

Rapport

Geoteknikk
materialelegenskaper
TBA4110

Ellen Davis
Vegard Opsahl
Tarjei Sunde

Geotekniske forsøk

NTNU, Trondheim, 25.11.2005

NTNU
Norges teknisk-
naturvitenskapelige
Universitet

Bygg og miljøteknikk



Forord

Faget TBA 4110 Soil Investigation har som mål å gi innblikk og oversikt over aktuelle geotekniske undersøkelser i laboratorier og felt. I dette prosjektet har vi fått en grunnleggende forståelse for disse prosessene som legges til grunn for å finne mekaniske parametere som kan brukes til geotekniske beregninger. Det har vært svært lærerikt å få delta; fra prøvetakninger til presentasjon av endelige styrkeparametere.

Vi takker Rolf Sandven for å ha vært svært tålmodig og alltid behjelpelig. Forelesninger og kollokviégrupper har vært til stor hjelp under utformingen av prosjektet.

Takker Jan Jønland og Jomar Finseth for hjelp på feltdagen. I tillegg hjalp Jan oss svært mye i laboratoriet. Takker også læringsassistenter for hjelp.

NTNU, Trondheim, 25.11.2005

Ellen E. G. Davis

Vegard L. Opsahl

Tarjei Sunde

Sammendrag

Prosjektet er utført i området sør for Dybdahls vei på Berg i Trondheim. Området er preget av en dyp ravine som skjærer seg fra Moholtplataet ned til Smørblomstveien. Vertikale setninger har blitt observert i området, og det ønskes å kartlegge grunnforholdene. Kommunen ønsker å videreutvikle mer av området til rekreasjonsformål. Noe av ravinen er fylt igjen ved den eksisterende ballplassen.

I første omgang er det gjort geotekniske undersøkelser i området øst for ballplassen. To dreiesonderinger ble utført som in-situ undersøkelser. Det ble tatt opp en kontinuerlig $\phi 54\text{mm}$ prøve til ca 17 m.

En del av prøven, 11-11,8 m, er undersøkt, testet og omtalt i denne rapporten. Ved utpressing viste det seg at prøven klassifiseres som siltig leire. De tydelige siltlagene fører til at resultatene ikke kan brukes ukritisk for resten av prosjektområdet.

Tabell 0.1: Resultat fra rutineundersøkelsen

Densitet, liten ring	ρ	2,07 g/cm ³
Korndensitet	ρ_s	2,75 g/cm ³
Porositet	n	39,8 %
Poretall	e	0,66
Vanninnhold (gjennomsnitt)	w	29,7 %
Metningsgrad	S_r	105 %
Støtflytegrense	w_l	28,5 %
Plastisitetsgrense	w_p	18,2 %
Plastisitetstall	I_p	10,3 %
Flyteindex	I_l	1,1 %
Aktivitet	a_c	0,52
Udrenert skjærstyrke (gjennomsnitt)	s_u	38,1
Saltinnhold	S	3,0 g/l
Leirefraksjonen		20 %

Tabell 0.2: Resultat fra ødometer- og treaksforsøk

	Parameter	Ødometer	Treaks
Overkonsolideringsspenning	σ_c'	460	
Deformasjonsmodul	M_{oc}	9000 kPa	
Overkonsolideringskoeffisient	$c_{v,OC}$	46 m ² /år	
Normalkonsolideringskoeffisient	$c_{v,NC}$	21,5 m ² /år	
Udrenert skjærstyrke, 11,30 m	s_u		58 kPa
Udrenert skjærstyrke, 11,40 m	s_u		80 kPa
Attraksjon, 11,30 m	a		48 kPa
Friksjon 11,30 m	$\tan \phi$		0,40
Attraksjon, 11,40 m	a		27 kPa
Friksjon, 11,40 m	$\tan \phi$		0,58

Det er kartlagt kvikkleire i den lavere delen av Berg Studentby (vest for prosjektområdet), rapportresultatene tilsier altså at grunnforholdene er bedre enn forventet; den siltige leiren er fast i følge drenerte styrkeparametre fra treaksialtest. I henhold til udrenerte styrkeparametre fra rutineundersøkelser har leiren middels høy styrke, middels gradert kornfordeling, lav-middels plastisitet og sensitivitet. Det er foreslått to nye prøvetakinger lengre opp mot Moholt og noen CPTU-sonderinger for å få en fullstendig oversikt over området. Dessuten er det foreslått å sette ned to piezometer for å overvåke grunnvannsvorholdene i forhold til setninger.

Innhold

FORORD	2
SAMMENDRAG.....	3
INNHold	4
DEFINISJON AV SYMBOLER.....	6
INNLEDNING.....	8
1 VURDERING AV GRUNNLAGSMATERIALE OG PROBLEMSTILLING	9
2 BESKRIVELSE AV PRØVINGSMETODER.....	10
2.1 DREIESONDERING	10
2.2 PRØVETAKING	11
2.2.1 Visuell undersøkelse.....	11
2.2.2 Rutinedata	12
2.2.2.1 Densitet	12
2.2.2.2 Vanninnhold og konsistensgrenser	12
2.2.2.3 Bestemmelse av udrenert skjærstyrke.....	13
2.2.2.4 Korndensitet, porettall og metningsgrad.....	13
2.2.2.5 Kornfordelingsanalyse.....	13
2.2.2.6 Saltinnhold	14
2.3 ØDOMETERFORSØK.....	14
2.3.1 Introduksjon	14
2.3.2 Utstyr.....	14
2.3.3 Fremgangsmåte.....	15
2.4 TREAKSIALFORSØK.....	15
2.4.1 Introduksjon	15
2.4.2 Utstyr.....	16
2.4.3 Fremgangsmåte.....	16
3 RESULTAT FRA PRØVENE	18
3.1 DREIESONDERING	18
3.2 PRØVETAKING	18
3.2.1 Rutinedata	18
3.2.1.1 Densitet	18
3.2.1.2 Vanninnhold og konsistensgrenser	19
3.2.1.3 Bestemmelse av udrenert skjærstyrke.....	19
3.2.1.4 Korndensitet, porettall og metningsgrad.....	19
3.2.1.5 Kornfordelingsanalyse.....	19
3.2.1.6 Saltinnhold	20
3.3 ØDOMETERFORSØK.....	20
3.3.1 Indeksforøk	20
3.3.2 Konsolideringskoeffisient.....	21
3.3.3 Spennings-tøyning.....	21
3.3.4 Deformasjonsmodul	22
3.3.5 Tidsmotstand og tidsmotstandstall	22
3.3.6 Avlastningsmodul	23
3.3.7 Overkonsolideringsspenning.....	23
3.4 TREAKSIALFORSØK.....	25
3.4.1 Volumendring i konsolideringsfasen.....	25
3.4.2 Spenningssti og friksjon	25
3.4.3 Bruddtøyning.....	27
3.4.4 Mobiliseringsgrad	27
4 DISKUSJON	28
4.1 DREIESONDERING	28
4.2 PRØVETAKING	28
4.2.1 Visuell undersøkelse.....	28
4.2.2 Rutinedata	28

4.2.2.1	Densitet	28
4.2.2.2	Vanninnhold og konsistensgrenser	29
4.2.2.3	Bestemmelse av udrenert skjærstyrke, s_u	29
4.2.2.4	Korndensitet, porettall og metningsgrad.....	30
4.2.2.5	Kornfordelingsanalyse.....	30
4.2.2.6	Saltinnhold	30
4.3	ØDOMETERFORSØK.....	30
4.3.1	Indekstest.....	30
4.3.2	Konsolideringskoeffisient	31
4.3.3	Spenning-tøyning.....	31
4.3.4	Deformasjonsmodul	31
4.3.5	Tidsmotstand og tidsmotstandstall	31
4.3.6	Avlastningsmodul	31
4.3.7	Overkonsolideringsspenning	32
4.3.8	Feilkilder	32
4.4	TREKSIALLFORSØK	32
4.4.1	Volumendring i konsolideringsfasen	32
4.4.2	Spenningssti og friksjon	33
4.4.3	Bruddtøyning.....	34
4.4.4	Mobiliseringsgrad	35
4.4.5	Feilkilder	35
5	SUPPLERENDE UNDERSØKELSER	35
6	KONKLUSJON	36
7	FIGURLISTE	37
8	TABELLISTE.....	37
9	KILDER:.....	38
10	VEDLEGG.....	39

Definisjon av symboler

Symbol	Forklaring	Enhet
m	Masse av hele prøven	[kg]
m_w	Masse av vann	[kg]
m_s	Masse av tørr prøve (fast stoff)	[kg]
V	Totalt volum	[m ³]
V_g	Volum av luft og gasser	[m ³]
V_w	Volum av vann	[m ³]
V_s	Volum av fast stoff	[m ³]
V_p	Volum av porer (luft- og/eller vannfylte)	[m ³]
ρ	Densitet (fast stoff og vann)	[g/cm ³]
$\bar{\rho}$	Midlere densitet	[g/cm ³]
ρ_d	Tørredensitet	[g/cm ³]
ρ_s	Korndensiteten (gjennomsnittsdensitet av fast stoff)	[g/cm ³]
γ	Tyngdetetthet	[kN/m ³]
γ_w	Tyngdetetthet for vann	[kN/m ³]
γ_s	Tyngdetetthet for fast stoff	[kN/m ³]
g	Tyngdeakselerasjonen	[m/s ²]
w	Vanninnhold	[%]
w_l	Støtflytgrense	[%]
w_p	Plastisitetsgrense	[%]
I_p	Plastisitet ($w_l - w_p$)	[%]
e	Poretall	[-]
n	Porøsitet	[%]
s_u	Udrenert skjærstyrke	[kPa]
s_r	Udrenert skjærstyrke, omrørt	[kPa]
S_r	Metningsgrad	[- / %]
S_t	Sensitivitet	[-]
C_u	Graderingstallet	[-]
k	Permeabilitetskoeffisient	[m/år]
m	Modultall (avhenger av jordart og spenningstilstand)	[-]
σ	Spenning	[kPa]
u	Poretrykket	[kPa]

σ_a	Atmosfæretrykket (1 atm = 100 kPa)	[kPa]
σ_r	Referansespenning	[kPa]
σ_m	Midlere spenning	[kPa]
σ_c	Forkonsolideringsspenning	[kPa]
σ_d	$(\sigma_1' - \sigma_3')$	[kPa]
M	Ødometermodul ved aktuelt spenningsnivå	[kPa]
M_s	Avlastingsmodul	[kPa]
c_v	Konsolideringskoeffisient	$[m^2/\text{år}]$ $[cm^2/\text{min}]$
ε	Tøyning	[%]
ε_r	Resttøyning	[%]
ε_p	Primærtøyning - endelig tøyning (etter avsluttet konsolidering)	[%]
ε_s	Kryptøyning	[%]
α	Kurvetilpasningsparameter	[-]
δ	Deformasjon	[mm]
δ_p	Deformasjon (etter avsluttet konsolidering)	[mm]
H_0	Initiell prøvehøyde	[mm]
t	Tid	[min]
t_m	Midlere tid	[min]
T	Tidsfaktor	[-]
T_p	Tidsfaktor ved 100 % konsolidering	[-]
U_p	Konsolideringsgrad	[-]
H	Drensveg (maks avstand til drenerende flate)	[mm]
R	Tidsmotstand	[s]
r_s	Tidsmotstandstall	[s]
A_0	Utgangsareal	$[cm^2]$
A_a	Areal etter konsolidering	$[cm^2]$
τ	Skjærspenningen	[kPa]
$\tan \rho$	Mobilisert friksjon	[-]
$\tan \phi$	Maksimal friksjon	[-]
f	Mobiliseringsgrad	[-]
A, B og D	Poretrykksparmetre (D = dilitansen)	[-]

Innledning

Området som skal undersøkes ligger i bydelen Berg i Trondheim, øst for Lerkendal stadion. Det begrenses av Dybdahls vei på nordsiden, Jonsvannsveien i øst, Smørblomstveien og Karseveien i sør og Torbjørn Bratts vei i vest, se kart (Vedlegg 2).

Ved satelittmålinger som NGU har gjort, er det observert vertikale setninger i dette området. Dette ønskes kartlagt. I tillegg vurderes det å legge en volleyballbane like nordøst for grusfotballbanen. Dette vil i tilfelle innebære utgraving av den bratte skråningen, og det må vurderes om dette vil føre til stabilitetsproblemer for bebyggelsen som ligger over. Det planlegges også å instrumentere skråningens oppførsel over tid med måling av poretrykksutvikling og langtidsdeformasjoner.

Området har en bratt ravine som starter omtrent oppe ved Moholt Studentby. Ved fotballbanen er det flatt, men skråningene rundt den er bratte.

Rapporten er tiltenkt lesere med alminnelig kunnskap innen geoteknikk.

1 Vurdering av grunnlagsmateriale og problemstilling

Før selve feltundersøkelsene begynte, har mulige problemstillinger blitt kartlagt ved hjelp av tidligere undersøkelser, topografisk kart og kvartærgeologiske kart.

Topografisk kart viser at området er preget av den dype og bratte ravinen midt i området. Dersom det er ustabile grunnforhold, så er skråningen i denne mer enn bratt nok til at det er fare for utrasning (Vedlegg 2).

Kvartærgeologisk kart viser at det har gått flere ras i området. Det er mulig at området er del av ei gammel rasgrop, eller eventuelt på kanten av denne, da skredkant fra tidligere rasgrop ligger noe øst for Lerkendal. Kartet tilsier at det kan være fare for kvikkleireskred i området, fordi det har skjedd før. Det er kartlagt kvikkleire så langt opp som Gløshaugen og jernbanetunnelen ved Lerkendal studentby, men det er ennå usikkert om vårt område ved Dybdahls vei er et kvikkleireområde (Vedlegg 1).

Tidligere undersøkelser har man fra da Dybdahls vei ble bygget. Da ble det tatt totalsondering, dreiesondering (Vedlegg 3) og prøvetakinger fra fotballbanen opp til lyskrysset med Jonsvannsveien. I alle boringene ble det observert et leirelag på omtrent 1-2m dyp. Etter dette ser styrken ut til å øke. Men det er grunne boringer (5-10m) og man vet derfor ikke om det finnes svakere lag med leire på større dyp. Det er også et spørsmål om de grunne leirlagen kan gi overflateglidninger.

