten. Ut i fra tabell 4 bestemmes så korreksjonsfaktoren. I forsøkene i denne oppgaven lå korndensiteten mellom 2,73 og 2,90. Det måtte derfor korrigeres en del. Korreksjonsfaktoren brukes videre til å korrigere både avlesning og kornstørrelse.

Tabell 4 Korreksjonsfaktor for korndensitet (Statens vegvesen Hb R210, 2014)

Densitet ρ_s	Korreksjonsfaktor
2,85	0,96
2,80	0,97
2,75	0,98
2,70	0,99
2,65	1,00
2,60	1,01
2,55	1,02

3.5 Konusforsøk

«Konusprøving er en enkel metode for orienterende bestemmelse av udrenert skjærstyrke. Skjærstyrken i de aktuelle materialene er basert på målinger i andre typer laboratorie- og feltforsøk og korrelert til nedtrenging av en metallkon med kjent vekt og spissvinkel. Erfaringsverdiene er gjengitt i figuren i HB 014, 14.471 s. 2-3.» (Statens vegvesen Hb R210, 2014)

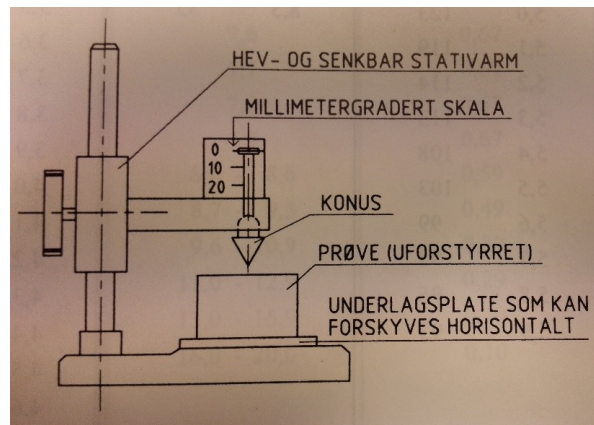
Utstyr

- Komplett konusapparat med standardkonuser og prøvebeholder

For å bestemme den omrørte skjærstyrken til en prøve ble det i oppgaven benyttet konustest. Testen går ut på at en jordprøve, omrørt eller uforstyrret, plasseres i prøvebeholderen. En konus med en kjent masse og vinkel slippes så fra en gitt høyde. Konusens nedtrenging i prøven måles i millimeter, og ved hjelp av erfaringsverdier i tabell kan man deretter finne et bra anslag på skjærstyrken.



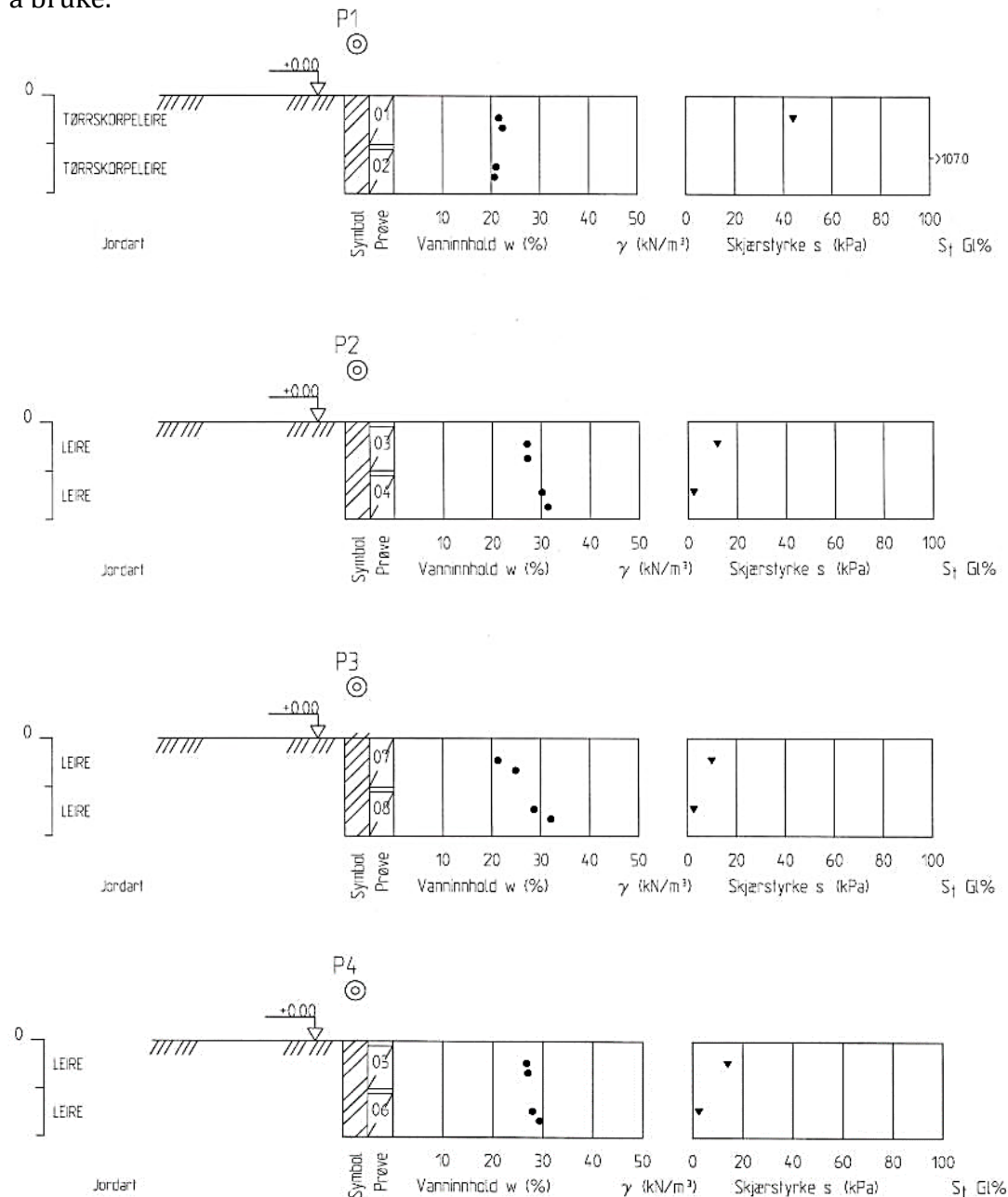
Figur 11 Konusapparat. Foto: Enoch By



Figur 12 Prinsippskisse av konusapparat fra Hb 014

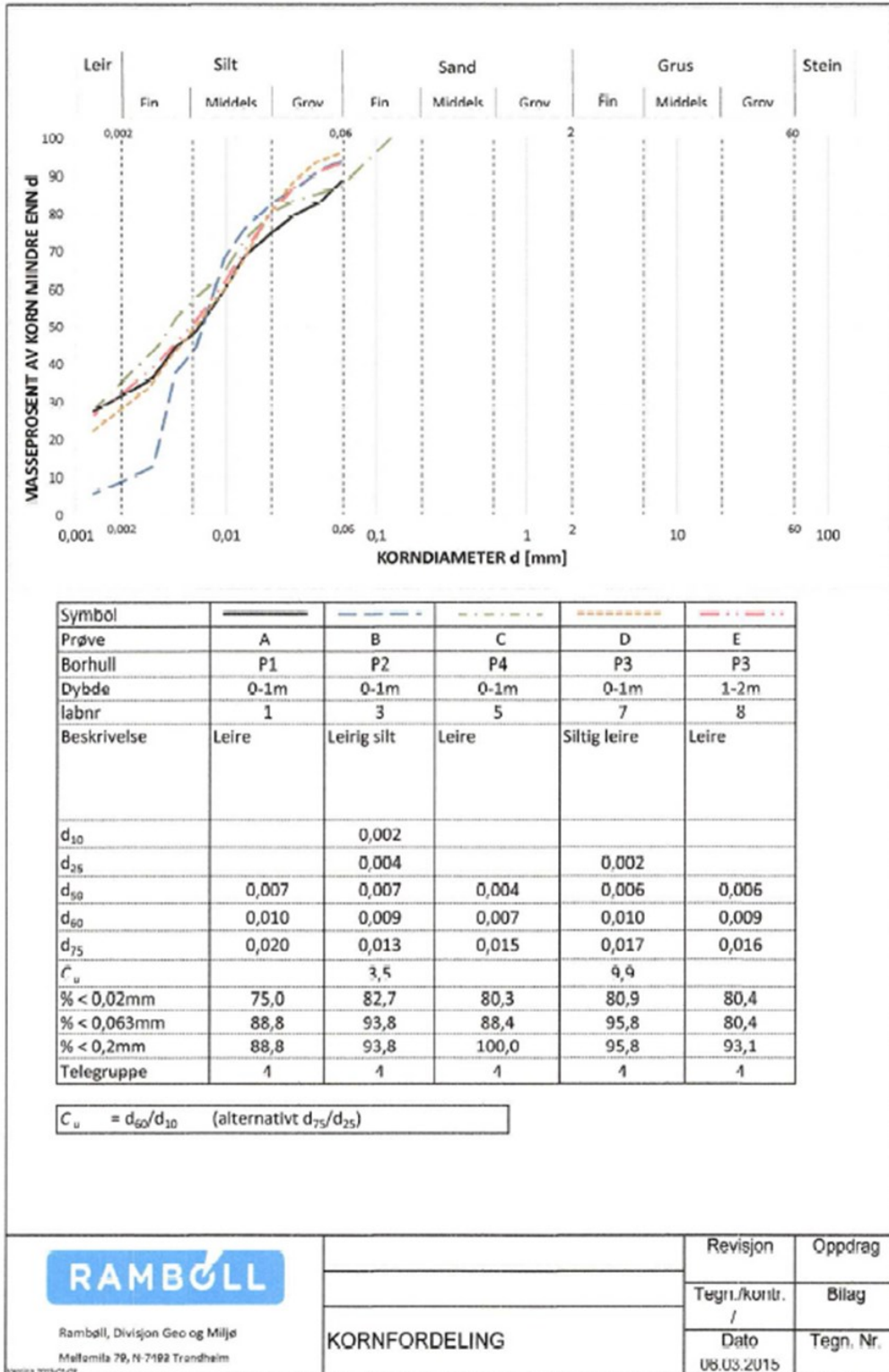
3.6 Resultat fra forundersøkelser

Vurderingen av brukbare masser ble gjort i samarbeid med geotekniker i SVV. Anbefalte egenskaper for egnet leire er et vanninnhold (W) på 20-30%, og en SUO (omrørt skjærstyrke) over 10 kN/m² (Østlid, 1981). Resultatene av vanninnhold og omrørt skjærstyrke (fra prøvepunktene i forundersøkelsene) ble fremstilt grafisk, ved hjelp programvaren Novapoint Geosuite. På den grafiske fremstillingen på figur 13 kommer det tydelig fram at det er kun den øverste meteren av de stedlige massene som er aktuell å bruke.



Figur 13 Resultater fra forundersøkelser, vanninnhold W og omrørt skjærstyrke SUO

Resultatene fra kornfordelingsprøvene ble fremstilt grafisk, se figur 14. Ut i fra grafene er det tydelig at 4 av prøvene er greie, med siltig leire og leire. Den ene prøven har for høyt siltinnhold, og massene rundt dette prøvehullet bør dermed unngås.



