



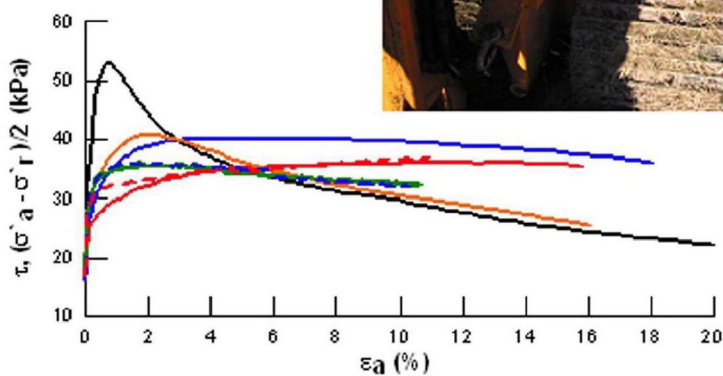
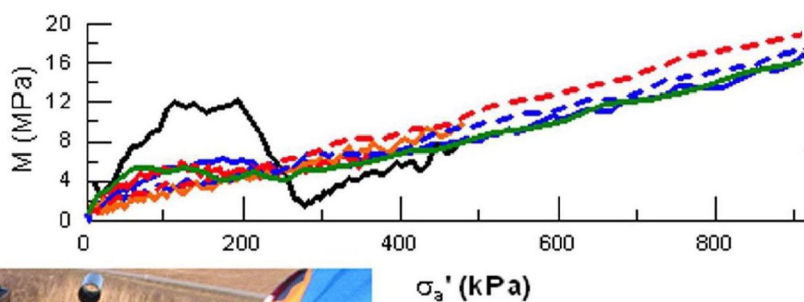
Statens vegvesen

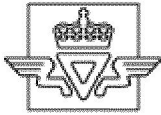
FoU-prosjekt nr. 601369 Kvalitet i felt og laboratorieundersøkelser

RAPPORT

Teknologiavdelingen

Nr: 2425





Statens vegvesen

**Vegdirektoratet
Teknologiavdelingen**

Postadr.: Postboks 8142 Dep
0033 Oslo

Telefon: 22 07 35 00

www.vegvesen.no

TEKNOLOGIRAPPORT nr. 2425

Tittel

**FoU-prosjekt nr. 601369
Kvalitet i felt og laboratorieundersøkelser**

Utarbeidet av

Dr. Mike Long, University College, Dublin,

Knut Hagberg og El Hadj Nouri, Teknologiavdelingen

Dato:

Saksbehandler

Prosjektnr:

2006-04-05

El Hadj Nouri

601369

Kontrollert av

Antall sider og vedlegg:

Jon Brekke

30 og 51 vedlegg

Sammendrag

Opptak av uforstyrrede prøver er et vesentlig element i forbindelse med geoteknisk prosjektering og til å bygge opp erfaringsmateriale for overslagsberegninger. Stempelprøvetaker av type 54 mm NGI med komposittsylinder er i dag det mest benyttede verktøy innen det geotekniske miljøet i Norge for opptak av uforstyrrede prøver. Annet prøvetakingsutstyr som anvendes i spesielle tilfeller er 76 mm og 95 mm NGI stempelprøvetakere med stålsylindere og noen ganger også 250 mm blokkprøvetaker av type Sherbrooke.

Innen det geotekniske miljøet har det over tid vært en diskusjon om kvaliteten på de prøver som tas med 54 mm stempelprøvetaker med komposittsylinder. I denne sammenheng har Statens vegvesen, seksjon for Geo- og tunnelteknikk ved Teknologiavdelingen i Vegdirektoratet satt i gang et forskningsprosjekt for å undersøke ulike sider ved prøvetakingen. I samarbeid med Norges Geotekniske Institutt (NGI), Multiconsult AS og Statens vegvesen, Region sør og Region øst er det utført parallelle opptak av prøver og laboratorieundersøkelser på leirprøver tatt på samme sted i forbindelse med veganlegget Rv. 2 Kløfta – Nybakk ved Hellenen.

Rapporten redegjør for bakgrunnen for prosjektet, valg av prøvested, anvendte prøveprosedyrer og håndtering av boreriggene og prøver, transport til laboratoriet samt analyseresultater fra laboratorieundersøkelsene. Observasjoner av boreriggens og prøveutstyrets tilstand er dokumentert, sammenstilt og kommentert, likeledes anvendte prøvetakingsprosedyrer. Anvendte laboratorieprosedyrer er også kommentert og resultatet av laboratorieanalysene er forsøkt relatert til forhold observert i forbindelse med prøvetakingsarbeidet.

Undersøkelsen viser at det er mulig å ta opp relativt gode prøver med 54 mm NGI prøvetaker med komposittsylinder også sett i forhold til blokkprøver, forutsatt at foreskrevne prosedyrer følges. Resultatene som ble oppnådd fra 76 mm NGI prøvetaker med stålsylinder i denne undersøkelsen var overraskende lave sammenlignet med 54 mm NGI prøvetaker med komposittsylinder. Det er ellers uheldig at tilgjengelig tid til prøvetaking presses ned på grunn av anbudskonkurranse idet faren for prøveforstyrrelse øker med for rask utførelse av arbeidet.

Summary

Emneord:

Blokkprøve, 76mm NGI stempelprøvetaker, 54mm NGI stempelprøvetaker, ødometerforsøk, Treaksialforsøk, Prøveforstyrrelse, Prøvekvalitet, Sensitiv leire

Innhold

1	Innledning.....	3
2	Valg av forsøksstedet	4
3	Generelt om kvartærgeologien i området.....	5
4	Feltarbeid.....	6
5	Observasjon gjort under feltarbeid.....	7
5.1	Muticonsult AS	7
5.2	NGI.....	10
5.3	Statens vegvesen Region sør	12
6	Tilleggsforsøk i borehull 850-3-2	15
7	Laboratoriearbeid prosedyrer	16
8	Laboratoriernes resultater	17
8.1	Indeksparametere fra rutineanalyser	17
8.1.1	Tyngdetetthet γ og vanninnhold w	17
8.1.2	Konsistensgrensene	17
8.1.3	Udrenert skjærstyrke	18
8.2	Ødometerresultater	19
8.2.1	Generelt	19
8.2.2	Spennings – tøyningsoppførsel og stivhet.....	19
8.2.3	Poretrykksutvikling	19
8.2.4	Forkonsolideringstrykk p'_c og OCR	20
8.2.5	M_0 (dvs. M ved σ'_{v0}) og modultall m	21
8.2.6	Konsolideringskoeffisient c_v	21
8.2.7	Vurdering av prøve kvalitet.....	22
8.2.8	Relativ kvalitet av 54 mm prøver	22
8.3	Resultater fra treaksialforsøk	24
8.3.1	Generelt	24
8.3.2	Spennings - tøyningsoppførsel	24
8.3.3	Poretrykksutvikling	25
8.3.4	Spenningsstier	25
8.3.5	Styrketak.....	26
8.3.6	Udrenert skjærstyrke	26
8.3.7	Sammenligning av udrenert skjærstyrke fra forskjellige forsøks typer	26
8.3.8	Tøyning til brudd.....	26
8.3.9	Andre parametere fra treaksialforsøk	27
8.3.10	Vurdering av prøve kvalitet.....	27
8.3.11	Relativ kvalitet av 54 mm prøver	28
9	Konklusjoner	29
10	Referanser.....	31

Vedlegg

Nr 1	Tabell 1	Naturlig vanninnhold
	Tabell 2	Tyngdetetthet
Nr 2		Vanninnhold og tyngdetetthet målt på delprøve og/eller hele sylindren
Nr 3		Vanninnhold og tyngdetetthet målt på ødometerprøve
Nr 4		Vanninnhold og tyngdetetthet målt på treaksprøve
Nr 5	Tabell 3	Flytegrense, plastisitetsindeks og flyteindeks
	Tabell 4	Leirinnhold
Nr 6		Flytegrense og plastisitetsindeks
Nr 7		Flyteindeks og plastisitetsindeks
Nr 8		Innhold av leirfraksjoner
Nr 9	Tabell 5	Udrenert skjærstyrke og tøyning ved brudd
	Tabell 6	Udrenert skjærstyrke – uomrørt og omrørt
Nr 10		Enaksial udrenert skjærstyrke-Resultater
Nr 11		Konus og ving – udrenert skjærstyrke-Resultater
Nr 12-22		Resultater fra alle CRS ødometerforsøk
Nr 23		Prekonsolideringsspenning og overkonsolideringsforhold Janbu
Nr 24		Prekonsolideringsspenning og overkonsolideringsforhold Casagrande
Nr 25		Deformasjonsmodul og modultall
Nr 26		Konsolideringskoeffisient
Nr 27	Tabell 7	s_{uA} og s_{uA}/s_{v0} ved treaksialforsøk og samt bruddtøyning
Nr 28-42		Resultater fra alle treaksialforsøk
Nr 43		Maks skjærstyrke ved treaks og tøyning ved brudd
Nr 44		Normalisert maks. skjærstyrke ved treaks og tøyning ved brudd
Nr 45		Sammenligning av s_u fra forskjellige forsøk
Nr 46	Tabell 8	Poretrykksparametere
	Tabell 9	Prøvekvaliteten til treaksforsøk
Nr 47		Poretrykksparametere
Nr 48		Prøvekvalitet for treaksforsøk
Nr 49	Tabell 10	Prøvekvaliteten til ødometerforsøk
Nr 50		Kvalitet av ødometerprøver
Nr 51		Prosedyrer benyttet ved de involverte laboratoriene

1 Innledning

Statens vegvesen benytter i dag nesten bare NGI 's 54 mm stempelprøvetaker med komposittsylinder til opptak av uforstyrrede leir- og siltprøver.

Kjennskap til jordartens sammensetning og geotekniske egenskaper i forbindelse med vegplanlegging krever at prøvene levert til laboratorieanalyser skal være uforstyrret. Seksjon for Geo- og tunnelteknikk i Vegdirektoratet vet hvor dyrt og teknisk vanskelig det er å ta opp uforstyrrede prøver. Seksjonen har hele tiden fokus på kvalitetssikring av prøvetaking for å sikre at prøvene ikke blir forstyrret.

I det siste har vi hatt episoder hvor prøvene måtte tas på nytt på grunn av at kvaliteten på uforstyrrede prøver levert til laboratoriet var for dårlig. Det har i denne sammenheng oppstått en generell tvil om kvaliteten på prøver tatt med 54 mm stempelprøvetaker med komposittsylinder.

Seksjon for Geo- og tunnelteknikk ved Teknologivdelingen har planlagt og gjennomført et FoU- prosjekt nr. 601369 som har som mål å se nærmere på kvaliteten av felt- og laboratoriearbeid i forbindelse med opptak og analyser av uforstyrrede prøver.

I slutten av 2004 og begynnelsen av 2005 ble tre geotekniske grunnboringsfirma med egne analyselaboratorium engasjert til å delta i dette prosjekt. To av aktørene er private og en fra Statens vegvesen.

Opprinnelig målsetting med dette prosjektet var å sammenligne kvaliteten på uforstyrrede prøver tatt med 3 forskjellige typer borerigger (lett, middels og tung) for å se om dette påvirket laboratorieresultater. Det ble stilt spørsmål om lett rigg ville oppføre seg annerledes enn en tyngre rigg under fortrenkning og skjæring av prøven. I tillegg ble det antatt at operatørene utførte uforstyrret prøvetaking etter det som er beskrevet i NGF meling nr. 11. Vi antok først at prøvetakingen ble utført på samme måte. Ved nærmere oppfølging av feltarbeidet, viste det seg at utførelsen var forskjellig og veldig operatørvhengig.

Rapporten tar med observasjonene i felt, beskrivelse av analyseprosedyrene ved de tre forskjellige laboratoriene og sammenligningen av resultatene.

Vi vil benytte denne anledning til å takke boremannskapene Bjørn Thune, Frank Ekse, Olav Jensen og Anders Snarheim for deres tålmodighet, samarbeid og åpenhet og diskusjon under feltarbeidet. Takk også til Laborarieansvarlige Morten Andreas Sjursen, Staale Kildal, Per J. Indseth og Jan Inge Senneset for deres bidrag til rapporten. En spesiell takk går til GeoCon ved Tor Erik Frydenlund for effektivt arbeid med oversetting og nyttige innspill og diskusjoner.

2 Valg av forsøkssted

Det valgte forsøksstedet for prosjektet ”Kvalitet av felt og laboratorieundersøkelse” Helleren, ligger ca. 35 km nord for Oslo, ca. 2 km øst for Kløfta, langs Rv. 2.



Fig. 1 Beliggenhet av Rv. 2 Kløfta - Nybakk

Nærheten av forsøksfelt til laboratoriene som deltok i prosjektet er en stor fordel. Valg av lokaliteten for prøvetaking ble gjort på grunn av materialtype, avsetningshomogenitet og mektighet. I tillegg til dette har Statens vegvesen, Region øst, i forbindelse med prosjektering av Rv. 2 Kløfta – Nybakk, utført en del relevante in-situ grunnundersøkelser som CPTU og vingeboing. Samtidig ble det tatt opp prøver med 76 mm NGI prøvetaker med stålsylinder en ”Sherbrooke”- prøve av høy kvalitet (blokkprøver $\phi \approx 250$ mm) på samme sted. På disse høykvalitetsprøvene ble det utført en del laboratorieanalyser hvor resultatene kunne brukes til sammenligning.

3 Generelt om kvartærgeologien i området

Dette avsnittet er tatt fra rapport (rapport D-158A nr. 1) som er basert på NGU' s beskrivelser til kartbladene Ullensaker og Kongsvinger.

De løsmassene vi finner i Norge stammer i hovedsak fra siste del av istiden, dvs. at løsmassene i det indre av Østlandet sjelden er eldre enn 9 – 10 000 år. Da isen for 9 -10 000 år siden smeltet bort fra det indre av Østlandet, la den igjen etter seg store mengder løsmateriale. Blant annet førte smeltevannet store mengder materiale ut i fjordene, hvor de groveste fraksjonene (stein, grus og sand) ble avsatt som deltaer ved brefronten eller stranden. De fineste fraksjonene som leire og silt ble ført lenger ut i fjorden/havet, hvor de ble avsatt som til dels svært tykke havavsetninger (bunnavsetninger). På grunn av tyngden av de enorme ismassene som dekket landet under istiden, ble jordskorpen presset ned. Da isen smeltet hevet landet seg igjen, og store områder med finkornede havavsetninger (silt/leire) ble dermed hevet opp over havnivået. Det høyeste nivå havet nådde opp til i et område etter at isen var smeltet bort, kalles marin grense eller MG. I det aktuelle området for Rv. 2 ligger MG på 190 – 200 m o.h., dvs. at alt land lavere enn dette har vært dekket av hav og kan derfor inneholde leiravsetninger.

Tykkelsen på de finkornige havavsetningene, som dekker mer enn 70 % av det området Rv. 2 passerer, varierer fra noen cm til mer enn 60m

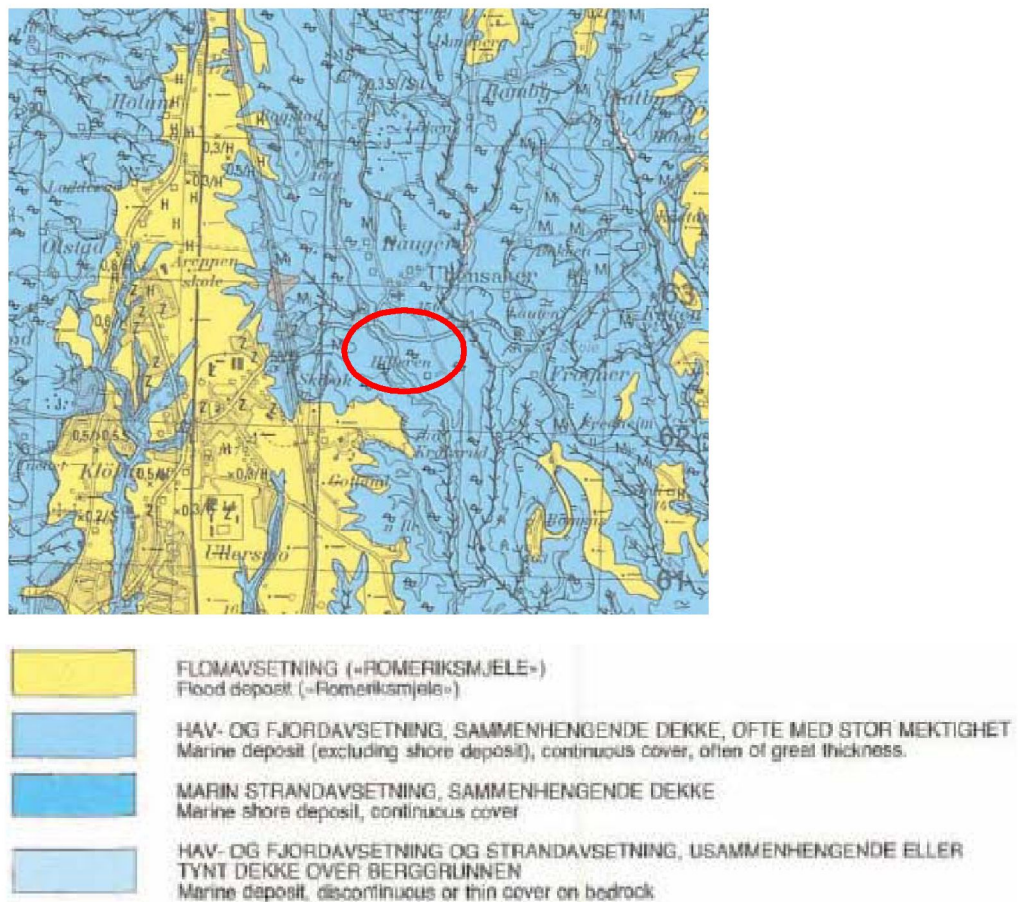


Fig. 2 Utsnitt av kvartærgeologisk kart fra Ullensaker

4 Feltarbeid

Boreplan ble utarbeidet med hensyn til det som ble utført i tidligere grunnundersøkelser. Planen var å ta opp 6 prøveserier à 6 sylindere hver. Prøveseriene fordelte seg i tre nivåer à 2 sylindere for hvert nivå. Prøvene er tatt opp på ca. samme nivåer som tidligere opptatte blokkprøver 250 mm og 76 mm prøver. Lokalisering og benevning av borpunktene ligger mellom profilene 850-48 mH og 850 – 52 mH som skissert i figur 3.

Prøvetaking ble utført i perioden 15. – 26. november 2004. Knut Hagberg og El Hadj Nouri fra Teknologivdeling var tilstede og observerte og dokumenterte anvendt utstyr, prosedyrer og metoder.

Aktørens oppgave var å ta opp 6 stk 54 mm prøver på samme nivåer i 2 borehull (til sammen 12 sylindere). Aktørene har brukt 2 dager hver til å fullføre arbeidet.

Nivåene hvor prøvene ble tatt opp var henholdsvis 5.0 - 5.8 m; 6.0 - 6.8 m; 10.0 - 10.8 m; 11.0 - 11.8 m; 17.0 - 17.8 m og 18.0 -18.8 m.

Formålet med at hver aktør tok opp 2 prøveserier på samme nivå, var for å kunne utføre laboratorieanalysene parallelt i aktørens tilhørende laboratorium og Sentrallaboratoriet til Statens vegvesen.

Begge prøveseriene som Statens vegvesens bormannskap tok opp ble analysert på Sentrallaboratoriet. Disse prøveseriene ble tatt på to ”forskjellige” måter. Den første prøveserie ble tatt opp som vanlig ved å fortrenge prøvetakeren ned til nivået hvor prøven skulle skjæres. Mens den andre prøveserie ble tatt opp etter at hullet ble forboret ned til det nivået hvor prøven skulle skjæres ut. Det ble benyttet en modifisert 75 mm skovl med flat og skarp egg, bilde figur 21. På denne måten var det ikke noe fortrenkning av massen ned til det bestemte nivå hvor prøven skulle skjæres. Samtidig var diameteren til forboret hull større enn 54 mm prøvetakeren. Dette ble gjort for å redusere mulig vakuumbetring som kan oppstå når prøven trekkes opp mot overflaten.

Plassering av de 6 borhullene i dette forsøket med tilhørende benevning var mellom profilene 850-48 mH til 850-52 mH og er skissert på figur 3 og 4.

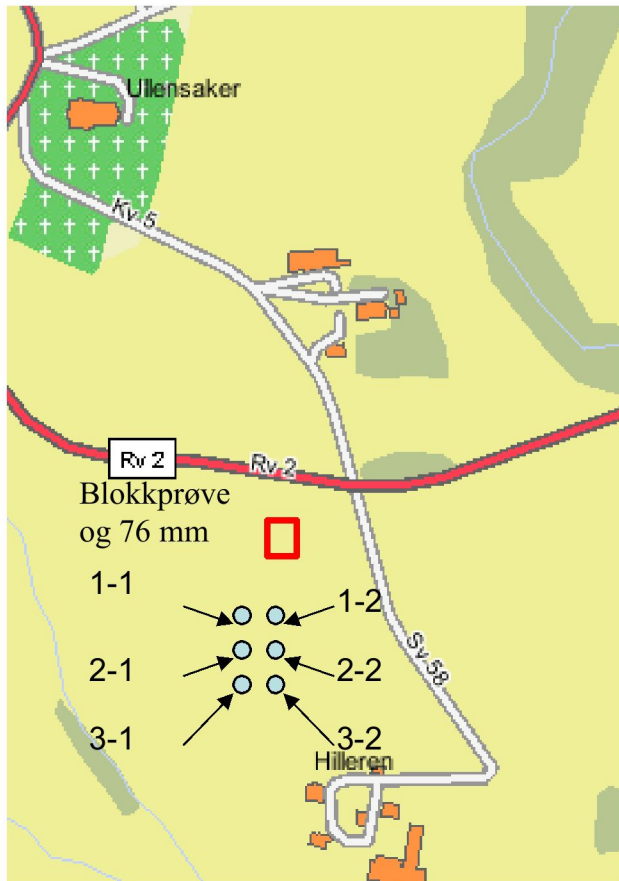


Fig. 3 Skisse av borehull mellom profil 850-48 mH og 850-52 mH.

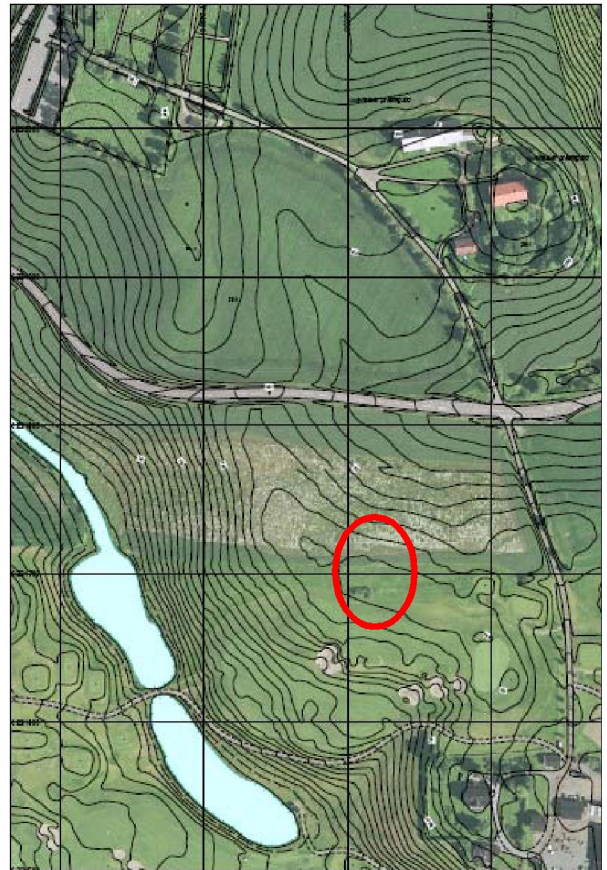


Fig. 4 Kart med koteangivelse (ekvidistanse 1 m)

5 Observasjoner gjort under feltarbeid

Observasjonene som ble notert under prøvetakingsarbeidet kan oppsummeres slik:

5.1 Muticonsult AS

De 2 første borhullene nr. 850-1-1 og nr. 850-1-2 var tildelt Muticonsult AS. Muticonsult AS benyttet som bestilt en lett rigg av type Geotech 604 D med en total vekt på ca. 2.5 tonn. Boreriggen var bemannet med en operatør.

Prøveserie nr. 850-1-1 ble levert laboratoriet til Muticonsult AS. Prøveserie nr. 850-1-2 ble levert til Statens vegvesens Sentrallaboratoriet for analyser.

I henhold til vår visuelle vurdering var epoksytylindrenes kvalitet middels til bra. Tylindrene var rene, men noen hadde noen skader i endene. Det ble kun benyttet slank egg, ingen var skadet.

Boreriggen var utstyrt med en galge for fiksering av stempelstangens posisjon. Galgen kunne kun benyttes etter at stemplet var løst ut. Oppadgående bevegelse som ofte oppstår i utløsningsøyeblikket, kunne ikke hindres av denne type galge, bilde figur 5.



Fig. 5 Galge for fiksering av stempelstang



Fig. 6 Skjæreggen ikke skrudd helt inn

Skjæreggen var ikke skrudd helt inn til dekkørrets kant på de 4 første prøvene. Det manglet ca 5 mm, bilde figur 6, dvs. at prøvesylinderen innvendig i dekkørret fritt kunne bevege seg nevnte 5 mm og prøven eventuelt utvide seg. Under videre prøvetaking ble eggen skrudd helt inn.

Da den fjerde prøvesylinderen skulle tas ut av dekkørret, oppsto det et problem. Operatøren fikk ikke sylindere ut av dekkørret. Dette fordi omrørt leire hadde rent inn mellom dekkørret og prøvesylinderen. For å få sylindere ut, måtte det benyttes en tom sylindere for å presse den fulle sylindere ut av dekkørret, bilde figur 7.

Grunnet dette forhold ble prøvetakeren demontert. Det viste seg da at o-ringen på nedre borehode hadde en skade. Dette førte til at omrørt leire trengte inn mellom dekkørret og sylindere. Forøvrig så det ut til at prøvetakeren var godt vedlikeholdt.

I tillegg viste det seg at leppepakningen i nedre borehode var svært slitt, og ditto pakning i øvre borehode manglet.

For å renskjære prøven i sylindere ble det brukt en skrutrekke til avskjæring. Dette førte til endring i prøvenes tverrsnitt i denne enden, bilde figur 8.

Etter at prøvetakeren hadde kommet over bakkenivå lot operatøren prøvetakeren henge i riggen under avskruing av eggen. Dette syntes å føre til strekk i prøven, bilde figur 9.



Fig. 7 Sylindren satt fast i dekkerøret



Fig. 8 Bruk av skrutrekker til avskjæring



Fig. .9 Prøvetakeren uten skjæreggen henger i riggen



Fig. 10 Strekk i prøven på mer enn 2 x diameteren

Andre observasjoner er oppsummert i nedenstående tabell A.

Profil 850	1-1	1-2	1-1	1-2	1-1	1-2	1-1	1-2	1-1	1-2	1-1	1-2
Dybde	5.0 – 5.8		6.0 – 6.8		10.0 – 10.8		11.0 – 11.8		17.0 – 17.8		18.0 – 18.8	
Galge bevegelse opp (cm)	ca. 3	ca. 5	> 1	ca. 5	< 1	ca. 4	0	-	5	2	5	2
Skjæretid	Det ble brukt mellom 40 til 45 sekunder til å skjære ut prøvene											
Overskjæring	< 1 cm											
Vridning av ja/nei	Ingen av prøvene ble vridd av											
Hviletid	Hviletiden for alle prøvene var 10 min, mens den i hull 1-2, på 11 m var på 25 min.											
Opptrekk tid	5 cm opp og 2 min hvile før videre opptrekk											
Prøveforstyrrelse	10cm*	Ok	**	**	**	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	**	Ok

*: 10 cm av prøven var mistet. Fiksert med gummipropp

** : Prøven var strukket

Tabell A Multiconsult - oppsummering av feltobservasjoner

5.2 NGI

De 2 neste borhullene, i profil nr. 850-2-1 og nr. 850-2-2, var tildelt NGI. NGI benyttet, som bestilt, en middels tung rigg av type GM 100 GTT, med en total vekt på ca. 4.5 - 5 tonn. Boreriggen var bemannet med en operatør.

Prøveserie nr. 850-2-1 ble levert laboratoriet til NGI, og prøveserie nr. 850-2-2 ble levert til Statens vegvesen Sentrallaboratoriet for analyse.

I henhold til vår visuelle vurdering var epoksytylindrenes kvalitet bra til middels bra. Flere av tyllindrene var ikke rengjort, bilde figur 11.

Boreriggen var utstyrt med en galge for fiksering av stempelets posisjon. Galgen kunne kun benyttes etter at stemplet var løst ut. Oppadgående bevegelse som ofte oppstår i utløsningsøyeblikket, kunne ikke hindres av denne type galge, bilde figur 12



Fig. 11 Leirrester i sylinder



Fig. 12 Galge for fiksering av stemplet

Det ble kun benyttet slank egg. Under klargjøring til neste prøvetaking hendte det at hele borestrengen med slank egg hvilte på bunnklemmens bakker, bilde figur 13. Da eggen dessverre ikke ble kontrollert før skjæring av prøven vet vi ikke om dette kan ha skadet eggen.

Under frigjøring av prøvesylinder fra prøvetakeren kan det, hvis bajonettkoblingen ikke blir løst helt ut, hende at stemplet dras ut av sylindere. Dette kan muligens medføre strekk i den ene enden av prøven, bilde figur 14.



Fig. 13 Prøvetaker med slank egg "hviler" på bunnklemmens bakker



Fig. 14 Stempel trukket ut av sylindere under frigjøring

Før påsetting av forseglingskopp ble en prøvesylinder satt ubeskyttet ned på bakken som var dekket med snø. Denne snøen ble ikke fjernet før forsegling, bilde figur 15.

Noen av prøvesynderne ble under føring av borlogg og merkelapper oppbevart i stanglageret mens motoren var i gang (uheldig med vibrasjon), bilde figur 16.



Fig. 15 Prøven ble satt i snøen før forsegling.



Fig. 16 Oppbevaring av full prøvesylinder i stanglageret mens motoren er i gang.

NB! Vi ønsket å demontere prøvetakeren for inspeksjon, men dessverre var ikke operatøren villig til dette. Dermed kan vi ikke uttale oss om dens tilstand og vedlikehold.

Andre observasjoner er oppsummert i nedenstående tabell B.

Profil 850	2-1	2-2	2-1	2-2	2-1	2-2	2-1	2-2	2-1	2-2	2-1	2-2	
Dybde	5.0 – 5.8		6.0 – 6.8		10.0 – 10.8		11.0 – 11.8		17.0 – 17.8		18.0 – 18.8		
Galge bevegelse opp (cm)	ca 2	ca 1	ca 5	ca 2	-	ca 2	ca 5	ca 4	ca 5	ca 2	ca 5	-	
Skjæretid	Det ble brukt mellom 15 til 20 sekunder til å skjære ut prøvene												
Overskjæring	Varierte mellom 2 og 8 cm												
Vridning ja/nei	Ingen av prøvene ble vridning												
Hviletid	5	10	10	10	10	10	10	15	15	35	15	***	
Opptrekk tid	Sakte opptrekk kontinuerlig												
Prøveforstyrrelse	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	**	Ok	Ok	***

** Prøven var strukket bilde fig 13

*** Maskinproblem.

Tabell B NGI - oppsummering av feltobservasjoner

5.3 Statens vegvesen Region sør

De 2 siste borehullene nr. 850-3-1 og nr. 850-3-2, var tildelt Statens vegvesen Region sør. Som bestilt ble det benyttet en tung rigg av type GEONOR GTB 150 med en total vekt på ca. 7.5 tonn. Boreriggen var bemannet med 2 operatører.

Begge prøveseriene ble levert til Statens vegvesen, Sentrallaboratoriet til analyse. Den ene prøveserien ble som vanlig rutine tatt med fortregning, mens den andre ble tatt etter forboring ned til de bestemte nivåene.

I henhold til vår visuelle vurdering var epoksysylindrene av bra kvalitet, sylindrene var rengjort og ble levert med forseglingskoppene påmontert. Dette beskytter sylindrerendene mot transportskade, bilde figur 17.



Fig. 17 Sylindrene rengjort med forseglingskoppene påmontert



Fig. 18 Galge for fiksering av stempelet

Det ble kun benyttet slank egg, ingen var skadet.

Boreriggen var utstyrt med en galge for fiksering av stempelets posisjon. Galgen kunne fikse stempelets posisjon under utløsning, bilde figur 18. Denne galgen hindret oppadgående bevegelse som ofte oppstår i utløsningsøyeblikket.

For å renskjære prøven i sylindren ble det brukt en kniv til avskjæring. Selv ved bruk av kniv førte dette tilsynelatende noen ganger til endring i prøvenes tverrsnitt i denne enden, men dette kan også skyldes strekk i prøven.

Det ble registrert strekk i prøven på 3 stk. sylindere selv om prøvetakeren ble vridd av etter skjæring og før opptrekk, bilde figur 19 og 20.



Fig. 19 Største strekk i prøven på mer enn 2 x diameter som er registrert



Fig. 20 Minste strekk i prøven som er registrert

Andre observasjoner er oppsummert i nedenstående tabell C.

Profil 850	3-1	3-2	3-1	3-2	3-1	3-2	3-1	3-2	3-1	3-2	3-1	3-2
Dybde	5.0 – 5.8		6.0 – 6.8		10.0 – 10.8		11.0 – 11.8		17.0 – 17.8		18.0 – 18.8	
Galge bevegelse opp (cm)	Galgens konstruksjon hindret opp bevegelse											
Skjæretid	Det ble brukt mellom 40 til 45 sekunder til å skjære ut prøvene											
Overskjæring	Nesten ikke noe overskjæring, mindre enn 1 cm											
Vridning av ja/nei	Alle prøvene ble vridd av											
Hviletid (min)	3	30	20	20	4	20	40	18	10	25	20	10
Opptrekk tid	Sakte opptrekk unntatt i hull 3-1, dybde 5-5.8 og 6-6.8m											
Prøveforstyrrelse	**	Ok	**	Ok	Ok	Ok	Ok	**	Ok	Ok	Ok	Ok

** : Prøven var strukket

Tabell C Statens vegvesen, Region sør - oppsummering av feltobservasjoner

6 Tilleggsforsøk i borehull 850-3-2

Under prøvetaking av prøveserie 850-3-2 ble det utført et tilleggsforsøk for å se om dette kunne bidra til mindre prøveforstyrrelse.

Forsøket bestod i å ta i bruk en modifisert skovl, bilde figur 21. I tillegg ble det på prøvetakeren montert 2 slangeklemmer ca. 15 cm bak eggens kant, bilde figur 22.



Fig. 21 Modifisert skovl med flat og skarp spiss til forboring ned til bestemt nivå

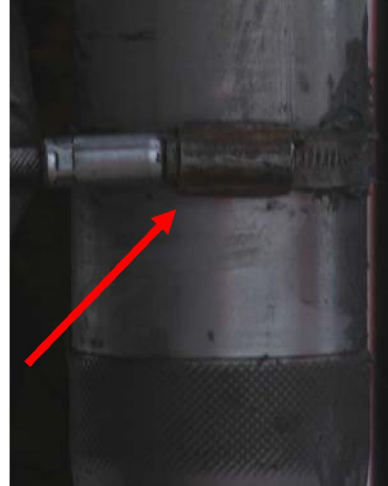


Fig. 22 Slangeklemmer 2 stk montert på prøvetakeren ca. 15 cm fra eggens kant

Hensikten med dette var å se nærmere på:

- om det var noen gevinst i å utvide borehullet (Ø 76 mm)
- høvle ut materialet ned til prøvetakingsnivå for å unngå fortregning
- redusere mulig vakuumbilde som kan oppstå under opptrekk

Før hver prøveskjæring ble det forboret til hvert nivå med den modifiserte skovlen, bilde figur 21, som "høvlet" prøvehullets bunn. Prøvetakeren ble så ført ned til dette nivå uten å foretrengne noe materiale.

