



Statens vegvesen

CPTU-seminar i Vegdirektoratet 26. april 2010

RAPPORT

Teknologiavdelingen

Nr. 2565



Region sør
Teknologiavdelingen
Dato: 2010-06-22



Statens vegvesen

Vegdirektoratet
Teknologiavdelingen

Postadr.: Postboks 8142 Dep
0033 Oslo

Telefon: (+47 915) 02030

www.vegvesen.no

TEKNOLOGIRAPPORT nr. 2595

Tittel

CPTU-seminar i Vegdirektoratet 26. april 2010

Utarbeidet av

Bjørn Kristoffer Dolva

Dato:

2010-06-22

Saksbehandler

Bjørn Kristoffer Dolva

Prosjektnr:

202951

Kontrollert av

Roald Aabøe

Antall sider og vedlegg:

550

Sammendrag

Rapporten oppsummerer seminaret om CPTU arrangert av Statens vegvesen, mandag 26. april 2010 i Oslo. I alt 39 geoteknikere fra hele etaten og konsulentbransjen deltok.

Seminaret ble innledet ved avdelingsdirektør Roald Aabøe, TMT, Vegdirektoratet.

Temaet var bruk av CPTU (Cone Penetration Test Undrained) i forbindelse med geotekniske feltundersøkelser, vurderinger og beregninger. Med bakgrunn i noe ulik praksis og erfaringer var det ønskelig med en felles gjennomgang med erfaring-sutveksling både internt i etaten og mellom våre samarbeidspartnere/ tjenesteleverandører.

Innleggene dokumenterte de ulike firmaenes praksis knyttet til bruk av CPTU, spesielt som et verktøy i forbindelse med geotekniske feltundersøkelser, vurderinger og beregninger. Herunder alle ledd fra planlegging av grunnundersøkelsene, gjennomføring og tolkning av resultater. Aktuelle stikkord var: programvare, metodikk, usikkerheter, feil og mangler, potensialet med metoden etc. illustrert ved bruk i aktuelle oppdrag.

Bidragene inngår i denne rapporten, og i tillegg er innleggene stikkordsmessig referert sammen med den avsluttende diskusjonen. Ytterligere dokumentasjon er vedlagt enkelte av innleggende etter avtale med foredragsholder.

Seminaret dokumenterer i stor grad dagens praksis i Norge på dette området, og peker på både utviklingspotensialet ved metoden og gir synspunkter som må legges til grunn for videre utvikling.

Innspill knyttet til de ulike innleggene og den avsluttende diskusjonen gav en del avklaringer, samtidig som det også pekte på konkrete oppgaver vi må utføre i tiden som kommer. Her kan nevnes investering i nytt og bedre utstyr i felt, etablere og videreutvikle både rammene rundt metodene og praksis for tolking av resultatene.

Summary

Emneord:

Grunnundersøkelser, sondering, CPTU

Forord

Utkast til forord til rapporten om CPTU-seminar i Vegdirektoratet mandag 26. april 2010:

Statens vegvesen, representert ved Vegdirektoratet – seksjon for geoteknikk og skred, og Region sør ved fagspecialistene i GEOSØR, gjennomførte i fellesskap et seminar mandag 26. april 2010 i Vegdirektoratets lokaler i Oslo.

Temaet var bruk av CPTU (Cone Penetration Test Undrained) i forbindelse med geotekniske feltundersøkelser, vurderinger og beregninger. Med bakgrunn i noe ulik praksis og erfaringer ønsket vi en felles gjennomgang med erfaringsutveksling både internt i etaten og mellom våre samarbeidspartnere/tjenesteleverandører.

Sjefingeniør Arild Sleipnes fra Statens vegvesen Region nord holdt foredrag om praksis og erfaringer i sitt virke som geotekniker og som bruker av CPTU.

Tjenesteleverandørene knyttet til rammeavtalene med Region sør (Multiconsult as, Rambøll Norge as, Norconsult as) og Vegdirektoratet (GeoVest-Haugland as, SINTEF/NTNU og NGI) var invitert til å holde ett forberedt innlegg hver om firmaets praksis knyttet til bruk av CPTU spesielt som et verktøy i forbindelse med geotekniske vurderinger og beregninger. Herunder alle ledd fra planlegging av grunnundersøkelsene, gjennomføring og tolkning av resultater. Aktuelle stikkord var: programvare, metodikk, usikkerheter, feil og mangler, potensialet med metoden etc. illustrert ved bruk i aktuelle oppdrag.

Alle foredragene var lagt opp til en fremføring på 30 minutter, og det var satt av ytterligere 5 minutter til spørsmål, og 50 minutter til en avsluttende felles diskusjon.

Bidragene ble også levert skriftlig og inngår i denne rapporten. I tillegg er innleggene stikkordsmessig referert sammen med den avsluttende diskusjonen. Ytterligere dokumentasjon er vedlagt enkelte av innleggende etter avtale med foredragsholder.

Seminaret dokumenterer i stor grad dagens praksis i Norge på dette området, og peker på både utviklingspotensialet ved metoden og gir synspunkter som bør legges til grunn for videre utvikling.

Alle bidragsytere takkes med dette for forberedeleser, gjennomføring og ikke minst dokumentasjon av innlegg.

30. mai 2010

Vegdirektoratet
Geoteknikk og skredseksjonen

Region sør
GEOSØR

Roald Aabøe
avdelingsdirektør

Bjørn K. Dolva

Forberedt innlegg ble holdt av:

- Sjefingeniør Arild Sleipnes fra Statens vegvesen Region nord
- Dr.ing. Arne Åsmund Skotheim, GEOVEST-HAUGLAND AS
- Teknisk direktør Kjell Karlsrud, Norges Geotekniske Institutt (NGI)
- Masterstudentene Kristoffer Kåsin og Rolf Aasland, fra NTNU fortalte om sine pågående arbeider knyttet til grunnundersøkelser i Rissa kommune.
Innleggene blir gjort tilgjengelig når masteroppgaven er ferdig sensurert.
- Senior geoteknisk rådgiver Rolf Sandven, Multiconsult as
- Siv.ing. Trine Flobak, Rambøll Norge as holdt innlegg - forberedt av Stein-Are Strand
- Seksjonsleder geoteknikk Arne Engen, Norconsult as
- 1.amanuensis Arnfinn Emdal, NTNU innledet og ledet avsluttende diskusjon.
- Sjefingeniør Frode Oset, Vegdirektoratet oppsummerte seminaret

Opptegning i plan / på oversiktskart.

TEGNINGSSYMBOLER

Nummerering i henhold til borpunktliste GeoPlot.

Symbol	Metode	Anmerkning	Symbol	Metode	Anmerkning
●	2401 Dreiesondering	Sondering m. registrering av motstand.	■	2410 Setningsmåling	Nivellements punkt.
◎	2402 Prøveserie	Prøvene tatt med boringsredskap (skovlbor, prøvetager, diamantkjernebor m.m.)	⊖	2411 S.P.T.	Standard Penetration Test
□	2403 Prøvegrop	Prøvene tatt i gropvegg.	☆	2412 Fjellkontrollboring	Boring ned til og i fjell.
⊠	2404 Prøvebelastning	Peler, terrengplater, fundamenter o.l.	⊖	2413 Poretrykkmåling	Inkludert måling av grunnvannstand.
○	2405 Enkel sondering	Sondering uten registrering av motst., f.eks. spyleboring, slagboring m.m.	●	2414 In situ permeabilitetsmåling	Infiltrasjonsforsøk, prøvepumping m.m.
◊	2406 Dreietrykksondering	Maskinsondering med automatisk registrering.	+	2415 Vingeboring	Måling av uomrørt og omrørt udrenert skjærstyrke.
▽	2407 CPTU	Sondering der spissmotstand, lokal friksjon og poretrykk registreres under nedpressing	∩	2416 Elektrisk sondering	Elektrisk motstand, korrosivitet etc.
⊗	2408 Skruplateforsøk	Kompressometer o.l.	⊞	2417 Helningsmåling	Inklinometer.
▼	2409 Ramsondering	Sondering der borstang slås ned. Stangdiameter, loddvekt og fallhøyde er normert. Q_0 registreres.	⊕	2418 Totalsondering	Kombinasjonsboring gjennom løsmasser og fjell.

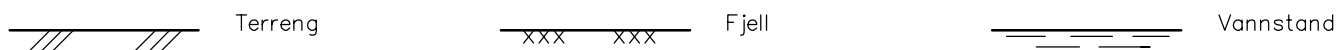
NIVÅER OG DYBDER (i meter)

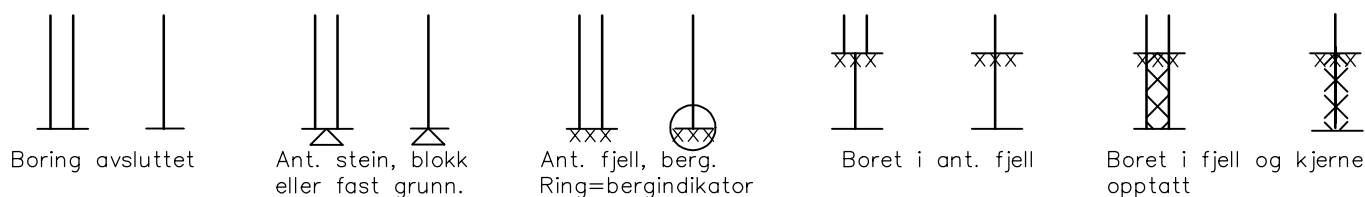
$$\star \frac{12,8}{-5,7} 18,5+3,0$$

Over linjen : kote terreng eller elvebunn, sjøbunn ved boring i vann (12,8).
 Ut for linjen : boret dybde i løsmasser (18,5). Evt. boret dybde i fjell angis etter plusstegn (+3,0).
 Under linjen : sikker fjellkote.

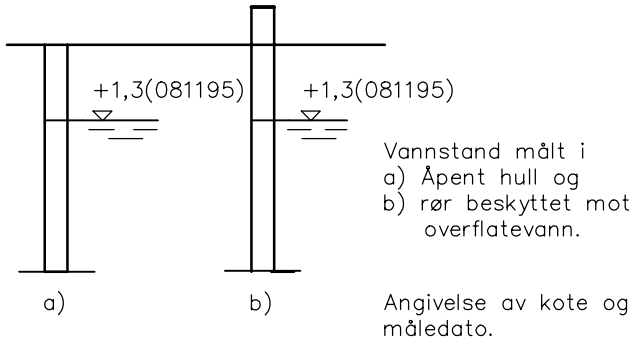
OPPTEGNING I PROFIL

Generelt

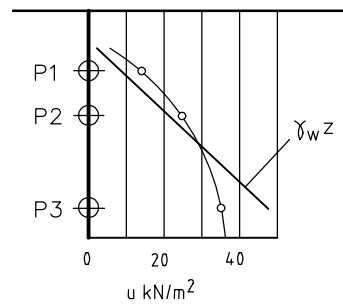

FORBORING (Gjelder alle sonderingstyper)

AVSLUTNING AV BORING (Gjelder alle sonderingstyper)


GRUNNVANNSTAND



⊖ PORETRYKK

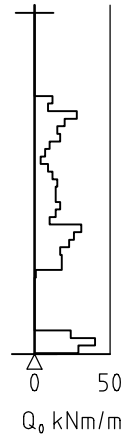


Poretrykk, u, fremstilles i et diagram. En teoretisk linje for hydrostatisk trykkfordeling γ_{wz} kan vises.

VANNSTAND

HFV	Høyeste flomvannstand
HRV	Høyeste reguleerte vannstand
LRV	Laveste reguleerte vannstand
HHV	Høyeste høyvannstand
LLV	Laveste lavvannstand
HV	Normal høyvannstand
LV	Normal lavvannstand
MV	Normal middelvannstand
V	Vannstand (dato angis)
GV	Grunnvannstand (dato angis)

▼ RAMSONDERING

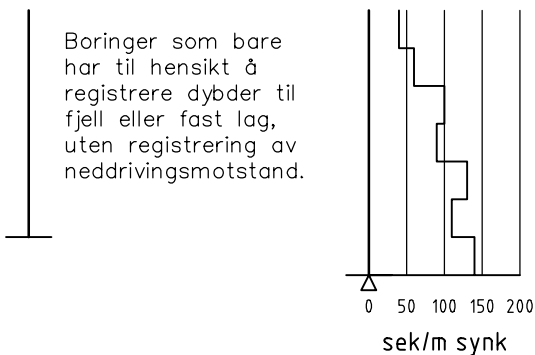


Rammemotstanden Q₀ angis som brutto rammeenergi i kNm pr. m synk av boret.

$$Q = \frac{W \times H}{s}$$

der W = Tyngde av lodd (kN)
H = Fallhøyde (m)
s = Synk i m pr. slag

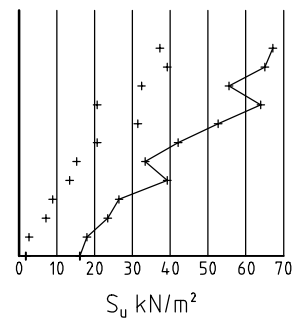
○ ENKEL SONDERING



Boringer som bare har til hensikt å registrere dybder til fjell eller fast lag, uten registrering av neddrivingsmotstand.

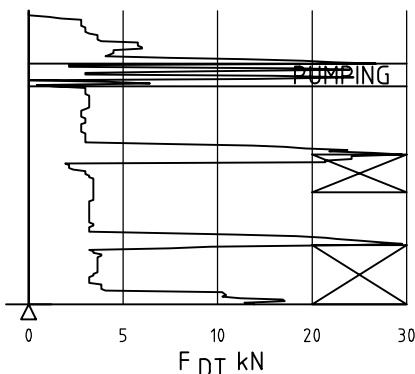
Ved enkel sondering med slagbormaskin og sondering med fjellrigg kan synk vises som sek/m.

+ VINGEBORING



Borhullet markeres med enkel tykk strek. Skjørstyrken s_u og s'_u angis i kN/m² med tegnet +. Verdier merka (+) ansees ikke representative. Verdien som angis er den kalibrerte omrørte og uomrørte skjærstyrke.

◆ DREIETRYKKSONDERING

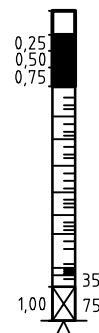


Vanlig boring med 25 omdr./min. Pumping

Økt rotasjon

Borhullet markeres med en enkel tykk strek. Målt nedpressingskraft er vist som funksjon av dybden. Kraften er registrert ved automatisk skriver.

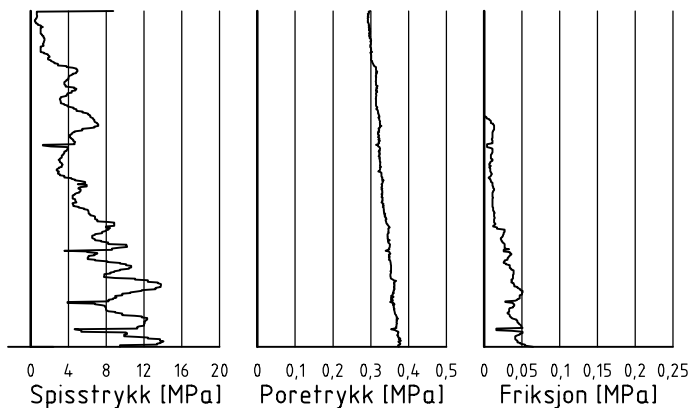
● DREIESONDERING



Forboringdybde markeres og diameter angis i mm. Vertikallasten i kN angis på borhullets v. side. Endring i belastning vises ved tverrstrek. Synk uten dreining markeres med skyggelegging eller raster.

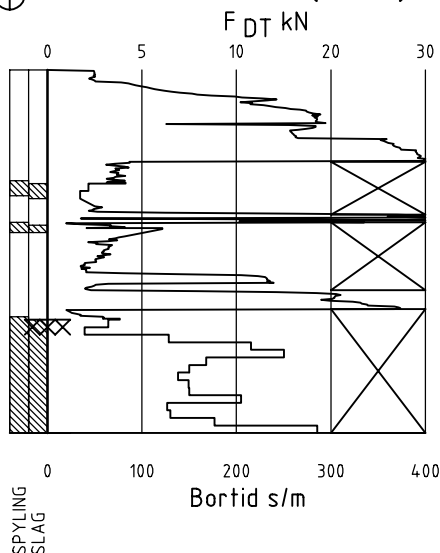
Hel tverrstrek for hver 100 halv-omdreining. Halv tverrstrek for hver 25 halv-omdreining. Mindre enn 100 halv-omdreining vises ved å skrive ant. halv-omdr. på h. side. Neddriving ved slag på boret vises m. kryss, slagant. og redskap kan angis. Endret neddrivingsmåte vises m. hel tverstr.

▽ CPT / TRYKKSONDERING



Trykksondering med poretrykksmåling og friksjonsmåling. Borhullet markeres med en tykk strek hvor spissmotstandskurven tegnes inn. Poretrykkskurven og friksjonskurven tegnes inn i høvelig nærhet til spissmotstandskurven. Skala velges etter (opptredende) målte spenninger.

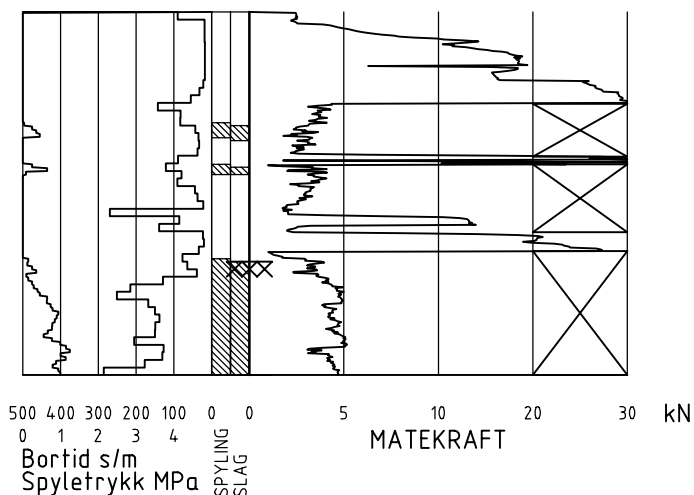
⊕ TOTALSONDERING (alt. 1)



Metoden er en kombinasjon av dreietrykksondering og fjellkontrollboring, med 57 mm borkrone.

Målt nedpressingskraft vises som funksjon av dybden der hvor boringen er utført med prosedyre som for dreietrykksondering. Økt rotasjonshastighet vises med kryss for denne delen av boringen.

⊕ TOTALSONDERING (alt. 2)



Ved boring med slag og spyling markeres dette med skravur. Bortid tegnes i blokker for hver 0,2m, evt. 1,0m (alternativ 1). Alternativt kan nedpressingskraft tegnes også for denne delen av boringen. Bortid tegnes da i blokker for hver 0,2m, evt. 1,0m, på motsatt side av diagrammet (alt. 2).

KODELISTE

Data som registreres kan kompletteres med borlederens egne inntrykk. For å hjelpe borlederen finnes det en kodeliste som anbefales brukt. Kodene kan om ønskelig tegnes til høyre for bordiagrammet. Disse koder benyttes:

GENERELLE KODER

- 00 Foreg. kode feil, skal være kode...
- 01 Startnivå for følgende kode
- 02 Metodebytte ved fortsatt sondering i samme hull (komb. m. ang. ny met.)
- 03 Ytterligere info. finnes

ANMERKNINGSKODER

- 10 Stoppnivå for tidligere forsøk (komb. m. stoppkode).
- 11 Lengre opphold i sond. (mer enn 5min.)
- 12 Dreining ikke utført fra det markerte nivå.
- 13 Sonden synker uten loddets vekt (ramsond.).
- 14 Sonden synker med loddets tyngde.
- 15 Sonderingsmotstand registreres ikke.
- 16 Stopp for poretrykksutjevning (CPT).
- 17 Poretrykksutjevning avsluttet.

FRIE KODER (EKSEMPEL)

- 60 Borstangen bøyer seg.
- 61 Trolig grunnvannsnivå.
- 62 Markert mottrykk under oppbygging.
- 63 Slutt mottrykk.

BEDØMMELSESKODER

- 30 Fyllmasse
- 31 Tørreskorpe
- 32 Leire
- 33 Silt
- 34 Sand
- 35 Grus
- 36 Morene
- 37 Torv
- 38 Gytje
- 40 Forekomst av stein
- 41 Stein, blokk eller berg.
- 42 Sluttnivå for stein eller blokk.
- 77 Slag og spyling slutter samt.
- 78 Pumping starter
- 79 Pumping slutter

MASKINTEKNISKE KODER

- 70 Økt rotasjon begynner
- 71 Økt rotasjon avsluttet
- 72 Spyling begynner
- 73 Spyling slutter
- 74 Slag starter
- 75 Slag slutter
- 76 Slag og spyling starter samt.
- STOPPKODER
- 90 Sondering avsl. uten å ha oppnådd stopp.
- 91 Fast grunn, sond. kan ikke drives videre etter norm. pros.
- 92 Ant. stein eller blokk
- 93 Ant. berg
- 94 Avsl. etter boret ønsket dybde i fjell.
- 95 Brudd i borstenger eller spiss.
- 96 Annen material- eller mask.feil
- 97 Boring avsl. (årsak notert)

⊙ PRØVESERIE

Materialsignatur (iht. NGF)

Anmerkning



Fjell



Stein og blokk



Grus



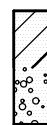
Sand

T = tørrskorpe
Leire: R = resedimenterte masser
K = kvikkleire

Ved blandingsjordarter kombineres signaturene.

Morene vises ved skyggelegging.

Eks.:

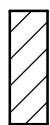


Moreneleire

Grusig morene



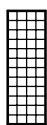
Silt



Leire



Skjell



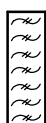
Fyllmasse



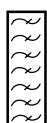
Trerester
Sagflis



Matjord



Torv
Planterester



Gytje, dy
(vannavsatt)

For konkresjoner kan bokstavsymboler settes inn i materialsignaturen.

Ca = kalkkonkresjoner
Fe = jernkonkresjoner
AH = aurlulle

SYMBOLER FOR LABORATORIEDATA

Laboratoriebestemmelser	Bokstav-symbol	Tegn-symbol	Anmerkninger
Materiale			Jordarter beskrives i samsvar med retningslinjer gitt av NGF. Hovedbetegnelsen skrives med store bokstaver.
Vanninnhold Naturlig vanninnhold Plastisitetsgrense Flytegrense Flytegrense konus	W W _P W _L W _F	• ┌───┐ ├───┤ └───┘	Angis i masseprosent av tørrstoff. Metode skal angis.
Tyngdetthet / densitet Tyngdetthet Densitet Tørr densitet Korndensitet	γ ρ ρ _d ρ _s		Tyngdetthet kN/m ³ . Densitet t/m ³ . γ (kN/m ³)
Porøsitet Poretall	n e		
Skjørstyrke, udrenert Konusforsøk, uomrørt Konusforsøk, omrørt Enkelt trykkforsøk	S _{uk} S _{u'k} S _{ut}	▼ ▼ ∞	Symbolet settes i () hvis verdien ikke ansees representativ. Aksialdeformasjon ved brudd (ε _f) angis i % slik: $\frac{15-0-5\%}{10}$
Sensitivitet	S _t		Metode bør angis.
Organisk materiale Innhold av organisk karbon Glødetap Humusinnhold Formuldingsgraden	O _c O _{gl} O _{Na} vP		Angis i masseprosent av tørrstoff før forsøk. Bestemt ved NaOH-metoden. Klassifisering etter von Post skala H ₁ –H ₁₀

Forøvrig benyttes bokstavsymboler vedtatt av The International Society of Soil Mechanics and Foundation Engineering.



BORPUNKTER 50513 Rv80 Løding - Vikan

Hullnr.	x-koordinat	y- koordinat	z- koordinat	Bormetode	Stopp-kote	Løsmasse	Fjell	Profil	Avsett	Merknad
44C	2036660,48	108547,52	12,90	Totalsondering	94	1,6	1,9	139,8	3,5	
43C	2036676,61	108563,71	12,95	Totalsondering	94	1,4	0,2	162,6	3,7	
46C-1	2036655,65	108585,80	-0,76	Representativ prøveserie	90	1,5		162,8	34,2	
46C-2	2036655,65	108585,80	-0,76	Totalsondering	94	1,5	1,9	162,8	34,2	
53-1	2036669,67	108581,78	3,03	Representativ prøveserie	90	2,0		170,1	21,6	
53-2	2036669,68	108581,78	3,03	Totalsondering	94	6,8	2,7	170,1	21,6	
42C	2036686,77	108573,67	12,14	Totalsondering	94	3,0	2,7	176,8	3,9	
41C	2036696,67	108583,66	11,79	Totalsondering	94	7,7	1,9	190,9	4,2	
401	2036687,82	108681,83	-7,34	Totalsondering	93	13,2		252,5	81,2	
400	2036712,98	108670,17	-4,52	Totalsondering	93	17,5		262,3	55,3	
400	2036712,98	108670,17	-4,52	Representativ prøveserie	90	6,8		262,3	55,3	
302	2036726,57	108666,37	3,78	Totalsondering	94	2,9	2,7	269,7	43,2	
301	2036738,67	108657,86	4,30	Totalsondering	94	5,1	0,4	272,6	28,6	
300	2036746,88	108664,41	4,38	Totalsondering	94	1,0	2,6	283,0	27,7	
40C	2036763,65	108650,64	10,06	Totalsondering	94	11,4	2,1	285,6	6,1	
307	2036734,98	108684,06	4,05	Totalsondering	91	23,7		288,0	50,1	Sannsynlig berg på 17.9 m
305	2036748,10	108676,43	4,18	Totalsondering	94	4,6	2,8	292,2	35,5	
304	2036754,40	108672,16	4,58	Totalsondering	91	19,6		293,8	28,1	Sannsynlig berg på 4.9 m
39C	2036776,66	108663,56	9,73	Totalsondering	94	10,9	2,9	303,9	6,4	
309	2036722,21	108722,15	3,50	Totalsondering	94	9,7	0,4	305,2	86,4	
308	2036760,26	108702,18	3,81	Totalsondering	94	21,8	2,7	318,8	45,7	
308	2036760,26	108702,18	3,81	Trykksondering (CPTU)	91	23,8		318,8	45,7	
308-1	2036760,26	108702,18	3,81	Poretrykksmåling	90	3,8		318,8	45,7	To nivå
303	2036776,81	108696,79	9,78	Totalsondering	94	1,7	3,3	327,0	30,3	
311	2036745,09	108736,35	3,74	Totalsondering	94	2,6	5,0	331,6	80,8	
310	2036771,52	108712,59	3,80	Totalsondering	91	19,6		334,2	45,4	Sannsynlig berg på 15.7 m
310	2036771,52	108712,59	3,80	Trykksondering (CPTU)	91	15,2		334,2	45,4	
313	2036797,57	108724,25	6,11	Totalsondering	91	19,6		361,0	35,7	Sannsynlig berg på 9.1 m
312	2036778,59	108744,69	4,55	Totalsondering	94	11,8	1,8	361,5	63,6	
314	2036817,77	108740,85	5,73	Totalsondering	91	19,6		387,2	33,7	Sannsynlig berg på 5.5 m
W965A-8C	2036829,23	108729,82	5,56	Totalsondering	90	9,3		387,8	17,8	

Hullnr.	x-koordinat	y- koordinat	z- koordinat	Bormetode	Stoppkote	Løsmasse	Fjell	Profil	Avsett	Merknad
38C	2036836,33	108723,07	9,43	Totalsondering	94	13,6	2,1	388,2	8,0	
W965A-8B	2036831,66	108730,85	5,65	Poretrykksmåling	90	5,7		390,3	16,8	
W965A-8	2036831,66	108730,85	5,65	Uforstyrret prøveserie	90	5,8		390,3	16,8	
W965A-8D	2036831,66	108730,85	5,65	Trykksondering (CPTU)	91	6,7		390,3	16,8	
45C-1	2036832,15	108730,76	5,71	Uforstyrret prøveserie	90	6,0		390,6	16,4	
45C-2	2036832,15	108730,76	5,71	Totalsondering	94	9,9	1,5	390,6	16,4	
37C	2036849,85	108736,68	8,93	Totalsondering	94	10,2	3,5	407,5	8,3	
52-1	2036846,24	108748,57	5,45	Uforstyrret prøveserie	90	7,0		413,4	19,2	
52-2	2036846,24	108748,57	5,45	Totalsondering	94	10,4	0,7	413,4	19,2	
315	2036839,79	108763,11	7,28	Totalsondering	91	35,0		419,5	34,0	Sannsynlig berg på 5.7 m
51	2036853,05	108756,11	6,06	Totalsondering	94	9,0	2,6	423,8	19,6	
36C	2036863,64	108750,80	9,16	Totalsondering	94	9,2	2,6	427,4	8,3	
306	2036847,62	108772,44	7,67	Totalsondering	91	41,3		432,1	34,9	Sannsynlig berg på 3.9 m
50	2036859,58	108763,99	6,60	Totalsondering	94	4,2	1,4	434,3	20,4	
20	2036868,19	108771,29	7,08	Totalsondering	94	1,7	1,8	445,9	19,0	
35C	2036877,45	108766,02	9,64	Totalsondering	94	5,5	4,3	448,2	8,6	
316	2036856,19	108785,47	7,97	Totalsondering	91	27,1		448,6	37,4	Sannsynlig berg på 6.3 m
27	2036890,79	108756,13	10,22	Totalsondering	94	2,0	1,4	449,8	-7,9	
26	2036904,04	108771,58	11,31	Totalsondering	94	1,0	0,6	469,8	-7,9	
317	2036869,59	108800,30	8,20	Totalsondering	91	19,6		470,0	37,0	Sannsynlig berg på 8.0 m
21-1	2036884,83	108789,38	7,95	Vingeboring	90	5,0		471,4	18,2	
21-2	2036884,83	108789,38	7,95	Totalsondering	90	6,3		471,4	18,2	
22	2036890,87	108799,39	7,92	Totalsondering	94	5,4	2,2	483,4	19,8	
318	2036886,83	108821,94	7,72	Totalsondering	91	21,8		499,9	36,6	Sannsynlig berg på 14.4 m
318	2036886,83	108821,94	7,72	Trykksondering (CPTU)	91	13,0		499,9	36,6	
318	2036886,83	108821,94	7,72	Uforstyrret prøveserie	90	12,5		499,9	36,6	
318-1	2036886,83	108821,94	7,72	Poretrykksmåling	90	7,7		499,9	36,6	To nivå
319	2036862,49	108841,22	6,87	Totalsondering	91	20,1		501,1	67,6	Sannsynlig berg på 9.0 m
23	2036925,41	108837,18	9,72	Totalsondering	94	9,2	2,4	535,7	13,5	
24-2	2036936,21	108860,42	9,10	Totalsondering	91	12,6		561,4	16,9	
24-1	2036936,21	108860,42	9,10	Uforstyrret prøveserie	90	7,8		561,4	16,9	
320	2036917,68	108872,84	7,25	Totalsondering	94	9,5	2,2	562,0	39,2	
320	2036917,68	108872,84	7,25	Trykksondering (CPTU)	91	9,4		562,0	39,2	

Hullnr.	x-koordinat	y- koordinat	z- koordinat	Bormetode	Stoppkote	Løsmasse	Fjell	Profil	Avsett	Merknad
25	2036952,22	108851,29	10,57	Totalsondering	94	4,4	1,2	562,1	-1,5	
321	2036893,02	108889,82	6,22	Totalsondering	91	19,5		563,3	69,1	Sannsynlig berg på 8.5 m
323	2036910,02	108926,62	5,43	Totalsondering	94	10,6	2,2	603,9	74,1	
W965A-1	2036953,26	108905,77	6,66	Totalsondering	90	8,1		609,0	26,4	
322	2036940,67	108914,91	6,24	Totalsondering	91	19,6		610,1	41,9	Sannsynlig berg på 6.0 m
325	2036955,81	109001,03	3,78	Totalsondering	91	19,4		691,2	74,4	Sannsynlig berg på 3.0 m
W965A-2	2036992,54	108981,60	2,37	Totalsondering	91	10,6		694,1	33,0	
W965A-2B	2036992,54	108981,60	2,37	Poretrykksmåling	90	6,0		694,1	33,0	
W965A-2C	2036992,54	108981,60	2,37	Trykksondering (CPTU)	91	9,5		694,1	33,0	
W965A-2D	2036992,54	108981,60	2,37	Uforstyrret prøveserie	90	6,7		694,1	33,0	
324	2036977,93	108991,63	3,99	Totalsondering	94	18,3	1,4	695,0	50,7	
30C	2037036,24	109038,60	6,69	Totalsondering	94	4,3	1,6	767,2	24,3	
31C	2037041,85	109050,68	7,10	Totalsondering	94	8,5	3,6	781,1	24,8	
W903B-2C	2037053,18	109046,03	6,10	Totalsondering	94	5,6	4,0	782,1	12,6	
327	2036987,35	109078,98	3,66	Totalsondering	94	5,0	2,6	782,1	86,3	
W903B-1B	2037032,97	109059,11	2,57	Totalsondering	90	13,3		784,9	36,5	
W903D-1	2037032,97	109059,11	2,57	Uforstyrret prøveserie	90	6,0		784,9	36,5	
326	2037019,71	109067,80	3,30	Totalsondering	94	17,9	1,8	787,0	52,3	
W965A-3	2037036,52	109061,43	2,93	Totalsondering	90	9,4		788,8	34,4	
32C	2037051,51	109074,18	6,71	Totalsondering	94	10,5	4,1	807,8	26,1	
332	2037090,62	109072,79	8,86	Totalsondering	93	14,6	0,0	822,0	-10,4	
332	2037090,62	109072,79	8,86	Trykksondering (CPTU)	91	11,7		822,0	-10,4	
W965A-4	2037049,11	109091,03	5,07	Totalsondering	91	11,5		823,2	34,9	
W965A-4B	2037049,11	109091,03	5,07	Poretrykksmåling	90	6,0		823,2	34,9	
W965A-4C	2037049,11	109091,03	5,07	Uforstyrret prøveserie	90	5,7		823,2	34,9	
328	2037035,59	109097,52	5,53	Totalsondering	94	11,4	2,3	824,2	49,9	
328	2037035,59	109097,52	5,53	Trykksondering (CPTU)	91	7,4		824,2	49,9	
329	2037009,21	109110,49	4,22	Totalsondering	94	1,8	3,2	826,8	79,2	
W965A-3D	2037081,09	109082,11	8,02	Totalsondering	90	11,3		827,0	1,9	
W965A-3E	2037081,09	109082,11	8,02	Poretrykksmåling	90	8,0		827,0	1,9	
W965A-3F	2037081,09	109082,11	8,02	Trykksondering (CPTU)	90	9,6		827,0	1,9	
33C	2037058,03	109093,82	7,20	Totalsondering	94	11,5	2,5	829,5	27,7	
W903B-4C	2037089,76	109083,39	7,91	Totalsondering	94	13,5	1,4	831,4	-5,7	

Hullnr.	x-koordinat	y- koordinat	z- koordinat	Bormetode	Stoppkote	Løsmasse	Fjell	Profil	Avsett	Merknad
W903B-3B	2037084,66	109089,46	7,72	Totalsondering	94	9,4	2,2	835,2	1,3	
W903B-3C	2037085,97	109091,11	7,97	Totalsondering	91	10,0		837,2	0,6	
W903B-3C	2037085,97	109091,11	7,97	Uforstyrret prøveserie	90	9,0		837,2	0,6	
342	2037087,54	109094,05	8,85	Totalsondering	94	9,9	2,9	840,5	0,2	
342	2037087,54	109094,05	8,85	Trykksondering (CPTU)	91	9,7		840,5	0,2	
333	2037103,27	109088,47	9,94	Totalsondering	94	15,8	1,0	840,7	-16,5	
W903B-5B	2037116,79	109112,01	9,89	Uforstyrret prøveserie	90	7,0		866,4	-21,7	
W903B-5C	2037116,79	109112,01	9,89	Vingeboring	90	6,5		866,4	-21,7	
W903B-5E	2037116,79	109112,01	9,89	Totalsondering	94	6,8	2,7	866,4	-21,7	
330	2037045,83	109136,97	8,67	Totalsondering	91	19,7		869,2	53,5	Stangbrudd, antatt berg 13.9 m
330	2037045,83	109136,97	8,67	Trykksondering (CPTU)	91	10,0		869,2	53,5	
200	2037081,53	109126,76	9,27	Totalsondering	94	10,9	0,1	870,0	16,3	
201	2037101,62	109121,25	9,89	Totalsondering	94	9,9	0,1	870,7	-4,5	
201-1	2037101,62	109121,25	9,89	Trykksondering (CPTU)	91	9,2		870,7	-4,5	
201-2	2037101,62	109121,25	9,89	Uforstyrret prøveserie	90	6,9		870,7	-4,5	
34C	2037066,39	109132,32	8,66	Totalsondering	94	9,2	2,7	871,0	32,5	
NSB-5	2037128,22	109118,22	11,40	Dreiesondering	93	7,0	0,0	875,3	-30,8	Usikker plassering
43	2037138,11	109124,61	13,02	Totalsondering	94	5,9	2,1	883,6	-38,6	
NSB-4	2037129,83	109128,08	11,80	Dreiesondering	93	8,0	0,0	884,7	-29,7	Usikker plassering
NSB-7	2037111,80	109134,24	9,40	Dreiesondering	93	11,0	0,0	885,8	-10,6	Usikker plassering
NSB-6	2037121,62	109136,09	10,60	Dreiesondering	93	6,5	0,0	890,0	-19,6	Usikker plassering
42-1	2037143,08	109131,56	13,20	Uforstyrret prøveserie	90	5,0		891,1	-41,5	
42-2	2037143,08	109131,56	13,20	Totalsondering	94	5,6	0,8	891,1	-41,5	
NSB-3-2	2037131,45	109137,95	11,90	Uforstyrret prøveserie	90	5,0		894,1	-28,7	Usikker plassering
NSB-3-1	2037131,45	109137,95	11,90	Dreiesondering	93	6,9	0,0	894,1	-28,7	Usikker plassering
W903B-6B	2037134,72	109139,54	13,03	Totalsondering	94	7,9	1,8	896,3	-31,4	
343	2037105,27	109151,27	10,49	Totalsondering	94	10,6	2,8	900,5	0,0	
343	2037105,27	109151,27	10,49	Trykksondering (CPTU)	91	10,7		900,5	0,0	
343	2037105,27	109151,27	10,49	Uforstyrret prøveserie	90	9,8		900,5	0,0	
343-1	2037105,27	109151,27	10,49	Poretrykksmåling	90	10,5		900,5	0,0	To nivå
41	2037149,42	109140,50	13,48	Totalsondering	94	7,8	3,8	900,5	-45,5	
203	2037085,94	109156,10	9,99	Totalsondering	90	8,4		900,5	19,9	
202	2037109,20	109150,84	10,61	Totalsondering	94	11,7	0,1	901,0	-3,9	

Hullnr.	x-koordinat	y- koordinat	z- koordinat	Bormetode	Stoppkote	Løsmasse	Fjell	Profil	Avsett	Merknad
331	2037052,13	109165,56	9,97	Totalsondering	94	7,1	2,6	901,8	55,0	
29	2037124,63	109148,42	10,65	Totalsondering	94	7,8	1,8	902,2	-19,5	
NSB-2	2037133,07	109147,82	11,80	Dreiesondering	93	3,2	0,0	903,6	-27,9	Usikker plassering
40	2037150,66	109151,19	13,60	Totalsondering	94	1,8	1,9	910,4	-44,2	
NSB-1	2037134,68	109157,69	12,00	Dreiesondering	93	6,7	0,0	913,1	-27,2	Usikker plassering
30	2037134,30	109173,99	12,07	Totalsondering	94	10,1	1,4	928,2	-23,6	
205	2037090,59	109183,88	11,16	Totalsondering	93	15,9	0,0	929,8	21,2	
205-1	2037090,59	109183,88	11,16	Trykksondering (CPTU)	91	16,9		929,8	21,2	
204	2037115,57	109180,09	14,01	Totalsondering	93	16,5	0,0	930,7	-4,0	
204-1	2037115,57	109180,09	14,01	Trykksondering (CPTU)	91	17,0		930,7	-4,0	
28-1	2037158,74	109172,61	14,17	Uforstyrret prøveserie	90	5,0		931,2	-47,8	
28-2	2037158,74	109172,61	14,17	Totalsondering	94	5,0	2,5	931,2	-47,8	
206	2037143,56	109192,67	14,88	Totalsondering	94	4,1	3,0	947,2	-29,5	
207	2037118,59	109198,45	14,65	Totalsondering	94	13,4	0,1	949,2	-4,0	
344	2037114,85	109200,56	14,47	Totalsondering	94	18,9	2,1	950,7	0,0	
344	2037114,85	109200,56	14,47	Trykksondering (CPTU)	91	17,1		950,7	0,0	
344	2037114,85	109200,56	14,47	Uforstyrret prøveserie	90	15,8		950,7	0,0	
344-1	2037114,85	109200,56	14,47	Poretrykksmåling	90	14,5		950,7	0,0	To nivå
208	2037093,93	109204,07	11,79	Totalsondering	94	13,2	0,1	951,1	21,2	
208-1	2037093,93	109204,07	11,79	Uforstyrret prøveserie	90	9,9		951,1	21,2	
W965A-5	2037068,15	109208,43	10,62	Totalsondering	91	11,8		951,8	47,4	
W965A-5B	2037068,15	109208,43	10,62	Trykksondering (CPTU)	90	10,8		951,8	47,4	
31	2037179,34	109193,47	16,90	Totalsondering	94	2,0	1,6	952,8	-64,8	
210	2037101,61	109226,79	13,33	Totalsondering	94	8,9	0,1	975,5	16,4	
W965A-6	2037067,72	109230,20	8,02	Totalsondering	91	5,8		975,5	50,4	
209	2037120,26	109229,18	15,74	Totalsondering	90	10,2		979,7	-2,0	
339	2037119,89	109246,52	15,95	Totalsondering	94	2,7	3,0	996,9	-0,3	
338	2037100,22	109247,75	0,00	Enkel sondering	93	0,0	0,0	997,0	19,4	Bart berg
334	2037079,12	109248,99	6,93	Totalsondering	94	3,3	3,0	997,0	40,6	
334-1	2037079,12	109248,99	6,93	Uforstyrret prøveserie	90	2,2		997,0	40,6	
340	2037129,33	109246,45	16,40	Totalsondering	94	3,3	2,4	997,4	-9,7	
211	2037111,13	109247,56	15,50	Totalsondering	94	1,7	1,9	997,5	8,5	
341	2037147,06	109245,93	17,27	Totalsondering	94	3,3	3,1	997,9	-27,4	

Hullnr.	x-koordinat	y- koordinat	z- koordinat	Bormetode	Stoppkote	Løsmasse	Fjell	Profil	Avsett	Merknad
W903B-7	2037257,09	109258,84	30,25	Totalsondering	94	2,8	2,9	1013,1	-136,8	
W903B-7	2037257,09	109258,84	30,25	Representativ prøveserie	90	2,0		1013,1	-136,8	
335	2037088,43	109271,02	9,45	Totalsondering	94	3,8	2,8	1021,0	32,0	
336	2037094,50	109280,51	8,91	Totalsondering	94	4,3	2,9	1031,1	26,0	
337	2037104,80	109290,30	8,92	Totalsondering	94	13,7	2,8	1041,1	15,5	
248	2037102,13	109325,76	-1,50	Totalsondering	93	16,4	0,0	1077,8	16,1	
402A	2037127,47	109331,19	0,27	Enkel sondering	93	0,0		1080,7	-9,6	Innmåling av bart berg i strandsone
251	2037112,11	109332,39	-1,30	Totalsondering	94	11,2	4,1	1083,5	5,5	
247	2037100,86	109332,07	-3,10	Totalsondering	94	6,8	1,8	1084,4	16,7	
402	2037119,05	109340,05	-1,01	Totalsondering	93	11,0		1090,3	-2,2	
402	2037119,05	109340,05	-1,01	Representativ prøveserie	90	2,8		1090,3	-2,2	
250	2037111,50	109342,38	-4,40	Totalsondering	94	6,0	1,5	1093,6	5,0	
254	2037120,47	109343,84	-1,50	Totalsondering	94	9,4	1,0	1093,9	-4,1	
254-1	2037120,47	109343,84	-1,50	Representativ prøveserie	90	2,0		1093,9	-4,1	
253	2037119,91	109352,61	-7,40	Totalsondering	94	7,5	0,8	1102,6	-4,7	
249	2037109,42	109352,11	-8,90	Totalsondering	94	3,8	1,4	1103,6	5,8	
252	2037118,70	109362,77	-11,80	Totalsondering	94	0,9	1,3	1112,7	-5,0	
270	2037091,71	109505,02	-33,50	Totalsondering	94	5,6	1,4	1257,3	-7,6	
238	2037100,01	109507,65	-35,40	Totalsondering	94	3,3	1,5	1258,2	-16,3	
271A	2037077,92	109503,26	-30,30	Enkel sondering	93	0,0	0,0	1258,4	6,2	Skrens på bart berg
265	2037096,28	109507,49	-34,30	Totalsondering	94	4,5	1,1	1258,8	-12,6	
241	2037084,40	109505,33	-31,80	Totalsondering	94	0,4	1,7	1259,1	-0,5	
244	2037069,47	109503,10	-28,40	Totalsondering	94	0,6	0,0	1260,0	14,5	
271	2037072,00	109505,50	-28,10	Enkel sondering	93	0,0	0,0	1261,8	11,6	Bart berg på sjøbunn
263	2037080,98	109514,76	-28,00	Totalsondering	94	1,8	1,7	1269,0	0,9	
272	2037074,35	109513,55	-27,30	Totalsondering	94	3,1	1,7	1269,2	7,6	
273	2037088,78	109516,99	-29,70	Totalsondering	94	0,6	1,8	1269,6	-7,2	
264	2037093,08	109518,51	-30,80	Totalsondering	94	1,6	1,5	1270,2	-11,7	
239	2037099,99	109521,93	-32,50	Totalsondering	90	9,4		1272,2	-19,2	Skrens på berg etter 2-3 meter?
242	2037083,86	109521,16	-27,70	Totalsondering	94	0,4	2,3	1274,7	-3,2	
245	2037070,40	109519,35	-26,10	Totalsondering	90	12,8		1275,6	10,3	Skrens på berg etter 3 meter?
422				Totalsondering				1275,6	5,4	
423				Totalsondering				1277,7	2,5	

Hullnr.	x-koordinat	y- koordinat	z- koordinat	Bormetode	Stoppkote	Løsmasse	Fjell	Profil	Avsett	Merknad
424				Totalsondering				1278,3	-1,4	
403	2037076,83	109524,35	-26,71	Totalsondering	91	9,0		1279,2	3,0	Stangbrudd, skrens på berg
240	2037099,54	109536,02	-30,40	Totalsondering	94	13,2	0,6	1286,1	-21,6	
243	2037083,64	109535,16	-27,40	Totalsondering	94	9,1	1,0	1288,5	-5,8	
246	2037068,97	109535,28	-25,00	Totalsondering	94	9,7	0,6	1291,5	8,5	
256	2037061,64	109648,71	-5,00	Totalsondering	94	0,4	1,0	1404,3	-5,5	
257	2037051,96	109706,89	-3,80	Totalsondering	94	7,1	1,4	1463,3	-5,9	
405	2037029,57	109756,70	-3,93	Totalsondering	93	8,8		1516,1	8,1	
404	2037045,78	109760,12	-3,36	Totalsondering	93	3,3		1516,9	-8,4	
258	2037040,60	109764,37	-3,60	Totalsondering	94	9,2	1,6	1521,9	-4,0	
261	2037022,54	109762,01	-3,70	Totalsondering	94	9,2	1,2	1522,5	14,2	
407	2037027,22	109767,55	-3,68	Totalsondering	93	4,2		1527,2	8,7	
406	2037043,96	109770,65	-3,71	Totalsondering	93	2,3		1527,5	-8,3	
408	2037037,66	109811,94	-3,41	Totalsondering	93	10,8		1569,3	-8,8	
409	2037020,20	109809,31	-3,51	Totalsondering	93	12,8		1569,5	8,9	
262	2037013,63	109809,18	-3,30	Totalsondering	94	14,2	2,4	1570,5	15,4	
262-1	2037013,63	109809,18	-3,30	Trykksondering (CPTU)	91	14,2		1570,5	15,4	
259	2037032,87	109814,98	-3,40	Totalsondering	94	10,5	1,0	1573,1	-4,5	
259-1	2037032,87	109814,98	-3,40	Trykksondering (CPTU)	91	11,5		1573,1	-4,5	
259-2	2037032,87	109814,98	-3,40	Uforstyrret prøveserie	90	10,0		1573,1	-4,5	
411	2037018,57	109819,85	-3,34	Totalsondering	93	9,8		1580,2	8,8	
410	2037034,78	109823,12	-3,24	Totalsondering	93	8,4		1580,8	-7,7	
412	2037023,51	109846,14	-2,59	Totalsondering	93	3,0		1605,4	-0,4	
413	2037028,71	109864,42	-2,50	Totalsondering	93	5,0		1622,6	-8,4	
260	2037022,75	109863,50	-2,30	Totalsondering	94	2,7	2,1	1622,6	-2,4	
414	2037011,90	109861,77	-2,08	Totalsondering	93	4,8		1622,7	8,6	
416	2037019,14	109872,76	-1,77	Totalsondering	94	6,3	0,9	1632,3	-0,4	
416	2037019,14	109872,76	-1,77	Uforstyrret prøveserie	90	4,8		1632,3	-0,4	
415	2037027,76	109875,25	-2,12	Totalsondering	94	2,7	0,8	1633,4	-9,3	
417	2037010,22	109872,49	-1,60	Enkel sondering	93	0,0		1633,5	8,5	Bart berg på sjøbunnen, z beregnet fra terrengmodell
214	2037090,05	109963,01	-0,03	Totalsondering	94	3,0	0,6	1709,9	-84,9	
350	2036989,33	109946,72	3,10	Totalsondering	94	1,6	2,9	1710,1	17,1	

Hullnr.	x-koordinat	y- koordinat	z- koordinat	Bormetode	Stoppkote	Løsmasse	Fjell	Profil	Avsett	Merknad
351	2036972,10	109944,24	1,36	Totalsondering	94	0,2	3,0	1710,5	34,5	
266	2037006,88	109952,30	3,58	Totalsondering	94	1,5	10,3	1712,8	-1,1	
268	2036981,87	109977,61	2,19	Totalsondering	94	1,9	9,7	1741,8	19,5	
215	2037041,48	109987,72	2,26	Totalsondering	94	3,3	1,9	1742,1	-41,0	
267	2037001,39	109981,85	3,13	Totalsondering	94	4,3	9,9	1742,9	-0,5	
267-1	2037001,39	109981,85	3,13	Representativ prøveserie	90	3,8		1742,9	-0,5	
216	2037063,93	110008,64	2,83	Totalsondering	94	4,5	1,1	1758,2	-66,7	
269	2036986,36	110013,09	1,96	Totalsondering	94	2,1	9,6	1776,5	8,6	
217	2037004,95	110017,69	2,51	Totalsondering	94	2,3	1,4	1777,1	-10,5	
352	2037043,54	110039,43	2,83	Totalsondering	94	7,1	2,4	1788,5	-53,1	
352	2037043,54	110039,43	2,83	Trykksondering (CPTU)	91	7,3		1788,5	-53,1	
352-1	2037043,54	110039,43	2,83	Poretrykksmåling	90	6,0		1788,5	-53,1	
364	2036991,84	110028,20	2,21	Totalsondering	94	1,8	3,0	1790,2	-0,2	
218	2037037,81	110050,00	2,97	Totalsondering	94	7,1	0,6	1798,3	-50,3	
218-1	2037037,81	110050,00	2,97	Uforstyrret prøveserie	90	5,7		1798,3	-50,3	
219	2037093,89	110090,04	2,73	Totalsondering	94	8,5	1,1	1814,1	-116,0	
W903F-21	2037143,48	110123,35	2,40	Totalsondering	94	5,1	0,4	1821,6	-174,2	
365	2036929,61	110039,25	0,23	Totalsondering	94	3,8	3,0	1824,7	55,6	
353	2037018,71	110077,49	3,31	Totalsondering	94	7,3	2,3	1825,1	-41,4	
W903F-20	2037155,43	110138,29	2,43	Totalsondering	94	3,9	1,3	1826,4	-191,0	
359	2036961,44	110058,07	1,01	Totalsondering	94	1,3	2,4	1830,1	18,9	
358	2036978,58	110066,46	1,01	Totalsondering	94	1,3	2,2	1830,7	-0,2	
354	2037059,80	110105,73	2,99	Totalsondering	94	6,3	2,9	1831,9	-90,4	
356	2037087,65	110130,06	0,71	Totalsondering	94	1,0	2,6	1838,2	-126,1	
355	2037031,34	110117,25	2,55	Totalsondering	94	5,3	2,4	1848,6	-70,4	
355-1	2037031,34	110117,25	2,55	Poretrykksmåling	90	4,0		1848,6	-70,4	
220	2036954,90	110074,33	0,52	Totalsondering	93	11,7	0,0	1849,3	17,2	
360	2036969,44	110083,23	1,22	Totalsondering	94	9,1	1,5	1849,8	0,2	
360	2036969,44	110083,23	1,22	Trykksondering (CPTU)	91	8,1		1849,8	0,2	
366	2036925,29	110058,00	0,46	Totalsondering	94	7,9	2,9	1850,2	51,1	
W903F-23	2037093,72	110160,29	3,60	Totalsondering	94	1,8	1,6	1852,3	-146,0	
357	2037041,87	110138,65	1,19	Totalsondering	94	4,0	3,0	1857,8	-90,5	
357	2037041,87	110138,65	1,19	Trykksondering (CPTU)	91	3,7		1857,8	-90,5	