Skadekonsekvensen i forhold til prosjektklassifisering er meget alvorlig fordi mange boliger blir berørt ved eventuelle ras, setninger og lignende i området. Med hensyn til prosjektering og undersøkelser har man en lav vanskelighetsgrad fordi området er lett tilgjengelig. I henhold til geoteknisk prosjektklassifisering, NS 3480, ligger området i prosjektklasse 2. Prosjektet krever middels innsats og omfang med hensyn til fremskaffing av grunnlagsdata, prosjektering (inklusive forundersøkelser) og kontroll (Kilde 14).

Hovedproblemstilling:

Hvordan er grunnforholdene i prosjektområdet?

- Styrkeparametrene
- Materialbetegnelse

Andre problemstillinger og fra introduksjonsfasen:

- Kan endringer i grunnvannsstanden påvirke setninger?
- Kan endringene som har skjedd i dette området pga utbygging være årsaken til de vertikale setningene observert?
- Hvor dypt er det til fjell? Har man noen faste holdepunkt? Fins det fjell i dagen?
- Er det nødvendig med supplerende undersøkelser?

2 Beskrivelse av prøvingsmetoder

De feltundersøkelsene som skulle utføres var CPTU, vingebor, dreiesondering og prøvetaking. Første feltdag (27.09.2005) ble det utført augerboring på østkanten av fotballbanen. Her forventet man å komme ned til leire etter noen meter overmasse og tørrskorpe. Etter 4,5 m boring hadde man fremdeles ikke funnet leire, kun fyllmasser. Det viste seg (etter en prat med lokalbefolkningen) at hele området der fotballbanen ligger har vært del av ravinen, og ble kunstig utjevnet og fylt i med fyllmasser flere år tilbake da banen ble bygd.

Dette medførte at planen for feltundersøkelsene måtte endres. Det var ikke mulig å ta vingebor eller CPTU pga at det var for hardt. Feltutstyret måtte flyttes mot østdelen av fotballbanen, inn i skogen og kun dreiesondering og prøvetaking ble utført.

Feltundersøkelsen ble utført på østsiden av Dybdahl's veg.

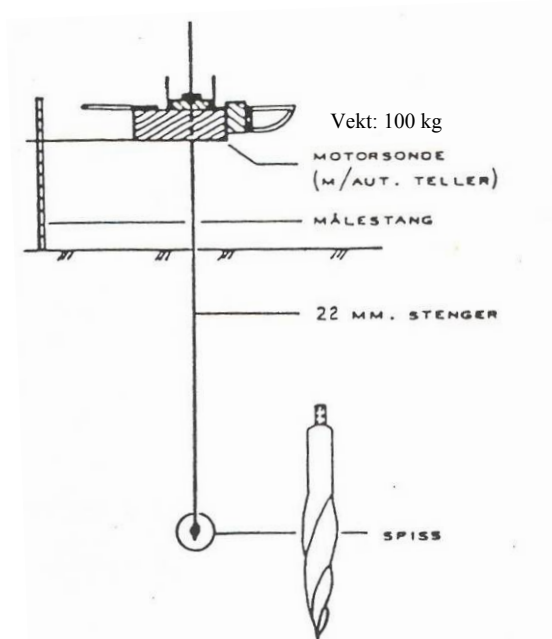
2.1 Dreiesondering

Sted: Berg, øst for ballplassen, langs Dybdahl's veg.

Tid: 28.09.2005

To dreiesonderinger ble utført av NTNUs Geoteknikklaboratoriet sin dreiebormaskin. Denne består av en rigg med vekt på 100 kg og en rotasjonsmaskin drevet av en dieselmotor. $\varnothing 22$ mm stenger med en spiss på $\varnothing 32$ mm ble boret ned i grunnen, og antall halvomdreinger pr 20 cm synk ble manuelt registrert.

Første boringen, boring 1, ble foretatt et lite stykke opp langs gangstien fra fotballbanen, den andre boringen, boring 2, ble foretatt på østenden av fotballbanen ved foten av skråningen.



Figur 2.1: Prinsipp tegning, dreiesondering

Ved hjelp av Tabell 2.1 ser man lettere hvordan stivheten av lagene slår ut på dreiesonderingsboret.

Tabell 2.1: Sonderingsmotstand (Kilde 6)

Sonderingsmotstand	Vertikal last, kN	Synk i m pr. 25 ½-ondrenginger	Antall halve omdreininger pr. m
Meget liten	≤ 1		0
Liten	1	$> 0,7$	< 35
Middels	1	0,2 – 0,7	35 – 125
Stor	1	0,1 – 0,2	125 – 250
Meget stor	1	$< 0,1$	> 250

2.2 Prøvetaking

Sted: I prosjektområdet, ved ballplassen langs Dybdahl's veg.

Tid: 28.09.2005

Dybde: 11- 11,80 m

Det ble tatt en prøvetaking med en standard NGI $\phi 54$ mm stempelprøvetaker, 88 cm lang. Riggen til Geoteknikklaboratoriet ble brukt. Prøvetakeren ble klargjort på forskriftsmessig måte og montert på riggen. Prøveutskjæringen foregikk med jevn fart og overskred ikke anbefalingen om ca 30 sek på 80 cm. Prøvetakeren ble stående nede i 5-10 minutt før den ble trekt sakte opp. De første 2 cm brukte man ca 3 min på å dra opp, slik at hele prøven skulle bli med. Så økte farten litt den øvrige utdragingen. Prøven ble forseglet og merket til senere undersøkelse.

For å beholde kvaliteten på prøven må det unngås rystelser og vibrasjoner under transport til laboratoriet. I verste fall kan rystelser føre til struktukkollaps og destruksjon av prøvestrukturen. I laboratoriet bør prøven lagres vertikalt, helst ved en jevn temperatur på rundt 5 grader og høy luftfuktighet (Kilde 15).

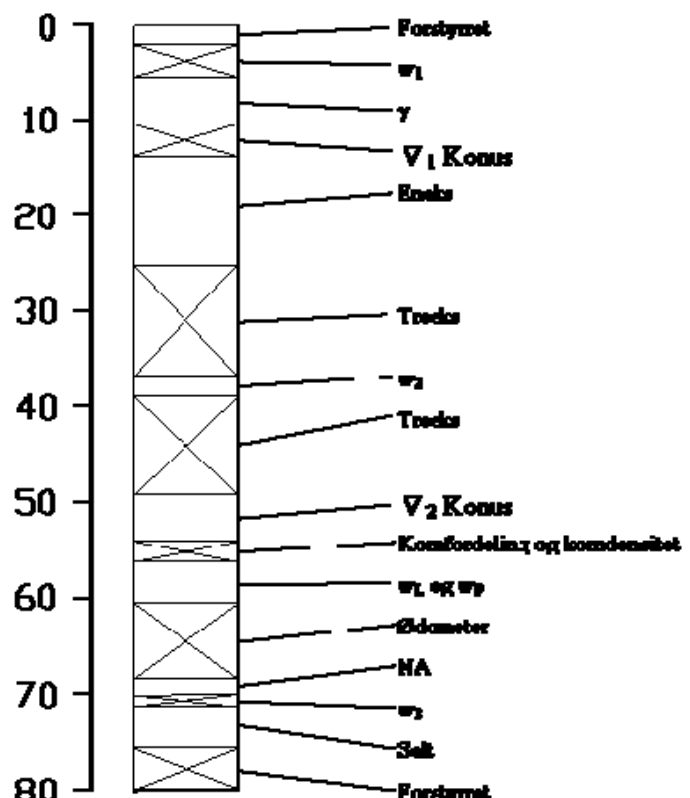
2.2.1 Visuell undersøkelse

Sted: Geoteknikk laboratoriet i

Lerkendalsbygget.

Tid: 06.10.2005

Visuell undersøkelse av prøvesylinder fra feltundersøkelse: 80 cm lang prøve, $\phi 54$ mm, fra 11 til 11,8 meters dyp. Prøven er trolig en marint avsatt leire. Den ser uforstyrret ut, men har mangler i begge endene, spesielt de nedre 5 cm, der det var fylt opp med annet materiale for å forhindre at prøven flyttet seg i røret. En ser tydelig lagdelinger i prøven, og rundt 55 cm er det noe uregelmessigheter, trolig med høyt silt og/eller sandinnhold. Ved utpressingen



Figur 2.2: Prøvetaking

blir det skavet løs en liten rift langs hele prøven pga deformasjon i ett monteringshull i prøvesylindren. Skaden er ikke så stor at den skal ha innvirkning på noen av testene. Neste skritt blir å dele prøven i biter til videre testing. Se figur. Dette er en standard måte å dele opp på, men i områdene rundt 55 cm må store deler forkastes pga mye lagdeling

2.2.2 Rutinedata

Sted: Geoteknikk laboratoriet i Lerkendalsbygget
Tid: 06.10.2005

Metodene er beskrevet i henhold til Kilde 1.

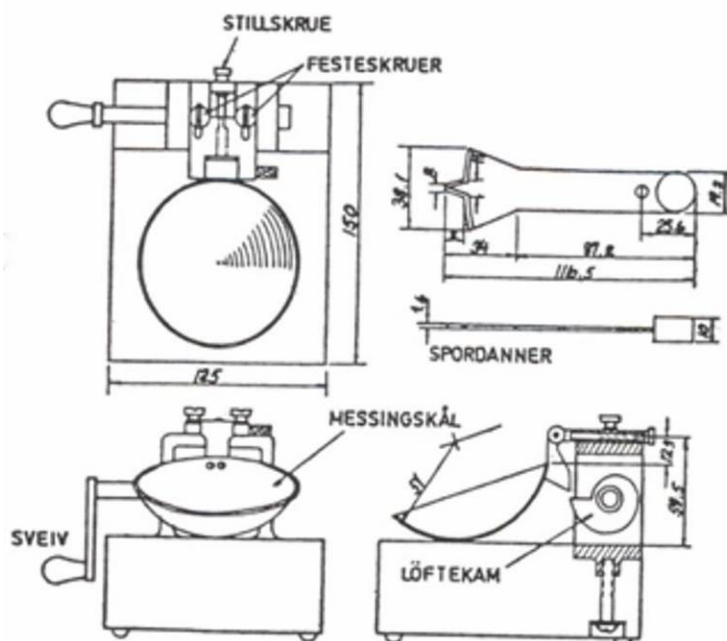
2.2.2.1 Densitet

Første parameter er bestemmelse av midlere densitet. Hele prøven (før oppdeling) veies før densiteten regnes ut. En mer nøyaktig måling blir gjort for en mindre bit, "liten ring" i henhold til NS 8011 (Kilde 9).

2.2.2.2 Vanninnhold og konsistensgrenser

Tre steder blir vanninnholdet bestemt, i henhold til NS 8013 (Kilde 11). I toppen, midten og i bunnen (ikke forstyrret område). Prøvene blir tatt ut i nærheten av viktige deler som skal brukes i for eksempel treaks og ødometer.

Ved å bruke Casagrandes flytegrenseapparat (Figur 2.3) bestemmes støtflytegrensen, w_L [%]. Fuktig omrørt materiale strykes ut i skålen og det lages et spor med en spordanner. Skålen løftes og slippes ned ved hjelp av en sveiv. Målet er at 25 slag skal gi tilfredsstillende sammenflytning av de to halvdelene i en lengde på 12,5 mm. Fuktinnholdet måles når målet er oppnådd. Prøven fuktes eller tørkes og strykes ut på ny for å få dette til.



Figur 2.3: Casagrande's flytegrenseapparat

Plastisitetsgrensen, w_p [%], bestemmes etter standardiserte metoder gitt i NS 8000 (Kilde 7). Materialet rulles ut med flat hånd på en glassplate til en tråd med jevn diameter. Når diameteren er på 3,2 mm, pakkes materialet sammen til en ball og utrullingene gjennomføres på nytt. Dette tørker ut prøven, og når prøven smuldrer (med diameter på 3,2 mm) måles vanninnholdet.

2.2.2.3 Bestemmelse av udrenert skjærstyrke

Konusforsøk går ut på å slippe en konus med standardiserte utforming og vekt ned i prøven (uforstyrret og omrørt), etter NS 8015 (Kilde 12). Den uforstyrrede prøven rigges opp i apparatet, og en konus som passer til materialet (spissutforming og vekt) velges og henges opp med spissen pekende ned. Apparatet justeres slik at konusspissen tangerer leireoverflata. Konusen henger ved hjelp av en magnet. Denne løses ut og inntegningen leses av. Dette gjentas tre ganger. Gjennomsnitt av inntegningsdybden og hvilken konus som er brukt gir skjærstyrken ved bruk av erfaringsdata. Materialet blir så omrørt og jevnes ut i en skål. Samme test blir gjennomført på den omrørte prøven. Det er meget viktig at overflaten av prøvene er helt flate og frie for uregelmessigheter.

Enaksielt trykkforsøk

En uforstyrret sylindrisk prøve med høyde 10 cm og helt rette endeflater plasseres i et trykkapparat etter forsøksprosedyrer gitt i NS 8016 (Kilde 13). Prøven belastes hurtig (slik at den ikke dreneres) til det oppstår brudd. Siden prøven ikke blir påført sidespenning er $\sigma_3 = 0$. Forholdet mellom aksial kraft og prøveareal gir σ_1 for forskjellige tøyninger. Trykkapparatet beveger det ene trykkhodet med konstant hastighet til det oppnås brudd.

2.2.2.4 Korndensitet, porettall og metningsgrad

Korndensiteten bestemmes ved hjelp av en pyknometerundersøkelse etter NS 8012 (Kilde 10). Dette er en glasskolbe med kjent vekt og volum. Pyknometeret fylles med oppløst prøvemateriale og destillert vann. Vakuum fjerner all luften i prøven. Prøven veies og blir tørket ut for å finne tørrvekten av materialet. Fra dette har man nok informasjon til å finne korndensiteten, porettallet og metningsgraden ved å bruke resultatene fra pyknometer undersøkelsen og densitet av liten prøve.