Figur 14 Kornfordeling fra forundersøkelser

4 Spørreundersøkelse

Spørreundersøkelsen ble gjennomført for å et godt innblikk i hvordan vibrasjonsplaten brukes i dag, og som et utgangspunkt for feltforsøket.

Spørsmålene ble sendt ut til sju maskinførere og fem anleggsledere fra fem forskjellige firma i trondheimsregionen. Svarene fra undersøkelsen forsterket oppfatningen av at det var et behov for en prosedyre. Spesielt med tanke på lagtykkelse var det helt tydelig at det i praksis var store avvik fra gjeldende beskrivelser, som angir at maksimal lagtykkelse for komprimering av leire er 0,2m ferdig komprimert. (Statens Vegvesen Hb N200, 2014)

Resultatene fra undersøkelsen ble vurdert i samråd med John O. Bolme (Oppdragsgiver, driftsleder i BL-Ent.) og Erik Waldum (Initiativtaker, konsulent i MEF). Ut i fra dette ble det bestemt at tida skulle fastsettes til cirka 7 sekund, og at det heller skulle fokuseres på lagtykkelse og antall overfarer.

På neste side følger et skjematisk oppsett av spørsmålene, og en sammenfatning av alle besvarelsene.

Spørsmål	Konklusjon
Brukes vibrerende plate på gravemaskin til komprimering av grøfter i deres firma?	Ja. Samtlige av deltagerne i spørreundersøkelsen.
I hvilke masser brukes dette utstyret?	Alle nevnte masser (leire, grus, stein). Samtlige deltagere enig.
Hvilke erfaringer har du/dere med bruk av vibrerende plate?	<ul style="list-style-type: none"> - Brukes mer og mer - Smidig og fleksibelt redskap - God komprimering (kanskje for god?) - Eneste egnede utstyret i bløte masser - Mindre kapasitet enn valser - Føringer på bruk savnes
Hvis utstyret brukes til komprimering av leire; hvor tykke lag legges ut?	<ul style="list-style-type: none"> - Et tykkere lag nederst mot rør på ca 1m for å skåne rør - Videre spriker det en del (0,2-0,3m, 0,3m, 0,5m, 0,5-0,7m, 0,7-0,8m). Krav fra N200: 0,2m. Må testes! - Avhengig av masstype og utstyr
Hvordan brukes plata (med tanke på komprimeringsmønster og tid på hvert punkt)?	<ul style="list-style-type: none"> - Punktvis m/overlapping - Flere overfarer, min. 2 - Ser når deformasjon avtar, massen ikke setter seg mer - Avhengig av masse, fuktighet osv. - Tid per plassering er fra 5-8 sekunder
Er det tilfeller der vibrerende plate på gravemaskin er eneste mulige løsning for komprimering av grøft (utdyp gjerne)?	<ul style="list-style-type: none"> - Våte masser - Rundt kabler, kummer - Trange, dype grøfter
Andre opplysninger du/dere mener er relevante?	<ul style="list-style-type: none"> - Kjekt redskap, lett å ha med seg - Bra i bløt leire og trange grøfter - Enestående ved punktgraving - Vanskelig å vite om det blir bra, savner føringer/dokumentasjon - Viktig å være forsiktig! Fare for å komprimere for bra, ødelegge rør.

Spørreskjema som ble utsendt er i sin helhet vedlagt under vedlegg C.

5 Skjema til bruk ved feltforsøk

I forbindelse med feltforsøk ble det utviklet og benyttet skjema for planlegging og kontroll av komprimeringen. I dette kapittelet beskrives opphav og formål til disse samt forklaringer til hva de inneholder.

5.1 Komprimeringsplan

5.1.1 Bakgrunn

I forkant av feltforsøket ble det utarbeidet egne komprimeringsplaner. Disse planene ble utarbeidet for å kunne planlegge i detalj hva som skulle utføres i feltforsøket, samt å bruke til egenkontroll under utførelsen. Utgangspunktet var en komprimeringsplan fra MEF (Maskin-Entreprenørenes forbund). Denne var opprinnelig tilpasset bruk for komprimering med vals, og ble endret slik at den skulle passe til komprimering med vibrerende plate montert på gravemaskin.

Komprimeringsplan ble utarbeidet ved hjelp av resultater fra utsendt spørreundersøkelse og samtale med Erik Waldum fra MEF (Initiativtaker, konsulent i MEF). Det som var viktig å få med i planen, var metode (tid og mønster), lagtykkelse og antall overfarter/sykluser.

Det ble ut fra spørreundersøkelsen registrert at de fleste vibrerte 5-8 sekunder på hvert punkt før de flyttet plata til neste punkt. Det ble også sagt at det oftest ble komprimert minimum 2 sykluser med overlapp på hver overfart. Et fellestrekk ved de fleste svarene var at lagtykkelsen ferdig komprimert stort sett var større enn 0,2m, som er vegvesenets krav ved komprimering av leire. Ut fra dette er det blitt laget en plan som kan brukes til å fortelle maskinførere hvordan de skal utføre komprimeringsarbeidet.

5.1.2 Formål med komprimeringsplan

Planen som ble utarbeidet er tenkt å være universell. Den skal kunne endres ved behov da utstyr og anlegg er ulike. Det føres inn informasjon om anlegg/sted, hvilken masse som legges ut og lagtykkelse. I planen skal det også beskrives antall sykluser, tid per plassering av plata og hvilket mønster det skal komprimeres etter. Dette skal bidra til et godt og jevnt komprimeringsarbeid, som igjen fører til et bra resultat.

Kontroll- og dokumentasjonsmetode er også beskrevet i skjemaet, for å orientere utførende om hvilke metoder som skal brukes.

Tabell 5 viser et eksempel på en komprimeringsplan som ble brukt i feltforsøket ved Heimdalsveien.

5.1.3 Komprimeringsplan for feltforsøk

Tabell 5 Eksempel på komprimeringsplan benyttet i oppgaven

Sted	Avlastning 2, Heimdalsveien				Dato for utarbeidelse	04.03.15
Grøftenr.	1				Dato for utførelse	Onsdag 11.03.15
Profilnr.	0-5m				Plan id.	KP-01
Materialbeskrivelse	Leire					
Lagnummer	1					
Lagtykkelse (utlagt)	0,35m					
Lagtykkelse (ferdig komprimert)	0,2m					
Komprimeringsutstyr	Vibrerende plate CAT CVP 110, montert på CAT 329E.					
Antall sykluser	1			Tid per plassering	Ca. 7sek	
Mønster	1	2	3	4	Kommentar	
(Rekkefølge for plassering av vibrasjonsplaten.	8	7	6	5	Det skal kun komprimeres en syklus.	
	9	10	11	12		
Kontroll og dokumentasjon						
Kontrollmetode	Sjekkliste (5.2 komprimeringskontroll)					
Type dokumentasjon	Måling av komprimeringsgrad, f.eks. ved bruk av Troxler					

5.2 Komprimeringskontroll

5.2.1 Bakgrunn

Ved alt feltarbeid skal utført arbeid kontrolleres og dokumenteres. I forbindelse med feltforsøket ble det utarbeidet skjema for komprimeringskontroll. Kontrollskjemaet skal fylles ut av utførende personell som dokumentasjon på at arbeidet er gjennomført i henhold til gjeldende komprimeringsplan. Dette kan være med på å bidra til et bedre resultat, ved at feil kan oppdages og rettes opp umiddelbart. Store avvik kan unngås og kvaliteten blir jevnere som en følge av dette.


5.2.2 Bruk av komprimeringskontroll

Kontrollen inneholder generelle opplysninger om sted/anlegg i og med at planene skal tilpasses hvert enkelte komprimeringsarbeid. Det noteres type utstyr som ble benyttet, type masse, målepunkt (profil nr.), målt lagtykkelse og hvordan arbeidet er utført. Kontrollen skal også inneholde referanse til tilhørende komprimeringsplan.

Tabell 6 viser et eksempel på en komprimeringsplan som ble utarbeidet og brukt under feltforsøk i Heimdalsveien.

5.2.3 Komprimeringskontroll for feltforsøk

Tabell 6 Eksempel på komprimeringskontroll benyttet i oppgaven

Komprimeringskontroll			
Tiltakshaver:	BL Entreprenør AS	Side:	1 av 1
Ansvarlig utførende:	BL Entreprenør AS	Sist rev.:	23.03.2015
Prosjekt:	Bacheloroppgave, forsøk i Heimdalsvegen	Dok.Id:	KK - 01
Prosjektnr.:	2015-29	Dato /sign.:	11.03.15 JMSH

Kontroll iht.:	(NS 3420/Prosesskode/Prosjektdokumenter/Tegninger/Annet)
Kontroll utført som:	Feltundersøkelse, forsøk

1 Generelle opplysninger

Komprimeringsklasse	Normal
Sted (parsell-nr./strekning/område)	Avlastning 2

2 Kontroll av komprimering

Kontroll utført av	Jon Martin Støver-Hofstad		
Iht. komprimeringsplan	KP-01 – KP-05		
Type konstruksjon	Grøft		
Type masser	Leire		
Komprimeringsutstyr	Kategori	X	Vibrerende plate montert på gravemaskin
			Vibrerende valse
	Fabrikkat og type	Cat CVP110 montert på CAT 329E	

3 Kontrollresultater

Målepunkt (profilnr. I grøft)	Lag/høyde	Kontroll av lagtykkelse (Oppgi i m)				Utført komprimering				Dato	Sign.		
		Måling 1	2	3	Gj. snitt	Antall sykluser	Mønster v/bruk av vibroplate (hver rute representerer plasseringen av vibroplaten)					Tid per plassering	
2,0m	Lag 1 0,25m	0,22				1	1	2	3	4	7s	11.03.15	JMSH
7,5m						2	1	2	3	4	7s	11.03.15	JMSH
12,5m			0,27			3	1	2	3	4	7s	11.03.15	JMSH
17,0m				0,25		4	1	2	3	4	7s	11.03.15	JMSH
22,0m					0,25	5	1	2	3	4	7s	11.03.15	JMSH