Hullnr.	x-koordinat	y- koordinat	z- koordinat	Bormetode	Stoppkote	Løsmasse	Fjell	Profil	Avsett	Merknad
W903F-22	2037101,74	110178,98	4,28	Totalsondering	94	4,6	0,8	1858,9	-162,6	
W903F-22	2037101,74	110178,98	4,28	Representativ prøveserie	91	4,0		1858,9	-162,6	
221	2036991,89	110115,79	0,87	Totalsondering	94	11,6	0,9	1864,1	-36,2	
221-1	2036991,89	110115,79	0,87	Trykksondering (CPTU)	91	10,0		1864,1	-36,2	
361	2036958,10	110100,38	1,19	Totalsondering	94	9,9	1,1	1870,4	0,4	
361	2036958,10	110100,38	1,19	Uforstyrret prøveserie	90	9,0		1870,4	0,4	
361-1	2036958,10	110100,38	1,19	Poretrykksmåling	90	1,2		1870,4	0,4	To nivå
222	2037047,31	110167,16	1,78	Totalsondering	94	7,4	2,0	1871,4	-111,1	
367	2036917,29	110075,84	1,05	Totalsondering	94	5,7	3,0	1875,8	47,7	
367	2036917,29	110075,84	1,05	Trykksondering (CPTU)	91	5,7		1875,8	47,7	
223	2036932,77	110088,73	0,59	Totalsondering	94	9,8	1,8	1876,7	27,6	
223-1	2036932,77	110088,73	0,59	Trykksondering (CPTU)	91	10,8		1876,7	27,6	
223-2	2036932,77	110088,73	0,59	Uforstyrret prøveserie	90	9,0		1876,7	27,6	
224	2036968,27	110129,39	0,75	Totalsondering	94	12,1	0,9	1885,9	-25,6	
225	2037016,69	110179,02	0,99	Totalsondering	94	13,1	0,3	1890,2	-94,7	
225-1	2037016,69	110179,02	0,99	Trykksondering (CPTU)	91	13,8		1890,2	-94,7	
225-2	2037016,69	110179,02	0,99	Uforstyrret prøveserie	90	9,8		1890,2	-94,7	
362	2036940,06	110120,01	1,24	Totalsondering	94	9,9	1,6	1897,2	1,6	
362	2036940,06	110120,01	1,24	Trykksondering (CPTU)	91	10,9		1897,2	1,6	
363	2036920,15	110103,11	0,88	Totalsondering	94	11,0	2,6	1898,9	27,7	
368	2036900,49	110095,29	1,14	Totalsondering	94	9,0	3,0	1909,5	47,0	
368	2036900,49	110095,29	1,14	Trykksondering (CPTU)	91	9,4		1909,5	47,0	
368	2036900,49	110095,29	1,14	Uforstyrret prøveserie	90	9,0		1909,5	47,0	
W903E-7	2037014,06	110257,24	10,03	Totalsondering	94	16,1	1,5	1924,7	-150,0	
227	2036923,64	110148,80	1,00	Enkel sondering	93	0,5	0,0	1928,1	-8,9	Anslått dybde til berg
W903E-6	2036998,43	110272,68	10,58	Totalsondering	94	8,3	2,5	1937,1	-153,1	
W903E-61	2036998,43	110272,68	10,58	Uforstyrret prøveserie	90	6,7		1937,1	-153,1	
226	2036889,71	110130,09	1,46	Enkel sondering	93	0,0	0,0	1945,8	25,9	Bart berg
228	2036907,07	110157,14	4,78	Enkel sondering	93	0,5	0,0	1945,8	-6,2	Anslått dybde til berg
230	2036880,75	110173,25	10,86	Totalsondering	94	0,3	2,2	1976,0	-7,3	
229	2036863,36	110142,92	6,09	Totalsondering	94	0,3	3,1	1977,7	27,7	
369	2036871,20	110205,11	11,56	Totalsondering	94	2,2	3,0	1998,4	-31,5	
371	2036831,92	110125,46	2,40	Totalsondering	94	1,2	3,0	1999,1	57,3	

Hullnr.	x-koordinat	y- koordinat	z- koordinat	Bormetode	Stopp-kote	Løsmasse	Fjell	Profil	Avsett	Merknad
232	2036854,22	110186,57	11,34	Totalsondering	94	8,0	1,5	2005,5	-7,5	
231	2036836,74	110155,21	8,57	Totalsondering	94	4,3	1,4	2007,6	28,4	
370	2036844,13	110205,37	12,07	Totalsondering	94	4,2	3,0	2022,8	-20,0	
373	2036791,06	110126,10	1,99	Totalsondering	94	6,3	2,3	2036,0	74,5	
373	2036791,06	110126,10	1,99	Uforstyrret prøveserie	90	5,8		2036,0	74,5	
234	2036826,49	110199,81	11,95	Totalsondering	94	5,2	2,0	2036,3	-7,3	
233	2036809,56	110167,67	9,87	Totalsondering	94	8,9	0,7	2037,5	29,0	
233-1	2036809,56	110167,67	9,87	Trykksondering (CPTU)	91	8,8		2037,5	29,0	
233-2	2036809,56	110167,67	9,87	Uforstyrret prøveserie	90	7,8		2037,5	29,0	
375	2036830,12	110221,89	13,66	Totalsondering	94	6,2	4,0	2042,6	-28,7	
375	2036830,12	110221,89	13,66	Trykksondering (CPTU)	91	6,8		2042,6	-28,7	
372	2036795,98	110154,50	8,99	Totalsondering	94	10,5	3,0	2043,9	46,8	
372	2036795,98	110154,50	8,99	Trykksondering (CPTU)	91	10,4		2043,9	46,8	
372	2036795,98	110154,50	8,99	Uforstyrret prøveserie	90	9,8		2043,9	46,8	
372-1	2036795,98	110154,50	8,99	Poretrykksmåling	90	8,0		2043,9	46,8	To nivå
376	2036818,81	110231,96	14,31	Totalsondering	94	4,8	3,9	2057,1	-32,9	
235	2036783,62	110182,05	10,93	Totalsondering	94	8,1	1,5	2067,3	27,4	
235-1	2036783,62	110182,05	10,93	Trykksondering (CPTU)	91	7,3		2067,3	27,4	
236	2036796,06	110209,63	12,94	Totalsondering	94	2,3	2,9	2067,9	-2,9	
377	2036805,13	110245,17	14,75	Totalsondering	94	2,6	4,1	2074,9	-38,9	
374	2036792,63	110227,07	14,42	Totalsondering	94	2,2	3,0	2078,4	-17,2	
380	2036752,50	110173,35	6,09	Totalsondering	94	1,3	3,0	2092,5	48,4	
237	2036757,20	110195,99	11,27	Totalsondering	94	5,3	1,8	2097,7	25,9	
390	2036764,51	110216,57	13,45	Totalsondering	94	1,4	3,0	2099,5	4,1	
378	2036783,33	110267,04	17,63	Totalsondering	94	1,3	3,8	2102,8	-49,7	
381	2036722,48	110148,87	7,24	Totalsondering	94	2,0	3,0	2110,9	83,0	
392	2036745,21	110204,13	11,54	Totalsondering	94	2,2	3,0	2112,2	23,3	
389	2036756,79	110236,80	15,37	Totalsondering	94	2,0	3,0	2114,7	-11,3	
391	2036742,58	110223,86	14,07	Totalsondering	94	0,5	3,0	2122,6	6,2	
382	2036707,96	110165,45	8,65	Totalsondering	94	4,9	2,2	2132,2	73,5	
383	2036714,01	110205,77	13,17	Totalsondering	94	2,3	3,0	2142,4	33,9	
418				Totalsondering				2150,0		
419				Totalsondering				2156,0		

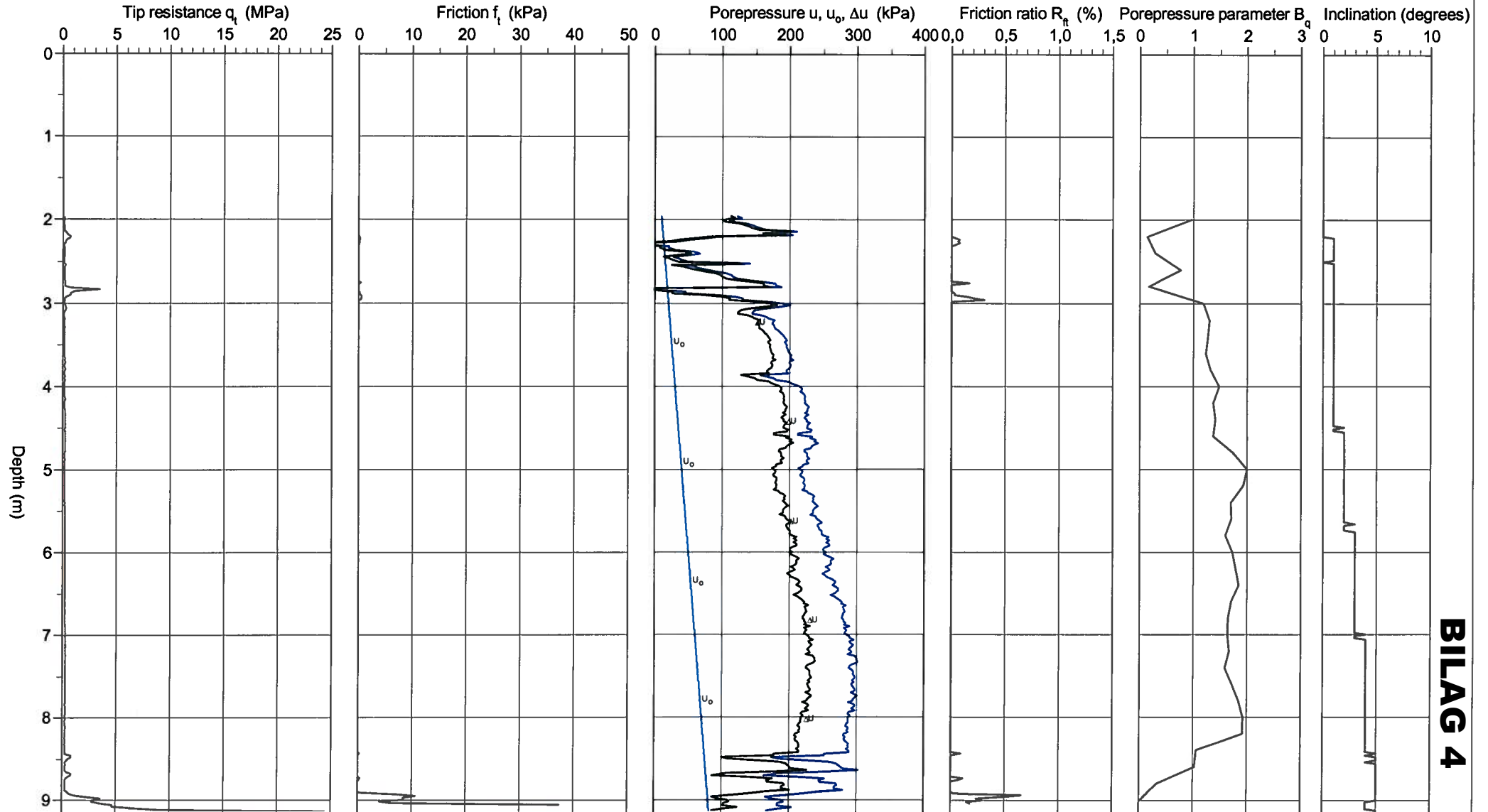
CPT-test performed according to EN ISO 22476-1

Predrilling depth 2,00 m
 Start depth 2,00 m
 Stop depth 9,16 m
 Ground water level 1,00 m

Reference Terreng
 Level at reference 9,89 m
 Predrilled material
 Geometry Normal

Fluid in filter Gelatin
 Coordinats
 Equipment Memocone MKII C1 3
 Cone nr 50456

Project Rv80 Vikan - Løding
 Project nr 50394
 Site 201-1
 Designation 568
 Date 20090319

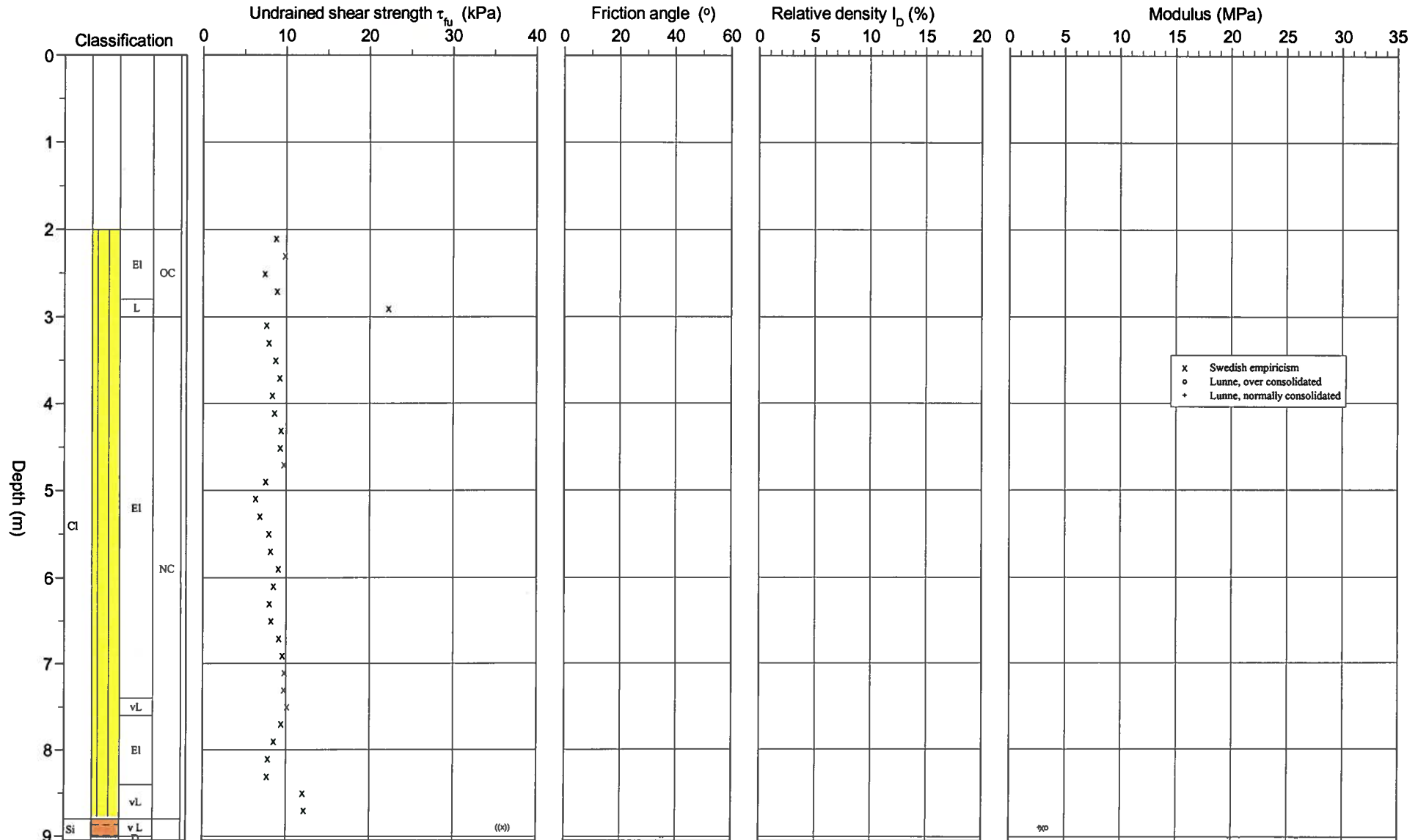


BILAG 4

CPT test evaluated according to SGI Information 15 rev. 2007

Reference	Terreng	Predrilling depth	2,00 m	Evaluator	arisl
Level at reference	9,89 m	Predrilled material		Evaluation date	
Ground water level	1,00 m	Equipment	Memocone MKII Cl 3		
Start depth	2,00 m	Geometry	Normal		

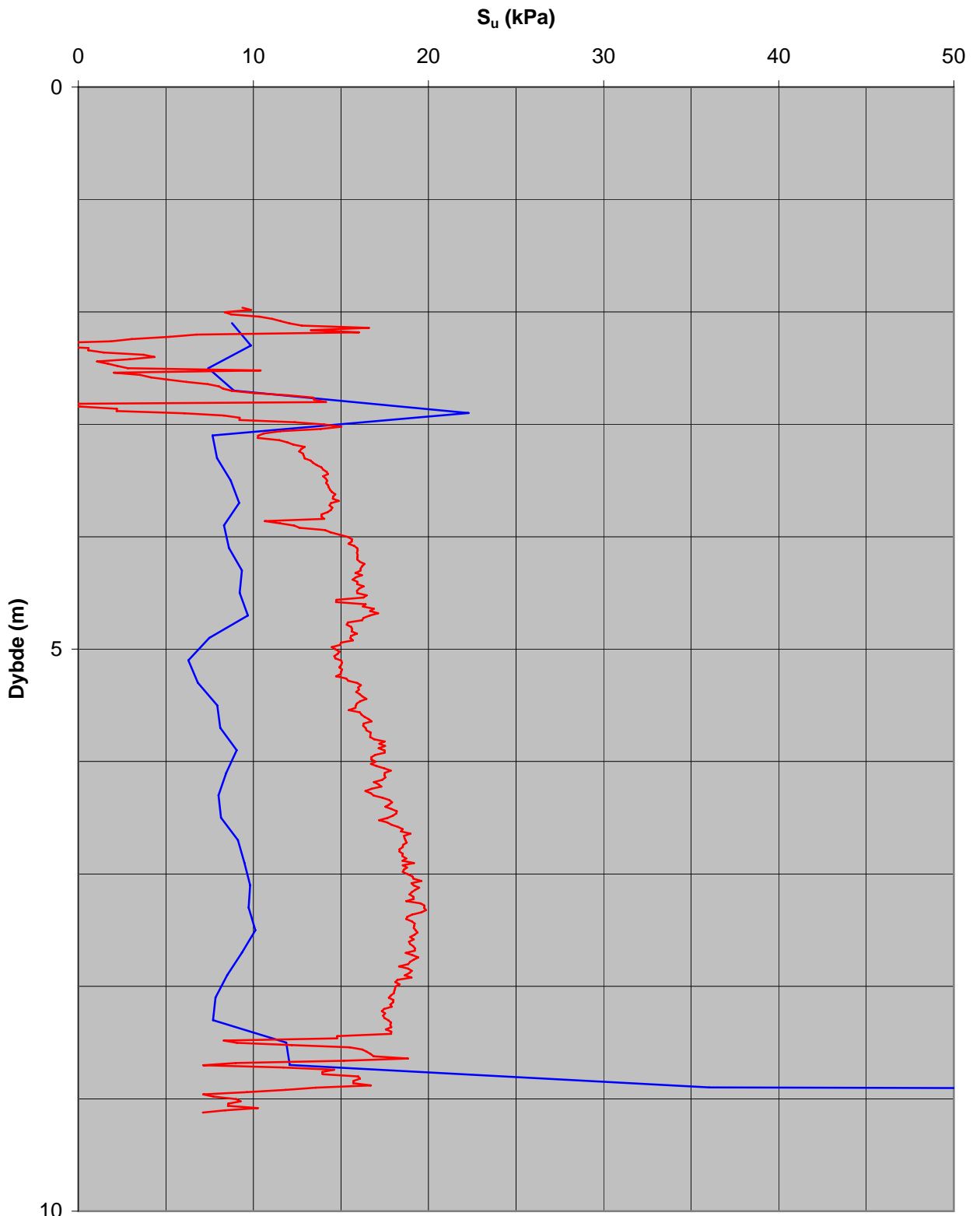
Project	Rv80 Vikan - Løding
Project nr	50394
Site	201-1
Designation	568
Date	20090319



50394

Hull nr. 201-1

Beregnet s_u fra trykksondering (CPTU)



Bæreevnefaktor $N_{\Delta u}$ 12

— CPTU H201-1 - Spissmotstand — CPTU H201-1 - Poreovertrykk

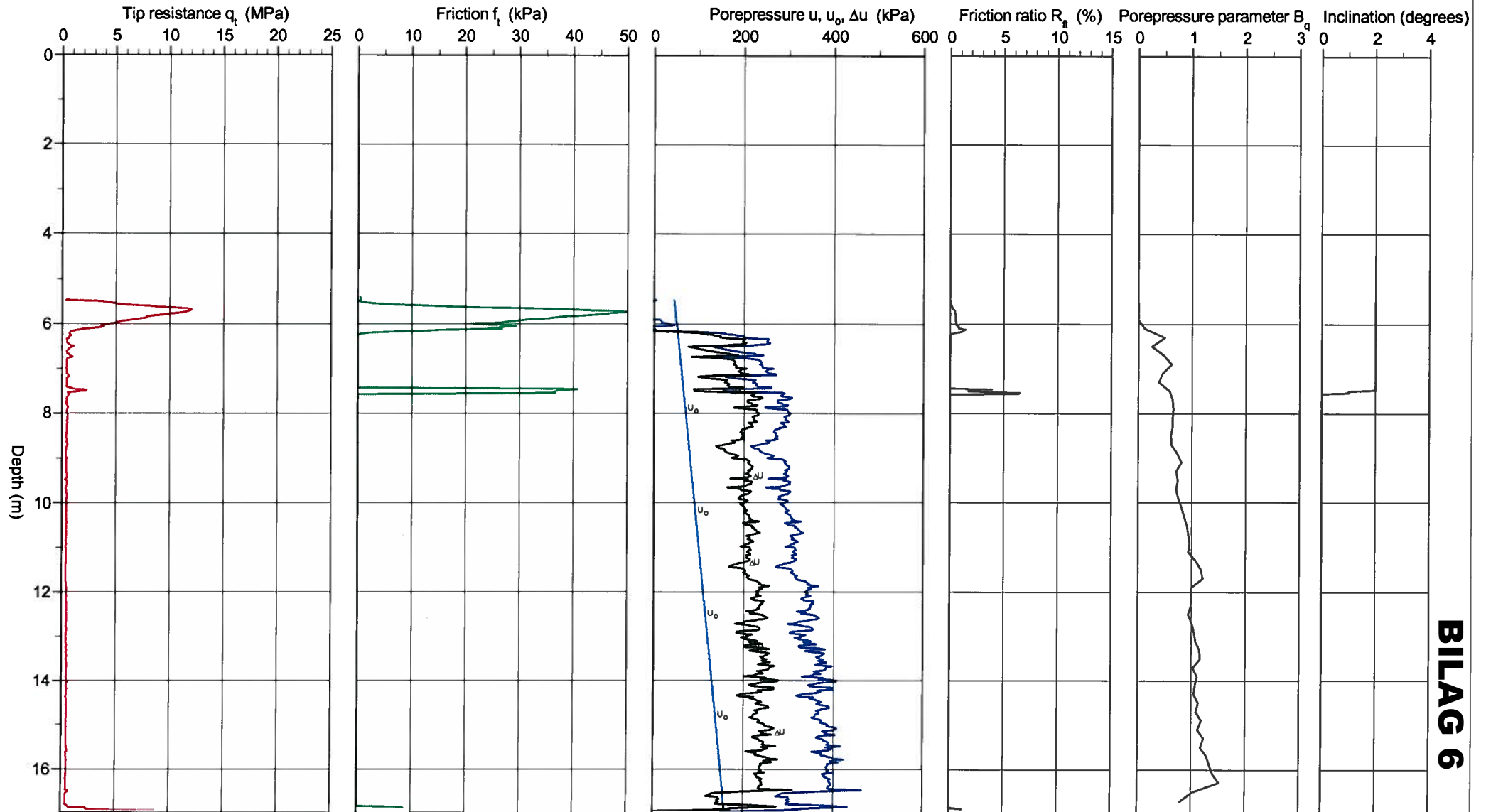
CPT-test performed according to EN ISO 22476-1

Predrilling depth 5,50 m
 Start depth 5,50 m
 Stop depth 16,98 m
 Ground water level 1,00 m

Reference Terreng
 Level at reference 14,01 m
 Predrilled material
 Geometry Normal

Fluid in filter Gelatin
 Coordinats
 Equipment Memocone MKII CI 3
 Cone nr 50456

Project Rv80 Vikan-Løding
 Project nr 50394
 Site 204-1
 Designation 569
 Date 20090319

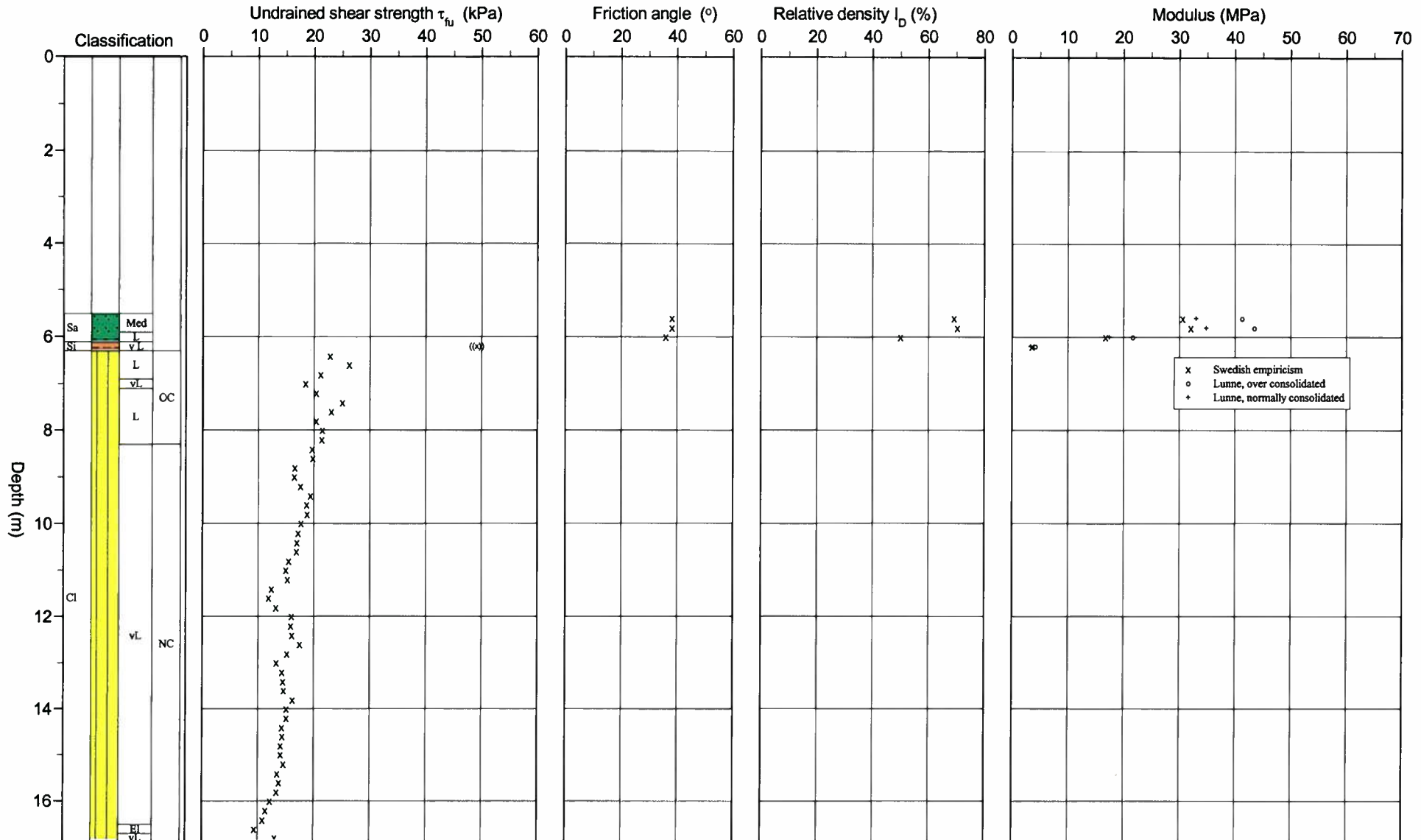


BILAG 6

CPT test evaluated according to SGI Information 15 rev. 2007

Reference	Terreng	Predrilling depth	5,50 m	Evaluator	arisl
Level at reference	14,01 m	Predrilled material		Evaluation date	
Ground water level	1,00 m	Equipment	Memocone MKII Cl 3		
Start depth	5,50 m	Geometry	Normal		

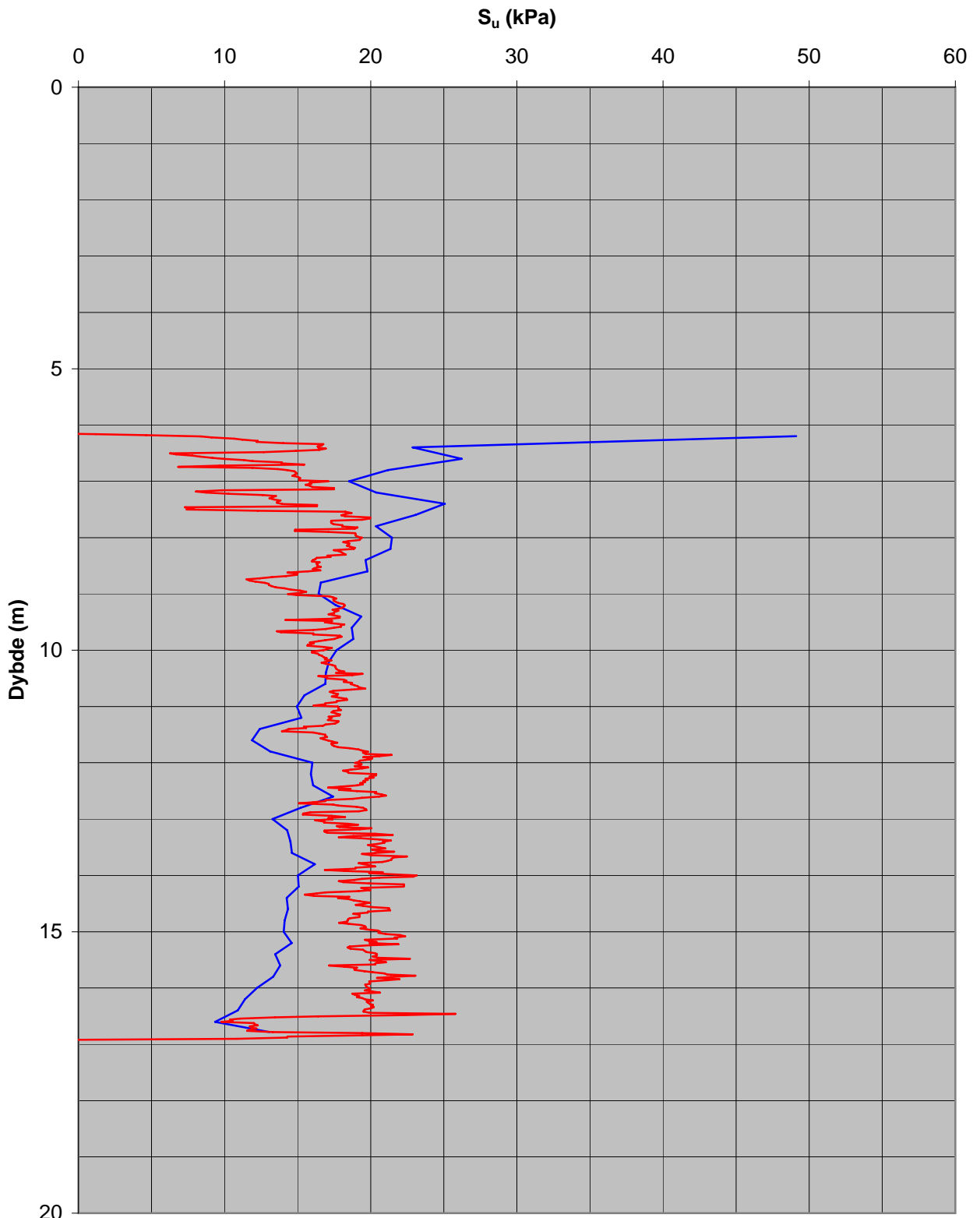
Project	Rv80 Vikan-Løding
Project nr	50394
Site	204-1
Designation	569
Date	20090319



50394

Hull nr. 204-1

Beregnet s_u fra trykksondering (CPTU)



Bæreevnefaktor $N_{\Delta u}$ 12

— CPTU H204-1 - Spissmotstand — CPTU H204-1 - Poreovertrykk

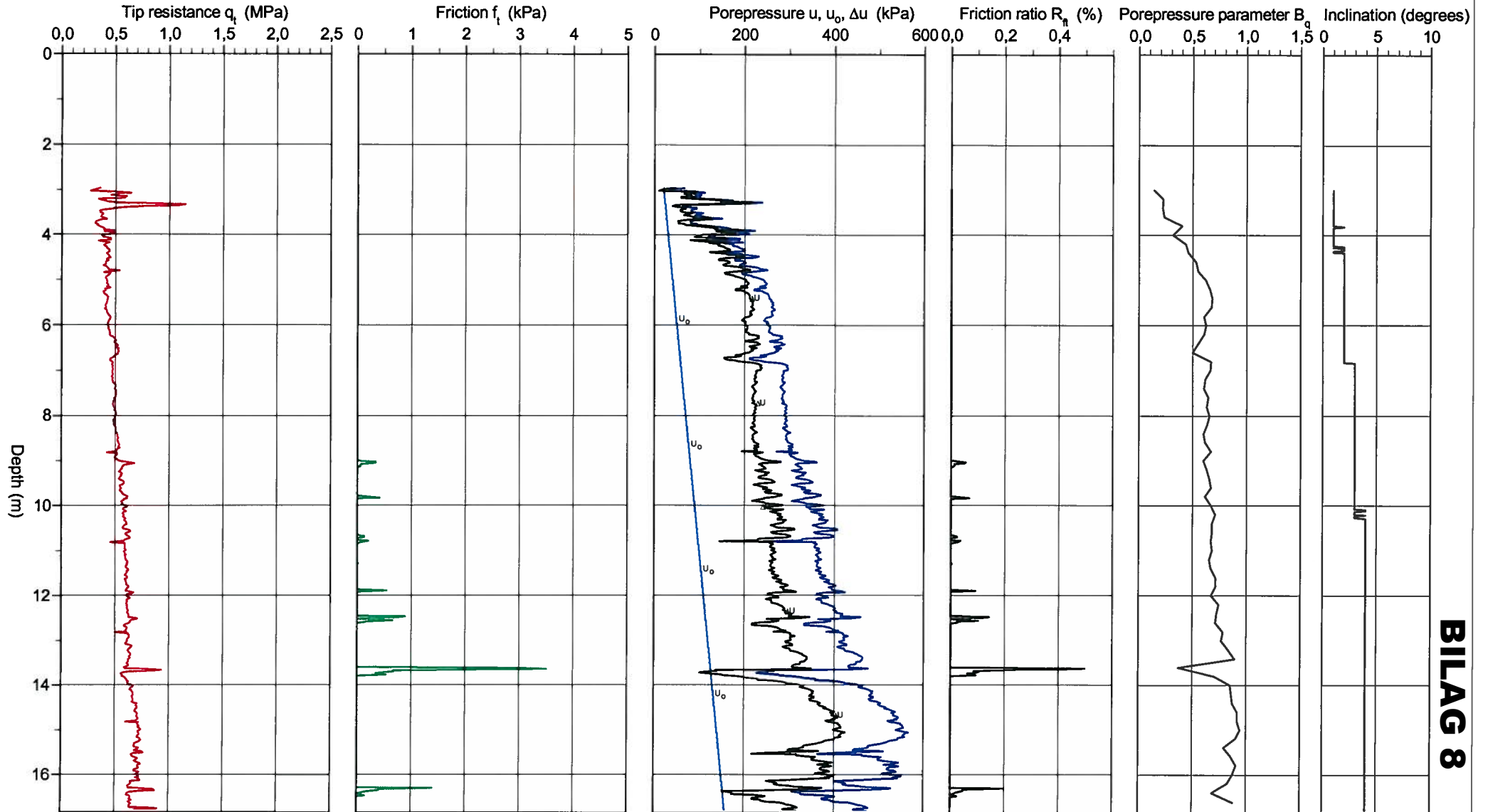
CPT-test performed according to EN ISO 22476-1

Predrilling depth 3,00 m
 Start depth 3,00 m
 Stop depth 16,84 m
 Ground water level 1,00 m

Reference Terreng
 Level at reference 11,16 m
 Predrilled material
 Geometry Normal

Fluid in filter Gelatin
 Coordinats
 Equipment Memocone MKII CI 3
 Cone nr 50456

Project Rv80 Vikan-Løding
 Project nr 50394
 Site 205-1
 Designation 570
 Date 20090319

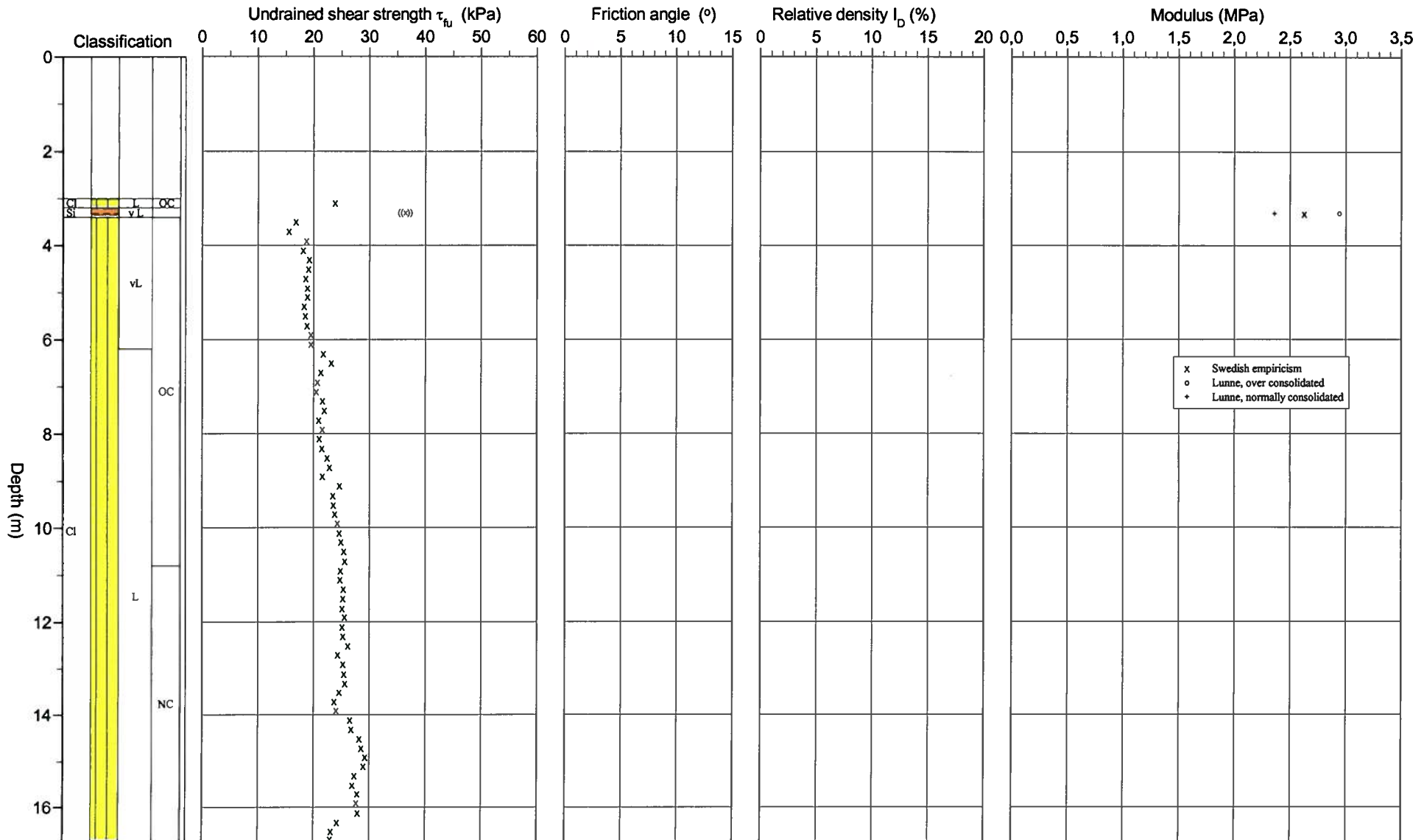


BILAG 8

CPT test evaluated according to SGI Information 15 rev. 2007

Reference	Terreng	Predrilling depth	3,00 m	Evaluator	arisl
Level at reference	11,16 m	Predrilled material		Evaluation date	
Ground water level	1,00 m	Equipment	Memocone MKII C1 3		
Start depth	3,00 m	Geometry	Normal		

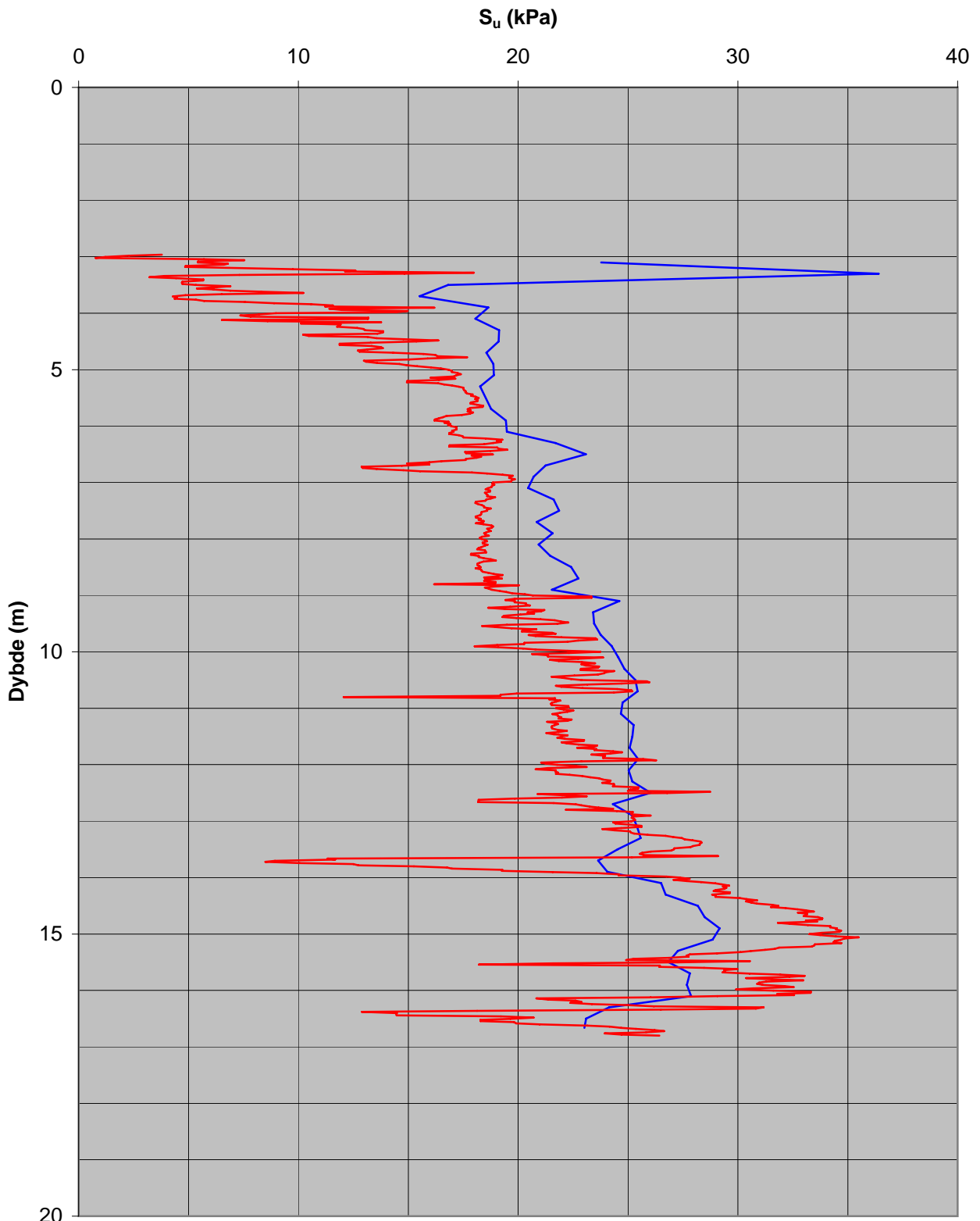
Project	Rv80 Vikan-Løding
Project nr	50394
Site	205-1
Designation	570
Date	20090319



50394

Hull nr. 205-1

Beregnet s_u fra trykksondering (CPTU)



Bæreevnefaktor $N_{\Delta u}$ 12

— CPTU H205-1 - Spissmotstand — CPTU H205-1 - Poreovertrykk

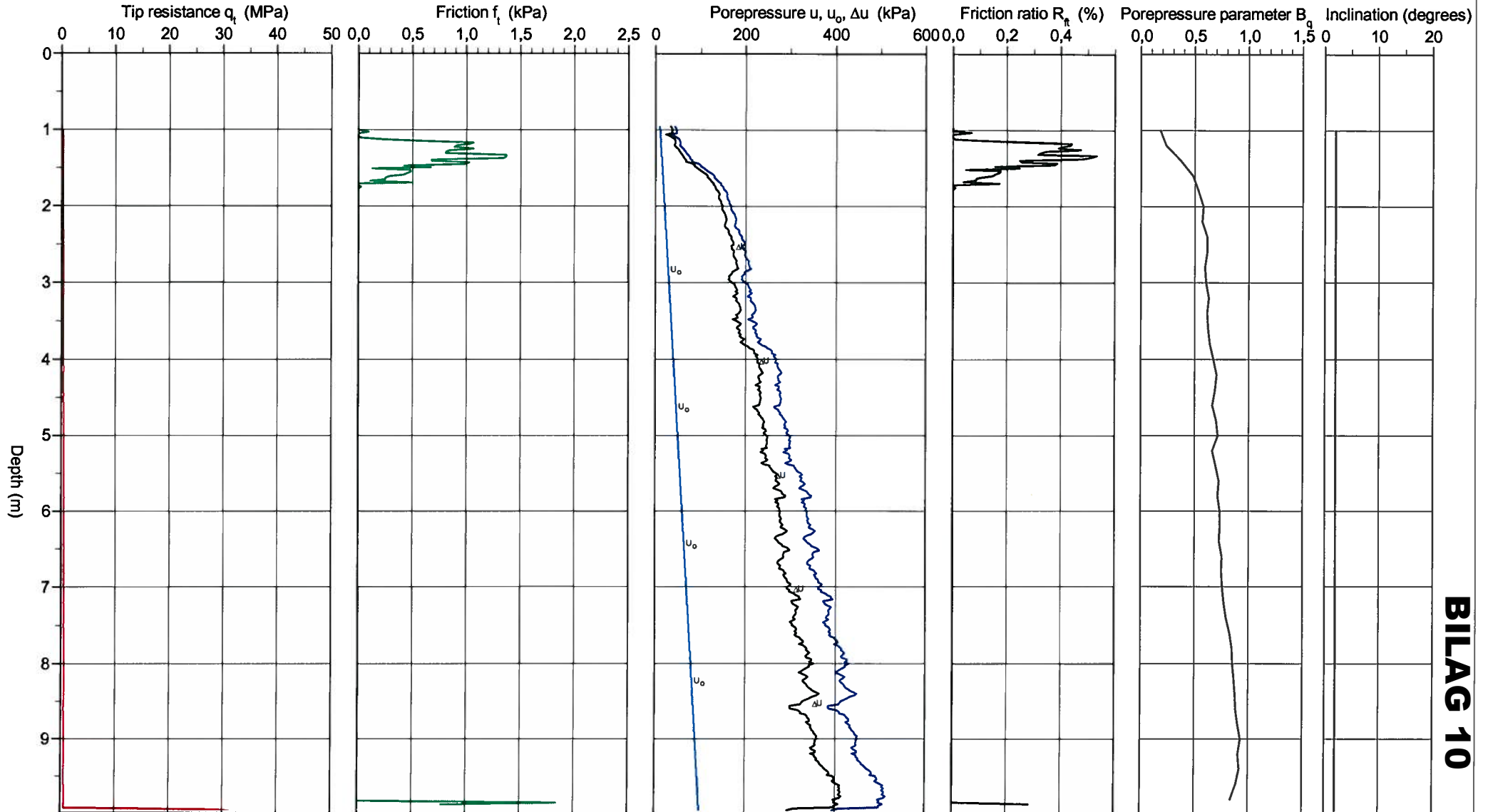
CPT-test performed according to EN ISO 22476-1

Predrilling depth 1,00 m
 Start depth 1,00 m
 Stop depth 9,98 m
 Ground water level 0,00 m

Reference Terreng
 Level at reference 0,87 m
 Predrilled material
 Geometry Normal

Fluid in filter Gelatin
 Coordinats
 Equipment Memocone MKII C1 3
 Cone nr 50456

Project Rv80 Vikan - Løding
 Project nr 50394
 Site 221-1
 Designation 291
 Date 20090427