Slangeklemmene som var montert utvendig på prøvetakeren, lagde spor/renner i hullveggen under nedpressing/skjæring. Disse renner/spor i hullveggen skulle bidra til at vann og omrørte masser lettere kunne passere mellom prøvetakeren og hullveggen.

Resultatene av dette tilleggsforsøket er kommentert under laboratorieresultater.

7 Laboratoriearbeid prosedyrer

De tre laboratoriene som var med i dette prosjektet fikk i oppdrag å utføre laboratorieanalyser etter følgende plan:

- Visuell beskrivelse
- Densitet/tyngdetetthet
- Vanninnhold
- Udrenert skjærstyrke ved konus- og enaksiale trykkforsøk
- Konsistensgrensene w_L og w_P
- Korngradering
- Ødomterforsøk type CRS
- Treksialforsøk type CAUA, med en K_0 på 0.65, grunnvannstand 4.0 m under terrenget og hydrostatisk fordeling av poretrykk i dybden.

I tillegg til dette har Multiconsult AS fått en ekstra oppgave å bestemme korndensitet ρ_s . Statens vegvesen ved Sentrallaboratoriet fikk en ekstra oppgave med å utføre konus- og enaksialforsøk på prøver nærmest sylinderebene der hvor det var mulig.

En kort beskrivelse av laboratorienes prosedyrer levert av aktørene selv er gjengitt i vedlegg nr 51.

Et sammendrag av hovedforskjellene når det gjelder laboratorieprosedyrer er vist i tabell D.

	Multiconsult	NGI	SVV Region sør
	Treksialforsøk		
Konsolideringstid	2 dager	2 dager	16 – 20 timer
Tøyningshastighet	2 % pr. time	0.7 % pr. time	2 % pr. time
Utvendige filterstriper	Ja	Ja	Nei
Baktrykk	~ 300 kPpa	~700 kPa	In situ poretrykk
	Ødometerforsøk		
Tøyningshastighet	2 % pr. time	0.5 – 0.7 % pr. time	2 % pr. time
Avlasting - pålasting	Nei	Ja	Nei

Tabell D Sammenndrag av hovedforskjellene i laboratorieprosedyrer

8 Laboratorienes resultater

Laboratorienes resultater er samlet/systematisert i tabeller og plottet i grafer slik at de kan sammenlignes innbyrdes og med resultatene fra høykvalitetsprøve (blokkprøve $\varnothing \approx 250$ mm) og 76 mm prøve som er tatt på samme sted og nivåer.

8.1 Indeksparametere fra rutineanalyser

8.1.1 Tyngdetetthet γ og vanninnhold w

Tyngdetetthet og naturlig vanninnhold er vist i tabell 1 og 2 vedlegg nr 1. Disse dataene er vist sammen med verdier bestemt på både 76 mm og 250 mm prøver tatt tidligere på samme sted. Resultatene er fremstilt grafisk i vedlegg nr. 2, 3 og 4 hvor vanninnhold og tyngdetetthet er plottet mot dybden. Dataene og tilhørende grafer er sortert i forhold til prøve/type analyse hvor parametere er bestemt.

Grafene i vedlegg nr 2, 3 og 4 viser noe spredning i resultatene. Det er ikke noen tendens til økning av tyngdetettheten og reduksjon av vanninnhold med dybden som kan være resultatet av forkonsolidering som grunnen har opplevd.

Mellom 5.0 – 6.8 m viser grafene at prøveserie 850-1-1 har tendens til svakt lavere vanninnhold. Dette kan muligens forklare liten poretrykkrespons i prøven ved treaksialforsøk. Tyngdetetthet derimot ligger ganske nær hverandre.

På dyp fra 10.0 – 11.8 m er det litt spredning i vanninnholdet, mens tyngdetetthet viser mindre variasjon i samsvar med variasjon i vanninnholdet.

På de dypeste prøvene, mellom 17.0 og 19.8 m, bortsett fra prøveserie 850-1-2 som viser tendens til lavere tyngdetetthet og høyre vanninnhold, er resten av resultatene ganske nær hverandre og ligger lavere enn den som er målt i blokkprøve.

Målt vanninnhold er nær flytegrensen, men leiren blir ikke kvikk før ca. 17 m dybde.

Det er tilsynelatende større variasjon i dataene fra prøveseriene 850-1-2 og 850-2-2 enn 850-3-1 og 850-3-2.

8.1.2 Konsistensgrensene

Flytegrense, plastisitetss-/ og flyteindeks er oppsummert i tabell 3 vedlegg nr 5 og plottet som grafer i vedlegg nr 6 og 7.

Plastisitetssindeksen I_p viser en tendens til å avta med dybden.

Forskjellen mellom verdiene er 9 % i de grunneste prøvene (5.0 - 6.8 m); 2 % i de mellomste (10.0 – 12.1 m) og ca. 10 % på de dypeste prøvene (17.0 – 19.2 m).

Denne forskjellen kan skyldes forskjellige operatører som utførte plastisitetsgrenseanalysene w_p og hvordan de oppfatter tilstand som tilsier at prøven smuldrer opp. Plastisitetsindeksen ligger mellom 10 og 20 % dvs. i følge Janbu (1970) har vi med en middels plastisk leire å gjøre. Vanninnholdet er i nærheten av flytegrensen som sammen med en noe mager leire (lav plastisitetsindeks) kan bidra til at materialet kan være lett å forstyrre. Flyteindeks $I_L > 1$ betyr at leieren har en åpen struktur (Burland 1990).

Innhold av leirfraksjoner er vist i tabell 4, vedlegg nr 5 og plottet mot dybde i graf, vedlegg nr 8. Leirfraksjonen ligger i hovedsak mellom 30 til 48 % med mindre spredning i de dypeste prøvene. Størrelsen av resterende andel korn ligger innenfor siltfraksjonen.

8.1.3 Udrenert skjærstyrke

s_{ut} ved enaksialt trykkforsøk med tilhørende tøyning er vist i tabell 5, vedlegg nr 9 og plottet i graf, vedlegg nr 10.

s_{uk} uomrørt og s_{uk} omrørt ved konusforsøk og beregnet sensitivitet er oppsummert i tabell 6, vedlegg nr 9 og plottet i graf, vedlegg nr 11.

s_{ut} verdier ligger nesten alle sammen lavere enn $0.3 \sigma'_{v0}$ med en tilhørende bruddtøyning på mer enn 5 % dvs. at de er mer eller mindre forstyrret. Ved sammenligning av resultatene fra de tre forskjellige prøveseriene ser man at s_{ut} verdier fra seriene 850-3 har en tendens til noe mindre spredning og en lavere bruddtøyning.

Enaksialt trykkforsøk utført på delprøver nær sylindere endene har vist lik eller lavere s_{ut} verdier enn de som er utført et stykke unna endene. Resultatene fra prøveserie 850-3-2, med forboring og slangeklemmer, viser at resultatene er nesten like, uavhengig av hvor i prøvestrengen målingen er foretatt. Dette indikerer at forboring i noen grad kan eliminere prøveforstyrrelse. Resultatene er vist i tabell 5, vedlegg nr. 9.

s_{uk} dataene ligger også lavere enn $0.3 \sigma'_{v0}$ og indikerer at prøvene er forstyrret. Sensitiviteten, forholdet mellom uomrørt og omrørt skjærstyrke, S_t ligger mellom 5 – 33 og i noen dype prøver mellom 42 og 58 (135 på blokkprøve). I de dypeste prøvene er det registrert en del variasjon. Ut fra Janbu (1970) kan vi se at vi har med en middels sensitiv leire å gjøre frem til ca. 17 m dybde og derfra blir leiren meget sensitiv.

	850 1-1	Rang ering	850 1-2	Rang ering	850 2-1	Rang ering	850 2-2	Rang ering	850 3-1	Rang ering	850 3-2	Rang ering
s_u (kPa)	30.3	1	22.8	6	27.5	3	20.9	5	29.3	2	26.2	4
ε (%) < 15 %	7	1	11.5	6	10.33	5	9.2	3	7.38	2	9.78	4
Antall forsøk Med $\varepsilon \geq$ 15 %	0 av 4	2	4 av 8	5	0 av 6	1	7 av 12	6	1 av 9	4	1 av 10	3
Generell rangering		1.33		5.67		3.00		4.67		2.67		3.67

Tabell nr. E Oppsummering av resultatene fra enaksialt trykkforsøk.

I tabell nr. E er det gjort en bedømmelse av prøvekvalitet i skala 1 – 6 for s_u -verdier, tøyning ved brudd ε og forsøk der tøyningen ε har vært større enn $\geq 15\%$ (rangering 1 er best og 6 er dårligst). Prøveserie 850-1-1 hadde meget lavt vanninnhold og verdiene i tabell nr. E er derfor ikke representative. Av de øvrige resultatene er forskjellene små, men indikerer at prøveseriene 850-3 oppnår best rangering.

8.2 Ødometerresultater

8.2.1 Generelt

Resultatene fra alle CRS ødometerforsøk er presentert på grafer, vedlegg nr. 12 til 22.

Resultatene er vist ved plott av:

- ε mot σ'_v
- M mot σ'_v
- c_v mot σ'_v
- u_b/σ_a mot σ'_v

hvor:

σ'_v er vertikal effektivspenning

ε er vertikal tøyning

M er deformasjonsmodulen = $\Delta\sigma'_v/\Delta\varepsilon$

u_b/σ_a er forholdet mellom poretrykket ved prøvens bunn og påført totalspenning.

Resultater fra alle forsøkene fra 5.2 m, 6.3 m, 10.3 m, 11.3 m og 18.2 m dybde er vist samlet på grafer fra henholdsvis vedlegg nr 15 til 22. For å kunne undersøke resultatene fra individuelle boreserier så er resultatene fra 850-1, 850-2 og 850-3 seriene i 5.2 m og 10.3 m dybde vist på grafer fra henholdsvis vedlegg nr 12 til 14 og 17 til 19.

8.2.2 Spennings – tøyningsoppførsel og stivhet

Generelt er formen på spennings – tøyningsskurvene typiske for lett overkonsoliderte norske leirer (Janbu og Senneset 1979, Janbu 1985). Ved første pålastning er oppførselen stiv hvorefter stivheten reduseres med en minimumsverdi nær forkonsolideringsspenningen (p'_c) før den gradvis øker igjen ved økende spenning. Denne oppførselen er mest tydelig på blokkprøver med meget høye M verdier mellom naturlig overlagingstrykk p'_0 (eller σ'_{v0}) og p'_c med en markert knekk på M og c_v mot σ'_c .

Studie av grafene vedlegg 12 til 15 og 17 til 19 viser imidlertid at liknende oppførsel, selv om den ikke er like klar, også kan ses på 54 mm prøver, spesielt for 850-3 seriene.

Modultallet m (helning på M mot σ'_v kurven etter p'_c) er klart definert på alle prøvene.

8.2.3 Poretrykksutvikling

Poretrykksutviklingen under forsøk er vist på u_b/σ_a mot σ'_v kurver. Disse dataene ble deretter benyttet til å bestemme c_v . Det er en klar forskjell i verdiene for u_b/σ_a for hver av forsøksseriene, og dette er direkte relatert til forsøkshastigheten som er benyttet ved de ulike laboratoriene. Tøyningshastighetene som er benyttet under forsøkene er vist i tabell F.

Forsøksserie	Lab	Tøyningshastighet (% pr. time.)
850-1-1	A*	1.5 – 2
850-1-2	C	2
850-2-1	B**	0.4
850-2-2	C***	2
850-3-1	C	2
850-3-2	C	2
Blokk	B	0.4
76 mm	B	0.4

- * : Multiconsult laboratorium
- ** : NGI laboratorium
- *** : Statens vegvesen Sentrallaboratorium

Tabell F Sammen drag av tøyningshastigheter ved CRS forsøk

Det fremgår klart av resultatene at der hvor tøyningshastighetene var høyest, dvs. Lab A og C forsøk, så er u_b/σ_a høyere. En tøyningshastighet på 2 % pr. time benyttet av Lab C resulterte i u_b/σ_a verdier på 2 % til 10 % ved spenninger over p'_0 . Dette virker fornuftig. Det virker som om hastigheten benyttet av Lab B var for lav. Det ser imidlertid ikke ut til at denne hastigheten har hatt noen sterk innflytelse på forsøksresultatene generelt sett selv om det kan argumenteres med at verdiene for c_v som er bestemt med denne lave hastigheten kan være mindre pålitelige.

8.2.4 Forkonsolideringstrykk p'_c og OCR

Forkonsolideringstrykket (p'_c) er bestemt ved to metoder nemlig de til Janbu (1970) og Casagrande (1936) og resultatene sammen med utledede overkonsolideringsforhold (OCR) er presentert på henholdsvis vedlegg nr 23 og 24. Med Janbu-metoden har det ikke alltid vært mulig å bestemme p'_c på grunn av at et klart definert minimum M eller c_v punkt mangler. Disse forsøkene er merket ved å plote verdiene som 0-verdi på grafene. Dette synes spesielt å ha vært et problem med prøver fra 850-2 seriene. Noen kommentarer til resultatene er som følger:

- Det tydeligste resultatet fra forsøkene er de betydelig høyere p'_c og OCR verdiene som er oppnådd på prøver tatt med blokkprøvetaker.
- Overraskende er det ikke noen markant forskjell mellom resultatene fra 54 mm og 76 mm prøver.
- Det er ikke noe klart mønster mellom resultatene fra forskjellige 54 mm prøver. Disse vil imidlertid bli analysert mer i detalj nedenfor.
- Janbus fremgangsmåte gir i gjennomsnitt 20 % høyere verdier enn Casagrande metoden. Tilsvarende funn er rapportert av andre (Long og Lunne, 2000) men ofte er de rapporterte forskjellene av størrelsesorden 10 %.
- I henhold til Janbus fremgangsmåte samsvarer disse p'_c med en OCR-verdi på 2.5 til 3 ved 5.5 m dybde avtagende til 1.5 og 2 ved omtrent 11 m og videre ned til 1 ved 18 m dybde.

8.2.5 M_0 (dvs. M ved σ'_{v0}) og modultall m

Verdier for M_0 (dvs. M ved σ'_{v0}) og m er plottet på vedlegg nr 25.

Igjen så er det mest slående resultatet de klart høyere verdiene for M_0 og høyere verdier for m som er oppnådd ved forsøk på blokkprøvene.

Flere forskere har rapportert at prøveforstyrrelser ved sylinderprøvetaking kan redusere M_0 verdiene slik en har funnet her.

Observasjonen at m også er påvirket av sylinderprøvetaking er imidlertid et noe uvanlig resultat. Det virker som prøveforstyrrelse har forårsaket en stivhetsreduksjon i det normalkonsoliderte området og dermed en lavere m verdi.

For 54 mm sylinderprøver så er M_0 relativt konstant med dybden med verdier i området 4 - 6 MPa. Verdiene fra blokkprøvene er nesten det dobbelte av dette.

Verdiene for m fra 54 mm sylinderprøver ligger i området 15 til 23 og disse er typiske for leire med vanninnhold på omtrent 35 % (Janbu, 1985), se vedlegg nr 25. Verdiene fra blokkprøvene ligger i området 26 til 36 og faller utenfor Janbus typiske område, kanskje ikke så oversakende siden den opprinnelige korrelasjonen var basert på sylinderprøver.

Det er ingen klar forskjell mellom resultatene fra de ulike 54 mm prøvene eller 76 mm prøvene.

8.2.6 Konsolideringskoeffisient c_v

Et tilsvarende mønster fremstår for c_v verdier. Verdier for p'_0 og p'_c er vist på vedlegg nr 26 og følgende konklusjoner kan trekkes:

Resultatene fra 54 mm og 76 mm prøver faller typisk innenfor området 7 - 16 $m^2/\text{år}$ som antydnet av Janbu (1985). Ved p'_c vil blokkprøvene generelt gi noe lavere verdier som fremgår av de detaljerte c_v mot σ'_v plottene. Det er tilsynelatende ikke noe klart mønster blant resultatene fra 54 mm og 76 mm prøvene. Blokkprøver viser verdier for c_v ved p'_0 som er nesten dobbelt så høye som for de som er målt på 54 mm eller 76 mm prøver.

8.2.7 Vurdering av prøve kvalitet

I Norge og andre steder er prøve kvaliteten ved ødometerforsøk typisk vurdert ved å bestemme den normaliserte volumendringen ($\varepsilon_{v0} = \Delta V/V_0$) ved belastning til opprinnelig spenningsnivå, p'_0 , eller alternativt til normalisert poretallsendring ($\Delta e/e_0$) ved samme spenning (Andresen og Kolstad, 1979, Lunne et al., 1997). Data fra forsøksserien som drøftes her er presentert på vedlegg nr 47 sammen med kvalitetskriterier som benyttes ved NGI og følgende kan bemerkes:

- Det er liten forskjell mellom de to vurderingsmetodene.
- Prøve kvaliteten for blokkprøver er best og faller innenfor kategoriene “meget god til ypperlig” eller ”god til bra”.
- Unntatt prøvene hentet fra ca. 18 m dybde så faller alle 54 mm prøvene innenfor kategorien “meget god til bra”.
- Kvaliteten på 76 mm prøvene ligner på 54 mm prøvene.
- Det er en generell trend til reduksjon i prøve kvalitet med dybden.

Det er kanskje hensiktsmessig å se på hvilke materialtyper NGI mente disse kvalitetskriteriene skulle anvendes på. Disse var (Lunne et al., 1997, NGI, 2002):

I hovedsak basert på marine leirer med plastisitetindeks i området 10-55 %, vanninnhold 30-90 %, OCR = 1 - 4 og dybder 0 - 25 m under terreng.

Det er klart at leirene fra det aktuelle området faller innenfor anvendelsesområdet.

Disse to vurderingskriteriene er ikke alene tilstrekkelig til å undersøke forskjellene i kvalitet mellom de ulike 54 mm prøvene. Videre analyse av disse dataene er derfor foretatt som vist.

8.2.8 Relativ kvalitet av 54 mm prøver

En detaljert vurdering av 54 mm prøver ble foretatt ved å:

- Velge parametere som har vist seg å være mest følsomme for prøveforstyrrelse (Lunne et al, 1997, NGI, 2002). For ødometerforsøk er disse ε_{v0} , $\Delta e/e_0$, M_0 , m , OCR og c_v ved p'_0 .
- I tillegg ble det vurdert om det var mulig å bestemme p'_c ved bruk av Janbus metode.
- Gjennomsnittsverdien for alle disse parametrene for hver 850 serie ble så sammenlignet med resultatet fra blokkprøver.
- For hver parameter ble det gitt en rangering til 850 seriene, for eks. 850-2-1 har rangering 1 for ε_{v0} siden gjennomsnittsverdien lå nærmest verdien fra blokkprøvene.
- En generell rangering kan deretter bestemmes.

Resultatet av denne analysen er vist i tabell G nedenfor.

	850-1-1	Rangering	850-1-2	Rangering	850-2-1	Rangering	850-2-2	Rangering	850-3-1	Rangering	850-3-2	Rangering	Blokk	76 mm
ε_{v0} (%)	4.78	4	4.4	2	3.55	1	5.93	6	4.58	3	5.7	5	2.95	5.23
$\Delta e/e_0$	0.096	3	0.085	2	0.07	1	0.118	5	0.108	4	0.129	6		
M_0 (MPa)	4.7	6	5.15	4	5.44	1	5.08	3	4.9	5	5.16	2	11.6	5.4
m	18.9	4	17.9	6	20.6	2	20.6	2	18.4	5	22.1	1	30.4	21.4
Janbu mulig?	3 av 4	4	4 av 4	1	4 av 6	5	2 av 6	6	5 av 5	1	5 av 5	1	3 av 3	1 av 3
OCR (Janbu)	1.99	1	1.99	1	1.95	3	1.6	5	1.83	4	1.59	6	2.09	1.85
OCR (Casagr)	1.67	1	1.47	3	1.43	4	1.2	6	1.61	2	1.26	5	1.95	1.26
$c_v \text{ v/ } \sigma'_{v0}$ (m ² /yr)	16.4	1	14.3	3	12.5	5	10.8	6	13.2	4	14.8	2	30.3	11.7
Generell rangering		3.00		2.75		2.75		4.88		3.50		3.50		

Tabell G Detaljert vurdering av ødometerresultater

Forsøksserier 850-1-1 og 850-1-2 har sammenlignbar rangering. Tilsvarende har 850-3-1 og 850-3-2 samme rangering. Forskjellen i rangering for forsøksserie 850-2-1 og 850-2-2 er imidlertid stor. Det er således vanskelig å trekke noen klare konklusjoner når det gjelder prosedyrene ved de ulike laboratoriene, men variasjon i tøyningshastighet kan være en årsak til forskjellene (se tabell D og F).

Med hensyn til ulike boreprosedyrer så virker det som i snitt at 850-1 serien er best fulgt av 850-3 seriene og at 850-2 seriene er dårligst (når en sammenligner prøver kjørt med samme tøyningshastighet).

I henhold til NGI (2002) så er de potensielle konsekvensene av prøveforstyrrelse vist i tabell H. Disse er knyttet til to vesentlige dimensjoneringsparametere, dvs. udrenert skjærfasthet (s_u) og stivhetsmodulen ($M = \text{spenningsendring} / \text{tøyningendring i 1D ødometerforsøk}$).

Prøveklassifisering	s_u (CAUC) % av perfekt prøve	M (σ'_{v0} til p'_c området) % av perfekt prøve
Meget god til ypperlig	> 95	> 90
God til bra	75 – 95	60 – 90
Dårlig	< 75	40 – 60
Meget dårlig	< 50	< 40

Tabell H Virkningen av prøveforstyrrelse på dimensjoneringsparametere for jord (NGI, 2002)

I dette tilfellet så har de beste 54 mm prøvene en gjennomsnittlig M_0 på 49 % i forhold til blokkprøver. Tilsvarende verdier for OCR og m er henholdsvis 95 % og 73 %.

Sammenligning av de beste og dårligste 54 mm prøvene viser at de verste har gjennomsnittlige M_0 , OCR og m verdier som er henholdsvis 86 %, 80 % og 81 % av de beste prøvene.

Dette antyder at diagrammene som er presentert tidligere, og som viser liten forskjell mellom de ulike 54 mm prøveresultatene, kan være villedende.

8.3 Resultater fra treaksialforsøk

8.3.1 Generelt

Resultatene fra alle CAUC treaksialforsøk er vist på vedlegg nr. 28 til 42. Resultatene er vist i form av:

- Deviatorspenning $(\sigma'_a - \sigma'_r) / 2$ mot ϵ_a
- Poretrykk (u) mot ϵ_a
- Spenningssti (MIT eller NGI plot) $\tau' = (\sigma'_a - \sigma'_r) / 2$ mot $\sigma' = (\sigma'_a + \sigma'_r) / 2$

hvor:

σ'_a = effektiv aksialspenning

σ'_r = effektiv radiell spenning

ϵ_a = aksial tøyning

Resultatene fra alle forsøkene ved omtrent 5.3 m, 6.3 m, 10.3 m, 11.3 m, 12.3 m, 17.3 m og 18.3 m dybde er vist på henholdsvis vedlegg nr 28, 32, 33, 34, 38, 39 og 40. For å kunne foreta vurdering av de individuelle prøveseriene så er resultatene fra 850-1, 850-2 og 850-3 ved 5.3 m, 11.3 m og 18.3 m dybde vist på henholdsvis vedlegg nr 29 til 31, 35 til 37 og 41 til 42.

8.3.2 Spennings - tøyingsoppførsel

Noen kommentarer til spennings – tøyingsoppførselen for de ulike prøvene kan oppsummeres på følgende måte:

- Blokkprøvene viser en vesentlig forskjellig oppførsel i forhold til 54 mm og 76 mm prøver. En klar topp fremkommer på $(\sigma'_a - \sigma'_r) / 2$ plottene ved små aksiale tøyninger og etter toppen er det en klar indikasjon på tøyingsøkning for redusert spenning.
- For 54 mm og 76 mm prøvene er det en mer gradvis oppbygging av skjærspenning og største verdi av $(\sigma'_a - \sigma'_r) / 2$ opptrer ved en større tøyning enn for blokkprøvene. Etter toppen er tøyingsøkningen relativt konstant for samme spenning.

Disse observasjonene er som forventet og meget lik resultater som er rapportert av andre, for eks. de klassiske artiklene til La Rochelle og Lefebvre (1971) om kanadisk Champlain leire, Lacasse et al. (1985) og Lunne et al. (1997) om norske leirer, Hight et al. (1992) om Bothkennar leire fra Storbritannia og Tanaka et al. (1996) om Japanske leirer.

8.3.3 Poretrykksutvikling

Når det gjelder spennings – tøyning oppførsel så er det en klar forskjell i utvikling av poretrykk mellom blokkprøvene og alle de andre prøvene. Etter en rask økning i starten viser 54 mm prøvene en nokså gradvis oppbygging av poretrykk og etter ca 2 % aksialtøyning er økningen i poretrykk meget liten og i noen tilfeller er det ingen videre økning. Det kan sies at disse prøvene viser en ”dempet” eller ”undertrykket” poretrykksutvikling.

I motsetning til dette så viser blokkprøvene en vesentlig økning i poretrykk under hele forsøket.

Oppførselen til 76 mm prøver ligger et sted mellom 54 mm prøver og blokkprøver.

8.3.4 Spenningsstier

I henhold til Lunne et al. (1997) for en “perfekt” prøve, hvor den volumetriske tøyningen er minimal, vil spenningsstien (σ' , τ' plot) ha en helning på 3:1 (3 vertikalt og 1 horisontalt) før toppen nås. Alle blokkprøvene viser slik oppførsel og bekrefter at prøvene har beholdt sin opprinnelige struktur og oppfører seg ”elastisk” ved små tøyninger.

For 54 mm prøvene er starten på spenningsstien mer buet og heller mot venstre, noe som kan indikere at materialstrukturen er noe forstyrret. Prøvene tatt med 76 mm prøvetaker viser en spenningssti hvor mønsteret ligger mellom 54 mm prøvene og blokkprøvene. Dette indikerer at etter første belastning så viser alle forsøkene en tendens til kontraktant oppførsel. For blokkprøvene fortsetter denne kontraktante oppførselen inntil bruddsituasjonen er nådd og resultatene er typiske for leirer med beskjeden konsolidering.

For noen av 54 mm prøvene, og spesielt 850-2 seriene, forandrer imidlertid spenningsstien retning og det er en sterk tendens til dilatant oppførsel. Et fåtall andre forskere har funnet liknende oppførsel, dvs. en tilsynelatende reversering av spenningsstien forårsaket av forstyrrelse ved prøvetaking. Dette er sammenfattet av Long (2005):

- NGI ved undersøkelse av den meget siltige Eidsvoldleiren (Karlsrud, 1995, Lunne et al., 1997).
- NGI (Andersen, 2005) har rapportert at tilsvarende oppførsel kan forekomme med 54 mm prøver av mager Drammensleire.
- Seierstad (2000) ved undersøkelse av en annen norsk marine leire, i dette tilfellet en kvikkleire fra Kvenild nær Tiller, like syd for Trondheim.
- Randolph et al. (1999) foreslo en tilsvarende hypotese for å kunne forklare uvanlige spenningsstier for bløte, kalkholdige sedimenter.
- Long (2006) for bløt, lagdelt leire/silt fra sentrale deler av Irland.

Long (2006) konkluderte med at disse effektene kan forekomme, spesielt når leirinnholdet er mindre enn ca 40 % og plastisitetsindeksen er mindre enn 20 %. Det siste er tilfellet med de leirene som undersøkes her.

Hovedeffekten av disse funnene er at udrenert skjærstyrke (s_u) kan bli undervurdert fra laboratorieundersøkelser sammenlignet med blokkprøver.

8.3.5 Styrketak

En linje som representerer Mohr-Coulomb styrketaket for effektiv friksjonsvinkel $\phi = 28^\circ$ og attraksjon $a = 9.5$ kPa (kohesjon $c' = a \cdot \tan\phi' = 5$ kPa) er også plottet på de ulike diagrammene. Spenningsstiene for alle prøvene, inkludert de som viser dillatans, sammenfaller med denne linjen til slutt. Dette indikerer at forstyrrelser på grunn av prøvetaking bare har minimal innflytelse på de effektive styrkeparametrene.

8.3.6 Udrenert skjærstyrke

Udrenerte skjærstyrkeverdier (s_u) er plottet på vedlegg nr 43. Normaliserte data, dvs. s_u normalisert mot in situ effektiv vertikalspenning σ'_{v0} er presentert på vedlegg nr 44. For 54 mm og 76 mm prøvene øker s_u fra omtrent 35 kPa ved 6 m til 40 kPa ved 11 m og 60 kPa ved 18 m. Disse styrkeverdiene samsvarer med normaliserte verdier på henholdsvis omtrent $0.4\sigma'_{v0}$, $0.32\sigma'_{v0}$ og $0.3\sigma'_{v0}$. Det er ikke noe klart mønster med vesentlig høyere s_u verdier for prøvene som hadde en dillatant oppførsel.

Blokkprøveverdiene er høyere i hvert tilfelle i overensstemmelse med formen på spennings – tøyningkurver og spenningsstier som beskrevet ovenfor. Resultater fra 850-3 serien med 54 mm prøver viser s_u verdier nærmest blokkprøveresultatene og 850-2 serien viser de laveste verdiene.

Linjer som representerer $s_u/\sigma'_{v0} = 0.3$ og 0.52 er plottet på vedlegg nr 43 og 44. Disse linjene representerer teoretisk skjærstyrke for leirer med OCR = 1 og 2 (Wood, 1991). Forsøksresultatene følger generelt det mønsteret som er forventet, men i henhold til disse korrelasjonene så skulle materialet ha en OCR som er noe lavere enn det som ble bestemt ved ødometerforsøkene, se vedlegg nr 23 og 24.

8.3.7 Sammenligning av udrenert skjærstyrke fra forskjellige forsøks typer

En sammenligning av s_u verdier bestemt på ulike måter er plottet på vedlegg nr 45. Som forventet gir konus og enaksiale trykkforsøk tilsvarende resultater. Dette er de laveste av alle målte verdier og skyldes for det meste manglende innspenning av prøvene.

I motsetning til dette har treaksialforsøkene CAUA hvor markspenninger er påført, gitt de høyeste s_u verdiene. Dette er et vanlig resultat og skyldes anisotropi i prøven og forskjellige skjæringsmåter/forhold og skjærhastigheter.

8.3.8 Tøyning til brudd

Verdier for tøyning til brudd, ε , er også plottet på vedlegg nr. 43 og 44. Som forventet så viser blokkprøvene de minste verdiene, som er 0.5 % til 0.7 %, mens 54 mm og 76 mm prøver viser meget høye verdier av størrelsesorden 1 % til 4 %. Seks av 54 mm prøvene viser verdier som er høyere enn 8 %. Disse tilsvarer de som hadde en dillatant oppførsel ved skjærpåvirkning.

8.3.9 Andre parametere fra treaksialforsøk

Data fra to andre parametere som kan utledes fra treaksialforsøk, nemlig poretrykksparameteren D og poretrykkskoeffisienten ved brudd [$A_f = \Delta u / (\Delta \sigma'_a - \Delta \sigma'_r)$] er vist på vedlegg nr 46.

Som også denne undersøkelsen klart viser så foreslo Lunne et al. (1997) at den første delen av det vanlige (σ' , τ') spenningsplottet kan være dramatisk påvirket av prøveforstyrrelse. De foreslo at poretrykksparameteren D kan anvendes for å kvantifisere omfanget av forstyrrelse. Dette er definert i følgende ligning:

$$D = \frac{1}{2} \left[\frac{\Delta \sigma'}{\Delta \tau'} - \frac{1}{3} \right]$$

hvor:

$\Delta \sigma'$ = endring i gjennomsnittlig effektivspenning

$\Delta \tau'$ = endring i skjærspenning

De foreslo å bestemme D ved 2/3 av største skjærspenning minus utgangsspenningen og viste at $D = 0$ (ingen dillatans) tilsvarer en linje med helning 3:1 (3 vertikalt og 1 horisontalt). For en perfekt prøve (unntatt for en situasjon nær brudd) skulle en forvente minimal glidning mellom jordpartiklene og derfor kan D ha en verdi nær null.

Verdiene for A_f er minst for blokkprøvene. Resultatene for 54 mm og 76 mm prøvene viser en markert spredning og de fra 850-2 serien har størst spredning.

Data fra det aktuelle prøvestedet er vist i vedlegg nr. 46. Blokkprøvene faller nær den "perfekte" prøveverdien. Noen av de andre prøvene viser samme tendens som blokkprøvene, men de fleste andre prøver viser negative verdier noe som indikerer begynnelsen til kontraktant oppførsel like etter at skjærbevegelsene starter. Dette kan tyde på at prøvene er omstrukturert. Det synes som om 850-2 serien viser de mest negative verdiene, mens verdiene fra 850-3 serien ligger nærmest blokkprøveverdiene.

8.3.10 Vurdering av prøve kvalitet

Som for ødometerforsøkene er prøve kvaliteten vurdert ved å bestemme parameteren $\Delta V/V_0$ eller $\Delta e/e_0$ under belastning til in situ spenning (σ'_{v0} , σ'_{h0}). Data fra forsøksserien som drøftes her er presentert på vedlegg nr. 47 sammen med NGIs kvalitetskriterier i henhold til Kleven et al. (1986) og Lunne et al. (1997). Følgende skal bemerkes:

- Som for ødometerforsøkene er det liten forskjell mellom de to vurderingsmåtene.
- Prøve kvaliteten reduseres generelt med dybden.
- Over 12 m dybde viser 54 mm og 76 mm prøvene en "god til bra" kvalitet. Ved 18 m dybde er de generelt karakterisert som "dårlig".
- I det hele synes kvaliteten for 850-2 serien å være dårligst.
- Det er vanskelig å skille mellom kvaliteten på 850-1 og 850-3 seriene ved bruk av disse prosedyrene.
- Kvaliteten på 76 mm prøvene er mer eller mindre lik 54 mm prøvene.

8.3.11 Relativ kvalitet av 54 mm prøver

Som for ødometerforsøkene er det foretatt en detaljert vurdering av 54 mm prøvene ved å sammenligne gjennomsnittsverdier for et utvalgt antall parametere med de korresponderende blokkprøveverdiene. I dette tilfellet var igjen de valgte parametrene de som anses mest påvirkelige av forstyrrelse ved prøvetaking (Lunne et al, 1997, NGI, 2002), nemlig:

- $\Delta V/V_0$
- $\Delta e/e_0$
- s_u
- s_u/σ'_{v0}
- ε
- A_f
- D
- Om prøven oppfører seg dilatant eller ikke i skjærfasen.

Resultatet av analysen er presentert i tabell I.