6 Feltforsøk

Feltforsøk utført i Heimdalsveien (FV. 900) 09.03.2015-20.03.2015

6.1 Formål

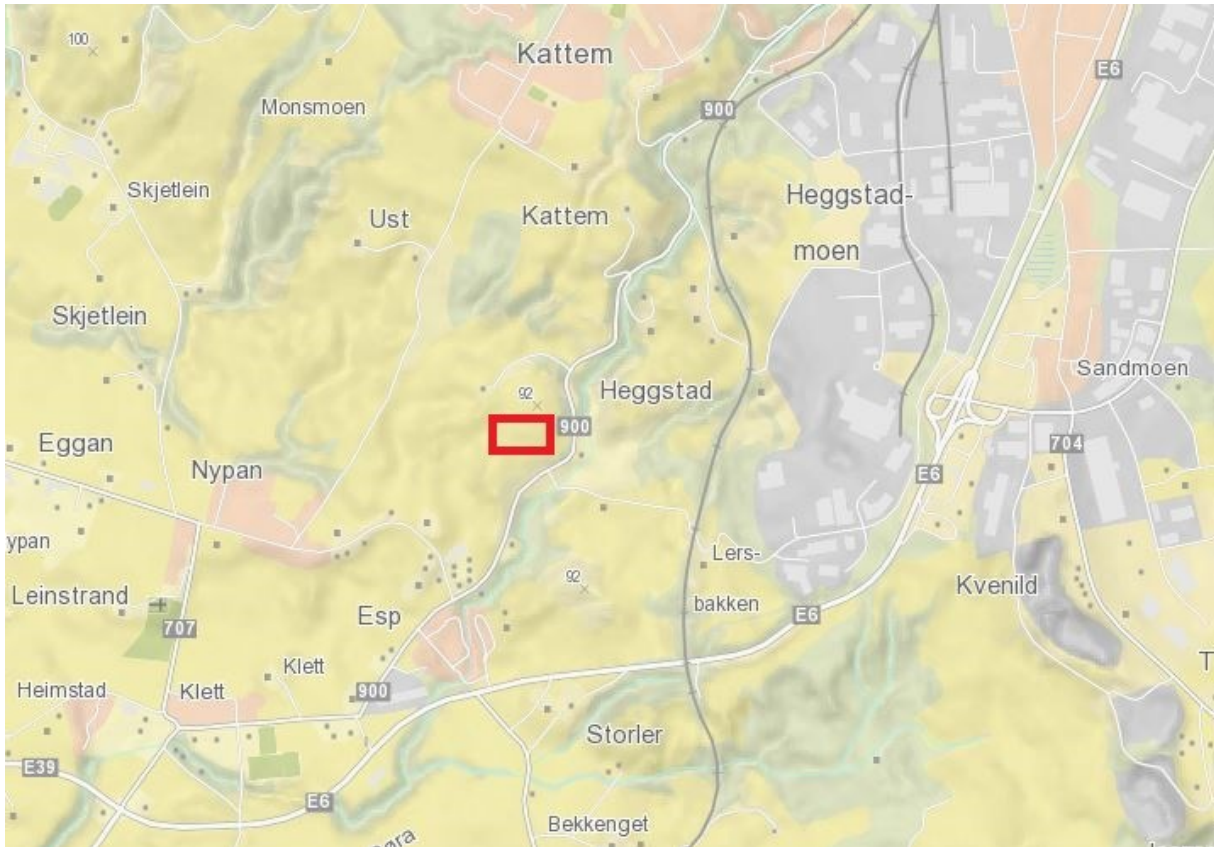
Det ble utført forsøk på komprimering av leire i grøft, ved Statens Vegvesen sitt anlegg langs FV.900 i heimdalsvegen. Arbeidet gikk ut på å utføre ulike tester ved bruk av vibrerende plate montert på gravemaskin. Resultatene skulle kontrolleres for å vurdere om bruk av dette utstyret førte frem til gode resultater. Det skulle også komprimeres med vibrerende valse for å få sammenligningsgrunnlag.

6.2 Område for feltarbeid

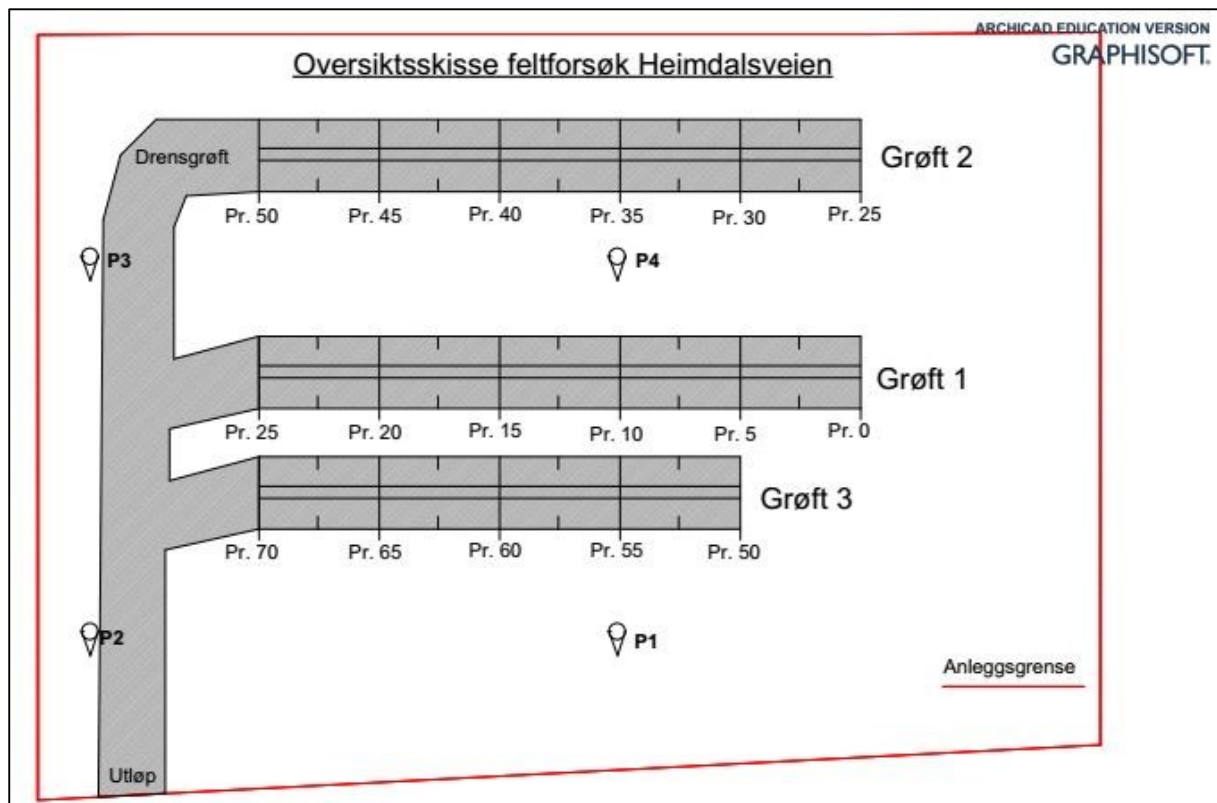
Det var naturlig å legge feltforsøket til anlegget i Heimdalsveien, da det er i forbindelse med dette prosjektet denne oppgaven har sitt utspring. Problemene med komprimering av leire oppsto ved bruk av leire som fyllmasse i grunnen under en gangvei i prosjektet. Det har i den forbindelse blitt diskutert årsaker til manglende komprimering. Det var ønskelig å utføre feltforsøkene i samme område som oppgaven stammer fra, for å få noen lunde like masser.

Tidligere geotekniske rapporter fra området ble vurdert. Ut fra tidligere grunnundersøkelser samt ulike forhold med tanke på anleggets drift, ble området for feltarbeid ved avlastning 2 (Statens Vegvesen, 2013). Ved dette området hadde BL Entreprenør fjernet matjord og en del leire. Prøveresultatene fra rapportene indikerte at leira hadde bra nok egenskaper til å brukes som fyllmasse og dermed komprimeres. Egenskapene til massene på området ble kontrollert ved laboratorieundersøkelser beskrevet i kap. 3 i denne oppgaven.

6.2.1 Skisse over området



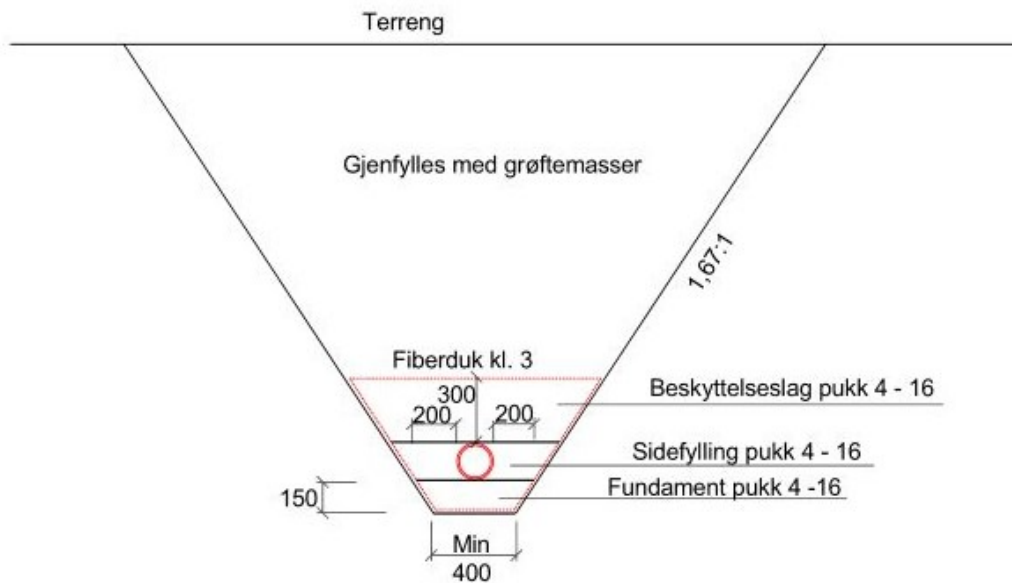
Figur 15 Oversiktskart over området, avlastning 2 merket med rødt



Figur 16 Oversiktsskisse feltområde med grøfter og prøvepunkt Tegnet: Enoch By

6.2.2 Grøftetverrsnitt

Det ble hentet ut et grøftetverrsnitt fra vegprosjektet i Heimdalsvegen, som skulle brukes ved graving av grøftene i oppgaven (figur 17). Dette viste grøfteprofilet og hvordan rørene og omfyllingen av disse skulle være. Grøftesnittet ble kontrollert opp mot grøfteforskriften (Fig. 6, Arbeidstilsynet, 1985). I og med at grøftene i forsøket skulle være 2,0m dype, var det viktig at grøfteskråningene tilfredstilte arbeidstilsynets krav (figur 18).



Figur 17 Grøftetverrsnitt fra Heimdalsveien (Statens Vegvesen, 2014)

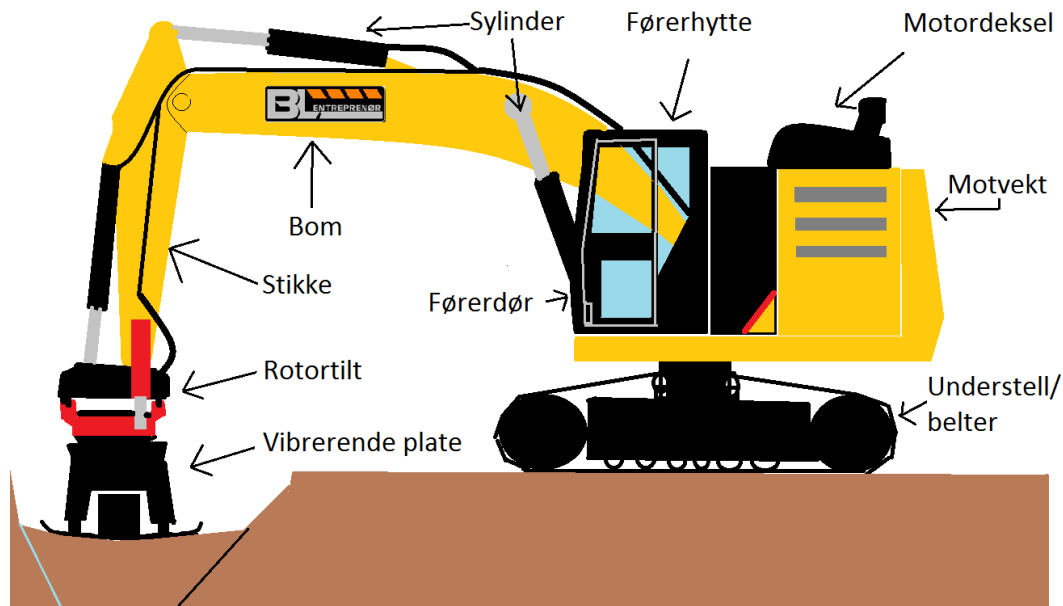


Figur 18 Krav til grøfteprofil i kohesjonsjordarter (Fig. 6, Arbeidstilsynet, 1985)

6.3 Utstyr til feltarbeid

- Gravemaskin 30tonn med vibrerende plate (stor), GPS, rotortilt og skuffer
- Gravemaskin 18tonn med vibrerende plate (liten), GPS, rotortilt og skuffer
- Rør for legging i grøft PVC 160(SN8) og PVC 200(SN8)
- Pukk 4-16mm for omfylling av rør
- Selvgående vibrasjonsplate 100 kg
- Grøftevals 1,5 tonn
- Anleggsvals 7 tonn
- Stikker
- Spade
- Rive
- Lastestropper
- Målebånd
- Markeringsspray
- Tommestokk

Det var hovedsakelig vibrerende plate på gravemaskin som ble brukt. To ulike størrelser vibrasjonsplater og gravemaskiner ble benyttet for å se om det var variasjon i oppnådd komprimeringsgrad. Annet utstyr som ble brukt var stor anleggsvals og liten grøftevals. Disse ble brukt for å sammenligne resultatene fra vibrasjonsplatene med tanke på oppnådd komprimeringsgrad.