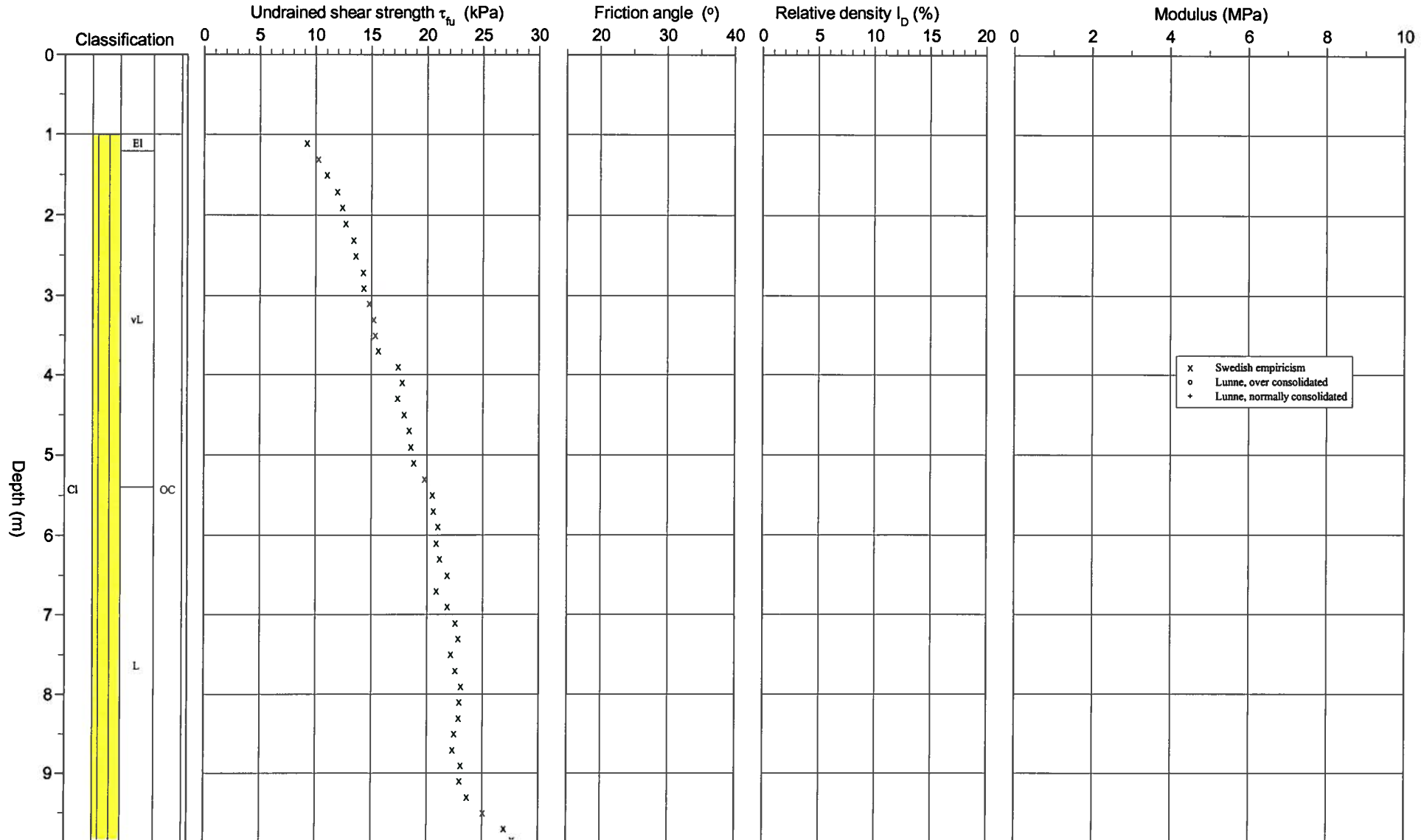


BILAG 10

CPT test evaluated according to SGI Information 15 rev. 2007

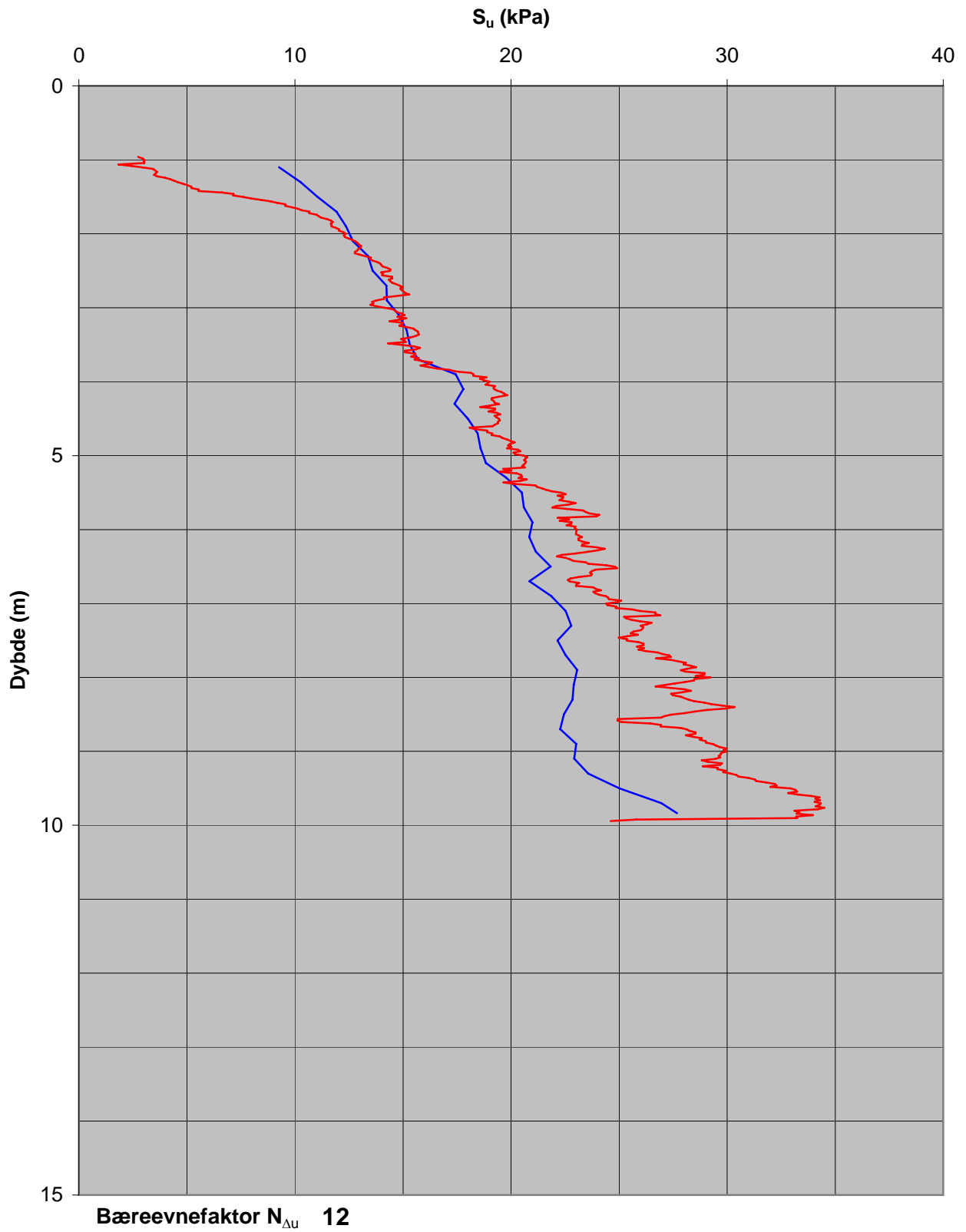
Reference	Terreng	Predrilling depth	1,00 m	Evaluator	arisl
Level at reference	0,87 m	Predrilled material		Evaluation date	
Ground water level	0,00 m	Equipment	Memocone MKII Cl 3		
Start depth	1,00 m	Geometry	Normal		

Project	Rv80 Vikan - Løding
Project nr	50394
Site	221-1
Designation	291
Date	20090427



50394

Hull nr. 221-1

Beregnet s_u fra trykksondering (CPTU)

— CPTU H221-1 - Spissmotstand — CPTU H221-1 - Poreovertrykk

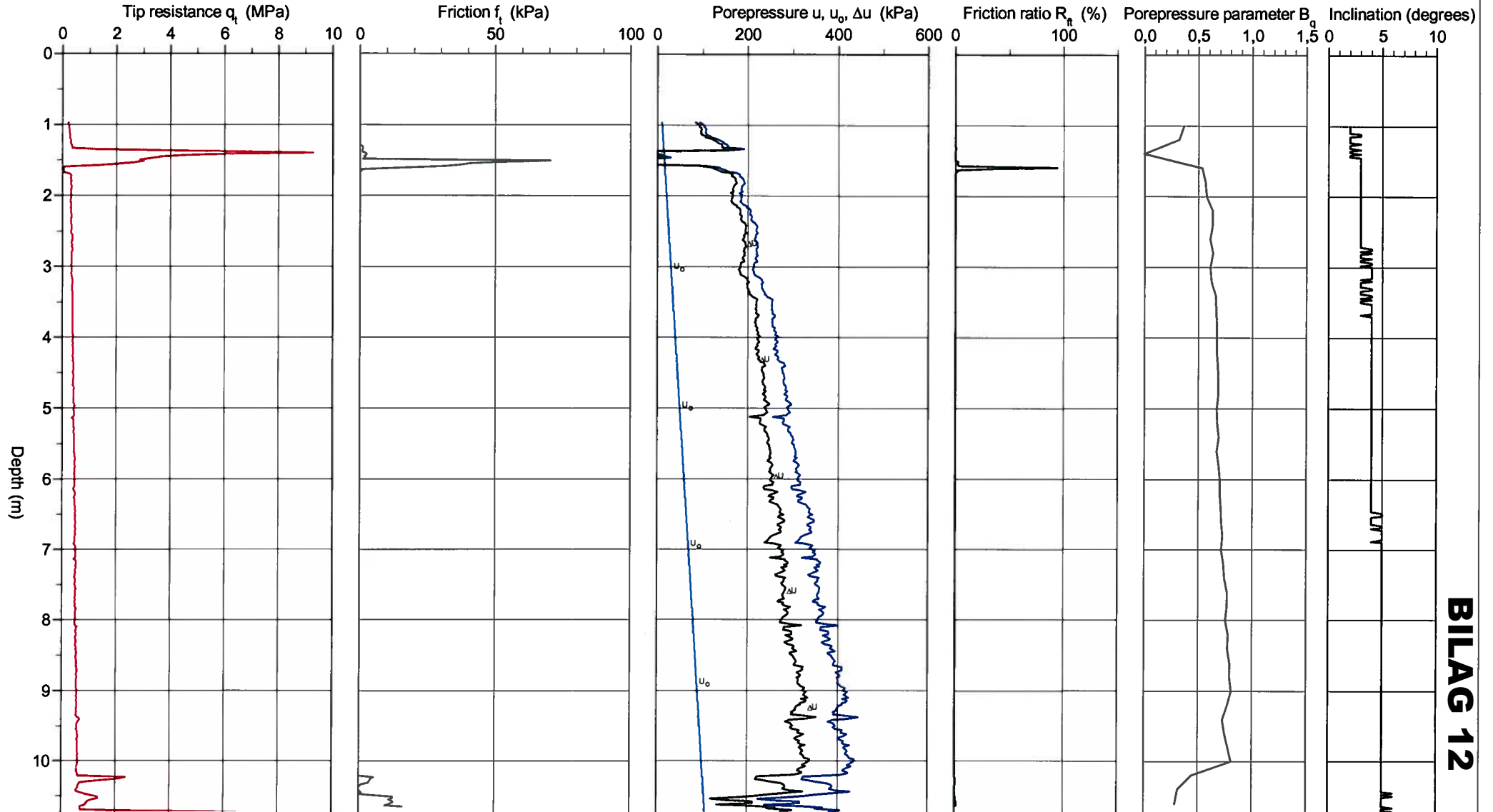
CPT-test performed according to EN ISO 22476-1

Predrilling depth 1,00 m
 Start depth 1,00 m
 Stop depth 10,76 m
 Ground water level 0,00 m

Reference Terreng
 Level at reference 0,59 m
 Predrilled material
 Geometry Normal

Fluid in filter Gelatin
 Coordinats
 Equipment Memocone MKII C1 3
 Cone nr 50456

Project Rv80 Vikan - Løding
 Project nr 50394
 Site 223-1
 Designation 290
 Date 20090427

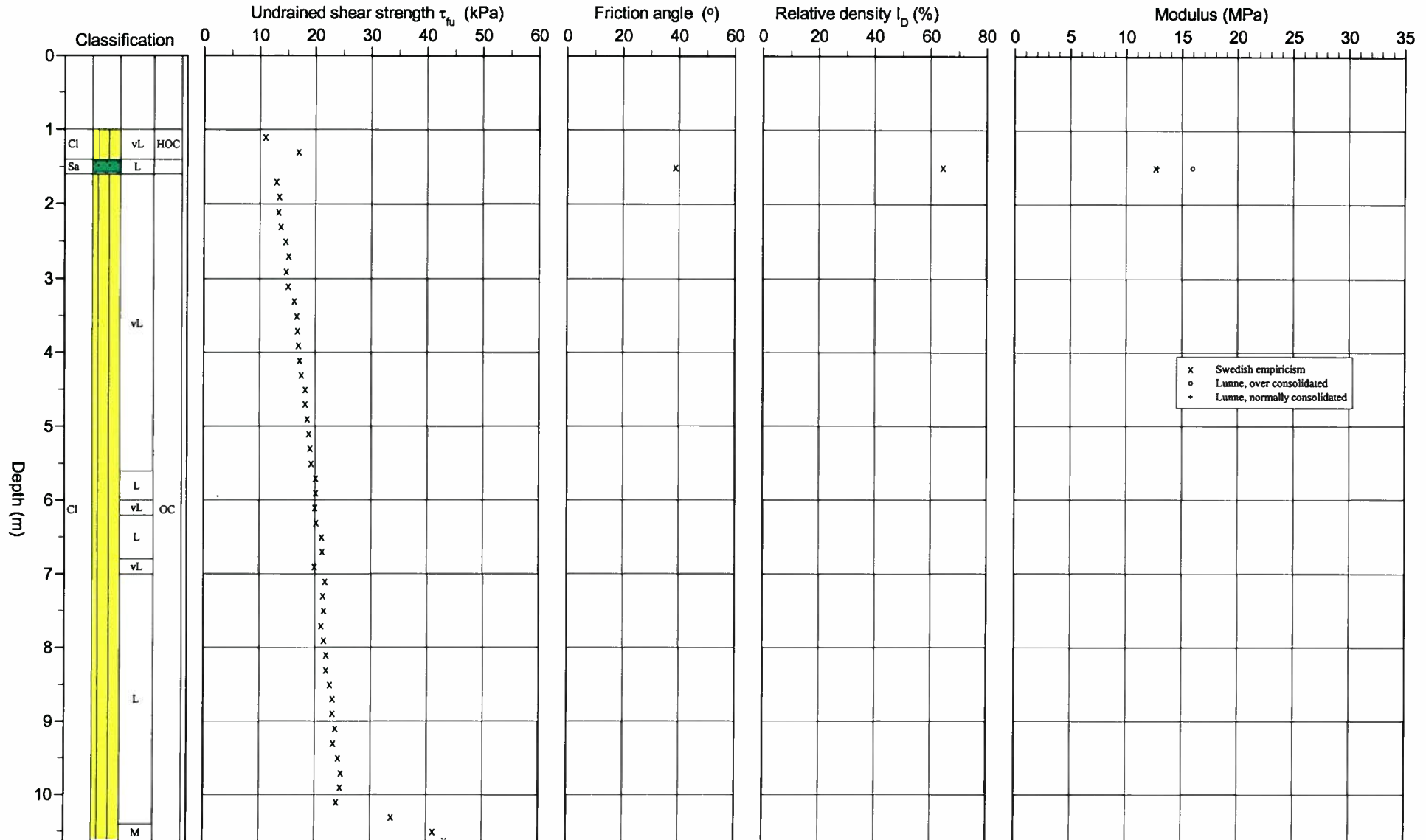


BILAG 12

CPT test evaluated according to SGI Information 15 rev. 2007

Reference	Terreng	Predrilling depth	1,00 m	Evaluator	arisl
Level at reference	0,59 m	Predrilled material		Evaluation date	
Ground water level	0,00 m	Equipment	Memocone MKII Cl 3		
Start depth	1,00 m	Geometry	Normal		

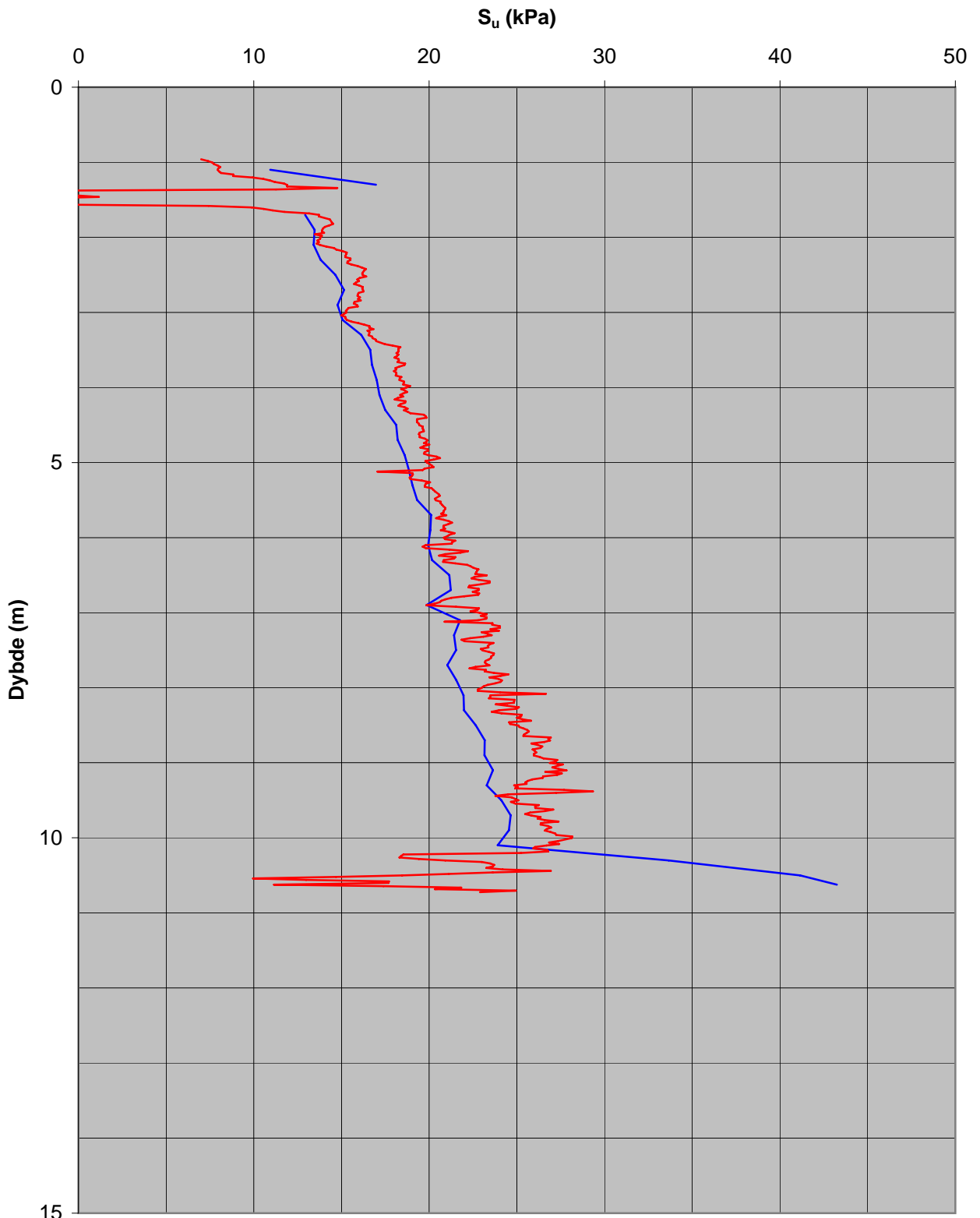
Project	Rv80 Vikan - Løding
Project nr	50394
Site	223-1
Designation	290
Date	20090427



50394

Hull nr. 223-1

Beregnet s_u fra trykksondering (CPTU)



Bæreevnafaktor $N_{\Delta u}$ 12

— CPTU H223-1 - Spissmotstand — CPTU H223-1 - Poreovertrykk

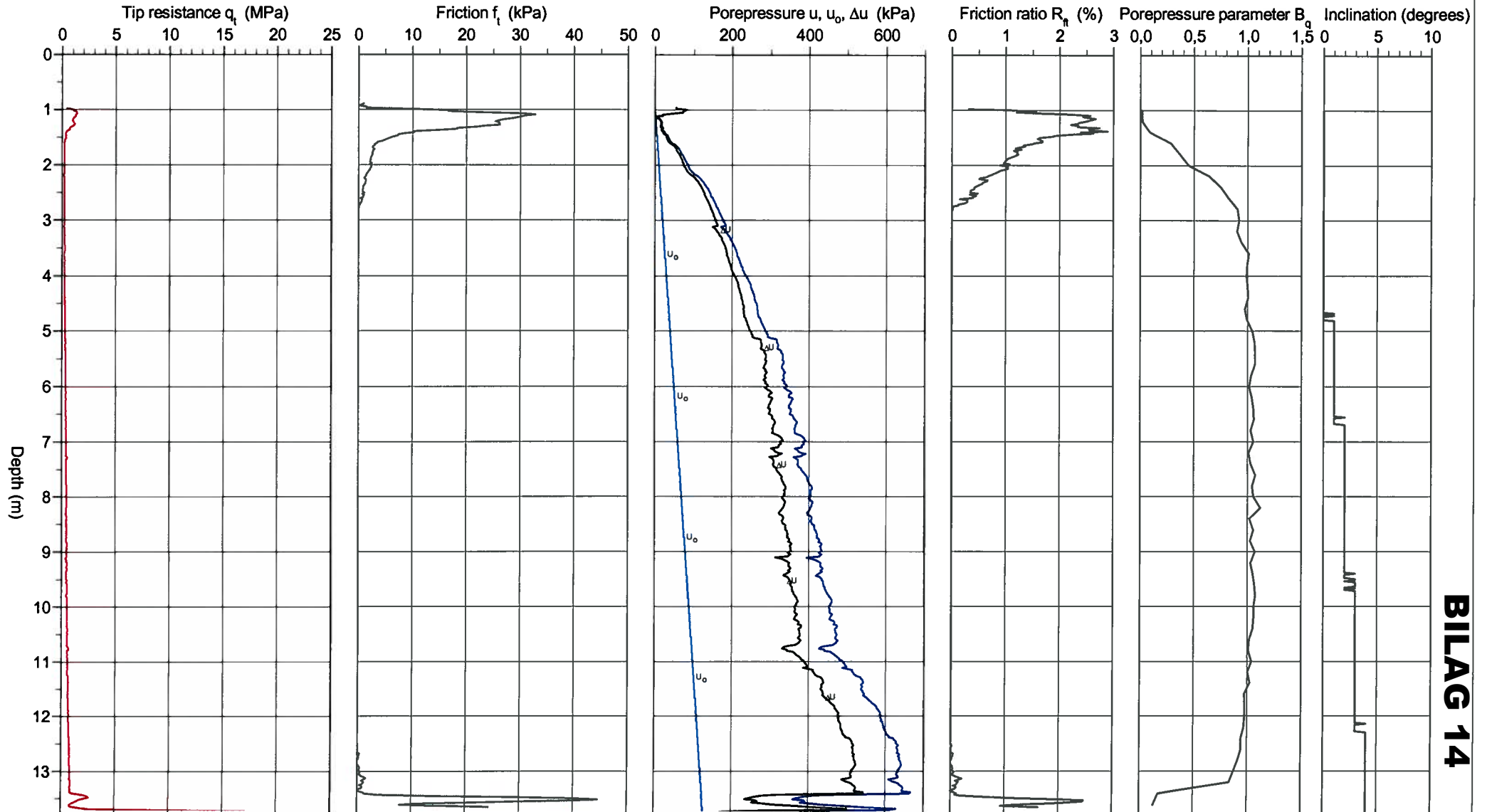
CPT-test performed according to EN ISO 22476-1

Predrilling depth 1,00 m
 Start depth 1,00 m
 Stop depth 13,76 m
 Ground water level 1,00 m

Reference Terreng
 Level at reference 0,99 m
 Predrilled material
 Geometry Normal

Fluid in filter Gelatin
 Coordinats
 Equipment Memocone MKII C1 3
 Cone nr 50456

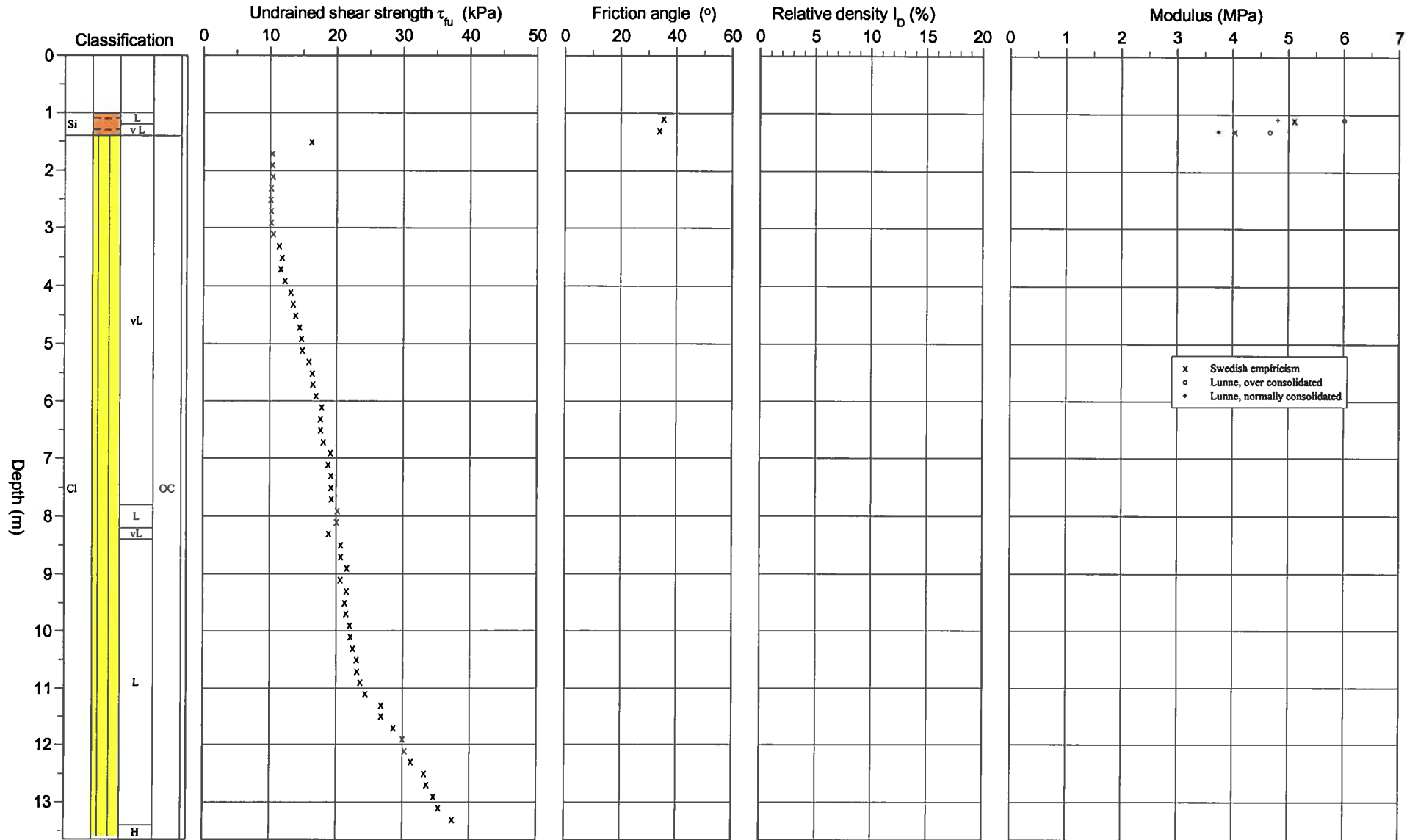
Project Rv80 Vikan - Løding
 Project nr 50394
 Site 225-1
 Designation 292
 Date 20090427



CPT test evaluated according to SGI Information 15 rev. 2007

Reference	Terreng	Predrilling depth	1,00 m	Evaluator	arisl
Level at reference	0,99 m	Predrilled material		Evaluation date	
Ground water level	1,00 m	Equipment	Memocone MKII Cl 3		
Start depth	1,00 m	Geometry	Normal		

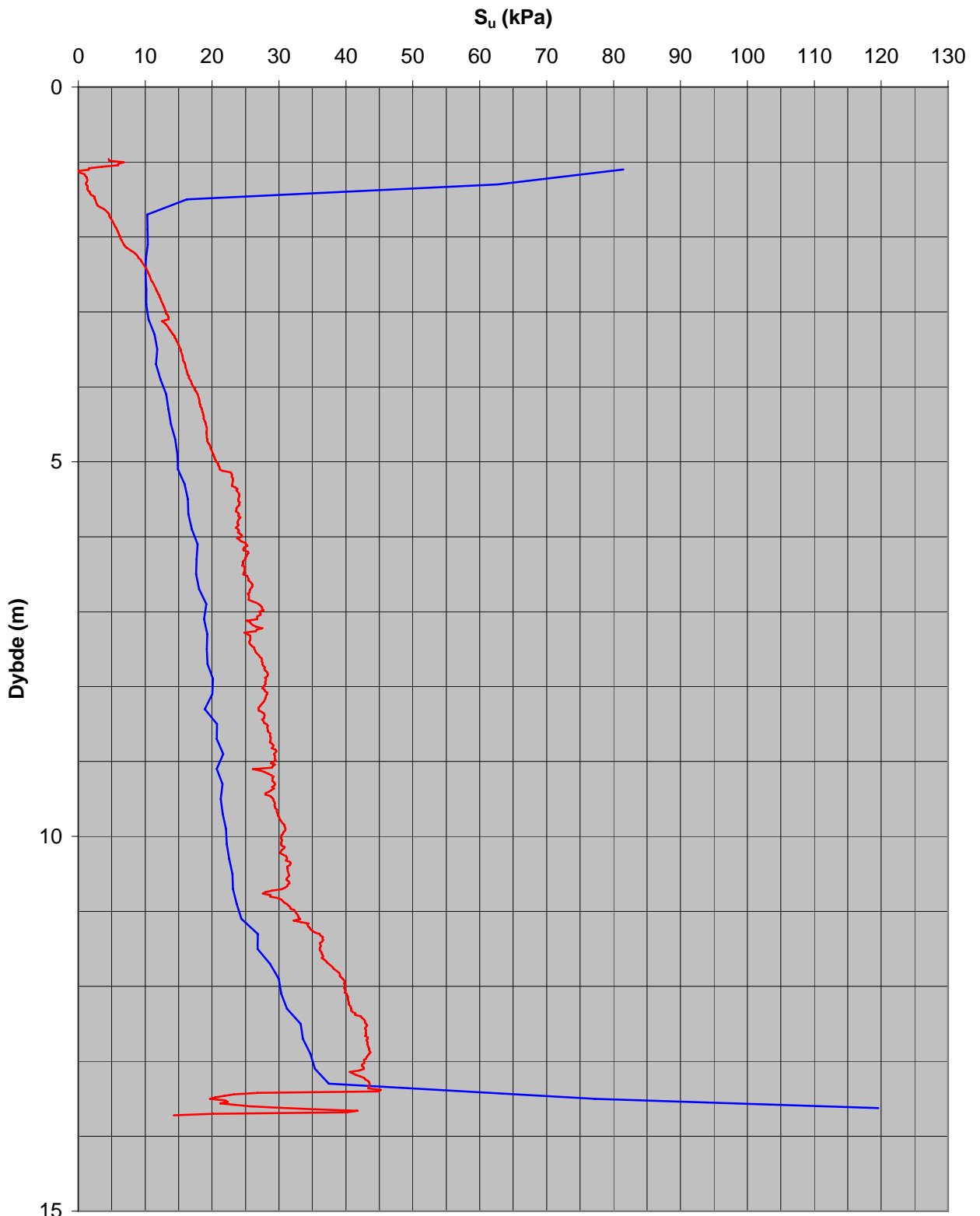
Project	Rv80 Vikan - Løding
Project nr	50394
Site	225-1
Designation	292
Date	20090427



50394

Hull nr. 225-1

Beregnet s_u fra trykksondering (CPTU)



Bæreevnefaktor $N_{\Delta u}$ 12

— CPTU H225-1 - Spissmotstand — CPTU H225-1 - Poreovertrykk

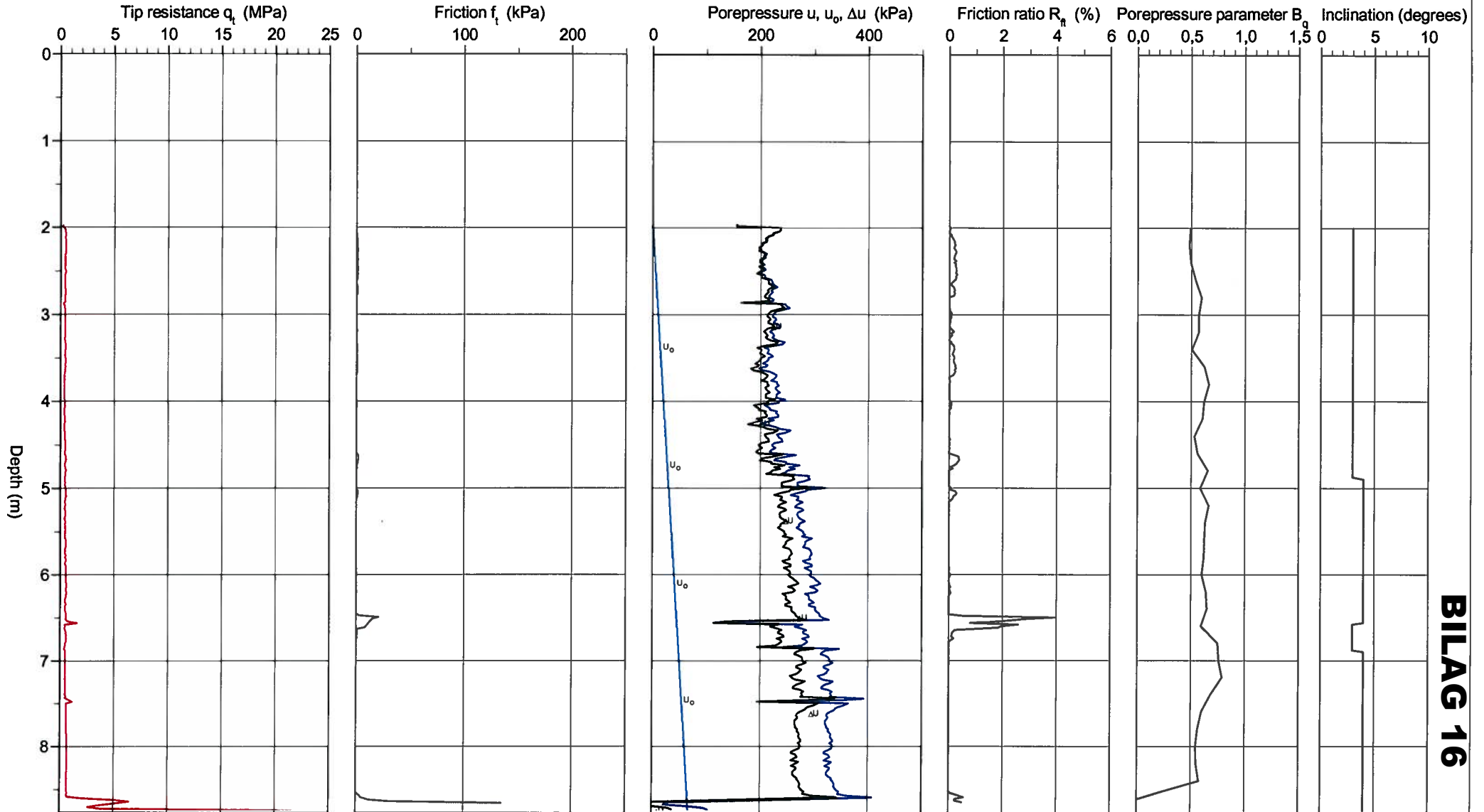
CPT-test performed according to EN ISO 22476-1

Predrilling depth 2,00 m
 Start depth 2,00 m
 Stop depth 8,76 m
 Ground water level 2,00 m

Reference Terreng
 Level at reference 0,87 m
 Predrilled material
 Geometry Normal

Fluid in filter Gelatin
 Coordinats
 Equipment Memocone MKII CI 3
 Cone nr 50456

Project Rv80 Vikan-Løding
 Project nr 50394
 Site 233-1
 Designation 293
 Date 20090428

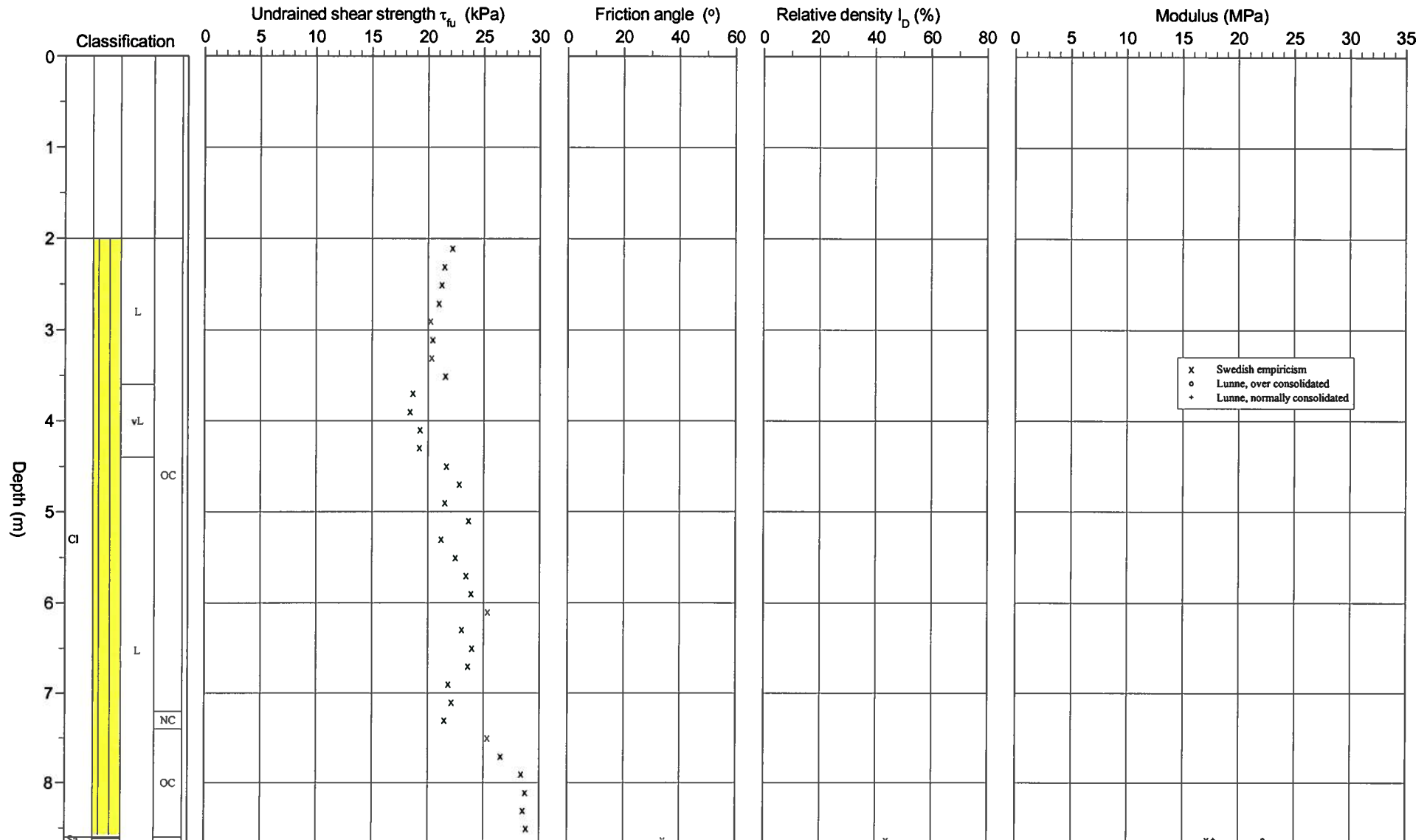


BILAG 16

CPT test evaluated according to SGI Information 15 rev. 2007

Reference	Terreng	Predrilling depth	2,00 m	Evaluator	arisl
Level at reference	0,87 m	Predrilled material		Evaluation date	
Ground water level	2,00 m	Equipment	Memocone MKII Cl 3		
Start depth	2,00 m	Geometry	Normal		

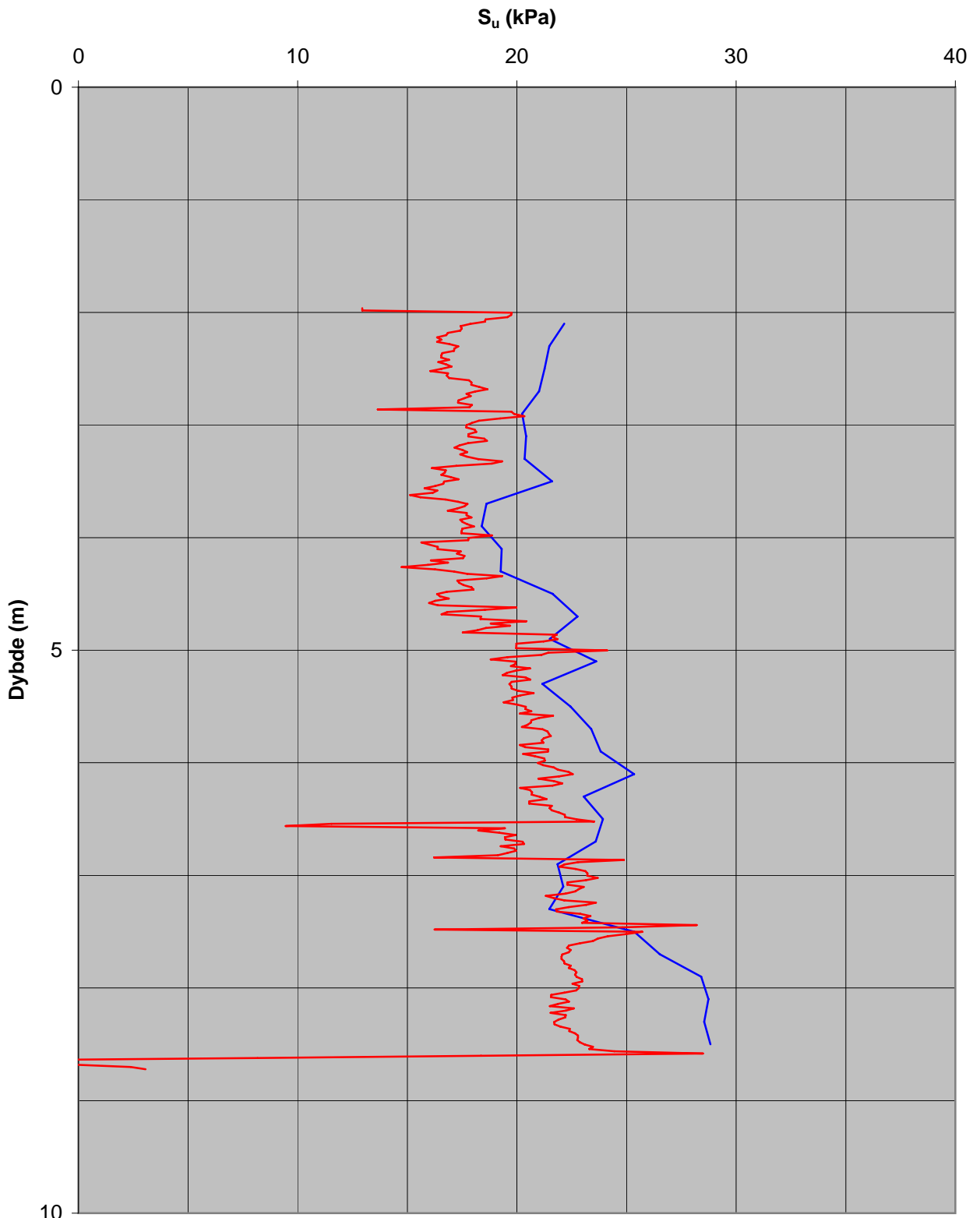
Project	Rv80 Vikan-Løding
Project nr	50394
Site	233-1
Designation	293
Date	20090428



50394

Hull nr. 233-1

Beregnet s_u fra trykksondering (CPTU)



Bæreevnemfaktor $N_{\Delta u}$ 12

— CPTU H233-1 - Spissmotstand — CPTU H233-1 - Poreovertrykk

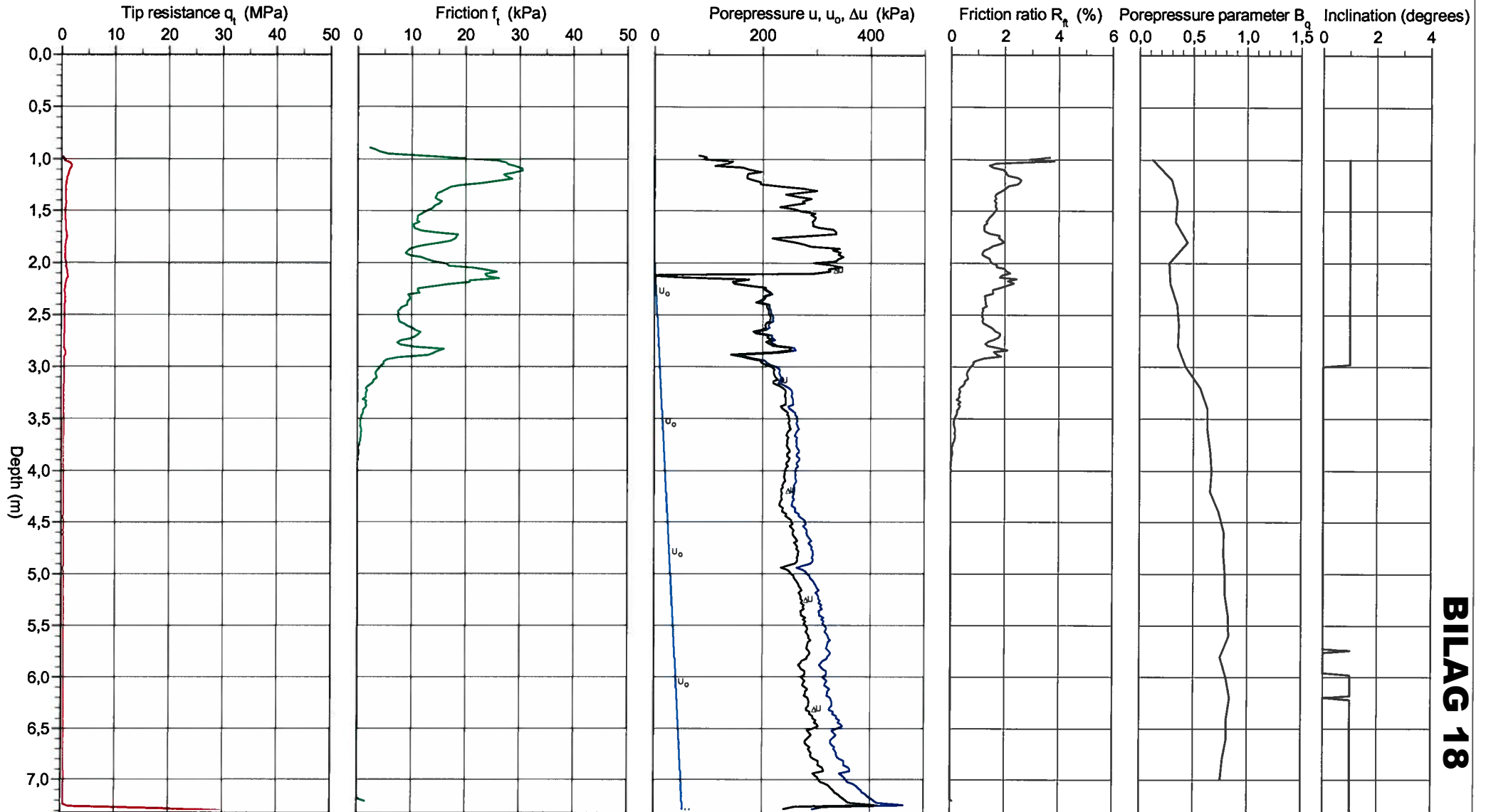
CPT-test performed according to EN ISO 22476-1

Predrilling depth 1,00 m
 Start depth 1,00 m
 Stop depth 7,32 m
 Ground water level 2,00 m

Reference Terreng
 Level at reference 10,93 m
 Predrilled material
 Geometry Normal

Fluid in filter Gelatin
 Coordinats
 Equipment Memocone MKII C1 3
 Cone nr 50456

Project Rv80 Vikan - Løding
 Project nr VIKAN
 Site 235-1
 Designation 294
 Date 20090428

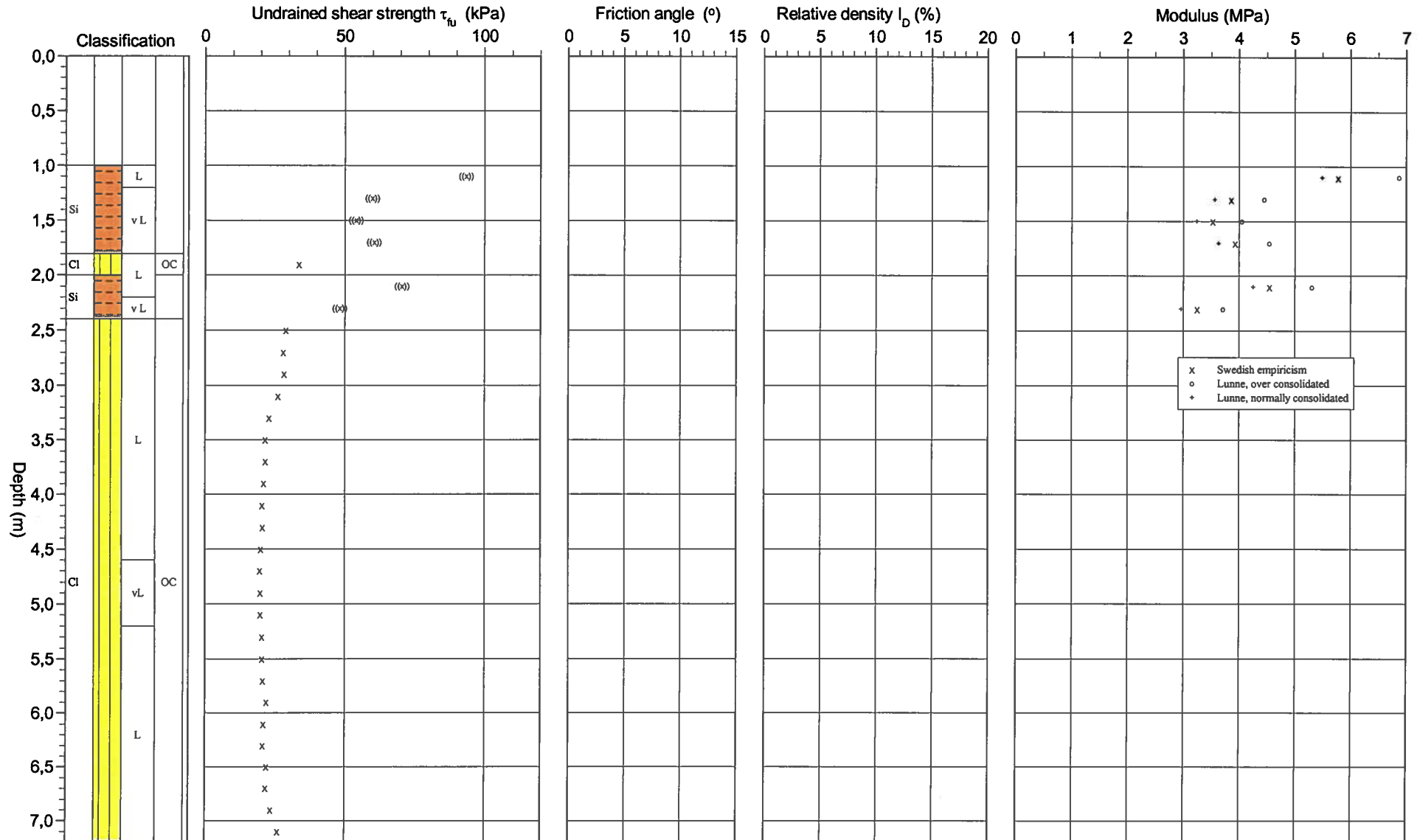


BILAG 18

CPT test evaluated according to SGI Information 15 rev. 2007

Reference	Terreng	Predrilling depth	1,00 m	Evaluator	arisl
Level at reference	10,93 m	Predrilled material		Evaluation date	
Ground water level	2,00 m	Equipment	Memocone MKII C1 3		
Start depth	1,00 m	Geometry	Normal		