	850-1-1	Rang ering	850-1-2	Rang ering	850-2-1	Rang ering	850-2-2	Rang ering	850-3-1	Rang ering	850-3-2	Rang ering	Block	76mm
ε_{v0} (%)	2.15	1	2.49	2	3.88	6	2.75	4	3	5	2.64	3		3.13
$\Delta e/e_0$	0.045	1	0.051	2	0.078	6	0.057	4	0.06	5	0.053	3		0.061
s_u (kPa)	42.4	5	41.3	6	44.6	3	46	1	46	1	44.4	4	59.3	47.7
ε_f (%)	3.55	4	2.13	2	5.2	6	4.63	5	3.3	3	1.7	1	0.63	1.43
s_u/σ'_{v0}	0.372	1	0.355	2	0.312	5	0.321	6	0.349	3	0.336	4	0.403	0.319
A_f	0.72	2	0.77	4	1.06	6	0.81	5	0.64	1	0.75	3	0.38	0.71
D	-0.29	5	-0.19	3	-0.5	6	-0.22	4	-0.11	2	-0.09	1	-0.09	-0.29
Dilatasjon	1 av 4	3	0 av 4	1	1 av 6	3	3 av 6	6	1 av 5	3	0 av 5	1	0 av 3	0 av 3
Generell rangering		2.75		2.75		5.13		4.38		2.88		2.50		

Tabell I Detaljert vurdering av treaksialresultater

Hvert par med forsøksserier, for eks. 850-1-1 og 850-1-2 har meget lik rangering. Dette indikerer at virkningen av forsøksutførelse i ulike laboratorier har liten betydning for treaksialforsøk og at de fleste avvikene antagelig kan tilbakeføres til ulike boreprosedyrer.

Når det gjelder ulike boreprosedyrer ser det ut til, slik det fremgår av diskusjonen om ulike parametere at kvaliteten av 850-2 serien er dårligst. Det er liten forskjell på 850-1 serien og 850-3 serien.

Gjennomsnittlige s_u verdier for de beste 54 mm prøvene er omtrent 78 % av verdiene målt på blokkprøver.

Som det ble vist i tabell nr. G (NGI 2002) er dette i overensstemmelse med at 54 mm prøvene faller innenfor kategoriene “god til bra” og “dårlig”. Det er også verdt å merke seg at de dårligste 54 mm prøvene har en s_u på i gjennomsnitt 70 % av verdiene for blokkprøvene, noe som bekrefter at det er en betydelig forskjell mellom de forskjellige 54 mm dataseriene.

9 Konklusjoner

Foreliggende datasett gir et godt grunnlag til å kunne vurdere effekten av observerte prøvetakingsprosedyrer med 54 mm stempelprøvetaker og komposittsylinger.

Når prøver tatt med samme borerigg analyseres i ulike laboratorier så er analyseresultatene relativt like, som indikerer at forskjellene mellom datasettene mer skyldes boreprosedyrer enn analyserutiner. Forskjeller i tøyningshastighet og konsolideringstid kan likevel ha gitt noen variasjoner.

Blokkprøvene er vesentlig bedre enn 54 mm og 76 mm prøver, og viser vesentlig forskjellig oppførsel, noe som indikerer behov for innskjerping at foreliggende standard boreprosedyrer med stempelprøvetakere følges.

Resultatene fra 76 mm prøver er skuffende. Siden disse prøvene ble tatt opp før de aktuelle forsøksserier så er det ingen tilgjengelig informasjon om prøvetakingsprosedyrene som ble fulgt eller stålsylindrenes tilstand. Årsaken til at Statens vegvesen besluttet å benytte 54 mm prøvetakere med komposittsylinger for ca 30 år siden var at stålsylindrene lett ble skadet (skjæreggen og sylindrerform) kanskje allerede etter første prøvetaking.

Av 54 mm prøveseriene er 850-2 serien klart dårligst.

Det er vanskelig å skille mellom prøveseriene 850-1 og 850-3.

Der er mindre vanskelig å skille mellom prøveseriene 850-3-1 og 850-3-2

Resultatene viser at det er mulig å ta relativt gode prøver med 54 mm stempelprøvetaker og komposittsylinger ved vanlige grunnundersøkelser. Dette krever at prøvetakingsprosedyrene angitt i melding nr. 11 fra NGF og/eller Statens vegvesen, Håndbok 015 Feltundersøkelser følges. Videre viser denne undersøkelsen at det må legges spesiell vekt på følgende forhold:

- Boreoperatørens kompetanse er vesentlig og han må ha informasjon om hva prøvene skal benyttes til og krav til prøvekvantitet i relasjon til de analyser som utføres i laboratoriet.
- Det er vesentlig å ha en anordning med galge som sikrer at innerstangen holdes i posisjon ved utløsning av stempel.
- Skjæreggen må være i uskadet stand ved prøveskjæring. Dette må kontrolleres for hvert prøveopptak.
- Gode rutiner for rengjøring og vedlikehold av prøvetakeren må etterleves. Defekte deler må erstattes.
- Overskjæring av prøver må unngås
- Kun rengjorte og uskadede komposittsylinger skal benyttes til uforstyrret prøvetaking.
- Når prøvetakeren er tatt opp, må bajonettkoplingen løses helt fra for å unngå eventuelle strekk i prøven. Videre må prøvetakeren legges på et horisontalt underlag før eggen skrues av.

- Prøven må ikke på noe tidspunkt mellomlagres på borerigg med motor i gang da vibrasjoner kan medføre prøveforstyrrelse.
- Renskjæring av prøven i enden av komposittsylinderen kan utføres med kniv, men helst med trådsag.

Spesiell forsiktighet må også utvises ved transport, lagring og håndtering av prøvene i laboratoriet.

Kvalitetssikring ved prøvetaking og prøveanalyser avhenger av boreoperatøren, transportøren og laboratoriepersonalet. Hvert ledd i denne kvalitetskjeden må fylle oppsatte krav, hvis ikke blir resultatet dårlige dimensjoneringsparametere.

10 Referanser:

1. ANDRESEN, A. & KOLSTAD, P. The NGI 54-mm Samplers for Undisturbed Sampling of Clays Representative Sampling of Coarser Materials ISSS Singapore (1979)
2. ANDERSEN, K. (2005). Personal Communication to M. Long
3. BURLAND, J. B. (1990). On the Compressibility and Shear Strength of Natural Clays. *Géotechnique* 40, No. 3, 329-378
4. CASAGRANDE, A. The Determination of the Pre-Consolidation Load and its Practical Significance. *Proceedings of the International Conference on Soil Mechanics and Foundation engineering june 22 to 26 1936*
5. HIGHT, D.W., BÖESE, R., BUTCHER, A.P., CLAYTON, C.R.I., AND SMITH, P.R. Disturbance of Bothkennar Clay Prior to Laboratory Testing. *Géotechnique*, 1992, **42**, No. 2, 199 - 217.
6. JANBU, N. Soil Compressibility as Determined by Oedometer and Triaxial tests. *Proc. ECSMFE, Wiesbaden*, 1 (1963), 19-25
7. JANBU, N. (1970) Grunnlag I Geoteknikk Tapir press
8. JANBU, N. Soil Models in Offshore Engineering. *Geotechnique*, 35, 3, 241-281.(1985)
9. JANBU, N. & SENNESET, K. Interpretation Procedures for Obtaining Soil Deformation Parameters, ECSMFE, Brighton, Vol.1, 186-188.
10. KARLSRUD, K. Prøveforstyrrelse – siltig leire, *In Proceedings Norwegian Geotechnical Society Geoteknikkdagen*, 1995, October, 27.
11. KLEVEN, A, LAKASSE, S.& ANDRESEN, K. H. (1986) Found. Eng. Criteria for Gravity platforms. Soil Param. For Off Fond Design, Part 2, NGI Report 40013-34, April.
12. LONG, M. (2006) Sample disturbance effects on medium plasticity clay / silt. *ICE Geotechnical Engineering Vol 159*, 2, 99-111.
13. LONG, M. & LUNE, T. (2000 Estimation p_c' of clays using blocksamples *Int. Conf. GeoShore*, Mumbai, India, Pee, pp 157-162
14. LONG, M. Sampling disturbance effects in soft laminated clays. *Proc. Inst. Civ. Eng., Gotech. Eng.*, 2003, **156**, October, 213 - 224
15. NORWEAGIAN GEOTECHNICAL INSTITUTE, 2002. Geotechnical optimization of seabed sampler – criteria for sampler design. NGI Report 20021239-1, dated 21 October 2002. NGI, Oslo.
16. LA ROCHELLE, P. and LEFEBVRE, G. Sample disturbance in Champlain clays. *ASTM STP 483, Sampling in Soil and Rock*, 1971, 143 - 163.
17. LACASSE, S, BERRE, T & LEFEBVRE, G. Block sampling of sensitive clays. *Proc. XIth ICSMFE*, San Francisco, **2**, 1985, 887 - 892.
18. LUNNE, T., BERRE, T. & STRANDVIK, S. Sample disturbance effects in soft low plasticity Norwegian clay. *Proc. Sym. on Recent Developments in Soil and Pavement Mechanics*, Rio de Janeiro, 1997, 81 - 92. Published by Balkema.
19. RANDOLPH, M.F., WATSON, P.G. and FAHEY, M. Site characterisation and foundation design in soft sediments. *In Proceedings of the International Conference on Offshore and Nearshore Geotechnical Engineering*, Navi Mumbai, India, 2- 3 Dec. 1999, *Edited by Singh and Lacasse*, ISBN 81-204-1396-2, 35 - 47.
20. SEIERSTAD, H-H. Prøveforstyrrelse i leire vurdering av Ø75 mm stempelprøvetaker. *Diploma thesis, NTNU Trondheim*, Autumn, 2000.

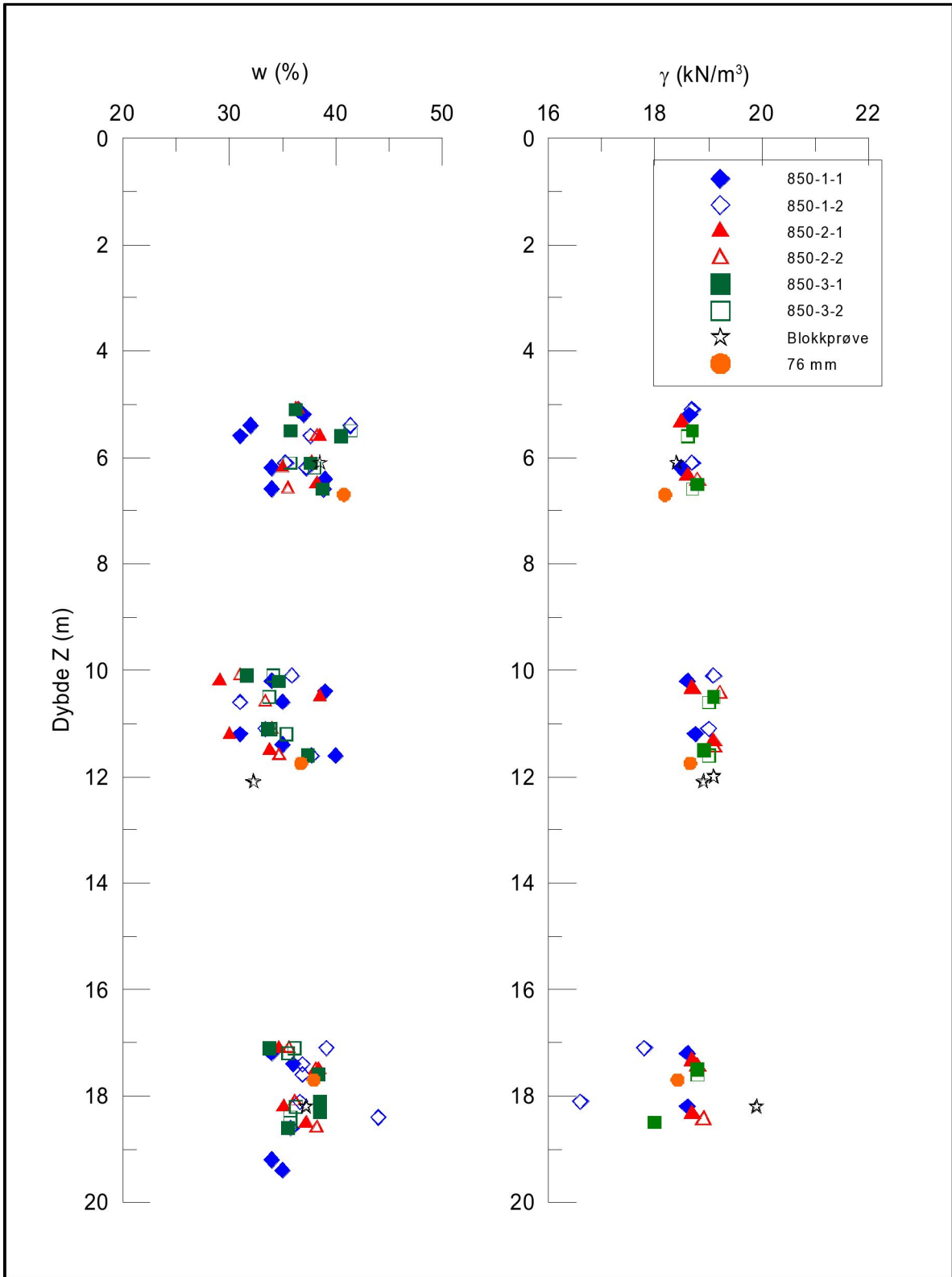
21. TANAKA, H., SHARMA, P., TSUCHIDA, T. & TANAKA, M. Comparative study on sample quality using several different types of samplers. *Soils and Foundations*, 1996, **36**, No. 2, 67 - 68.

Dybde	5,0 – 5,8			6,0 – 6,8			10,0 – 10,8			11,0 – 12,1			17,0 – 17,8			18,0 – 18,8		
	D	Ø	T	D	Ø	T	D	Ø	T	D	Ø	T	D	Ø	T	D	Ø	T
Hull																		
1 – 1	37	33,4	30,4	34	34	35,6	34	33,2	32,8	31	31,9	34,1	34			34		
	32			39			39			35			36					
	31			34			35			40								
1 – 2	36,5	40,7	36,2	35,3	40	36,2	35,9	43,7	33,9	39,1	32,6	38,8	39,1			36,6		
	41,4			37,3			31			36,9			36,7			44		
	37,6			38,9			36,9			36,9			36,9			35,8		
2 – 1		38,5	36,5	35	38,2	36,4	29,1	41,9	39,4	30	28,9	32,8	34,7	37,5	33,9	35,1	35,5	36,3
				38,2			38,5			33,8			38,4			37,2		
2 – 2		36,8	36		37,7	38,1		29,2	36,6		39,5	34,2	38,1	36,6	38,5		38,5	35,9
3 – 1	35,8	39,5	38,2		39,8	37,9	34,7	39,1	39,8		32,8	34,3			37,7	18,3		
3 – 2	41,4	38,5	40,4	38	37,6	36,6	33,7	43,1	37,6	35,4	33,8	37,6	35,5	39	38,8	36,3		
Blokk											32	32,2						
76mm					43,6	40,7					34,1	36,7				37,2	36,1	37,9


Tabell nr. 1 Vanninnhold w (%) bestemt på delprøve hvor en aksialt / konusforsøk er utført (D), ødometerprøve (Ø) og treaksialprøve (T)

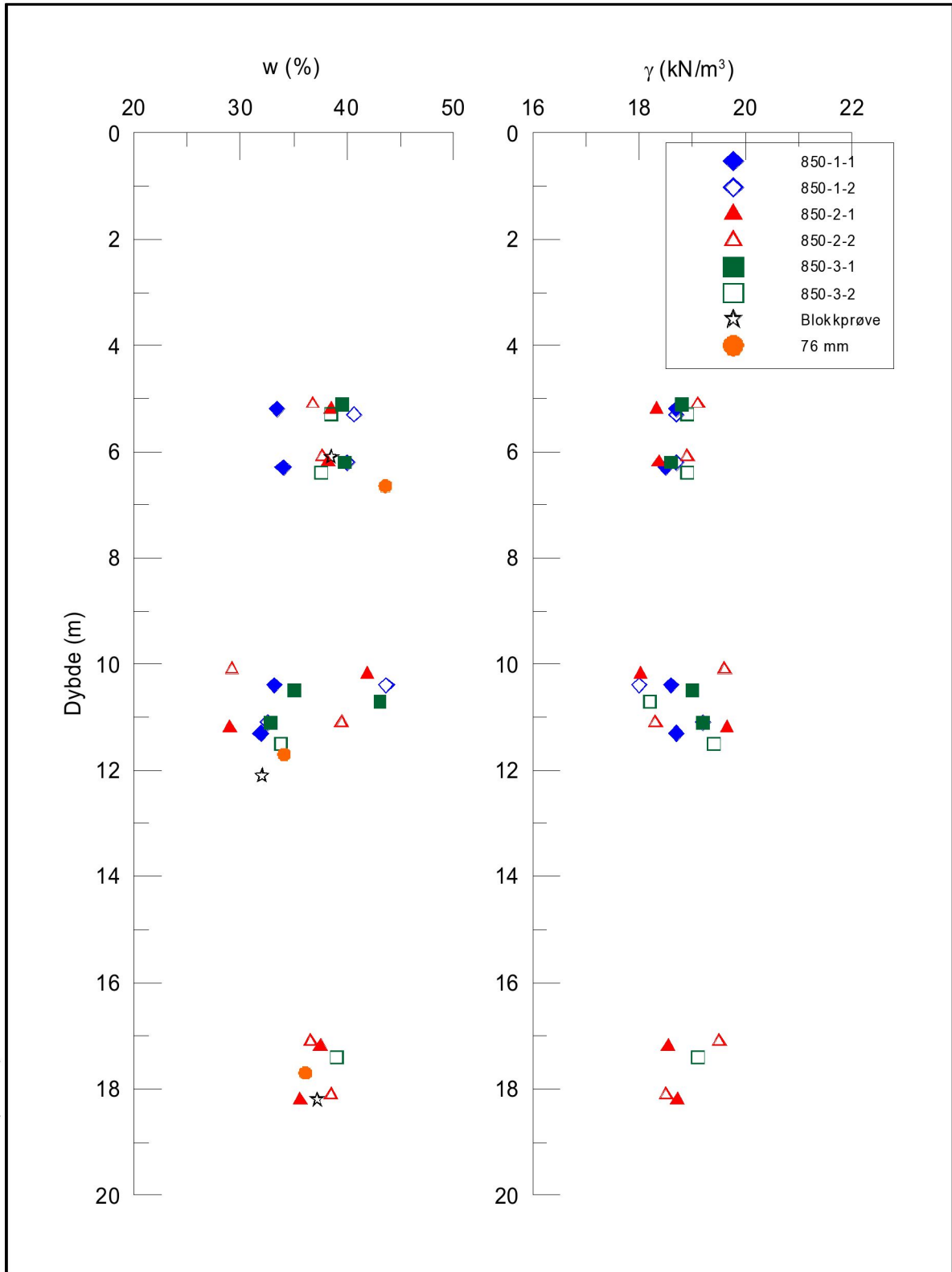
Dybde	5,0 - 5,8 m			6,0 – 6,8 m			10,0 – 10,8 m			11,0 – 11,8 m			17,0 – 17,8 m			18,0 – 18,8 m		
	H	Ø	T	H	Ø	T	H	Ø	T	H	Ø	T	H	Ø	T	H	Ø	T
Hull																		
1 – 1		18,7	19,2		18,5	18,9		18,6	19,2		18,7	19,2						
1 – 2	18,2	18,7	19,2	18,7	18,7	19,2	19,1	18	19,5	19	19,2	18,9	17,8			16,6		
2 – 1		18,3	18,6		18,4	18,6		18,0	18,2		19,6	19,1		18,5	19		18,7	18,5
2 – 2	18,5	19,1	19,4	18,8	18,9	19,1	19,2	19,6	19,2	19,1	18,3	19,5	18,8	19,5	19	18,9	18,5	19,4
3 – 1	18,7		19	18,8		19	19,1		18,8	18,9		19,1	18,8		18,9	18		
3 – 2	18,6		18,7	18,7		19,1	19		19,1	19		19,1	18,8		19	18,8		
Blokk					18,4	18,2					19,2	18,9					18,7	18,8
76mm						18,4					18,9							18,4

Tabell nr. 2 Tyngdetetthet γ (kN/m³) bestemt på hele sylindere (H), ødometerprøve (Ø) og treaksialprøve (T)




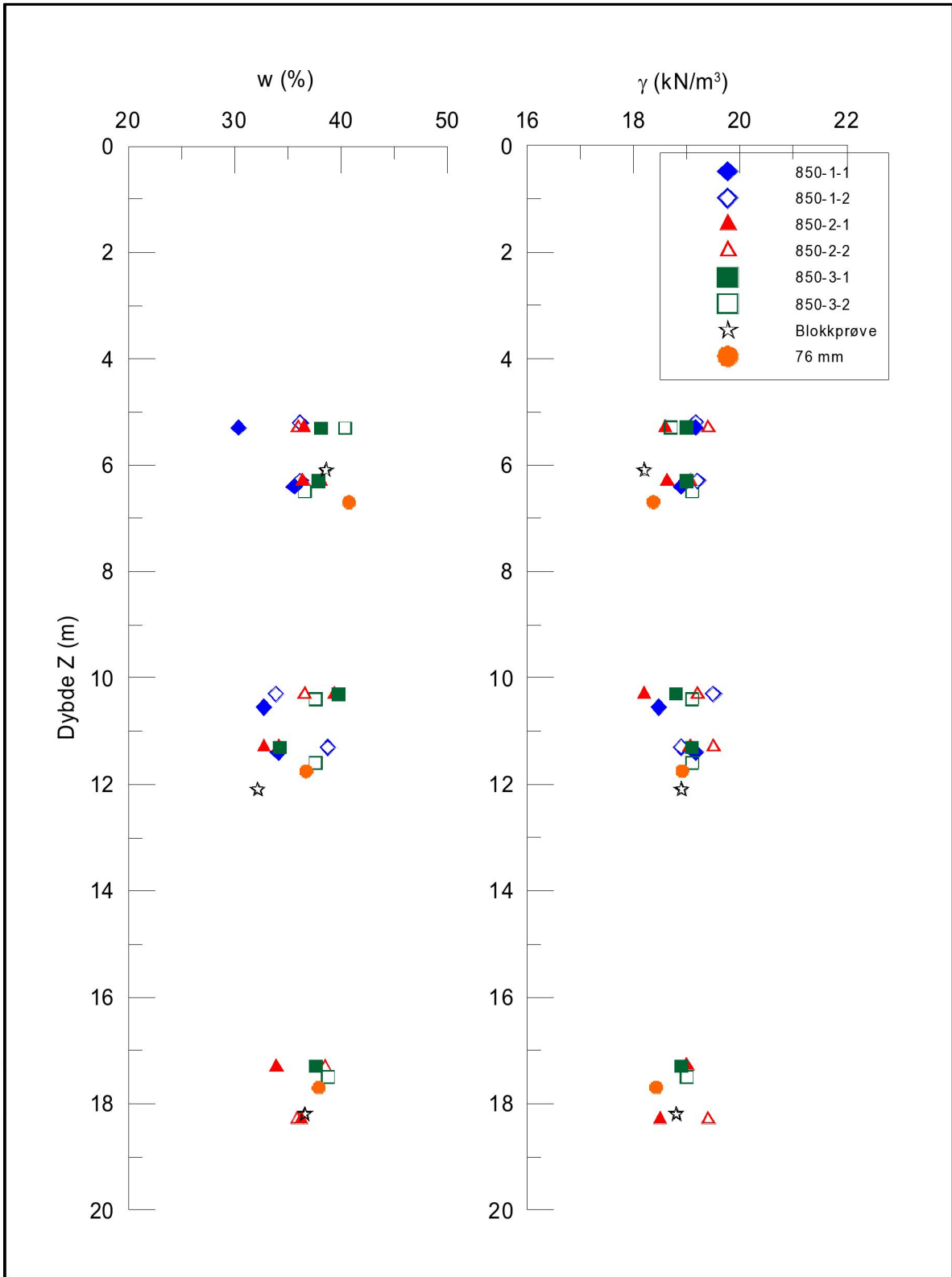
C:\Documents and Settings\nour\Mine dokumenter\Rv2\plott\w&γ\pādelprøve

 Statens vegvesen	FoU prosjekt - Rv. 2 Kløfta - Nybakk - Profil 850	Teknologirapport 2425
	Vanninnhold og tyngdetetthet målt på delprøve og/eller hele sylindren	
	Dato 2006-01-04 Figur 2	




C:\Documents and Settings\nour\Mine dokumenter\Rv2\plottw&\fra\ØDO

 Statens vegvesen	FoU prosjekt - Rv. 2 Kløfta - Nybakk - Profil 850	Teknologirapport 2425
	Vanninnhold og tyngdetetthet målt på prøver hvor ødometerforsøk er utført	
	Dato 2006-01-04 Figur 3	



C:\Documents and Settings\nour\Mine dokumenter\Rv2\plott\w&γ\fraTRKS

 Statens vegvesen	FoU prosjekt - Rv. 2 Kløfta - Nybakk - Profil 850	Teknologirapport 2425
	Vanninnhold og tyngdetetthet målt på prøver hvor treaksialforsøk er utført	
		Dato 2006-01-04
		Figur 4

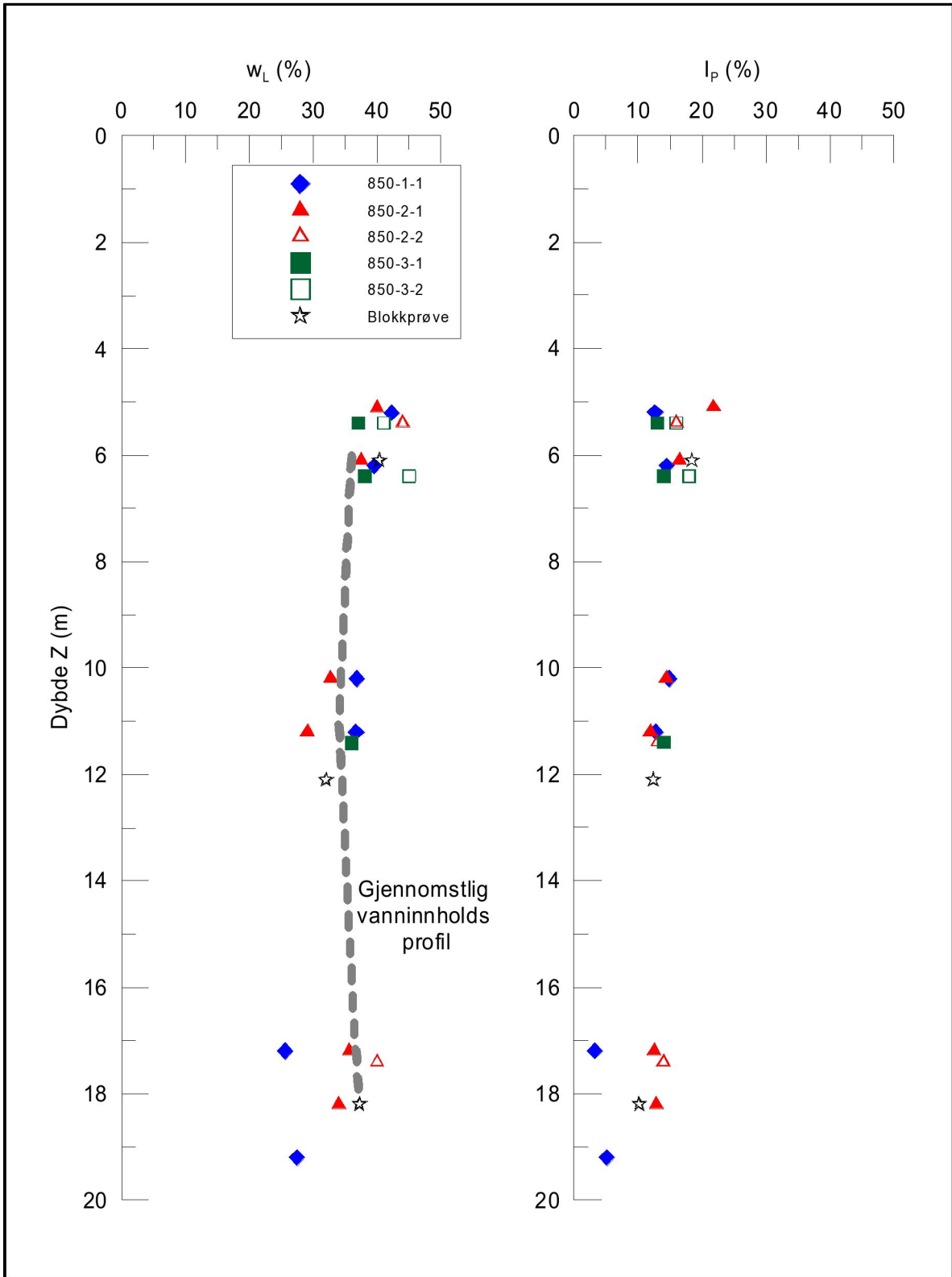
Dybde	5,0 - 5,8 m			6,0 - 6,8 m			10,0 - 10,8 m			11,0 - 12,1 m			17,0 - 17,8 m			18,0 - 19,2 m		
	w _L	I _p	I _L	w _L	I _p	I _L	w _L	I _p	I _L	w _L	I _p	I _L	w _L	I _p	I _L	w _L	I _p	I _L
Hull	42,2	12,7	0,55	39,6	14,5	0,84	36,8	14,9	0,94	36,7	12,8	0,74	25,6	3,2	2	27,5	5,1	2
1 - 1	40	21,8	0,84	37,5	16,5	0,85	32,8	14,4	0,74	29,1	11,9	1,08	35,7	12,5	0,92	34	12,9	1,09
2 - 2	44	16	0,64	36	13	0,9	40	14	0,86									
3 - 1	37	13	0,91	38	14	1,04	36	14	1,1									
3 - 2	41	16	1,03	45	18	0,61												
Blokk				40,3	18,4	0,90				32,0	12,4	1,02				27,8	7,9	1,0

Tabell nr. 3 Resultatene fra flytegrense w_L (%), Plastisitetindeks I_p (%) og flyteindeks I_L (%)


Dybde	5,0 - 5,8 m			6,0 - 6,8 m			10,0 - 10,8 m			11,0 - 11,8 m			17,0 - 17,8 m			18,0 - 18,8 m		
	Leire	Silt	I _L	Leire	Silt	I _L	Leire	Silt	I _L	Leire	Silt	I _L	Leire	Silt	I _L	Leire	Silt	I _L
Hull	46	54	54	43	57	39	61	63	63	37	63	57	43	57	40	40	60	60
1 - 1 *	36	64	30	34	66	30	70	58	58	42	58	58	42	58				
1 - 2 **	48	52	42	40	60	42	58	68	68	32	68	57	43	57	44	44	66	66
2 - 1 *	38	52	38			38	52	68	68	32	68	55	45	55				
2 - 2 *	41	59	43	38	42	43	57	70	70	30	70	67	33	67				
3 - 1 *	45	55	39	34	66	39	61	65	65	35	65	58	42	58				
3 - 2 *				45,9						33,2								
Blokk **																		

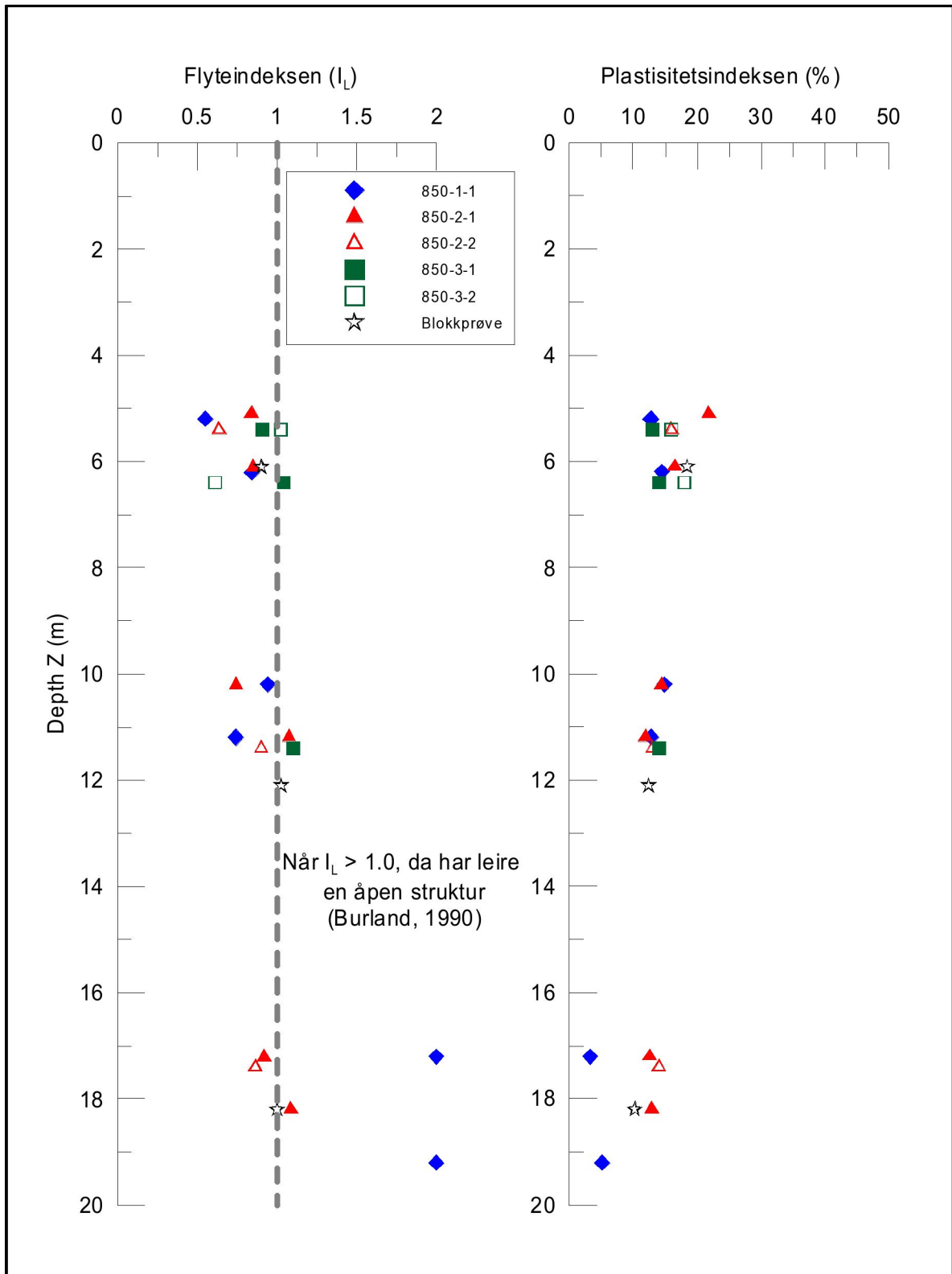
Tabell nr. 4 Leirinnhold (%),

- * : analyse utført ved bruk av hydrometer,
- ** : analyse utført ved bruk av ”falling dropp”