Figur 19 Begreper knyttet til gravemaskinen. Tegnet av: Enoch By.

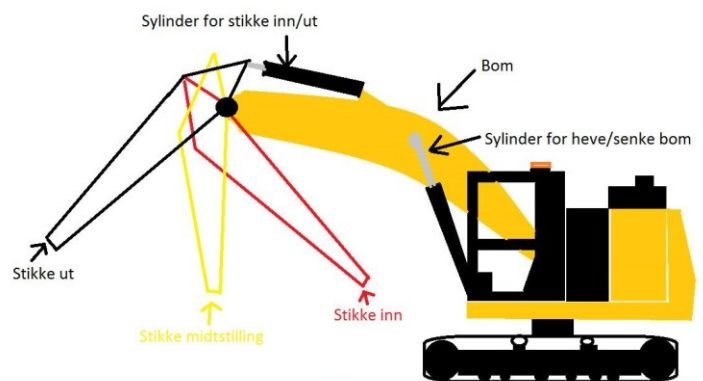
6.3.1 Vibrerende plate montert på gravemaskin

Det ble brukt to typer/størrelser vibrerende plater, og to typer gravemaskinstørrelser under feltarbeidet. Ulike maskinstørrelser har ulike krefter, og leverer ulike mengder olje og trykk til påmontert utstyr. En stor maskin har ofte stor kapasitet og håndterer større og mer effektivt utstyr. Oppnådd kvalitet på arbeidet kan derimot være like god med mindre utstyr.

Tabell 7 Tekniske spesifikasjoner (Caterpillar, 2015) (Engcon, 2015)

Tekniske spesifikasjoner		
Maskin	CAT 316E	CAT329E
Vekt maskin (kg)	18300	29670
Vibrerende plate	Engcon PP600	Cat CVP110
Vekt Plate (kg)	600	1052
Arbeidsareal plate (m ²)	0,58	1,03
Maks frekvens (mp/Hz)	2100	2200
Maks pakkekraft (kN)	60	110

For å finne vekt av den vibrerende platen under bruk ble maskinene veid på vekta til Franzefoss pukkverk avd. Vassfjell. Egenvekta til den vibrerende plata er bare en liten del av trykket som presser på underlaget, da vekta av bom og stikke (se tabell 8) kommer i tillegg. Ved komprimering skal bom og stikke hvile på plata, kun egenvekt av disse skal presse på plata. En faktor som spiller inn på vekt er også rotortilt som kan være montert på maskina. Denne vil tilføre ekstra vekt. Det varierer om det brukes rotortilt eller ikke under komprimering. Derfor er utstyret blitt veid med rotortilt montert og så har vekta av rotortilt blitt trukket fra etter måling for å ha begge verdier.



Figur 20 Stikkeposisjoner gravemaskin Tegnet av: Enoch By

Tabell 8 Resultater fra vekt ved Franzefoss

Veiing av plate montert på gravemaskin			
Maskin		Cat 316E	Cat 329E
Vibrerendeplate		PP600	CVP110
Rotortilt(kg)		320	850
(Med rotortilt)	Utstrakt(kg)	2500	5350
Stikkeposisjon	Midtstilling(kg)	2350	4700
	Inn(kg)	2100	5300
Middel (kg)		2317	5117
(Uten rotortilt)	Utstrakt(kg)	2180	4500
Stikkeposisjon	Midtstilling (kg)	2030	3850
	Inn(kg)	1780	4450
Middel (kg)		1997	4267

6.3.2 Grøftevals selvgående

Det ble brukt en Wacker Neuson RT82-SC3 vibrerende grøftevals med egenvekt på 1,45 tonn. Oppgitt pakkekraft på 68,4kN, med frekvens 41,7Hz. Statisk linjelast på 9,6N/mm og dynamisk linjelast på 45N/mm. (Wacker, 2015)

6.3.3 Anleggsvals selvgående

Den største valsen som ble brukt var en Cat CS-433E anleggsvals med egenvekt på 7,0tonn. Driftsvekt på trommelen er 3,5 tonn. Høyeste pakkekraft er 134kN, og frekvensen 31,9Hz. Statisk linjelast er oppgitt til 20,3N/mm. (Pon Equipment, 2007)

6.4 Gjennomføring av feltarbeid

Feltarbeidet omfattet graving av grøfter, legging av rør og fylling av leire lagvis for så å komprimere lagene ved bruk av ulike metoder og utstyr. Etter komprimering av hvert lag skulle SVV kontrollere resultatet ved hjelp av målinger med Troxler. Nedlagte rør skulle også kontrolleres for å se om tynne lag før komprimering ga skader på disse.

6.4.1 Oppstart

Etter at området var stukket ut ble gravemaskin og utstyr hentet. Gravemaskina (Cat 329E) med vibrerende plate påmontert ble kjørt til Franzefoss Pukkverk avd. Vassfjell. Der ble det utført veiing hvor formålet var å finne total vekt på underlaget ved bruk av vibrerende plate. Dette ble senere gjentatt med den mindre maskina (Cat 318E). Det ble veid med stikka i forskjellige posisjoner. Resultater kommer frem på tabell 8 kap. 6.3.1.

Pukk 4-16mm, PVC-rør og annet utstyr ble fraktet til forsøksområdet på avlastning 2 (se kap. 6.2) ved hjelp av gravemaskin. Prøveområdet lå på en slak haug på et jorde. Det optimale hadde vært å fraktet opp utstyr med lastebil, men teleløsning gjorde at det kun var beltemaskiner som kom seg opp. På prøvefeltet var grøftene oppmerket på forhånd. Resultatene fra forundersøkelsene førte derimot til at det ble besluttet å flytte grøftene noe lenger nord-øst på området. Dette var for å unngå siltig leire og leire uten riktige egenskaper.

6.4.2 Graving og komprimering

Da alt utstyr var på plass kunne gravingen starte. Området ble først rensket for matjord. Dette ble gjort for å kunne tilbakeføre området til opprinnelig tilstand etter at feltforsøket var avsluttet. Det ble gravd to parallelle grøfter (grøft 1 og 2) med ca. 30 meters lengde. Grøftene ble utformet etter grøftesnitt på tegning GH904-C (Statens Vegvesen, 2014). Massene ble lagt opp mellom grøftene, for at de ved tilbakefylling av grøfta skulle være lett tilgjengelige. En dreneringsgrøft ble også gravd for å hindre at vann ble stående i bunnen av grøftene under feltarbeidet. Se figur 16 for en skisse over feltområdet. Det ble lagt rørfundament og rør i bunn av grøft 1 og 2. PVC 160 (SN8) i grøft 1 og PVC 200 (SN8) i grøft 2. Det ble bygd fundament på sidene og beskyttelseslag over (pukk 4-16mm). Totalt ble 30m med rør lagt ned i hver grøft. Da kunne 25m av grøfta fylles igjen, uten at endene ble fylt over. Endene på rørene skulle være tilgjengelig for senere rørkontroll ved kamerakjøring.



Figur 21 Legging av rør i grøft. Foto: Enoch By



Figur 22 Komprimering av leire i grøft. Foto: JMSH

Under forsøket ble det brukt to ulike gravemaskiner på henholdsvis 18 og 30 tonn. For å sammenligne resultater ble det også benyttet grøftevals på 1,5 tonn og anleggsvals på 7 tonn. Valsene ble brukt i henhold til retningslinjene i håndbok N200 for komprimering av finsand/silt da dette er nærmeste tilnærming til komprimering av leire. (Statens Vegvesen Hb N200, 2014)

Grøftene ble delt opp i strekninger på 5m hver (figur 16) hvor ulike metoder og lagtykkelser skulle utprøves. På denne måten ble det enkelt å holde rede på hva som var utført hvor. Det ble brukt profilnummer som det skulle refereres til ved prøvetaking og samling av resultater. Etter utmåling og oppmerking av profilnummer, begynte arbeidet med å fylle leire tilbake i grøfta. Leira ble lagt ut i ønsket lagtykkelse som ble kontrollert ved hjelp av GPS på gravemaskinen og tomrestokk. Utlagt lagtykkelse varierte fra 0,35m til 1,0m avhengig av gjeldende komprimeringsplan. Det første laget i begge grøftene ble komprimert med den store vibrasjonsplata (Cat CVP110). Deretter ble det gjennomført troxlermålinger for å finne komprimeringsgrad. I tillegg ble det gjennomført rørkontroll for å se om rørene var skadet eller deformert. Dette ble gjort på bakgrunn av spørreundersøkelsen, der det kom fram at enkelte entreprenører mente at det var problem med deformasjon/knusing av rør ved tynne lag (0,2m ferdig komprimert). Ved komprimering ble planer (kap. 5.1) fulgt og sjekklister (kap. 5.2) fylt ut for å dokumentere arbeidet.



Figur 24 Grøftevals 1,5 tonn Foto: Enoch By



Figur 23 Rørkontroll med filmkamera. Foto: JMSH

Videre ble grøftene fylt opp og massene komprimert lagvis helt opp til bakkenivå. På hvert lag ble densiteten og vanninnholdet målt med Troxler. Det ble også tatt med prøver for å undersøke vanninnholdet på laboratoriet. Resultatet fra disse prøvene ga eksakt vanninnhold. Verdiene ble videresendt til SVV for å brukes til korreksjon av verdier fra troxlermålingene. De korrigerte resultatene fra målingene ble brukt til å se om komprimeringen tilfredstilte SVVs krav til komprimering av leire.

En tredje grøft, Grøft 3 (figur 16), ble gravd til slutt. Her ble det komprimert med den store anleggsvalsen.