2.2.2.5 Kornfordelingsanalyse

For finstoffholdige materialer med mer enn 5 % siltfraksjon skal prøven først våtsiktes. Dette ble ikke gjennomført i laboratoriet for denne prøven pga at det var for tidskrevende. Derfor ble det antatt at prøven ikke inneholdt noe fraksjon grovere enn silt, og man brukte hydrometeranalyse direkte. Bortsett fra denne unnlatelsen, ble metoden i NS 8005 (Kilde 8) fulgt.

Fra prøven som var satt av til kornfordelingsanalyse ble 50 g lagt i tørkeskap for å finne vekt av tørket materiale, og 50 g ble blandet ut i 1 l destillert vann med 1 g dispergeringsmiddel tilsatt. Prøven ble blandet ut i vannet til en homogen blanding som ble satt i et vannbad med temperatur 20,6 °C. I vannbadet var det også en kolbe med rent, destillert vann som ble brukt til å ha det kalibrerte hydrometeret stående i (ingen suspensjon).

Ved bestemte tidsintervaller ble suspensjonen og temperaturen i prøven målt, og disse gir et mål for hvor stor del av kornene som har en bestemt størrelse på det bestemte tidspunktet.

Dette kan man bestemme fordi man vet hvilken hastighet kornene synker med, som funksjon av kornstørrelsen.

Ved utfylling av resultater og utregning av ekvivalent korndiameter og relativ vektmengde for hvert tidssteg, brukes en standard tabell (Vedlegg 5). Korndensiteten, ρ_s , fra pyknometerundersøkelsen, ble også brukt i utregningen, samt flere korrelasjonstabeller.

2.2.2.6 Saltinnhold

En del av prøven dreneres for porevann. Porevannet inneholder en mengde saltioner som er avhengig av saltinnholdet i leiren. Ledningsevnen til porevannet gir, ved hjelp av kalibrering mot kjente saltkonsentrasjoner, saltinnholdet i leiren.

2.3 Ødometerforsøk

Sted: Geoteknikk laboratoriet i Lerkendalsbygget

Tid: 20.10.2005.

Dybde: Ca. 11,65 meter

Metodene er beskrevet i henhold til Kilde 4.

2.3.1 Introduksjon

Målet for ødometerforsøk er å:

- Forstå årsaker til og mekanismer ved deformasjon av jord
- Kjenne utstyr og forsøksprosedyrer for bestemmelse av deformasjons- og konsolideringsparametre
- Kjenne systematisering av deformasjonsforløp i ulike jordarter
- Kunne kritisk vurdere forsøksresultater og forhold som påvirker kvalitet av resultatene

Ødometerforsøket har gjeldende forutsetninger:

- Endimensjonal deformasjonstilstand (vertikal)
- Endimensjonal vannstrømning (vertikal, enveis eller toveis)
- Fullstendig mettet jordprøve
- Inkompressibel vann- og faststoff-fase

2.3.2 Utstyr

- Tilskjæringsrigg
- Tråsag
- Ødometerrigg
- Ødometerskål
- Last/lodd
- Deformasjonsmåler
- Prøvevugge
- Vekt
- Ødometerring
- 2 porøse filter



Figur 2.4: Ødometerrigg med ødometerskål

2.3.3 Fremgangsmåte

Det skjæres ut en prøve med areal på 20 cm^2 ($\phi = 50,4 \text{ mm}$) og en høyde på 20 mm fra prøvedelen som er tatt ut til ødometerforsøket (se Figur 2.4). Dette gjøres ved bruk av en ødometerring. Deretter måles massen av prøven. Etter at det legges porøse filter på over- og undersiden, plasseres prøven i en ødometerskål fylt med vann som så settes på plass i ødometerriggen. Forsøket starter da etter at alle målere har blitt nullstilt.

Belastningene utføres ved å laste på vekter gjennom flere lasttrinn. Dette gjøres med en trinntid på 20 min . Avlasting skjer med trinntid på 5 min . Det ble utført fullstendig avlastning, noe som er valgfritt i standarden.

Vekten legges på med følgende lastsekvenser:

$0,25 - 0,5 - 1,0 - 2,0 - 4,0 - 8,0 - 14,0 - 24,0 - 8,0 - 2,0 - 0,5 - 0,01 (\approx 0) [\text{kg}]$

Etter testen brukes en stålprøve med tilsvarende størrelse som prøven for å finne egendeforformasjoner som forårsakes av forsøksutstyret. Resultatene korrigeres for denne egendeforformasjonen.

For registreringer benyttes EDB-basert registrering av måleresultater ved hjelp av PC-programmet TRINN/OEDOPAC. Dette gir da grunnlag for behandling av resultatene under og etter forsøket.

Resultatet av ødometertesten presenteres ved:

- Rota av tid – vertikaldeformasjon [$\sqrt{t} - \delta$]
- Midlere spenning – konsolideringskoeffisient [$\sigma'_m - c_v$]
- Spenning – tøynings [$\sigma' - \epsilon$]
- Midlere spenning – deformasjonsmodul [$\sigma'_m - M$]
- Midlere tid – tidsmotstand [$t_m - R$]
- Spenning – tidsmotstandstall [$\sigma' - r_s$]

Ut fra disse grafene fås følgende parametre:

- Konsolideringskoeffisient c_v , modulfunksjon M (modultall m), tidsmotstandstall r_s , prekonsolideringsspenning σ'_c , avlastingsmodul M_s .

Det ble bare utført et ødometerforsøk, noe som gjør det vanskelig å sammenligne resultatene som oppnås. Allikevel er det mulig å sammenligne med Magnus Rømoen (Kilde 16) kontinuerlige CRS-forsøk som ble gjort fra samme prøvetakingen.

2.4 Treksialforsøk

Sted: Geoteknikk laboratoriet i Lerkendalsbygget

Tid: 03.11.2005.

Dybde: Prøve 1: Ca. $11,30 \text{ meter}$, prøve 2: Ca. $11,40 \text{ meter}$

2.4.1 Introduksjon

Målet for treksialforsøket er å:

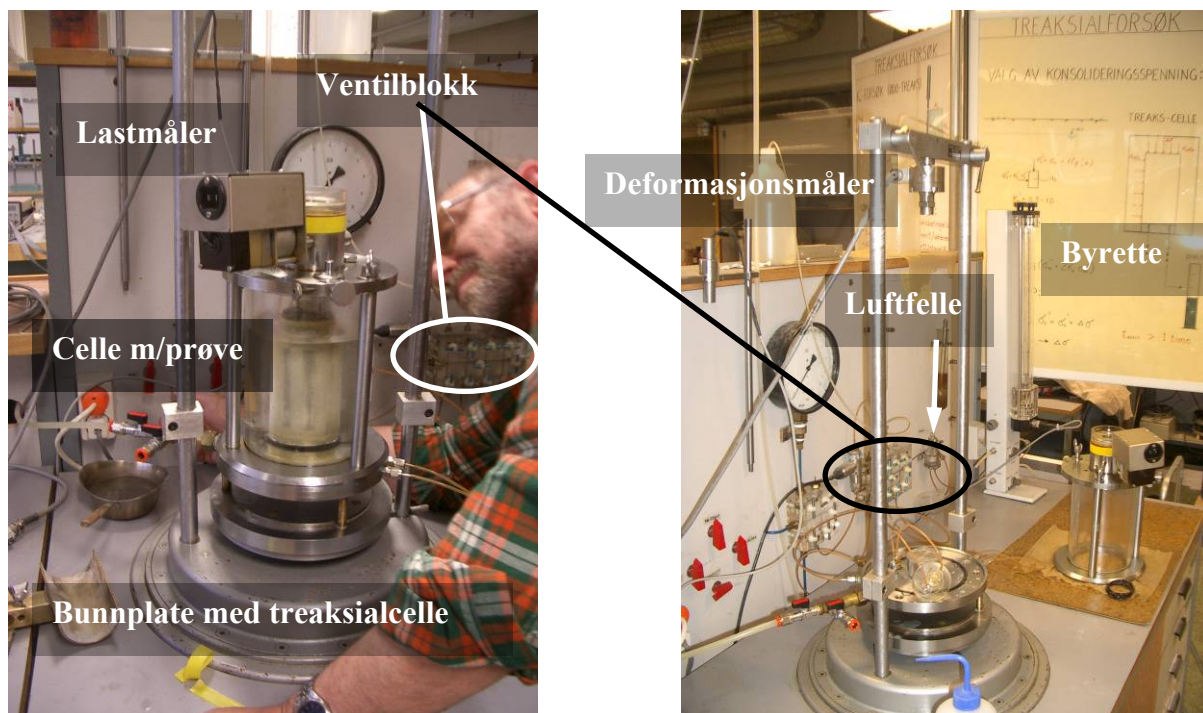
- Forstå årsaker til og mekanismer ved deformasjon av jord
- Bestemme spennings- og tøyningsutviklingen mot bruddtilstand og τ_f
- Bestemme totale og effektive styrkeparametere, poretrykkparametere og deformasjonsegenskaper for en jordprøve.
- Kunne kritisk vurdere forsøksresultater og forhold som påvirker kvalitet av resultatene

Treksialforsøket har gjeldende forutsetninger:

- Tredimensjonal spenningstilsand (best mulig samsvar med in situ tilstand)

2.4.2 Utstyr

- Tilskjæringsrigg
- Tråsåg
- Vekt
- Treksialcelle
- Konstant trykkcelle m/måle og reguleringsutstyr
- Måle- og registreringssystem for poretrykk
- Ventilblokk for styring av væskestrøm
- Deformasjonsmåler
- Byrette for måling av volumendring



Figur 2.5: Treksialrigg

2.4.3 Fremgangsmåte

Det skjæres ut en prøve med areal $A_0 = 23,2 \text{ cm}^2$ ($\varphi = 54 \text{ mm}$) og en høyde på 10 cm fra prøvetakningen (Kilde 5). Måler så massen på prøven. Det legges porøse filter på over- og undersiden. På sidene legges et papirfilter som skal bedre dreneringen langs prøveoverflaten. Hele sylindern plasseres inn cellen (Figur 2.5). Prøven og filtrene mettes for å få ut all luft. Til sist fylles hele cellen med vann.

Første fase i testingen er konsolideringsfasen. Hensikten med denne fasen er å bringe prøven til en kjent effektivspenningstilstand før skjærforsøket skal starte. Under denne fasen har prøven fri drenering, og vannmengden (ΔV) som presses ut måles. Denne fasen varer til vannet

slutter å strøme ut ved den aktuell cellespenningen. Forskjellige materialer gir noe forskjellig tid, men normalt er den på 1-3 timer.

Etter endt konsolidering forandres arealet på prøven til A_a :

$$A_a = \frac{A_0 \cdot \left(1 - \frac{\Delta V}{V_0}\right)}{\left(1 - \frac{\Delta V}{3 \cdot V_0}\right)} \quad [2.1]$$

Dette arealet brukes for videre beregninger.

Skjærforsøket er neste fase. Den blir gjennomført udrenert (mest vanlig for leire og silt), men kan også gjennomføres drenert. Poretrykket måles gjennom forbindelse med filteret i toppen og i bunnen. I skjærforsøket registreres vertikal deformasjon (δ), vertikal tilleggsbelastning (P), effektivt celletrykk (σ_3'). Prøven som blir testet er siltig leire, og den konstante tøyningshastigheten ble valgt til ca 3,5 – 3,7 % per time. Denne hastigheten kan være forskjellig ut i fra hva prøven består av.

Videre må det korrigeres for arealet under selve skjærforsøket, med bakgrunn i vertikal tøyningsendring, for å få riktig spenning. Nytt areal blir da:

$$A_f = \frac{A_a}{1 - \varepsilon_f} \quad [2.2]$$

Resultatet av skjærforsøket presenteres ved

- Volumendring, $\Delta V/V_0$
- Spenningsstidiagram, $[\tau_{\max} - \sigma_3']$ i et NTNU-plott
- Mobiliseringsdiagram, $[\tau_{\max}, \tan \rho - \varepsilon]$
- Poretrykksparmetre, A , B og D som funksjon av mobiliseringsgraden f .

Ut fra dette kan det kalkuleres dimensjonerende parametre for prøven:

- Styrkeparametre: attraksjonen a , friksjonen $\tan \phi$, udrenert skjærstyrke s_u .
- Poretrykksparmetre: Skempton's A , Bishop's B and Janbu's D .

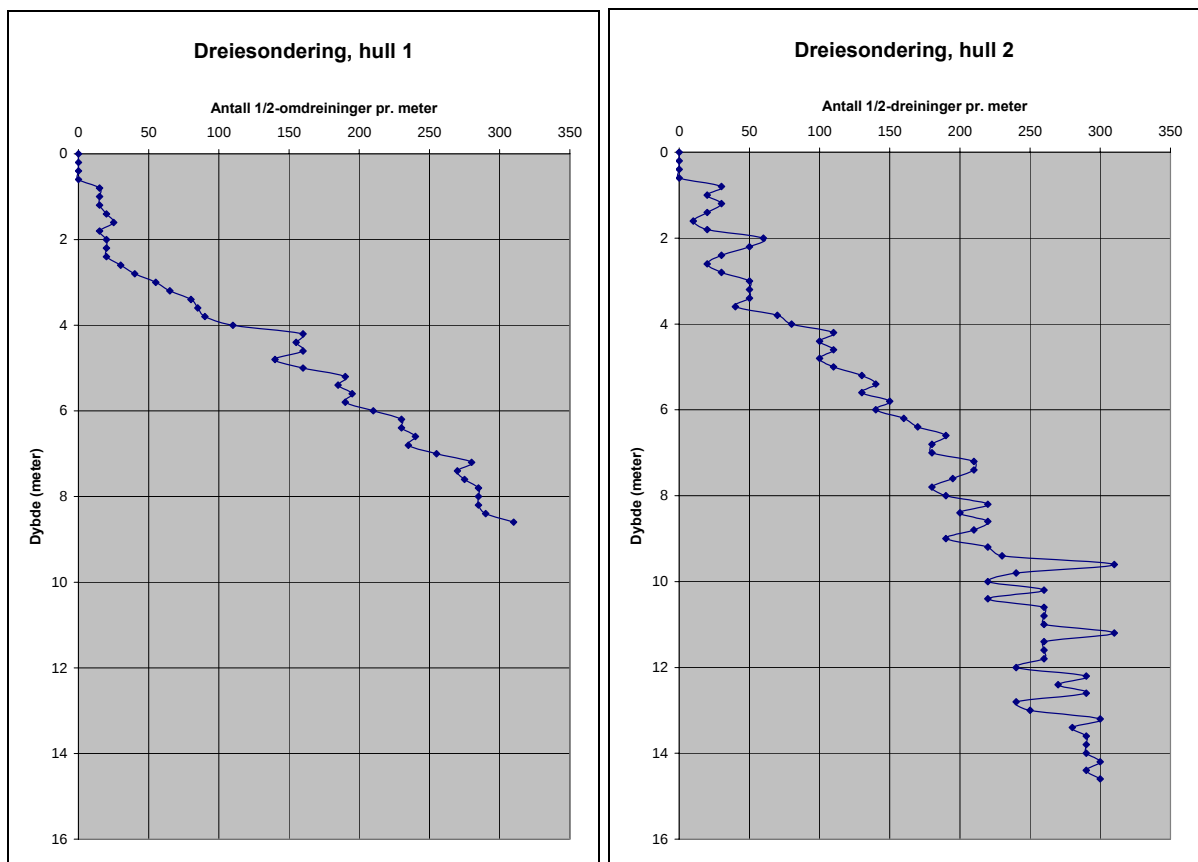
3 Resultat fra prøvene

Oppsummering av resultatene som er funnet i felt og i laboratoriet.