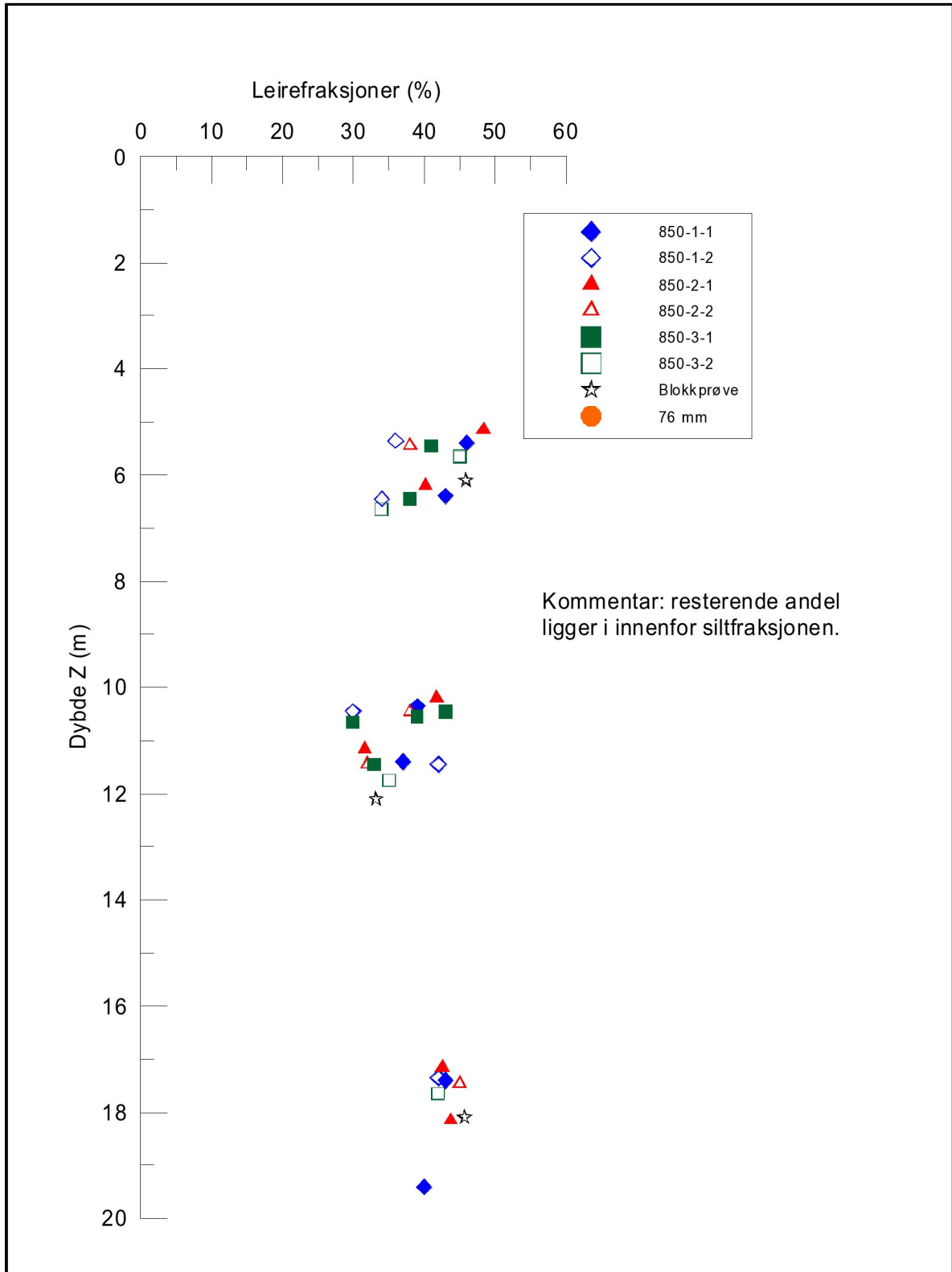
C:\Documents and Settings\nour\Mine dokumenter\RV2\plot\LL\Log\PI

 Statens vegvesen	FoU prosjekt - Rv. 2 Kløfta - Nybakk - Profil 850	Teknologirapport 2425
	Flytegrensen og plastisitetsindeksen	
	Dato 2006-01-04	
		Figur 6



C:\Documents and Settings\nour\Mine dokumenter\Rv2\plot\I_Log\PI

 Statens vegvesen	FoU prosjekt - Rv. 2 Kløfta - Nybakk - Profil 850	Teknologirapport 2425
	Flyteindeksen og plastisitetsindeksen	
	Dato 2006-01-04 Figur 7	



C:\Documents and Settings\nour\Mine dokumenter\Rv2\plot\leire

 <p>Statens vegvesen</p>	<p>FoU prosjekt - Rv. 2 Kløfta - Nybakk - Profil 850</p>	<p>Teknologirapport 2425</p>
	<p>Innhold av leirfraksjoner</p>	<p>Dato 2006-01-04</p>
		<p>Figur 8</p>

Dybde	5,0 - 5,8 m			6,0 - 6,8 m			10,0 - 10,8 m			11,0 - 11,8 m			17,0 - 17,8 m			18,0 - 18,8 m			
	S _{ut} *	S _{ut} **	ε _t *	S _{ut} *	S _{ut} **	ε _t *	S _{ut} *	S _{ut} **	ε _t **	S _{ut} *	S _{ut} **	ε _t *	S _{ut} *	S _{ut} **	ε _t **	S _{ut} *	S _{ut} **	ε _t **	
1 - 2	14	27	15	12	25	12	21	22	15	18	15								
2 - 2	24	34	15	8	14	23,8	18	30	15	13	15	14	10	30	15	8	13	25	15
3 - 1	35	35	7	6	25	20	29	31	8	32	24	8	15	33	8				
3 - 2	30	30	10	8	25	28	23	29	15	28	10	10	28	28	30	10	10	11	12

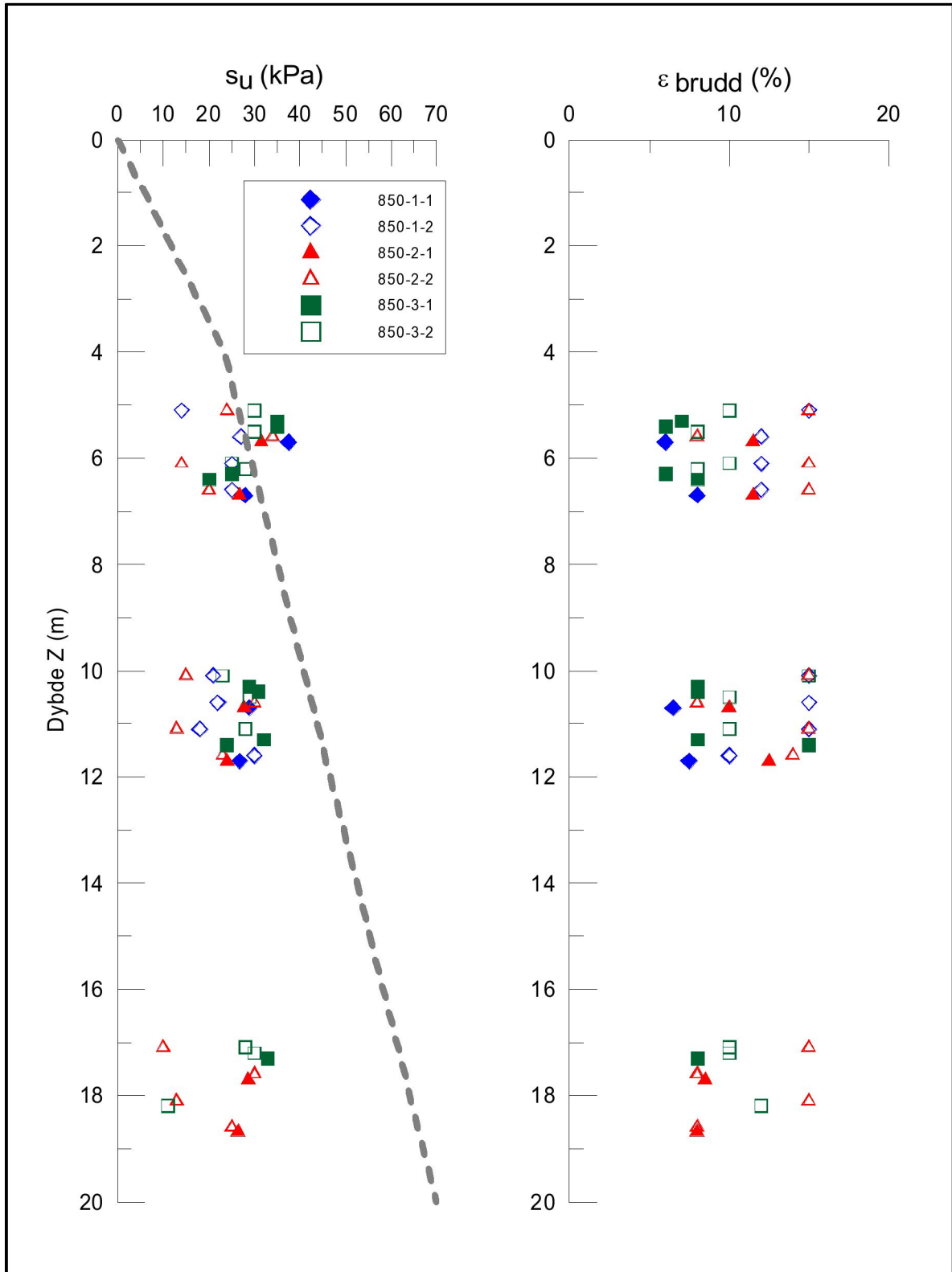
Tabell nr. 5 Udrenert skjærstyrke S_{ut} (kPa) ved en aksialt trykkforsøk og tilhørende tøyning ε_t (%)

* analyse utført på del prøver nær endene av sylindren.


** analyse utført på delprøve utenom de som er nær sylindrer endene.

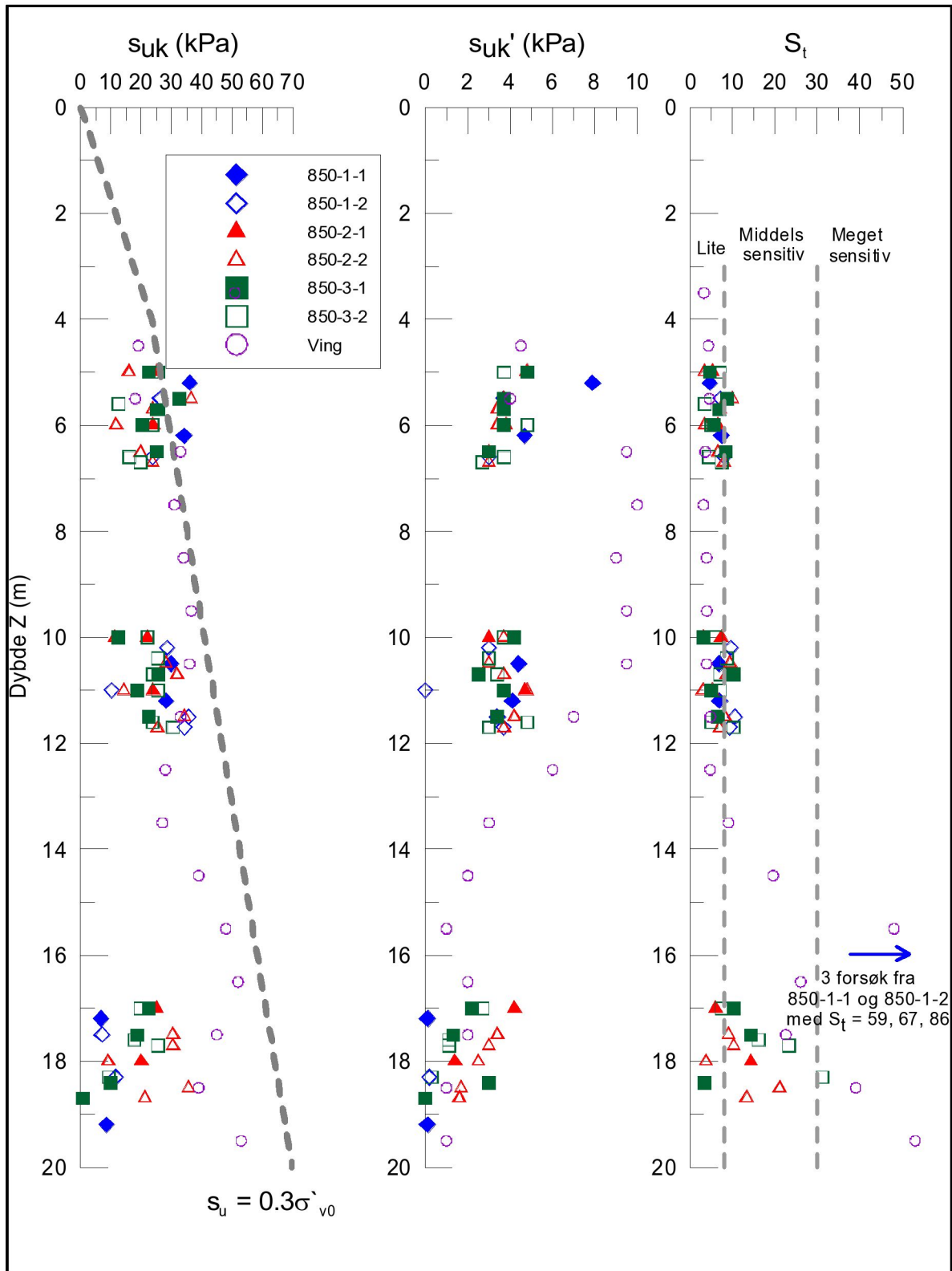
Dybde	5,0 - 5,8 m			6,0 - 6,8 m			10,0 - 10,8 m			11,0 - 12,1 m			17,0 - 17,8 m			18,0 - 19,2 m		
	S _{uk}	S _{uk} '	S _t	S _{uk}	S _{uk} '	S _t	S _{uk}	S _{uk} '	S _t	S _{uk}	S _{uk} '	S _t	S _{uk}	S _{uk} '	S _t	S _{uk}	S _{uk} '	S _t
1 - 1	36,1	7,9	5	34,2	4,7	7	30	4,4	7	28,2	4,1	7	6,7	0,2	33	8,6	0,2	42
1 - 2	26,3	3,7	8	23,9	3	8	28,7	3	10	35,7	6,7	10				11,7	0,2	58
2 - 1	25	4,8	5	24	3,8	6	22	3	7	24	4,7	5	25	4,2	8	20	1,4	14
2 - 2	36,5	3,7	10	19,8	3	7	28,2	3	9	34,3	4,2	8	30,5	3,4	9	35,7	18,5	21
3 - 1	32,4	3,7	9	25	3	8	28	3	10	22,5	3,4	7	18,5	1,3	14	9,8	3	33
3 - 2	12,6	3,7	7	16,2	3,7	7	25,5	3	9	23,9	4,8	10	17,7	1,1	23	9,3	0,3	31
Blukk				27,5	6	8				25	6	7				27	0,2	135

Tabell nr. 6 Udrenert skjærstyrke, uomrørt s_{uk} og omrørt s_{uk}' (kPa) ved konus forsøk med beregnet sensitivitet S_t




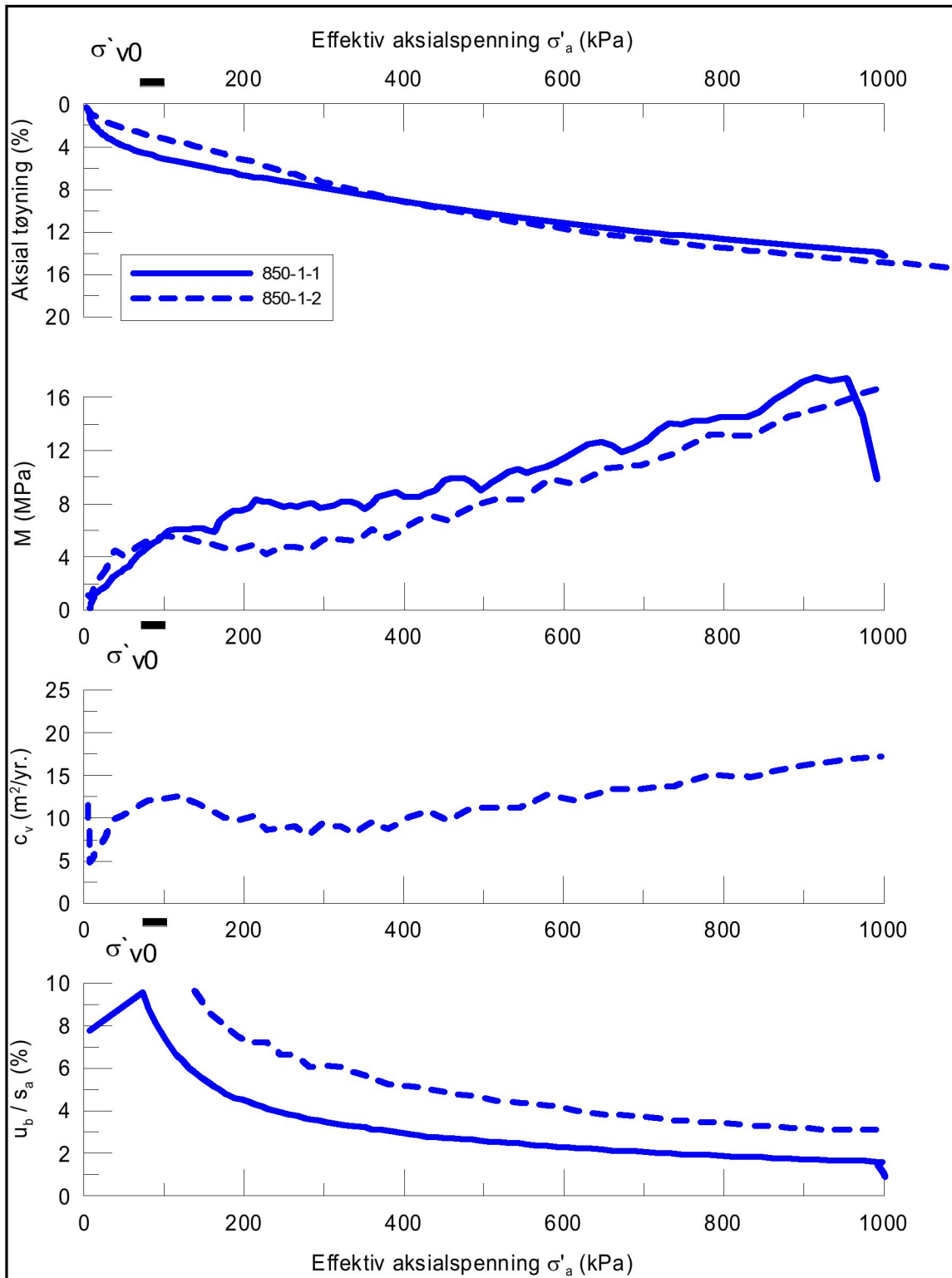
C:\Documents and Settings\nour\Mine dokumenter\Rv2\plott\E.naks

 Statens vegvesen	FoU prosjekt - Rv. 2 Kløfta - Nybakk - Profil 850	Teknologirapport 2425
	Enaksial udrenert skjærstyrke Resultatene	
		Dato 2006-01-08
		Figur 10



C:\Documents and Settings\nour\Mine dokumenter\Rv2\plott\Konus

 Statens vegvesen	FoU prosjekt - Rv. 2 Kløfta - Nybakk - Profil 850	Teknologirapport 2425
	Konus og ving udrenert skjærstyrke Resultatene	
		Dato 2006-01-04
		Figur 11



C:\Documents and Settings\nour\Mine dokumenter\Rv2\plott\ØD05.2m



Statens vegvesen

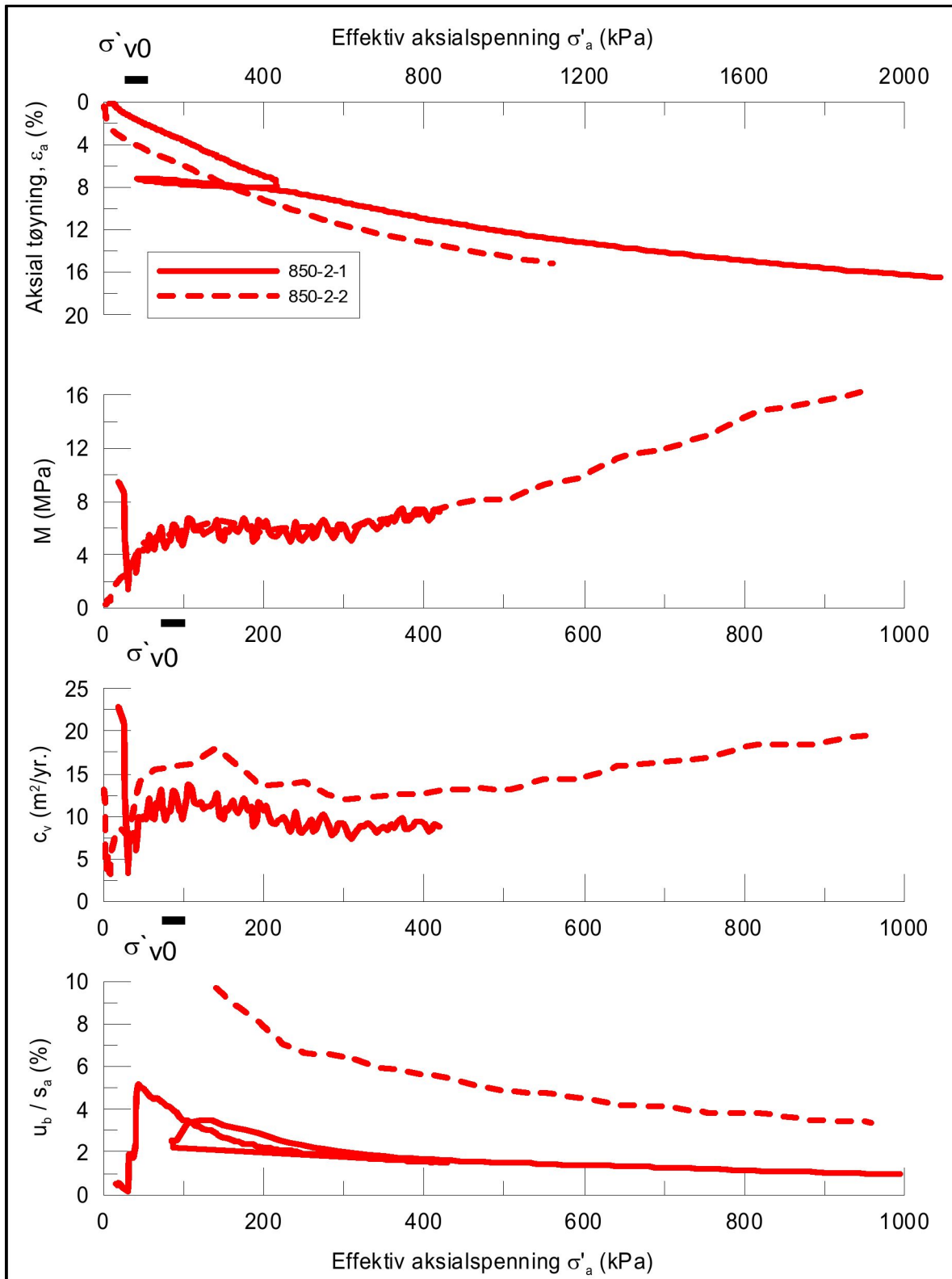
FoU prosjekt - Rv. 2 Kløfta - Nybakk - Profil 850

Ødometerforsøk, samleplott
 $\sigma'_{v0} = 90$ kPa, 850-1 prøveserier, dybde 5,2m


Teknologirapport
2425

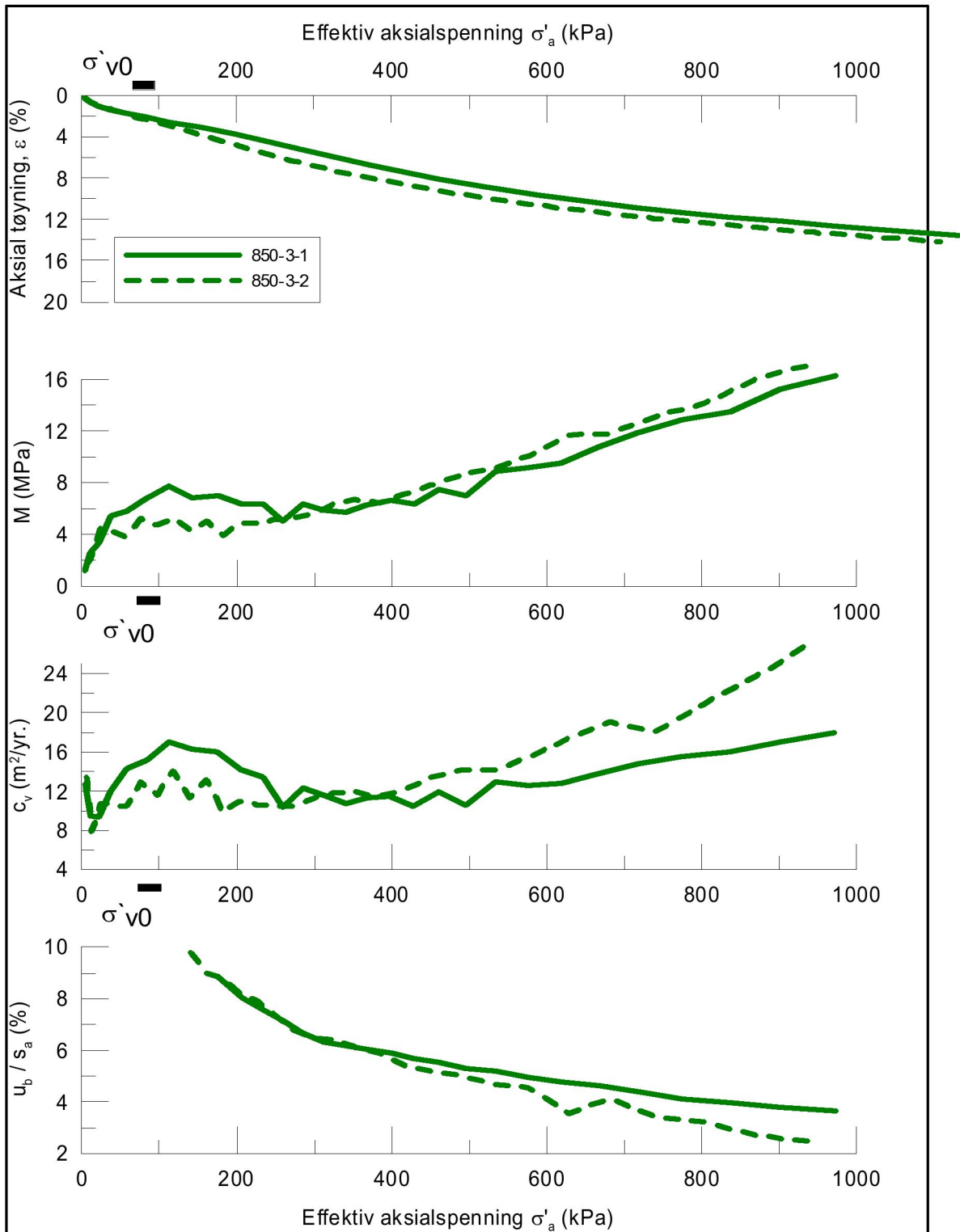
Dato
2006-01-08

Figur
12




C:\Documents and Settings\nour\My Documents\Rv2\plott\DO5_2m-2

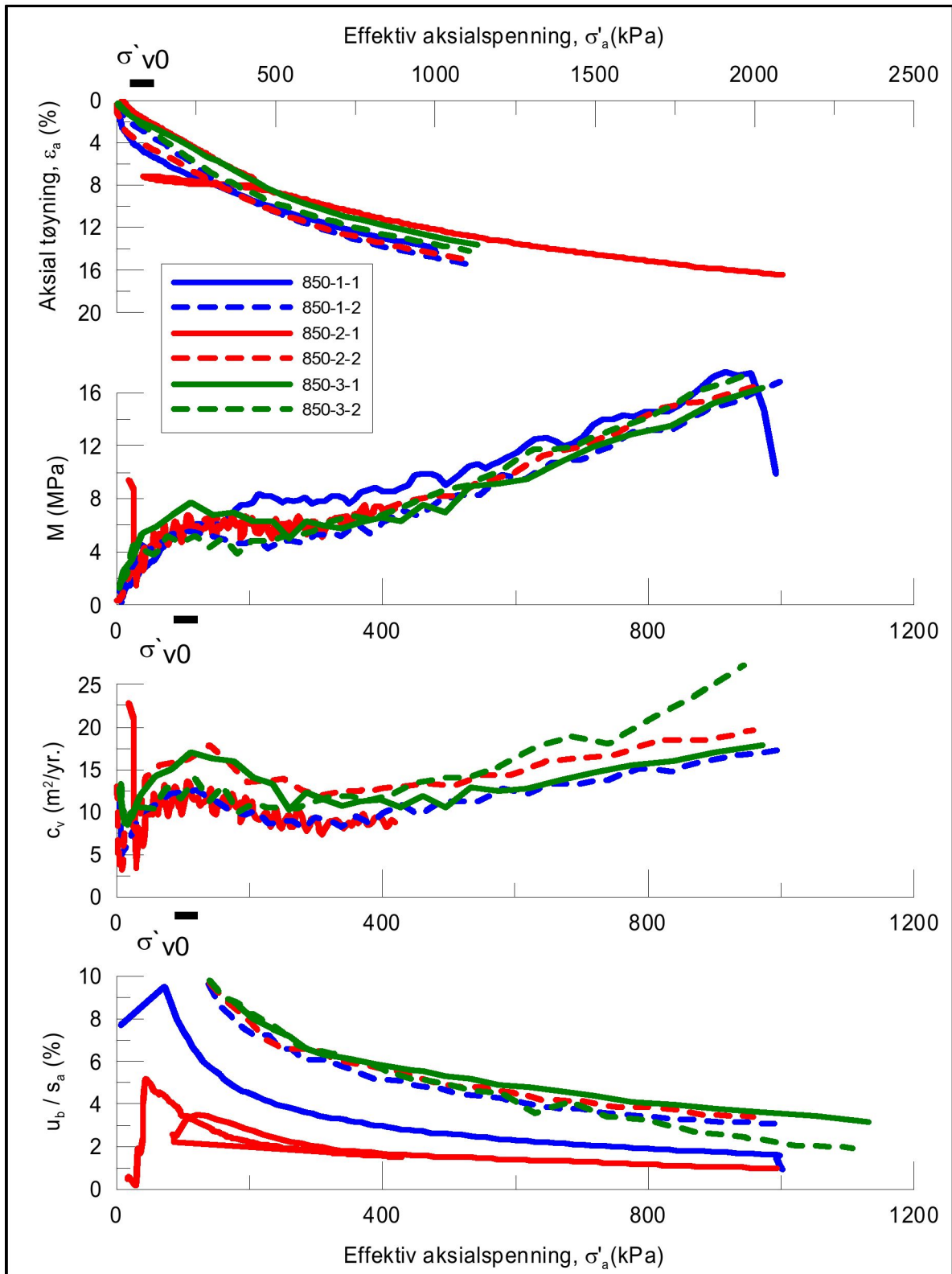
 Statens vegvesen	FoU prosjekt - Rv. 2 Kløfta - Nybakk - Profil 850	Teknologirapport 2425
	Ødometerforsøk, samleplott	Dato 2006-01-08
	$\sigma'_{v0} = 90$ kPa, 850-2 prøveserier, dybde 5,2m	Figur 13




C:\Documents and Settings\nour\My Documents\Rv2\plott\DO5.2m-3

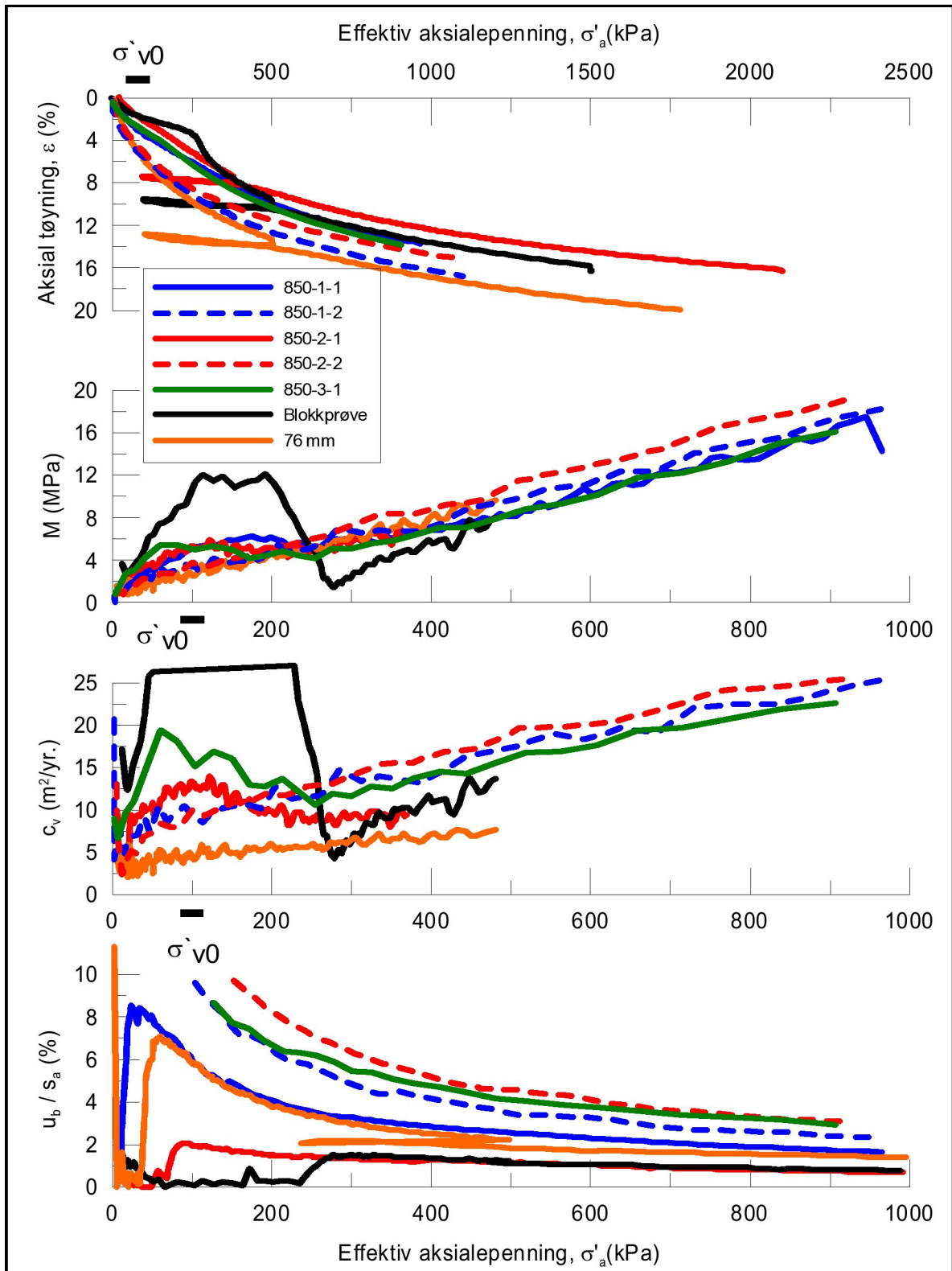
 Statens vegvesen	R&D project - Rv. 2 Kløfta - Nybakk - Profil 850	Teknologirapport 2425
	Dato 2006-01-08	
	Figur 14	

Ødometerforsøk, samleplott
 $\sigma'_{v0} = 90$ kPa, 850-3 prøveserier, dybde 5,2m