Etter endt feltforsøk ble området ryddet og alt utstyr returnert. Rør og pukke som var brukt i forbindelse med forsøket ble gravd opp og kjørt til anleggets lager. Grøftene ble fylt igjen, område planert og til slutt ble matjorden lagt tilbake. Når området ble forlatt etter forsøkene hadde det samme tilstand som før påbegynt arbeid.



Figur 25 Prøvetaking med troxler. Foto: Enoch By



Figur 26 Prøve for kontroll av vanninnhold. Foto: Enoch By

6.5 Måling av komprimeringsgrad

6.5.1 Valg av målemetode

Under planleggingsprosessen til feltforsøket, ble det i enighet med geotekniker fra SVV bestemt at måleinstrumentet Troxler var det mest egnede for oppgaven. Ved bruk av Troxler kan man enkelt finne både våtdensitet, tørrdensitet og vanninnhold til prøvematerialet i felt. Troxler benytter seg av isotoper til målingen og betegnes som radioaktiv. Det er derfor strenge sikkerhetskrav både til oppbevaring, transport og bruk. Målingene i oppgaven ble utført av SVV, som har kompetanse til å utføre slike målinger.



Figur 27 Troxler i bruk. Foto: Enoch By

Resultatene ble ført inn i en tabell for å holde rede på hva som var utført på de ulike stedene i grøftene. Det er i kap. 6.2.1 vedlagt en skisse (figur 16) over området, hvor plassering av grøfter og profilnummer er gjengitt. Avlesningene ble notert både av kontrollør fra SVV og av studentene på egne skjema. På denne måten ble resultatene sikret og mulighet for feil ble redusert.

6.5.2 Bruk av Troxler

Troxler blir brukt til kontroll av utført komprimering på SVV sine anlegg. Fordelen med dette utstyret er at en måling kun tar cirka 3 minutter og at det er lett håndterlig utstyr. I tillegg får man en pekepinn på resultatet med en gang. For å få det endelige resultatet må det tas prøver av vanninnholdet i massene på laboratoriet og disse brukes til å korrigere resultatene.

Først skal troxleren kalibreres på området for å ta hensyn til bakgrunnsstrålingen som er ulik alt etter hvor du befinner deg. Dette gjøres på en kloss med kjent densitet. På selve prøveområdet benyttes en mal for å få riktig hullplassering for målestanga på troxleren. På bildet ses denne malen som aluminiumsplata med to påsveisede sylindere. Hullene lages ved å slå ned spydet (i forgrunn av malen på figur 27) gjennom disse sylindrerne. Når disse to hullene er klare, fjernes malen og

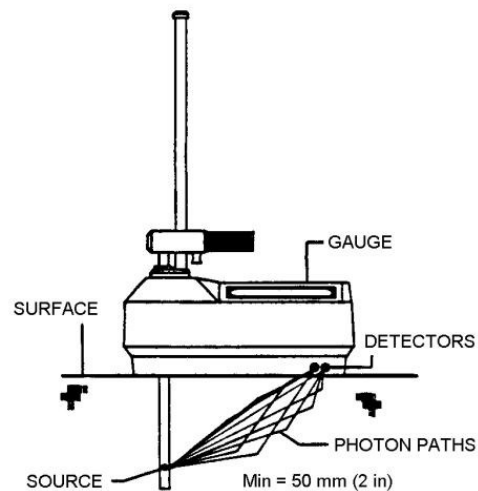


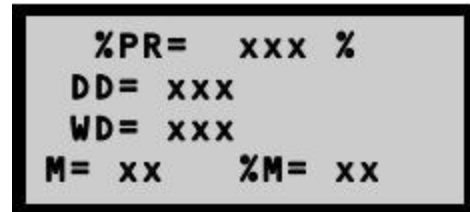
Figure A-1. Direct Transmission Geometry

Figur 28 Prinsippskisse troxler, figur A-1 fra manualen (Troxler Labs, 2006)

troxleren plasseres der hvor malen sto. Videre presses målestanga på troxleren ned til ønsket dybde (20-25 cm). Deretter settes målingen i gang. Målingen tar 60 sekunder. Etter at resultatet er lest av og notert, trekkes målestanga opp og troxleren snues 180 grader. Måling nummer to foregår i det andre hullet, også her i 60 sekunder. Dette gjøres for å få to målinger på hvert punkt som til slutt skal midles.

6.5.3 Om Troxleren

Måleren som ble brukt i forsøket var en Troxler 3440 Surface moisture-density gauge. Den kan måle fuktighetsinnhold, densitet og kompaktering av jordmasser, betong og asfalt. Bruken av denne måleren begrenser seg for vegvesenets del til måling på løsmasser, hovedsakelig leire og sand. Måleren bruker to måleprinsipper. Enten overflatemåling (backscattering, for eksempel på asfalt), eller dybdemåling på løsmasser (direct transmission).



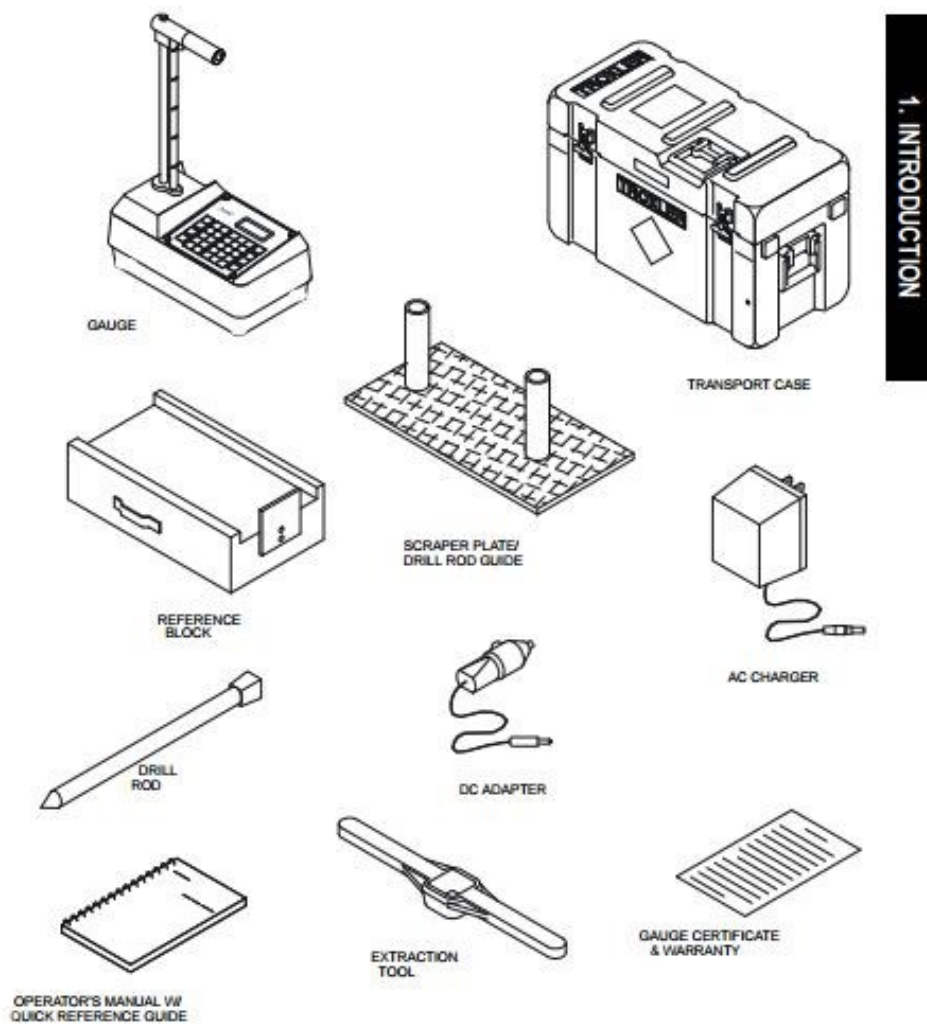
Figur 29 Skjerm bilde fra Troxler, ved måling i løsmasser (Troxler Labs, 2006)

Densitet

Målestangen som inneholder cesium-137 kilden senkes til ønsket dybde, og sender ut gammastråler. Detektorene i målerens base måler denne strålingen. Gammafotonene som når detektorene må passere gjennom jorden på vei til detektorene, og store mengder av fotonene kolliderer med elektroner som finnes i jorden. Disse kollisjonene reduserer antallet fotoner som når detektorene, og gjør det mulig å kalkulere densiteten til materialet. Kort forklart vil et lavere antall fotoner som når detektorene gi en høyere densitet på materialet. Siden alle fotonene som når detektoren har passert gjennom hele distansen med jord, fra kilden til måleren i basen, vil den målte densiteten være et gjennomsnitt for materialet mellom kilden og overflaten.

Vanninnhold

Måling av vanninnhold i materialet gjøres ved bruk av en Americium 241- Beryllium kilde som gir ifra seg 70 000 nøytroner per sekund. Nøytronene brukes for å måle hydrogeninnholdet i materialet, fordi hydrogenet i materialet vil termalisere nøytronene. Termalisasjon er en prosess hvor raske nøytroner sendt fra kilden blir bremsset av kollisjoner til hastigheter hvor flere kollisjoner ikke vil redusere hastigheten ytterligere. Nøytron-termalisasjon krever i gjennomsnitt 19 kollisjoner med hydrogen nucleoidet. Andre grunnstoff krever et større antall kollisjoner for termalisasjon. På grunn av deres høye densitet, er He-3-detektorene i 3440 måleren særlig egnet for påvisning av termaliserte nøytron. He-3-røret reagerer ikke på raske nøytroner, slik at antallet av mottatte nøytroner er direkte proporsjonalt med hydrogen-/vanninnholdet i materialet. (Troxler Labs, 2006)



Figur 30 Utstyr for Troxlerundersøkelser fra manual (Troxler Labs, 2006)

6.5.4 Forklaring til tabellen

Tabell 9 inneholder resultatene fra feltforsøket. Dette er ikke det endelige resultatet, i og med at det målte vanninnholdet skulle kontrolleres med undersøkelser for vanninnhold på laboratoriet. For å beskrive hvor prøven kommer fra viser tabellen profilnummer, hvilken grøft og hvilke dybde i grøften målingen er gjennomført på. Lagnummeret forteller hvilket lag prøven er hentet fra, da grøftene i forsøket ble fylt opp lagvis og komprimering med ulikt utstyr og ulike metoder. Videre er det beskrevet både utlagt og ferdig komprimert lagtykkelse. Utstyret som er benyttet er også nevnt, samt hvor mange sykluser/overfarer komprimeringsarbeidet er gjennomført med. Måleresultater avlest fra troxleren finnes i tabellen som våtdensitet, tørrdensitet og vanninnhold.