3.1 Dreiesondering

To hull ble sondert. Ingen av dem traff fjell.

	Endelig dybde
Boring 1	8,6 m
Boring 2	14,6 m



Figur 3.1: Dreiesondering, antall 1/2-omdreininger pr. meter for hvert av hullene

3.2 Prøvetaking

3.2.1 Rutinedata

Ved utregning av resultat brukes ferdig skjema som til vanlig brukes på geoteknikklaboratoriet ved slike undersøkelser, og grunngis nærmere i Vedlegg 4.

3.2.1.1 Densitet

Midlere densitet for hele prøven:

$$\bar{\rho} = 2,02 \text{ g/cm}^3$$

Densitet liten ring:

$$\rho_{ring} = 2,07 \text{ g/cm}^3$$

Tørredensitet:

$$\rho_d = 1,66 \text{ g/cm}^3$$

3.2.1.2 Vanninnhold og konsistensgrenser

Tabell 3.1: Vanninnhold og konsistensgrenser

				Dybde
Vanninnhold:	Prøve 1	w_1	= 25,3 %	11,1 m
	Prøve 2	w_2	= 31,6 %	11,4 m
	Prøve 3	w_3	= 32,6 %	11,7 m
Konsistensgrenser:	Støtflytgrense	w_l	= 28,5 %	11,6 m
	Plastisitetsgrense	w_p	= 18,2 %	11,6 m
Plastisitetstall:	$w_l - w_p$	I_p	= 10,3 %	11,6 m
Flyteindeks	$(\bar{w} - w_p) / (w_l - w_p)$	I_l	= 1,1 %	11,6 m
Aktivitet	$(I_p) / (\% < 2\mu m)$	a_c	= 0,52	11,6 m

3.2.1.3 Bestemmelse av udrenert skjærstyrke

Tabell 3.2: Udrenert skjærstyrke

		s_u [kPa]	s_r [kPa]	S_t [-]	ϵ_f [%]
Konusforsøk	Prøve 1	36,2	5,5	6,6	
	Prøve 2	44,1	4,3	10,4	
Enaksielt forsøk:		33,9			11

3.2.1.4 Korndensitet, porettall og metningsgrad

Korndensitet fra pyknometer: $\rho_s = 2,75 \text{ g/cm}^3$

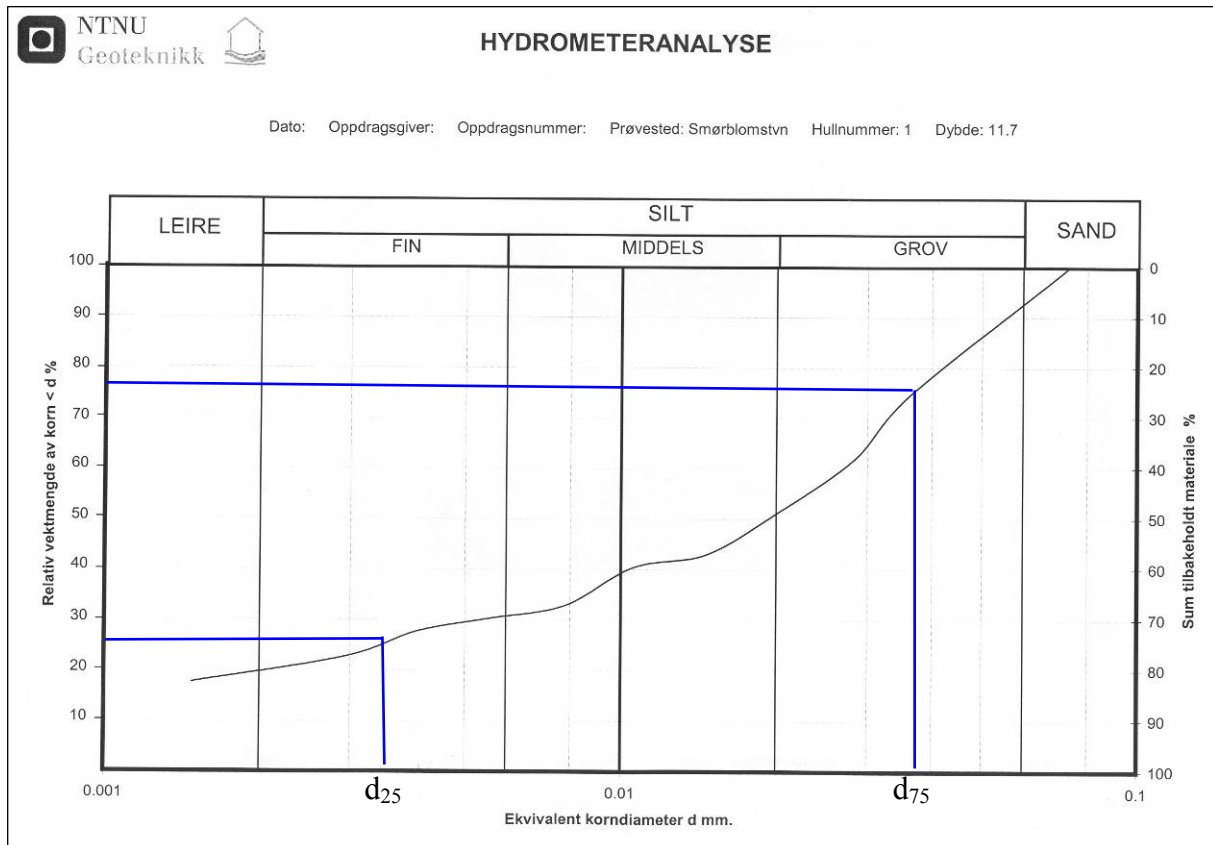
Porøsitet: $n = 39,8 \%$

Poretall: $e = 0,66$

Metningsgrad: $S_r = 105 \%$

3.2.1.5 Kornfordelingsanalyse

Standardskjemaet med resultatene fra målingene ligger som Vedlegg 5. Den prosentvise vektmengden i forhold til ekvivalent korndiameter ble plottet i en kornfordelingskurve, se Figur 3.2 (Større graf i Vedlegg 6).



Figur 3.2: Kornfordelingskurve

Fra figuren leses prosenten av jordtypene:

Leir	20 %
Silt	>72 %

Kurvens steilhet uttrykkes ved graderingsstallet: $C_u = d_{75}/d_{25} = 0,036 / 0,004 = 9$

3.2.1.6 Saltinnhold

$S = 3,0 \text{ g/l}$

Se Vedlegg 7 for sammenfattede resultater fra rutineundersøkelsen.

3.3 Ødometerforsøk

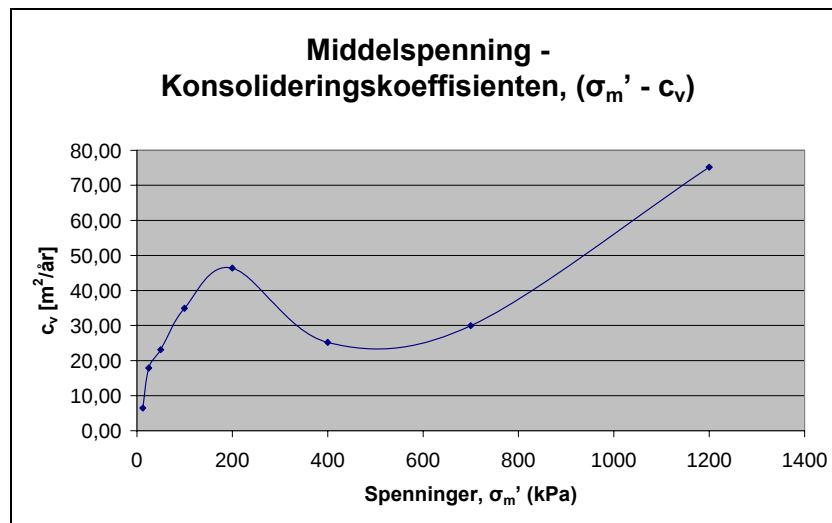
Standardskjema for ødometerforsøk finnes i Vedlegg 8.

3.3.1 Indeksforsøk

Tabell 3.3: Rutinedata

Masse tørr prøve, m_s :	64,67 g	Fast stoff, h_s :	1,176 g
Masse vann, m_w :	14,25 g	Poretall, e_0 :	0,7
Densitet:	$2,05 \text{ g/cm}^3$	Metningsgrad, S_r :	86,4 %
		Vanninnhold, w :	22,0 %

3.3.2 Konsolideringskoeffisient



Figur 3.3: Konsolideringskoeffisienten

Konsolideringskoeffisient:

$$c_v = M \cdot \frac{k}{\gamma_w}$$

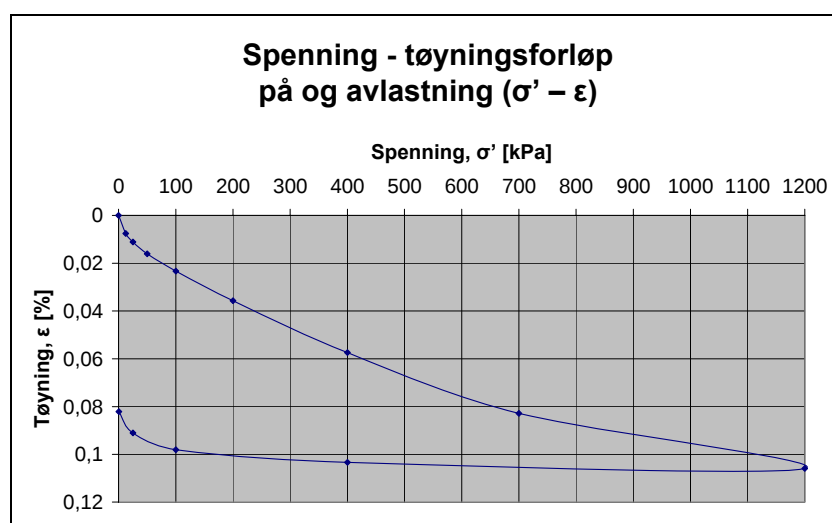
[3.1]

der k er permeabilitetskoeffisienten [$m/år$] og M er ødomentermodulen ved aktuelt spenningsnivå. c_v er funnet ved å lage Taylorkonstruksjoner på hvert av de 8 pålastningstrinnene (se Vedlegg 9).

For det overkonsoliderte området finnes en omtrentlig $c_{v,OC} = 46 \frac{m^2}{år}$ (se Vedlegg 11 for større graf)

For det normalkonsoliderte området øker konsolideringskoeffisienten med spenningen på formen $c_{v,NC} = 0,0783\sigma'_m = 21,5 \frac{m^2}{år}$ for $\sigma'_m = \sigma_{OC}'$

3.3.3 Spenning-tøyning



Figur 3.4: Spenning-tøyning

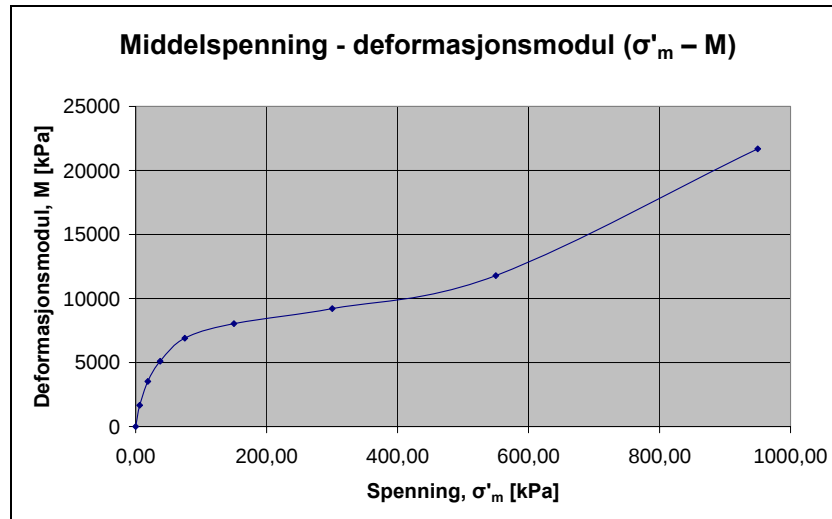
Tøyning:

$$\varepsilon_p = \frac{\Delta \delta_p}{H_o}$$

[3.2]

der $\Delta \delta$ er primærtøyningen og H_o er initiell prøvehøyde (se Vedlegg 12 for større graf).