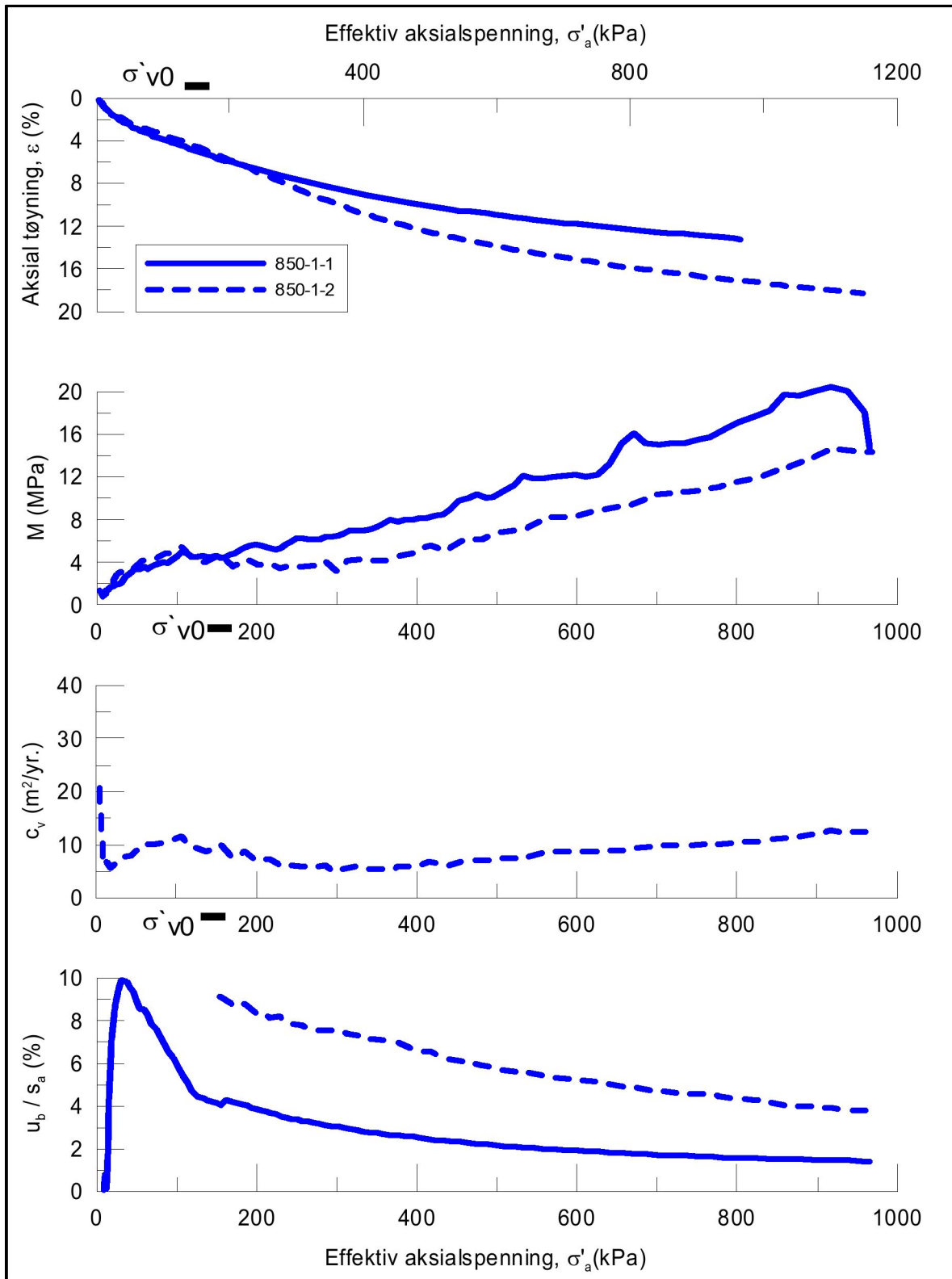
C:\Documents and Settings\nour\Mine dokumenter\Rv2\plott\DO5.2.m

 Statens vegvesen	R&D project - Rv. 2 Kløfta - Nybakk - Profil 850	Teknologirapport 2425
	Ødometerforsøk, samleplott dybde 5,2 m, $\sigma'_{v0} = 90$ kPa	Dato 2006-01-08
		Figur 15




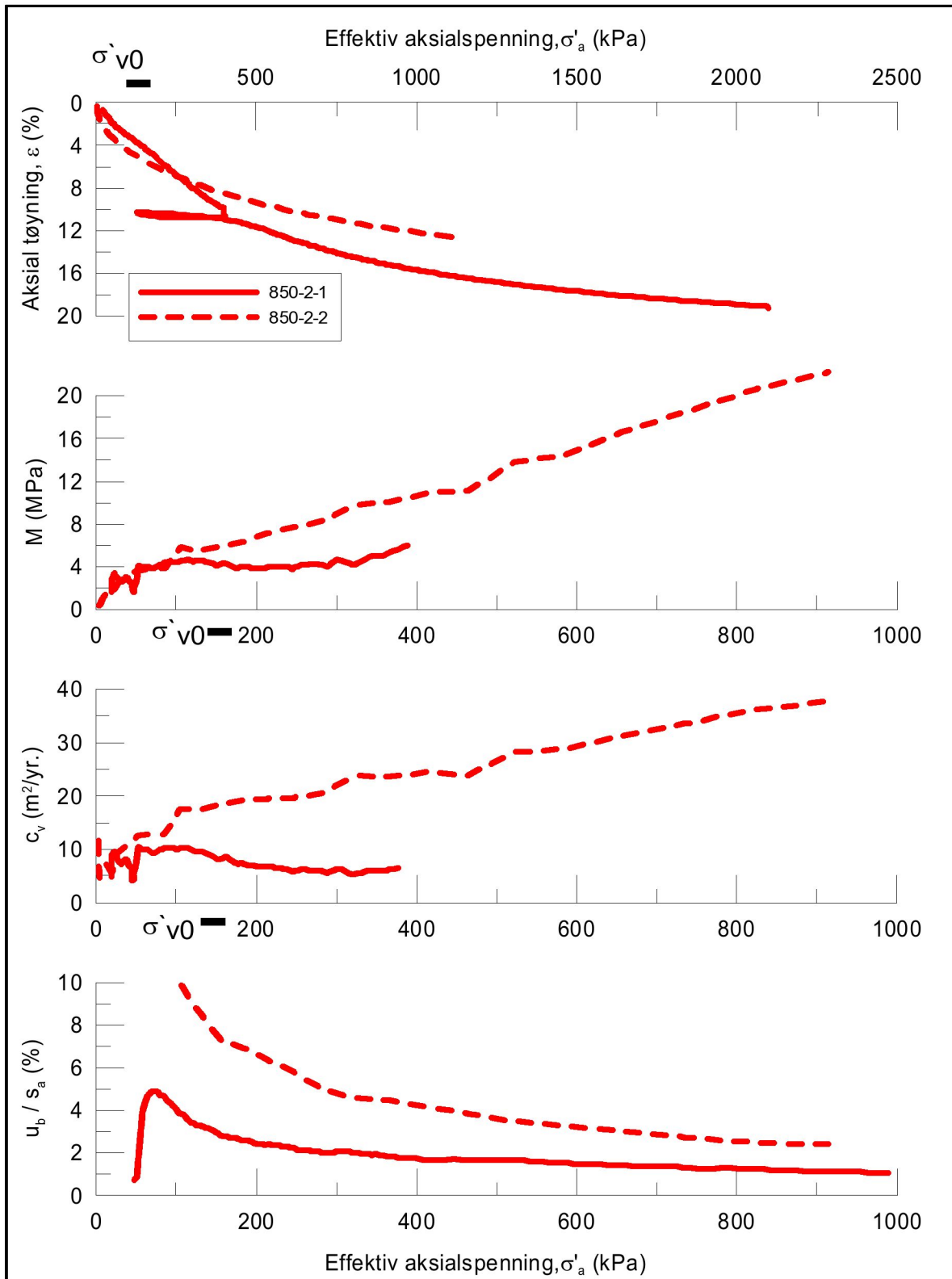
C:\Documents and Settings\nouri\Mine dokumenter\Rv2\plott\DO6_3m

 Statens vegvesen	R&D project - Rv. 2 Kløfta - Nybakk - Profil 850	Teknologirapport 2425
	Ødometerforsøk, samleplott dybde 6,3 m, $\sigma'_{v0} = 100$ kPa	Dato 2006-01-08
		Figur 16




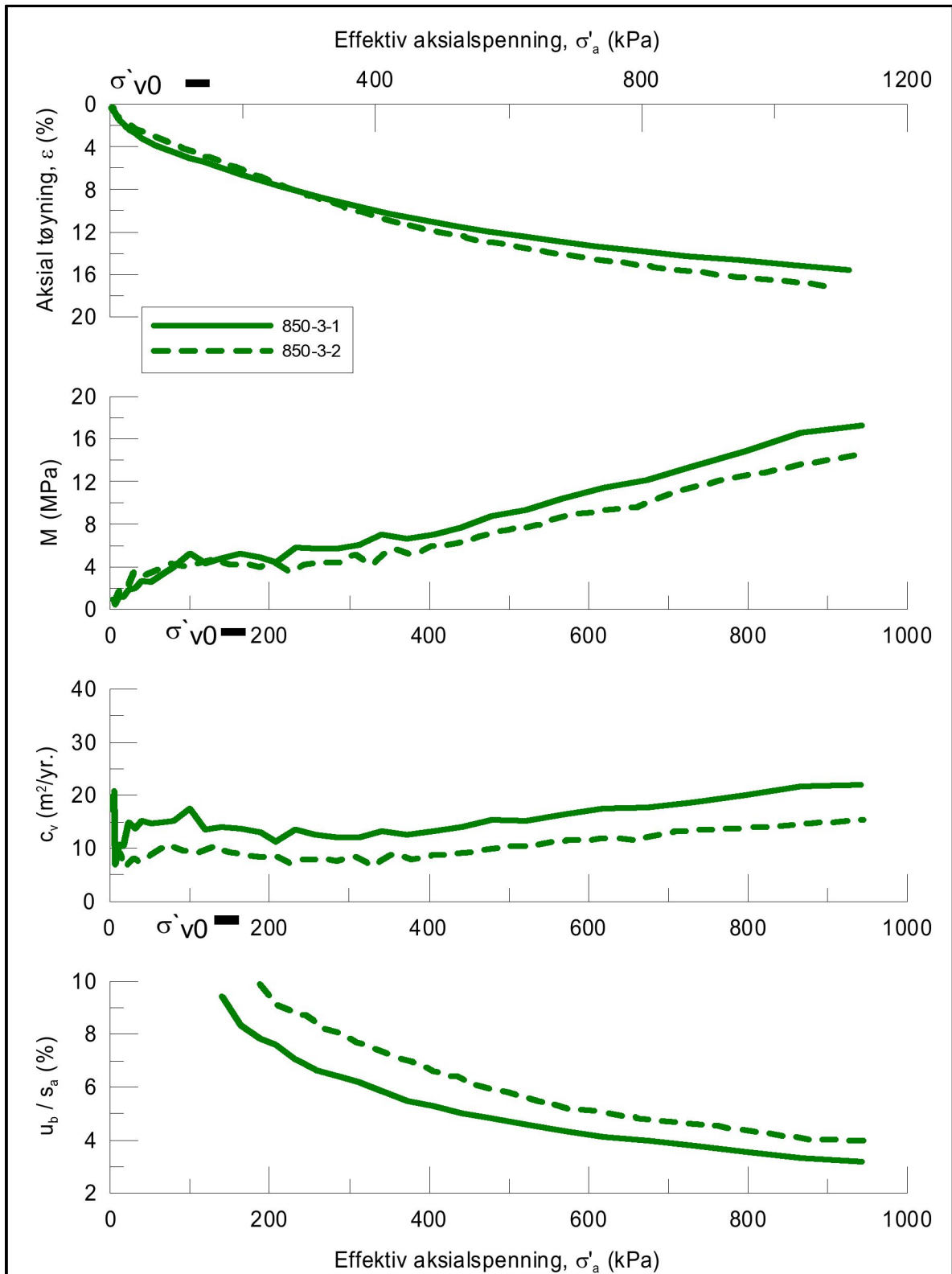
C:\Documents and Settings\nour\My Documents\Rv2\plott\DO10_3m-1

 Statens vegvesen	R&D project - Rv. 2 Kløfta - Nybakk - Profil 850	Teknologirapport 2425
	Ødometerforsøk, samleplott dybde 10,3 m, $\sigma'_{v0} = 140$ kPa, 850-1 prøveserier	
		Dato 2006-01-08
		Figur 17




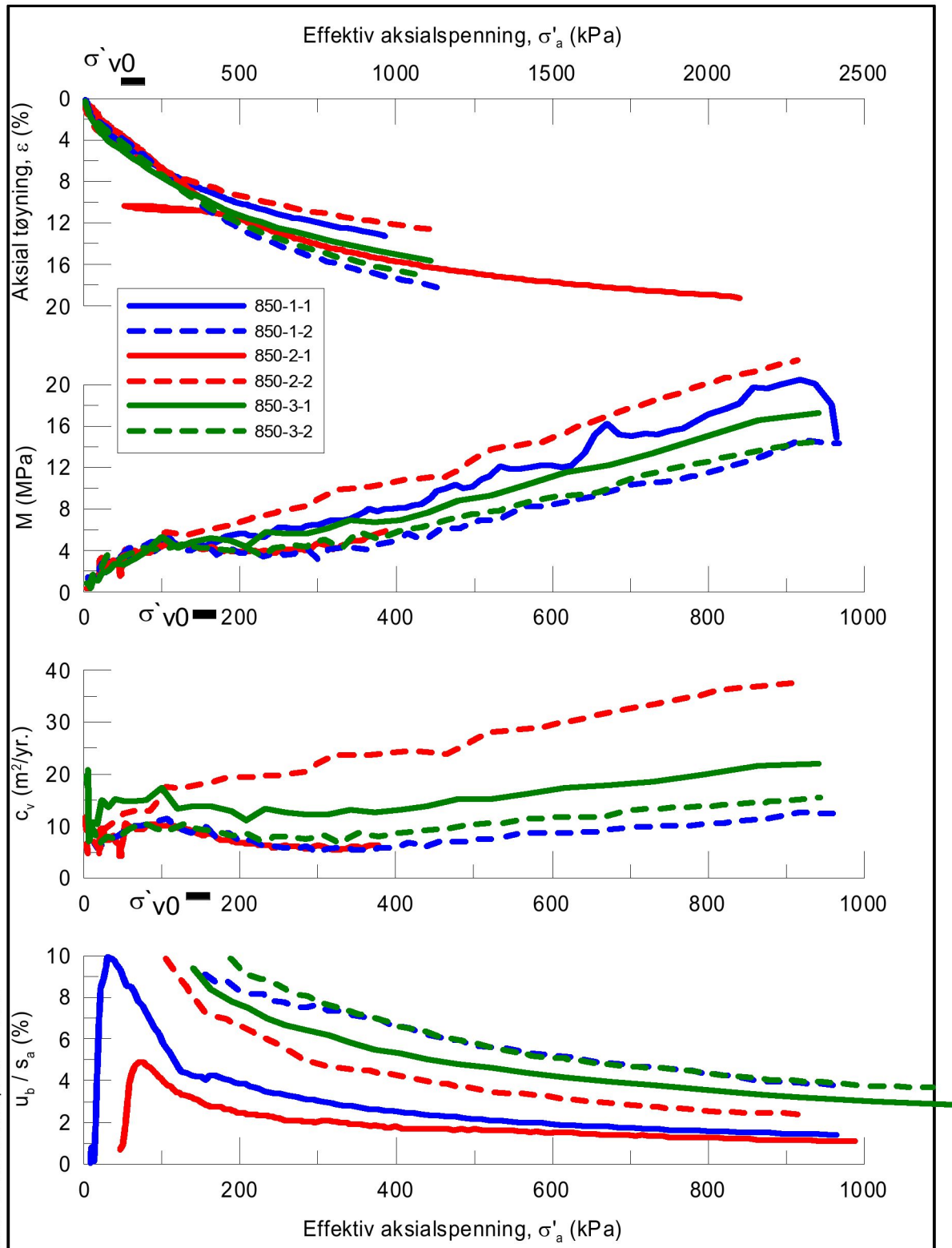
C:\Documents and Settings\nour\My Documents\Rv2\plott\DO10_3m-2

 Statens vegvesen	R&D project - Rv. 2 Kløfta - Nybakk - Profil 850	Teknologirapport 2425
	Ødometerforsøk, samleplott dybde 10,3 m, $\sigma'_{v0} = 140$ kPa, 850-2 prøveserier	
		Dato 2006-01-08




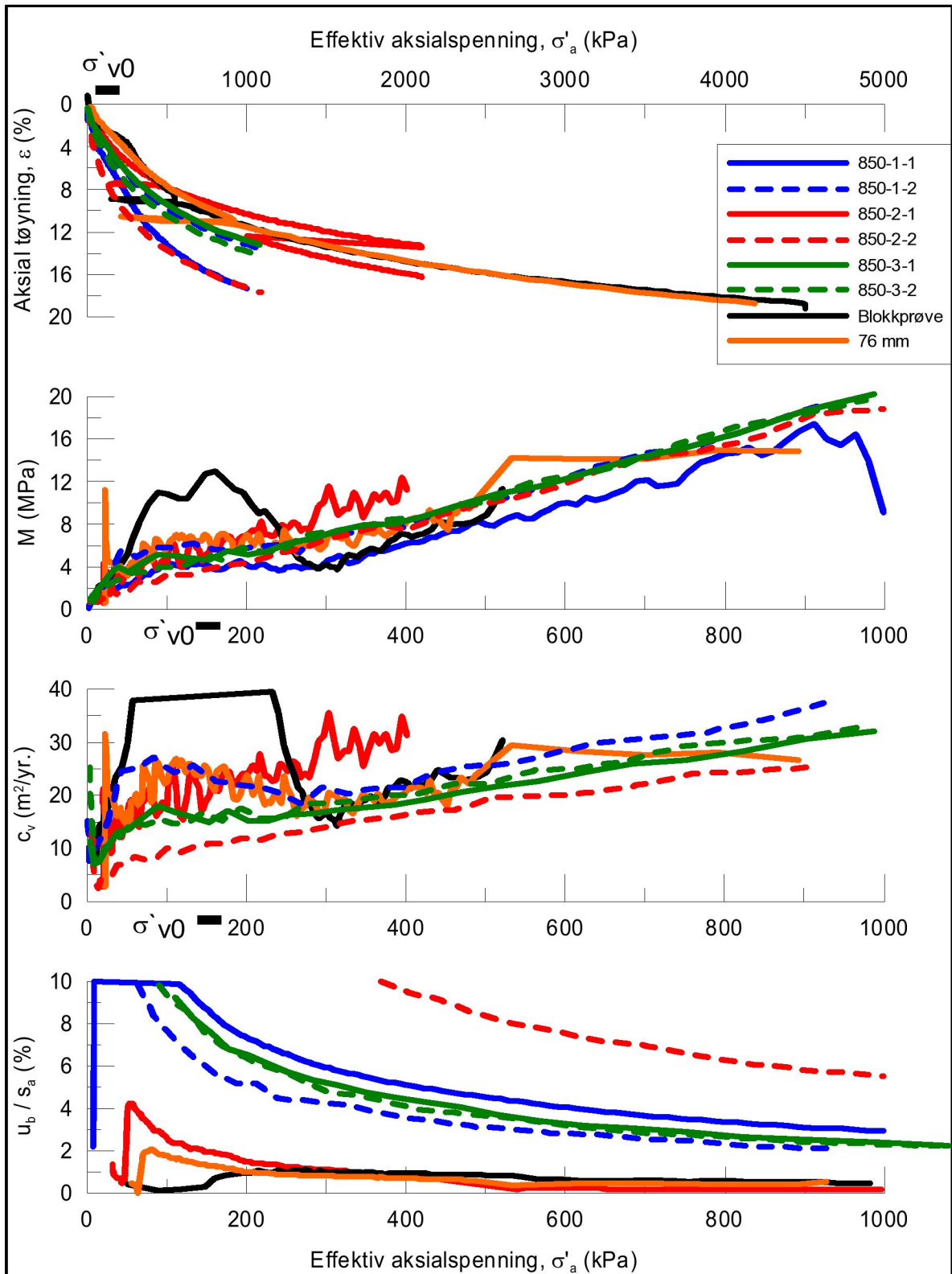
C:\Documents and Settings\nour\Mine dokumenter\Rv2\plott\DO10_3m-3

 Statens vegvesen	R&D project - Rv. 2 Kløfta - Nybakk - Profil 850	Teknologirapport 2425
	Ødometerforsøk, samleplott dybde 10,3 m, $\sigma'_{v0} = 140$ kPa, 850-3 prøveserier	
		Dato 2006-01-08
		Figur 19




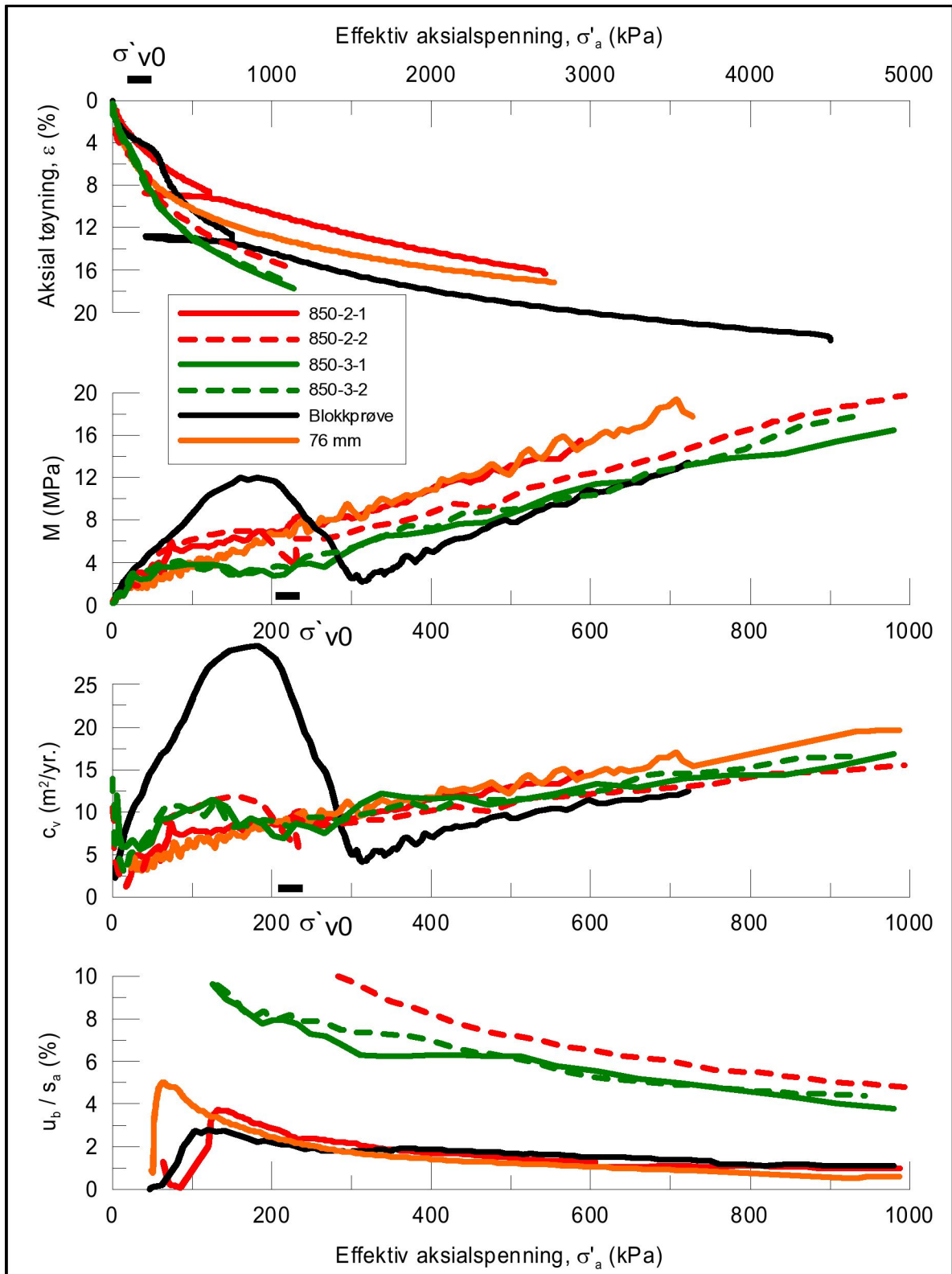
C:\Documents and Settings\our\My Documents\Rv2\plott\DO10_3m

 Statens vegvesen	R&D project - Rv. 2 Kløfta - Nybakk - Profil 850	Teknologirapport 2425
	Ødometerforsøk, samleplott dybde 10,3 m, $\sigma'_{v0} = 140$ kPa	Dato 2006-01-08
		Figur 20




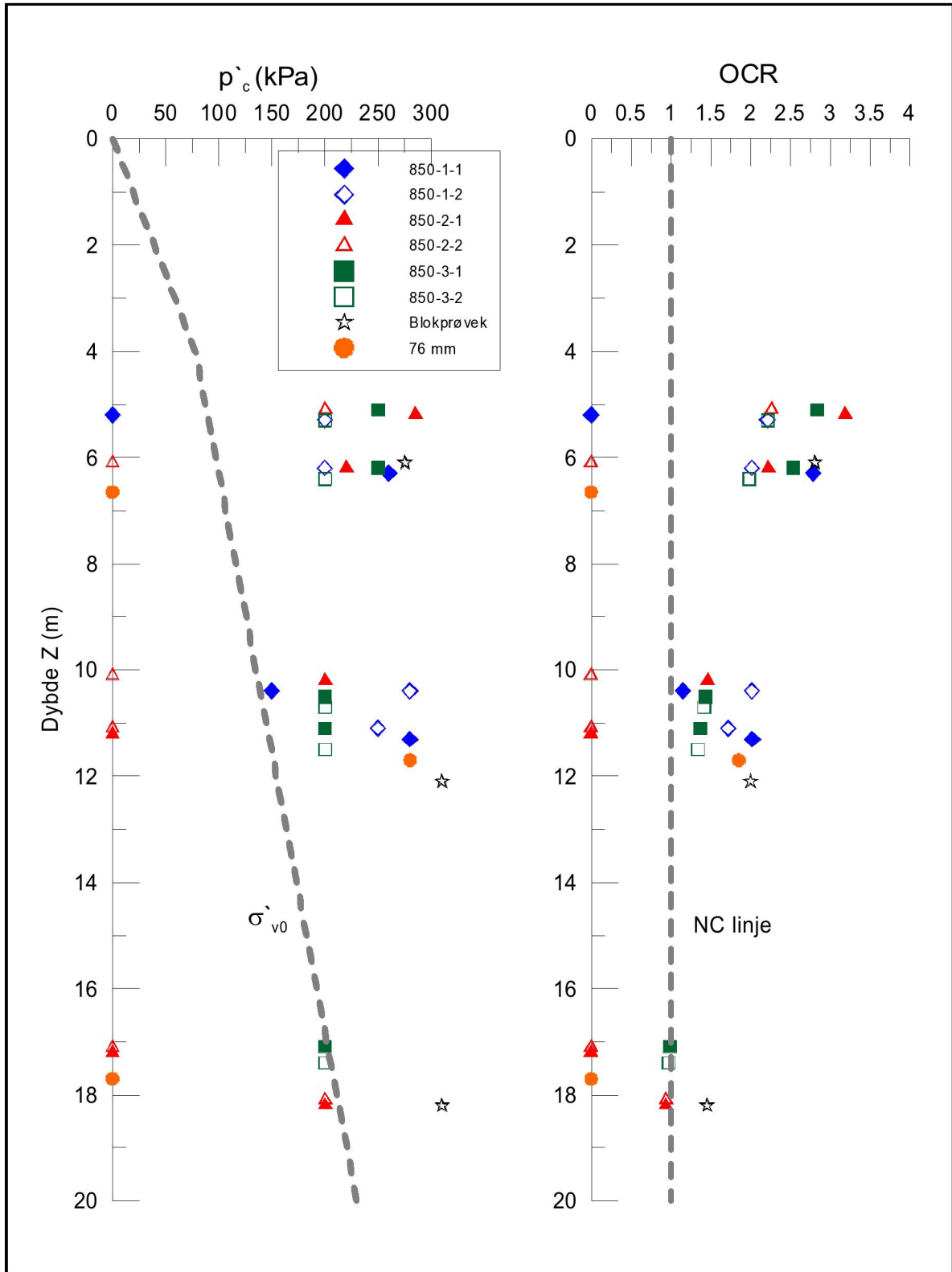
C:\Documents and Settings\nour\My Documents\Rv2\plott\DO11_3m

 Statens vegvesen	R&D project - Rv. 2 Kløfta - Nybakk - Profil 850	Teknologirapport 2425
	Ødometerforsøk, samleplott dybde 11,3 m, $\sigma'_{v0} = 150$ kPa	Dato 2006-01-08
		Figur 21




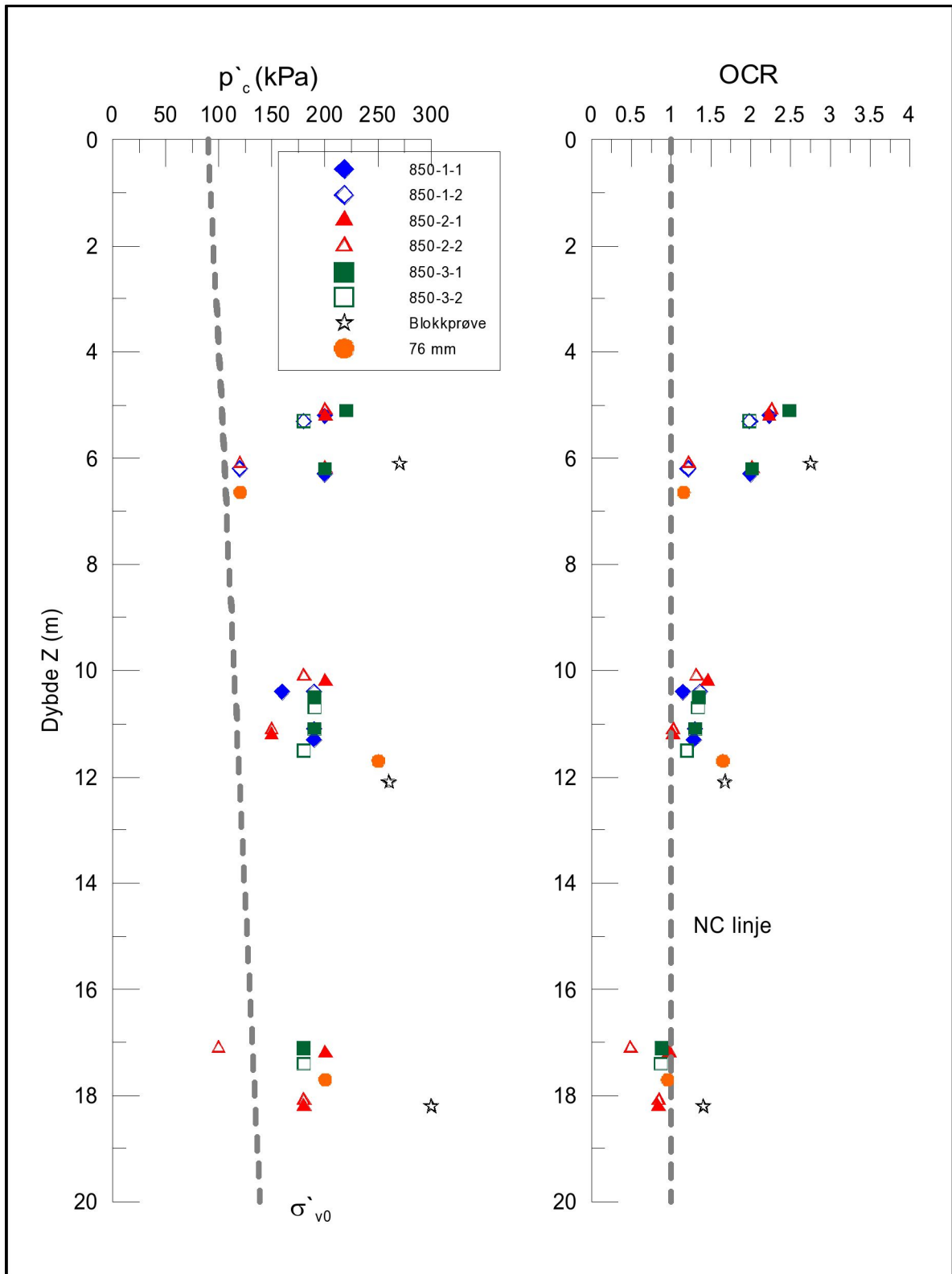
C:\Documents and Settings\nour\Mine dokumenter\Rv2\plott\DO18_2m

 Statens vegvesen	R&D project - Rv. 2 Kløfta - Nybakk - Profil 850	Teknologirapport 2425
	Ødometerforsøk, samleplott dybde 18,2 m, $\sigma'_{v0} = 215$ kPa	Dato 2006-01-08
		Figur 22



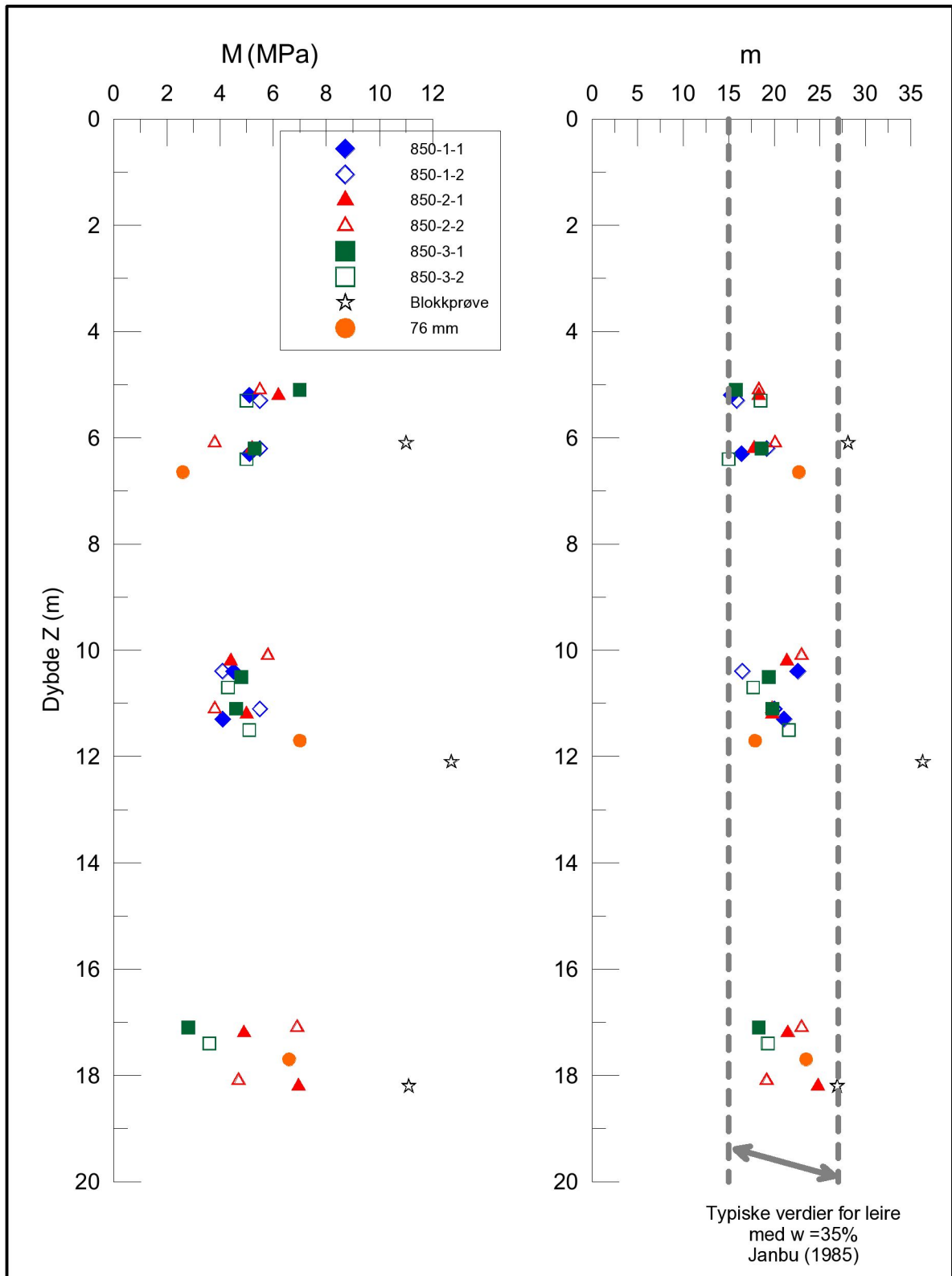
C:\Documents and Settings\nour\Mine dokumenter\Rv2\plott\p og OCR

 Statens vegvesen	FoU prosjekt - Rv. 2 Kløfta - Nybakk - Profil 850	Teknologirapport 2425
	Prekonsolideringsspenning og overkonsolideringsforhold Janbu	Dato 2006-01-05
		Figur 23