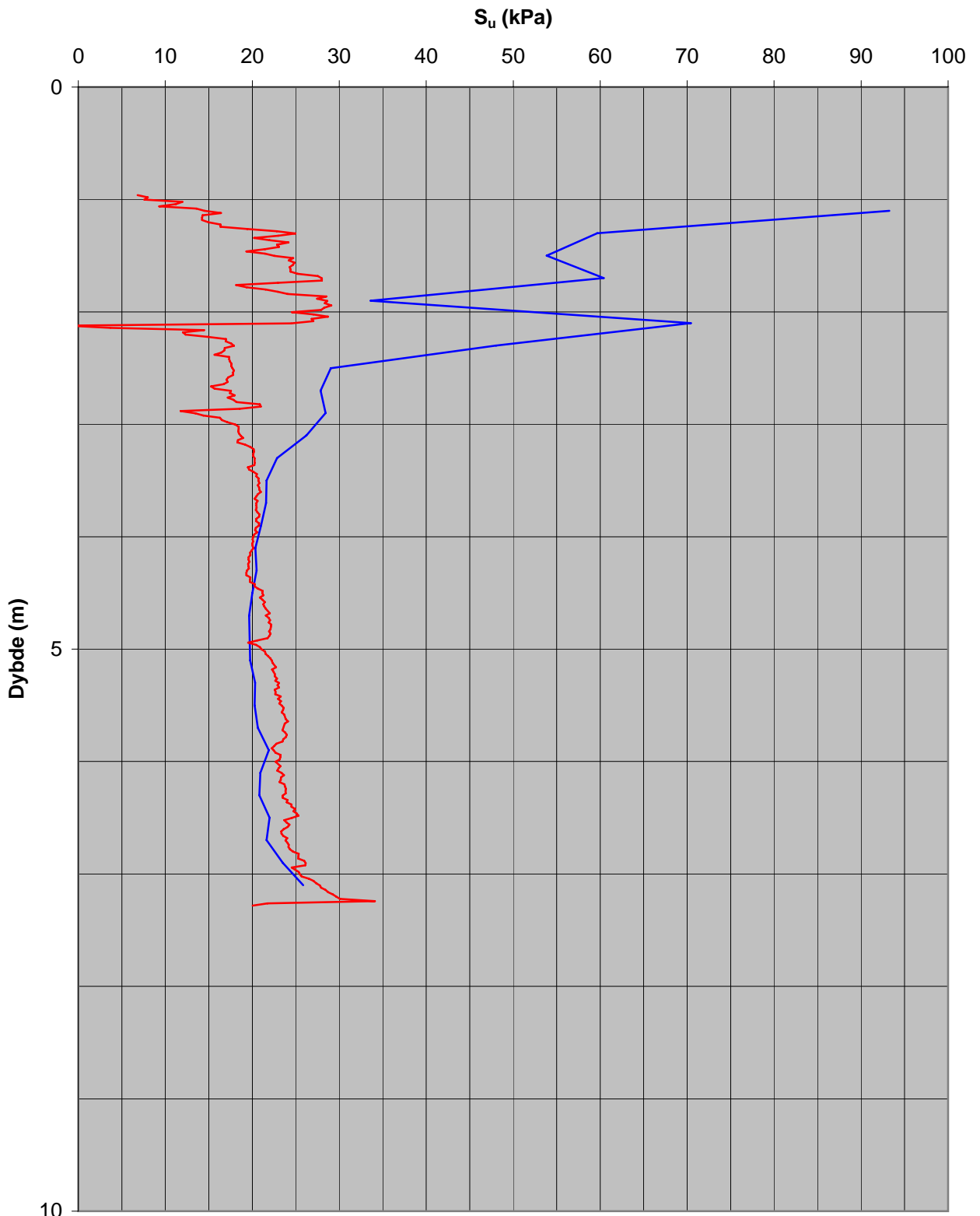
Project	Rv80 Vikan - Løding
Project nr	VIKAN
Site	235-1
Designation	294
Date	20090428



50394

Hull nr. 235-1

Beregnet s_u fra trykksondering (CPTU)



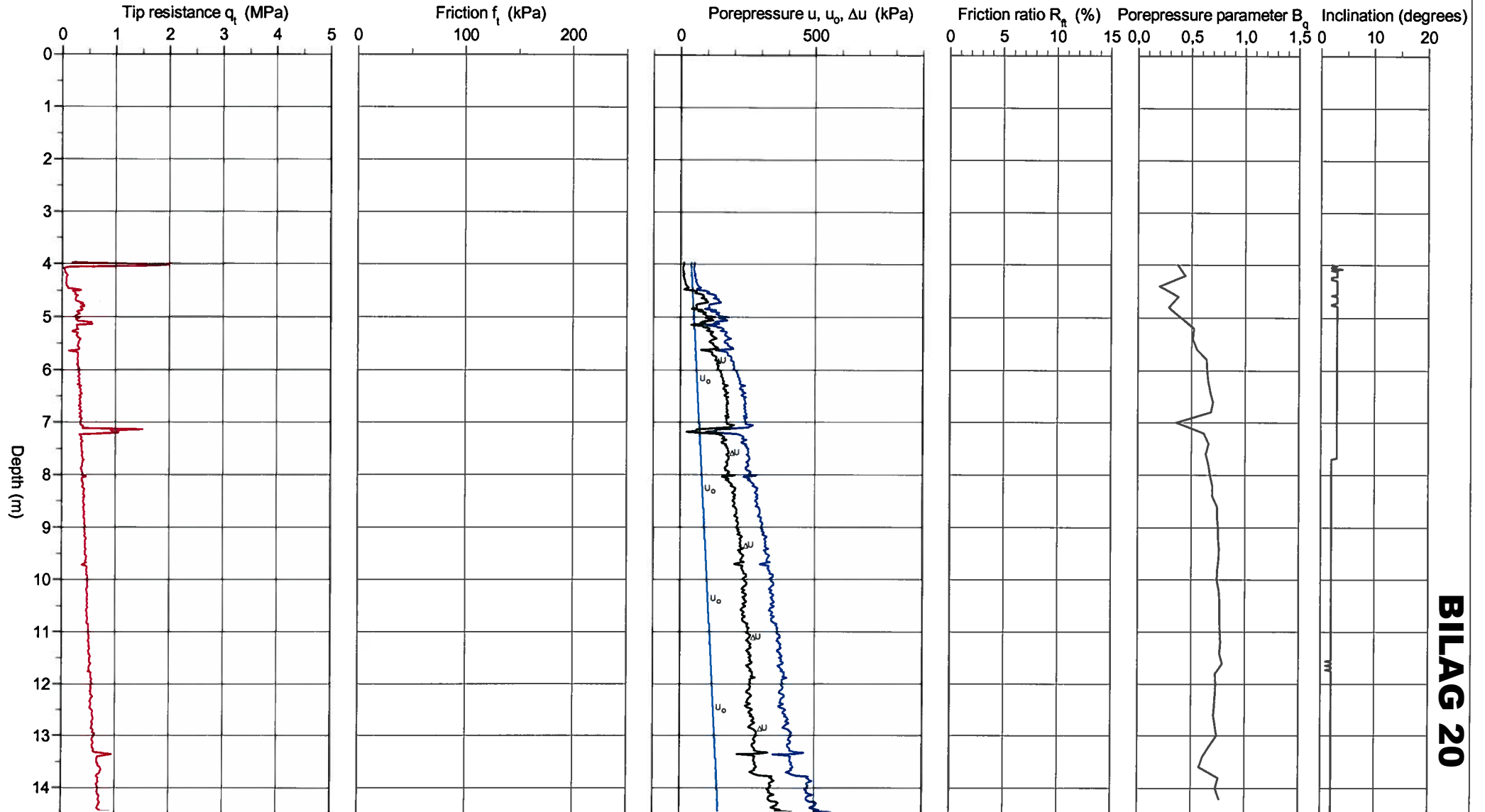
Bæreevnafaktor $N_{\Delta u}$ 12

— CPTU H235-1 - Spissmotstand — CPTU H235-1 - Poreovertrykk

CPT-test performed according to EN ISO 22476-1

Predrilling depth	4,00 m	Reference	Vannoverflate	Fluid in filter	Gelatin
Start depth	4,00 m	Level at reference	-0,40 m	Coordinats	-3.40 (sjøbunn)
Stop depth	14,48 m	Predrilled material		Equipment	Memocone MKII Cl 3
Ground water level	0,00 m	Geometry	Normal	Cone nr	50456

Project	Rv80 Tverrlandsbrua
Project nr	50394
Site	259-1
Designation	433
Date	20090515

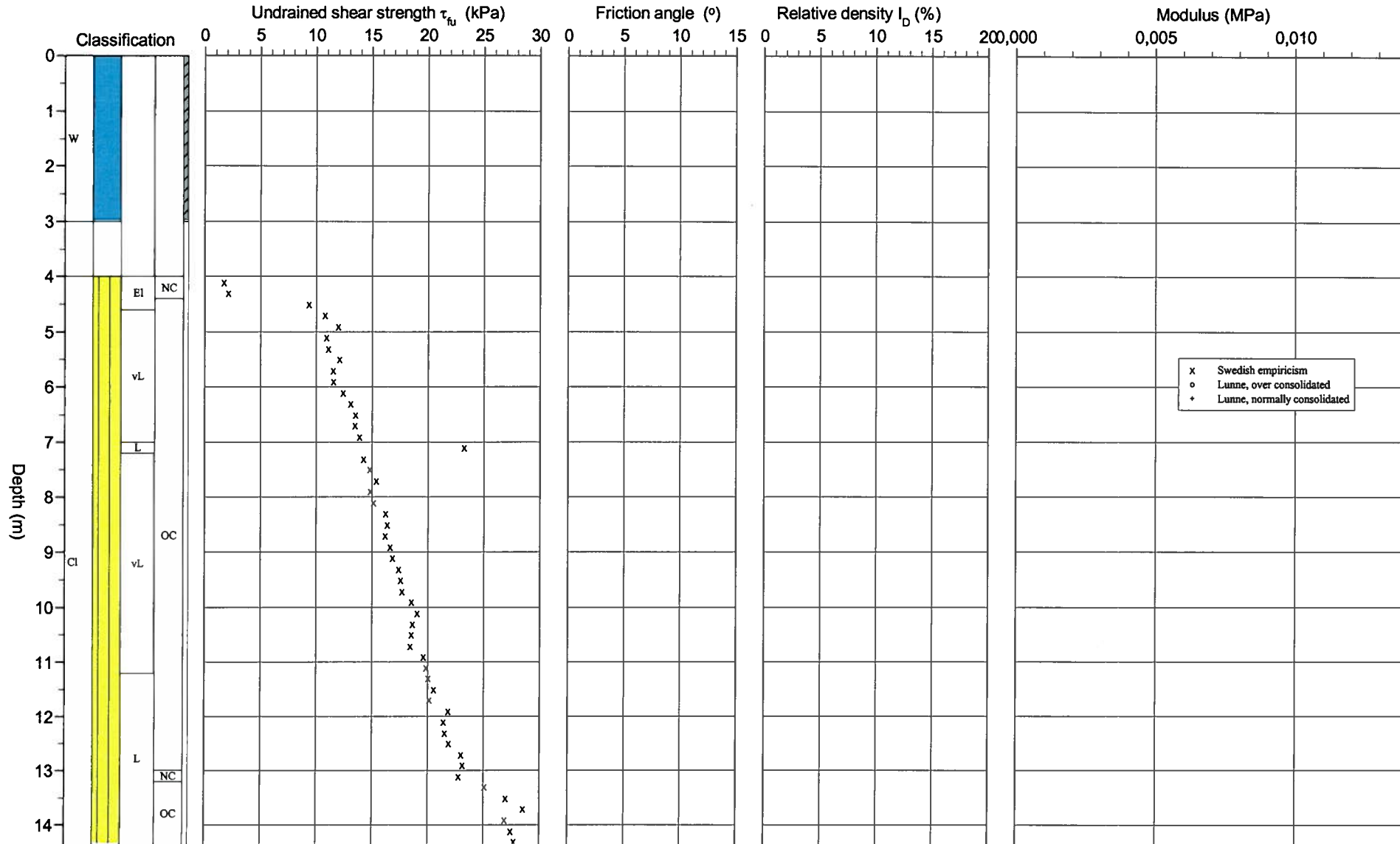


BILAG 20

CPT test evaluated according to SGI Information 15 rev. 2007

Reference	Vannoverflate	Predrilling depth	4,00 m	Evaluator	arisl
Level at reference	-0,40 m	Predrilled material		Evaluation date	20090518
Ground water level	0,00 m	Equipment	Memocone MKII CI 3		
Start depth	4,00 m	Geometry	Normal		

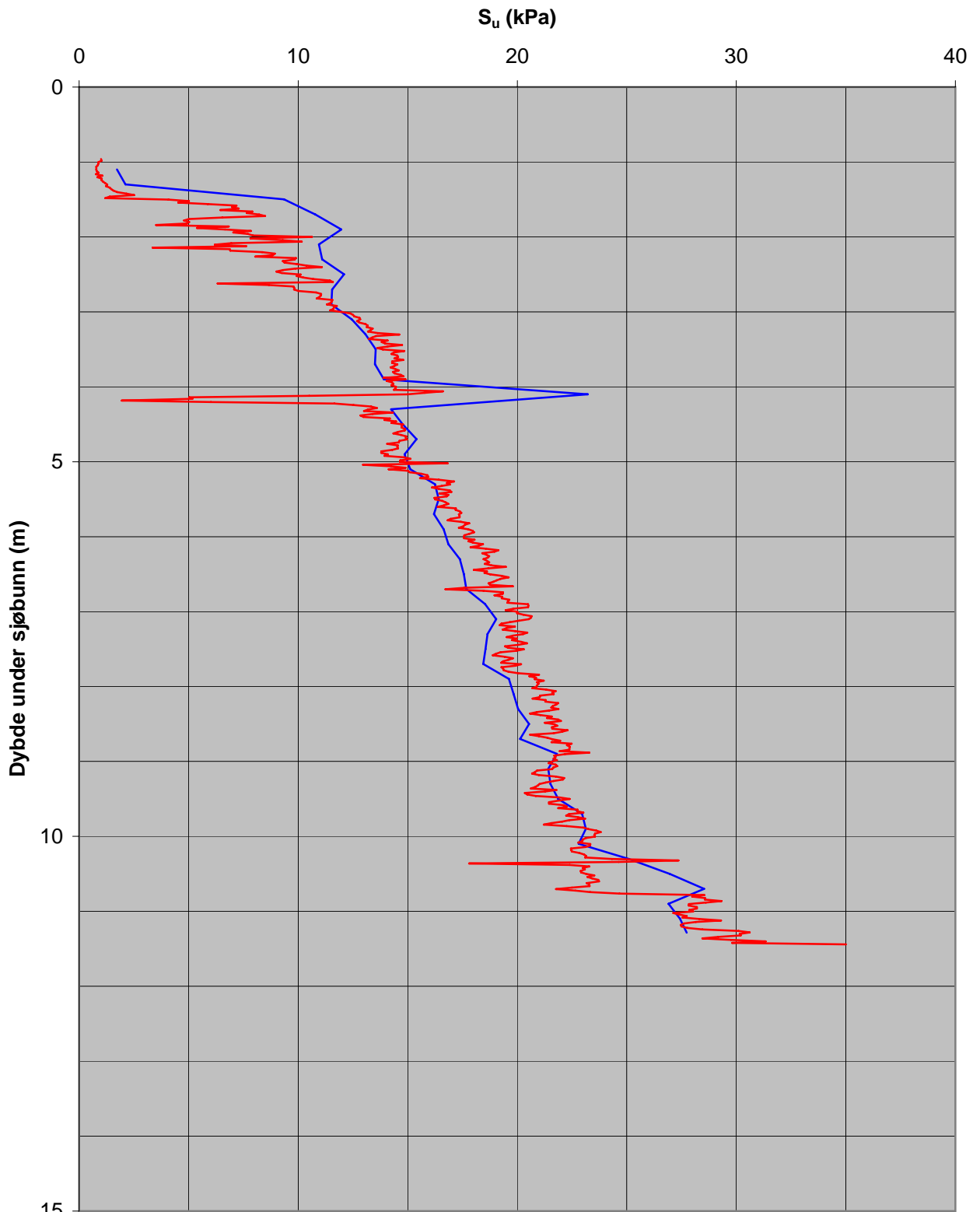
Project	Rv80 Tverrlandsbrua
Project nr	50394
Site	259-1
Designation	433
Date	20090515



50394

Hull nr. 259-1

Beregnet s_u fra trykksondering (CPTU)



Bæreevnefaktor $N_{\Delta u}$ 12

— CPTU H259-1 - Spissmotstand — CPTU H259-1 - Poreovertrykk

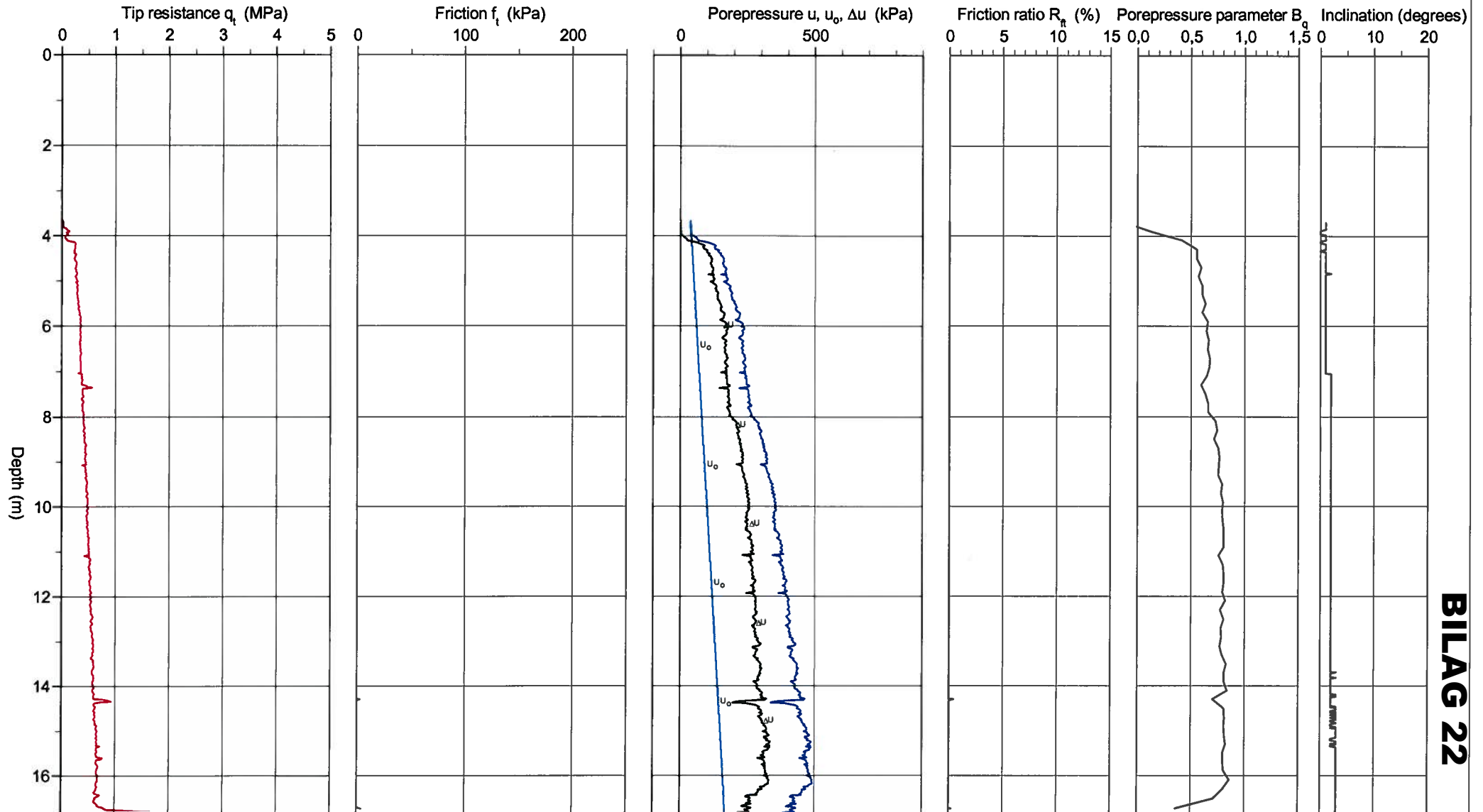
CPT-test performed according to EN ISO 22476-1

Predrilling depth 3,70 m
 Start depth 3,70 m
 Stop depth 16,84 m
 Ground water level 0,00 m

Reference Vannoverflate
 Level at reference -0,60 m
 Predrilled material
 Geometry Normal

Fluid in filter Gelatin
 Coordinats -3.30 (Sjøbunn)
 Equipment Memocone MKII C1 3
 Cone nr 50456

Project 50394
 Project nr Rv Tverrlandsbrua
 Site 262-1
 Designation 434
 Date 20090515

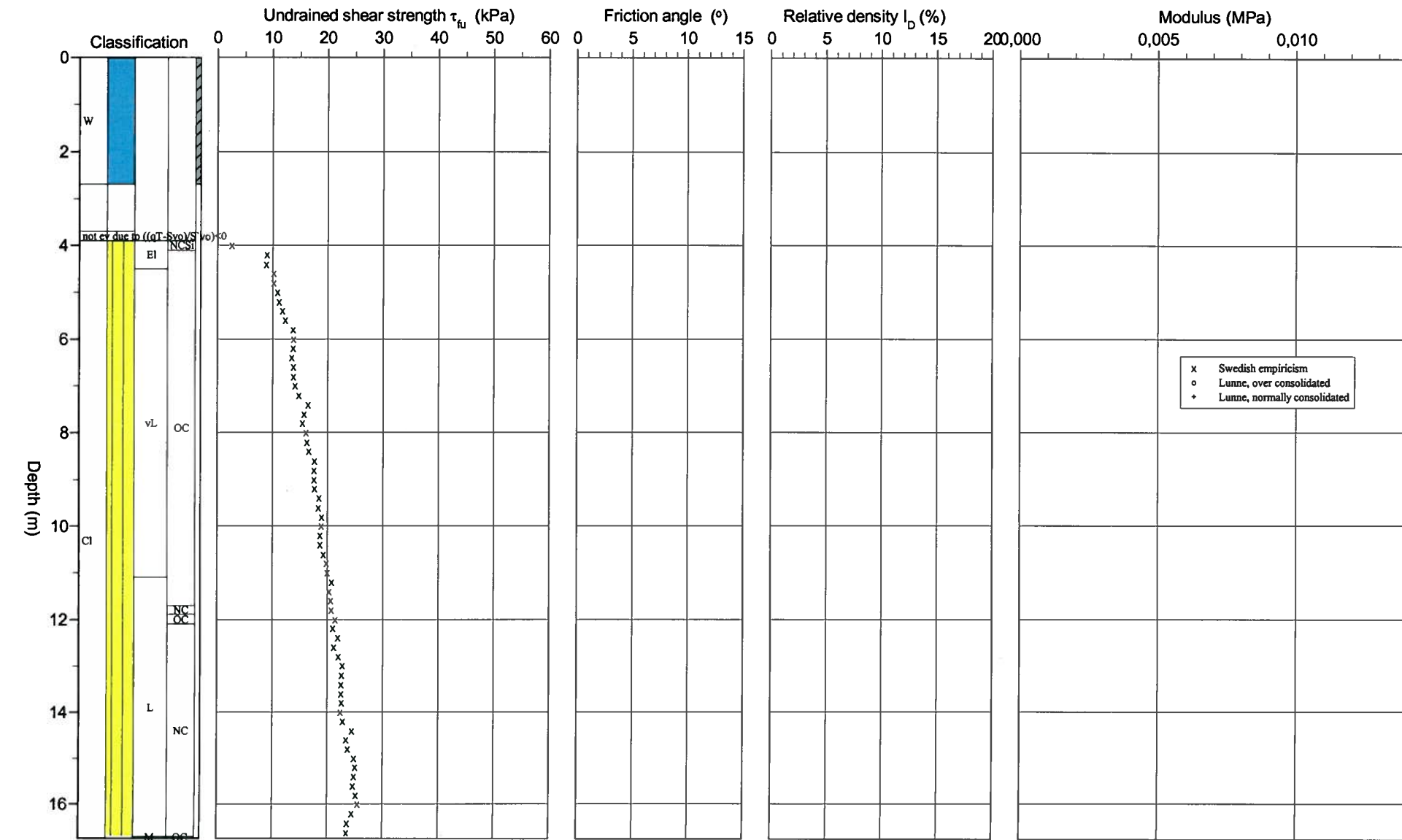


BILAG 22

CPT test evaluated according to SGI Information 15 rev. 2007

Reference	Vannoverflate	Predrilling depth	3,70 m	Evaluator	arisl
Level at reference	-0,60 m	Predrilled material		Evaluation date	20090518
Ground water level	0,00 m	Equipment	Memocone MKII C1 3		
Start depth	3,70 m	Geometry	Normal		

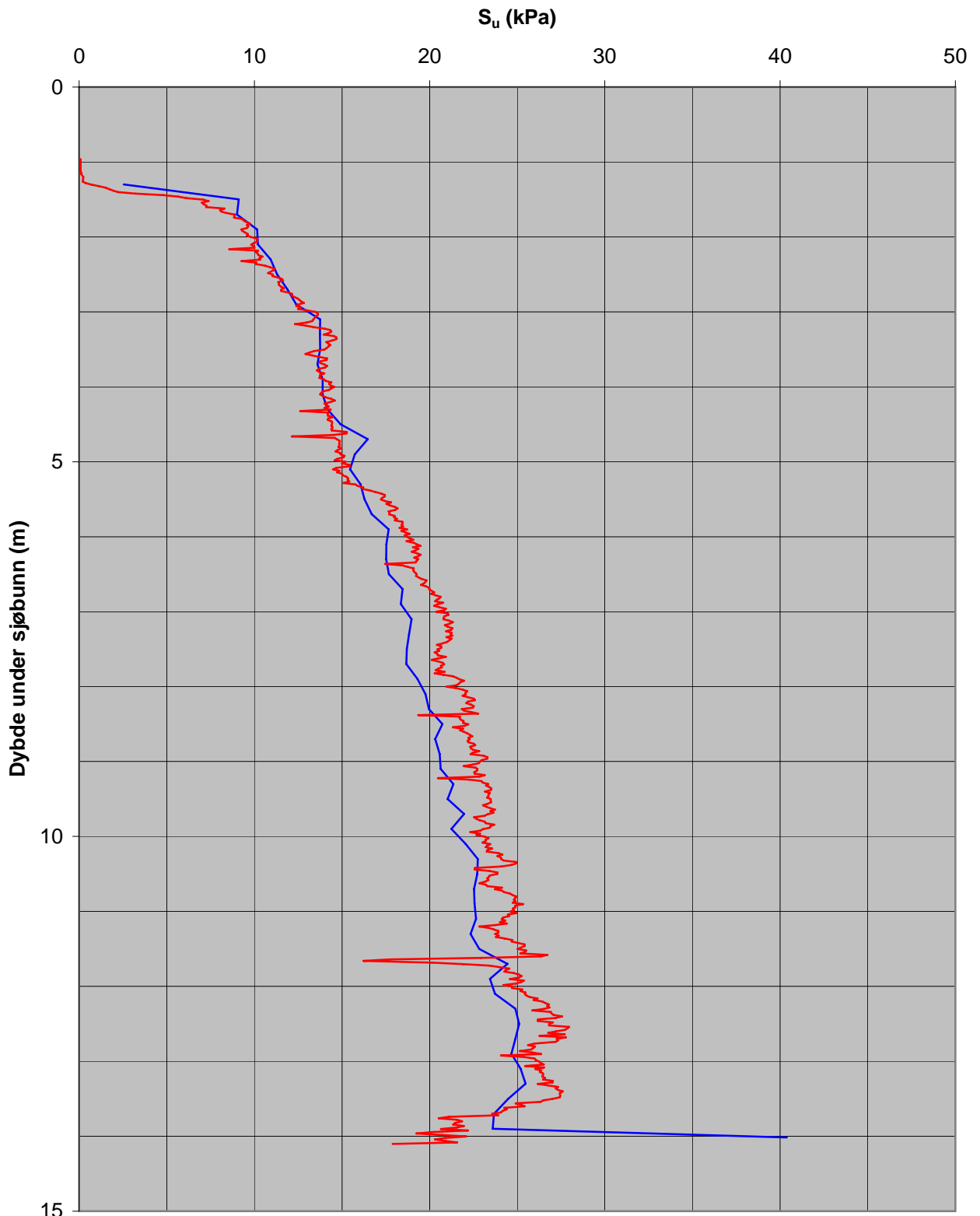
Project	50394
Project nr	Rv Tverrlandsbrua
Site	262-1
Designation	434
Date	20090515



50394

Hull nr. 262-1

Beregnet s_u fra trykksondering (CPTU)



Bæreevnefaktor $N_{\Delta u}$ 12

— CPTU H262-1 - Spissmotstand — CPTU H262-1 - Poreovertrykk

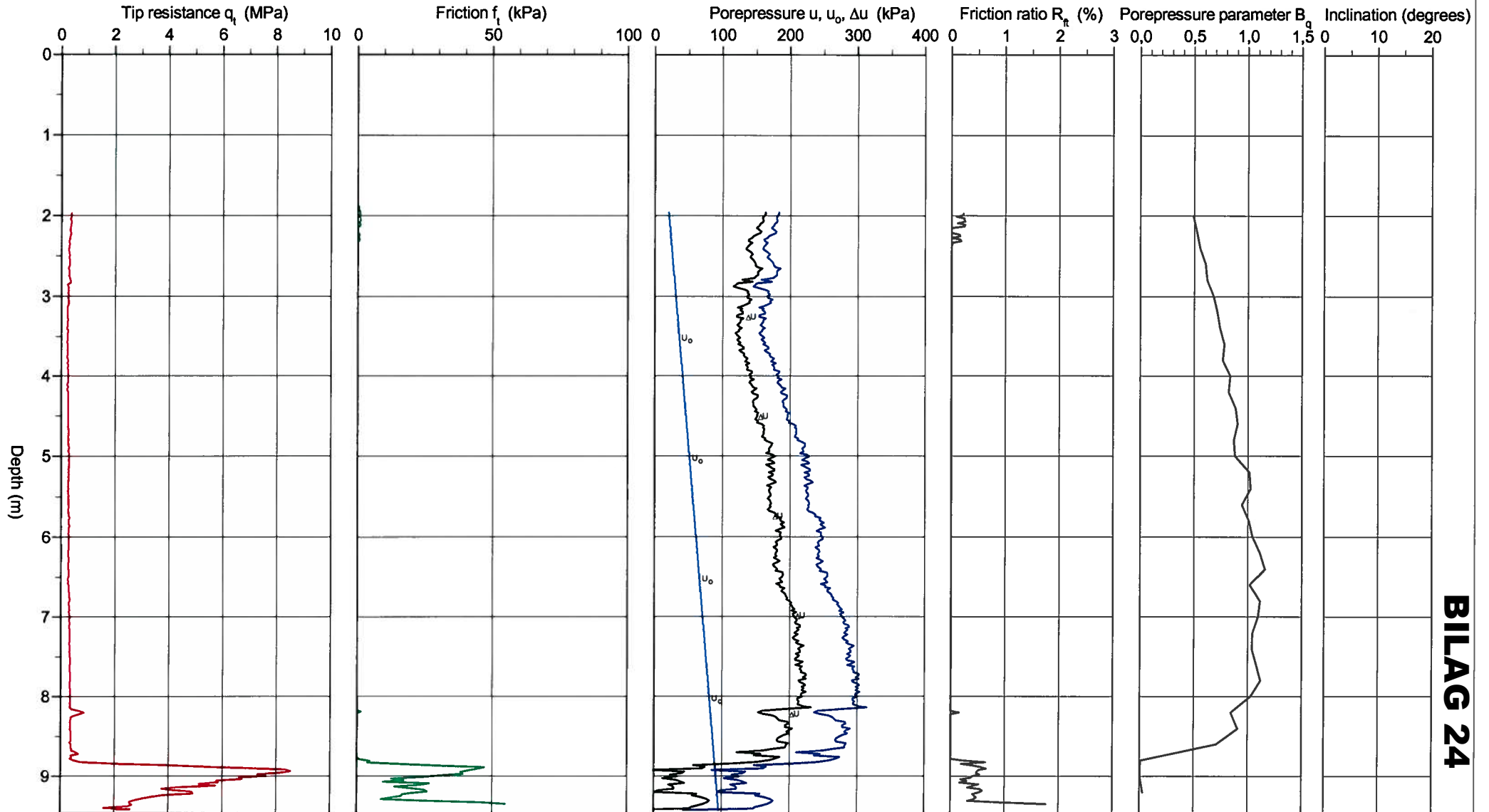
CPT-test performed according to EN ISO 22476-1

Predrilling depth 2,00 m
 Start depth 2,00 m
 Stop depth 9,46 m
 Ground water level 0,00 m

Reference Terreng
 Level at reference 2,37 m
 Predrilled material
 Geometry Normal

Fluid in filter Gelatin
 Coordinats
 Equipment Memocone MKII class 3
 Cone nr 60258

Project Rv80 Åsen- Vikan
 Project nr W965A
 Site 2C
 Designation 3289
 Date 20030211

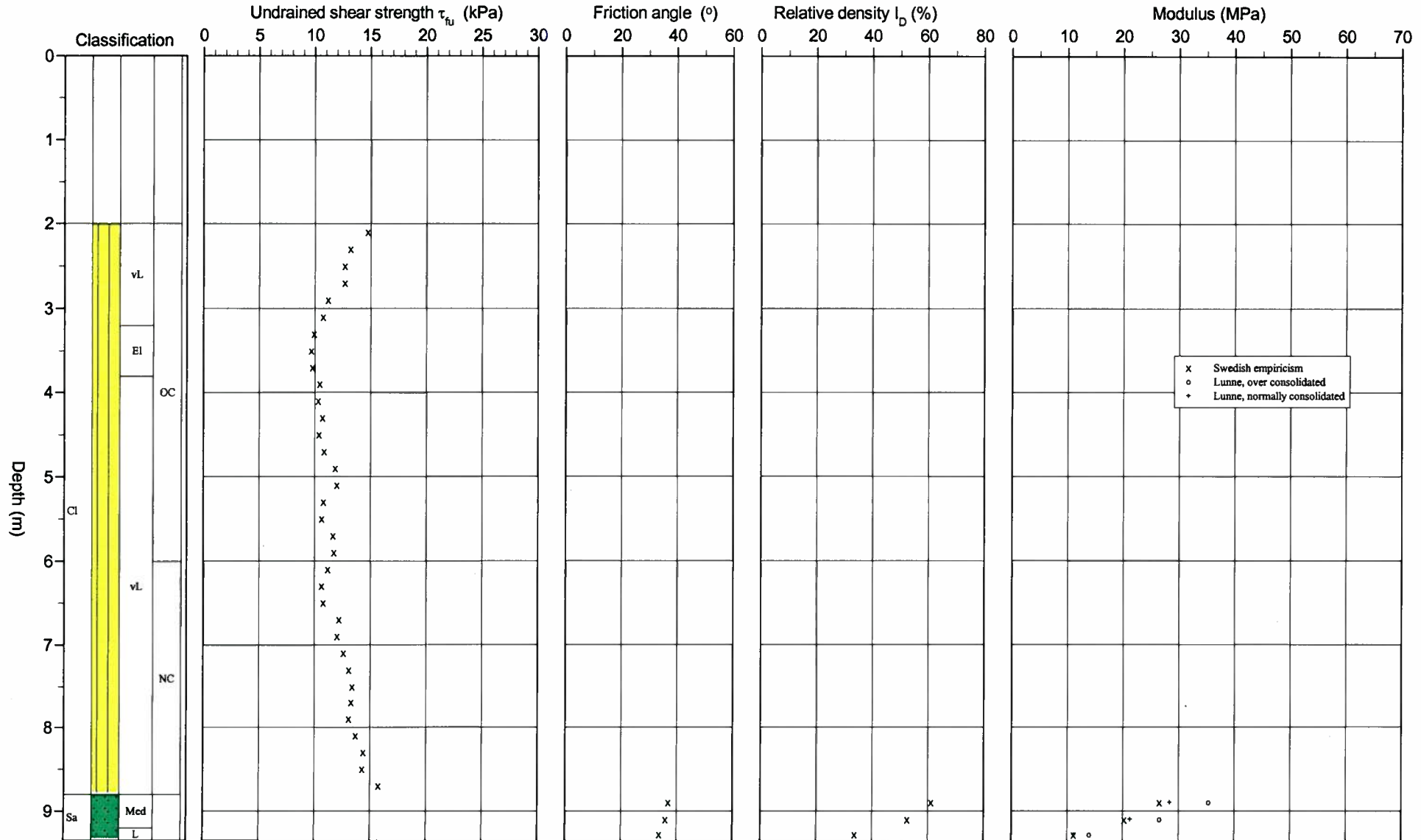


BILAG 24

CPT test evaluated according to SGI Information 15 rev. 2007

Reference	Terreng	Predrilling depth	2,00 m	Evaluator	
Level at reference	2,37 m	Predrilled material		Evaluation date	
Ground water level	0,00 m	Equipment	Memocone MKII class 3		
Start depth	2,00 m	Geometry	Normal		

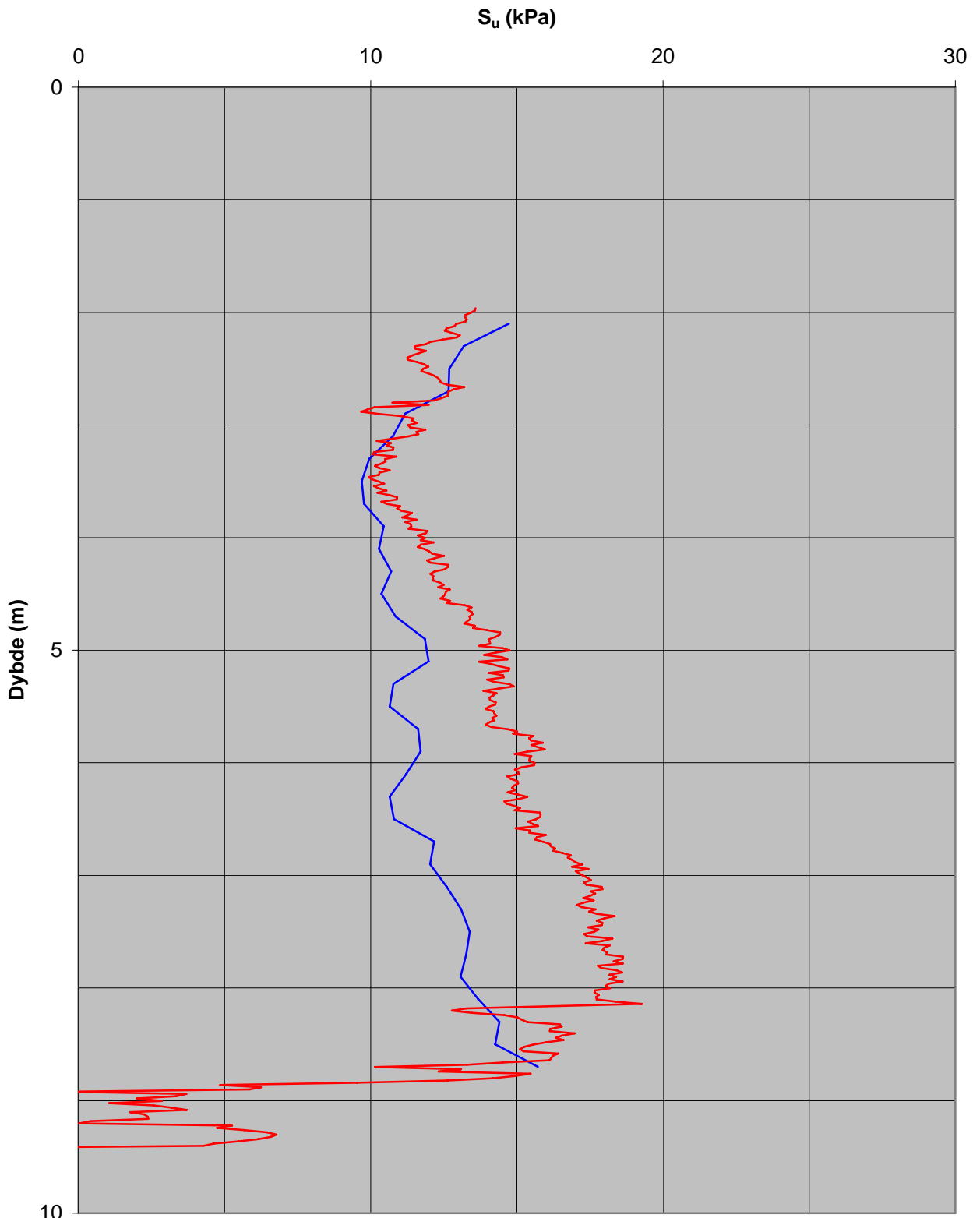
Project	Rv80 Åsen- Vikan
Project nr	W965A
Site	2C
Designation	3289
Date	20030211



W965A

Hull nr. 2C

Beregnet s_u fra trykksondering (CPTU)



Bæreevnefaktor $N_{\Delta u}$ 12

— CPTU H2C - Spissmotstand — CPTU H2C - Poreovertrykk

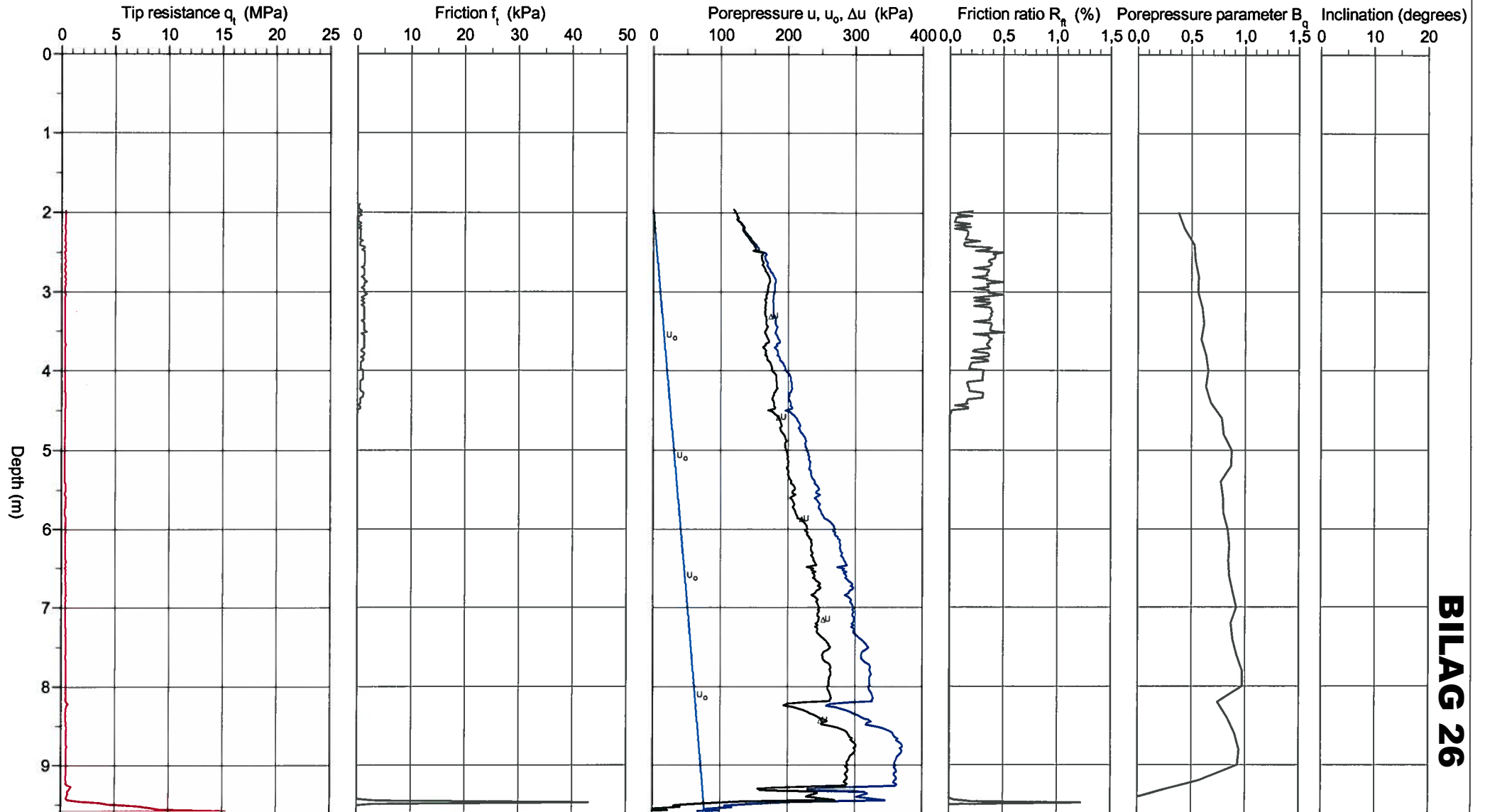
CPT-test performed according to EN ISO 22476-1

Predrilling depth 2,00 m
 Start depth 2,00 m
 Stop depth 9,61 m
 Ground water level 2,00 m

Reference Terreng
 Level at reference 8,02 m
 Predrilled material
 Geometry Normal

Fluid in filter Gelatin
 Coordinats
 Equipment Memocone MKII class 3
 Cone nr 60258

Project Rv80 Åsen - Vikan
 Project nr W965A
 Site 3F
 Designation 3276
 Date 20030204

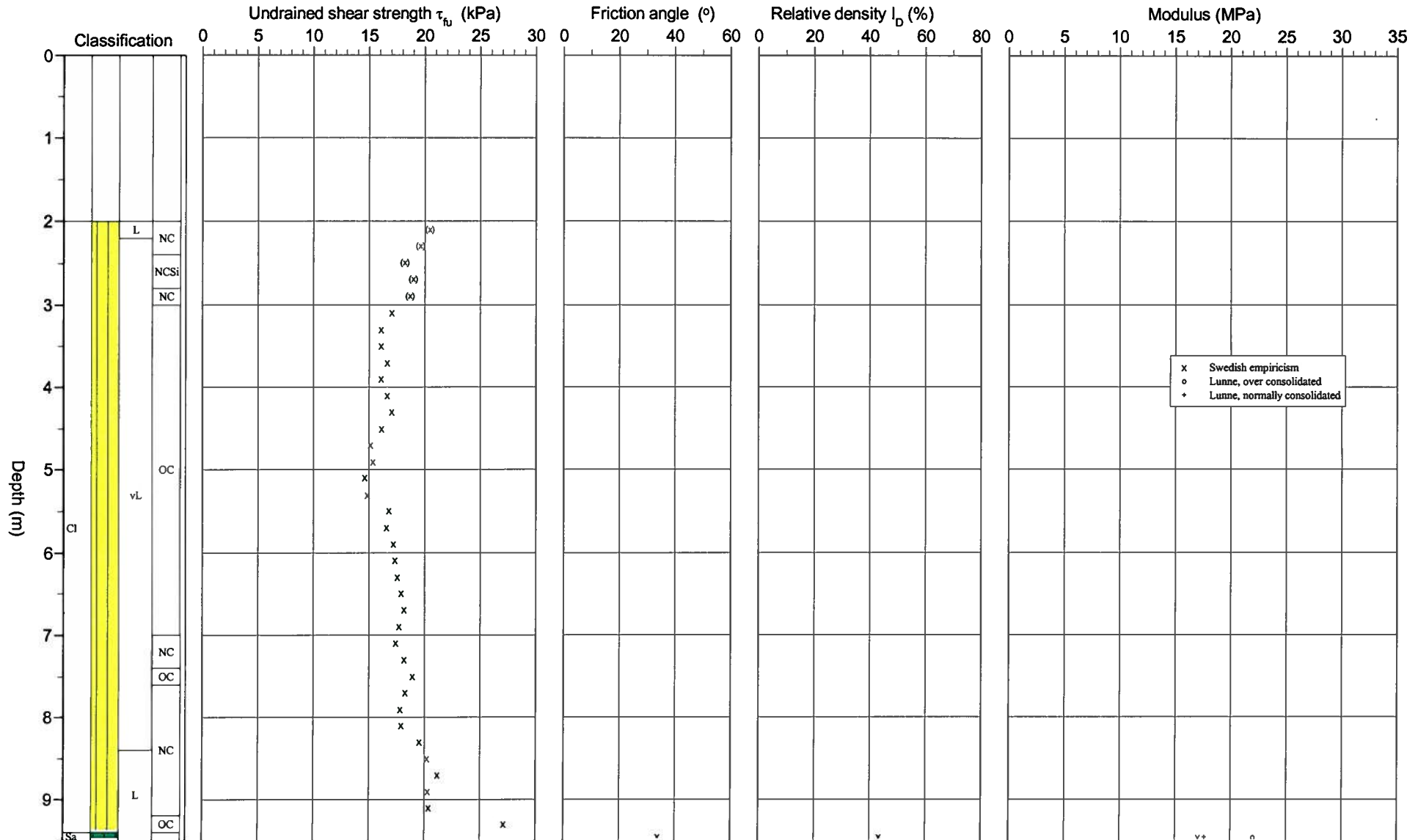


BILAG 26

CPT test evaluated according to SGI Information 15 rev. 2007

Reference	Terreng	Predrilling depth	2,00 m	Evaluator
Level at reference	8,02 m	Predrilled material		Evaluation date
Ground water level	2,00 m	Equipment	Memocone MKII class 3	
Start depth	2,00 m	Geometry	Normal	

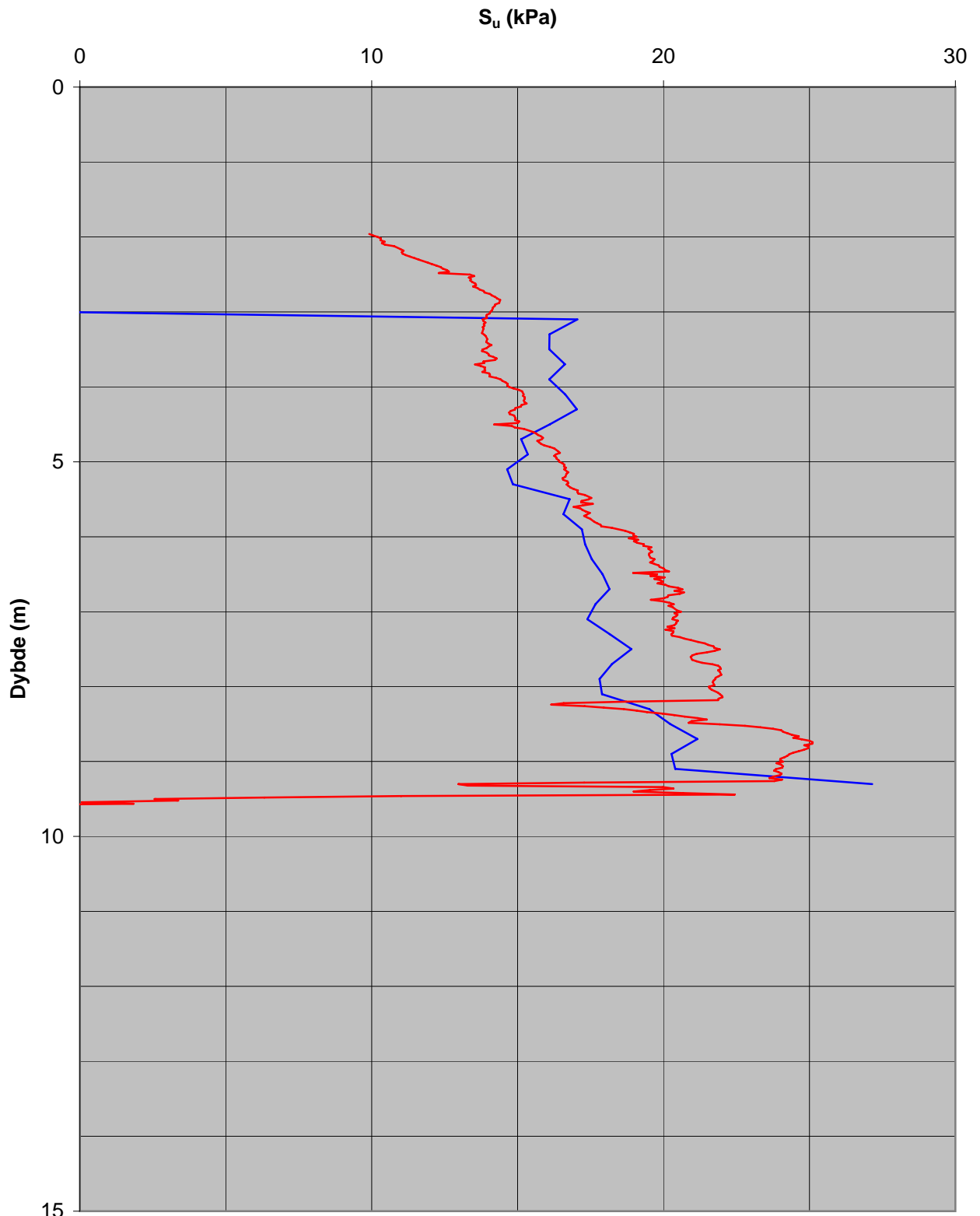
Project	Rv80 Åsen - Vikan
Project nr	W965A
Site	3F
Designation	3276
Date	20030204



W965A

Hull nr. 3F

Beregnet s_u fra trykksondering (CPTU)