3.3.4 Deformasjonsmodul



Figur 3.5: Deformasjonsmodul

Deformasjonsmodulen:

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

[3.3]

der $\Delta \sigma'$ er spenningsforandring og $\Delta \varepsilon$ er tøyningsforandring.

Fra figur Figur 3.5 er det vanskelig å lese av en M for OC-området og en for jomfruspennings-området, men i Vedlegg 13 er forslag til teoretiske linjer trukket. Fra dette fås:

Overkonsolidert område, dvs ekvivalent elastiske området:

Modultallet, $m = 90$, der $M = m\sigma'_a = 9000$ kPa og $\sigma'_a = 100$ kPa.

Jomfruspenningsområde, dvs ekvivalent plastiske området:

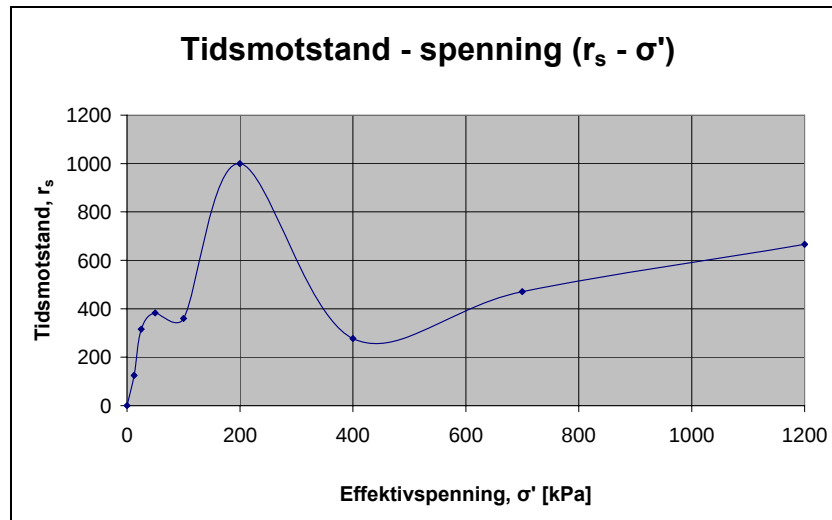
Stigningstallet til modulforløpet $m = 25$, referansespenningen $\sigma'_r = 100$ kPa,

der $M = m(\sigma'_m - \sigma'_r)$

Man ser at det overkonsoliderte området får konstant modul, mens det normalkonsoliderte får lineær stigning med startverdi $M = 9000$ kPa, dvs ved $\sigma'_m = \sigma'_c = 460$ kPa.

3.3.5 Tidsmotstand og tidsmotstandstall

Tidsmotstanden $R = dt/d\varepsilon$ er plottet mot tiden i Vedlegg 14. Stigningstallet fra hver av disse grafene gir verdier av r_s , se Figur 3.6 (Vedlegg 15).



Figur 3.6: Tidsmotstand

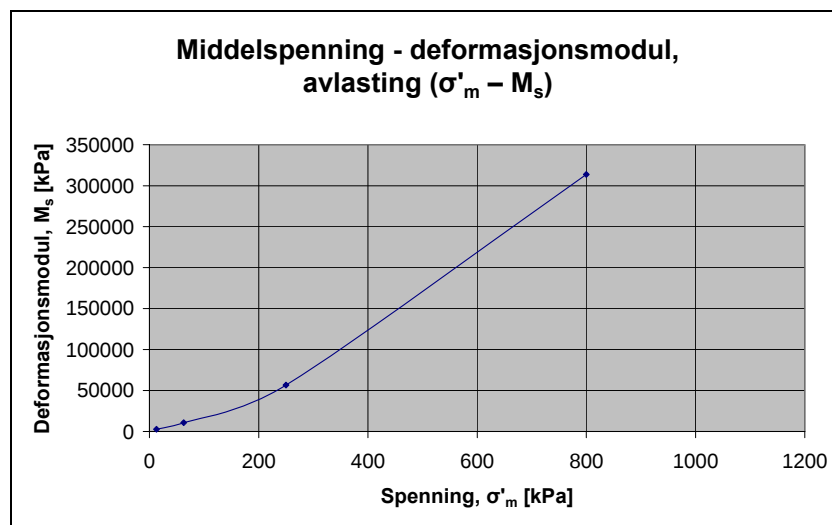
Tidsmotstanden i overkonsolidert leire leses av som topp-punktet før σ_{OC}' :

$$\underline{r_s = 1000}$$

3.3.6 Avlastningsmodul

Avlastningsmodul M_s , finnes ved å plote avlastningsspenning mot modulen. Ved avlastning sveller leiren og dette gir en tilnærmet rett linje, se Figur 3.7. Funksjonen til avlastningsmodulen blir da:

$$\underline{M_s = m_{sw} \sigma_m'} = 36 \sigma_m', \text{ der } m_{sw} = 36 \text{ er svellemodultallet}$$

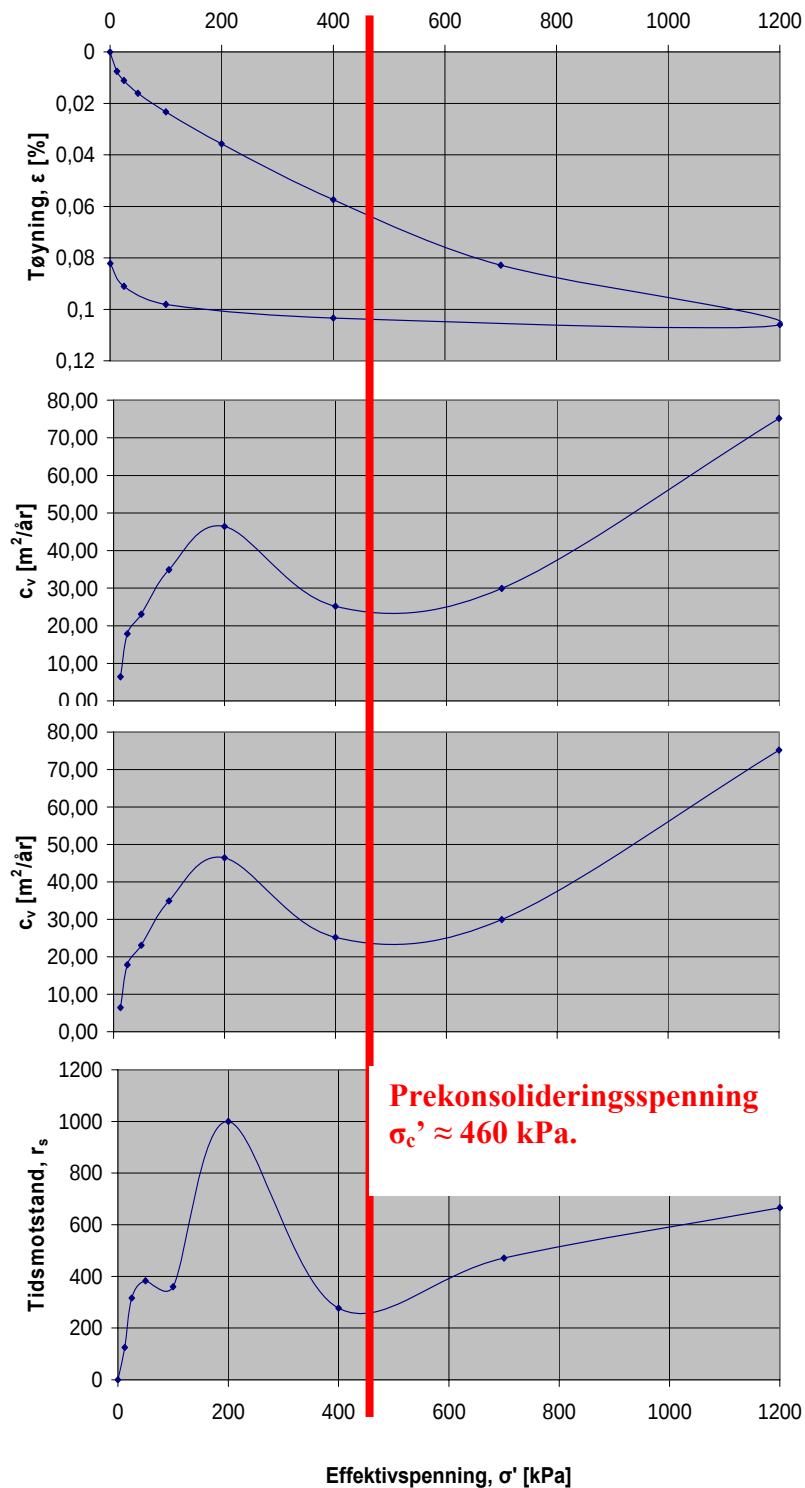


Figur 3.7: Avlastningsmodul

Avlesning fra stigningen finnes i Vedlegg 10, M_s -grafene ligger i Vedlegg 16.

3.3.7 Overkonsolideringsspenning

Topografien på Berg tyder på at det tidligere har vært store overliggende masse; muligens helt opp til Moholtplataet. Derfor forventes det at ødometertesten viser et overkonsolidert område opp til $\sigma_C' = \sigma_{v0}' + \Delta\sigma'$. Grafene $\sigma'-\epsilon$, $\sigma_m'-M$, $\sigma_m'-c_v$ og $\sigma'-r_s$ kan sammenstilles og gi et inntrykk hvor σ_C' ligger (se Figur 3.8).



Figur 3.8: Prekonsolideringsspenning

Det er vanskelig å finne en bestemt spenning, men anslagsvis kan prekonsolideringsspenningen leses av til:

$$\underline{\underline{\sigma_c' = 460 \text{ kPa.}}}$$

Større grafer med påtegnet prekonsolideringsspenning finnes i Vedlegg 11, Vedlegg 12, Vedlegg 13 og Vedlegg 15.

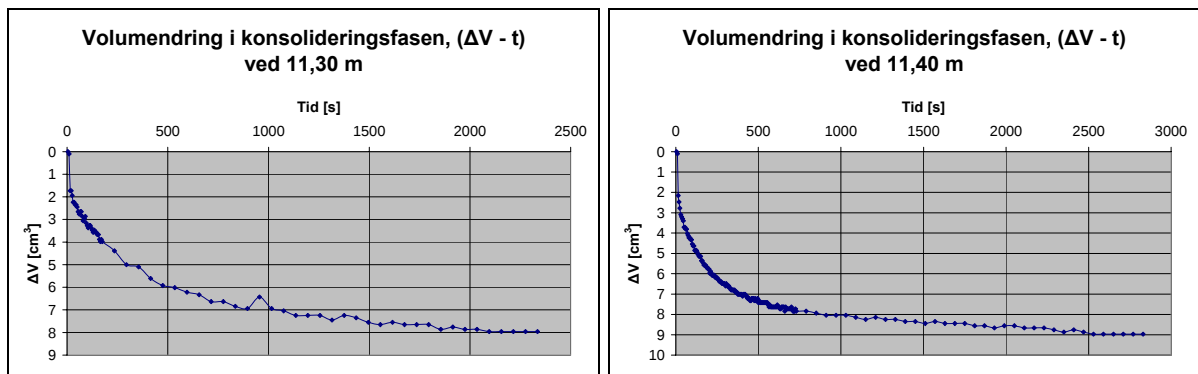
3.4 Treksialforsøk

Standardskjema for treksforsøk finnes i Vedlegg 17.

Tabell 3.4: Vanninnhold og densitet

Dybde	Vanninnhold	Densitet
11,30 meter	29,4 %	2,01 g/cm ³
11,40 meter	27,0 %	2,04 g/cm ³

3.4.1 Volumendring i konsolideringsfasen

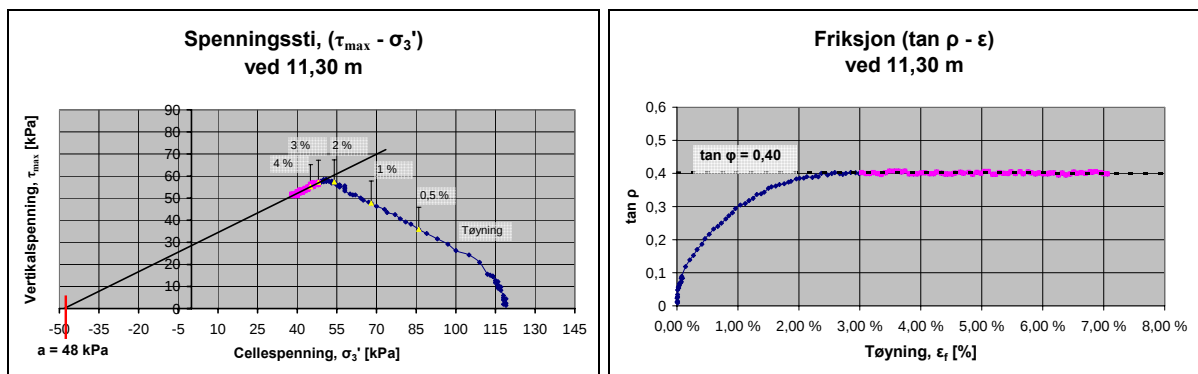


Figur 3.9: Volumendring i konsolideringsfasen ved 11,30 meter og 11,40 meter

For 11,30 meter var volumendringen (ΔV) på totalt ca. 8 cm³, mens ved 11,40 meter var den ca. 9 cm³. Etter konsolideringen får man også nytt tversnittareal, A_a , fra formel [2.1] på 22,64 cm² ved 11,30 meter og 22,57 cm² ved 11,40 meter.