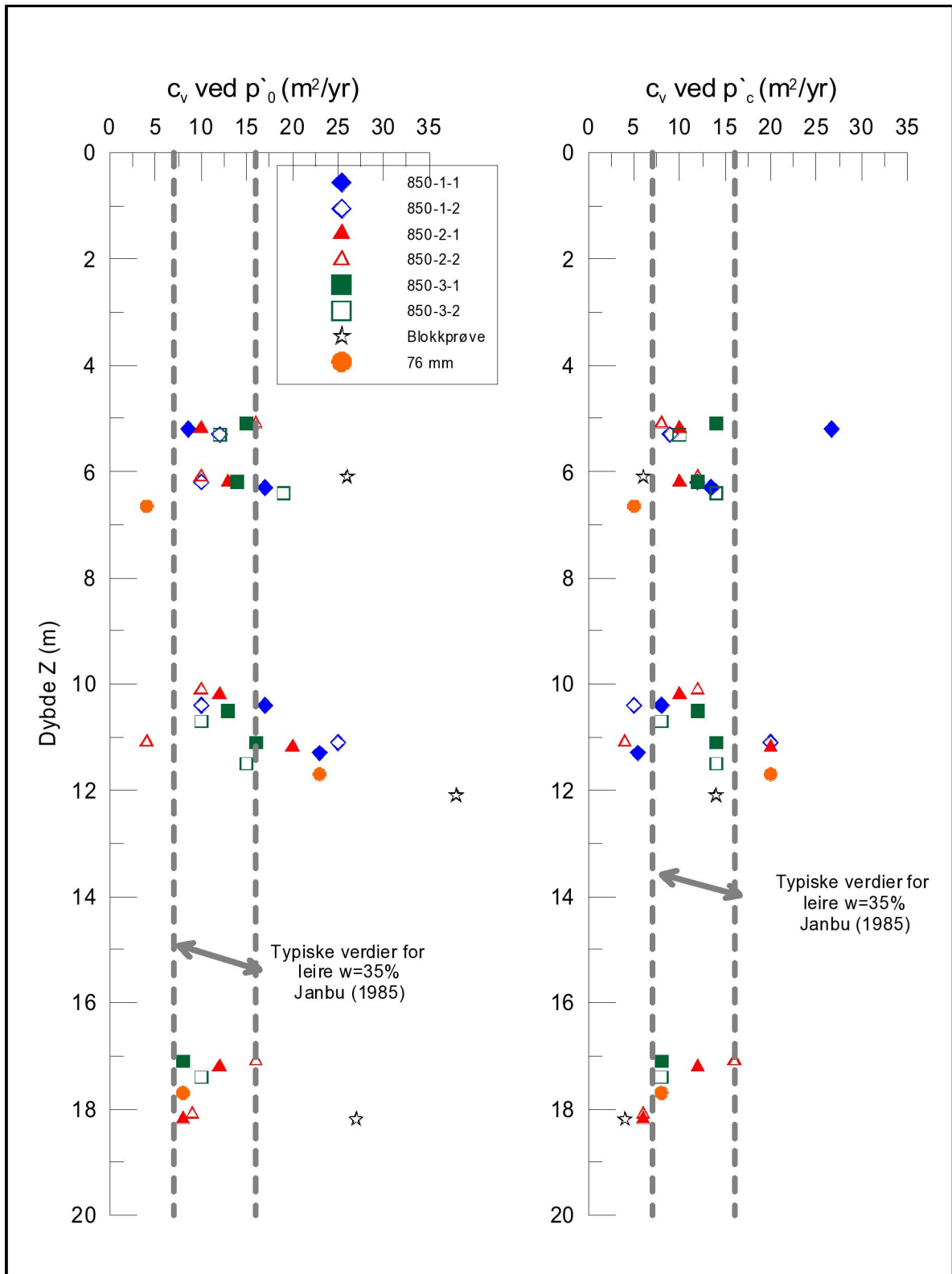
C:\Documents and Settings\nour\Mine dokumenter\Rv2\plotIP og OCR\CASA

 Statens vegvesen	FoU prosjekt - Rv. 2 Kløfta - Nybakk - Profil 850	Teknologirapport 2425
	Prekonsolideringsspenning og overkonsolideringsforhold Casagrande	Dato 2006-01-05
		Figur 24




C:\Documents and Settings\nourin\Mine dokumenter\Rv2\plott\N25\Mogm

 Statens vegvesen	FoU prosjekt - Rv. 2 Kløfta - Nybakk - Profil 850	Teknologirapport 2425
	Deformasjonsmodul og modultall	Dato 2006-01-09
		Figur 25

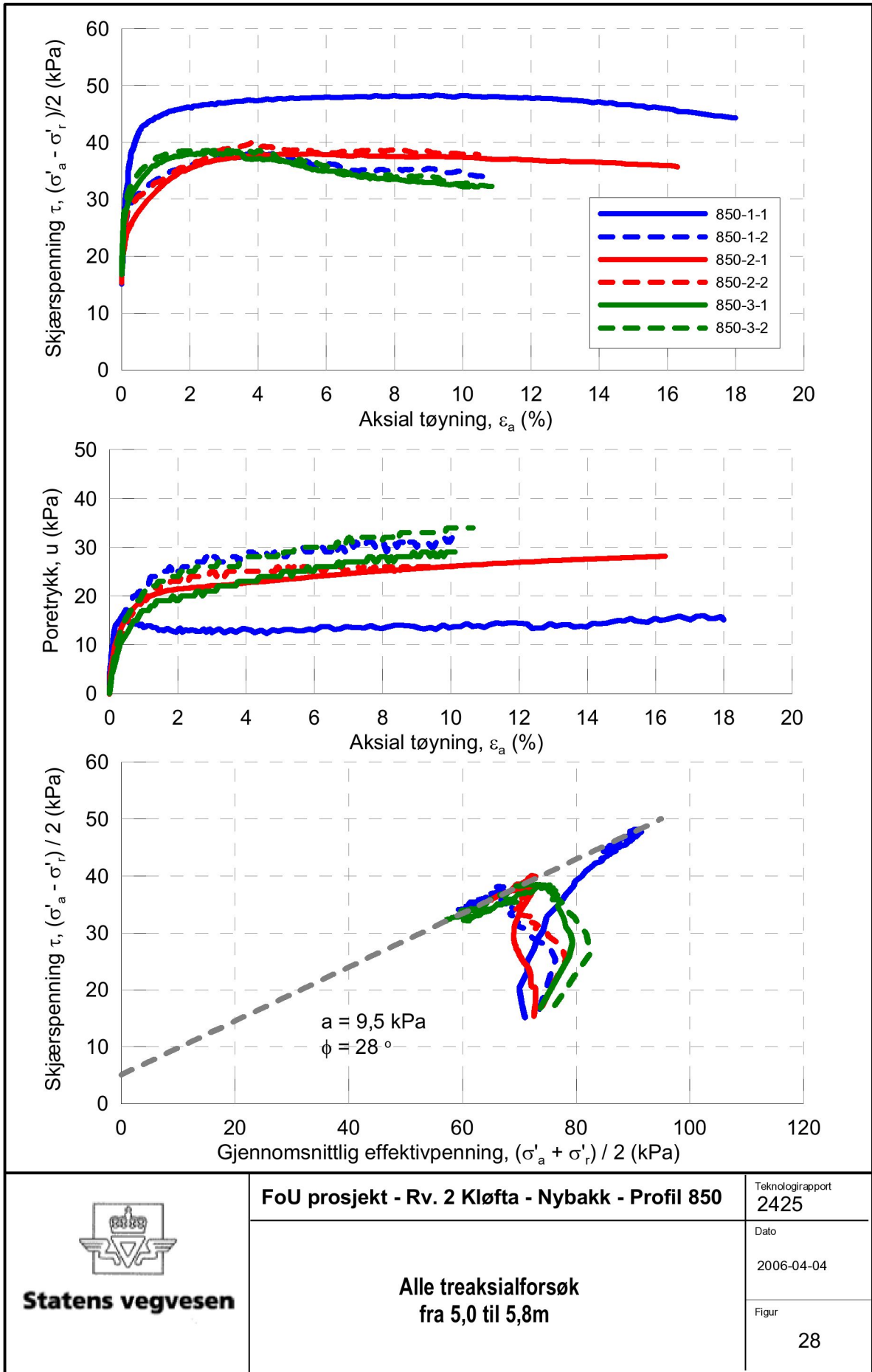


C:\Documents and Settings\nour\Mine dokumenter\Rv2\plot\N26Cv

 Statens vegvesen	FoU prosjekt - Rv. 2 Kløfta - Nybakk - Profil 850	Teknologirapport 2425
	Konsolideringskoeffisient c_v	Dato 2006-01-10
		Figur 26

Dybde	5,0 - 5,8 m			6,0 - 6,8 m			10,0 - 10,8 m			11,0 - 12,1 m			17,0 - 17,8 m			18,0 - 18,8 m								
	S _{uA}	S _{uA} /σ _{v0} '	ε _B	S _{ua}	S _{uA} /σ _{v0} '	ε _B	S _{ua}	S _{uA} /σ _{v0} '	ε _B	S _{uA}	S _{uA} /σ _{v0} '	ε _B	S _{uA}	S _{uA} /σ _{v0} '	ε _B	S _{uA}	S _{uA} /σ _{v0} '	ε _B						
Hull	46	0,509	8	40	0,396	3	40,5	0,288	1,6	43,2	0,291	1,6	48	0,325	1,5	55	0,269	2	59,5	0,278	1			
1 - 1	37	0,413	4	36	0,360	1,5	44	0,319	1,5	48	0,325	1,5	43	0,291	1,2	43	0,291	10,8	58	0,283	0,5	61	0,285	0,5
1 - 2	37	0,409	4	33	0,330	10	40	0,290	2,2	43	0,291	12	43	0,291	11	52	0,352	11	60	0,293	0,5	58	0,306	0,5
2 - 1	38	0,420	4	34	0,340	9,5	42	0,304	2	43	0,291	10,8	46	0,306	1	46	0,306	1	58	0,306	0,5	56	0,361	0,7
2 - 2	38	0,420	2	36	0,360	2	44	0,319	1	52	0,352	11	56	0,361	0,7	48	0,316	1,5	48	0,316	1,5	48	0,316	1,5
3 - 1	38	0,411	3	36	0,353	2	44	0,317	2	44	0,317	2	44	0,317	2	44	0,317	2	44	0,317	2	44	0,317	2
3 - 2	38	0,411	3	36	0,353	2	44	0,317	2	44	0,317	2	44	0,317	2	44	0,317	2	44	0,317	2	44	0,317	2
Bløkk				50	0,510	0,7																		
76mm				38	0,366	2																		

Tabell nr 7 Maksimum udrenert skjærstyrke S_{uA} og normalisert skjærstyrke S_{uA}/σ_{v0}' fra aktivt treaksialforsøk med tilhørende tøyning (ε_B)



C:\Documents and Settings\nouri\Mine dokumenter\Rv2\plottalle\TRKS 5,0-5,8m



Statens vegvesen

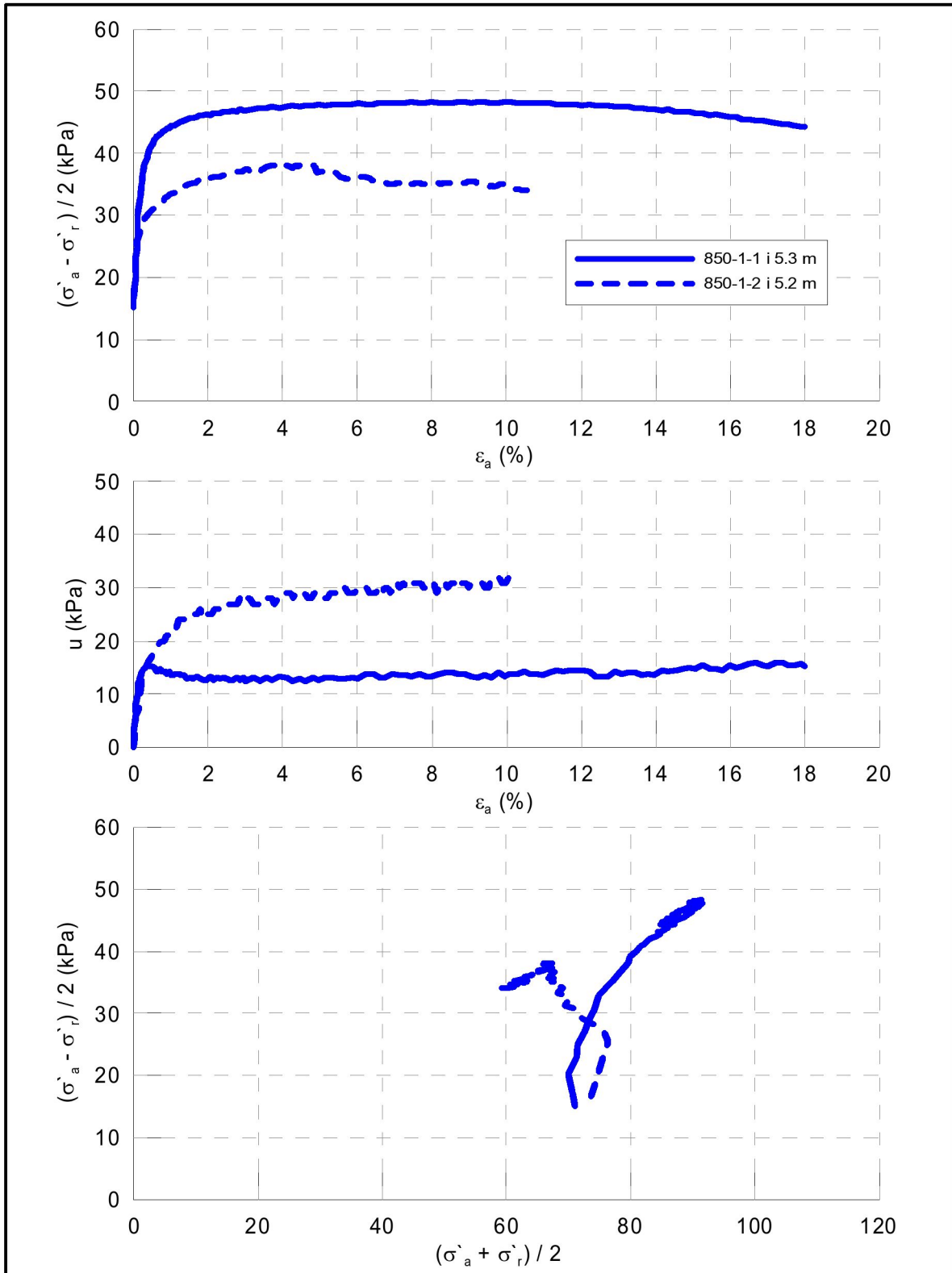
FoU prosjekt - Rv. 2 Kløfta - Nybakk - Profil 850

**Alle treaksialforsøk
fra 5,0 til 5,8m**


Teknologirapport
2425

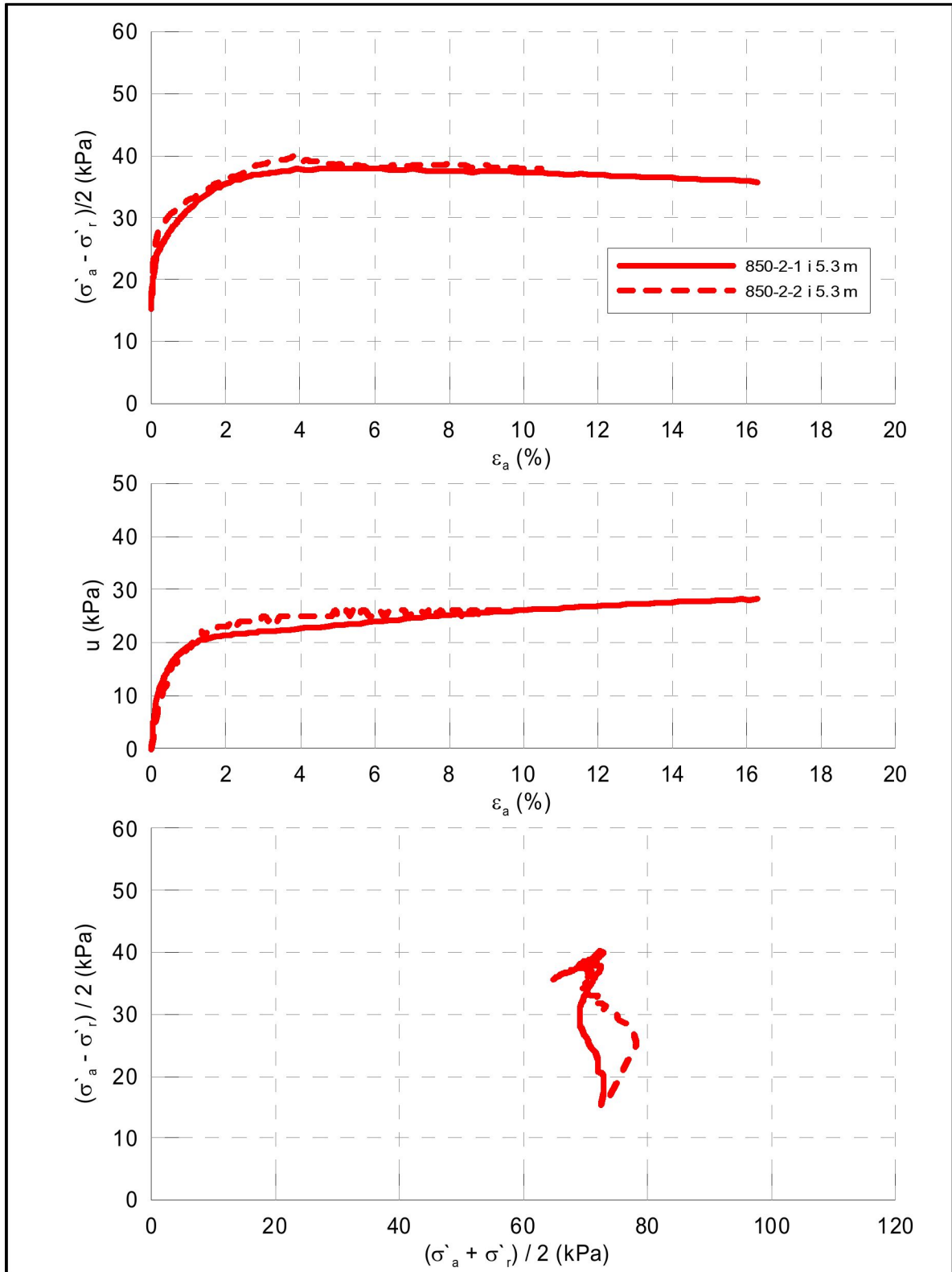
Dato
2006-04-04

Figur
28




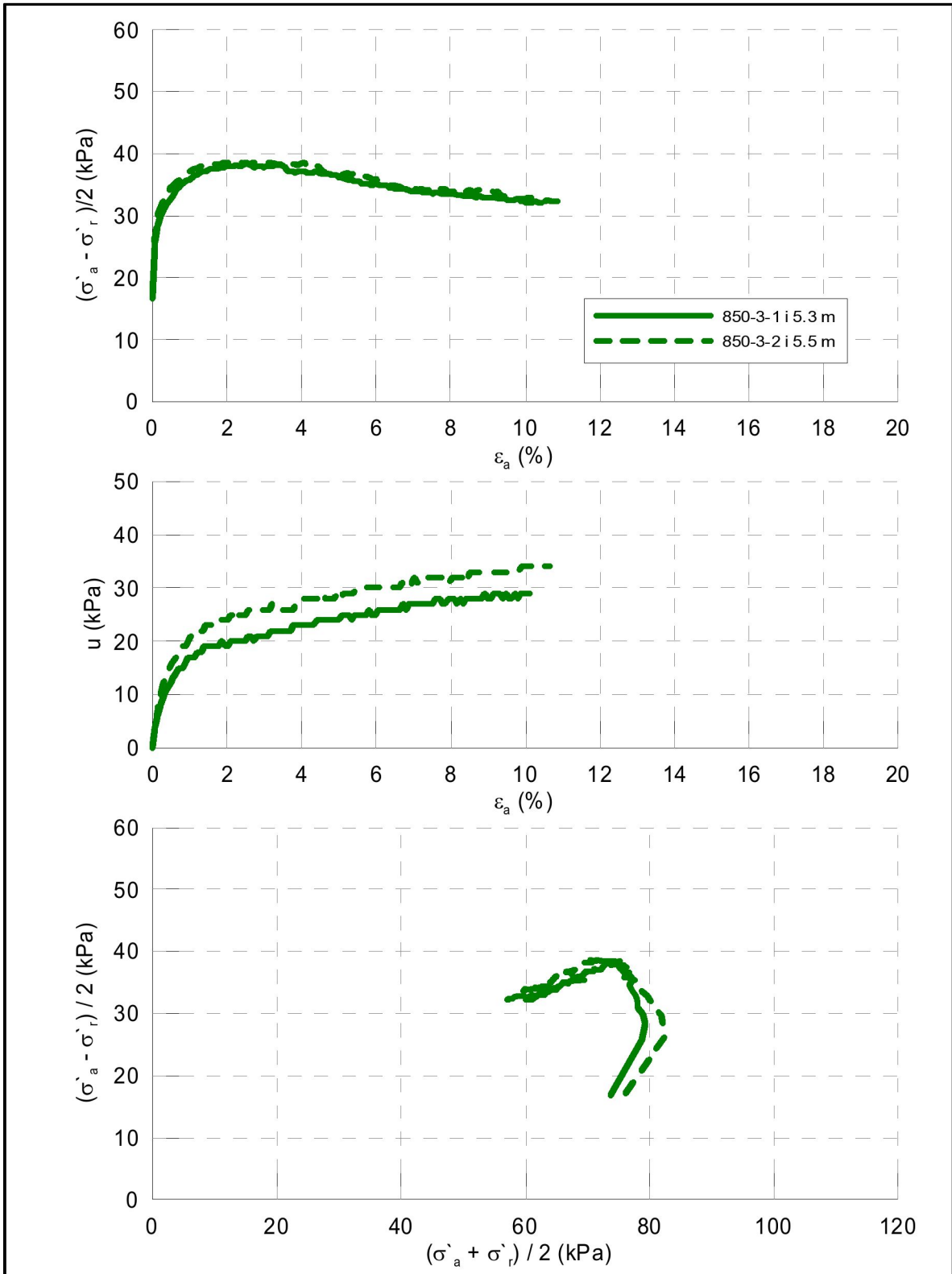
C:\Documents and Settings\nouri\Mine dokumenter\Rv2\plott\E29\TRKS55_3m-1

 Statens vegvesen	R&D project - Rv. 2 Kløfta - Nybakk - Profil 850	Teknologirapport 2425
	Treaksialforsøk, samleplott prøveserie 850-1, dybde 5,3m	Dato 2006-01-10
		Figur 29




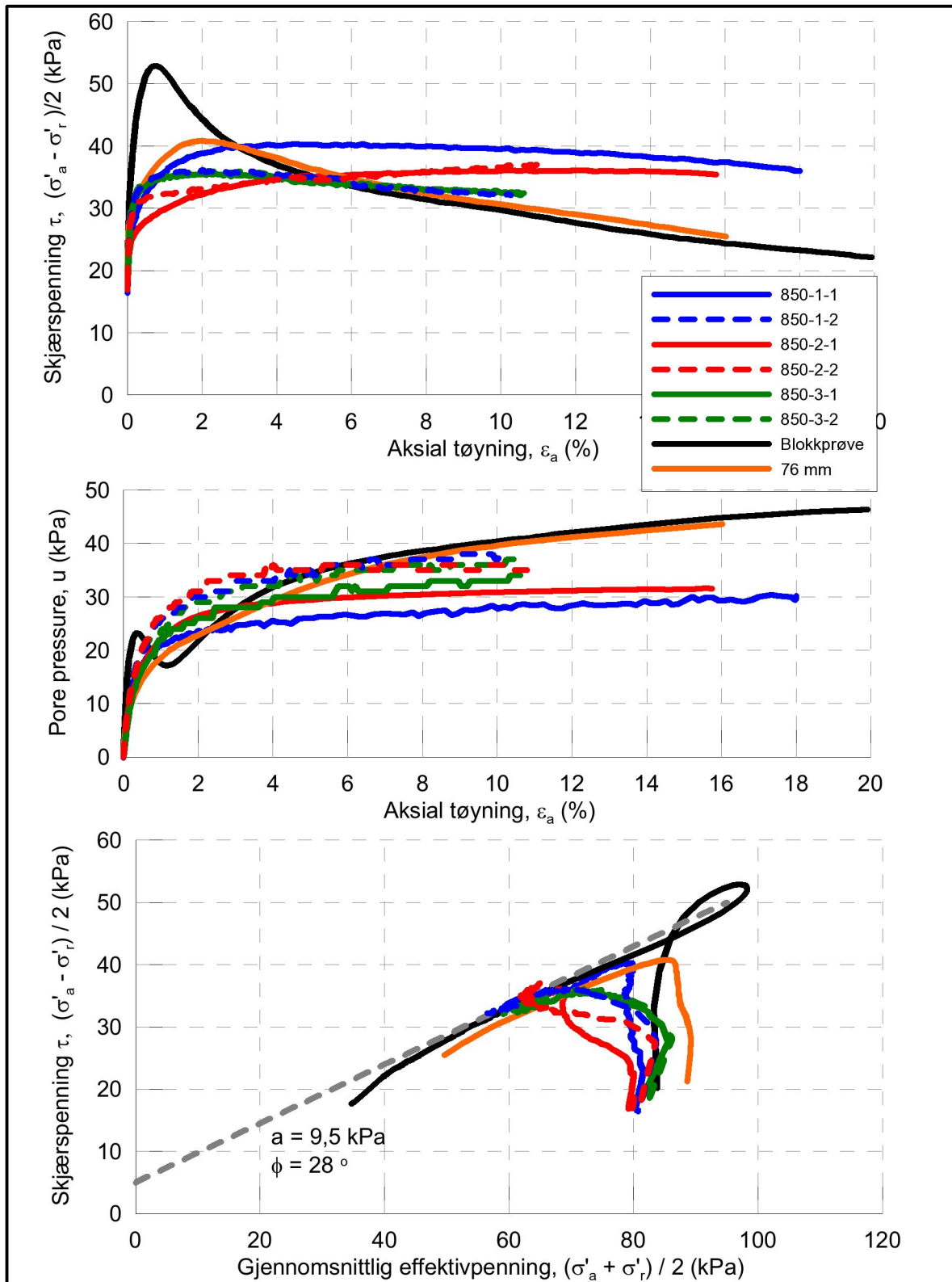
C:\Documents and Settings\nour\My Documents\RV2\plot\N30TRK55_3m-2

 Statens vegvesen	FoU prosjekt - Rv. 2 Kløfta - Nybakk - Profil 850	Teknologirapport 2425
	Treksialforsøk, samleplott, 850-2, dybde 5,3m	Dato 2006-01-10
		Figur 30




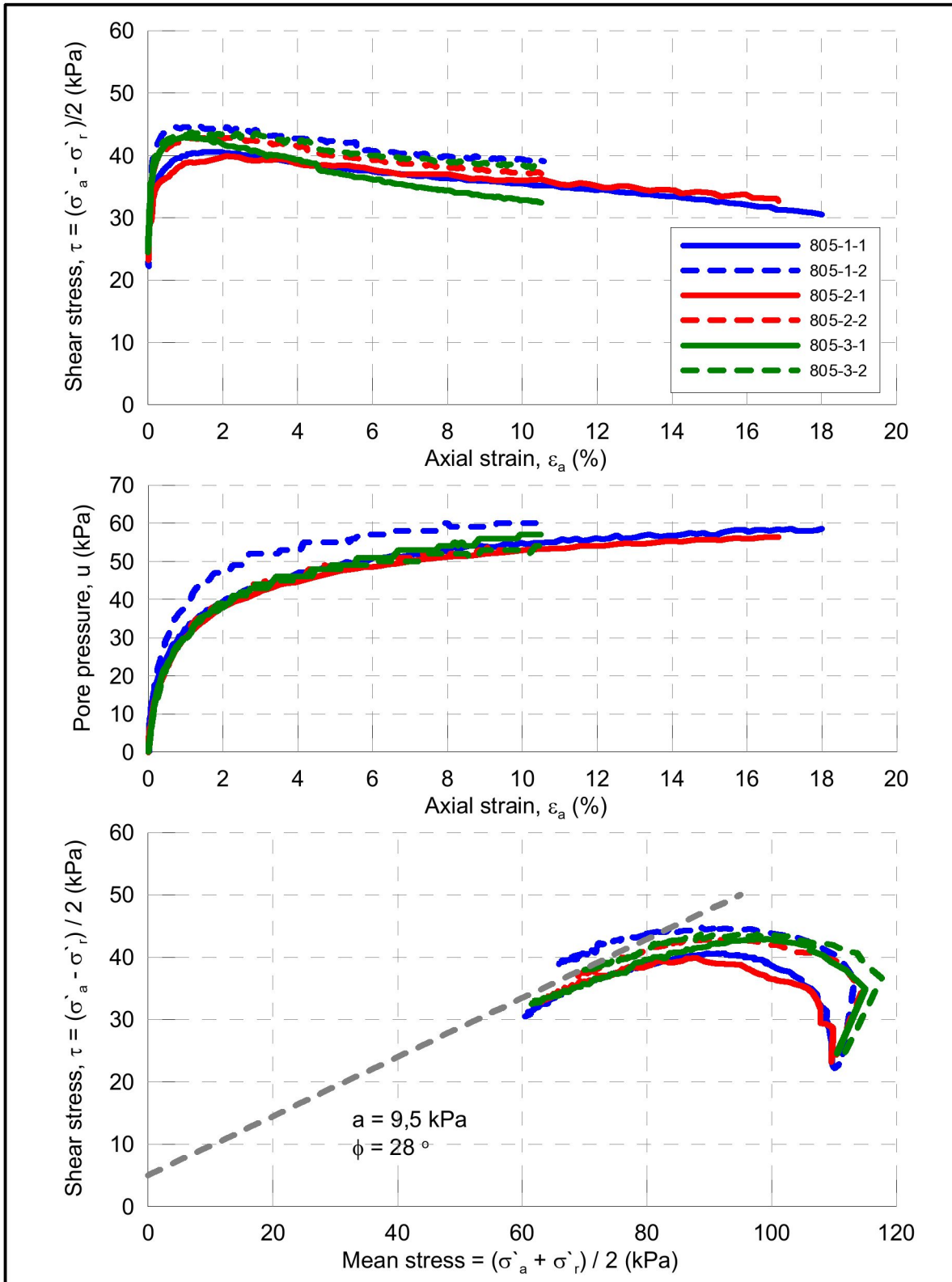
C:\Documents and Settings\nour\Mine dokumenter\RV2\plot\N31TRKSS,3m-1

 Statens vegvesen	FoU prosjekt - Rv. 2 Kløfta - Nybakk - Profil 850	Teknologirapport 2425
	Treaksialforsøk, samleplott, 850-3, dybde 5,3m	Dato 2006-01-10
		Figur 31




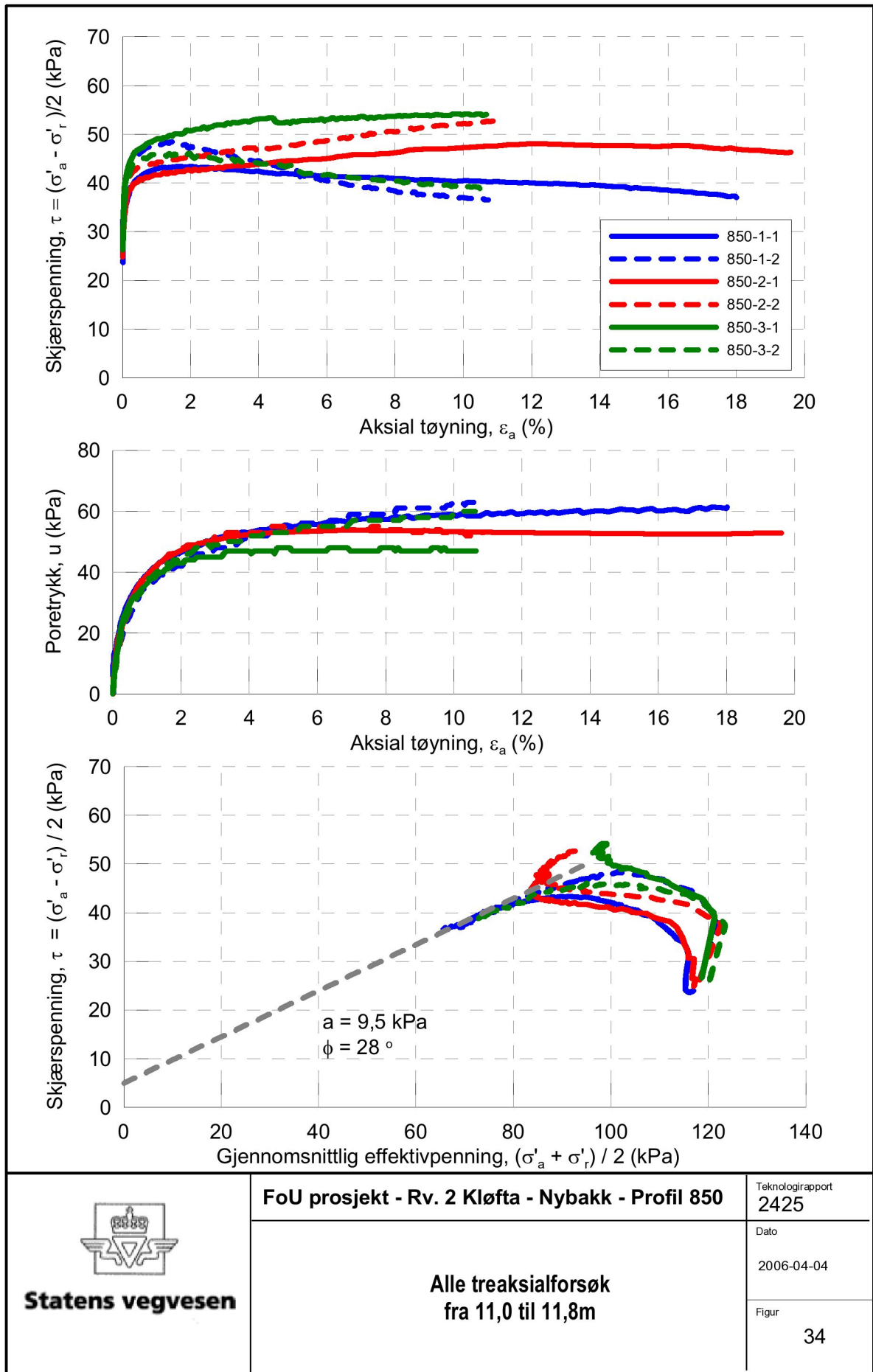
C:\Documents and Settings\nouri\My Documents\Rv2\plott\TRKS 6,0-6,8m

 Statens vegvesen	FoU prosjekt - Rv. 2 Kløfta - Nybakk - Profil 850	Teknologirapport 2425
	Alle treaksialforsøk fra 6,0 til 6,8 m	Dato 2006-04-04
		Figur 32



C:\Documents and Settings\nouri\Mine dokumenter\Rv2\plott\alleTRKS 10,0-10,8m

 Statens vegvesen	FoU prosjekt - Rv. 2 Kløfta - Nybakk - Profil 850	Teknologirapport 2425
	Alle treksialforsøk fra 10,0 til 10,8m	Dato 2006-04-04
		Figur 33