Bæreevnefaktor $N_{\Delta u}$ 12

— CPTU H3F - Spissmotstand — CPTU H3F - Poreovertrykk

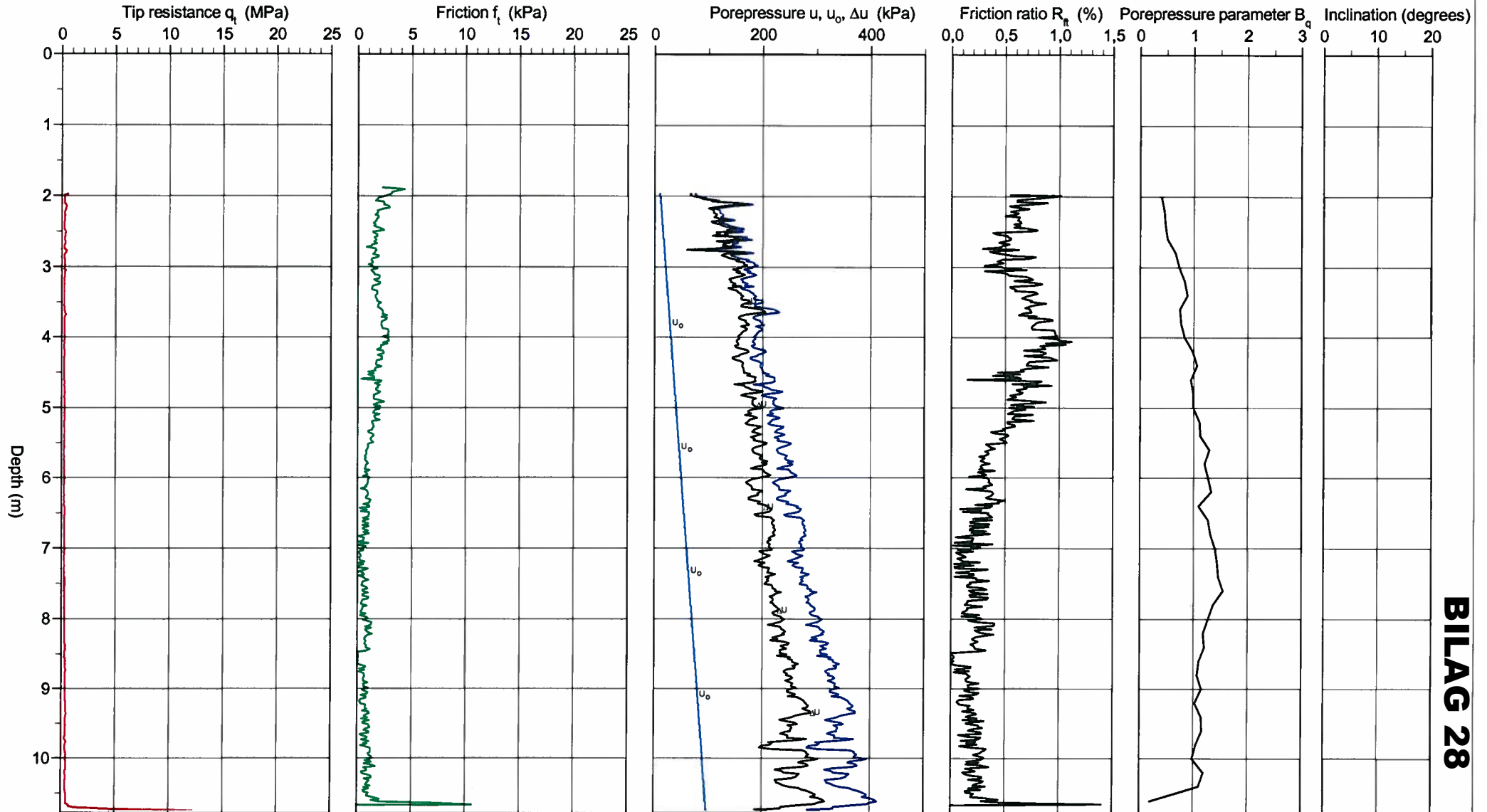
CPT-test performed according to EN ISO 22476-1

Predrilling depth 2,00 m
 Start depth 2,00 m
 Stop depth 10,77 m
 Ground water level 1,00 m

Reference Terreng
 Level at reference 10,62 m
 Predrilled material
 Geometry Normal

Fluid in filter Gelatin
 Coordinats
 Equipment Memocone MKII class 3
 Cone nr 60258

Project Rv80 Åsen - Vikan
 Project nr W965A
 Site 5B
 Designation 3287
 Date 20030211

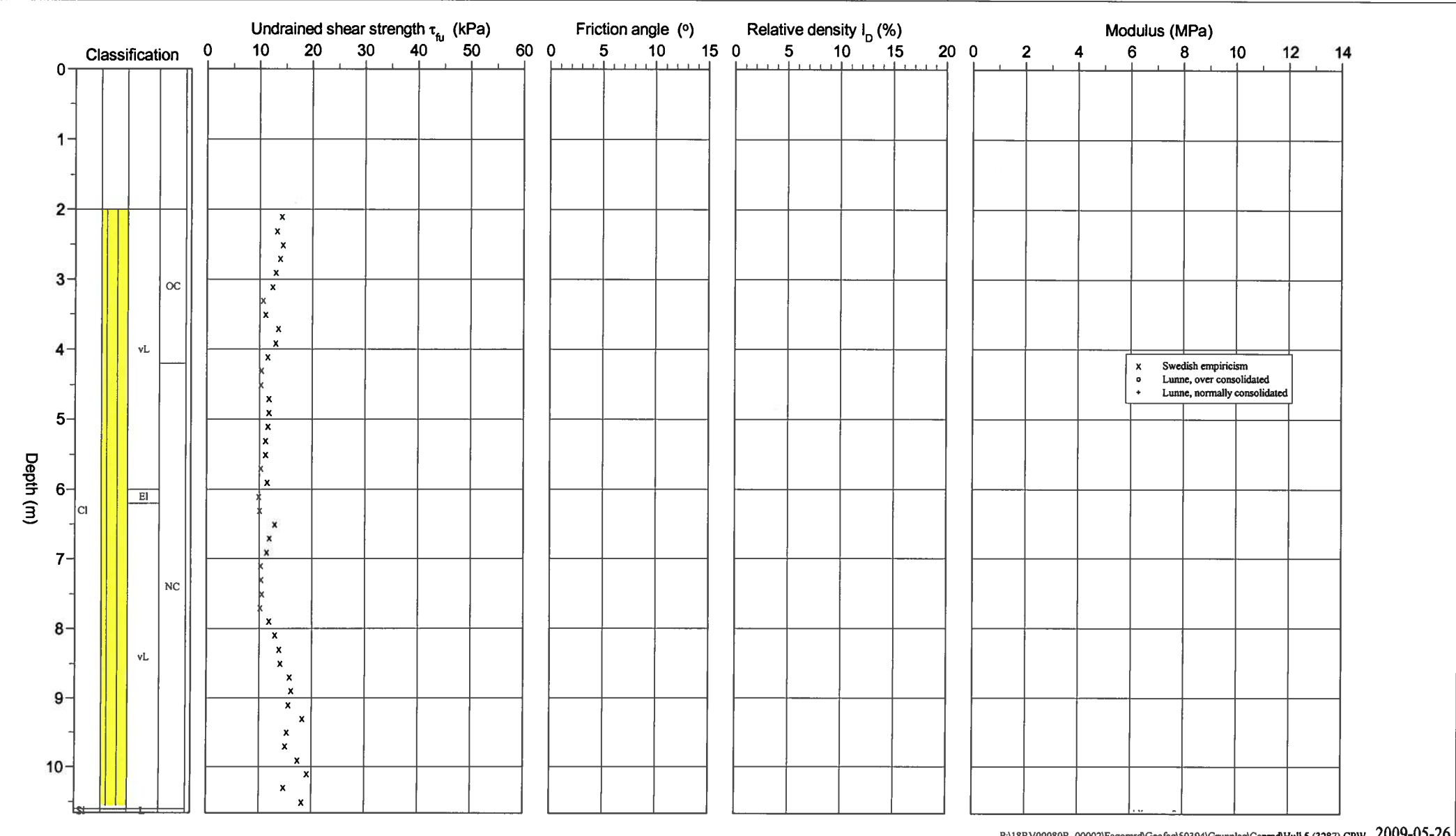


BILAG 28

CPT test evaluated according to SGI Information 15 rev. 2007

Reference	Terreng	Predrilling depth	2,00 m	Evaluator
Level at reference	10,62 m	Predrilled material		Evaluation date
Ground water level	1,00 m	Equipment	Memocone MKII class 3	
Start depth	2,00 m	Geometry	Normal	

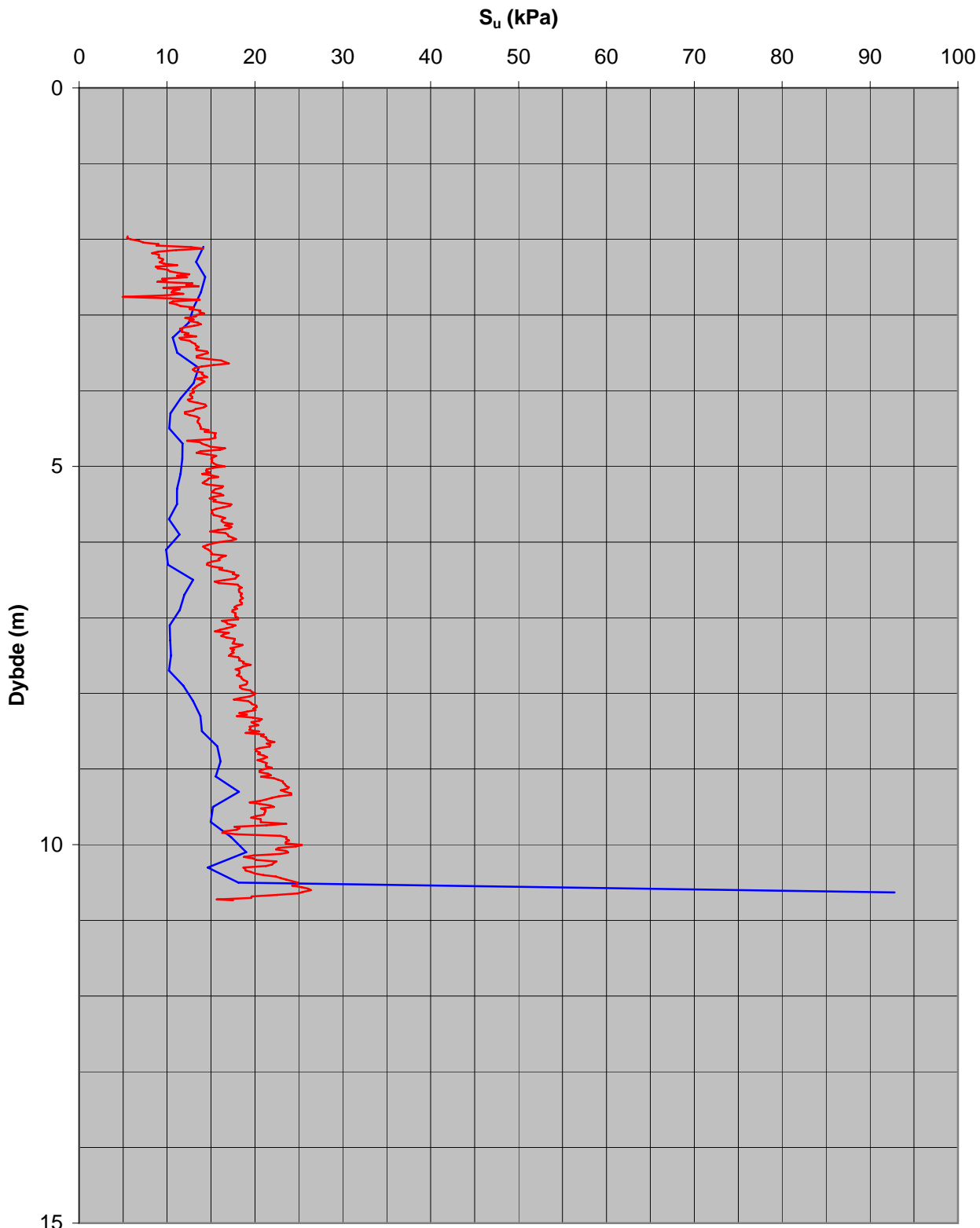
Project	Rv80 Åsen - Vikan
Project nr	W965A
Site	5B
Designation	3287
Date	20030211



W965A

Hull nr. 5B

Beregnet s_u fra trykksondering (CPTU)



Bæreevnefaktor $N_{\Delta u}$ 12

— CPTU H5B - Spissmotstand — CPTU H5B - Poreovertrykk

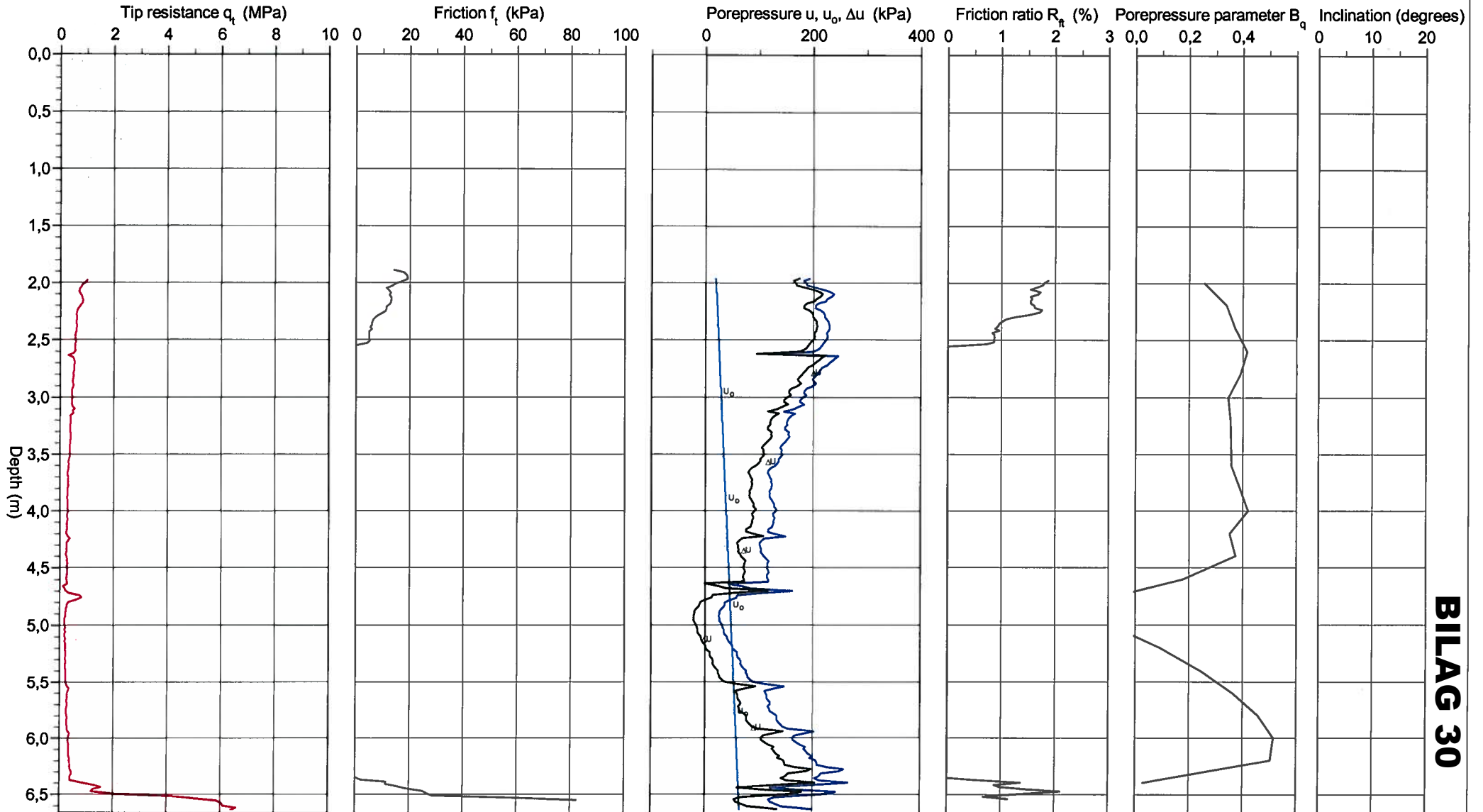
CPT-test performed according to EN ISO 22476-1

Predrilling depth 2,00 m
 Start depth 2,00 m
 Stop depth 6,66 m
 Ground water level 0,00 m

Reference Terreng
 Level at reference 5,65 m
 Predrilled material
 Geometry Normal

Fluid in filter Gelatin
 Coordinats
 Equipment Memocone MKII class 3
 Cone nr 60258

Project Rv80 Åsen - Vikan
 Project nr W965A
 Site 8D
 Designation 3291
 Date 20030211

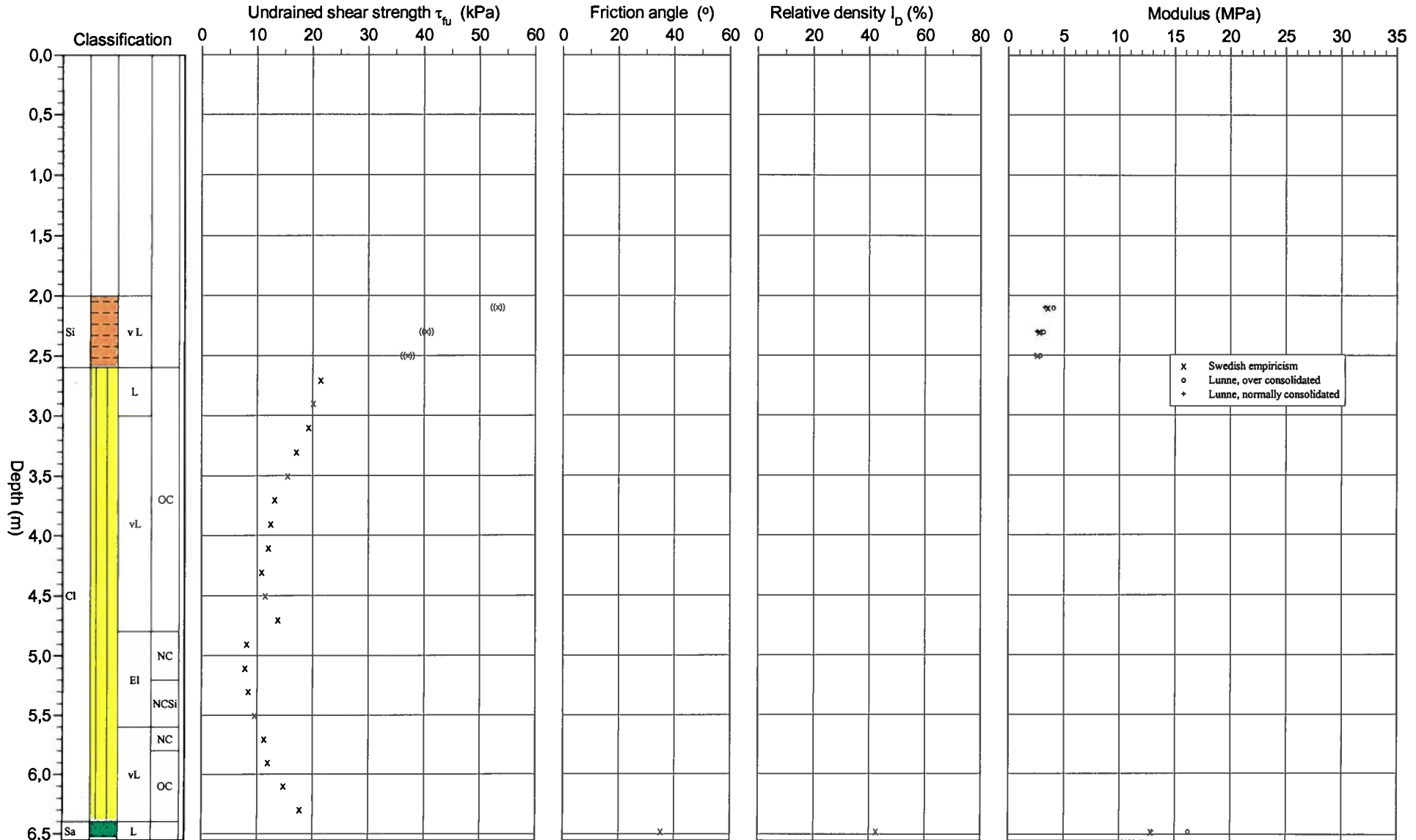


BILAG 30

CPT test evaluated according to SGI Information 15 rev. 2007

Reference	Terreng	Predrilling depth	2,00 m	Evaluator
Level at reference	5,65 m	Predrilled material		Evaluation date
Ground water level	0,00 m	Equipment	Memocone MKII class 3	
Start depth	2,00 m	Geometry	Normal	

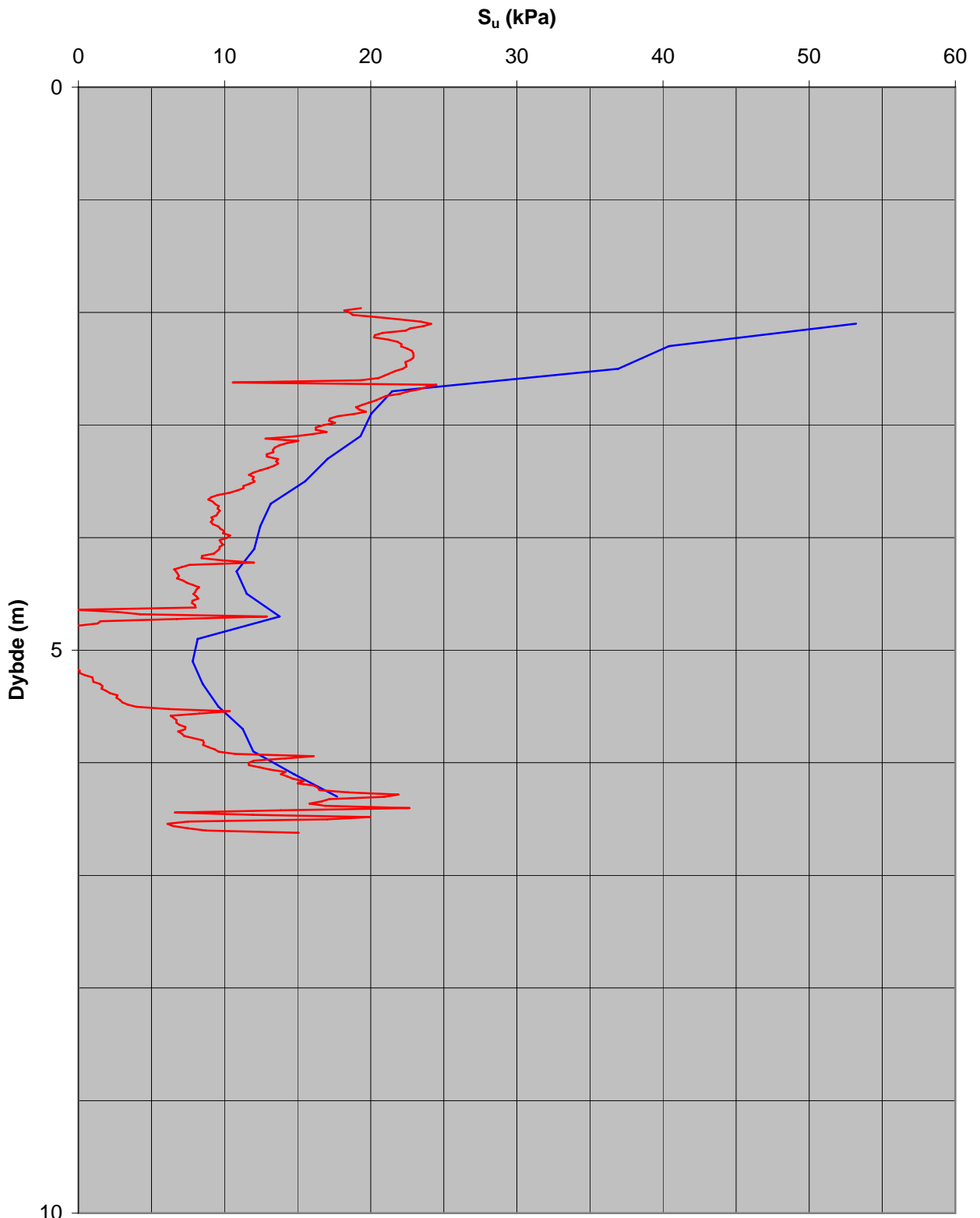
Project	Rv80 Åsen - Vikan
Project nr	W965A
Site	8D
Designation	3291
Date	20030211



W965A

Hull nr. 8D

Beregnet s_u fra trykksondering (CPTU)



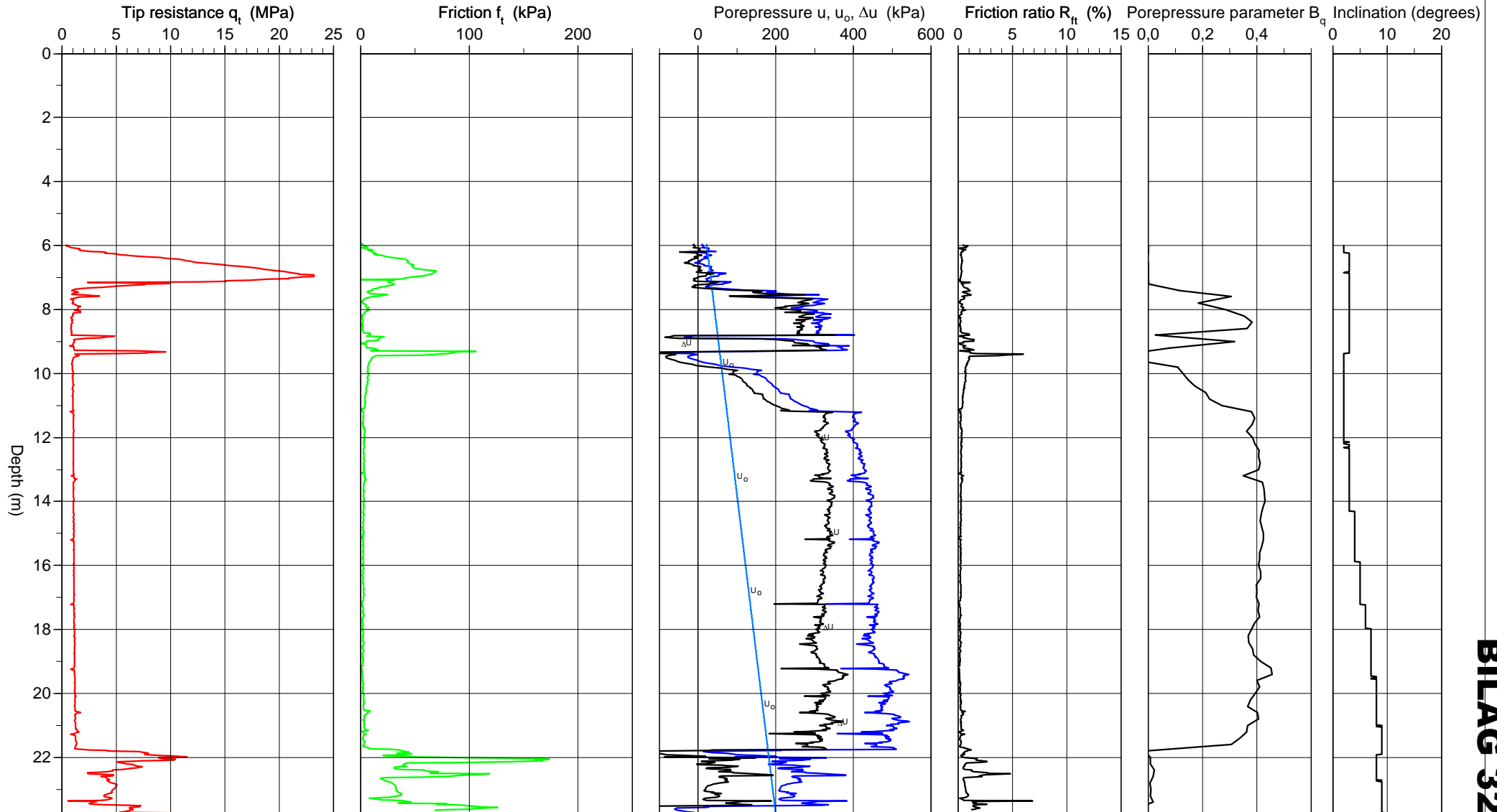
Bæreevnefaktor $N_{\Delta u}$ 9

— CPTU H8D - Spissmotstand — CPTU H8D - Poreovertrykk

CPT-test performed according to EN ISO 22476-1

Predrilling depth	6,00 m	Reference	Terreng	Fluid in filter	Gelatin
Start depth	6,00 m	Level at reference	3,81 m	Coordinats	
Stop depth	23,76 m	Predrilled material		Equipment	Memocone MKII Cl 3
Ground water level	3,80 m	Geometry	Normal	Cone nr	60258

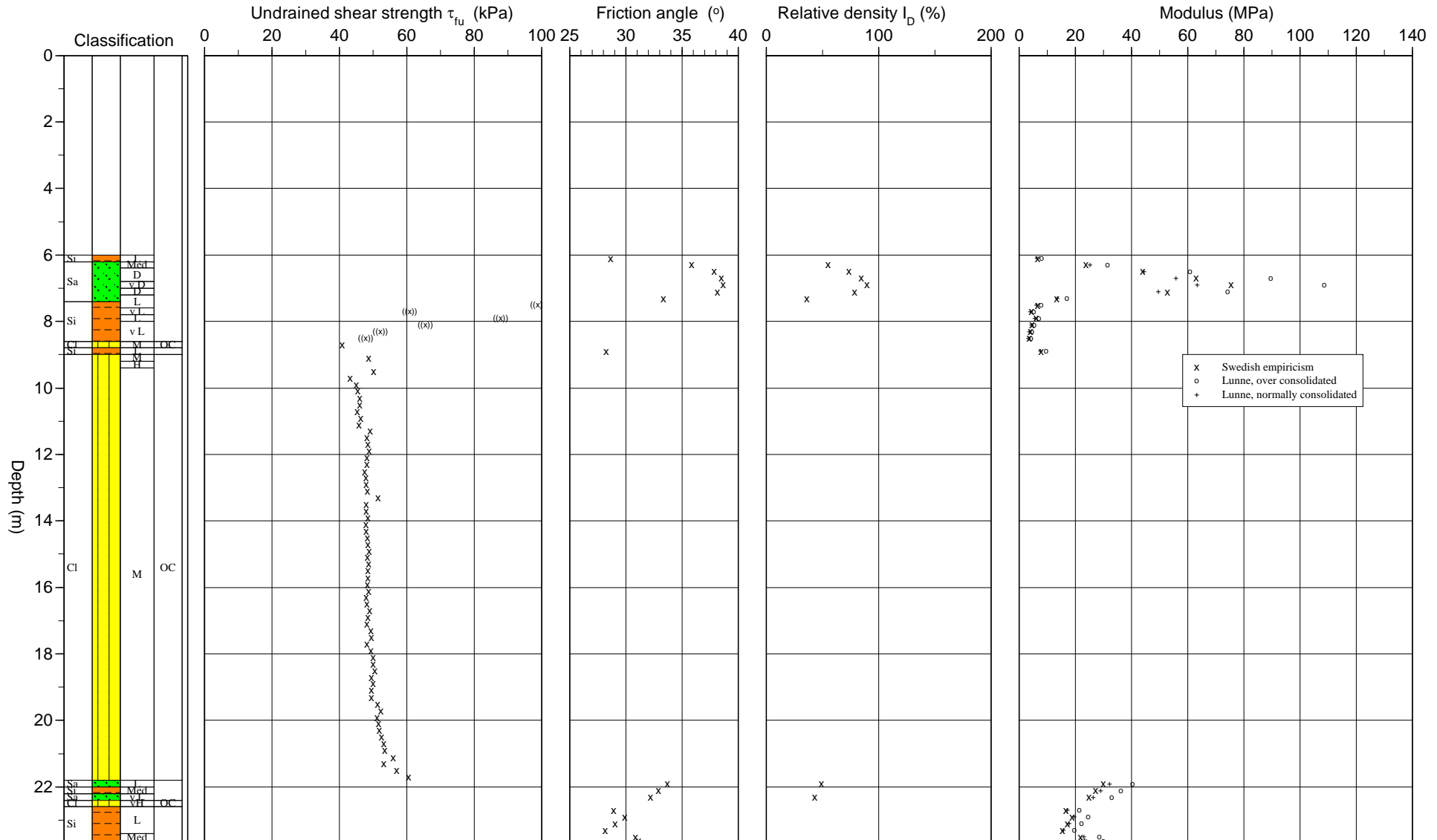
Project	Rv80 Løding - Vikan
Project nr	50513
Site	308
Designation	904
Date	20100301



CPT test evaluated according to SGI Information 15 rev. 2007

Reference	Terreng	Predrilling depth	6,00 m	Evaluator	arisl
Level at reference	3,81 m	Predrilled material		Evaluation date	
Ground water level	3,80 m	Equipment	Memocone MKII CI 3		
Start depth	6,00 m	Geometry	Normal		

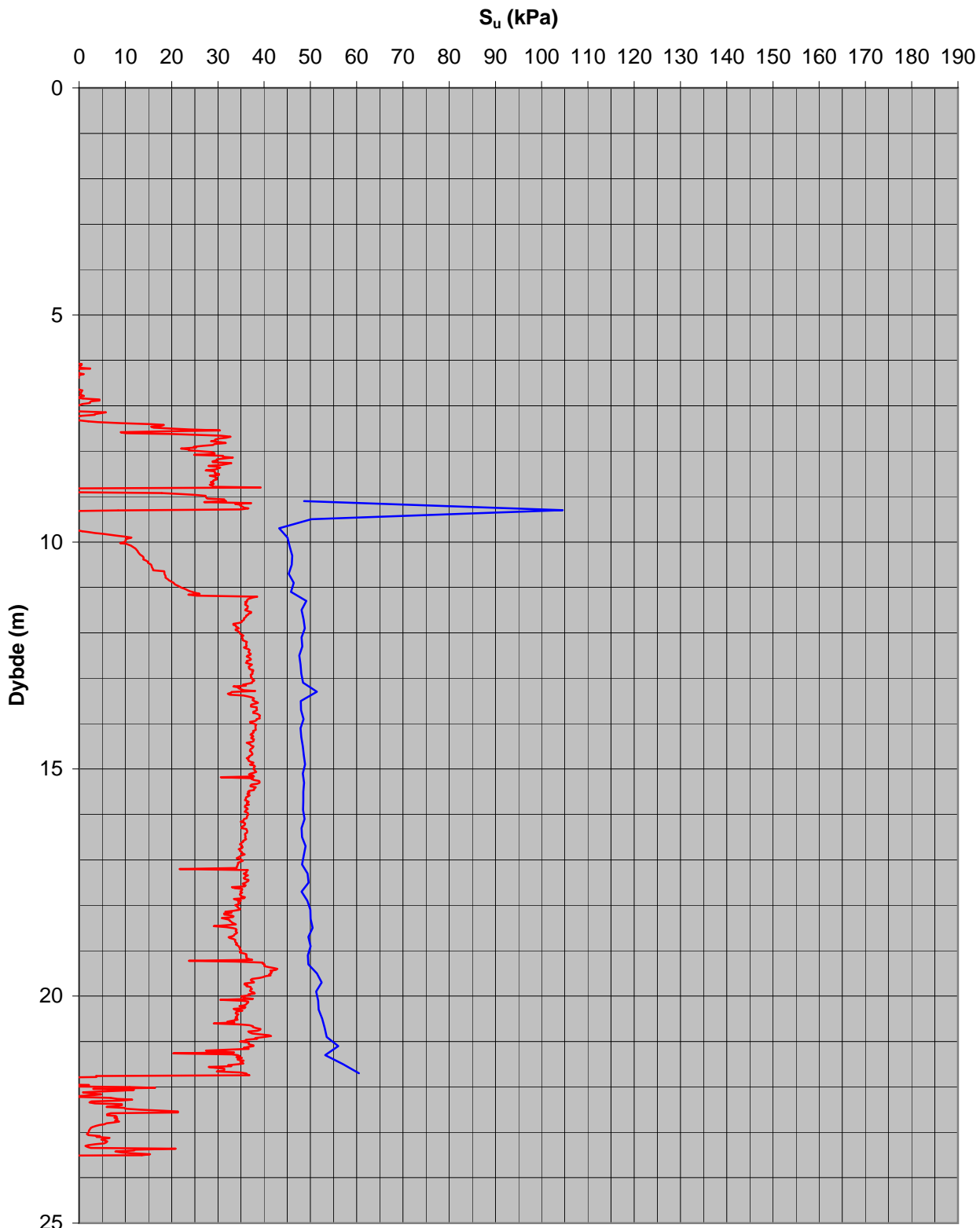
Project	Rv80 Løding - Vikan
Project nr	50513
Site	308
Designation	904
Date	20100301



50513

Hull nr. 308

Beregnet s_u fra trykksondering (CPTU)

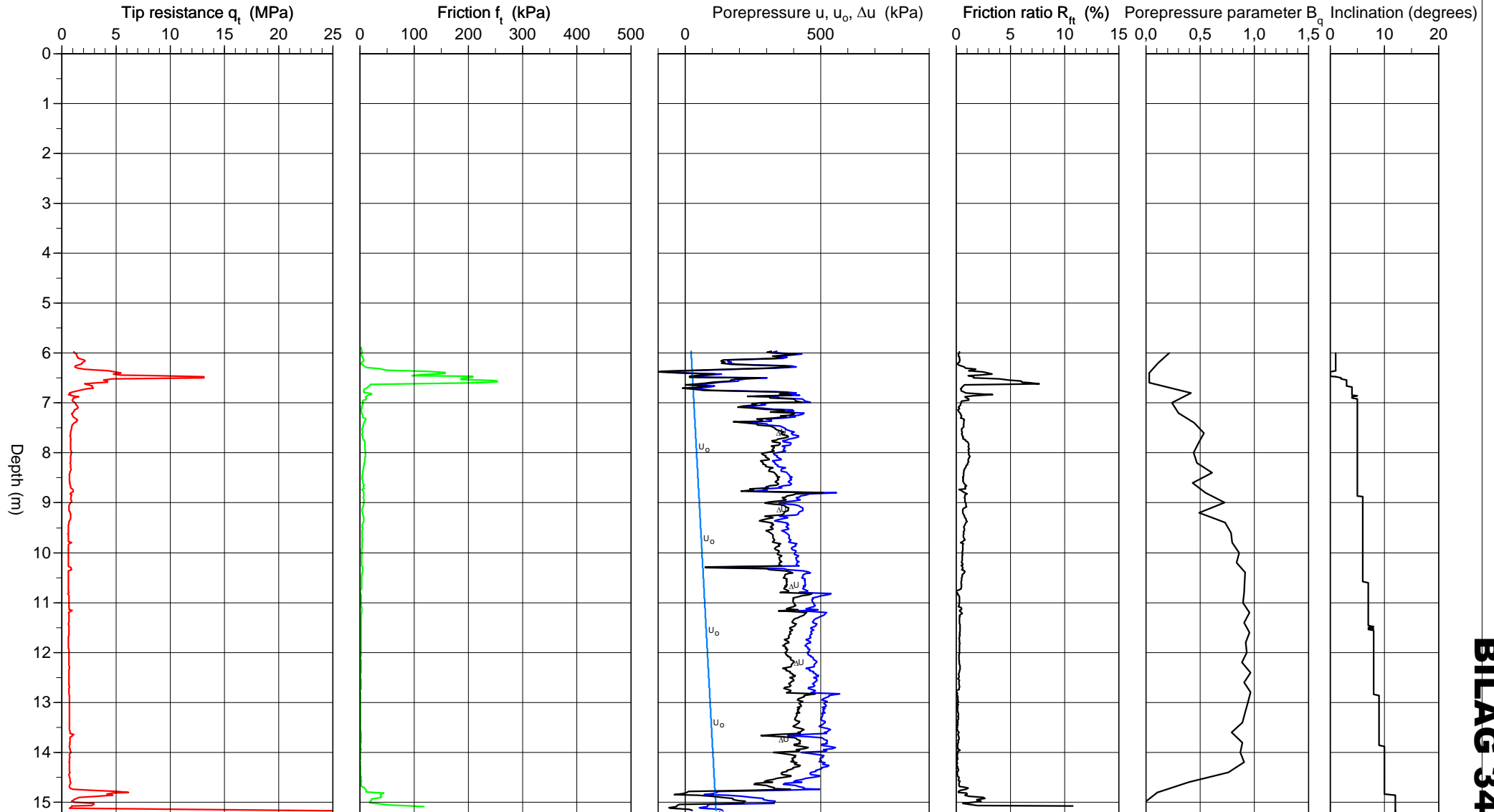


— CPTU H308 - Spissmotstand — CPTU H308 - Poreovertrykk

CPT-test performed according to EN ISO 22476-1

Predrilling depth	6,00 m	Reference	Terreng	Fluid in filter	Gelatin
Start depth	6,00 m	Level at reference	3,80 m	Coordinats	
Stop depth	15,20 m	Predrilled material		Equipment	Memocone MKII CI 3
Ground water level	3,80 m	Geometry	Normal	Cone nr	60258

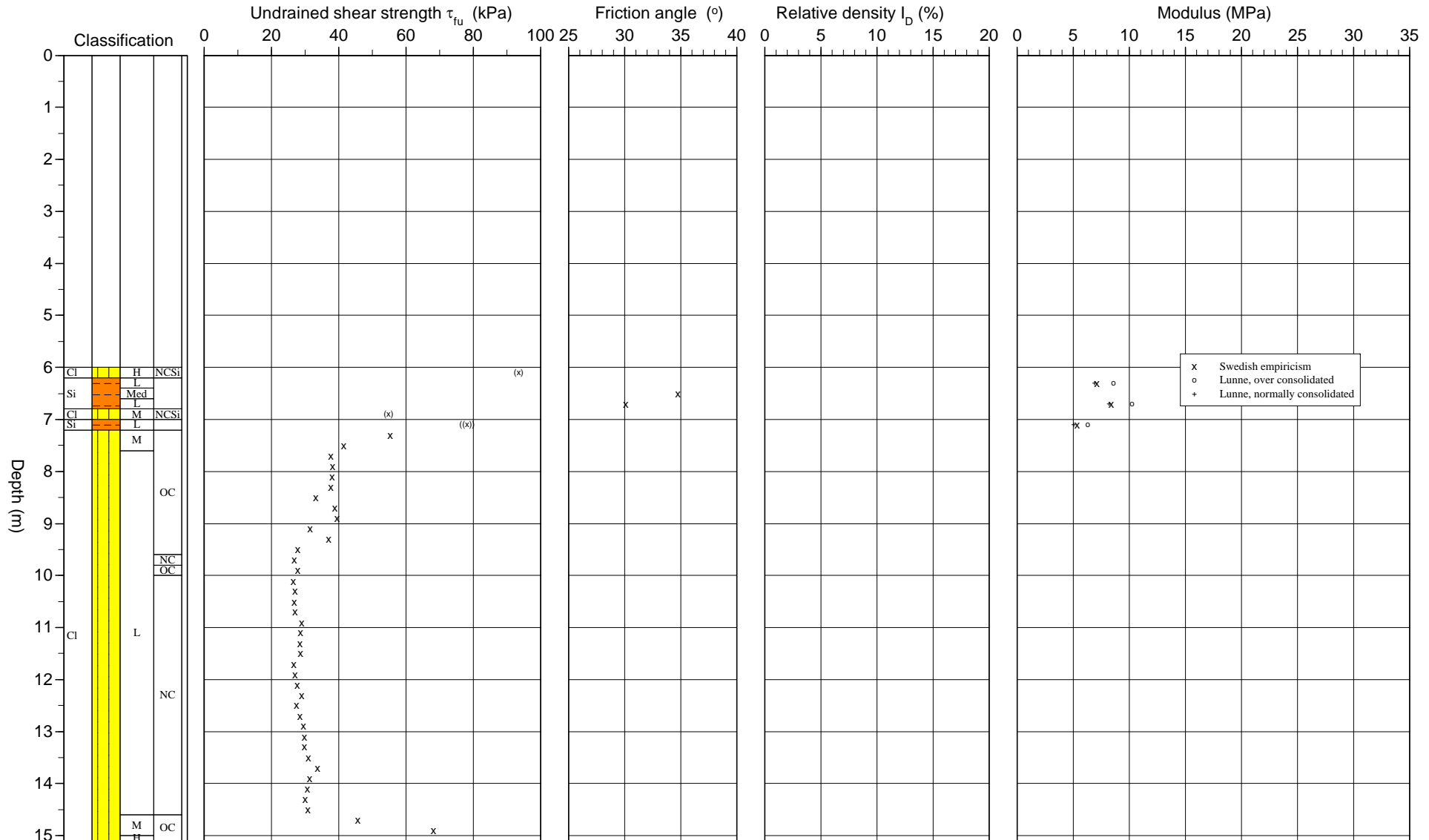
Project	Rv80 Løding - Vikan
Project nr	50513
Site	310
Designation	905
Date	20100301



CPT test evaluated according to SGI Information 15 rev. 2007

Reference Terreng Predrilling depth 6,00 m Evaluator arisl
 Level at reference 3,80 m Predrilled material Evaluation date
 Ground water level 3,80 m Equipment Memocone MKII Cl 3
 Start depth 6,00 m Geometry Normal

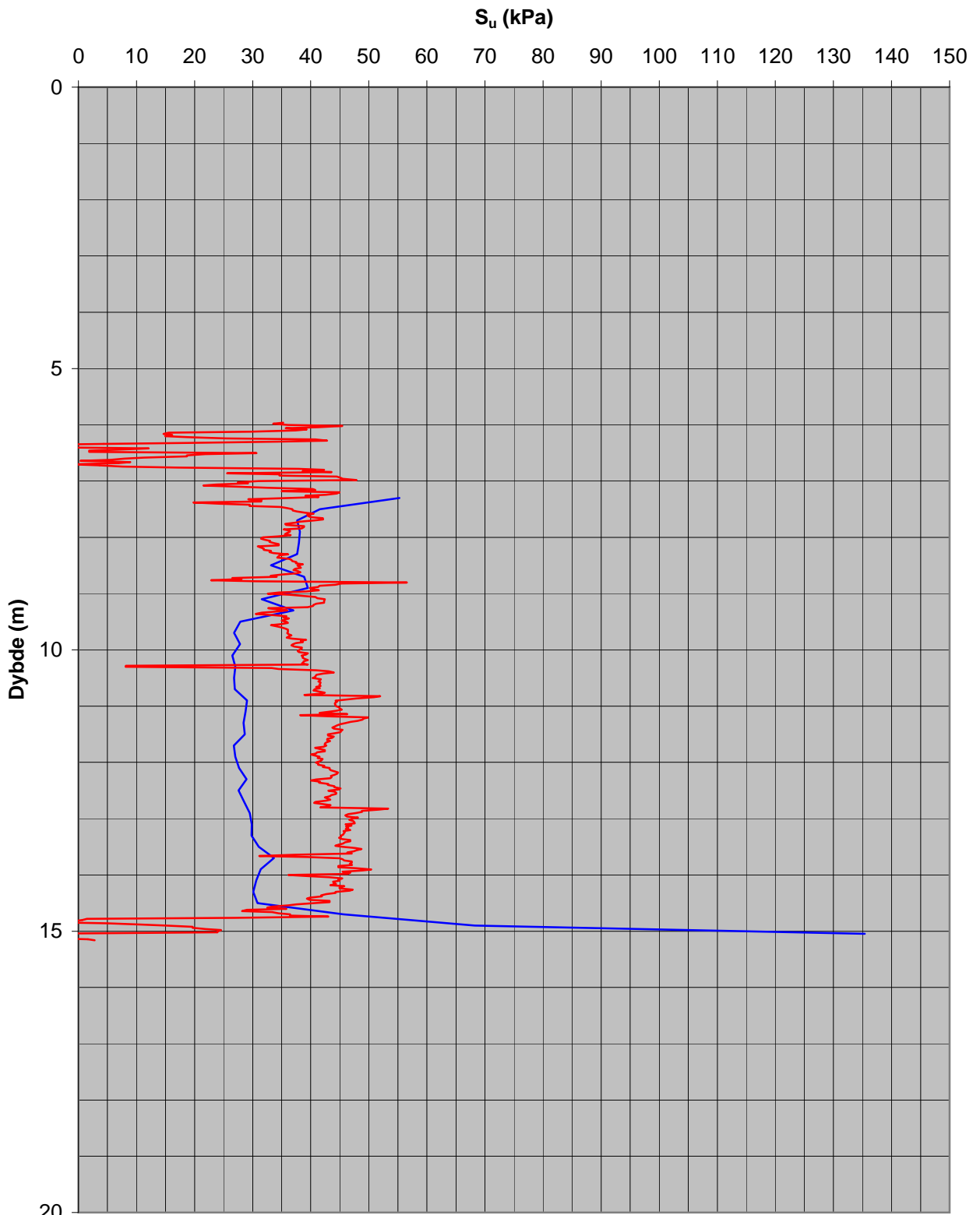
Project Rv80 Løding - Vikan
 Project nr 50513
 Site 310
 Designation 905
 Date 20100301



50513

Hull nr. 310

Beregnet s_u fra trykksondering (CPTU)



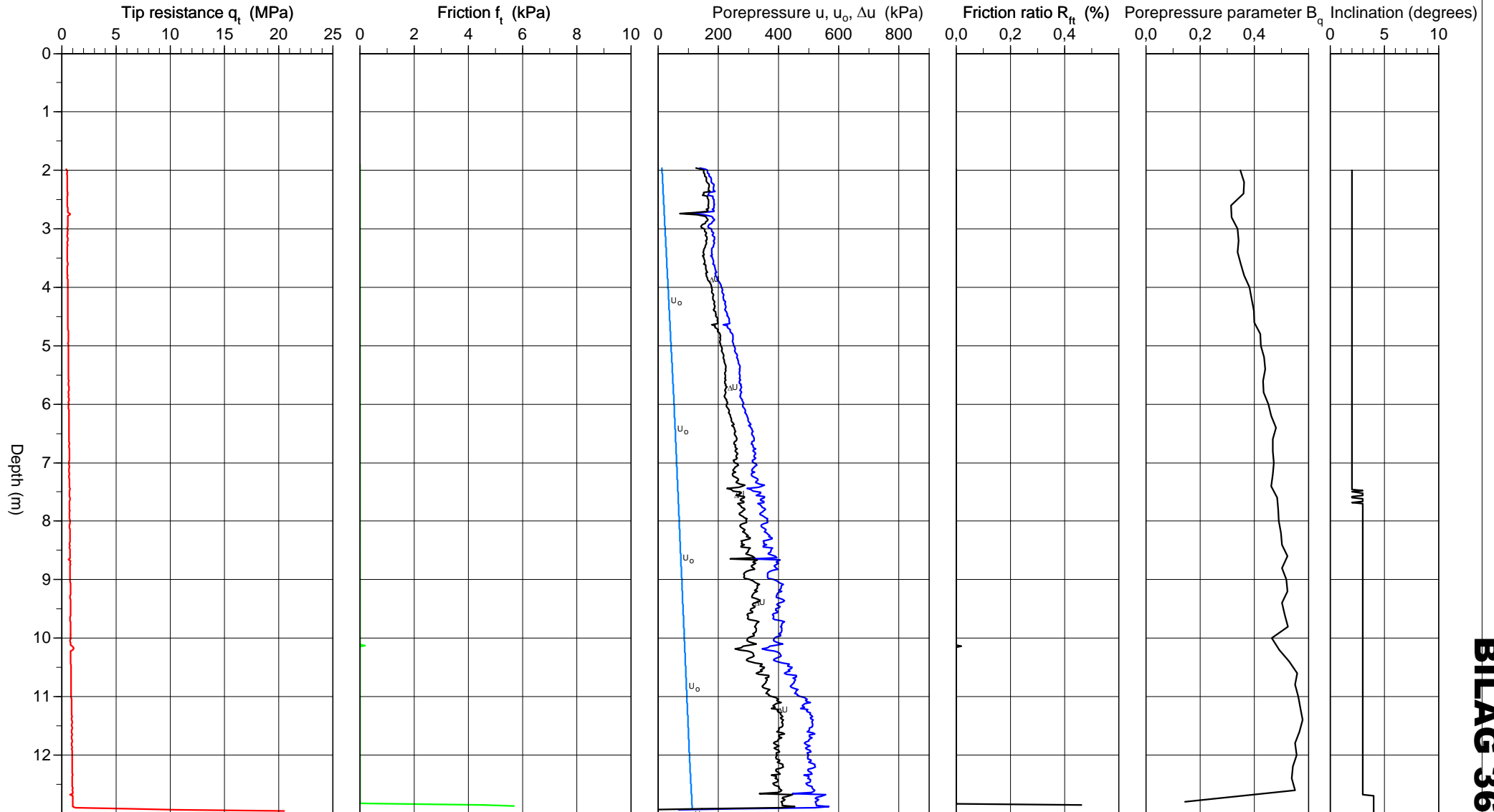
Bæreevnefaktor $N_{\Delta u}$ 9

— CPTU H310 - Spissmotstand — CPTU H310 - Poreovertrykk

CPT-test performed according to EN ISO 22476-1

Predrilling depth	2,00 m	Reference	Terreng	Fluid in filter	Gelatin
Start depth	2,00 m	Level at reference	7,72 m	Coordinats	
Stop depth	12,98 m	Predrilled material		Equipment	Memocone MKII Cl 3
Ground water level	0,70 m	Geometry	Normal	Cone nr	60258