Tabell 9 Verdier fra måling med troxler

Resultat fra troxler-prøver, feltforsøk Heimdalsvegen												
Prøve nr.	Prøvepunkt/profilnr. i grøft (i meter)	Lag nr.	Lagtykkelse utlagt	Lagtykkelse ferdig komprimert	Utstyr benyttet	Antall sykkluser/overfarter	Dybde på måling, målt fra topp	Tørrdensitet DD fra Troxler	Våtdensitet WD fra Troxler	Vanninnhold W fra Troxler	Kommentar	Dato
1	2,0	1	0,35	0,2	CVP110	1	0,2	15,39	19,31	25,4		12.03.2015
2	7,5	1	0,35	0,2	CVP110	2	0,2	15,13	18,96	25,3		12.03.2015
3	12,5	1	0,35	0,2	CVP110	3	0,2	15,82	19,74	24,8		12.03.2015
4	17,0	1	0,35	0,2	CVP110	4	0,2	16,73	20,04	19,8		12.03.2015
5	22,0	1	0,35	0,2	CVP110	5	0,2	17,00	20,30	19,4		12.03.2015
6	27,0	1	1,0	0,7	CVP110	1	0,25	15,66	19,37	23,7		12.03.2015
7	33,0	1	1,0	0,7	CVP110	2	0,25	16,53	19,95	20,7		12.03.2015
8	38,0	1	1,0	0,7	CVP110	3	0,25	17,06	20,52	20,3		12.03.2015
9	43,0	1	1,0	0,7	CVP110	4	0,25	16,29	19,79	21,6		12.03.2015
10	47,0	1	1,0	0,7	CVP110	5	0,25	16,17	19,91	22,2		12.03.2015
11	27,0	1	1,0	0,7	CVP110	1	0,6	15,93	19,78	24,3		12.03.2015
12	33,0	1	1,0	0,7	CVP110	2	0,6	16,26	19,79	21,7		12.03.2015
13	38,0	1	1,0	0,7	CVP110	3	0,6	16,04	20,08	25,2		12.03.2015
14	43,0	1	1,0	0,7	CVP110	4	0,6	16,30	20,05	23,0		12.03.2015
15	47,0	1	1,0	0,7	CVP110	5	0,6	15,93	20,29	20,9		12.03.2015
16	13,0	2	0,6	0,35	CVP110	1	0,25	15,74	19,55	24,3		12.03.2015
17	17,0	2	0,6	0,35	CVP110	2	0,25	15,53	19,58	26,1		12.03.2015
18	23,0	2	0,6	0,35	CVP110	3	0,25	15,89	19,83	24,8		12.03.2015
20	2,0	3	1,0	0,7	PP600	1	0,25	16,63	20,02	20,4		16.03.2015
21	7,0	3	1,0	0,7	PP600	2	0,25	17,51	20,31	16,1		16.03.2015
22	13,0	3	1,0	0,7	PP600	3	0,25	16,97	20,43	20,4		16.03.2015
23	18,0	3	1,0	0,7	PP600	4	0,25	16,12	19,77	22,7		16.03.2015
24	22,0	3	1,0	0,7	PP600	5	0,25	16,05	19,93	24,3		16.03.2015
25	2,0	3	1,0	0,7	PP600	1	0,6	15,42	19,07	23,7		16.03.2015
26	7,0	3	1,0	0,7	PP600	2	0,6	15,45	19,53	26,4		16.03.2015
27	13,0	3	1,0	0,7	PP600	3	0,6	15,21	17,91	17,7		16.03.2015
28	18,0	3	1,0	0,7	PP600	4	0,6	16,26	20,11	23,7		16.03.2015
29	22,0	3	1,0	0,7	PP600	5	0,6	15,47	19,38	25,3		16.03.2015
30	22,0	-	-	-	-	-	0,25	15,85	19,55	23,3	Fast bakke	16.03.2015
31	13,0	-	-	-	-	-	0,25	17,61	20,55	16,7	Fast bakke	16.03.2015
32	28,0	2	0,35	0,2	PP600	1	0,25	16,20	19,18	18,5		16.03.2015
33	33,0	2	0,35	0,2	PP600	2	0,25	17,54	20,72	18,2		16.03.2015
34	37,0	2	0,35	0,2	PP600	3	0,25	16,29	19,85	21,9		16.03.2015
35	43,0	2	0,35	0,2	PP600	4	0,25	16,53	19,96	20,8		16.03.2015
36	48,0	2	0,35	0,2	PP600	5	0,25	17,19	20,49	19,3		16.03.2015
40	3,0	4	0,35	0,2	RT82-SC2	4	0,25	16,19	19,86	22,7		17.03.2015
41	7,0	4	0,35	0,2	RT82-SC2	4	0,25	15,81	19,48	23,2		17.03.2015
42	12,0	4	0,35	0,2	RT82-SC2	4	0,25	16,39	19,81	20,9		17.03.2015
43	17,0	4	0,35	0,2	RT82-SC2	4	0,25	15,05	18,93	25,8		17.03.2015
44	23,0	4	0,35	0,2	CVP110	2	0,25	15,51	19,55	26,1		17.03.2015
45	52,0	1	0,35	0,2	CS-433E	4	0,25	15,73	19,55	24,2		17.03.2015
46	57,0	1	0,35	0,2	CS-433E	4	0,25	16,21	20,13	24,2		17.03.2015
47	63,0	1	0,35	0,2	CS-433E	4	0,25	15,73	19,52	24,2		17.03.2015
48	68,0	1	0,35	0,2	CVP110	2	0,25	16,14	20,06	24,3		17.03.2015

7 Resultat

7.1 Resultater fra komprimeringstester feltarbeid

Resultatene fra feltforsøket ble korrigert med hensyn på vanninnhold ved hjelp av laboratorieundersøkelsene. Deretter ble verdiene for våtdensitet og vanninnhold sammenlignet med SVVs krav til komprimering av leire. Dette kravet varierer med vanninnholdet til massene (kap. 2.2.3).

I tabell 10 kommer det frem hva som er gjort og hvordan resultat ble. Tabellen beskriver hvilket utstyr som er benyttet, hvordan komprimeringen er gjennomført og resultatet av arbeidet. Lagnummer forteller hvilket lag det aktuelle forsøket er utført på.

Lagtykkelsen i tabellen beskriver hvor tykt det aktuelle laget er *før* komprimering. Antall overfarter/sykluser forteller hvor mange ganger vibrasjonsplaten er benyttet per areal. Måledybden er dybden som Troxleren måler fra, nærmere beskrevet i kap 6.5.2.

Vanninnholdet i leiren fra laboratoriet brukes til å bestemme kravet til våtdensitet fra figur 5 i kap. 2.2.3. Til slutt i tabellen er målt våtdensitet og kravet til oppnådd våtdensitet gjengitt.

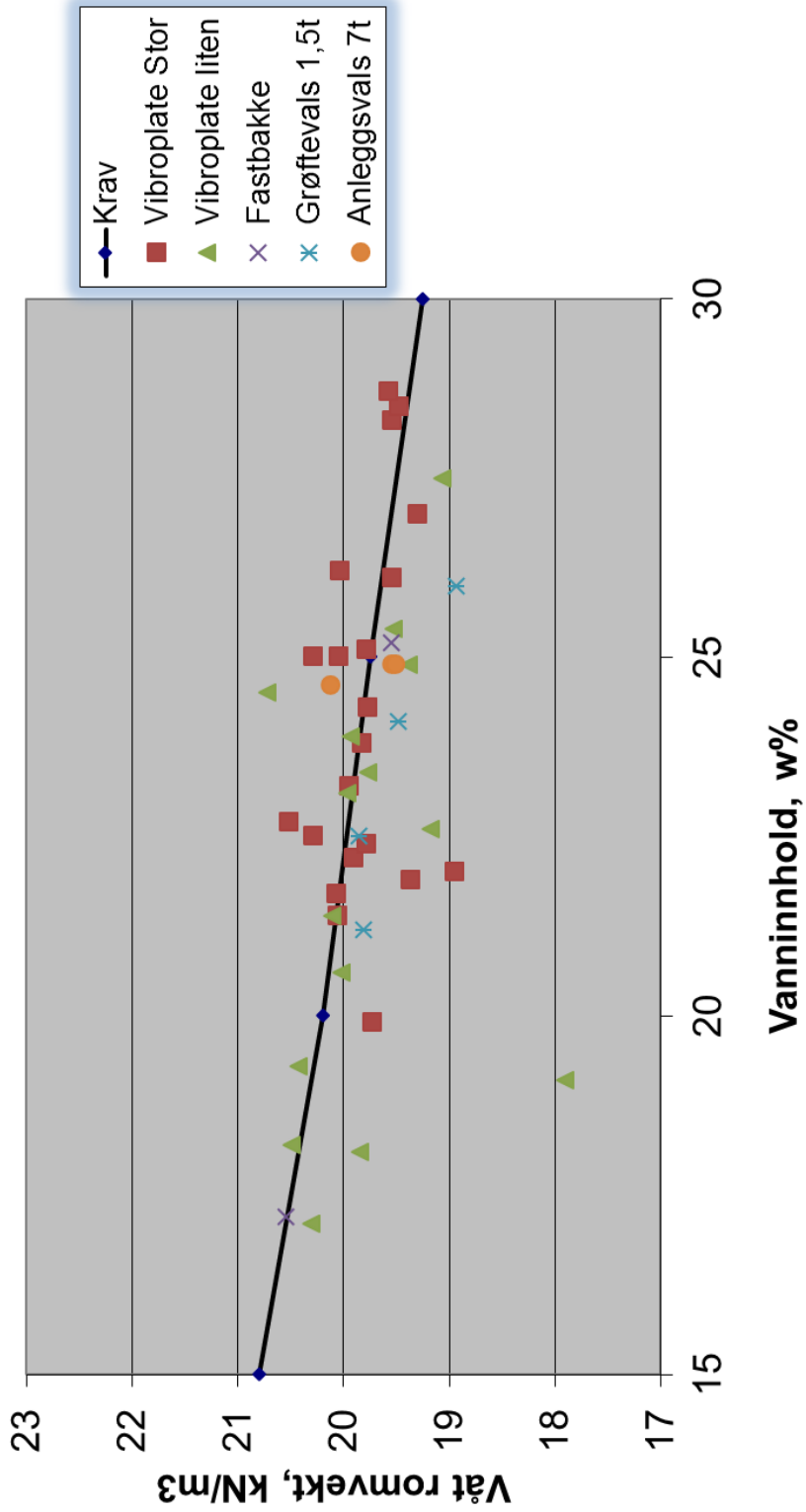
Ut fra tabell 10 ser man at resultatene er nokså jevne og mesteparten av målingene ligger i nærhet av kravet. Det er noen målinger med større avvik, som antas å skyldes avvik i massene på feltområdet.

Resultater er plottet inn i en graf (figur 31), der alle målinger som er utført er samlet. Denne grafen kan brukes til sammenligning av ulikt utstyr, og gir et bilde av komprimeringsresultatene som er oppnådd. Resultatene er plottet med forskjellig farge og form for å skille mellom benyttet utstyr. I samme figur er det også en graf for krav. Denne måten å fremstille resultatet på brukes ved SVVs målinger. Her ser man tydelig hvilke prøver som ligger i nærheten av kravet. Det vil som regel være målinger både over og under kravet. En slik jevn fordeling er ifølge SVV å forvente, da det alltid vil være variasjoner i massene. Et slikt resultat vil dermed betraktes som godkjent komprimering. Det kommer frem av prøvene at jevnt vanninnhold fører til jevn komprimering av materialet.