C:\Documents and Settings\nouri\Mine dokumenter\Rv2\plott\alleTRKS 11,0-11,8m



Statens vegvesen

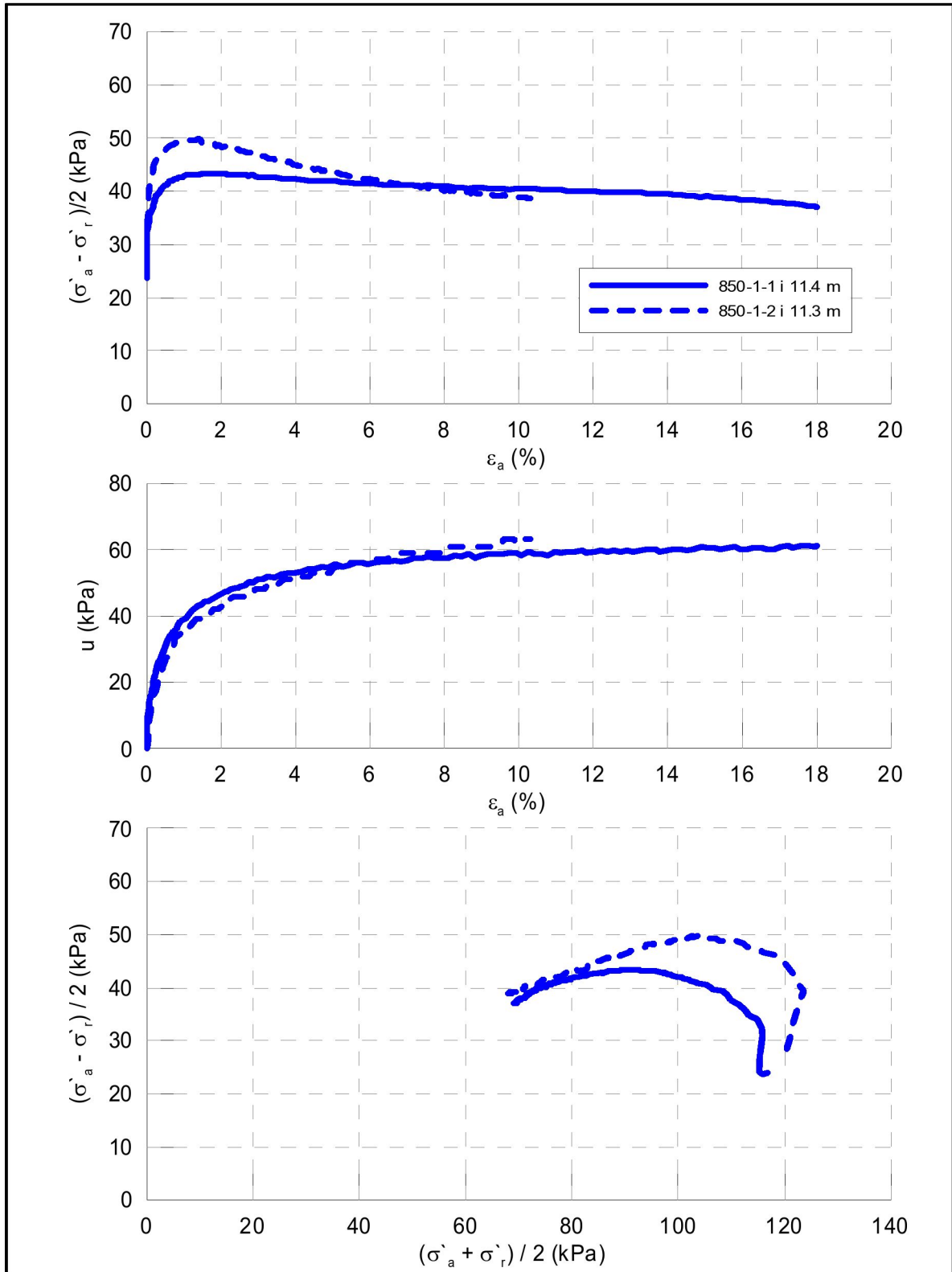
FoU prosjekt - Rv. 2 Kløfta - Nybakk - Profil 850

**Alle treaksialforsøk
fra 11,0 til 11,8m**


Teknologirapport
2425

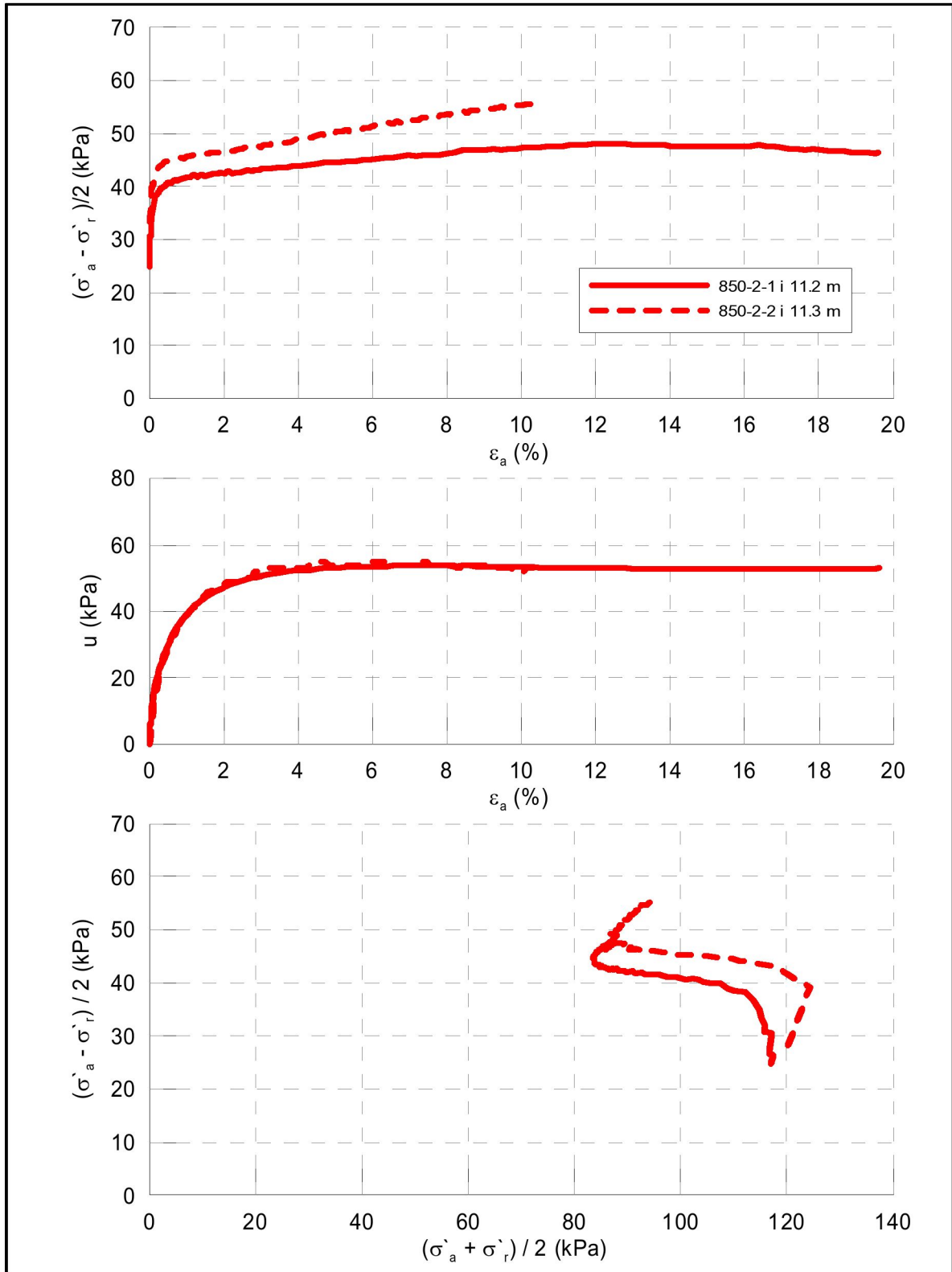
Dato
2006-04-04

Figur
34




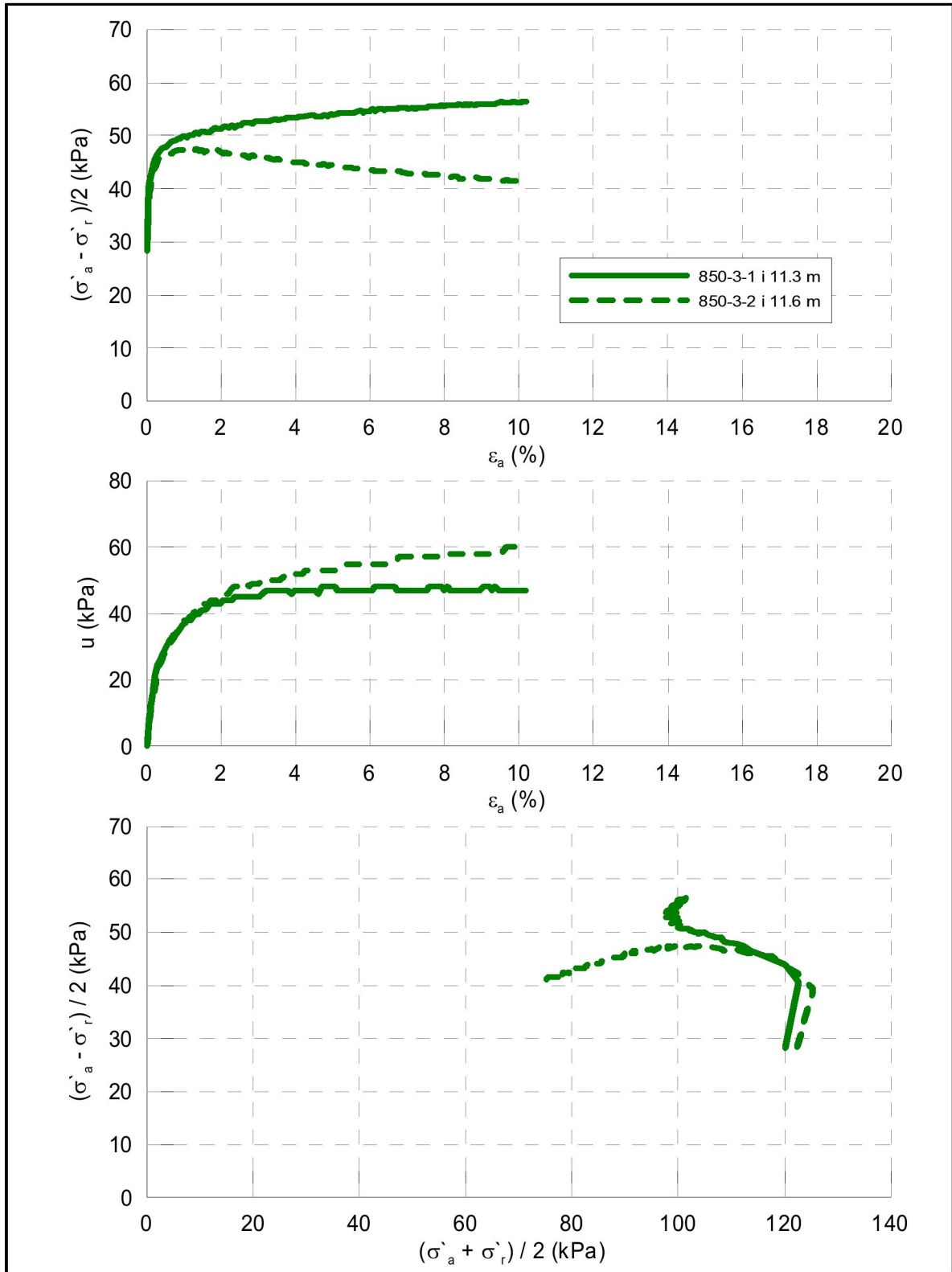
C:\Documents and Settings\nour\My Documents\RV2\plot\N35\TRKS11_3m-1

 Statens vegvesen	FoU prosjekt - Rv. 2 Kløfta - Nybakk - Profil 850	Teknologirapport 2425
	Treksialforsøk, samleplott, 850-1, dybde 11,3m	Dato 2006-01-10
		Figur 35




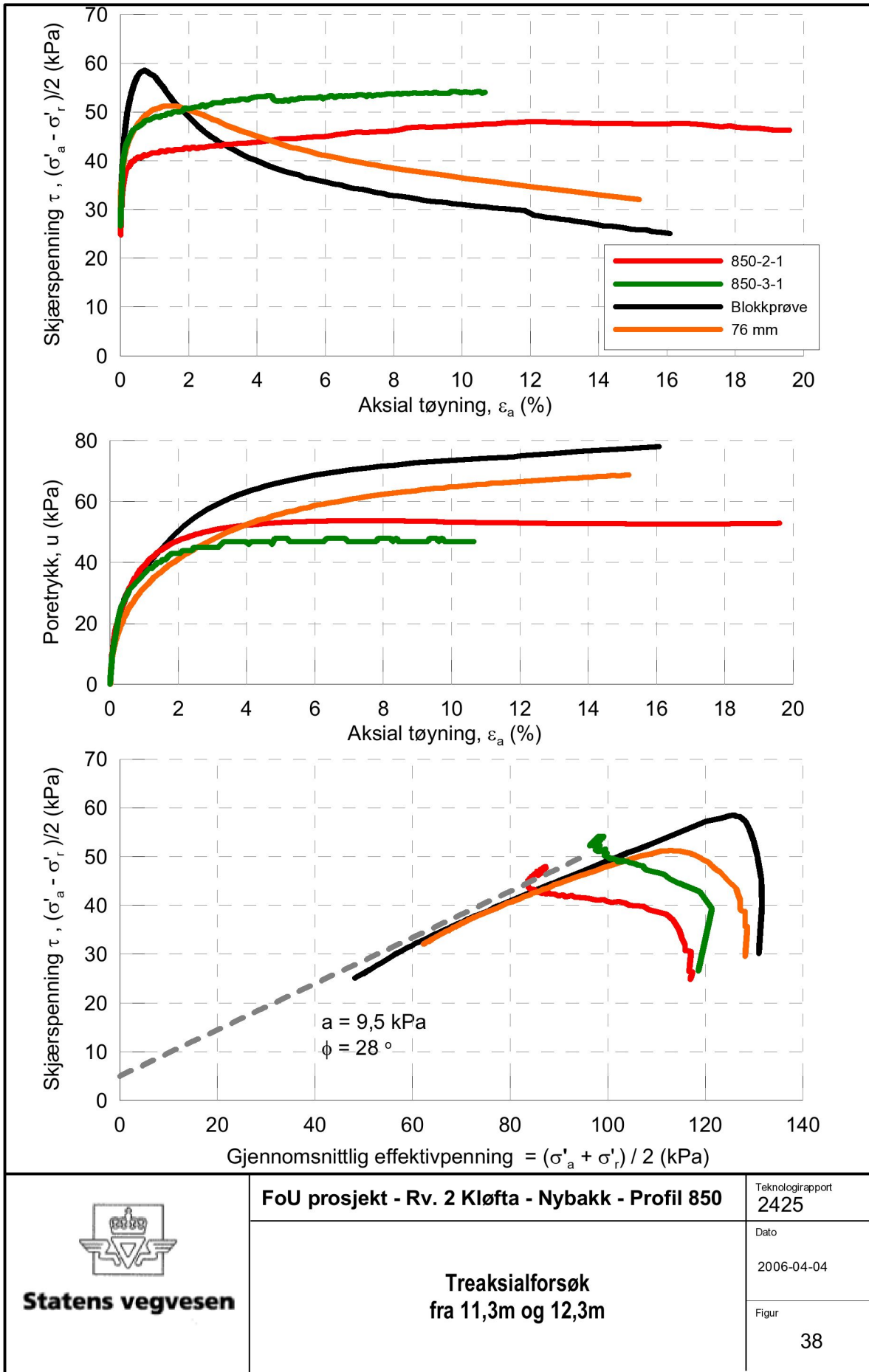
C:\Documents and Settings\nour\Mine dokumenter\RV2\plot\N367TRKS11_3m-2

 Statens vegvesen	FoU prosjekt - Rv. 2 Kløfta - Nybakk - Profil 850	Teknologirapport 2425
	Treksialforsøk, samleplott, 850-2, dybde 11,3m	Dato 2006-01-10
		Figur 36



C:\Documents and Settings\nour\My Documents\Rv2\plot\N37TRKS11_3m-3

 Statens vegvesen	FoU prosjekt - Rv. 2 Kløfta - Nybakk - Profil 850	Teknologirapport 2425
	Treksialforsøk, samleplott, 850-3, dybde 11,3m	Dato 2006-01-10
		Figur 37



C:\Documents and Settings\nouri\My Documents\Rv2\plott\TRKS fra 11,3m og 12,3m



Statens vegvesen

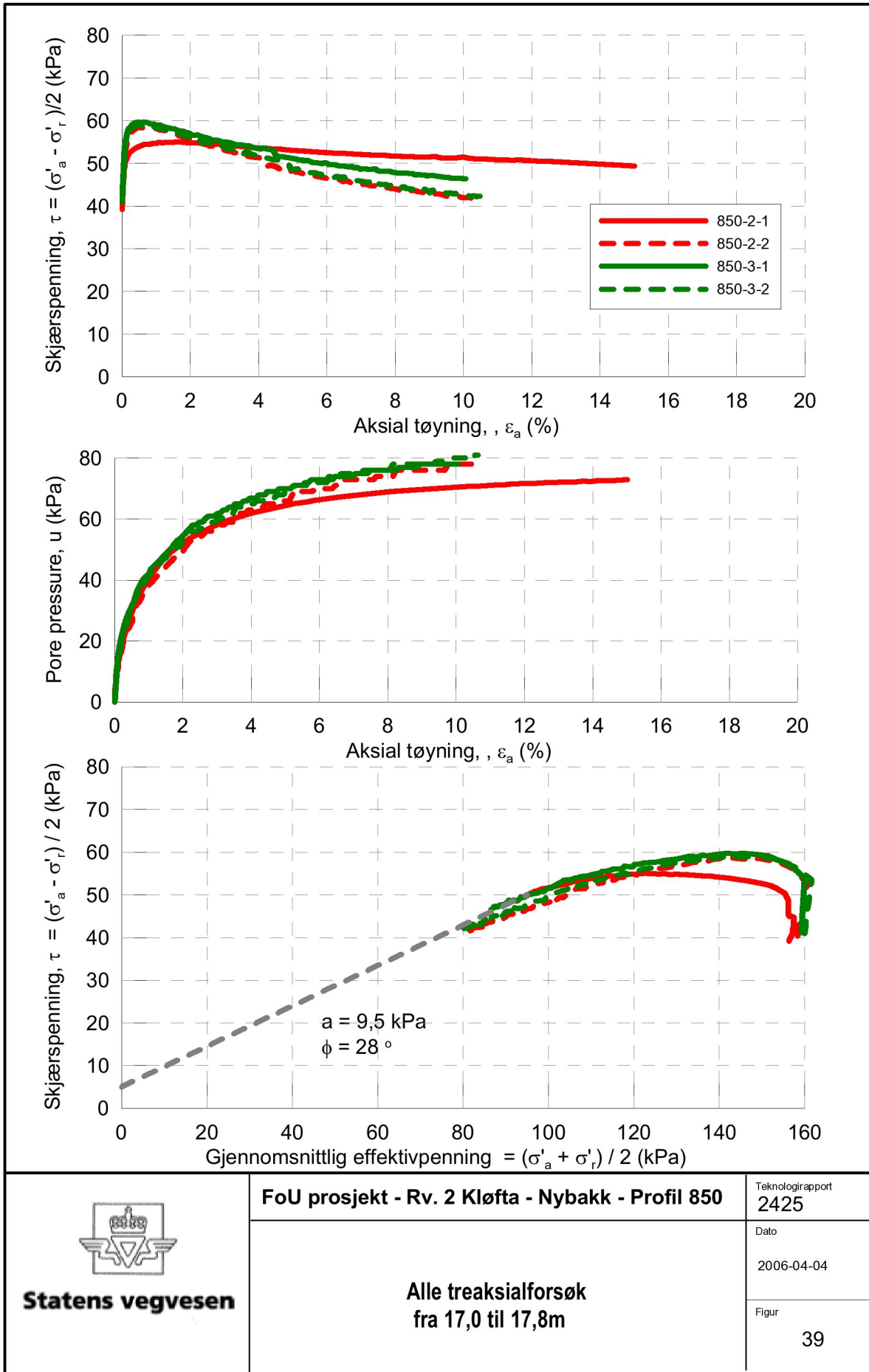
FoU prosjekt - Rv. 2 Kløfta - Nybakk - Profil 850

**Treaksialforsøk
fra 11,3m og 12,3m**

Teknologirapport
2425

Dato
2006-04-04

Figur
38



C:\Documents and Settings\nouri\Mine dokumenter\Rv2\plottalle\TRKS17_0-17_8m



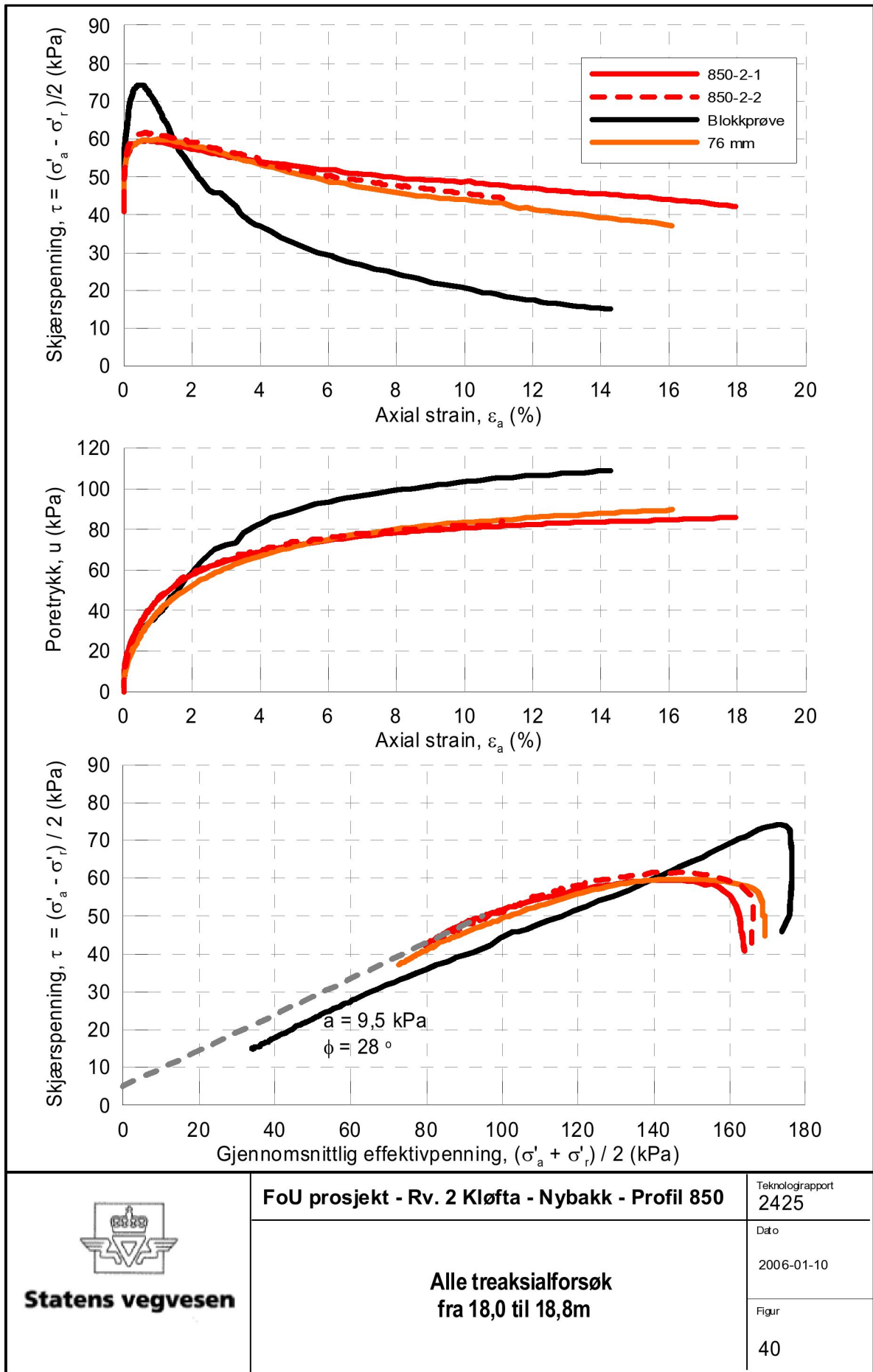
FoU prosjekt - Rv. 2 Kløfta - Nybakk - Profil 850

Alle treaksialforsøk
fra 17,0 til 17,8m

Teknologirapport
2425

Dato
2006-04-04

Figur
39



C:\Documents and Settings\nour\My Documents\Rv2\plot\N40TRKS 18,0-18,8m



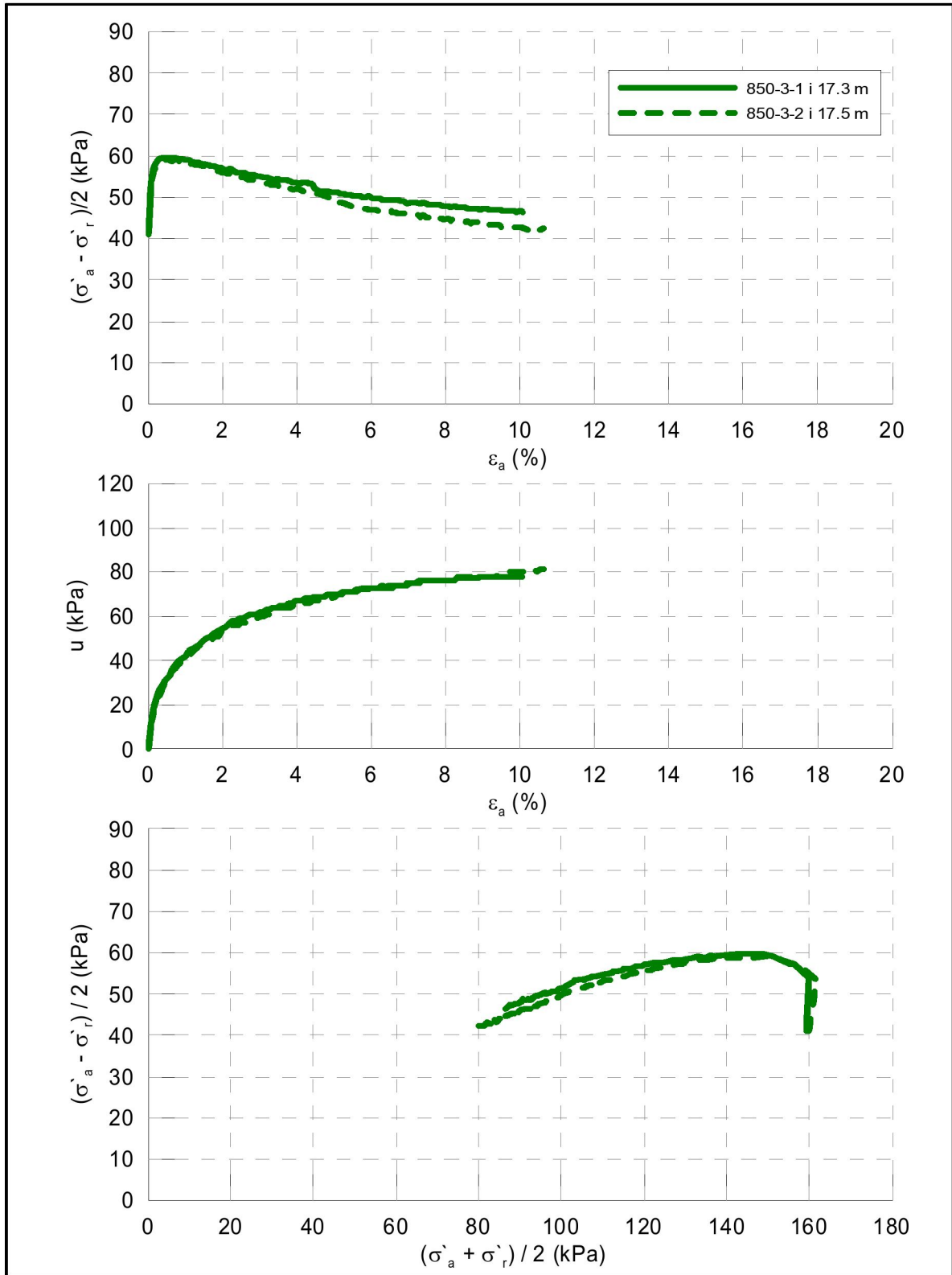
FoU prosjekt - Rv. 2 Kløfta - Nybakk - Profil 850

**Alle treksialforsøk
fra 18,0 til 18,8m**


Teknologirapport
2425

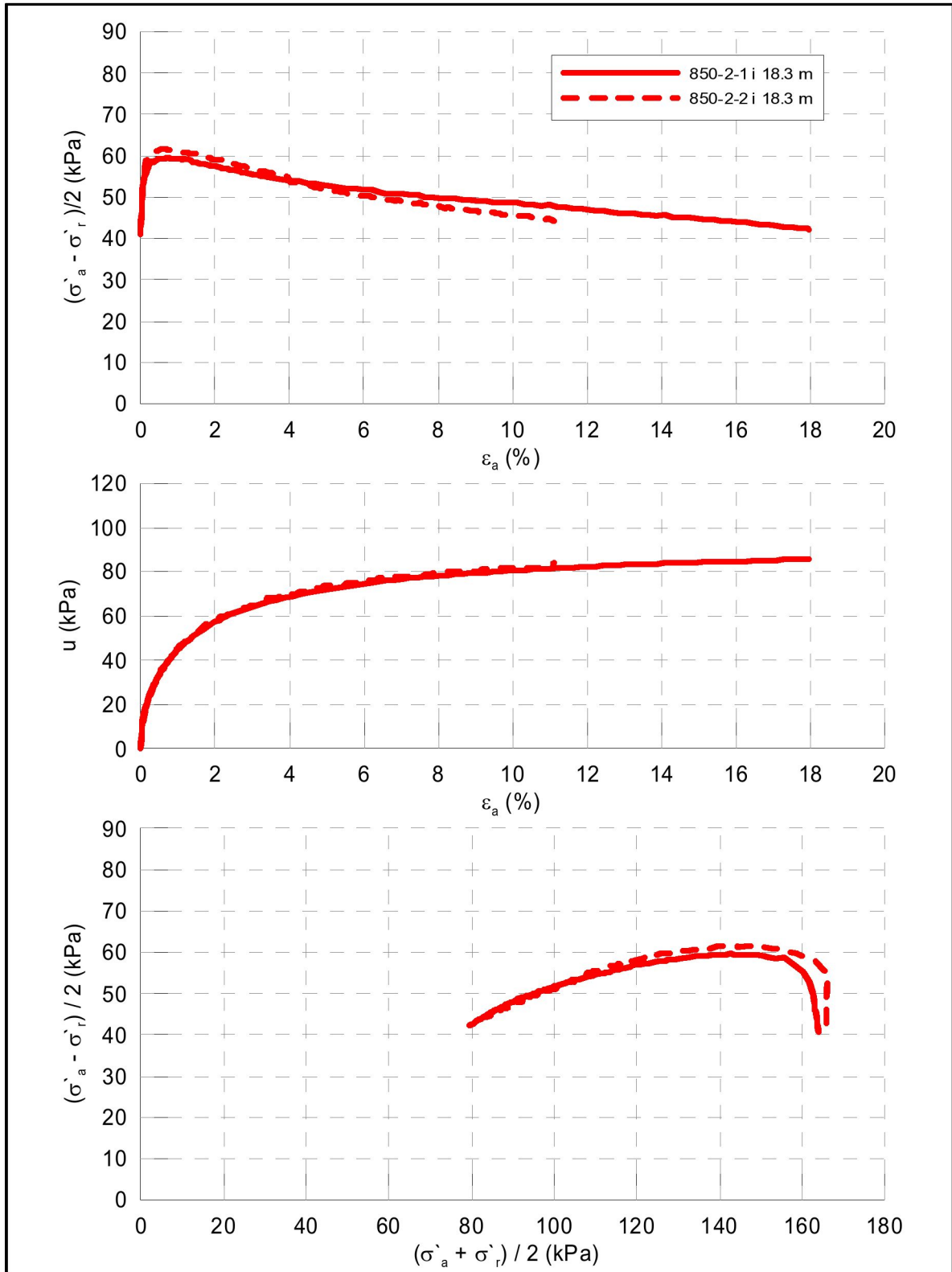
Dato
2006-01-10

Figur
40




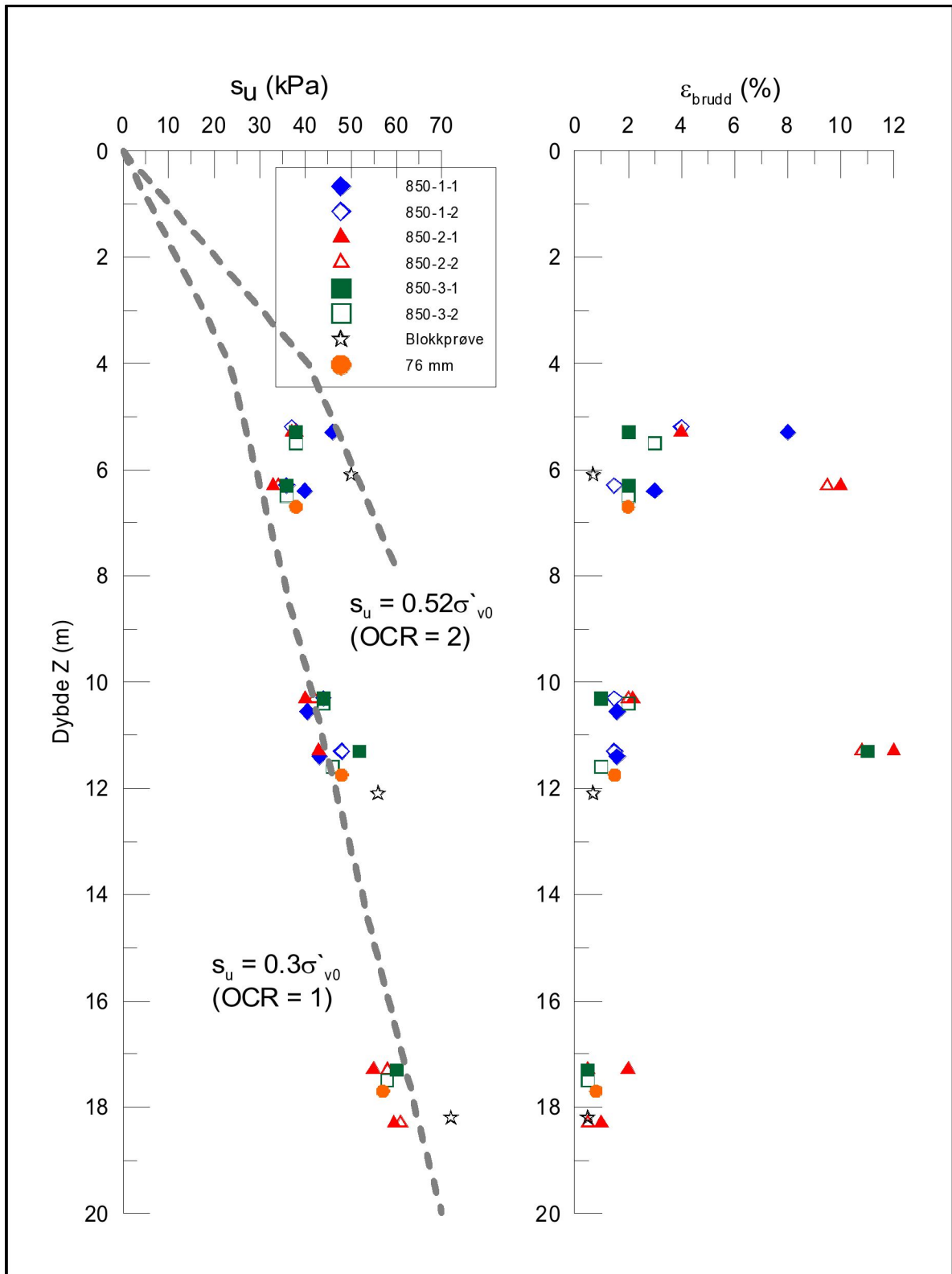
C:\Documents and Settings\nour\My Documents\RV2\plot\N41TRKS17_4m-3