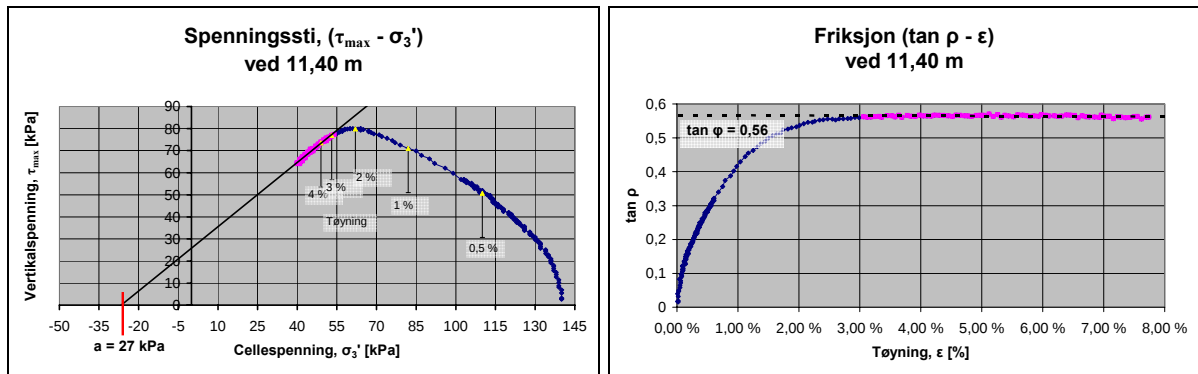
3.4.2 Spenningssti og friksjon

Større versjon av spenningsstiene finnes i Vedlegg 18.



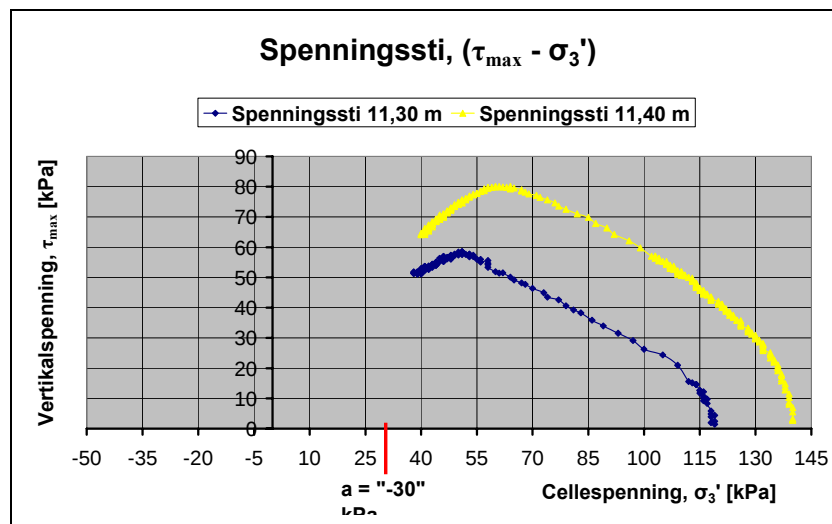
Figur 3.10: Spenningssti (NTNU-plot) og friksjon ved 11,30 meter

Ved 11,30 meter har man en attraksjon på 48 kPa og en maksimal skjærspenning på rundt 135 kPa. Maksimal friksjon er 0,40 (tan ϕ).



Figur 3.11: Spenningssti (NTNU-plot) og friksjon ved 11,40 meter

Man ser at det ved 11,40 meter er en attraksjon på 27 kPa og en maksimal skjærspenning på rundt 135 kPa. Maksimal friksjon er 0,58 ($\tan \phi$).



Figur 3.12: Spenningssti for begge tilfellene (NTNU-plot)

Videre har man poretrykksparemetrene fra de forskjellige dybdene:

Tabell 3.5: Poretrykksparemetrene for 11,40 meter

ϵ	$\Delta \sigma'_3$	$\Delta \tau_{\max}$	S_d	$A = B$	D
0-1	-55	66,9	-0,822	0,61	-0,28
0-2	-78	77,0	-1,014	0,49	-0,16
0-3	-86	74,4	-1,156	0,43	-0,10
0-4	-91	71,1	-1,280	0,39	-0,06

Tabell 3.6: Poretrykksparemetrene for 11,30 meter

ϵ	$\Delta \sigma'_3$	$\Delta \tau_{\max}$	S_d	$A = B$	D
0-1	-49	43,9	-1,116	0,45	-0,11
0-2	-65	54,9	-1,184	0,42	-0,09
0-3	-70	54,8	-1,278	0,39	-0,06
0-4	-74	52,8	-1,402	0,36	-0,02

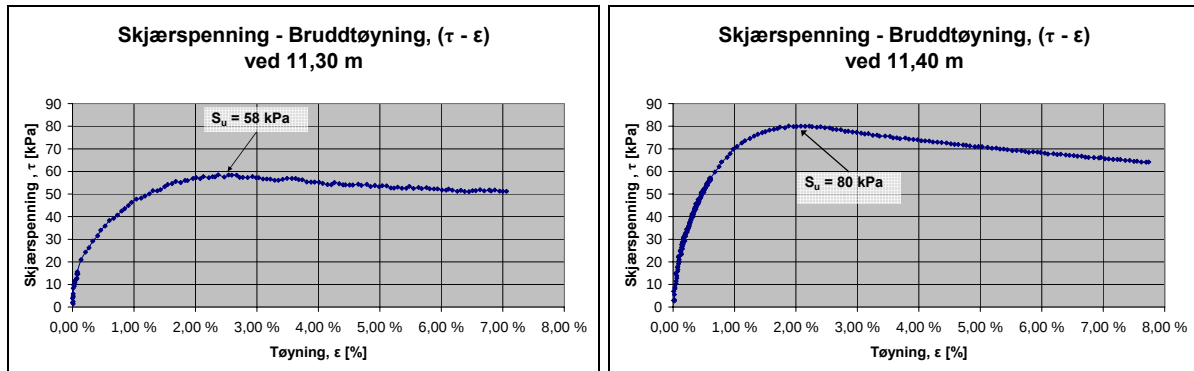
Der man har følgende sammenheng for å finne dilatasen, D :

$$\Delta u = \Delta \sigma_m - D \cdot \Delta \sigma_d$$

[3.4]

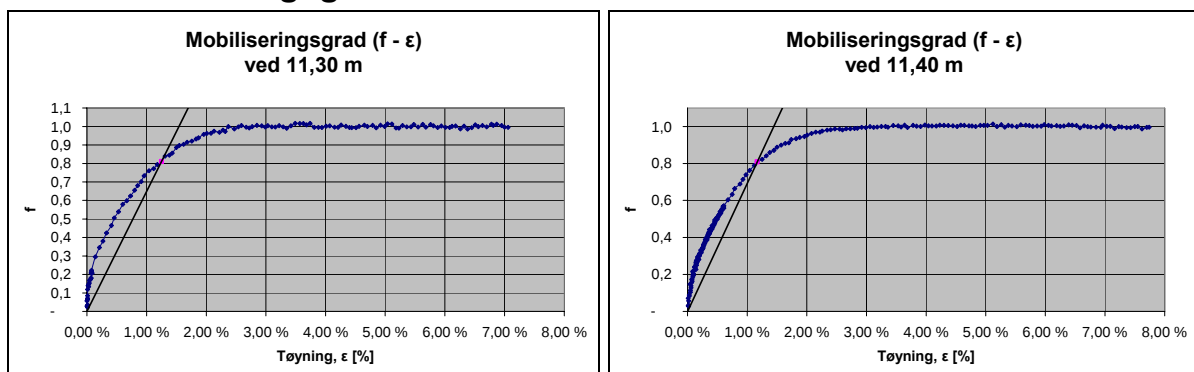
der Δu er endring i poretrykk, $\Delta \sigma_m$ er ending i middelspenningen og $\Delta \sigma_d$ er spenningsforskjellen mellom vertikal- og horisontalspenning.

3.4.3 Bruddtøyning



Figur 3.13: Bruddtøyning ved 11,30 meter og 11,40 meter. s_u sees ut fra graf.

3.4.4 Mobiliseringsgrad



Figur 3.14: Mobiliseringsgrad, f, ved 11,30 meter og 11,40 meter

4 Diskusjon

4.1 Dreiesondering

Ut ifra Tabell 2.1 og grafiske fremstillingen av resultatene i Figur 3.1, ser man at lagdelingene i de forskjellige hullene får følgende motstand:

Tabell 4.1: Sonderingsmotstand i de to prøvehullene

Hull 1	Hull 2	Sonderingsmotstand
0 – 0,6 m	0 – 0,6 m	Meget liten motstand
0,6 – 3,1 m	0,6 – 3,0 m	Liten motstand
3,1 – 4,5 m	3,0 – 5,5 m	Middels stor motstand
4,5 – 7,3 m	5,5 – 10,8 m	Stor motstand
7,3 – 8,6 m	10,8 – 14,6 m	Meget stor motstand

Hull 1 gir mye raskere motstand nedover i grunnen. Det er like stor motstand på ca. 8 meter i hull 1 som det er mellom 10,8 og 14,6 meter i hull 2. I begge tilfellene er det ved 4 meter markant økning i motstanden. Hull 1 øker derfra betydelig, mens hull 2 gir mindre økning i motstand ved større dybde.

Større motstand nedover tyder på at stivheten øker med dybden, og det er ingen tydelige lag i sonderingene som viser mindre stivhet enn resten. I motsetning til en kvikkleire, som ville hatt liten motstand, vil grafen holdt seg nærmere dybdeaksen. Videre er bergleiren en stiv leire som ikke viser antydninger til å være kvikk på dreiesonderingsgrafene.

Fra tidligere undersøkelser finnes det dreiesonderingsprofil på toppen av skråningen ved Dybdahls veg, like ved ballplassen (Vedlegg 3). Denne viser heller ikke kvikkleire, men fyllmasser omtrent ned til banehøyden, deretter tørrskorpe på ca 1 m, og leire videre nedover. Dette stemmer godt med dreiesonderingen ved Smørblomstveien. Også dreiesonderingen utført på toppen av Dybdahls veg viser ingen antydning til kvikkleire, men leire med økende stivhet i dybden.

4.2 Prøvetaking

4.2.1 Visuell undersøkelse

Skaden under utpressing kan ha innvirkning på prøven. Det så også ut som prøven var innhomogen. Resultatene fra de forskjellige undersøkelsene trenger derfor ikke å være representativ for hele prøven.

4.2.2 Rutinedata

Sammenligningskilde: Kollokviepresentasjon, G2, av rutineundersøkelsen fra faget TBA4110 Soil Investigations.

4.2.2.1 Densitet

Har to densitetsmålinger, der densitet i den lille ringen, som er meget nøyaktig, avviker noe fra midlere densitet. Grunnen til dette kan være at fyllmasser i enden av prøvesylindere ble tatt med under utregningen av den midlere densiteten. I tillegg var volumet til prøven noe usikkert, da det var noen avvikende overflater i prøven.

Selv om man har noen feilkilder er tallene i de to målingene ganske like, noe som tyder på at det som har blitt gjort er relativt nøyaktig. Andre deler av prøven har densitetsverdier på $1,99 - 2,07 \text{ g/cm}^3$, som samsvarer godt med densiteten på 11,5 m. enten fra ring eller gjennomsnittlig.

4.2.2.2 Vanninnhold og konsistensgrenser

Det observeres at w_1 varierer en del fra w_2 og w_3 . Selv om den er tatt fra et annet sted på prøven er forskjellen så stor at det sannsynligvis er gjort noe feil, eventuelt at det er et mer siltig lag der w_1 ble tatt. Gjennomsnittsverdien for de tre målingene blir 29,8 %. Ellers lå resultatene innenfor norske vanninnholdsverdier for leire, som er 20 – 50 % og også innenfor verdiene for de andre hulldybdene, som hovedsaklig varierte fra om lag 24 – 35 %.

Når det gjelder konsistensgrensene er flytegrensen, w_l , på 28,5 %, en del under normale verdier for norsk marin leire som ligger mellom 35 – 45 %. Dette sees i forhold til at området tidligere har ligget under havflaten, og man da kunne forventet å finne marin leire. På grunn av mye silt i prøven er flytegrensen såpass lav. Resten av hullet har $w_l = 27 - 30 \%$, som stemmer overens med målt verdi.

Plastisitetsgrensen, $w_p = 18,2 \%$, er noe lavt. Normalt for norsk marin leire er 18 – 27 %, mens de andre hulldybdene gir verdier på rundt 20 %. Dette må sees i sammenheng med at prøven er siltig leire, samt at undersøkelsesmetoden er noe unøyaktig.

Prøven har plastisitet $I_p = 10,3 \%$ og ligger dermed på grensen mellom middels og lav plastisitet. Majoriteten av restene av prøvene i hullet fikk I_p -verdier rundt 10 %. Flyteindeksen, $I_l = 1,1 \% > 1,0 \% \rightarrow$ mulig kvikkleiere. Denne avhenger også av om vanninnholdet, $\bar{w}$, er korrekt. I tillegg er aktiviteten, a_c , på 0,52. Jo større aktiviteten er, desto mer vann kan leiren binde til seg.

4.2.2.3 Bestemmelse av udrenert skjærstyrke, s_u

De to konustestene har stor differanse seg imellom. Det er tatt gjennomsnittet av mange konustester, men testene er tatt ut i fra en såpass lite del av prøven at det blir en del avvik. Resten av prøven har fått uomrørte konustestverdier på 35-50 kPa, som stemmer godt med verdiene 36 kPa og 44 kPa ved henholdsvis 11,1 og 11,5 m dybde. Omrørte verdier for totalprøven ligger fra 5-15 kPa, med overvekt rundt 5 kPa. Testverdiene 5,5 kPa og 4,3 kPa er lite avvikende fra de andre hulldybdene.

Styrken til prøven i enaks-forsøket ligger lavere enn konustestene. Dette er naturlig siden det ikke er noen sideveis støtte. Man ser allikevel at verdiene ligger i samme område. Også i forhold til de andre hulldybdene stemmer det, der resultatene også lå på 35-50 kPa.

Sensitiviteten, S_t , ligger for prøve 1 under 8, og er derfor lav. For prøve 2 har man middels sensitivitet, men siden udrenert skjærstyrke ligger mellom 25 og 50 kPa for både konus og enakstest, klassifiseres leira som middels fast, med middels høy styrke og middels sensitivitet.

Fra skjærstyrketestene kan man også vurdere om leiren er over- eller normalkonsolidert. Normalkonsolidert leire har udrenert skjærstyrke $s_u = \alpha(\sigma_{vo}' + a)$ der: $\alpha = 0.25$, $a = 10 \text{ kPa}$. Ved 11,1 m og 11,5 m blir $s_u = 31,6 \text{ kPa}$ og $32,6 \text{ kPa}$. For Bergleiren er s_u målt $> s_{u \text{ NC}}$, men

verdiene er ikke så forskjellige som man kanskje kunne forvente av topografien på Berg. Likevel kan man anta at leiren er overkonsolidert.