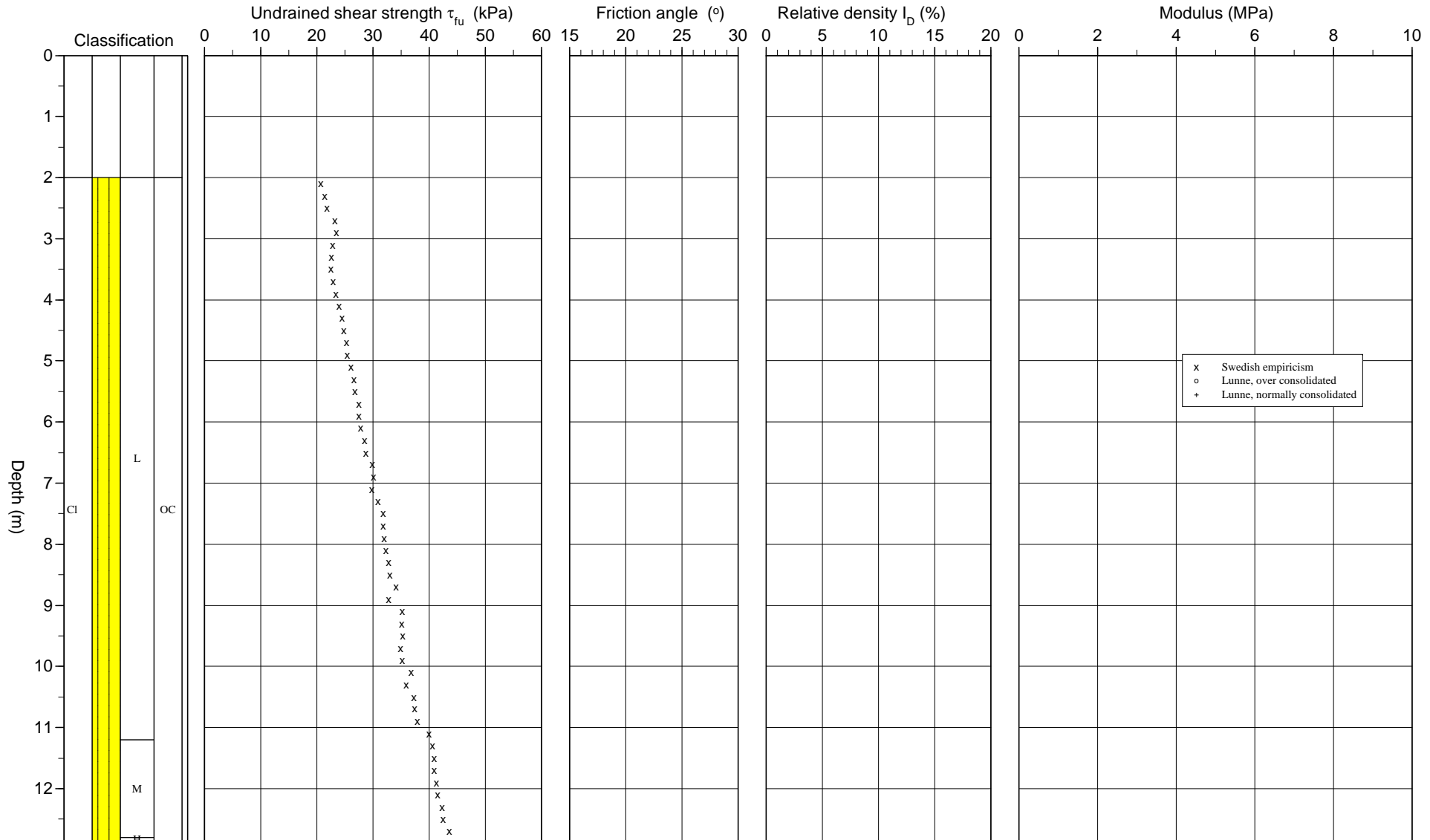
Project	RV80 Løding - Vikan
Project nr	50513
Site	318
Designation	901
Date	20100226



CPT test evaluated according to SGI Information 15 rev. 2007

Reference	Terreng	Predrilling depth	2,00 m	Evaluator	arisl
Level at reference	7,72 m	Predrilled material		Evaluation date	
Ground water level	0,70 m	Equipment	Memocone MKII Cl 3		
Start depth	2,00 m	Geometry	Normal		

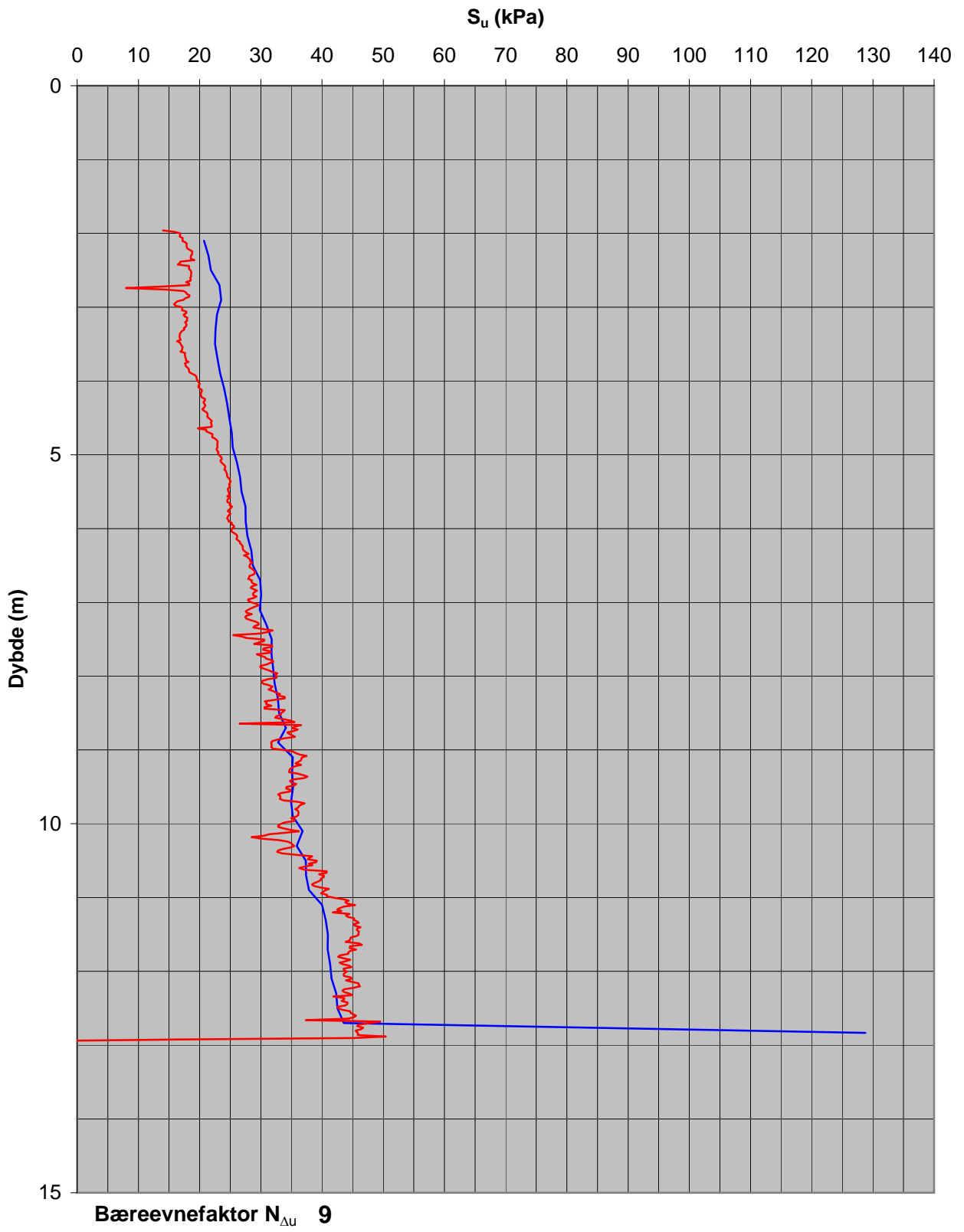
Project	RV80 Løding - Vikan
Project nr	50513
Site	318
Designation	901
Date	20100226



50513

Hull nr. 318

Beregnet s_u fra trykksondering (CPTU)

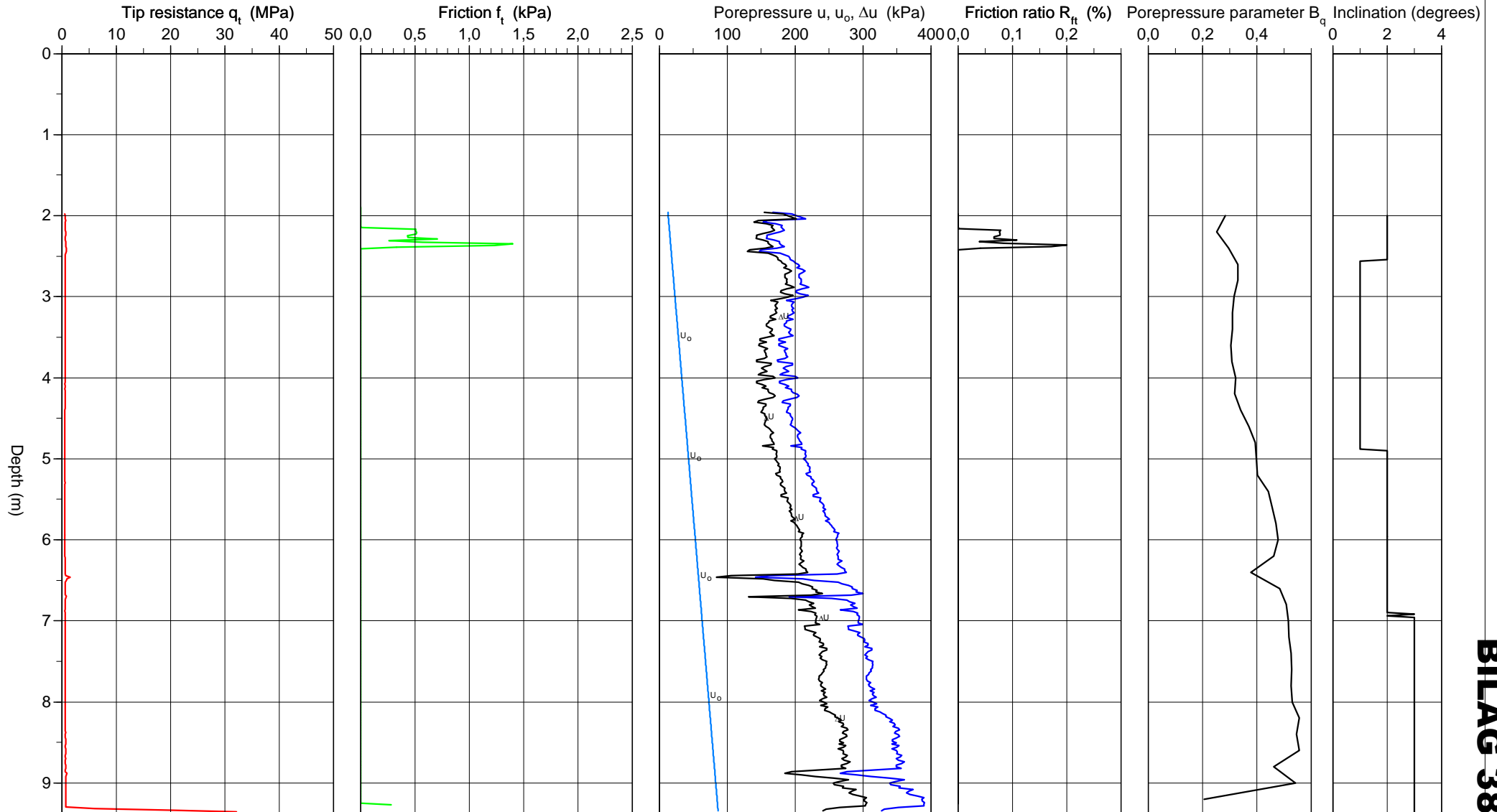


— CPTU H318 - Spissmotstand — CPTU H318 - Poreovertrykk

CPT-test performed according to EN ISO 22476-1

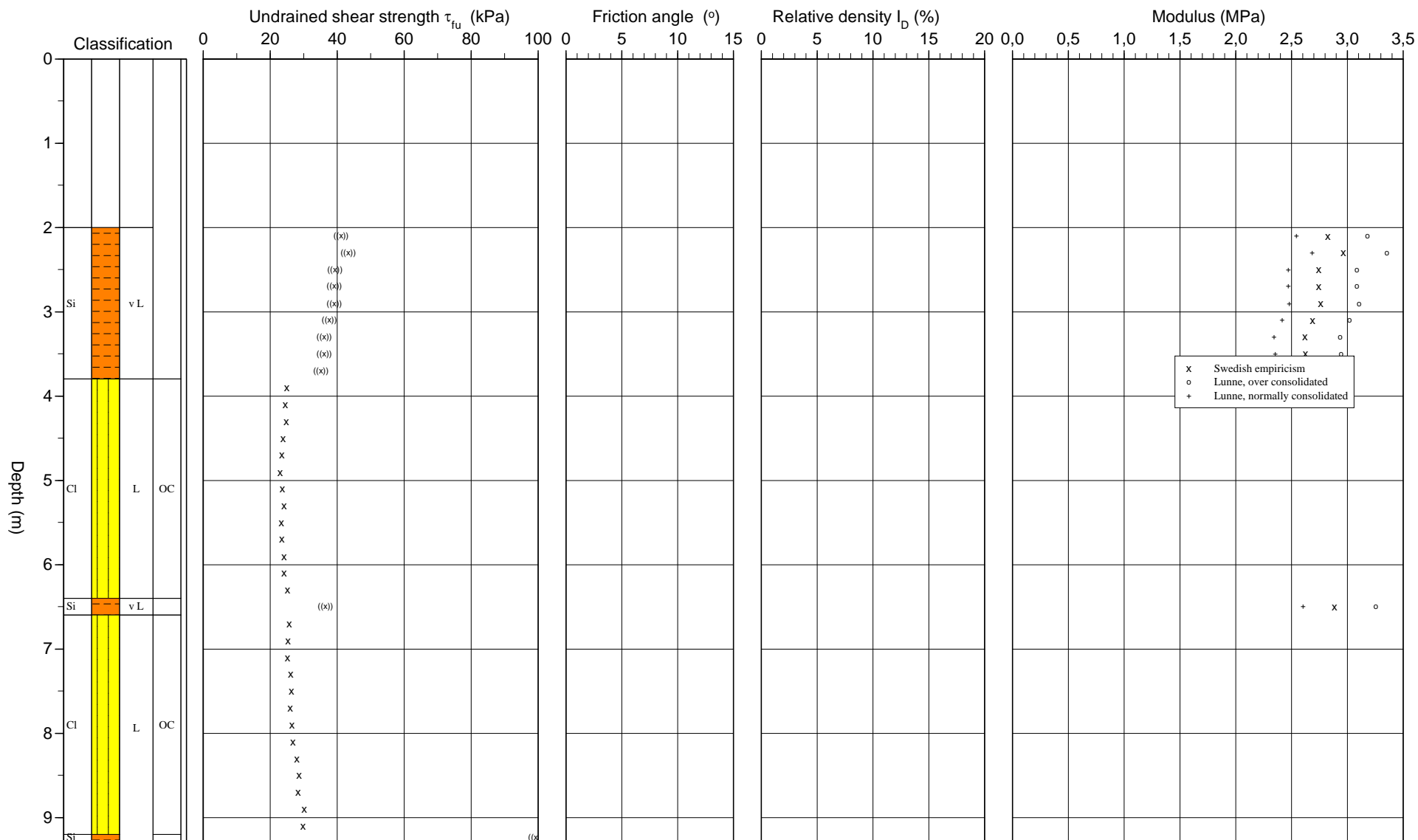
Predrilling depth	2,00 m	Reference	Terreng	Fluid in filter	Gelatin
Start depth	2,00 m	Level at reference	7,25 m	Coordinats	
Stop depth	9,38 m	Predrilled material		Equipment	Memocone MKII Cl 3
Ground water level	0,70 m	Geometry	Normal	Cone nr	60258

Project	Rv80 Løding - Vikan
Project nr	50513
Site	320
Designation	902
Date	20100226



Reference Terreng Predrilling depth 2,00 m Evaluator arilsl
 Level at reference 7,25 m Predrilled material Evaluation date
 Ground water level 0,70 m Equipment Memocone MKII Cl 3
 Start depth 2,00 m Geometry Normal

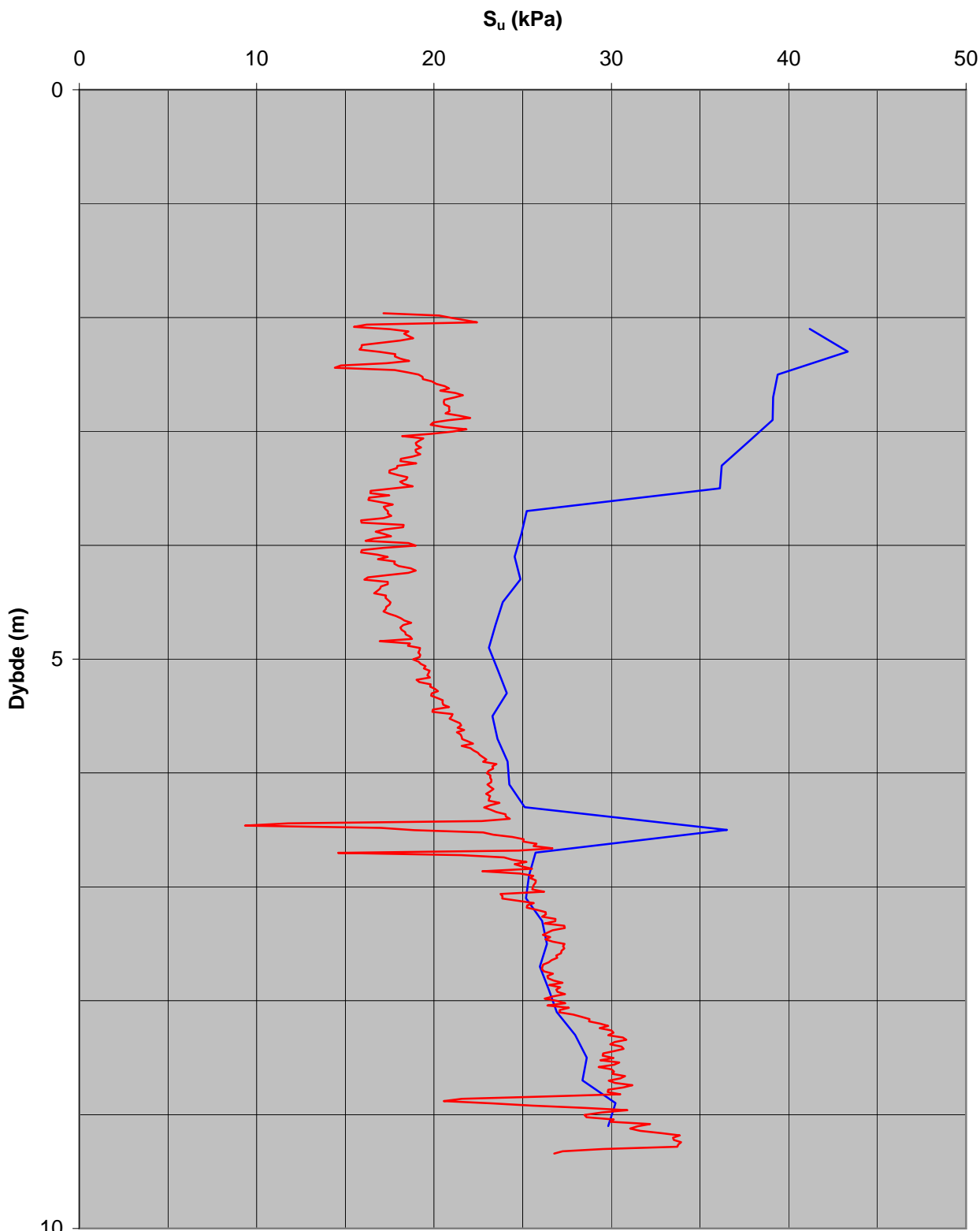
Project Rv80 Løding - Vikan
 Project nr 50513
 Site 320
 Designation 902
 Date 20100226



50513

Hull nr. 320

Beregnet s_u fra trykksondering (CPTU)



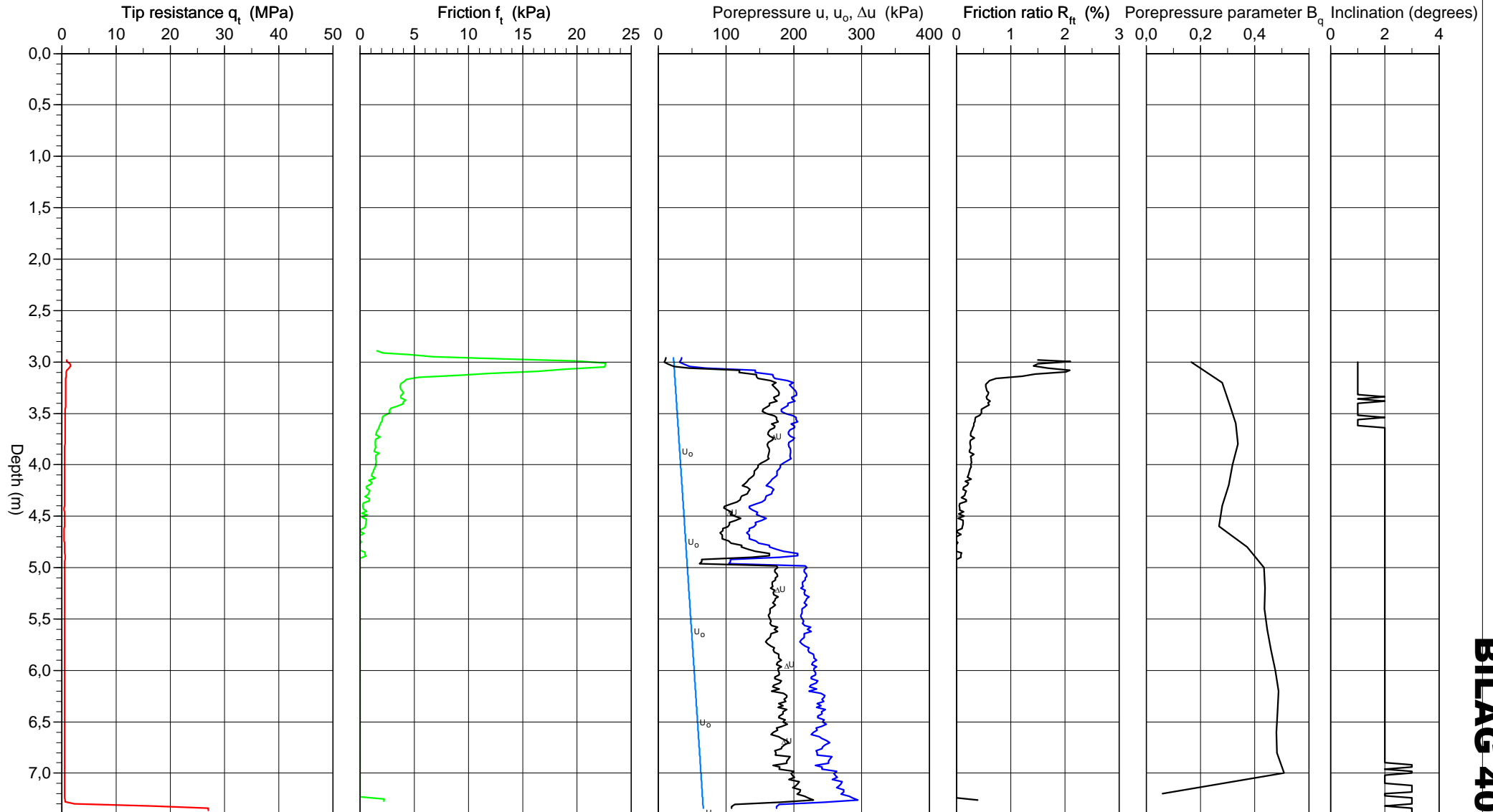
Bæreevnefaktor $N_{\Delta u}$ 9

— CPTU H320 - Spissmotstand — CPTU H320 - Poreovertrykk

CPT-test performed according to EN ISO 22476-1

Predrilling depth	3,00 m	Reference	Terreng	Fluid in filter	Gelatin
Start depth	3,00 m	Level at reference	5,53 m	Coordinats	
Stop depth	7,38 m	Predrilled material		Equipment	Memocone MKII Cl 3
Ground water level	0,70 m	Geometry	Normal	Cone nr	60258

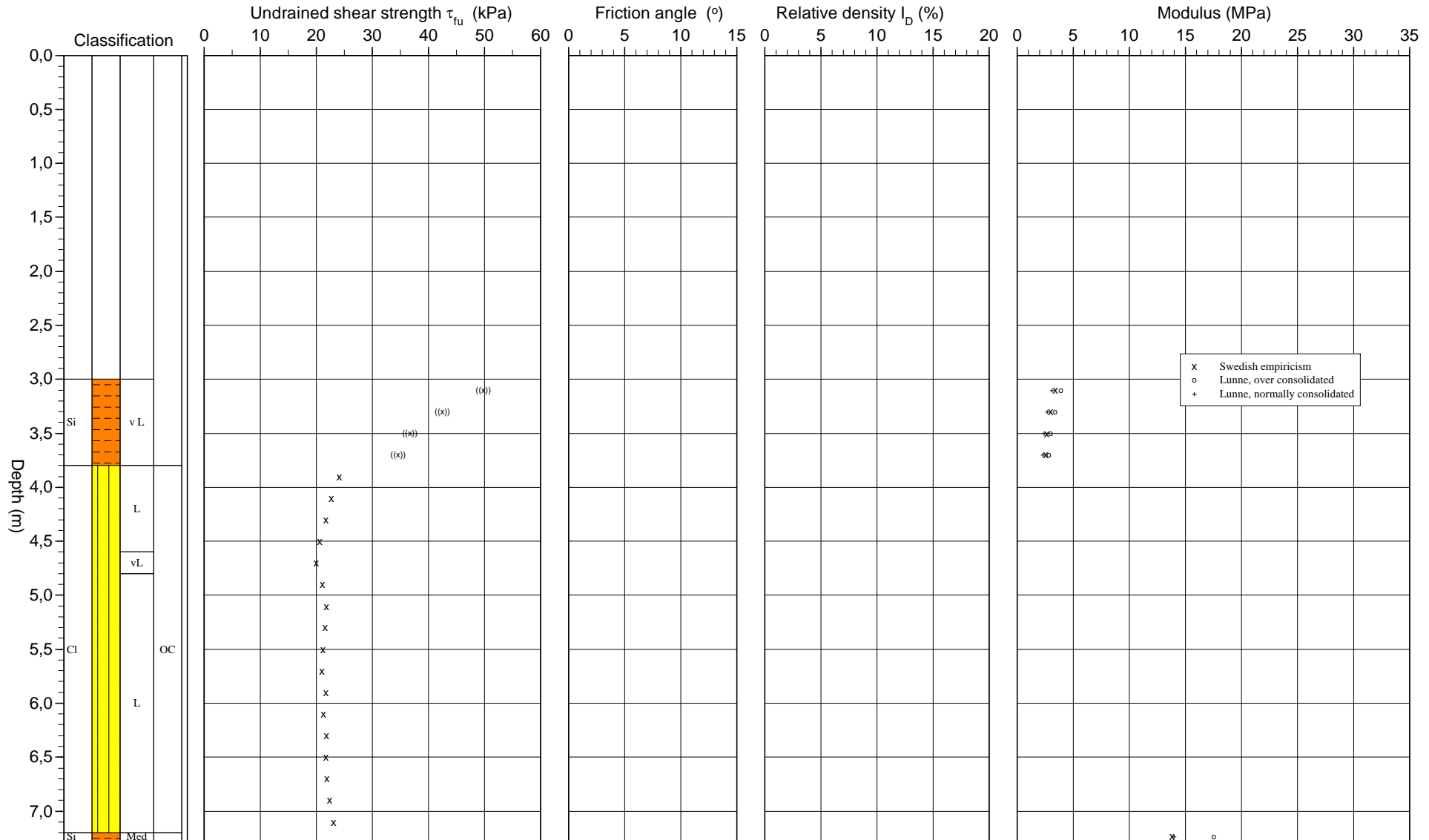
Project	RV80 Løding - Vikan
Project nr	50513
Site	328
Designation	903
Date	20100226



CPT test evaluated according to SGI Information 15 rev. 2007

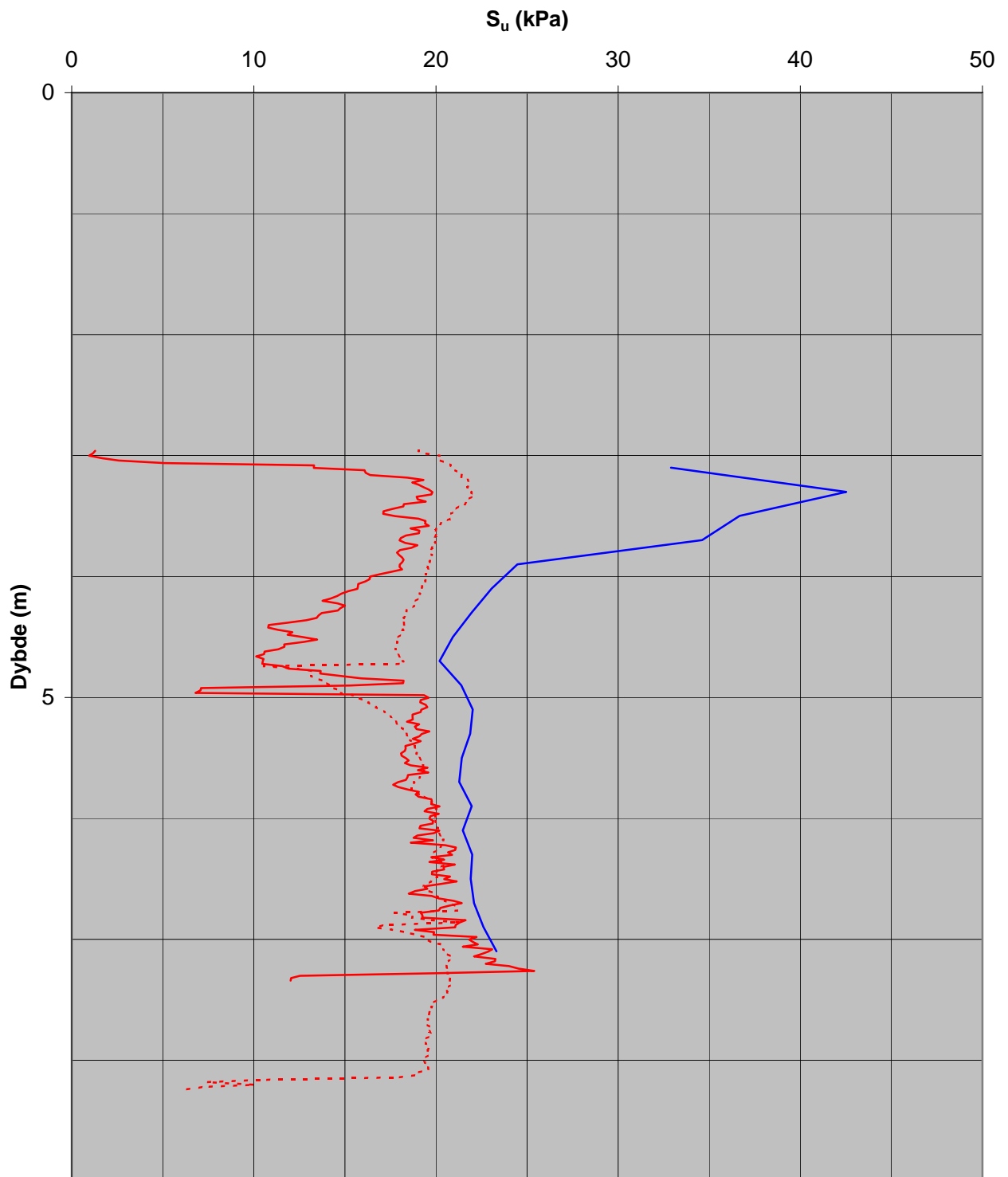
Reference Terreng Predrilling depth 3,00 m Evaluator arilsl
 Level at reference 5,53 m Predrilled material Evaluation date
 Ground water level 0,70 m Equipment Memocone MKII Cl 3
 Start depth 3,00 m Geometry Normal

Project RV80 Løding - Vikan
 Project nr 50513
 Site 328
 Designation 903
 Date 20100226



50513

Hull nr. 328-2

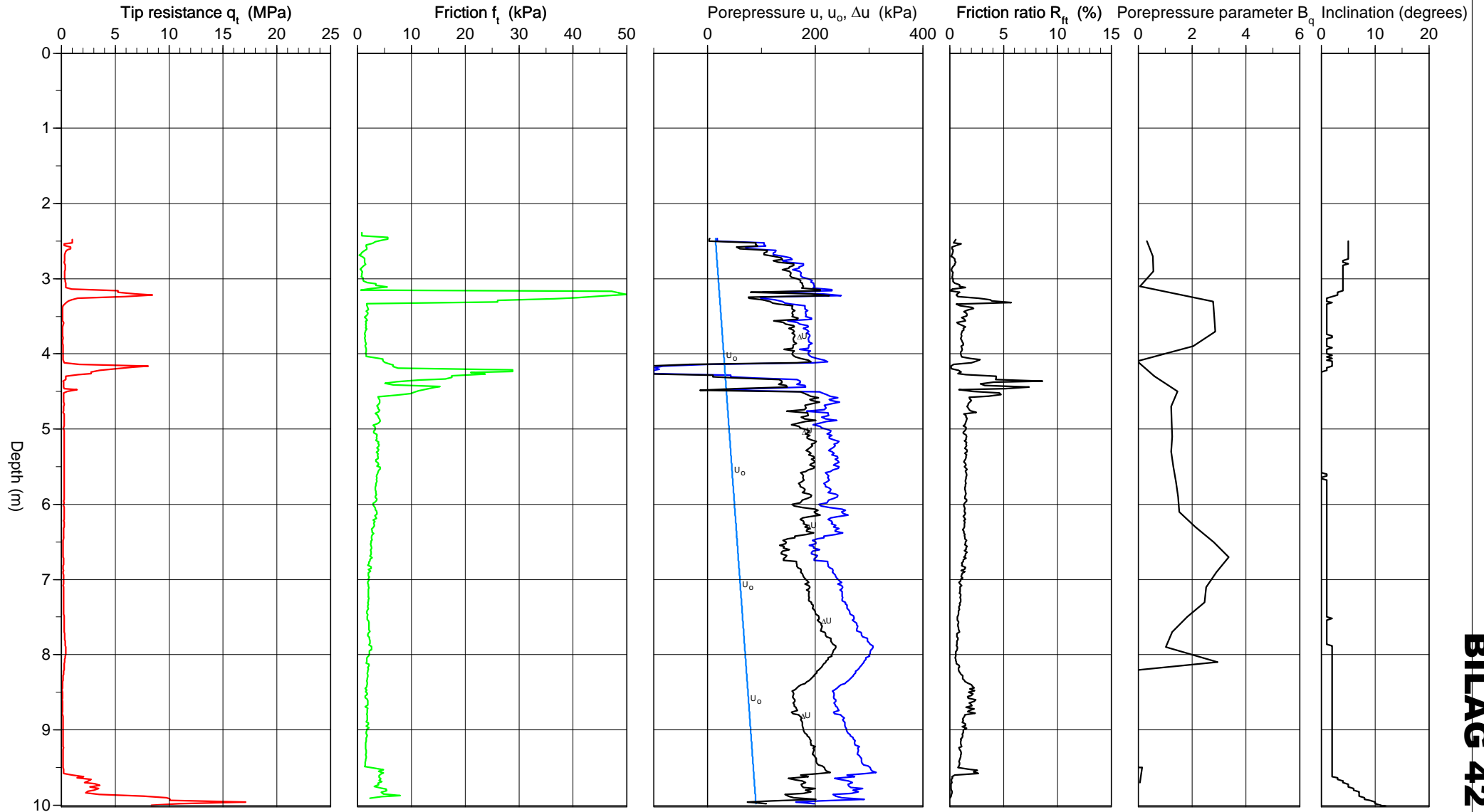
Beregnet s_u (poreovertrykk) fra trykksonderingBæreevnemfaktor $N_{\Delta u} = 9$

— CPTU H328-2 - Spissmotstand — CPTU H328-2 - Poreovertrykk
- - - CPTU H328 - Poreovertrykk

CPT-test performed according to EN ISO 22476-1

Predrilling depth	2,50 m	Reference	Terreng	Fluid in filter	Gelatin
Start depth	2,50 m	Level at reference	8,67 m	Coordinats	
Stop depth	10,02 m	Predrilled material		Equipment	Memocone MKII Cl 3
Ground water level	1,00 m	Geometry	Normal	Cone nr	50456

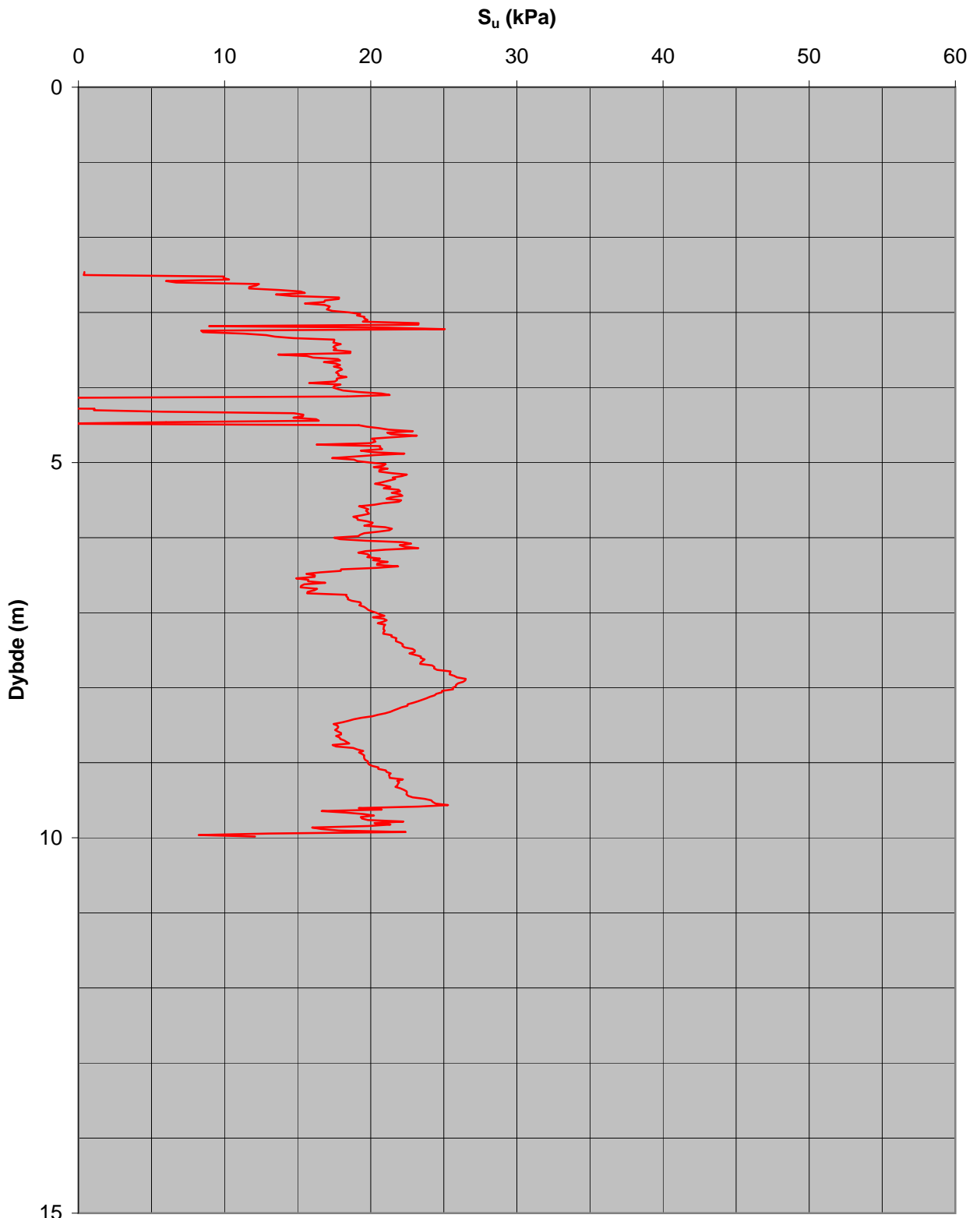
Project	Rv80 Vikan - Løding
Project nr	50513
Site	330
Designation	899
Date	20100218



50513

Hull nr. 330

Beregnet s_u fra trykksondering (CPTU)



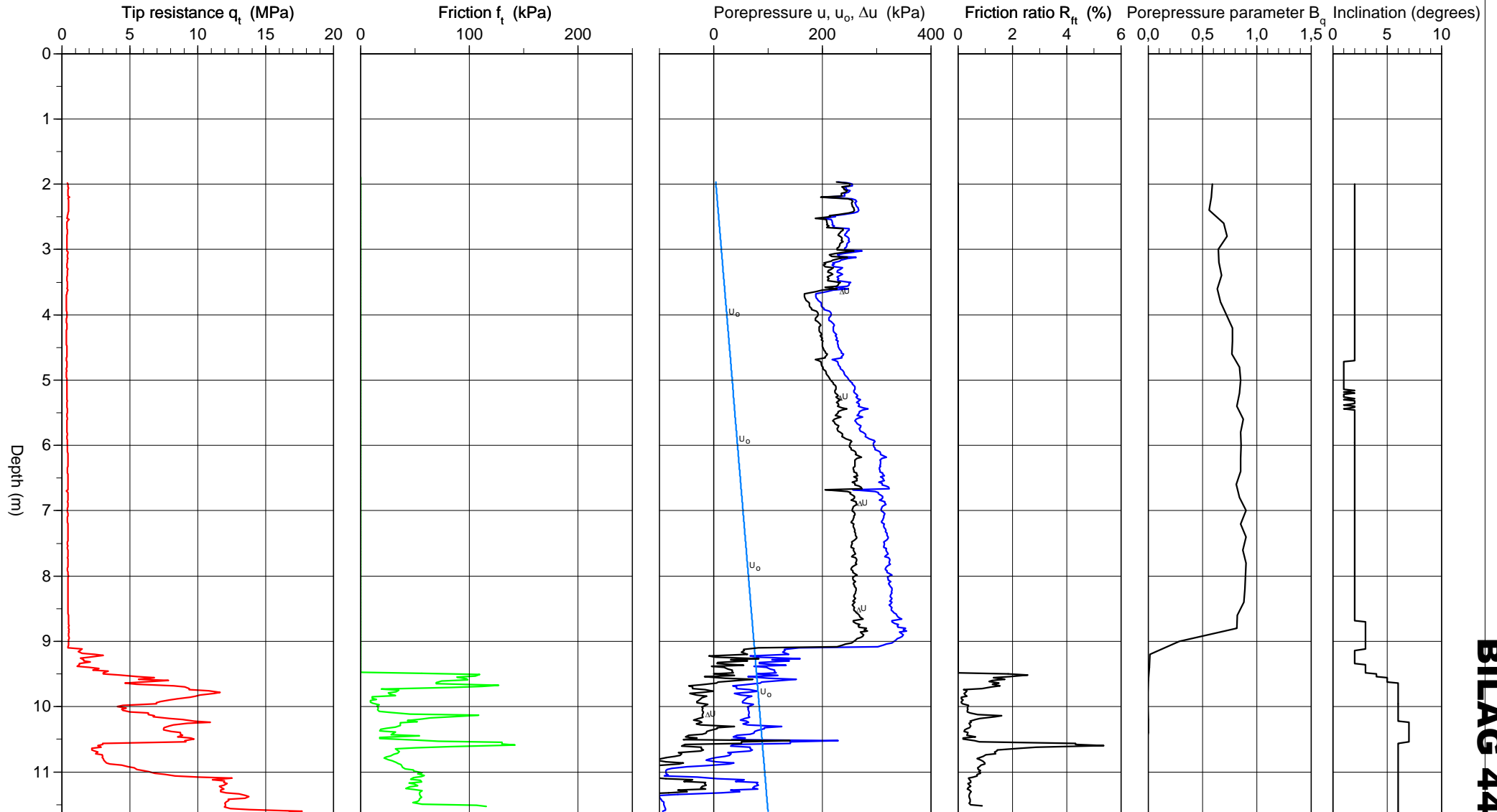
Bæreevnefaktor $N_{\Delta u}$ 9

— CPTU H330 - Spissmotstand — CPTU H330 - Poreovertrykk

CPT-test performed according to EN ISO 22476-1

Predrilling depth	2,00 m	Reference	Terreng	Fluid in filter	Gelatin
Start depth	2,00 m	Level at reference	8,86 m	Coordinats	
Stop depth	11,64 m	Predrilled material		Equipment	Memocone MKII Cl 3
Ground water level	1,60 m	Geometry	Normal	Cone nr	50456

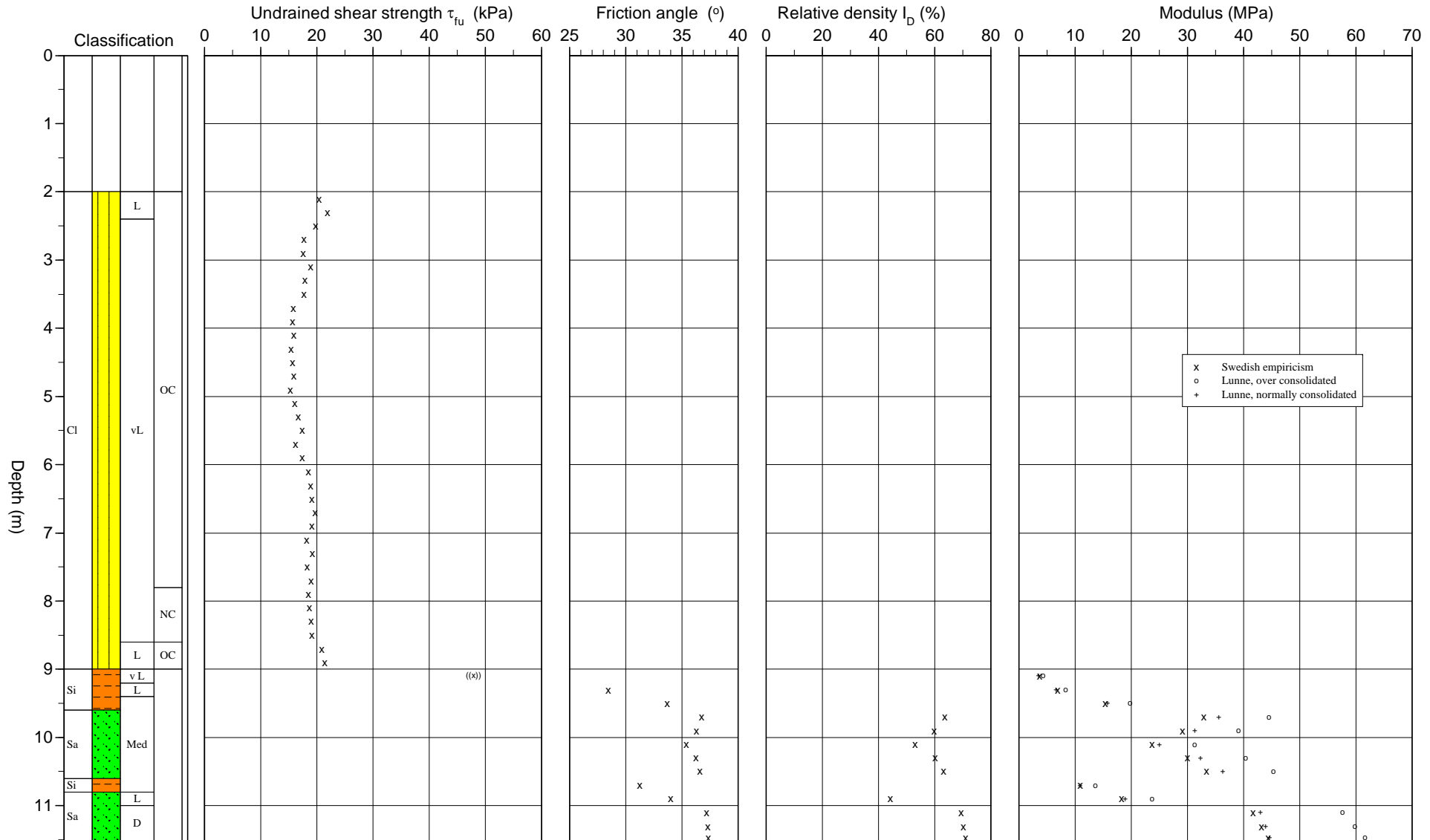
Project	Rv80 Løding - Vikan
Project nr	50513
Site	332
Designation	898
Date	20100218



CPT test evaluated according to SGI Information 15 rev. 2007

Reference	Terreng	Predrilling depth	2,00 m	Evaluator	arisl
Level at reference	8,86 m	Predrilled material		Evaluation date	
Ground water level	1,60 m	Equipment	Memocone MKII Cl 3		
Start depth	2,00 m	Geometry	Normal		