 Statens vegvesen	FoU prosjekt - Rv. 2 Kløfta - Nybakk - Profil 850	Teknologirapport 2425
	Treaksialforsøk, samleplott, 850-3, dybde 17,4m	Dato 2006-01-10
		Figur 41




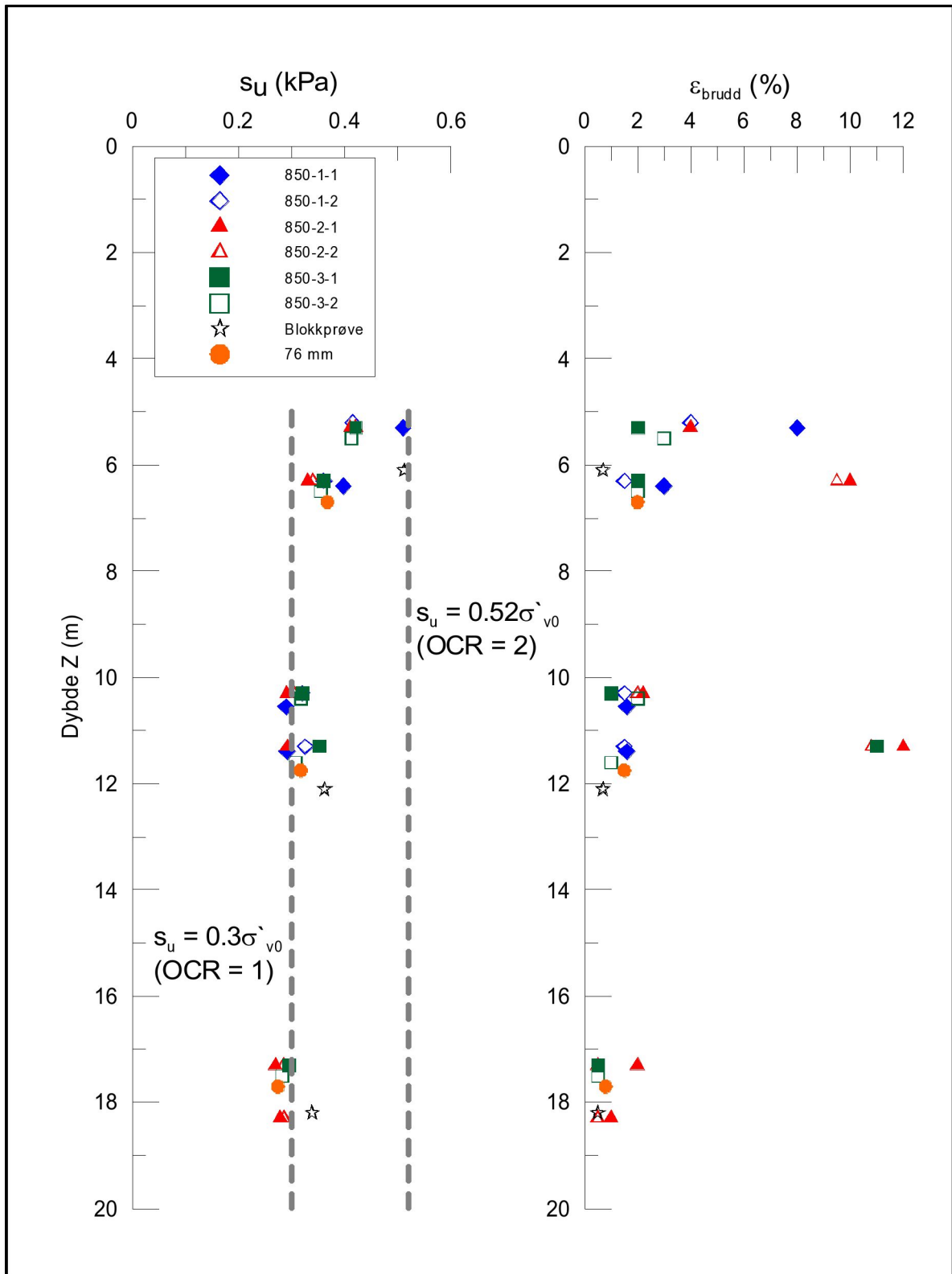
C:\Documents and Settings\nour\My Documents\rv2\plot\N42\TRKS18_3m-2

 Statens vegvesen	FoU prosjekt - Rv. 2 Kløfta - Nybakk - Profil 850	Teknologirapport 2425
	Treaksialforsøk, samleplott, 850-2, dybde 18,3m	Dato 2006-01-10
		Figur 42



C:\Documents and Settings\nour\Mine dokumenter\Rv2\plot\N4.3TRKSSu

 Statens vegvesen	FoU prosjekt - Rv. 2 Kløfta - Nybakk - Profil 850	Teknologirapport 2425
	Maks udrenert skjærstyrke ved treaksiale trykkforsøk med tilhørende tøyning	Dato 2006-01-10
		Figur 43



C:\Documents and Settings\nour\Mine dokumenter\Rv2\plot\N44TRK\NormaliseretSu



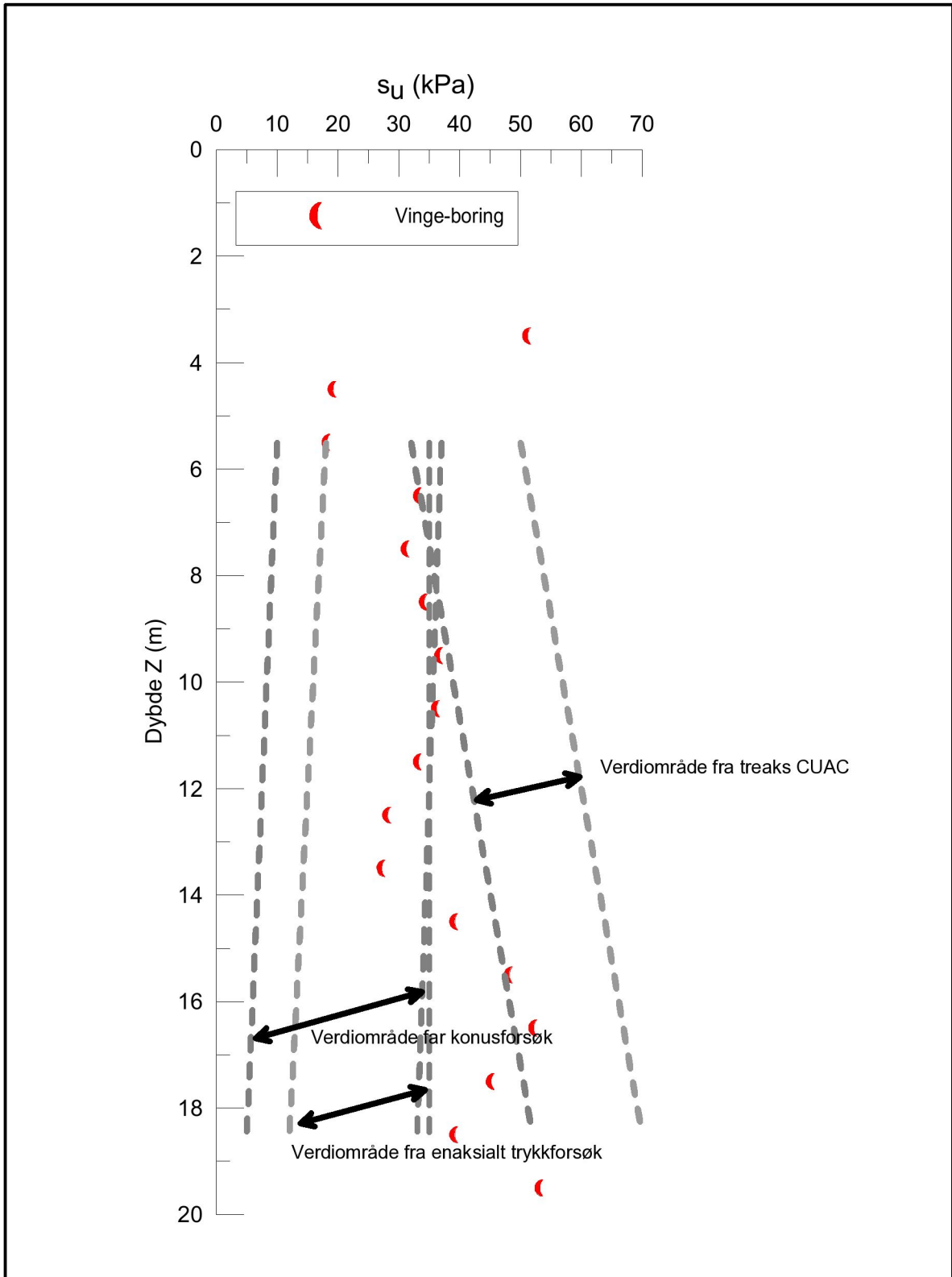
FoU prosjekt - Rv. 2 Kløfta - Nybakk - Profil 850

Maks udrenert treaksial skjærstyrke
normalisert mot σ'_{v0} med tilhørende tøyning


Teknologirapport
2425

Dato
2006-01-10

Figur
44



C:\Documents and Settings\nour\My Documents\Rv2\plott\N45s_u-verdier

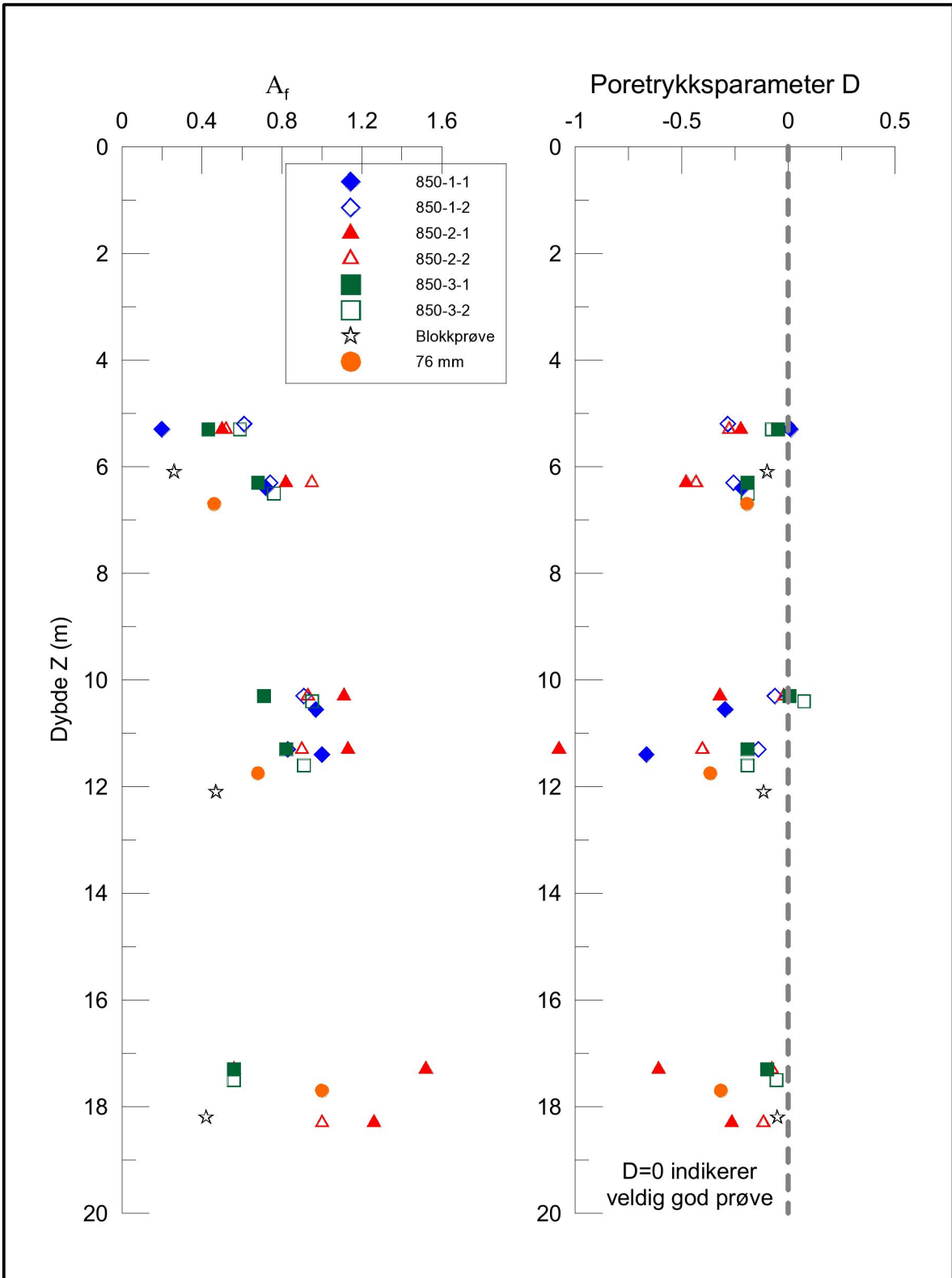
 Statens vegvesen	FoU prosjekt - Rv. 2 Kløfta - Nybakk - Profil 850	Teknologirapport 2425
	Sammenligning av s_u fra forskjellige forsøk	Dato 2006-04-18
		Figur 45

Dybde	5,0 - 5,8 m		6,0 - 6,8 m		10,0 - 10,8 m		11,0 - 12,1 m		17,0 - 17,8 m		18,0 - 18,8 m	
	D	A _f	D	A _f	D	A _f	D	A _f	D	A _f	D	A _f
1-1	0,010	0,2	-0,17	0,72	-0,297	0,97	-0,667	1				
1-2	-0,284	0,61	-0,258	0,74	-0,064	0,91	-0,14	0,83				
2-1	-0,224	0,5	-0,479	0,82	-0,321	1,11	-1,076	1,13	-0,609	1,52	-0,67	1,26
2-2	-0,278	0,52	-0,43	0,95	-0,023	0,93	-0,404	0,9	-0,078	0,56	-0,117	1
3-1	-0,049	0,43	-0,192	0,68	0,005	0,71	-0,193	0,82	-0,1	0,56		
3-2	-0,078	0,59	-0,192	0,76	0,073	0,95	-0,193	0,91	-0,056	0,56		
Blokk			-0,1	0,26			-0,117	0,47			-0,052	0,42
76mm			-0,194	0,46			-0,367	0,68			-0,317	1

Tabell nr. 7 Poretrykksparametere A_f og D

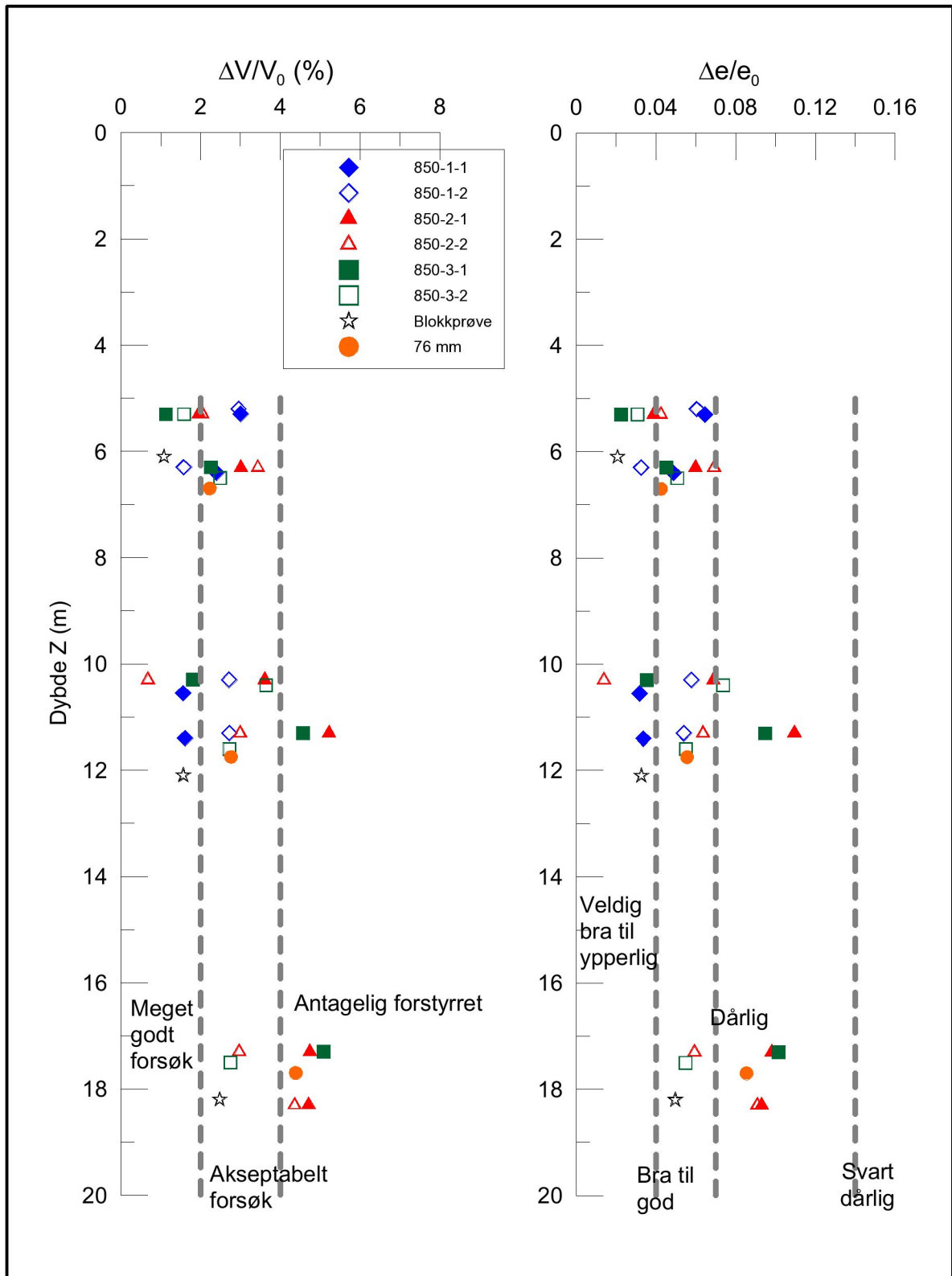
Dybde	5,0 - 5,8 m		6,0 - 6,8 m		10,0 - 10,8 m		11,0 - 12,1 m		17,0 - 17,8 m		18,0 - 18,8 m	
	Δe/e0	ΔV/V0	Δe/e0	ΔV/V0	Δe/e0	ΔV/V0	Δe/e0	ΔV/V0	Δe/e0	ΔV/V0	Δe/e0	ΔV/V0
1-1	0,065	3,007	0,049	2,405	0,032	1,566	0,034	1,615				
1-2	0,061	2,953	0,032	1,582	0,058	2,721	0,054	2,723				
2-1	0,039	1,961	0,06	3,011	0,069	3,611	0,11	5,2229	0,098	4,746	0,093	4,713
2-2	0,043	2,045	0,069	3,44	0,014	0,682	0,064	2,997	0,059	2,972	0,091	4,362
3-1	0,023	1,218	0,045	2,26	0,035	1,808	0,095	4,567	0,102	5,083		
3-2	0,031	1,582	0,051	2,491	0,074	3,646	0,0555	2,726	0,055	2,749		
Blokk												
76mm			0,043	2,231			0,056	2,762	0,085	4,39		

Tabell nr. 8 Prøvekvaliteten til treaksialforsøk.




C:\Documents and Settings\nouri\Mine dokumenter\Rv2\plot\N46TRKS\AfgD

 Statens vegvesen	FoU prosjekt - Rv. 2 Kløfta - Nybakk - Profil 850	Teknologirapport 2425
	Poretrykkskoeffisienten ved brudd A_f og poretrykksparameteren, D	Dato 2006-04-04
		Figur 47

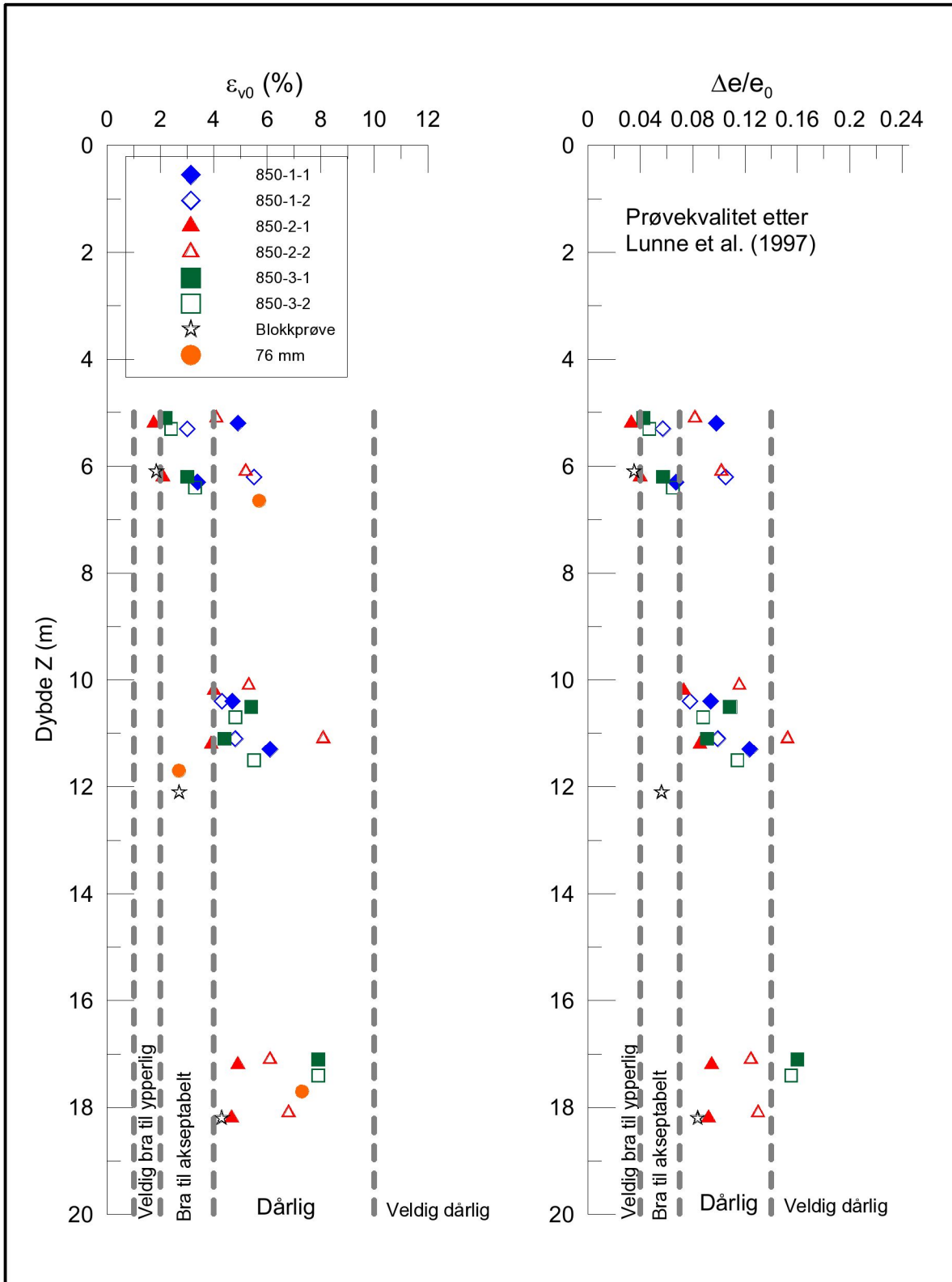


C:\Documents and Settings\nour\Mine dokumenter\Rv2\plott\TRKSkvalitet


 Statens vegvesen	FoU prosjekt - Rv. 2 Kløfta - Nybakk - Profil 850	Teknologirapport 2425
	Prøvekvalitet for treksialforsøk	Dato 2006-04-04
		Figur 48

Dybde	5,0 - 5,8 m		6,0 - 6,8 m		10,0 - 10,8 m		11,0 - 12,1 m		17,0 - 17,8 m		18,0 - 18,8 m	
	Ea	De/e0	D	A _f	D	A _f	D	A _f	D	A _f	D	A _f
1 - 1	4,9	0,098	3,4	0,067	4,7	0,094	6,1	0,124				
1 - 2	3	0,057	5,5	0,105	4,3	0,078	4,8	0,099				
2 - 1	1,75	0,033	2,1	0,04	4	0,073	3,9	0,086	4,9	0,095	4,67	0,092
2 - 2	4,1	0,082	5,2	0,102	5,3	0,116	8,1	0,152	6,1	0,124	6,8	0,13
3 - 1	2,2	0,042	3	0,57	5,4	0,108	4,4	0,91	7,9	0,243		
3 - 2	2,4	0,047	0	0	4,8	0,088	5,5	0,114	7,9	0,155		
Blokk												
76mm												

Tabell nr. 9 Prøvekvaliteten til ødometerforsøk



C:\Documents and Settings\nouri\Mine dokumenter\Rv2\plott\N49\ØDKval

 Statens vegvesen	FoU prosjekt - Rv. 2 Kløfta - Nybakk - Profil 850	Teknologirapport 2425
	Kvalitet av ødometerprøver	Dato 2006-04-04
		Figur 50

*Prosedyrer ved NGI's laboratorium*Prøveåpning (sylinder):

Det er ingen standard for åpning av prøvesylindere. Hvilke og antall laboratorieforsøk som skal inngå vil variere fra prosjekt til prosjekt, men materiale nærmere prøveendene enn 2 ganger prøvediameter blir ikke benyttet til forsøk for bestemmelse av skjærfasthet

Treksialforsøk:

- Prøvehøyde = ca. 110mm
- Prøveareal = ca 23 cm²
- Filterpapir 4 stk i spiral (ingen korreksjon nødvendig)
- Drenasje i topp og bunn av prøve
- Korreksjon av spenninger pga membranen (C-verdi og radiell forspenning)
- Mottrykk ca. 700 kPa
- Dag 1: innbygging og påføring av isotrop konsolideringspenning
- Dag 2: mottrykk og påføring av deviatorspenning
- Dag 3: B-verdi måling (krav >95 %) og bruddkjøring (ca 0,7 % /time)

Ødometerforsøk:

- Prøvehøyde = 20mm
- Prøveareal = 20cm²
- Belastningsprosedyre og forholdet U_b/σ_a fremgår av plott
- Pressehastighet ca. 0.5-0.7 % /time

Korreksjon for falsk deformasjon i apparatur

*Prosedyrer ved Multiconsults laboratorium*Rutinedata 54 mm prøvesylindere

I den grad det er mulig benyttes ikke de øverste og nederste 10 cm av prøven. Prøver for skjærfasthetsbestemmelse tas der en antar en har minst prøveforstyrrelse.

Vanninnhold og densitet

Vanninnholdet for enaksiale forsøk er bestemt av materialet som er trimmet vekk fra endeflatene.

Der det er utført CRS eller Triaksiale forsøk påføres vanninnhold og densitet i vårt boreprofil på grunnlag av måle- og veiedata fra prøvestykkene.

Der det ikke er utført CRS eller Treks, bestemmes densitet og vanninnhold på separate prøvestykker.

Ovnstørket materiale tas direkte fra tørkeovn og veies. Det benyttes ikke eksikator.

Humus (Naoh) bestemmes av utveide og tørkede prøver for bestemmelse av vanninnhold.

Skjærfastheten bestemmes både som et enaksialt trykkforsøk og på et eget prøvestykke utføres konusfasthet og omrørt verdi.

w_L og w_p bestemmes normalt på materiale nær eller på prøvestykke for bestemmelse av konusfasthet.

Der omrørt fasthet ligger innenfor konusinstrykk 7 – 15 mm på 60gram/60° benyttes verdi for vanninnhold og omrørt konusinstrykk for beregning av w_L .

For bløte eller faste prøver bestemmes w_L på et eget prøvestykke.

Triaksialforsøk.

Utføres på prøvestykker med 100 mm. høyde. Prøven veies og måles for beregning av densitet.

Det etableres sideveis drenering via filterstrimler + dreneringsveier ved begge endeflatene.

Ved anisotrope konsoliderte prøver påføres først beregnet sidetrykk σ_{rc} . Dagen etter påføres restlast til oppnådd σ_{ac} ved trinnvis opplasting. Dag 3, hvis prøven er ferdig konsolidert, påføres baktrykk i trinnvise etapper til ca. 300 kPa og prøvens poretrykkrespons måles. Hvis porerespons 0,95 % ikke er oppnådd påføres ytterligere baktrykk.

Oppsettingen av baktrykk utføres uten at prøvens effektive σ_{ac} endres.

Trykktestingen utføres ved en belastningshastighet på 2 % i timen og avsluttes ved oppnådd 18 % deformasjon.

Hydrometeranalyse.

Det benyttes 40 g beregnet tørt eller innveid tørt materiale. For leirer benyttes vått materiale og vanninnhold bestemmes på en parallell og homogenisert prøve. Materialets tørre vekt beregnes. Materialet står til oppløsning i vann og dispergeringsmiddel til dagen etter. Prøven overføres til en hurtigmikser og etterfylles med destillert vann og overføres deretter til målesylinderen og etterfylles til 1000 ml merket.

For hvert tidsintervall noteres hydrometerets avlesning og temperatur i suspensjonen. Normalt tidsintervall er i min. 0.5 – 1 – 2 – 5 – 10 – 20 – 30 – 60 – 120 – 240. Siste avlesning tas dagen etter for registrering av prosentverdi for leirfraksjon.

CRS

Prøvestykket presses inn i en ødometerring 20 mm høy og areal på 20 cm². Materialet som trimmes vekk veies og vanninnhold bestemmes. Prøvestykke for CRS-testen veies og dens densitet bestemmes.

Prøvetesting er utført med en konstant belastningshastighet på ca 2 % i timen. Forsøket avsluttes ved oppnådd 1000 kPa.

Spesifikk vekt

Bestemmes ved bruk av pyknometer. Det benyttes pyknometere ved volum ca 700 – 750 cm³. Det benyttes ca 100 – 150 g tørt materiale for analysen. Det påføres destillert vann til prøvematerialet er godt dekket og pyknometeret påføres et kontrollert vakuum for evakuering av eventuelle luftblærer. Pyknometeret etterfylles med destillert vann og settes i temperaturkontrollert vannbad til stabil temperatur på 20° C er oppnådd.

Vannivået i pyknometeret etterjusteres hvis nødvendig til kalibreringsmerket og pyknometeret veies. Der vekt av innveid materiale ikke er kjent overføres suspensjonen til et vannkar og settes i tørkeskap for inntørking og veiing.

Prosedyrer ved Statens vegvesens Sentrallaboratorium

Prøveoppbevaring i laboratoriet

Geotekniske prøver som leveres til Sentrallaboratoriet lagres umiddelbart etter mottak i kjølerom (ca. 6° C) frem til prøvene åpnes og analyseres.

Prøveutskyvning

Til prøveutskyvning benyttes en hydraulisk utskyverbenk hvor en ”trekkstang” brukes til å bevege gummistemplet i en parallell bevegelse med utskyverens stempel som igjen trykker på prøvens bunn. En gummiskive benyttes mellom prøvens bunn og utskyverens stempel for å hindre sjokkvirkning på prøven ved kjøring til kontakt. For å hindre at materiale skvises mellom stempel og sylindervegg har gummiskiven litt større diameter enn prøvesylinderens indre diameter. Dette for å sikre at all masse skyves ut slik at uttkjørt prøve har fullt tverrsnitt. Dessuten vil hindring av masseinntrengning bak stemplet gjøre renhold av sylindere enklere. Stemplet og gummiskiven bringes først forsiktig i kontakt med prøvens bunn. Trekkstanget festes i gummistemplet og i egen holder på utskyveren. Prøven skyves ut med konstant hastighet over på aluminiumsfolie som beveger seg i samme hastighet som utskyvingen. Prøven fordeles i 10 cm lange delprøver. Vanligvis benyttes ikke de 2 delprøvene som er nær endene til geotekniske analyser.

Ved foreliggende prosjekt er det utført konus- og enaksiale trykkforsøk også på delprøver nær sylindere endene. Ved å sammenligne disse forsøk med delprøver fra midtre del av sylindere får en et inntrykk av prøveforstyrrelsen ved endene av sylindere.

På hver sylinder ble det utført rutineanalyser – materialbeskrivelse, bestemmelse av tyngdetetthet, vanninnhold, udrenert skjærstyrke ved konus/- og enaksialt trykkforsøk, flyte/- og plastisitetstegrensene og kornfordeling, samt treaksialtrykkforsøk type CAUA-1 og ødometerforsøk type CRS.

Forsøkene ble utført i henhold til Statens vegvesen, Håndbok 014 Laboratorieundersøkelser (Hb 014).

Rutineanalyser:

Vanninnhold er bestemt på delprøvene hvor konus/- eller enaksialt trykkforsøk er utført, på ødometer/- og treaksialprøvene i henhold til prosess 14.426 i Hb 014.

Densitet (tyngdetetthet) er målt på hele sylindren, på ødometer/- og treaksialprøvene og i henhold til prosess 14.427 i Hb 014.

Konsistensgrensene, konusflyte/- og plastisitetsgrensene er utført på alle sylindrene og i henhold til prosessene 14.441 og 14.442 i Hb 014.

Udrenert skjærstyrke er bestemt ved konusforsøk og enkelt trykkforsøk og i henhold til prosessene 14.471 og 14.472 i Hb 014.

Korngradering er bestemt ved slemmeanalyse på prøvene hvor treaksial trykkforsøk er utført og henhold til prosess 14.433 i Hb 014.

Treksialforsøk er utført på prøver fra alle sylindrene og i henhold til prosess 14.481 i Hb. 014. Kort beskrevet utføres analysen slik:

- Prøvehøyde = ca. 100mm
- Prøveareal = 22.9 cm²
- Drenasje i topp og bunn
- Dag 1: innbygging og påføring av total radiell spenning og poretrykk trinnvis/vekselvis i fire trinn. Rett etter påføres tilleggskraft ved hjelp av trinnmotor med en hastighet på 0,5 mm/time. En komparator sørger for at aksial spenning blir konstant under konsolideringstiden.
- Dag 2: utlufting, avlesning og notering av utpresset porevann under konsolideringsfasen. Skjærfasen startes med en hastighet på 2,0 mm/time.
- Forsøket avslutes etter 10 – 12 (%) tøyning

Ødometerforsøk type CRS ble utført på alle prøvene og slik den er beskrevet i prosess nr. 14.482 i Hb 014. I CRS-forsøket påføres aksialbelastning slik at deformasjonshastighet under forsøket holdes konstant.

Prøvene er bygd inn i 20 cm² ring med en høyde på 20 mm og filter på toppen og i bunnen. Prøven dreneres på toppen mens poretrykket måles i bunnen. Lasten påføres ved hjelp av en trinnmotor. Lastpåføringshastigheten skal ikke resultere i en poretrykksøkning større enn 20 (%) av aksialspenningen og skal normalt ikke være over 10 %. Høyere verdi kan tillates i starten av forsøket. Ødometerforsøk stoppes når aksialspenningen har nådd 1200 kPa.



Statens vegvesen

Statens vegvesen Vegdirektoratet
Postboks 8142 Dep
N - 0033 Oslo

Tlf. (47) 22 07 35 00
E-post: publvd@vegvesen.no

ISSN 1504-5005