4.2.2.4 Korndensitet, porettall og metningsgrad

Forsøket har få feilkilder som kan gi unøyaktige resultater. De andre hulldybdene har følgende verdier:

Korndensitet: $\rho_s = 2,72 - 2,89 \text{ g/cm}^3$

Poretall: $e = 0,6 - 1,5$

Verdiene ved 1,55 m ligger på disse intervallene.

4.2.2.5 Kornfordelingsanalyse

Per definisjon av jordartsbetegnelser er prøven en **siltig leire**. Ved C_u mellom 5-15 defineres leiren som middels gradert (Kilde 6).

Når man i fremgangsmåten unnlot å våtsikte materialet før hydrometeranalysen antok man at det ikke var sandfraksjon eller grovere i prøven. Fra kornfordelingskurven ser man at det er en del grov silt, og dermed også mulighet for at det er en fraksjon sand. Pga at våtsikting ikke ble gjennomført er dette en feilkilde.

Fra løsmassekart kan man se at leiren er av marin opprinnelse, derfor kunne man forventet høyere leirinnhold enn 20 %. Det må bemerkes at tydelige silt-linser ble observert ved uttrykkingen av prøven, så det er vanskelig å bestemme om kornfordelingen ved 11,55 m er representativ.

4.2.2.6 Saltinnhold

Spredningen i saltinnhold for hele prøven ligger på 2-10 g/l, der hovedvekten av målinger har $S = 4 \text{ g/l}$. Saltinnholdet fra 11,7 m dyp ligger på 3,0 g/l, nærme snittverdien. Selv om verdien ligger langt under saltinnholdet for havvann, 35 g/l, er det likevel godt over grensen for kvikkleire: $S < 0,5 \text{ g/l}$. Altså er det ikke grunn til å tro at saltet er spesielt utvasket i Bergleira, og man antar at fare for kvikkleireskred er liten.

4.3 Ødometerforsøk

4.3.1 Indekstest

Sammenligning med verdiene fra rutineundersøkelsene ved utregninger i Tabell 4.2. Bruker tørrdensitet, $\rho_s = 2,75 \text{ g/cm}^3$, fra indekstestene til å bestemme S_r .

Tabell 4.2: Indekstest - sammenligning mellom rutineundersøkelse og ødometertest

	Ødometermålinger	Rutineundersøkelse	Kont.ødometertest
Tetthet, ρ :	2,05 g/cm ³	2,07 g/cm ³	2,04 g/cm ³
Poretall, e_0 :	0,70	0,66	
Metningsgrad, S_r :	86,4 %	105 %	
Vanninnhold, w :	22,0 %	29,5 %	26 %

Vanninnhold og metningsgrad er mye lavere i ødometertesten enn i rutineundersøkelsene. Metningsgraden avhenger av vanninnholdet; hvis vanninnholdet lå på ca 25 % ville metningsgraden ligge på forventet 100 %. Altså er det vanninnholdet eller ρ_s fra indekstesten

som er avvikende. Dersom vanninnholdet er feil kan det skyldes målefeil eller at prøven har tørket ut i løpet av tre uker i lagring. Dette kan være grunnen til avvikende verdier i grafer og utregninger i forhold til kontinuerlig ødometertest.

4.3.2 Konsolideringskoeffisient

Tabell 4.3: Konsolideringskoeffisient - sammenligning, trinnvis og kontinuerlig ødometertest

	Trinnvis ødometer	Kontinuerlig ødometer
Overkonsolidert koeffisient, $c_{v,OC}$	46 m ² /år	33 m ² /år
Normalkonsolidert koeffisient, $c_{v,NC}$	21,5 m ² /år	2 m ² /år

Tabell 4.3 viser at konsolideringskoeffisienten avviker noe fra kontinuerlig koeffisient. Dette kan være pga vanskeligheter med Taylor-konstruksjonen; ved store spredninger blir det stor feil ved trekking av tangenten. $c_{v,NC}$ er også et anslagstall, siden det er få punkter rundt σ_C' og dermed er det vanskelig å lese av det presise bunnpunktet der overkonsolidering går over i normalkonsolidering.

4.3.3 Spenning-tøyning

Teoretisk skal en overkonsolidert leire ha lineært spenning-tøyningsforløp frem til overkonsolideringsspenningen. Deretter skal grafen følge en parabel-lignende kurve. Dette er ikke mulig å se fra Figur 3.4, men den kontinuerlige ødometertesten gir omtrent samme form, dermed kan grafen antas god nok.

4.3.4 Deformasjonsmodul

For det overkonsoliderte området med konstant modultall har kontinuerlig ødometertest gitt $m_{OC} = 80-120$. Den trinnvise testverdien $m = 80$ faller innenfor dette. For det normal-konsoliderte området har den kontinuerlige testen oppnådd stigningstallet $m_{NC} = 16-35$. På den trinnvise testen ble stigningstallet $m_{NC} = 25$.

Mer nøyaktig sammenligning på ca 11,5 m dyp:

Tabell 4.4: Deformasjonsmodul - sammenligning, trinnvis og kontinuerlig ødometertest

	Trinnvis ødometer	Kontinuerlig ødometer
Overkonsolidert modul, M_{OC}	8000 kPa	9000 kPa
Normalkonsolidert modul, M_{NC}	5300 kPa	6000 kPa
Kryssningsspenning, σ_r'	65 kPa	100 kPa

Tabell 4.4 viser hvordan verdiene varierer samsvarende i de to testene.

4.3.5 Tidsmotstand og tidsmotstandstall

Figur 3.6 har den lett gjenkjennelige formen med en topp før overkonsolideringsspenningen og deretter slak, tilnærmet lineær stigning. Prekonsolideringsspenning stemmer med de andre grafene.

4.3.6 Avlastningsmodul

Figur 3.7 gir tilnærmet lineær stigning som forventet. Kontinuerlig ødometertest gir $m_{sw} = (4-8)m_{NC} = 64-128$ for minste m_{NC} -verdi fra kontinuerlig test. Dette avviker fra avlest verdi fra trinnvis ødometer test $m_{sw} = 36$.

Disse verdiene er veldig ømfintlige i forhold til rette egendeformasjoner. Dette kan være grunnen til avviket.

4.3.7 Overkonsolideringsspenning

De fire grafene i Figur 3.8 viser en spredning på σ_c' for 11,65 m, så det er vanskelig å velge et bestemt tall. Prekonsolideringsspenningen vil gjerne ligge i et område, ikke en bestemt spenning siden den overliggende lasten ikke har kommet og forsvunnet veldig fort. For Bergområdet kan det antas at en elv har gravd en ravine i området og sakte har overlagingstrykket endret seg til dagens overlaging. Dermed kan man heller ikke forvente at σ_c' vil være en bestemt verdi, men heller la den ligge området 400-500 kPa.

Sammenligning med kontinuerlig ødometertest:

Tabell 4.5: Overkonsolideringsspenning - sammenligning trinnvis og kontinuerlig ødometertest

	Trinnvis ødometer	Kontinuerlig ødometer
σ_c' / σ_{v0}'	2,0	3,5
σ_c' på ca 11,5 m	460 kPa	400 kPa

Verdiene avviker fra de i den kontinuerlige testen, men om det tas hensyn til σ_c' spredning, ligger $\sigma_{C, \text{kontinuerlig}}'$ i dette området.

4.3.8 Feilkilder

Ødometertest:

- Teori: Endimensjonal spenningstilstand tillater ikke sideveis deformasjon. Dette er ikke nødvendigvis representativt for jorden, da den også kan utvide seg horisontalt hvis sidetrykket ikke er tilstrekkelig til å holde den på plass. Ødometertesten gir da ikke-konservative verdier for setningsparametrene.
- Kjøring: Litt antydning til skvising av leira rundt filteret som kan ha gitt feil måling.

Indeksverdier:

- Klarte ikke å klemme ut heile prøva. Måtte graves ut. Dette kunne hatt innvirkning på porøsitet og vanninnhold.

Beregninger:

- Brukte hele deformasjonen til å beregne primærsetninger og tøyningen, $\epsilon = \Delta\delta/H_0$. Dette vil gi for store tøyninger, i forhold til å trekke fra kryptdeformasjonen.

4.4 Treksialforsøk

Sammenligning av vanninnhold og tetthet fra de to treksforsøkene opp mot målingene som er gjort i rutineundersøkelsen viser et ganske likt vanninnhold. Her varierer vanninnholdet mellom 25 % og 32 %. Prøven fra 11,3 m har 29,4 % og prøven fra 11,4 m har 27,0 %. Densiteten er også lik i forhold til tidligere målte verdier. En skal dermed tro at prøvene ikke har tatt skade av den noe lange lagringen før treksforsøket ble gjennomført.

4.4.1 Volumendring i konsolideringsfasen

Som tommelfingerregel kan man, med det angitte utgangsvolumet, si at volumendringer over 5 cm³ (Kilde 15) innebærer at prøven er mer forstyrret enn akseptabelt. Begge prøvene i denne testen gav en volumendring på mellom 8 og 9 cm³. Altså er begge disse prøvene forstyrret, og den største feilkilden er høyst sannsynlig selve prøvetakingen i felt (Kilde 15). Når man i tillegg bruker full diameter fra prøvetakingen er det vanskelig å eliminere bort skader. Det ville kanskje vært mer gunstig å tatt opp en blokkprøve i stedet, for å eliminere noen av feilkildene.

I Tabell 4.6 finnes en mer detaljert klassifisering av hvor forstyrret prøven er. Dette er en klassifisering som antas å bli en EU-standard i fremtiden (Kilde 15).

Tabell 4.6: Klassifiseringstabell i forhold til utpresset volum under konsolideringsfasen (Kilde 5)

Spenningsforhold σ_c'/σ_{vo}'	Dybde	Perfekt kvalitet $\varepsilon_{vol} <$	Akseptabel kvalitet $< \varepsilon_{vol} <$	Forstyrret kvalitet $\varepsilon_{vol} >$
(-)	(m)	(%)	(%)	(%)
1-1,2	0-10	3,0	3,0-5,0	5,0
1,2-1,5	0-10	2,0	2,0-4,0	4,0
1,5-2	0-10	1,5	1,5-3,5	3,5
2-3	0-10	1,0	1,0-3,0	3,0
3-8	0-10	0,5	0,5-1,0	1,0

Ved 11,30 meter:

$$\sigma_c'/\sigma_{vo,11,30m}' = 460/226 = 2,04$$

$$\varepsilon_{vol,11,30m} = \frac{\Delta V}{V} = \frac{8 \text{ cm}^3}{232 \text{ cm}^3} = 3,4\%$$

Ved 11,40 meter:

$$\sigma_c'/\sigma_{vo,11,40m}' = 460/228 = 2,02$$

$$\varepsilon_{vol,11,40m} = \frac{\Delta V}{V} = \frac{9 \text{ cm}^3}{232 \text{ cm}^3} = 3,9\%$$

Fra Tabell 4.6 ser man at begge prøvene ligger i intervallet for spenningsforhold 2-3. I tillegg er $\varepsilon_{vol} > 3 \%$ for begge prøvene. Om man antar at verdiene for 0-10 m dyp også gjelder for 11,5 m dyp, stemmer tommelfingerregelen opp mot klassifiseringstabellen, og prøven er av forstyrret kvalitet.

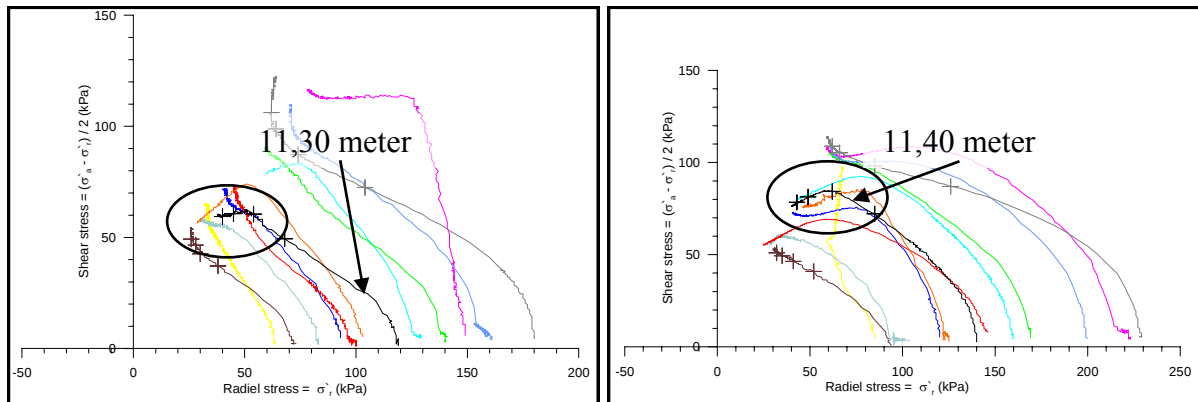
4.4.2 Spenningssti og friksjon

Ved 11,30 meter: Magnus Rømoen (Kilde 16) har satt sammen resultater fra flere dybder. Det ser ut til at verdiene er like sammenlignet med det man ser her. Attraksjonsverdien er høy i forhold til vanlige verdier for norsk jorddata (Kilde 5). Faktisk ligger denne verdien ved ytterpunktet for fast leire. Når det gjelder friksjonen gir en $\tan \phi = 0,4$, ifølge vanlige verdier for norske jordarter, en middels til bløt leire.

Ved 11,40 meter: Her ligger verdien for attraksjonen en del lavere enn ved 11,30 m. Attraksjonsverdien her er mer normal for en typisk leire (Kilde 5). Siden det, ut ifra prøvetaking, så ut til å være lokale områder som innehold større konsentrasjoner av silt, er det ikke usannsynlig at maksimal friksjon, $\tan \phi$, ligger noe høyere, på ca 0,56. Ut ifra erfaringstall er det her snakk en jordart som befinner seg mellom fast leire og løs/fin silt.