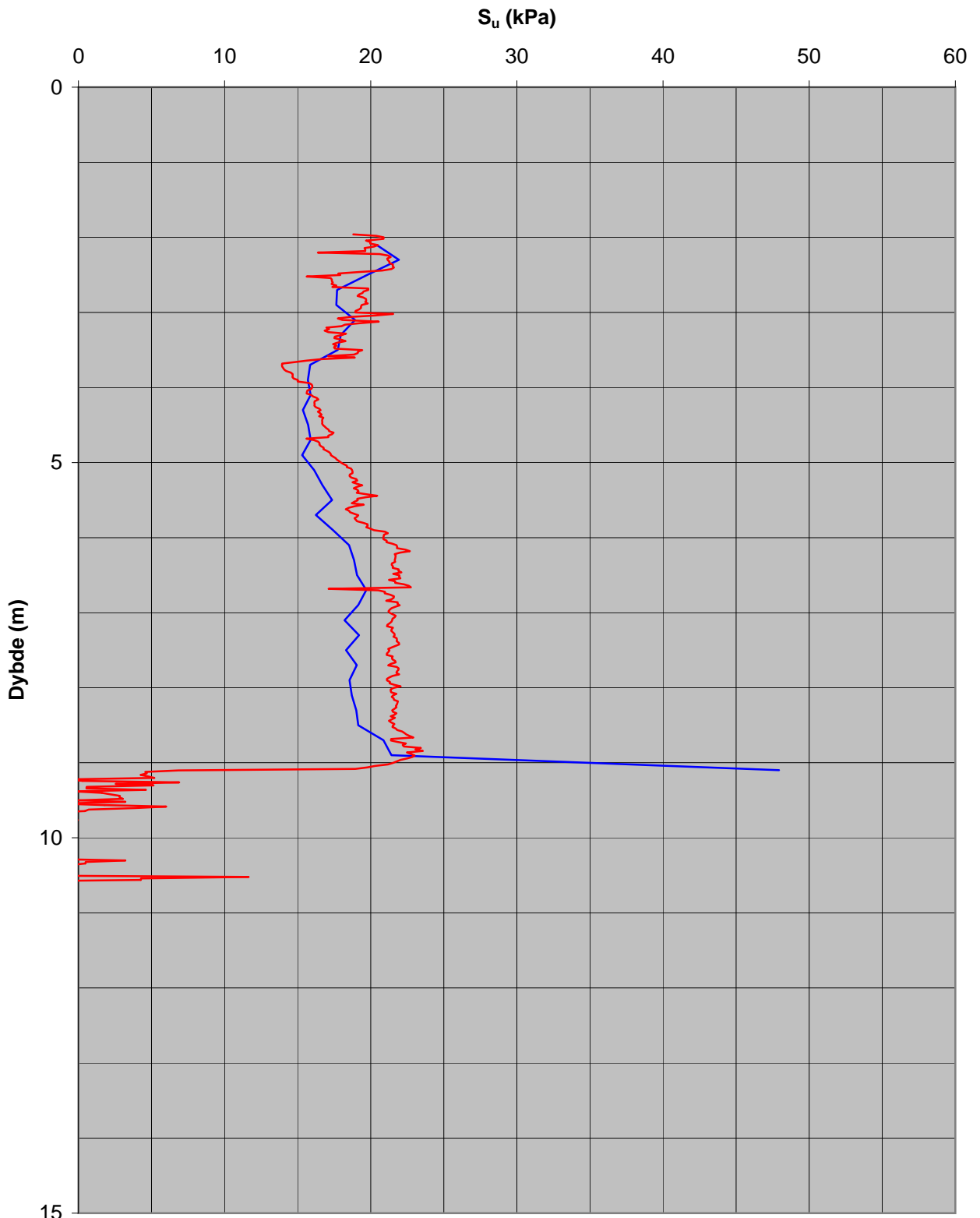
Project	Rv80 Løding - Vikan
Project nr	50513
Site	332
Designation	898
Date	20100218



50513

Hull nr. 332

Beregnet s_u fra trykksondering (CPTU)



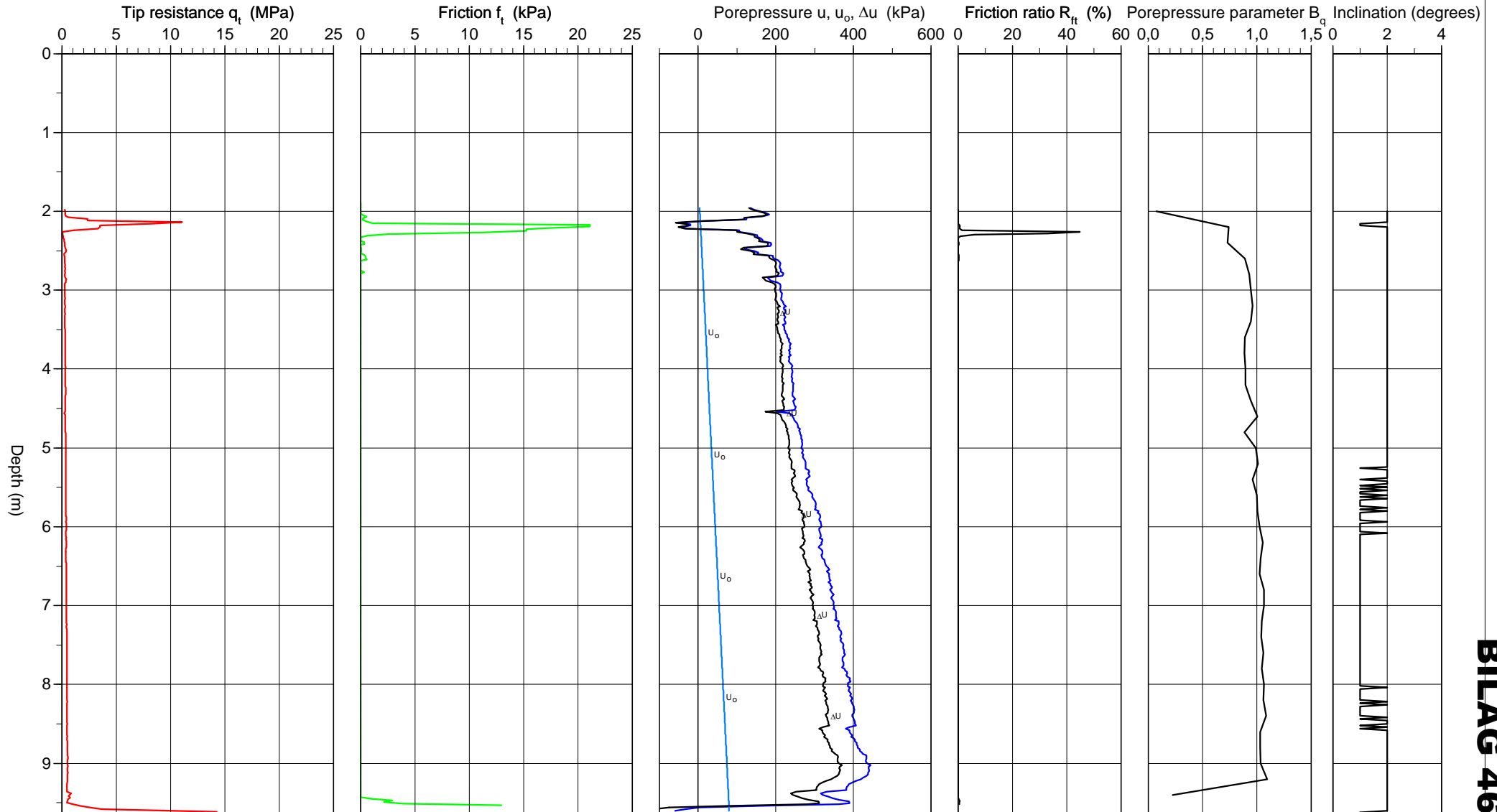
Bæreevnefaktor $N_{\Delta u}$ 12

— CPTU H332 - Spissmotstand — CPTU H332 - Poreovertrykk

CPT-test performed according to EN ISO 22476-1

Predrilling depth	2,00 m	Reference	Terreng	Fluid in filter	Gelatin
Start depth	2,00 m	Level at reference	8,85 m	Coordinats	
Stop depth	9,64 m	Predrilled material		Equipment	Memocone MKII Cl 3
Ground water level	1,60 m	Geometry	Normal	Cone nr	50456

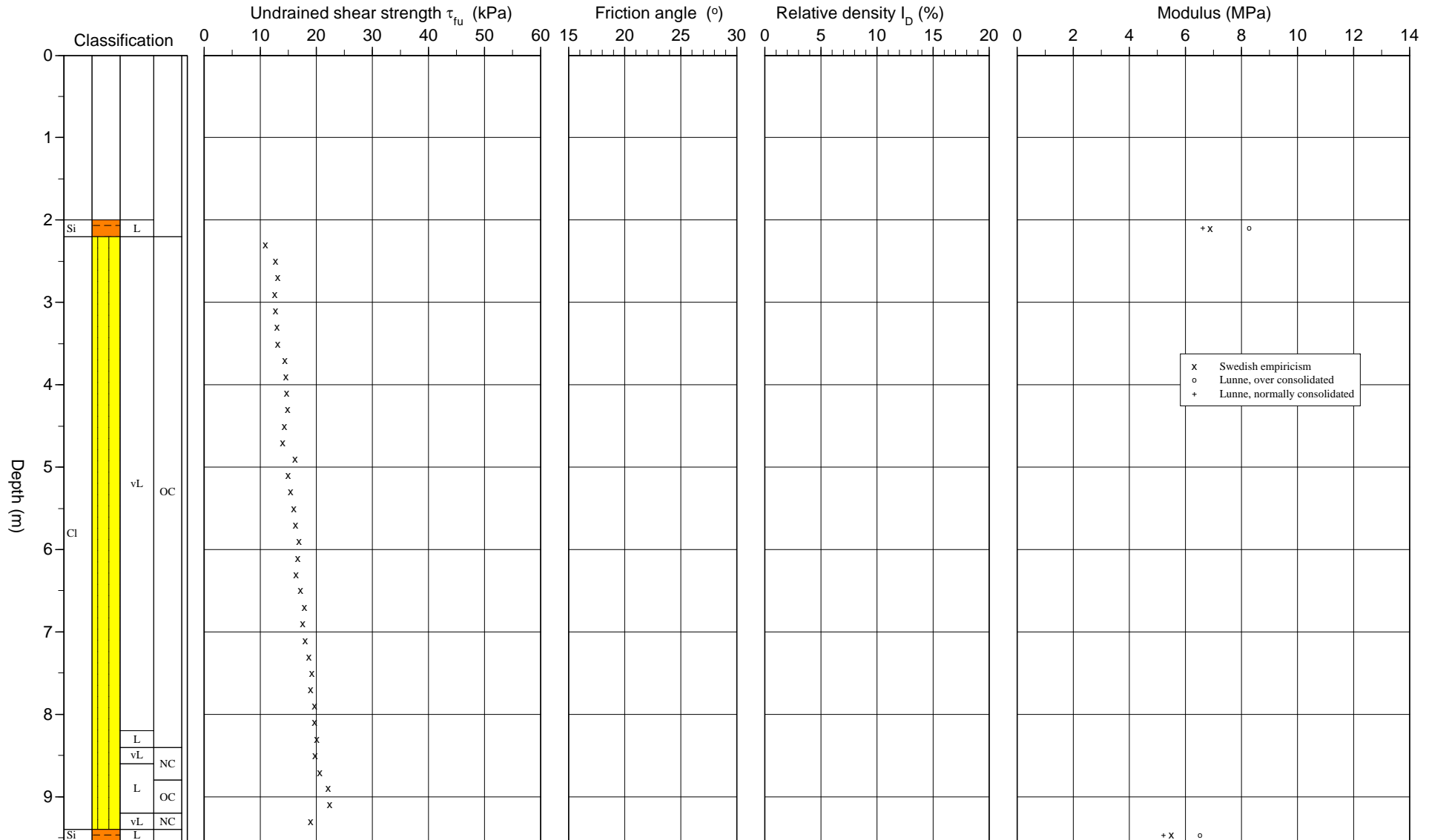
Project	Rv80 Løding - Vikan
Project nr	50513
Site	342
Designation	894
Date	20100211



CPT test evaluated according to SGI Information 15 rev. 2007

Reference Terreng Predrilling depth 2,00 m Evaluator arisl
 Level at reference 8,85 m Predrilled material Evaluation date
 Ground water level 1,60 m Equipment Memocone MKII Cl 3
 Start depth 2,00 m Geometry Normal

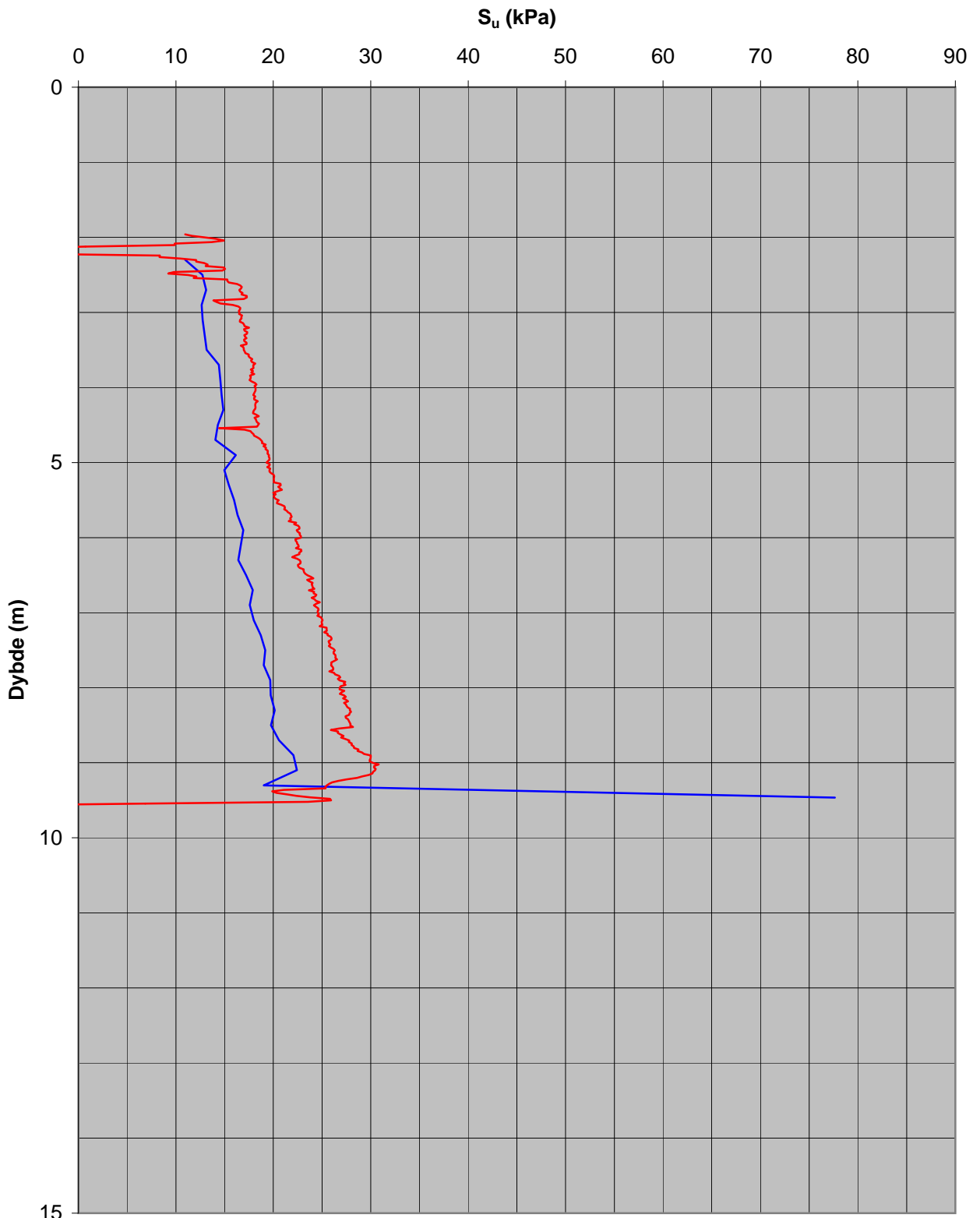
Project Rv80 Løding - Vikan
 Project nr 50513
 Site 342
 Designation 894
 Date 20100211



59513

Hull nr. 342

Beregnet s_u fra trykksondering (CPTU)



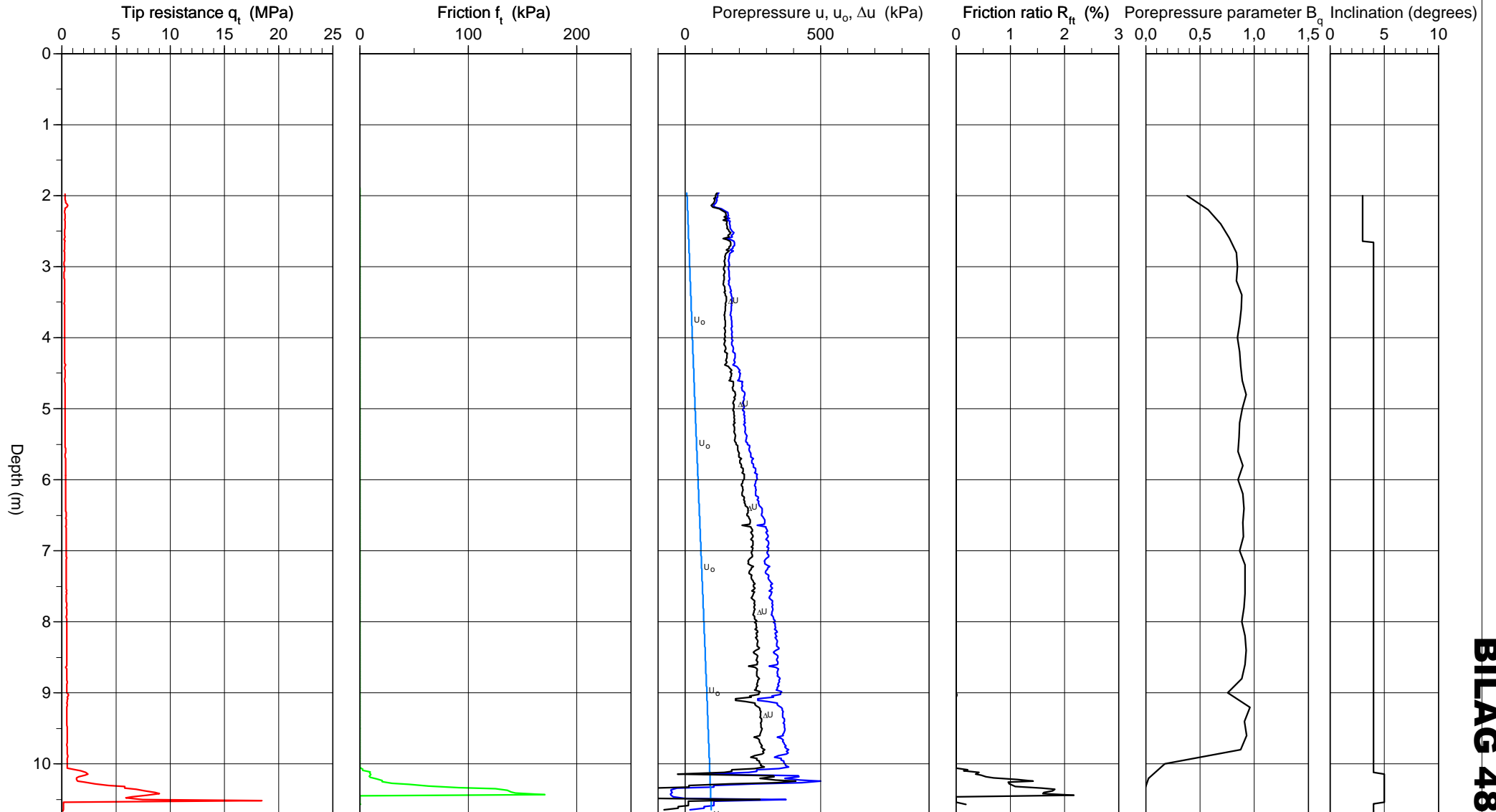
Bæreevnefaktor $N_{\Delta u}$ 12

— CPTU H342 - Spissmotstand — CPTU H342 - Poreovertrykk

CPT-test performed according to EN ISO 22476-1

Predrilling depth	2,00 m	Reference	Terreng	Fluid in filter	Gelatin
Start depth	2,00 m	Level at reference	10,49 m	Coordinats	
Stop depth	10,68 m	Predrilled material		Equipment	Memocone MKII Cl 3
Ground water level	1,30 m	Geometry	Normal	Cone nr	50456

Project	Rv 80 Løding - Vikan
Project nr	50513
Site	343
Designation	892
Date	20100211

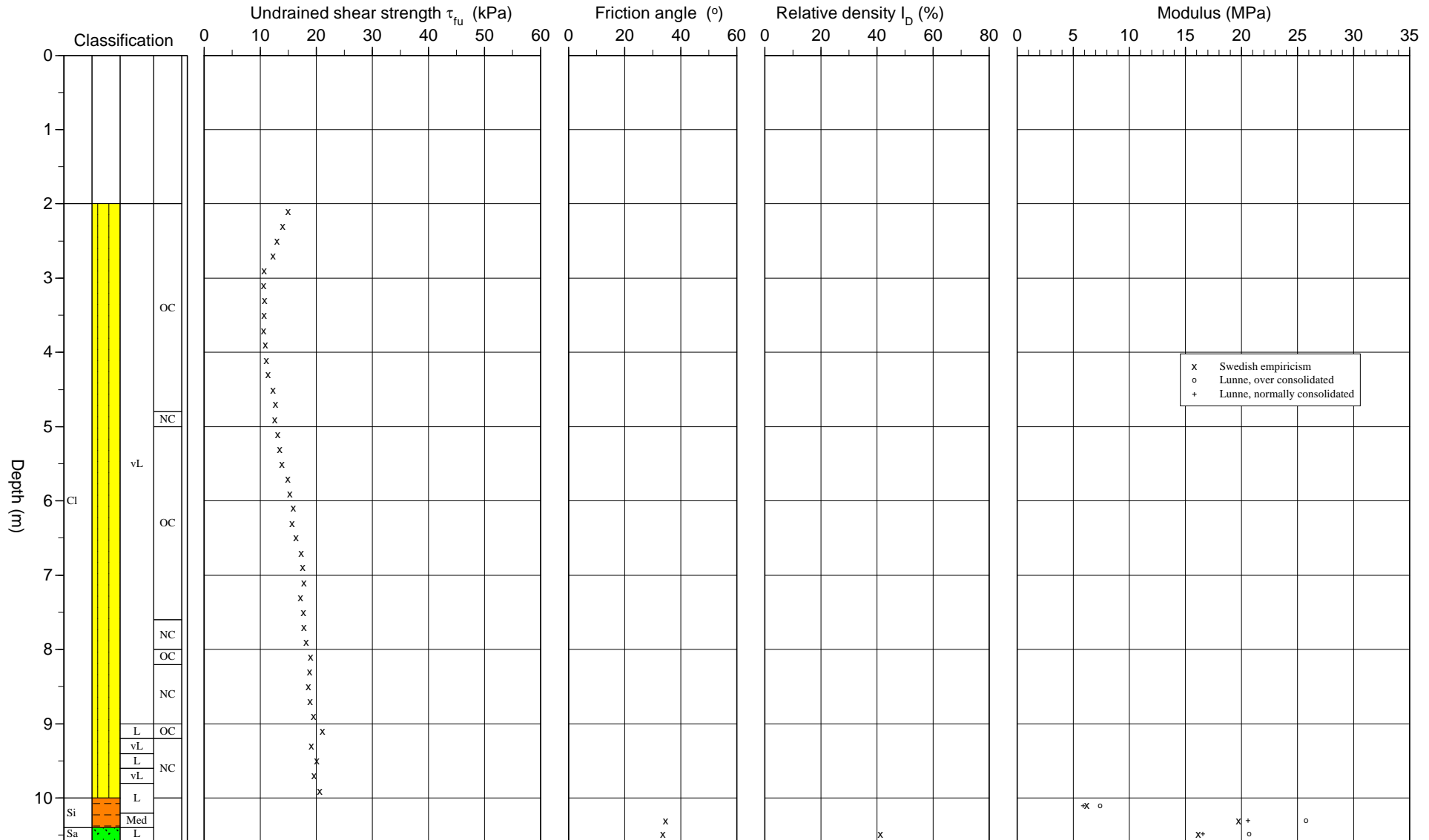


BILAG 48

CPT test evaluated according to SGI Information 15 rev. 2007

Reference	Terreng	Predrilling depth	2,00 m	Evaluator	arisl
Level at reference	10,49 m	Predrilled material		Evaluation date	
Ground water level	1,30 m	Equipment	Memocone MKII Cl 3		
Start depth	2,00 m	Geometry	Normal		

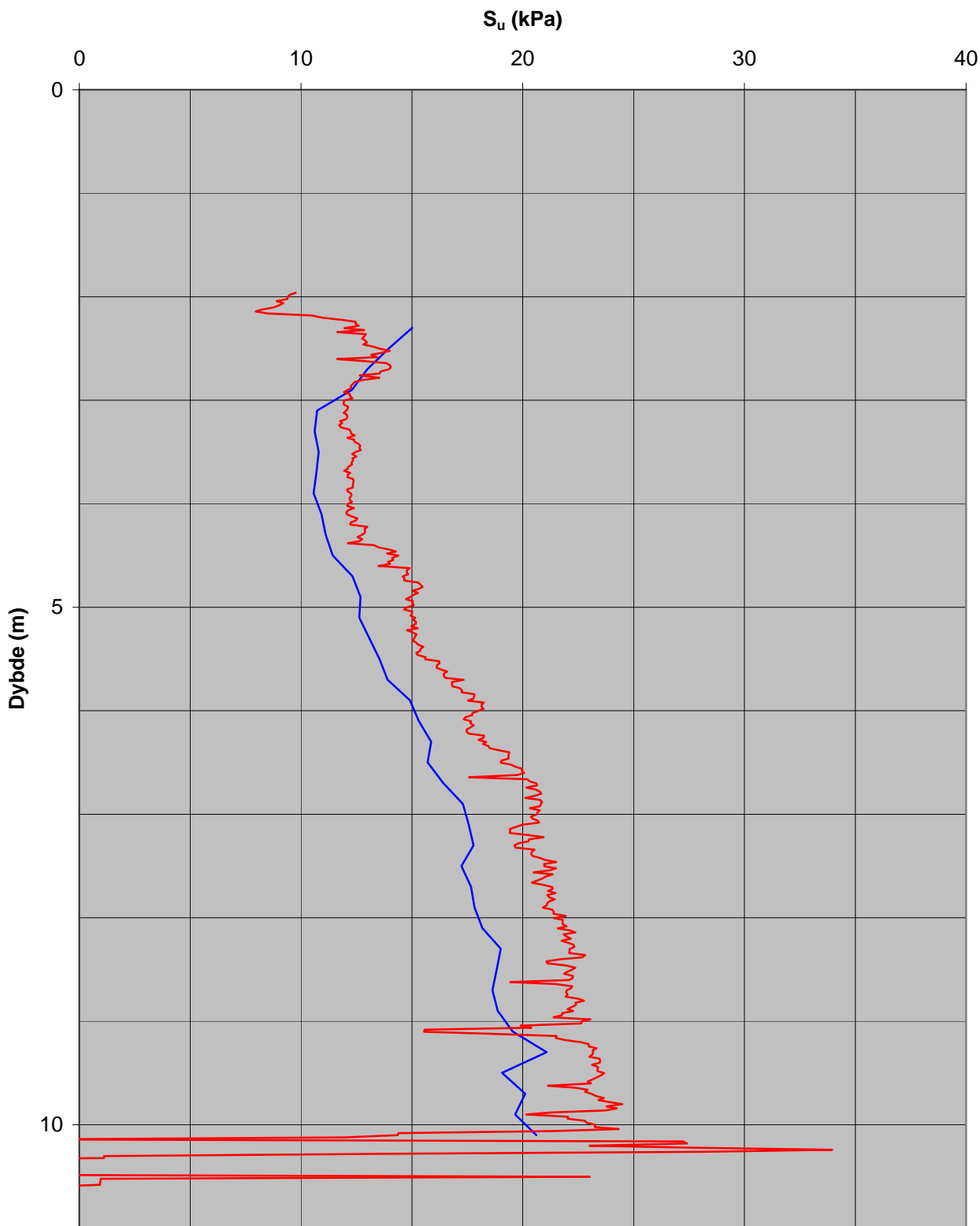
Project	Rv 80 Løding - Vikan
Project nr	50513
Site	343
Designation	892
Date	20100211



59513

Hull nr. 343

Beregnet s_u fra trykksondering (CPTU)



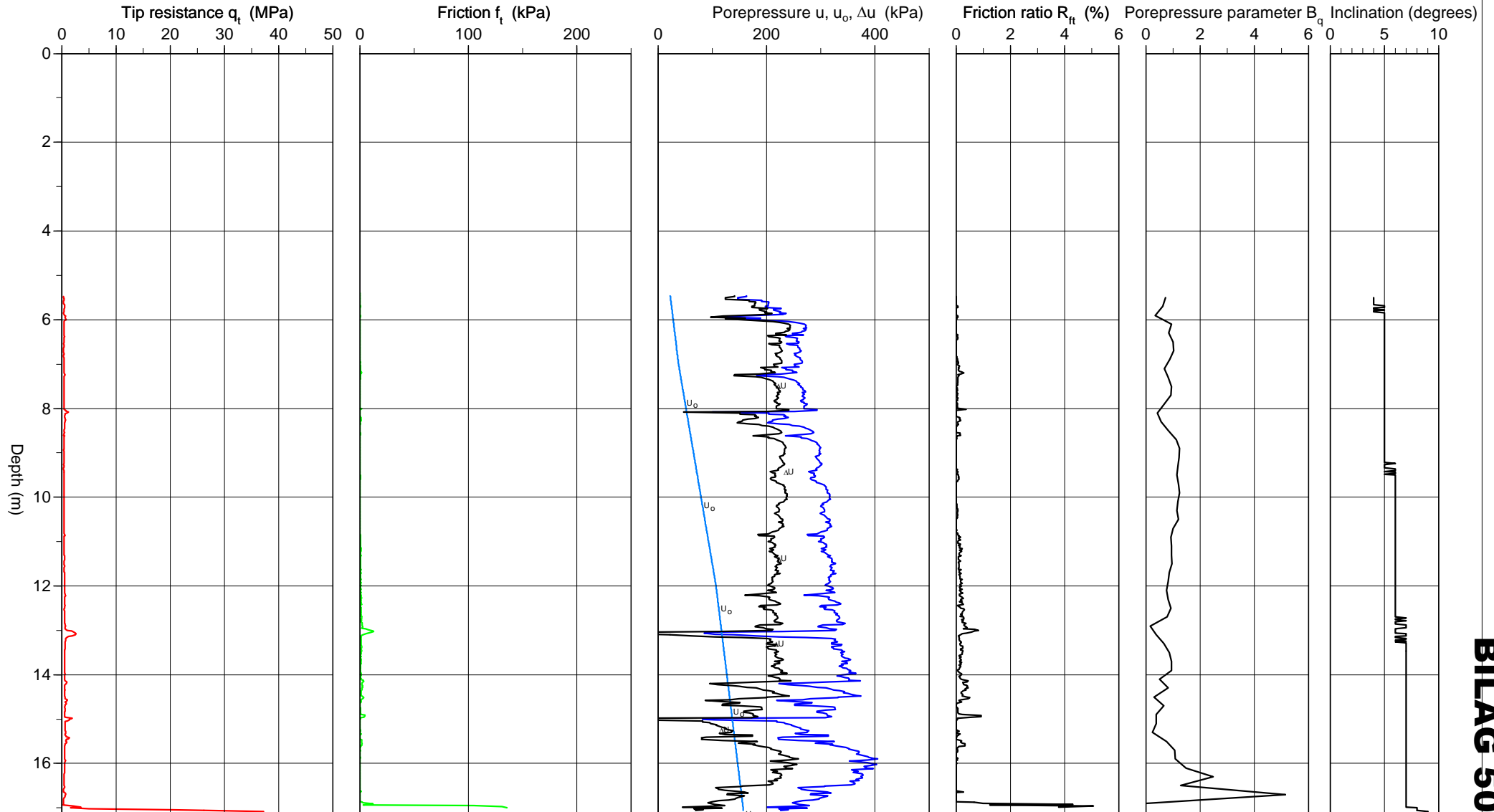
Bæreevnepåvirkning $N_{\Delta u} = 12$

— CPTU H343 - Spissmotstand — CPTU H343 - Poreovertrykk

CPT-test performed according to EN ISO 22476-1

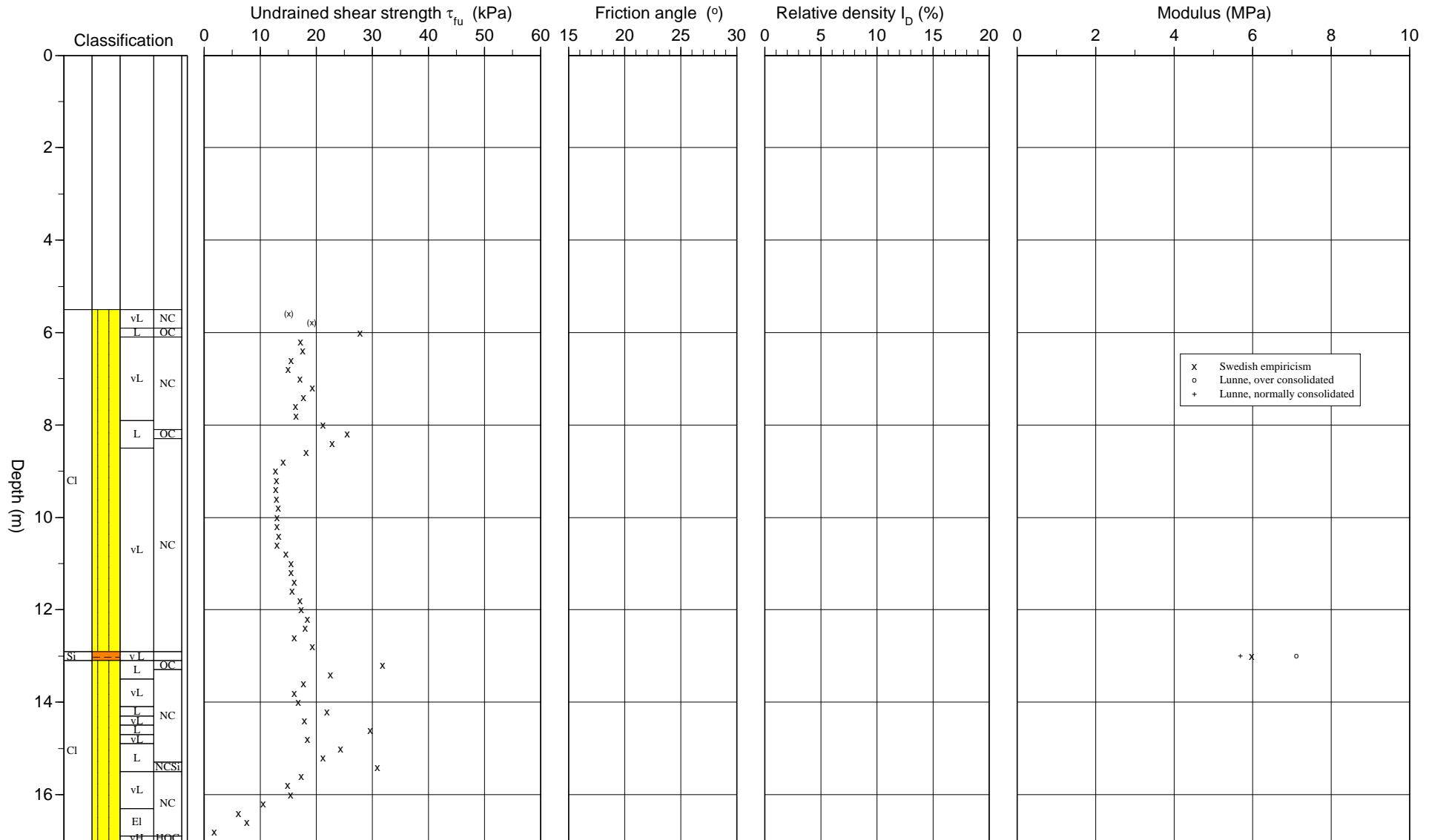
Predrilling depth	5,50 m	Reference	Terreng	Fluid in filter	Gelatin
Start depth	5,50 m	Level at reference	14,47 m	Coordinats	
Stop depth	17,10 m	Predrilled material		Equipment	Memocone MKII CI 3
Ground water level	3,20 m	Geometry	Normal	Cone nr	50456

Project	RV80 Løding - Vikan
Project nr	50513
Site	344
Designation	897
Date	20100212



Reference Terreng Predrilling depth 5,50 m Evaluator arisl
 Level at reference 14,47 m Predrilled material Evaluation date
 Ground water level 3,20 m Equipment Memocone MKII CI 3
 Start depth 5,50 m Geometry Normal

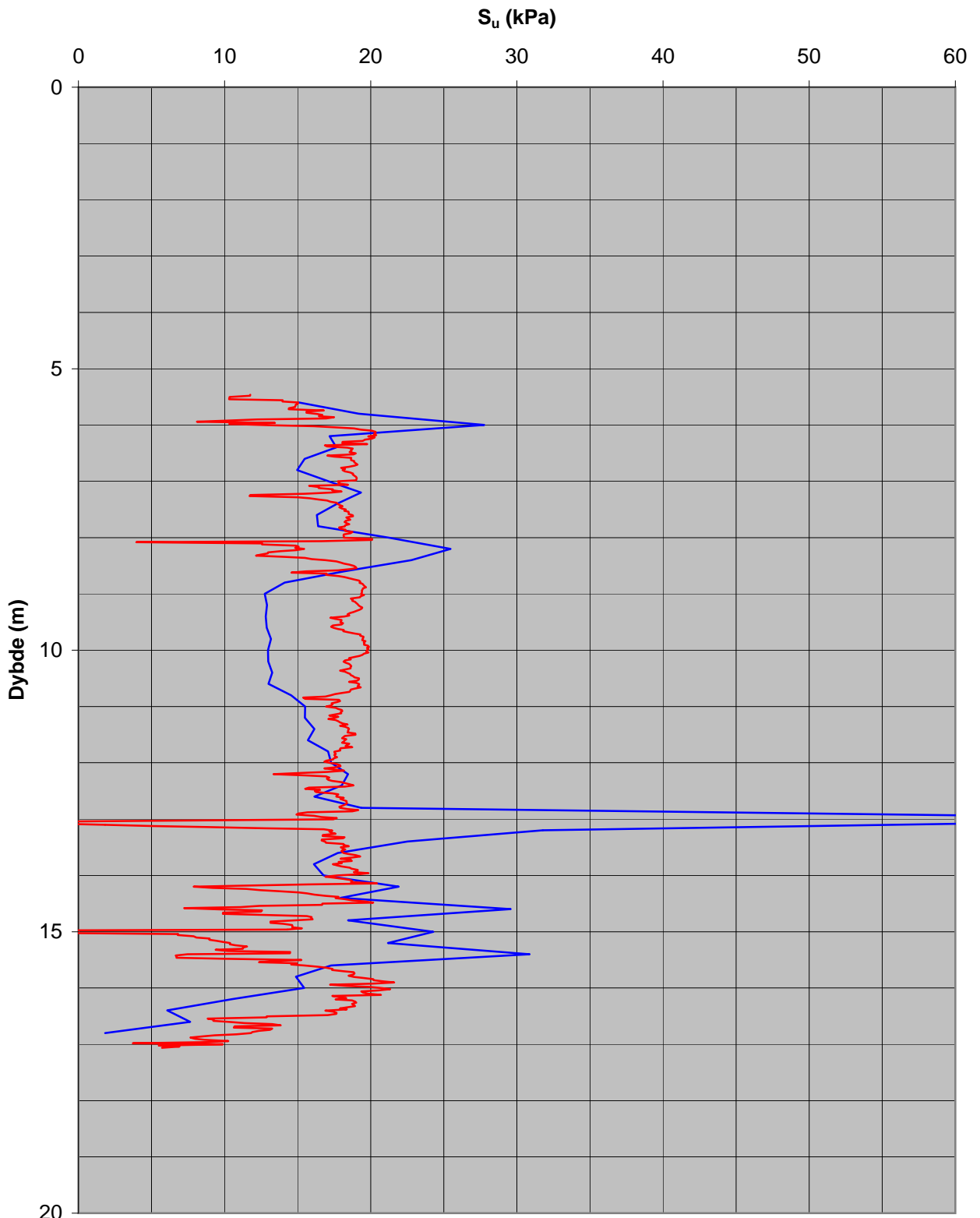
Project RV80 Løding - Vikan
 Project nr 50513
 Site 344
 Designation 897
 Date 20100212



59513

Hull nr. 344

Beregnet s_u fra trykksondering (CPTU)



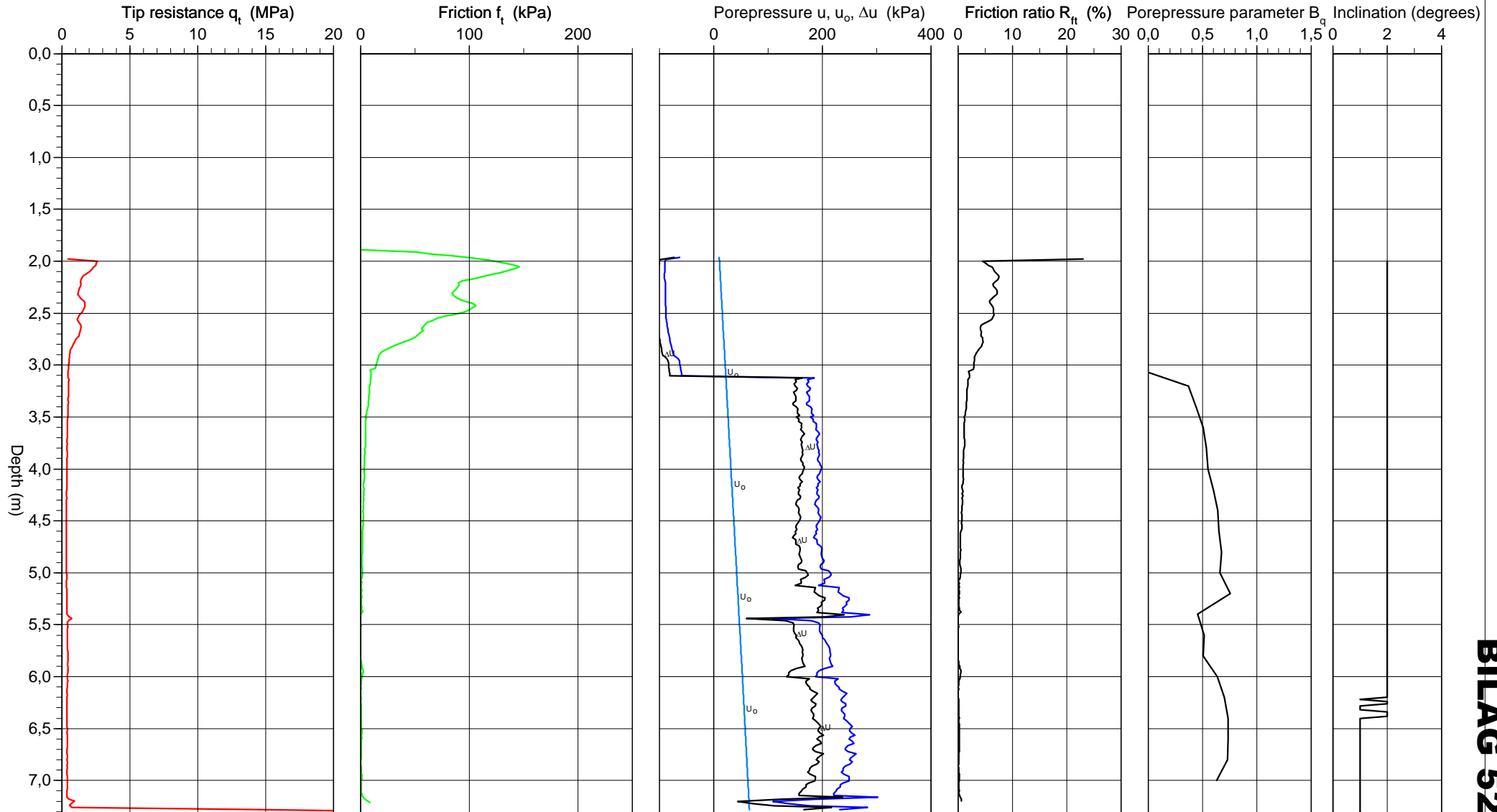
Bæreevnefaktor $N_{\Delta u}$ 12

— CPTU H344 - Spissmotstand — CPTU H344 - Poreovertrykk

CPT-test performed according to EN ISO 22476-1

Predrilling depth	2,00 m	Reference	Terreng	Fluid in filter	Gelatin
Start depth	2,00 m	Level at reference	2,83 m	Coordinats	
Stop depth	7,32 m	Predrilled material		Equipment	Memocone MKII Cl 3
Ground water level	1,00 m	Geometry	Normal	Cone nr	50456

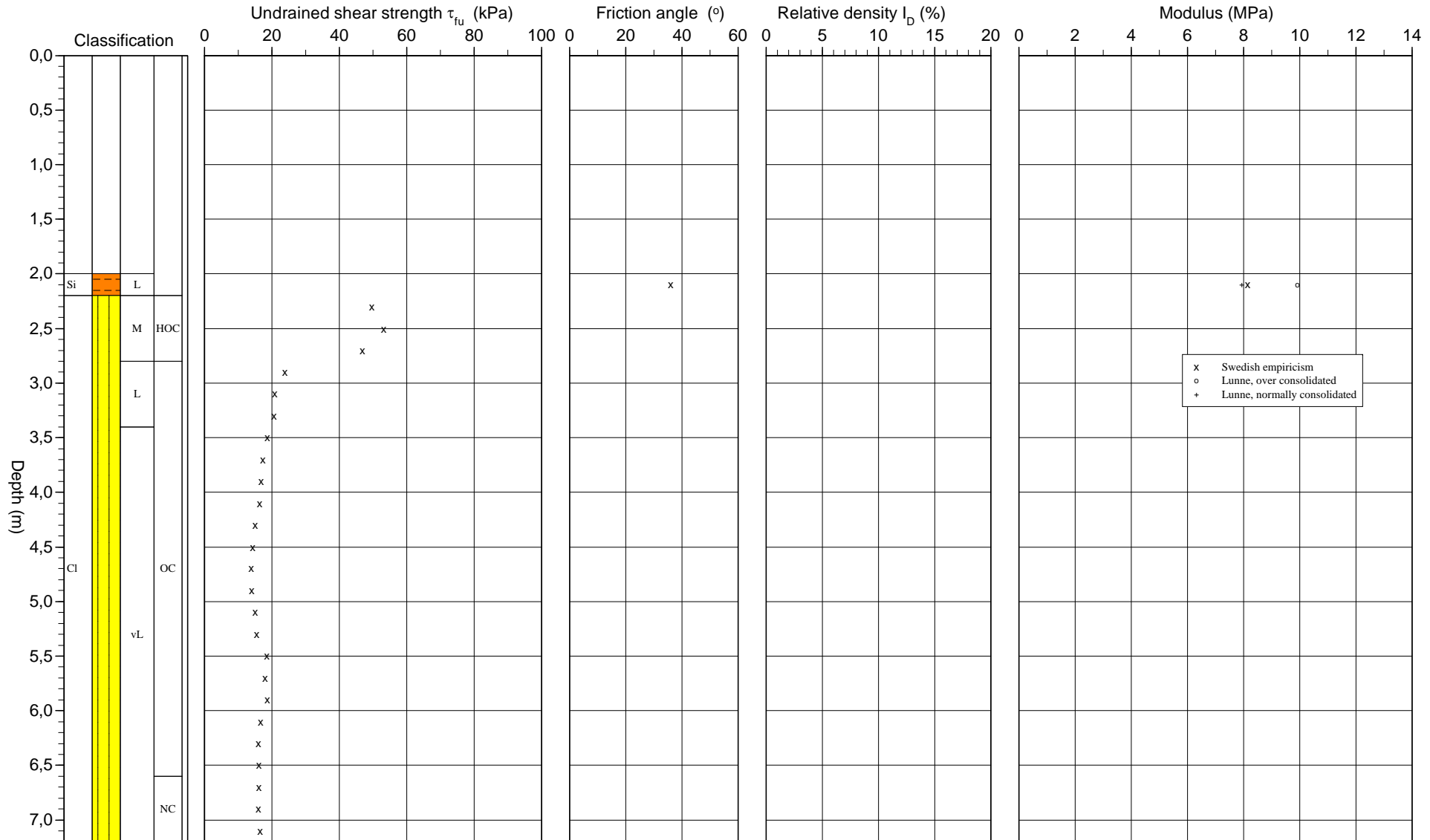
Project	LÖDING-VIKAN
Project nr	50513
Site	352
Designation	957
Date	20100322



CPT test evaluated according to SGI Information 15 rev. 2007

Reference Terreng Predrilling depth 2,00 m Evaluator arisl
 Level at reference 2,83 m Predrilled material Evaluation date
 Ground water level 1,00 m Equipment Memocone MKII CI 3
 Start depth 2,00 m Geometry Normal

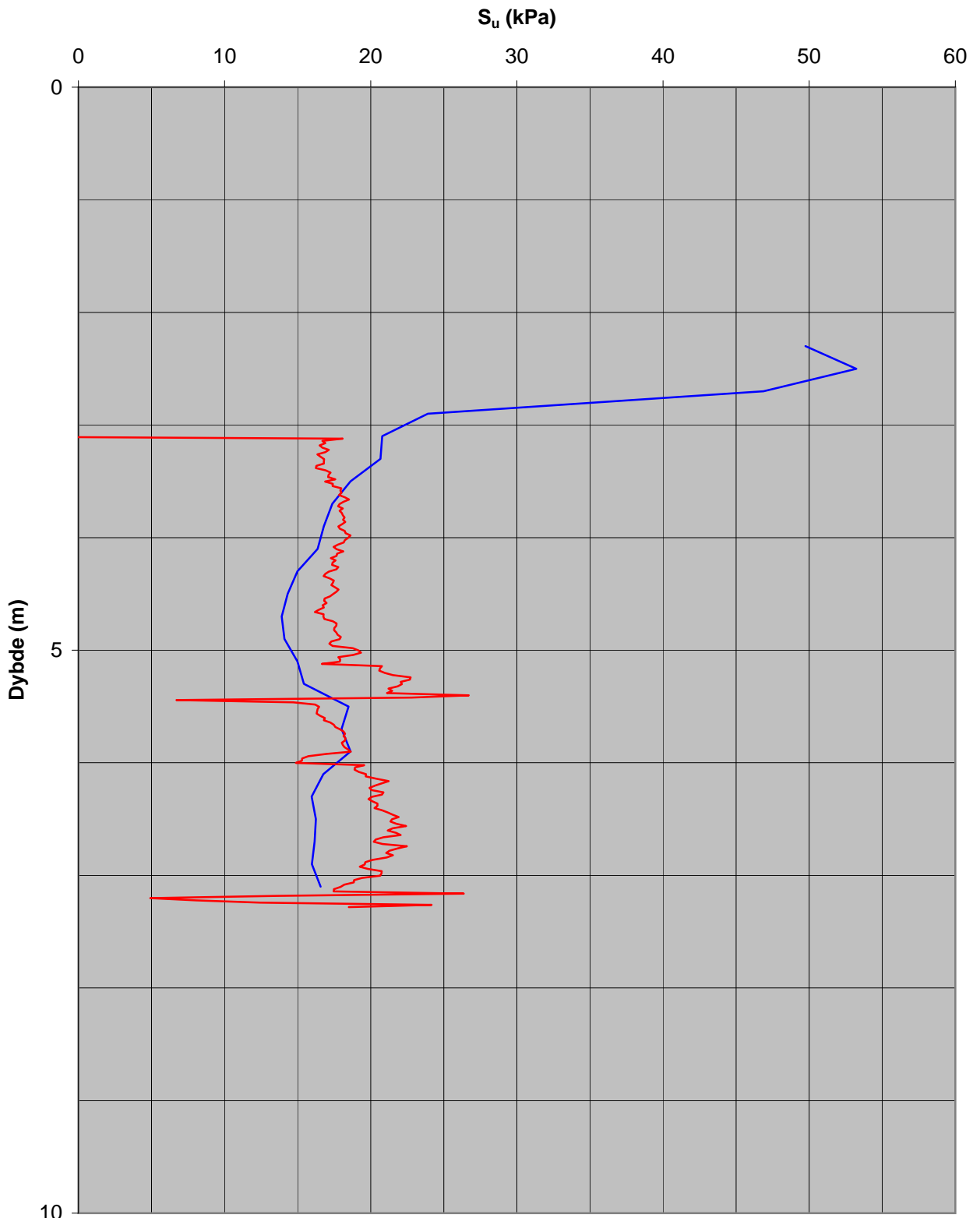
Project LÖDING-VIKAN
 Project nr 50513
 Site 352
 Designation 957
 Date 20100322



50513

Hull nr. 352

Beregnet s_u fra trykksondering (CPTU)