Tabell 10 Resultat fra feltforsøk

Resultat fra feltforsøk i Heimdalsvegen								
Utstyr	Lag nr.	Lagtykkelse utlagt i meter	Antall overførter	Dybde på måling troxler	Vanninnhold W fra lab	Våt densitet gj.snitt	Krav fra tabell	Kommentar
Vibroplate CAT CVP110 monterert på CAT 329E	1	0,35	1	0,20	28,3	19,31	19,40	Grøft 1
			2	0,20	21,4	18,96	20,30	Grøft 1
			3	0,20	27,0	19,74	19,70	Grøft 1
			4	0,20	22,0	20,04	20,10	Grøft 1
			5	0,20	19,9	20,29	20,30	Grøft 1
Vibroplate CAT CVP110 monterert på CAT 329E	1	1,0	1	0,25	26,2	19,37	19,70	Grøft 2
			2	0,25	22,5	19,95	20,10	Grøft 2
			3	0,25	21,9	20,52	20,20	Grøft 2
			4	0,25	22,7	19,79	20,00	Grøft 2
			5	0,25	23,2	19,91	20,00	Grøft 2
			1	0,70	25,1	19,78	19,80	Grøft 2
			2	0,70	22,2	19,79	20,20	Grøft 2
			3	0,70	24,3	20,08	19,80	Grøft 2
			4	0,70	22,4	20,05	20,10	Grøft 2
			5	0,70	21,7	20,29	20,20	Grøft 2
Vibroplate CAT CVP110 monterert på CAT 329E	2	0,6	1	0,25	25,0	19,48	19,80	Grøft 1
			2	0,25	28,5	19,58	19,40	Grøft 1
			3	0,25	26,1	19,83	19,70	Grøft 1
Vibroplate Engcon PP600 monterert på CAT 316E	2	0,35	1	0,20	22,6	19,18	20,10	Grøft 2
			2	0,20	18,1	20,72	20,50	Grøft 2
			3	0,20	24,5	19,85	19,80	Grøft 2
			4	0,20	23,1	19,96	20,00	Grøft 2
			5	0,20	18,2	20,49	20,50	Grøft 2
Vibroplate Engcon PP600 monterert på CAT 316E	3	1,0	1	0,25	20,6	20,02	20,30	Grøft 1
			2	0,25	17,1	20,31	20,70	Grøft 1
			3	0,25	19,3	20,43	20,40	Grøft 1
			4	0,25	23,4	19,77	19,90	Grøft 1
			5	0,25	23,9	19,93	19,80	Grøft 1
			1	0,70	27,5	19,07	19,60	Grøft 1
			2	0,70	25,4	19,53	19,70	Grøft 1
			3	0,70	19,1	17,9	20,40	Grøft 1
			4	0,70	21,4	20,11	20,20	Grøft 1
			5	0,70	24,9	19,38	19,80	Grøft 1
Grøftevals 1,5t Wacker Neuson Roller RT82-SC2	4	0,35	4	0,25	22,5	19,86	20,00	Grøft 1
				0,25	24,1	19,48	19,90	Grøft 1
				0,25	21,2	19,81	20,30	Grøft 1
				0,25	26,0	18,93	19,70	Grøft 1
Grøftevals 7,0t CAT CS-433E	1	0,35	4	0,25	24,9	19,55	19,80	Grøft 3
				0,25	24,9	20,13	19,80	Grøft 3
				0,25	24,6	19,52	19,70	Grøft 3
Vibroplate CAT CVP110 monterert på CAT 329E	2	0,35	2	0,25	28,7	19,55	19,40	Grøft 1
			2	0,25	23,8	20,06	19,80	Grøft 3
Fastbakke				0,25	17,2	20,55	20,60	13,0m G1
				0,25	25,2	19,55	19,80	22,0m G1

Godkjent romvekt



Figur 31 Resultat fra feltarbeid fremstilt grafisk (SVV)

7.2 Forslag til prosedyre

Hovedmålet med oppgaven var å utarbeide en prosedyre eller veiledning til bruk ved komprimering med vibrerende plate på gravemaskin i grøfter. Dette ble gjennomført ved hjelp av feltforsøk og litteraturstudier.

Det er testet med ulikt antall overfarter og lagtykkelse. Det kan i ettertid sies at det ble kjørt for få tester med enkelte typer utstyr. Tidsbruken per plassering av vibrasjonsplaten ble heller ikke testet ut slik at grunnlaget for prosedyren dermed kunne ha vært bedre. Vurdering av massene er en stor del av komprimeringsjobben, da resultatene i stor grad avhenger av massenes egenskaper.

7.2.1 Om prosedyren

Proseduren som ble utarbeidet gjelder leire som tilfredsstillter SVVs krav til komprimering, nærmere beskrevet i kap. 2.1. Det presiseres også at det gjelder spesifikt for leire med tilsvarende egenskaper som massene brukt i denne oppgaven. Om leira tilfredsstillter kravene må vurderes ved hvert enkelt anlegg. En faktor som også må tas i betraktning er værforholdene under arbeidet. Det er ikke ønskelig med hverken for mye sol eller regn, da dette kan påvirke vanninnholdet i massene. Skal et godt resultat oppnås, må massene håndteres riktig og værforholdene være tilfredsstillende. Erfaringer fra feltforsøket i denne oppgaven viser at egenskapene til leire varierer mye, også innenfor samme område.

7.2.2 Prosedyre

Komprimering av leire i grøft med vibrerende plate på gravemaskin.

Tabell 11 Prosedyre for bruk av vibrerende plate på leire

Underbygnings- material	Konsistens	Komprimerings- utstyr	Pakke- kraft (kN/m^2)	Lag- tykkelse etter kompri- mering (m)	Tid per plass- ering (sek)	Antall overfarer
Leire/siltig leire	Bløt	Vibrasjonsplate på gravemaskin	>100	0,2*	5-10	2-3
	Tørr	Vibrasjonsplate på gravemaskin	>100	0,2*	5-10	2-4

*Lagtykkelsen kan trolig økes noe, da både 0,35m og 0,60m ferdig komprimert ga tilfredsstillende komprimering i flere tilfeller

- Antall overfarer skal vurderes etter massetype, kan optimaliseres ved hjelp av prøver fra området
- Det skal komprimeres med overlapp, der hver overfart overlapper den forrige
- Det skal også være minimum 1/3 overlapp på hver plassering

Tabell 12 og tabell 13 er henholdsvis komprimeringsplan og sjekklister for bruk ved kontroll av arbeid utført med vibrerende plate montert på gravemaskin. Disse må tilpasses hvert enkelt anlegg etter massetyper og behov. Disse er som beskrevet i kap. 5 utarbeidet og brukt i forbindelse med feltforsøket i denne bacheloroppgaven.

7.2.3 Komprimeringsplan (vibrerende plate montert på gravemaskin)

Tabell 12 Prosedyre - komprimeringsplan

Sted	Grøftenr.	Profilnr.	Dato for utarbeidelse			
			Dato for utførelse			
			Plan id.	KP-		
Materialbeskrivelse		Leire				
Lagnummer						
Lagtykkelse (utlagt)		0,35m				
Lagtykkelse (ferdig komprimert)		0,20m				
Komprimeringsutstyr						
Antall sykluser		2-4		Tid per plassering	5-10 sek	
Mønster		1	2	3	4	Kommentar
(Rekkefølge for plassering av vibrasjonsplaten)		8	7	6	5	
		9	10	11	12	
Kontroll og dokumentasjon						
Kontrollmetode		Sjekkliste				
Typedokumentasjon		Eks: Nivellement eller isotopmålinger				

7.2.4 Komprimeringskontroll

Tabell 13 Prosedyre - komprimeringskontroll

Komprimeringskontroll					Funksjon:				
Tiltakshaver:					Side:	1 av 1			
Ansvarlig utførende:					Sist rev.:				
Prosjekt:					Dok.Id:				
Prosjektnr.:					Dato /sign.:				

Kontroll iht.	(NS 3420/Prosesskode/Prosjektdokumenter/Tegninger/Annet)
Kontroll utført som:	

1 Generelle opplysninger

Komprimeringsklasse	
Sted (parsell-nr./strekning/område)	

2 Kontroll av komprimering

Kontroll utført av			
Iht. komprimeringsplan			
Type konstruksjon	Grøft		
Type masser	Leire		
Komprimeringsutstyr	Kategori	Vibrerende plate montert på gravemaskin	
	Fabrikat og type	Vibrerende valse	

3 Kontrollresultater

Målepunkt (profilnr. i grøft)	Lag/ høyde	Kontroll av lagtykkelse (Oppgi i m)				Utført komprimering			Dato	Sign.
		Måling 1	2	3	Gj. snitt	Antall sykluser	Mønster v/bruk av vibroplate (hver rute representerer plasseringen av vibroplaten)	Tid per plassering		

8 Konklusjon

Resultatene fra feltforsøk med tilhørende troxler-målinger (tabell 10) er ikke entydige nok til at det går an å trekke noen klar konklusjon kun ut fra disse. I kombinasjon med litteraturstudier og spørreundersøkelser vil det likevel være mulig å komme med en foreløpig konklusjon og anbefaling for bruk av utstyret.

Massekvalitet er helt sentralt. Det ble oppnådd ulik komprimeringsgrad i ulike deler av grøfta, selv om utførelsen var lik. Dette tyder på at det var store variasjoner i massene, selv om disse tilsynelatende var like og var hentet fra samme jordlag og i umiddelbar nærhet. Ved forsøket ble det lagt stor vekt på sortering av massene, så når det likevel viser seg å være store variasjoner er det en pekepinn på at man må vurdere bruken av leire i vegkonstruksjoner der komprimeringen er kritisk. Et større fokus på sortering av massene er sannsynligvis like viktig som selve utførelsen av komprimeringen. Satt på spissen, vil det å anslå vanninnholdet og kornfordelingen til leiren fortløpende under utgraving være umulig for maskinføreren. Dette bør enten gjøres ved kontinuerlige laboratorietester eller vurdering av geotekniker, og må dermed beskrives i en eventuell kontrakt. Et alternativ kan være at det fra byggherres side beskrives å erstatte leiren med «dårlige» og rimeligere grusmasser.

Når det gjelder benyttet utstyr, er det tydelig at den store vibrasjonsplata (CVP 110) gir bedre komprimering enn både 7 tonns anleggsvals og 1,5 tonns grøftevals. Av det utstyret som er praktisk mulig å benytte i grøfter, er det altså vibrasjonsplata som gir den beste komprimeringa. I motsetning til valsing, vil bruk av vibrasjonsplata og kvaliteten på utført arbeid i stor grad avhenge av maskinføreren. Denne variabelen vil reduseres ved at prosedyren utarbeidet i denne oppgaven følges. Et større fokus på viktigheten av godt og jevnt komprimeringsarbeid er også viktig.

Lagtykkelse er også vesentlig for oppnådd komprimeringsgrad. Ut fra resultatene ser det ut som om en lagtykkelse på 1,0m utlagt, eller 0,6m ferdig komprimert, vil gi en grei komprimering ved bruk av den største plata (CVP 110). For den mindre plata (PP600) må lagtykkelsen være mindre, cirka 0,2-0,3m ferdig komprimert. Det er viktig å presisere at dette gjelder leirtypen benyttet i disse forsøkene. Lagtykkelsen er ikke utprøvd tilstrekkelig i denne oppgaven til å konkludere klart, og det vil derfor være fornuftig og fortsette med lagtykkelse på 0,2m ferdig komprimert eller 0,35m utlagt (Flatvad & Aksnes, s22). Det er ikke gjort ytterligere prøving av lagtykkelsen i denne oppgaven, på grunn av oppgavens omfang og kostnader knyttet til dette.