Det skal bemerkes at det kan være usikkerhet ved tolkning av spenningssti for å finne friksjon, men det er i dette tilfelle brukt beregninger fra Excel-ark for både bruddlinje og attraksjon, så feilkilden kommer mer av selve forsøket.

Ut ifra bare to forsøk kan det være vanskelig å finne en riktig bruddgrense. Man ser at Figur 3.12 vise dette ganske klart. Her er effektiv cellespenning ganske lik ved skjærbrudd for begge tilfellene. Dette gir en veldig pussig verdi for attraksjonen som får en ”negativ” verdi på nesten $a = -30$ kPa (Skal i utgangspunktet være: $a \geq 0$ kPa).



Figur 4.1: Spenningssti (NTNU-plot) for dybder ned til ca 17 meter.
a) Venstre: ca. in situ cellespenning – b) Høyre: noe høyere cellespenning enn in situ.

Magnus Rømoen (Kilde 16) sin fremstilling av spenningsstien fra forskjellige dybder sees fra Figur 4.1. Figur 4.1 a) inneholder spenningsstien ved 11,30 m og Figur 4.1 b) ved 11,40 m. Figur 4.1 a) har blitt kjørt med cellespenning tilnærmet in situ, mens Figur 4.1 b) har blitt kjørt med noe høyere cellespenning. Dette skal allikevel ikke være grunn til at man får store avvik i attraksjonen ved 11,30 m og 11,40 m i forhold til andre dybder, så lenge det er samme jordtype.

Det er vanskelig å se det ut fra Figur 4.1, men ved noe høyere cellespenning enn in situ ligger bruddet ved 11,40 m noe høyere enn den gjennomgående bruddlinjen for alle dybder, mens ved 11,30 m ligger den merkbart lavere. Grunnen til dette kan være at lagene i prøvetakningen har hatt merkbare variasjoner mellom 11,30 m og 11,40 m. Derfor blir det svært vanskelig å finne en felles attraksjon og friksjon for 11,30 m og 11,40 m (Figur 3.12).

Fra begge prøvene blir poretrykksparementrene, Skempton's A, Bishop's B and Janbu's D, slik som angitt i Tabell 3.5 og Tabell 3.6. Parametere D angir tendenser til økende eller minkende porevolum. Begge prøvene har negativ dilatans, D, spenningstiene bøyes av mot venstre (Figur 3.12) og det er tendens til minkende porevolum. Dette betyr at poretrykket øker og skjærfastheten avtar ved ytterligere belastning. Bruddet karakteriseres da som kontraktant. (Kilde 2).

4.4.3 Bruddtøyning

Prøven går til brudd ved tøyning på ca 2 %. Dette er da en normal leire, siden det for slik leire, ut i fra erfaringstall, forekommer brudd ved 1-3 % tøyning (Kilde 15).

Ut fra bruddtøyning fås maksimal skjærspenning, som også gir s_u :

- Ved 11,30 meter: $s_u = 58$ kPa
- Ved 11,40 meter: $s_u = 80$ kPa

Dette sees ut i fra Figur 3.13. Fra rutineundersøkelsen ligger s_u rundt 40 kPa. Dette er vesentlig lavere enn det treksforsøket gav. Grunnen til dette er nok at rutineundersøkelsen er

en enkel og konservativ metode, mens treksforsøk er mer nøyaktig. I tillegg er sidespenningen null i enaksforsøket.

4.4.4 Mobiliseringsgrad

I området 0 – 0,8 forventes et lineært forløp. Prøven som er testet oppfører seg ikke helt som forventet, men krumningen øker mer over $f = 0,8$ (Kritisk mobiliseringsgrad). I begge tilfeller er tøyningen ved kritisk mobiliseringsgrad ca. 1,2 %

4.4.5 Feilkilder

Testprosedyre:

- Prøven blir lagret over lengre tid (2-3 uker) før den ble testet, noe som kan føre til endring av egenskapene til leiren.
- Selve konsolideringen i testen er nærmere virkelige forhold enn for eksempel ødometer og enaks, men man kan allikevel aldri oppnå 100 % in situ tilstand.
- Utpressing av for mye porevann/for lang konsolidering vil gjøre prøven hardere enn reell in situ tilstand. Det er vanskelig å ha riktig lengde på konsolideringstiden.

5 Supplerende undersøkelser

Se Vedlegg 19 for kart over eksisterende og forslag til supplerende undersøkelser.

Høydeforskjellen i det aktuelle området er omtrent 50 m. Fotballbanen i sørvest ligger ca på kote 60, og de høyeste punktene mot Moholtplatået ca på kote 110. Høydeforskjellene gjør det vanskelig å kartlegge stratigrafi. En må gå dypt om en skal ta prøver på Moholtplatået og kunne sammenligne disse med prøver fra ravinen. Derfor er det nødvendig med flere nye tester med god spredning for å kunne lage profiler som gir god oversikt over lagdelingen i jorden i det aktuelle området.

Det er ønskelig med en ny prøvetakning i det bebygde området nord for ravinen og sør for Dybdals veg. En vil da finne ut om det antatt harde topplaget som finnes på Moholt strekker seg langt ut i boligområdet, og hvor dypt dette eventuelt er. Siden dette området ligger høyt i forhold til ravinen må det taes opp prøver forholdsvis dypt; 20 m eller mer.

I forbindelse med prøvetakingen i boligområdet trengs det prøver fra ravinen. Disse legges på en linje som går fra sør mot nord (se Vedlegg 19). Denne prøvetakingen vil også ligge på en linje som går øst mot vest i forhold til prøvetakingen gjort for denne rapporten.

Det vil være fornuftig å gjennomføre CPTU-testing i samme området som prøvetakingen for lettere å kunne tolke CPTU-resultatene mot lab-resultatene. Totalt 6 CPTU-tester er foreslått plassert i området. CPTU-testene vil gi et godt grunnlag for kartlegging av for eksempel lagdelingen. I tillegg foreslås det å sette ut minst 2 piezometer for å måle vannstanden i jorden over tid. Sammen med måling av setninger kan en finne ut om disse har en sammenheng med vannforholdene i jorden.

Det er ikke tatt hensyn til økonomi ved valg av undersøkelsesmetoder. En kunne valgt å bruke rimeligere metoder som for eksempel dreiesondering og vingebor istedenfor CPTU.

6 Konklusjon

Ingen tidligere undersøkelser i området har påvist kvikkleire. Nærmeste påvisning av kvikkleire er påvist i den nedre delen av Berg studentby. Dette stemmer godt overens med hva som er presentert i denne rapporten.

Ut fra forsøkene som har blitt utført ser man at det jordarten ved østenden av ballplassen kan defineres som siltig leire. Styrkeparametrene tilsier at jorden har lav/middels plastisitet, middels høy styrke og lite/middels sensitivitet. Jorden er middels fast. Den visuelle undersøkelsen av prøven viste tydelige siltlinser. Dette kan føre til varierende resultater, og kan derfor ikke brukes ukritisk for resten av prosjektområdet.

Selv om det er blitt observert setninger, kan det antas, pga den høye prekonsolideringsspenning fra ødometerprøvene, at jorden er tilstrekkelig stiv. Videre er det fortsatt vanskelig å si om grunnvannstanden påvirker setninger, om utbygging i området påvirker stabiliteten og hvordan dybden er ned til fjell. Pga dette, og utilstrekkelig datagrunnlag, må det utføres videre undersøkelser for å danne et helhetlig bilde av grunnforholdene.

7 Figurliste

Figur 2.1: Prinsipptegning, dreiesondering.....	10
Figur 2.3: Casagrande's flytegrenseapparat	12
Figur 2.5: Treksialrigg	16
Figur 3.1: Dreiesondering, antall 1/2-omdreininger pr. meter for hvert av hullene	18
Figur 3.2: Kornfordelingskurve	20
Figur 3.3: Konsolideringskoeffisienten.....	21
Figur 3.4: Spenning-tøyning	21
Figur 3.5: Deformasjonsmodul	22
Figur 3.6: Tidsmotstand.....	23
Figur 3.7: Avlastningsmodul.....	23
Figur 3.8: Prekonsolideringsspenning.....	24
Figur 3.9: Volumendring i konsolideringsfasen ved 11,30 meter og 11,40 meter	25
Figur 3.10: Spenningssti (NTNU-plot) og friksjon ved 11,30 meter	25
Figur 3.11: Spenningssti (NTNU-plot) og friksjon ved 11,40 meter	26
Figur 3.12: Spenningssti for begge tilfellene (NTNU-plot).....	26
Figur 3.13: Bruddtøyning ved 11,30 meter og 11,40 meter. s_u sees ut fra graf.	27
Figur 3.14: Mobiliseringsgrad, f , ved 11,30 meter og 11,40 meter	27
Figur 4.1: Spenningssti (NTNU-plot) for dybder ned til ca 17 meter.	34

8 Tabelliste

Tabell 0.1: Resultat fra rutineundersøkelsen	3
Tabell 0.2: Resultat fra ødometer- og treksforsøk	3
Tabell 2.1: Sonderingsmotstand (Kilde 6)	11
Tabell 3.1: Vanninnhold og konsistensgrenser	19
Tabell 3.2: Udrenert skjærstyrke	19
Tabell 3.3: Rutinedata.....	20
Tabell 3.4: Vanninnhold og densitet	25
Tabell 3.5: Poretrykkparametre for 11,40 meter.....	26
Tabell 3.6: Poretrykkparametre for 11,30 meter.....	26
Tabell 4.1: Sonderingsmotstand i de to prøvehullene	28
Tabell 4.2: Indekstest - sammenligning mellom rutineundersøkelse og ødometertest	30
Tabell 4.3: Konsolideringskoeffisient - sammenligning, trinnvis og kontinuerlig ødometertest.....	31
Tabell 4.4: Deformasjonsmodul - sammenligning, trinnvis og kontinuerlig ødometertest	31
Tabell 4.5: Overkonsolideringsspenning - sammenligning trinnvis og kontinuerlig ødometertest.....	32
Tabell 4.6: Klassifiseringstabell i forhold til utpresset volum under konsolideringsfasen (Kilde 5).....	33

9 Kilder:

- Kilde 1. Brukerveiledning: Gjennomføring av rutineundersøkelser
Institutt for geoteknikk 2005
- Kilde 2. Håndbok 016, Geoteknikk i vegbygging
Statens Vegvesen
- Kilde 3. Delkompendium, Rutineundersøkelser
TBA 4110 Geoteknikk, materialeegenskaper 2005
- Kilde 4. Delkompendium, Ødometerforsøk
TBA 4110 Geoteknikk, materialeegenskaper 2005
- Kilde 5. Delkompendium, Treaksialforsøk
TBA 4110 Geoteknikk, materialeegenskaper 2005
- Kilde 6. Veiledning for symboler og definisjoner i Geoteknikk, Presentasjon av geotekniske undersøkelser, Melding nr.2
Norsk Geoteknisk Forening 1982
- Kilde 7. NS 8000, Konsistensgrenser
Norsk Standard 1982
- Kilde 8. NS 8005, Kornfordelingsanalyse av jordprøver
Norsk Standard 1990
- Kilde 9. NS 8011, Densitet
Norsk Standard 1982
- Kilde 10. NS 8012, Korndensitet
Norsk Standard 1982
- Kilde 11. NS 8013, Vanninnhold
Norsk Standard 1982
- Kilde 12. NS 8015, Bestemmelse av udrenert skjærstyrke ved konusprøving
Norsk Standard 1988
- Kilde 13. NS 8016 Bestemmelse av udrenert skjærstyrke ved enaksial trykkprøving
Norsk Standard 1988
- Kilde 14. NS 3480 Geoteknisk prosjektering
Norsk Standard 1988
- Kilde 15. Referanseperson: Rolf Sandven
Førsteam./inst.styrer og lærer i faget TBA4110 Soil Investigations ved fakultet for ingeniørvitenskap og teknologi, institutt for bygg, anlegg og transport, Geoteknikk ved NTNU Trondheim 2005
- Kilde 16. Referanseperson: Magnus Rømoen
Vitenskapelig assistent i faget TBA4110 Soil Investigations ved fakultet for ingeniørvitenskap og teknologi, institutt for bygg, anlegg og transport, Geoteknikk ved NTNU Trondheim 2005

10 Vedlegg

- Vedlegg 1. Kvartærgeologisk oversiktskart m/tegnforklaringer
- Vedlegg 2. Situasjonsskart over Dybdalsveg (Dreiesondering og prøvetaking)
- Vedlegg 3. Sonderingsprofil fra dybdalsveg, profil 430 og 920
- Vedlegg 4. Standardskjema for rutineundersøkelser (NTNU-skjema)
- Vedlegg 5. Hydrometeranalyse m/beregningsgrunnlag
- Vedlegg 6. Siktekurve fra hydrometeranalysen
- Vedlegg 7. Oversikt over resultat fra rutineundersøkelse (NTNU-skjema)
- Vedlegg 8. Standardskjema for ødometerforsøk (NTNU-skjema)
- Vedlegg 9. Deformasjoner ved de forskjellige pålastningstrinnene med Taylorkonstruksjon (8 stk)
- Vedlegg 10. Deformasjoner ved de forskjellige avlastningstrinnene (4 stk)
- Vedlegg 11. Konsolideringskoeffisient, c_v
- Vedlegg 12. Tøyningsforløp, ϵ
- Vedlegg 13. Deformasjonsmodul, M , ved pålasting
- Vedlegg 14. Tidsmotstanden – midlere tid ($R = dt/d\epsilon - t_m$), pålastingslasttrinn 1 til 8 (8 grafer)
- Vedlegg 15. Tidsmotstandstillene, r_s
- Vedlegg 16. Deformasjonsmodul, M_s , ved avlasting
- Vedlegg 17. Standardskjema for treaksforsøk (NTNU-skjema)
- Vedlegg 18. Spenningsstier, treaksforsøk 11,30 m, 11,40 m og felles. (3 ark)
- Vedlegg 19. Oversikt over dagens utførte geotekniske undersøkelser i prosjektområde, samt supplerende, fremtidige, undersøkelser (kart)