Hvordan og hvor lenge vibrasjonsplata brukes på hvert punkt er også viktig. Dette har ikke vært hovedfokuset i våre feltforsøk, og det ble i etterkant av spørreundersøkelsen og i samråd med oppdragsgiver bestemt å sette dette fast. Tiden ble satt til 5-10 sekund per punkt, da denne er avhengig av vanninnhold og massenes egenskaper. Det ble også

enighet om at det viktigste med tanke på mønsteret, er at man har et system. Dette skal gjøre det lettere å holde rede på hvor man har komprimert og ikke. Det mest praktiske er et system som tillater minst mulig forflytning og justering på maskin mellom hver gang plata settes ned. Altså er det hensiktsmessig å plassere maskinen slik at det meste av forflytningen skjer ved å svinge bommen. Det er også viktig å komprimere med overlapp, både mellom hvert punkt og hver overfart. Mønsteret som anbefales er nærmere beskrevet i prosedyren.

Utgangspunktet for oppgaven var å lage en optimal prosedyre på komprimering av leire i grøft, og at denne skulle kunne brukes i standarder og ved kontraktskriving. Underveis innså vi at dette var for omfattende både med tanke på ressurser tilgjengelig og størrelsen på oppgaven. Ut i fra resultatene fra feltforsøket og erfaringer fra bransjen har vi utarbeidet et forslag til en prosedyre. Det er viktig å presisere at grunnlaget for konklusjonen begrenser seg til våre feltforsøk, spørreundersøkelsen som ble sendt ut i forbindelse med feltforsøket samt erfaringer fra fagpersonell som har bistått oss.

9 Forskning og utvikling

Leire i grunnen er svært vanlig i store deler av Norge. Denne leiren blir på grunn av økonomiske og praktiske grunner benyttet som stedlig fyllmasse ved igjenfylling av grøfter. Fokus på kvaliteten på massen og utført arbeid er viktig for å få et tilfredsstillende og samtidig dokumenterbart resultat. Anleggsbransjen etterlyser en prosedyre som sikrer dette, i form av prosesskoder eller standarder. Denne oppgaven er en start på dette og et utgangspunkt for videre forskning.

Ut i fra resultater og ny informasjon underveis og i etterkant av feltundersøkelsene, har vi noen anbefalinger for videre arbeid. Vi mener det er gode muligheter for å utvikle dette framover og komme i mål med en standard som bransjen kan benytte. Feltforsøk og laboratorieundersøkelser er helt sentrale også i videre arbeid med temaet. Dette er et ressurskrevende arbeid, med store kostnader knyttet til det å holde gravemaskin operativ. Det vil også være snakk om store mengder laboratorieundersøkelser for å dokumentere leiras egenskaper.

Det området vi ser størst muligheter for videre utvikling på er feltarbeid. Her bør man, i tillegg til å fortsette med vibrasjonsplaten, komprimere ved å belte med gravemaskin, i henhold til tabell for komprimering av leire (Statens vegvesen, 2014, s 98). Bruk av denne komprimeringsmetoden er ikke aktuell i en grøft, men som et sammenligningsgrunnlag for resultatene er det viktig. Da ser man raskt hvilke resultater en godkjent og beskrevet komprimeringsprosedyre gir, og dette sammenlignes så med resultatene fra vibrasjonsplaten. Feltforsøk kan eventuelt gjennomføres med flere ulike maskinførere, i og med at selve utførelsen og bruken av vibrasjonsplaten er vesentlig for resultatet. Har man tilgang på flere ulike prøvelfelt med ulike typer leire, og kanskje andre masser, er dette å anbefale. Ved å benytte samme metoder på for eksempel silt, sand og grus vil man få et bedre bilde av bruk av vibrasjonsplate generelt. I tillegg bør hvert forsøk kjøres så mange ganger som praktisk mulig, slik at resultatene blir mest mulig representable. Dette er viktig på grunn av de mange variablene som finnes i forsøket. En annen ting som ble nedprioritert i vårt tilfelle var tidsbruken av plata på hvert punkt. Denne ble på bakgrunn av spørreundersøkelsen, og samtaler med Erik Waldum (Maskinentreprenørenes Forbund) og John Olav Bolme (BL Entreprenør) satt til 7 sekund, i praksis 5-10 sekund. Dette kan med fordel undersøkes nærmere, da det kan ha betydning for hvor god komprimeringen blir.

I laboratorium bør det i tillegg til forundersøkelser og bestemmelse av vanninnhold i forbindelse med troxler, gjøres flere slemmeanalyser for å finne kornfordeling. Dette er viktig for å dokumentere hvilke masser hvert enkelte forsøk er utført på. Massekvaliteten har trolig mye å si for resultatet, så riktig sortering av oppgravde masser er veldig viktig og bør presiseres.

I tillegg anbefaler vi et bredere litteratursøk gjerne på flere språk. Noe som også bør gjennomføres i denne sammenhengen er å undersøke hvordan dette gjøres i land med lignende grunnforhold, og hvilke prosedyrer og regler man har her.

Flere svar på spørreundersøkelsen, eventuelt mer omfattende enn den som ble gjennomført i denne oppgaven, er også et videre steg. I motsetning til vår, som utelukkende gikk til entreprenører i trondheimsregionen, kan en nasjonal eller internasjonal spørreundersøkelse være et alternativ.

Et tettere samarbeid med Statens vegvesen og Vegdirektoratet vil være fordelaktig ved videre utvikling av oppgaven. En eller helst flere geoteknikere fra enten vegvesenet internt eller fra eksterne konsulentfirma er det optimale. Igjen er dette et spørsmål om tilgjengelige ressurser. Vegdirektoratet er organet som utarbeider vegvesenets håndbøker, så bistand til dette herifra vil være viktig for at resultatet på sikt skal kunne bli en godkjent og dokumentert prosedyre.

Videre arbeid med temaet vil uten tvil bli ressurskrevende og omfattende, med mange involverte aktører. Dette er sannsynligvis ikke noe som private entreprenører vil ta alene, men med initiativ fra Statens vegvesen eller som et spleiselag anser vi dette som gjennomførbart.

10 Forkortelser og forklaringer

Det er i denne oppgaven benyttet en del faguttrykk og forkortelser. Her er forklaring på noen av de vanligste som er benyttet.

- **SVV** – Statens vegvesen, hovedoppdragsgiver for store deler av veg og anleggsbransjen. Vegdirektoratet som også går under vegvesenet, utarbeider håndbøker og prosesskoder som entreprenørene følger.
- **MEF** – Maskin-Entreprenørenes Forbund
- **HB** – Håndbok, betegnelse på vegvesenets veiledende håndbøker.
- **Vibrasjonsplate/vibroplate** – Hydraulisk drevet vibrerende plate for montering på gravemaskin. Brukes til komprimeringsarbeid. Finnes i flere størrelser og utgaver.
- **Planum** – Nivået i en grøft, hvor vegoppbygging starter. En duk skiller gjerne fyllmassene under planum og vegoppbyggingen (pukk) over planum.
- **Fylling** – Utlagte masser som har som hensikt å heve terreng, enten av estetiske eller praktiske grunner. Fyllmasser brukes også i grøfter mellom beskyttelseslag over rør og vegoppbygging.
- **Omrørt prøve** – Jordprøve som er rørt i, enten i felt eller på laboratorium. Brukes for å finne omrørt styrke, som er lavere enn uforstyrret styrke.
- **Uforstyrret prøve** – Jordprøve skåret ut i felt ved hjelp av sylinder, har tilnærmet samme egenskaper som materiale har før prøvetaking.

11 Referanser

Referanser

Aarhaug, O. R., 1984. *Geoteknik og fundamenteringslære 1*. 1. red. Trondheim: NKI-forlaget.

Arbeidstilsynet, 1985. *Graving og avstiving av grøfter, nr.2105*. Trondheim: Direktoratet for arbeidstilsynet.

Caterpillar, 2015. *Plate compactor CAT CVP110*. [Internett]
Available at: http://www.cat.com/en_US/products/new/attachments/compactors/vibratory-plate-compactors/18082185.html
[Funnet 23 Mars 2015].

Christensen, S., 2011. *Leirjord, Store Norske Leksikon*. [Internett]
Available at: <https://snl.no/leirjord>
[Funnet 08. April 2015].

Engcon, 2015. *Plate compactor PP600*. [Internett]
Available at: http://engcon.com/norway/no/engcon-norway/produkter/gravemaskin/redskaper/produkt.html?productName=PP350_PP950
[Funnet 23. Mars 2015].

Flatvad & Aksnes, Intern rapport 284, 2014. *Intern rapport 284*. [Internett]
Available at: http://www.vegvesen.no/attachment/592414/binary/946305?fast_title=Planlegging+og+utf%C3%B8relse+av+komprimering.pdf
[Funnet 14. April 2015].

Håndbok V221, 2014. *Statens Vegvesen*. [Internett]
Available at: http://www.vegvesen.no/attachment/70057/binary/964918?fast_title=H%C3%A5ndbok+V220+Geoteknikk+i+vegbygging+%2818+MB%29.pdf
[Funnet 13. April 2015].

Norsk Standard 8005, 1990. *Kornfordelingsanalyser*. [Internett]
Available at: <http://www.standard.no/nettbutikk/sokeresultater/?search=geoteknisk+pr%C3%B8ving+laboratoriemetoder>
[Funnet 14. April 2015].

Pon Equipment, 2007. *Caterpillar*. [Internett]
Available at: <http://www.b-m.pl/public/files/C248394.pdf>
[Funnet 24. Mars 2015].

Statens Vegvesen Hb N200, 2014. *N200 Vegbygging*. Trondheim: s.n.

Statens Vegvesen, 1981. *Meddelelse 54, High clay road embankments*, Østlid, H.: Statens Vegvesen.

Statens Vegvesen, 2013. *Geoteknikk, Fv. 900 Heimdalsveien*, Region Midt: Berg- og geoteknikkseksjonen.

Statens Vegvesen, 2014. *Arbeidstegning GH904C Heimdalsveien*. Region Midt: Statens Vegvesen/ Aplan Viak.

Statens vegvesen, 2014. *Håndbok R210*. [Internett]

Available at:

[http://www.vegvesen.no/attachment/185231/binary/964098?fast_title=H%C3%A5n dbok+R210+Laboratorieunders%C3%B8kelser+%2813+MB%29.pdf](http://www.vegvesen.no/attachment/185231/binary/964098?fast_title=H%C3%A5n%20dbok+R210+Laboratorieunders%C3%B8kelser+%2813+MB%29.pdf)

[Funnet 20. Mars 2015].

Troxler Labs, 2006. *Manual Troxler Model 3440*. [Internett]

Available at: www.troxlerlabs.com

[Funnet 03. April 2015].

Wacker, 2015. *Wacker Neuson SE*. [Internett]

Available at: <http://www.wackerneuson.no/en/products/pg/trench-rollers/prod/rtsc3/type/technical-data.html>

[Funnet 24. Mars 2015].

Østlid, H. Statens Vegvesen, 1976. *Intern rapport nr. 683*. [Internett]

Available at:

[http://brage.bibsys.no/xmlui/bitstream/handle/11250/190376/intern_rapport_683.p df?sequence=1](http://brage.bibsys.no/xmlui/bitstream/handle/11250/190376/intern_rapport_683.pdf?sequence=1)

[Funnet 08. April 2015].