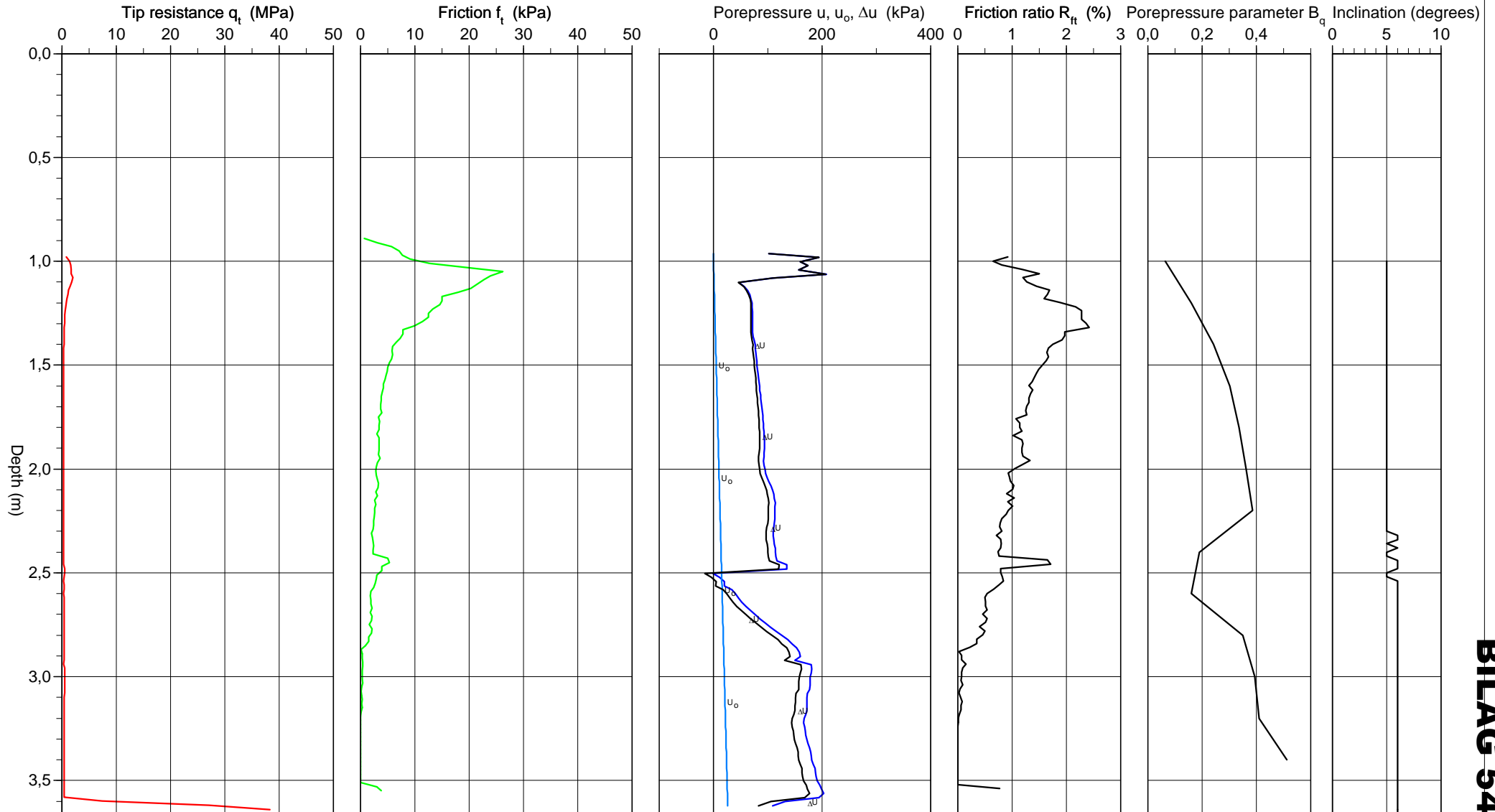
Bæreevnefaktor $N_{\Delta u}$ 9

— CPTU H352 - Spissmotstand — CPTU H352 - Poreovertrykk

CPT-test performed according to EN ISO 22476-1

Predrilling depth	1,00 m	Reference	Terreng	Fluid in filter	Gelatin
Start depth	1,00 m	Level at reference	1,19 m	Coordinats	
Stop depth	3,66 m	Predrilled material		Equipment	Memocone MKII Cl 3
Ground water level	1,00 m	Geometry	Normal	Cone nr	50456

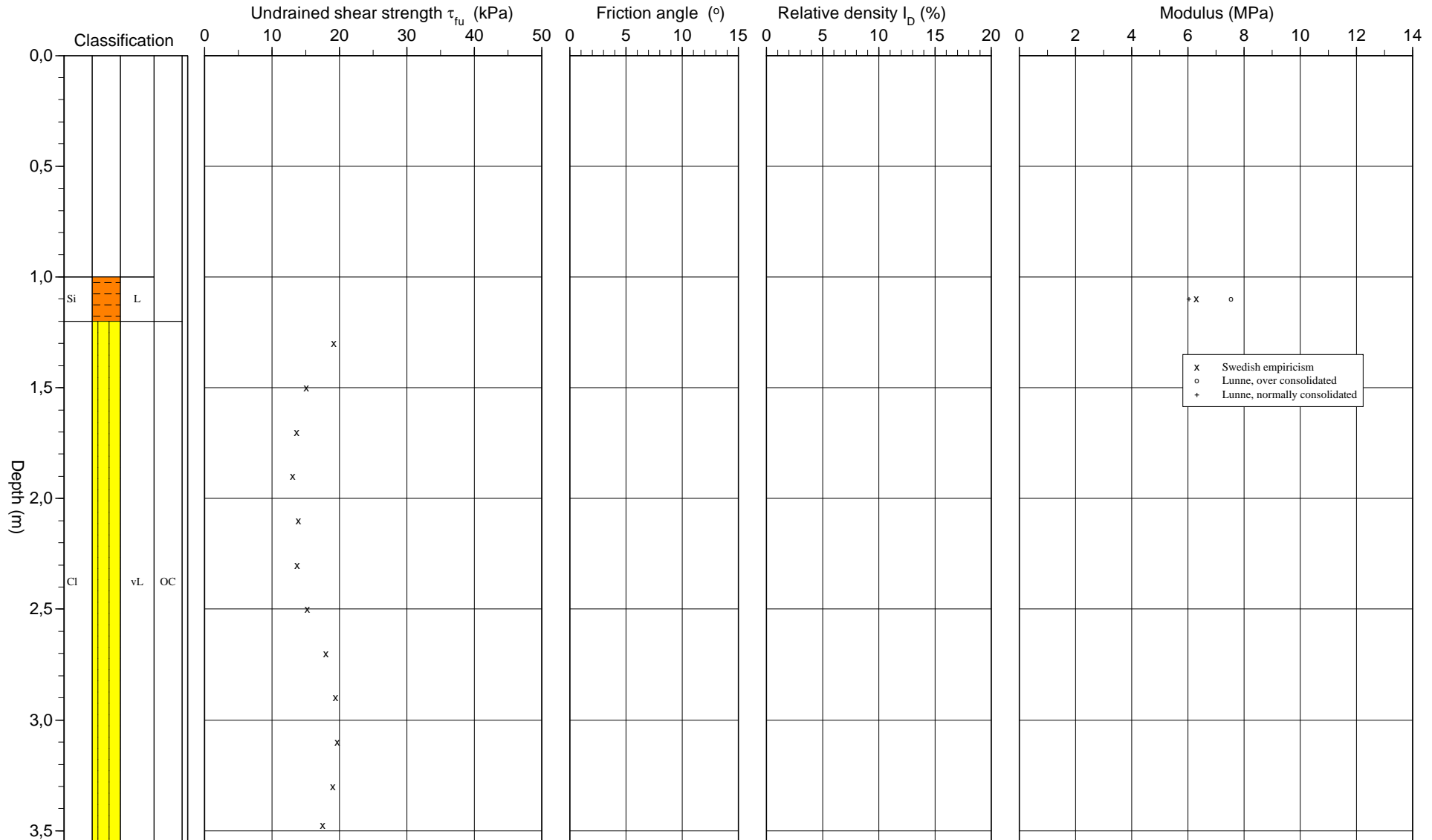
Project	LÖDING-VIKAN
Project nr	50513
Site	357
Designation	959
Date	20100322



CPT test evaluated according to SGI Information 15 rev. 2007

Reference Terreng Predrilling depth 1,00 m Evaluator arisl
 Level at reference 1,19 m Predrilled material Evaluation date
 Ground water level 1,00 m Equipment Memocone MKII Cl 3
 Start depth 1,00 m Geometry Normal

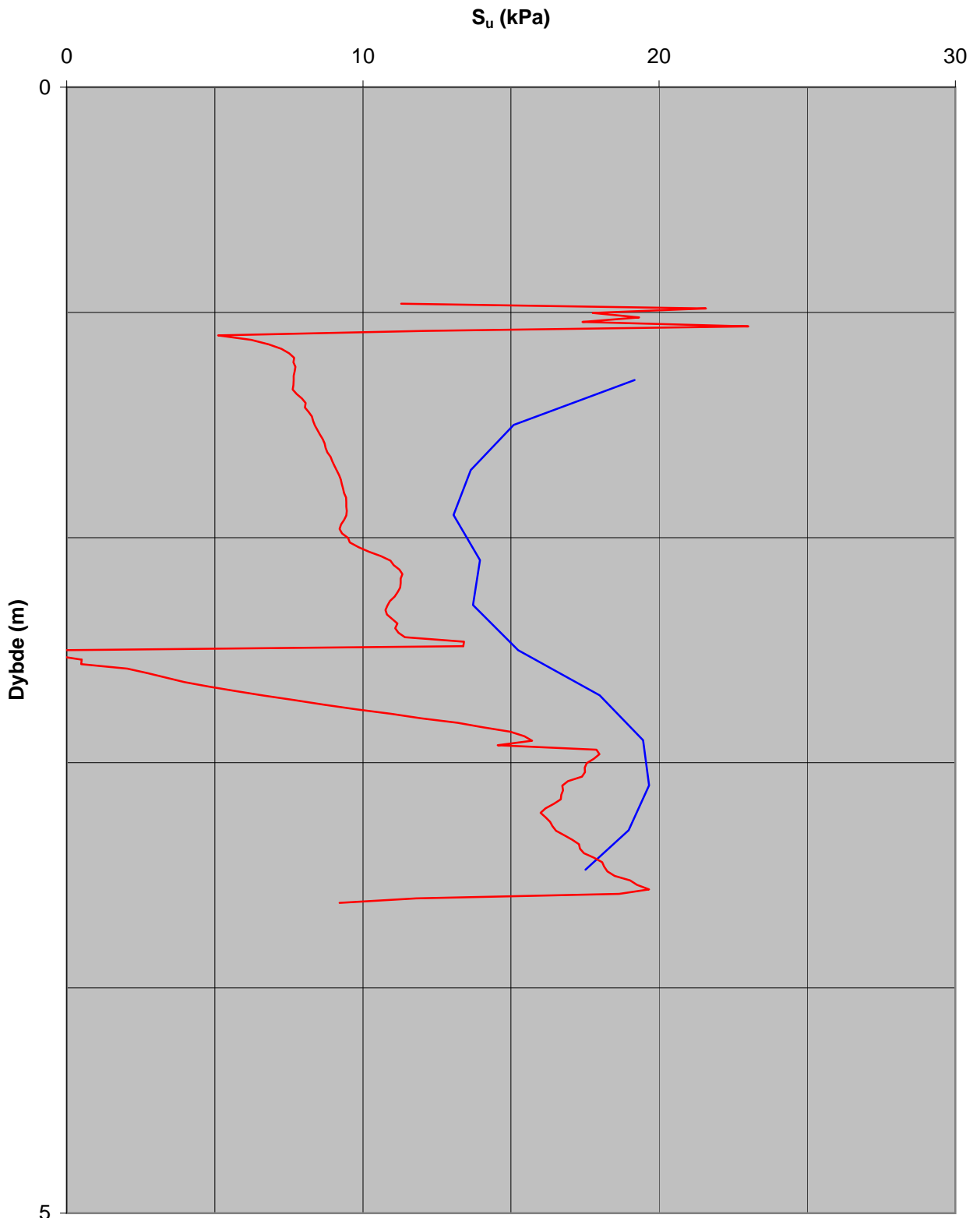
Project LÖDING-VIKAN
 Project nr 50513
 Site 357
 Designation 959
 Date 20100322



50513

Hull nr. 357

Beregnet s_u fra trykksondering (CPTU)



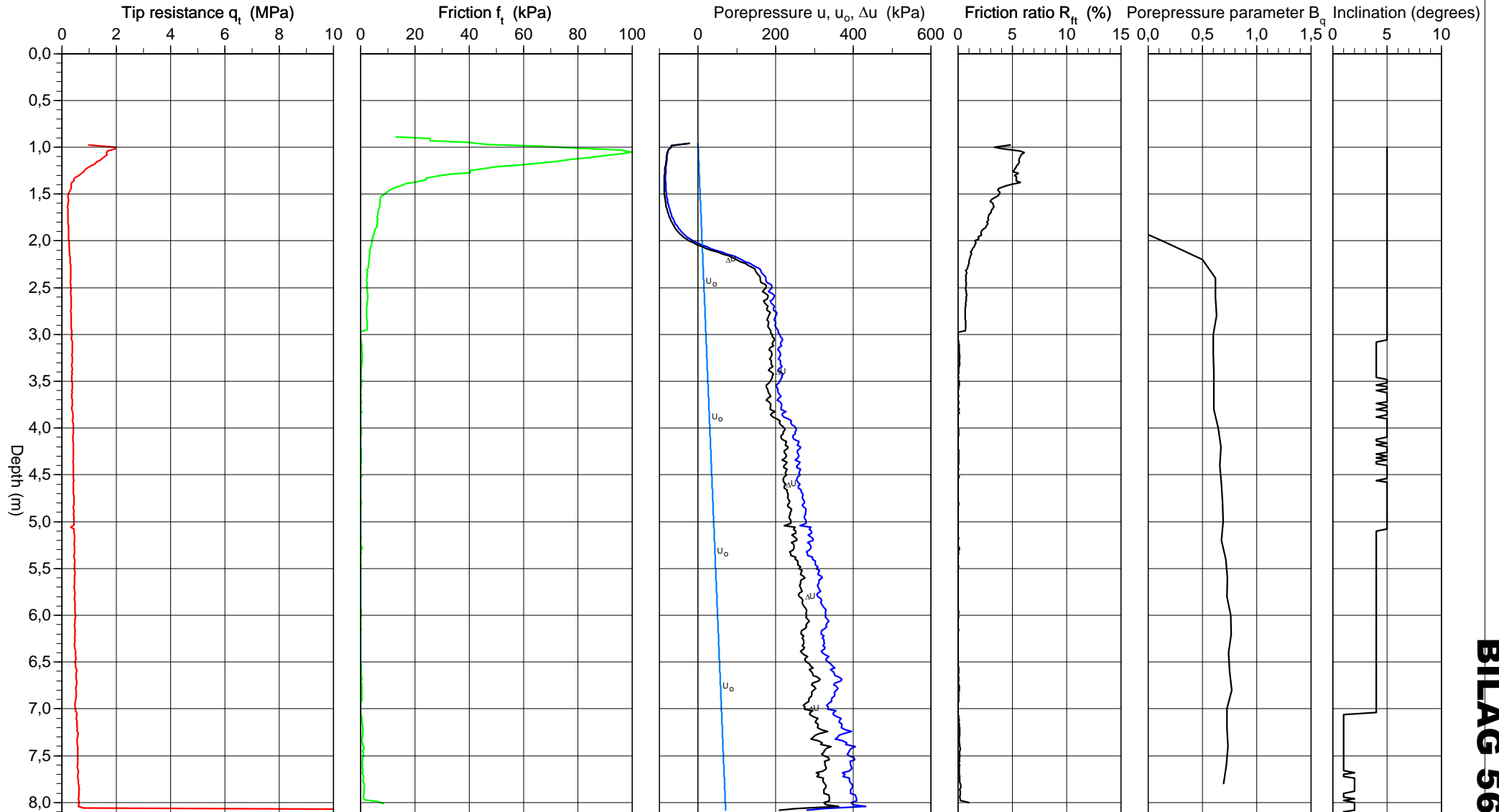
Bæreevnefaktor $N_{\Delta u}$ 9

— CPTU H357 - Spissmotstand — CPTU H357 - Poreovertrykk

CPT-test performed according to EN ISO 22476-1

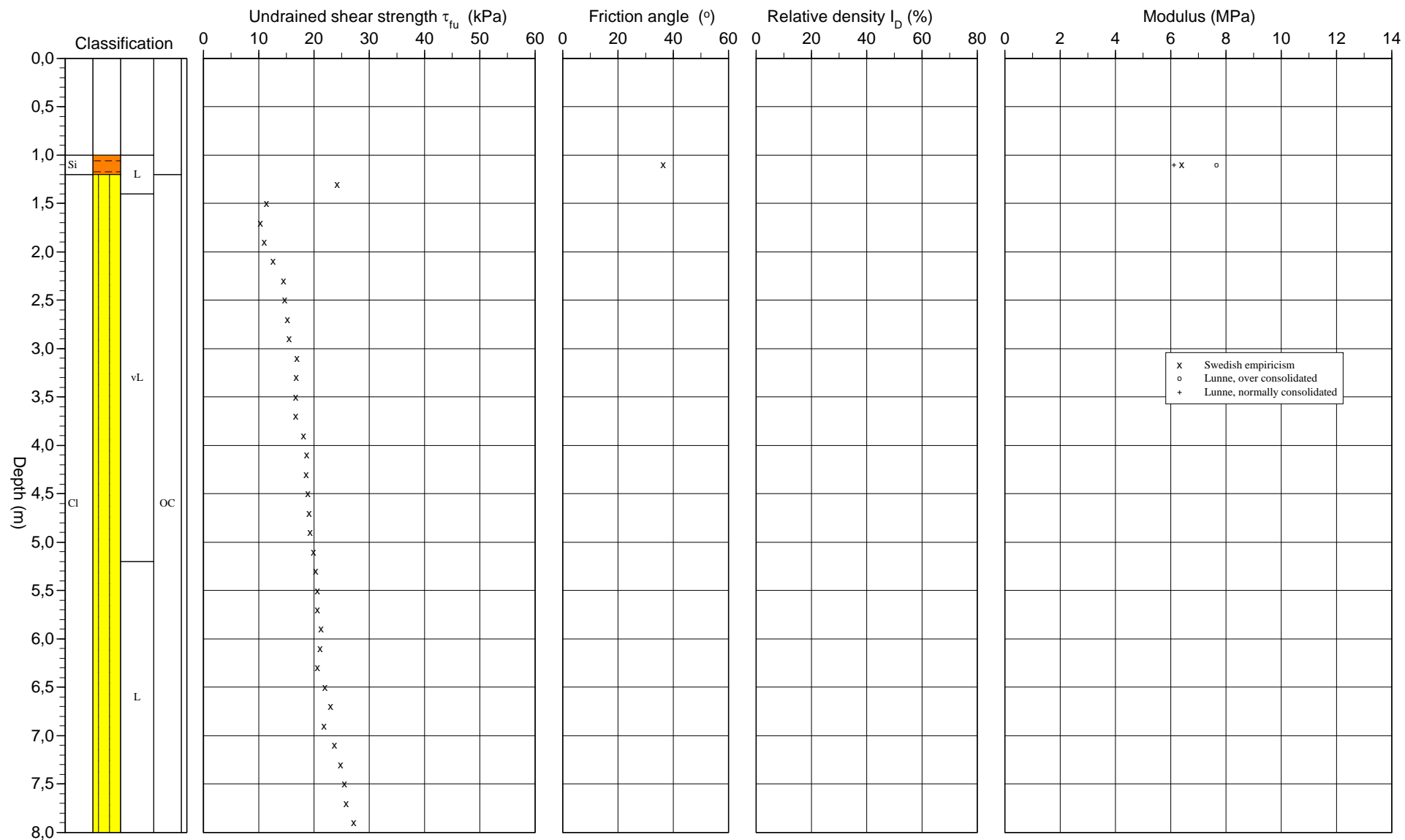
Predrilling depth	1,00 m	Reference	Terreng	Fluid in filter	Gelatin
Start depth	1,00 m	Level at reference	1,22 m	Coordinats	
Stop depth	8,12 m	Predrilled material		Equipment	Memocone MKII Cl 3
Ground water level	1,00 m	Geometry	Normal	Cone nr	50456

Project	LÖDING-VIKAN
Project nr	50513
Site	360
Designation	964
Date	20100325



Reference Terreng Predrilling depth 1,00 m Evaluator arisl
 Level at reference 1,22 m Predrilled material Evaluation date
 Ground water level 1,00 m Equipment Memocone MKII Cl 3
 Start depth 1,00 m Geometry Normal

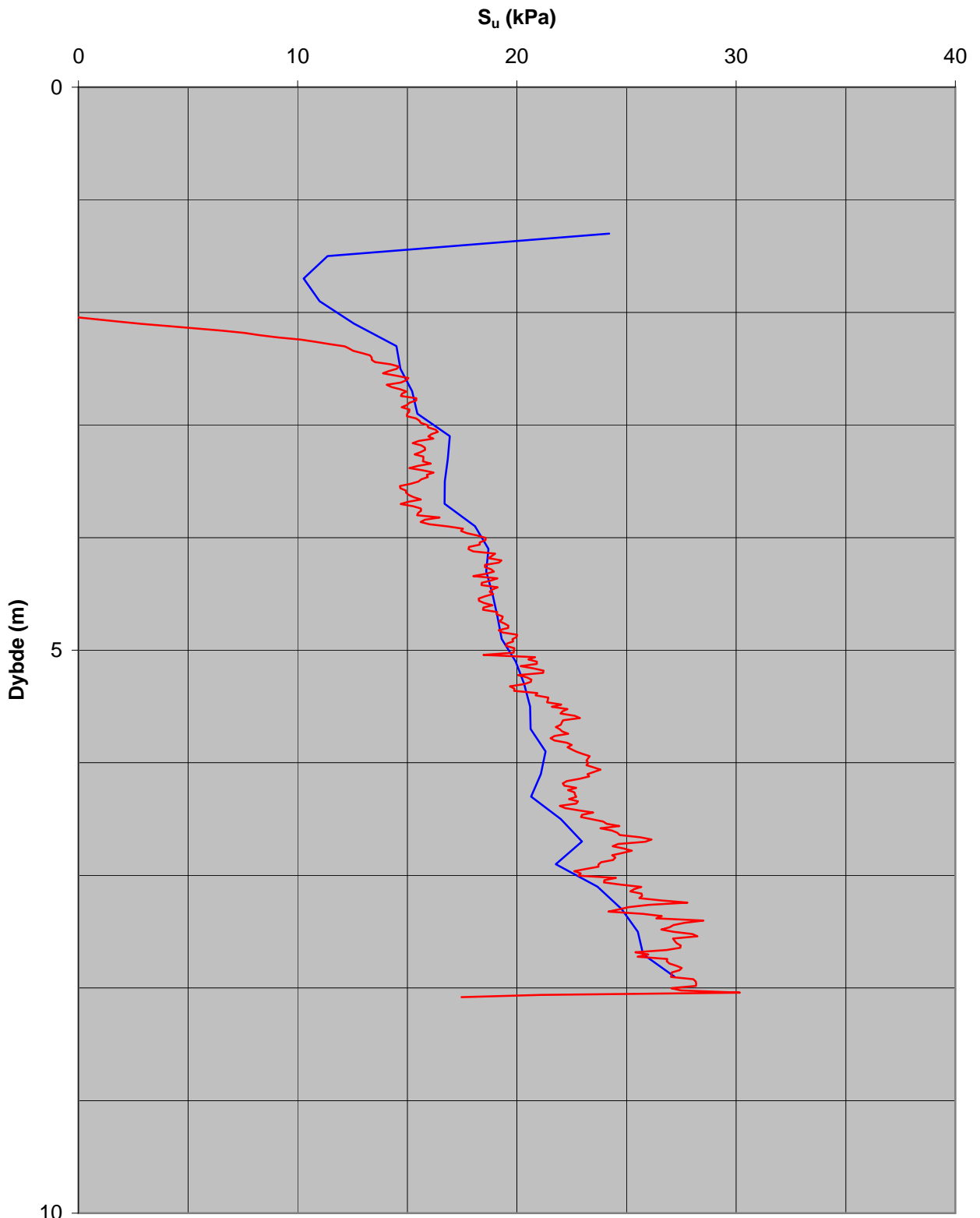
Project LÖDING-VIKAN
 Project nr 50513
 Site 360
 Designation 964
 Date 20100325



50513

Hull nr. 360

Beregnet s_u fra trykksondering (CPTU)



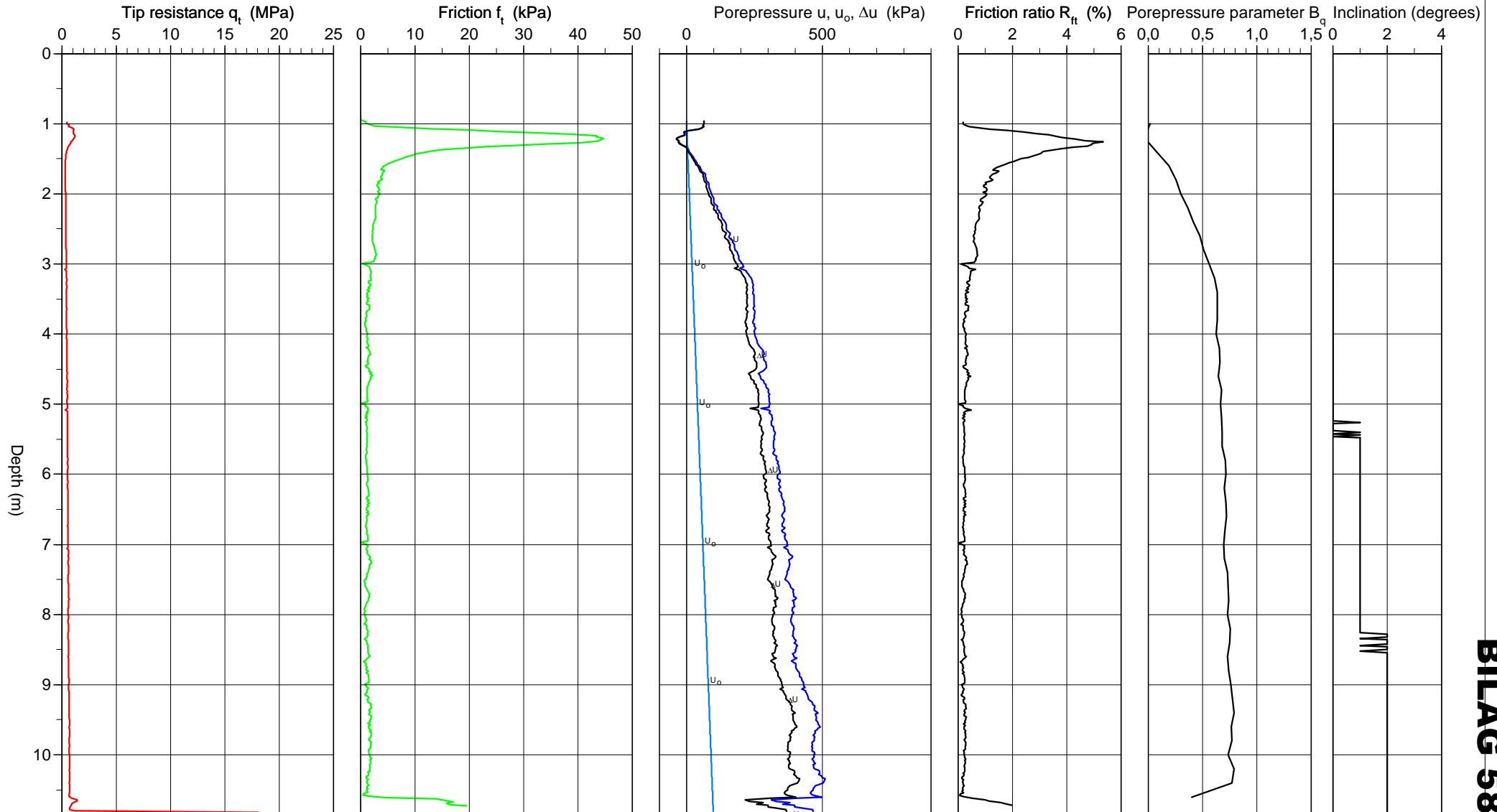
Bæreevnefaktor $N_{\Delta u}$ 12

— CPTU H360 - Spissmotstand — CPTU H360 - Poreovertrykk

CPT-test performed according to EN ISO 22476-1

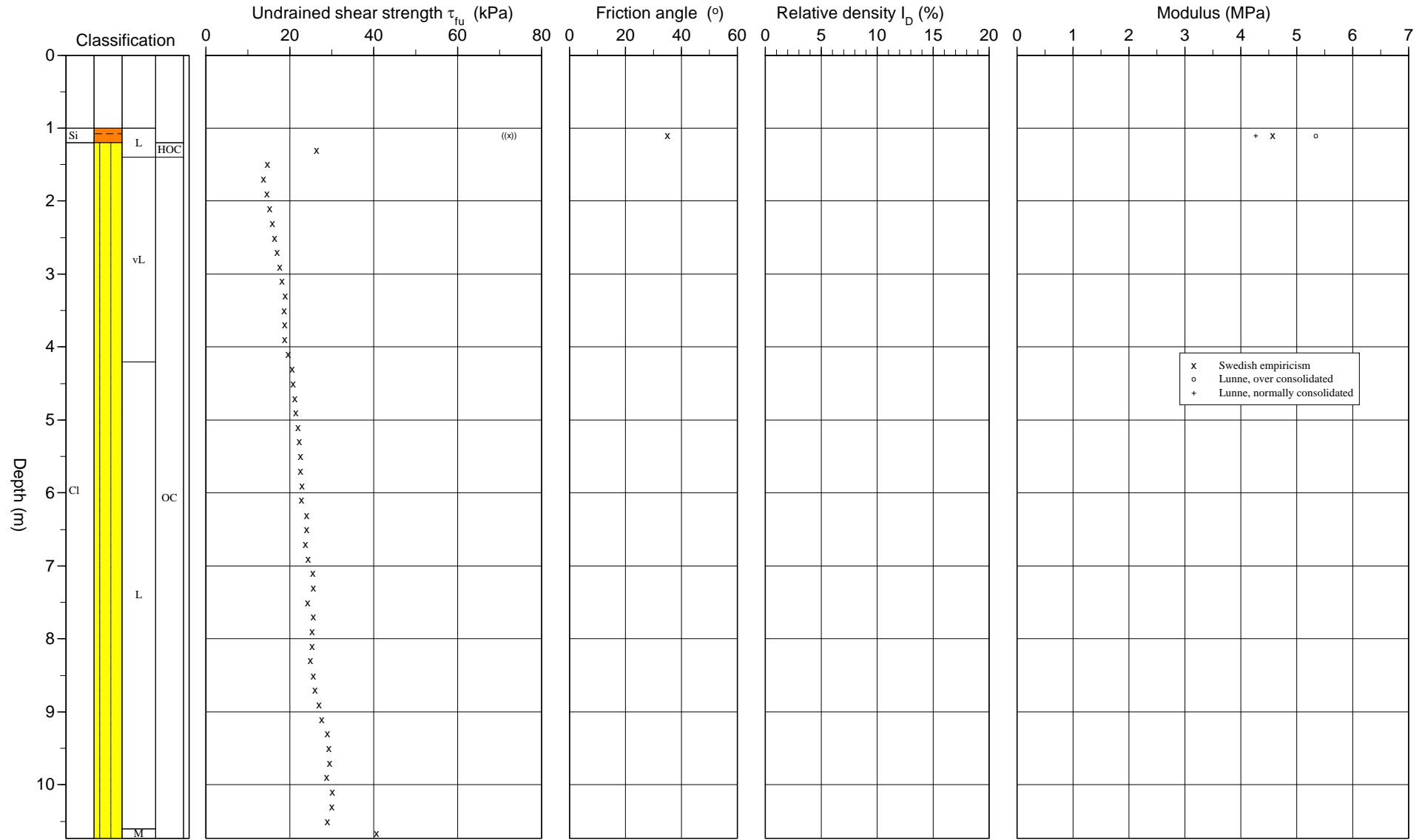
Predrilling depth	1,00 m	Reference	Terreng	Fluid in filter	Gelatin
Start depth	1,00 m	Level at reference	1,24 m	Coordinats	
Stop depth	10,84 m	Predrilled material		Equipment	Memocone MKII Cl 3
Ground water level	1,00 m	Geometry	Normal	Cone nr	50456

Project	LÖDING-VIKAN
Project nr	50513
Site	362
Designation	965
Date	20100325



Reference Terreng Predrilling depth 1,00 m Evaluator arisl
 Level at reference 1,24 m Predrilled material Evaluation date
 Ground water level 1,00 m Equipment Memocone MKII Cl 3
 Start depth 1,00 m Geometry Normal

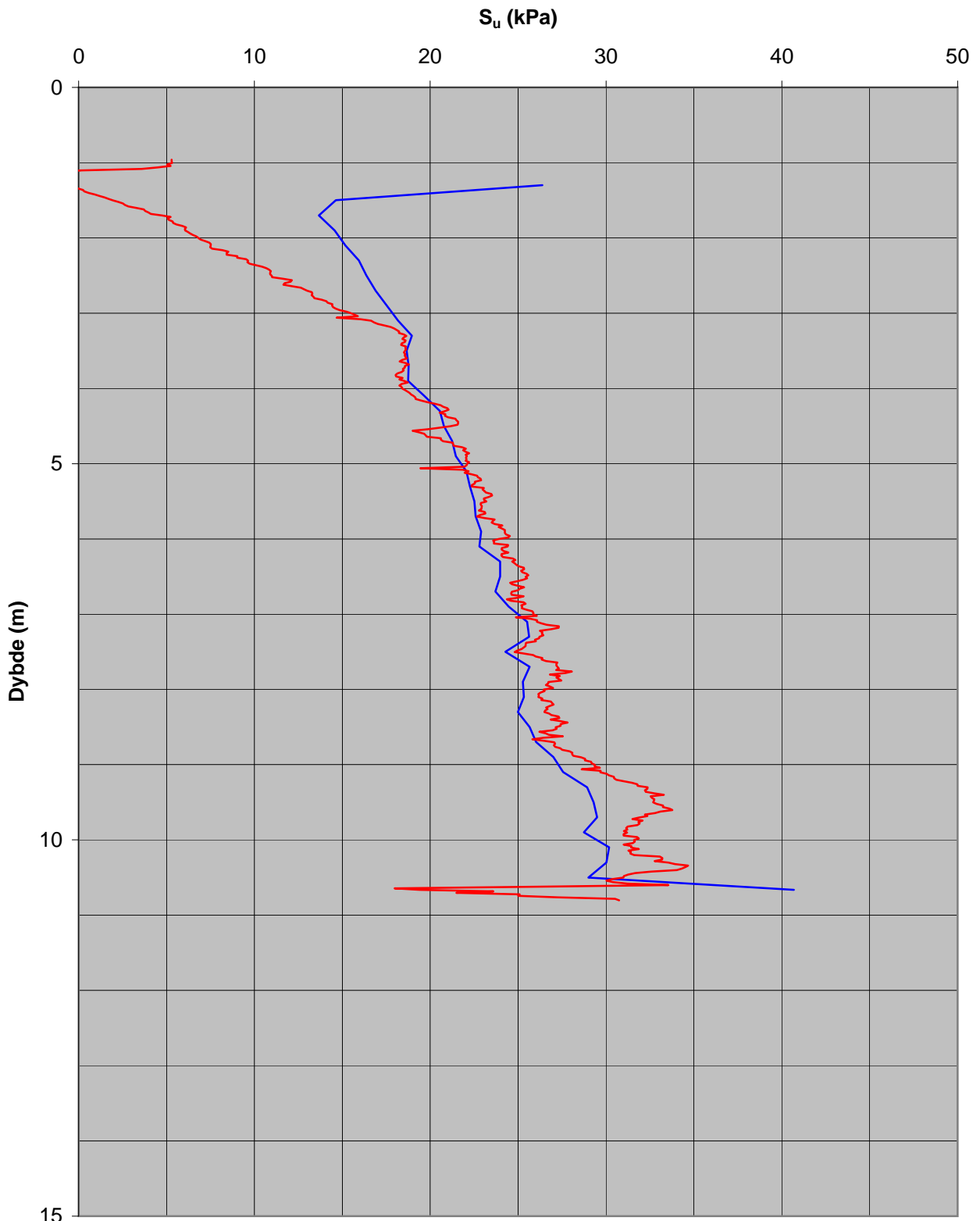
Project LÖDING-VIKAN
 Project nr 50513
 Site 362
 Designation 965
 Date 20100325



50513

Hull nr. 362

Beregnet s_u fra trykksondering (CPTU)



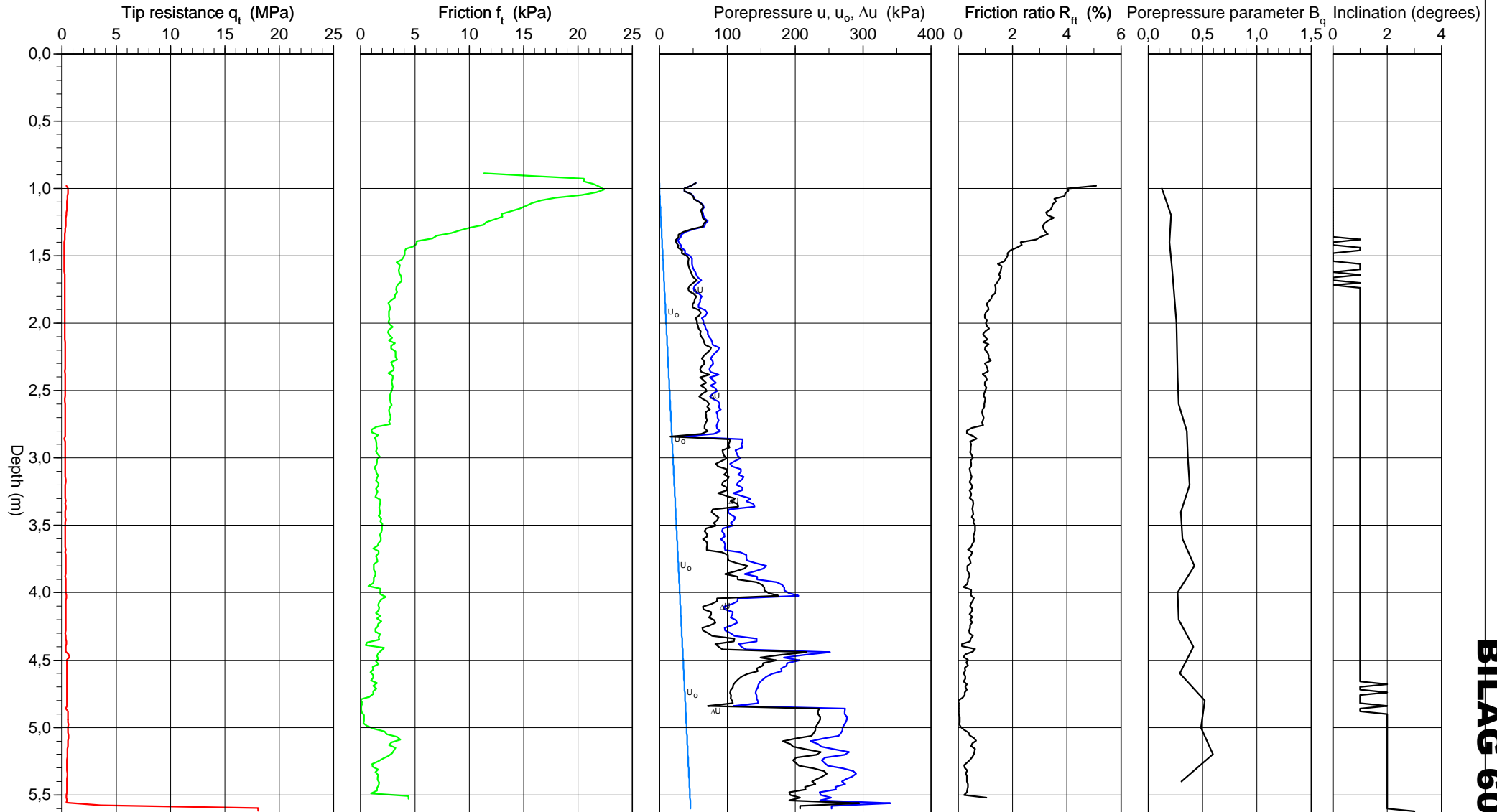
Bæreevnemfaktor $N_{\Delta u}$ 12

— CPTU H362 - Spissmotstand — CPTU H362 - Poreovertrykk

CPT-test performed according to EN ISO 22476-1

Predrilling depth	1,00 m	Reference	Terreng	Fluid in filter	Gelatin
Start depth	1,00 m	Level at reference	1,05 m	Coordinats	
Stop depth	5,64 m	Predrilled material		Equipment	Memocone MKII Cl 3
Ground water level	1,00 m	Geometry	Normal	Cone nr	50456

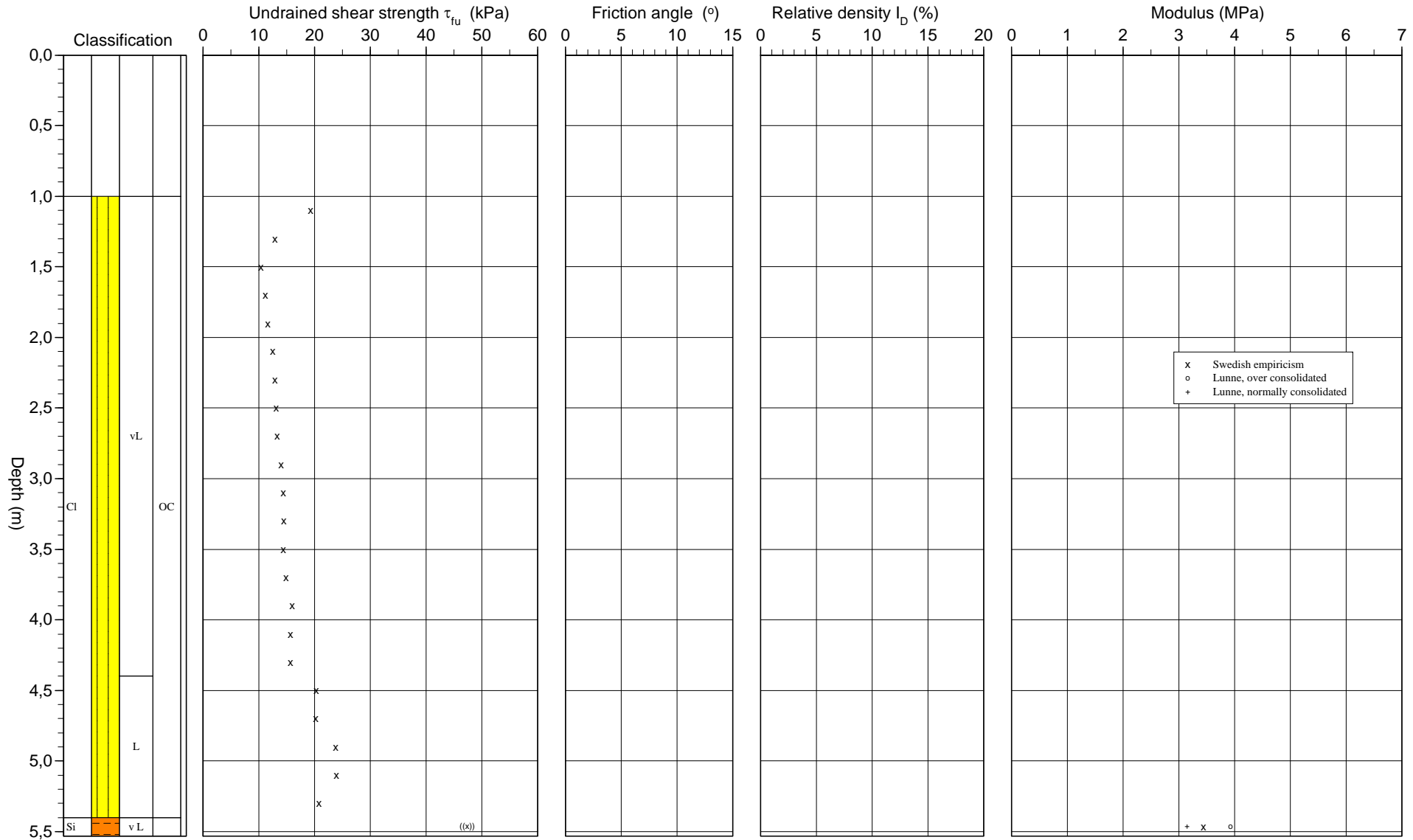
Project	LÖDING-VIKAN
Project nr	50513
Site	367
Designation	941
Date	20100317



BILAG 60

Reference	Terreng	Predrilling depth	1,00 m	Evaluator	arisl
Level at reference	1,05 m	Predrilled material		Evaluation date	
Ground water level	1,00 m	Equipment	Memocone MKII CI 3		
Start depth	1,00 m	Geometry	Normal		

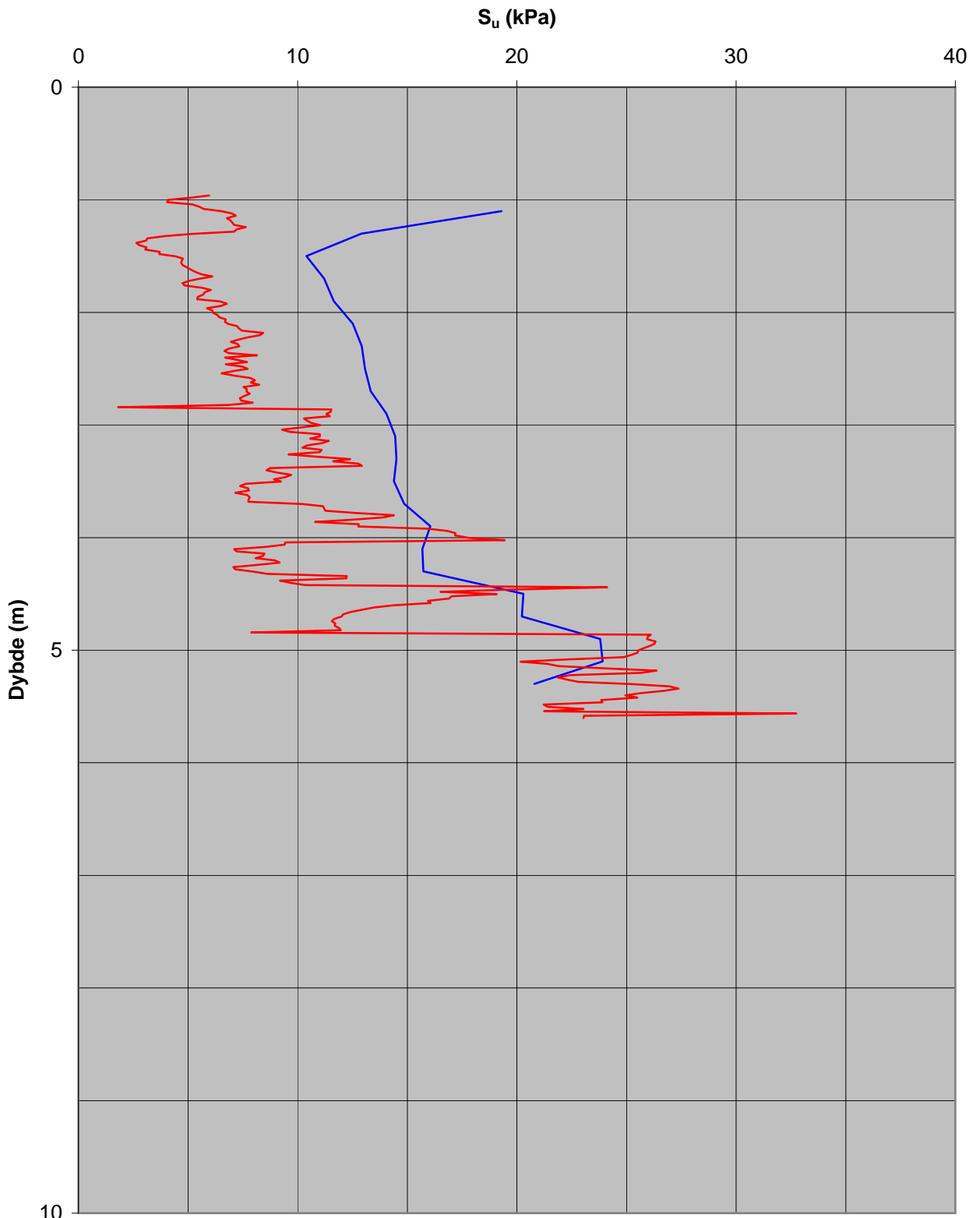
Project	LÖDING-VIKAN
Project nr	50513
Site	367
Designation	941
Date	20100317



50513

Hull nr. 367

Beregnet s_u fra trykksondering (CPTU)



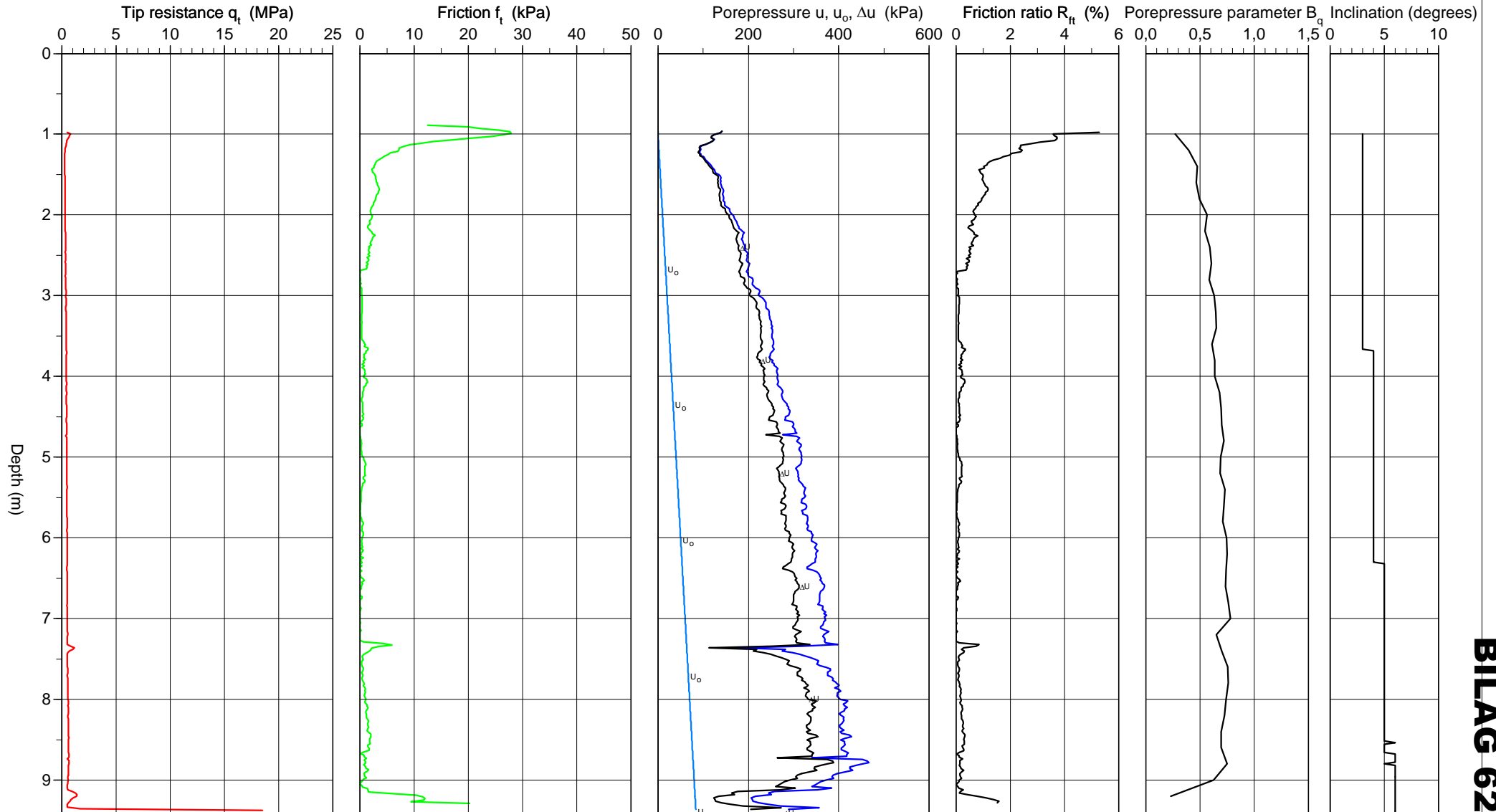
Bæreevnefaktor $N_{\Delta u}$ 9

— CPTU H367 - Spissmotstand — CPTU H367 - Poreovertrykk

CPT-test performed according to EN ISO 22476-1

Predrilling depth	1,00 m	Reference	Terreng	Fluid in filter	Gelatin
Start depth	1,00 m	Level at reference		Coordinats	
Stop depth	9,40 m	Predrilled material		Equipment	Memocone MKII Cl 3
Ground water level	1,00 m	Geometry	Normal	Cone nr	50456

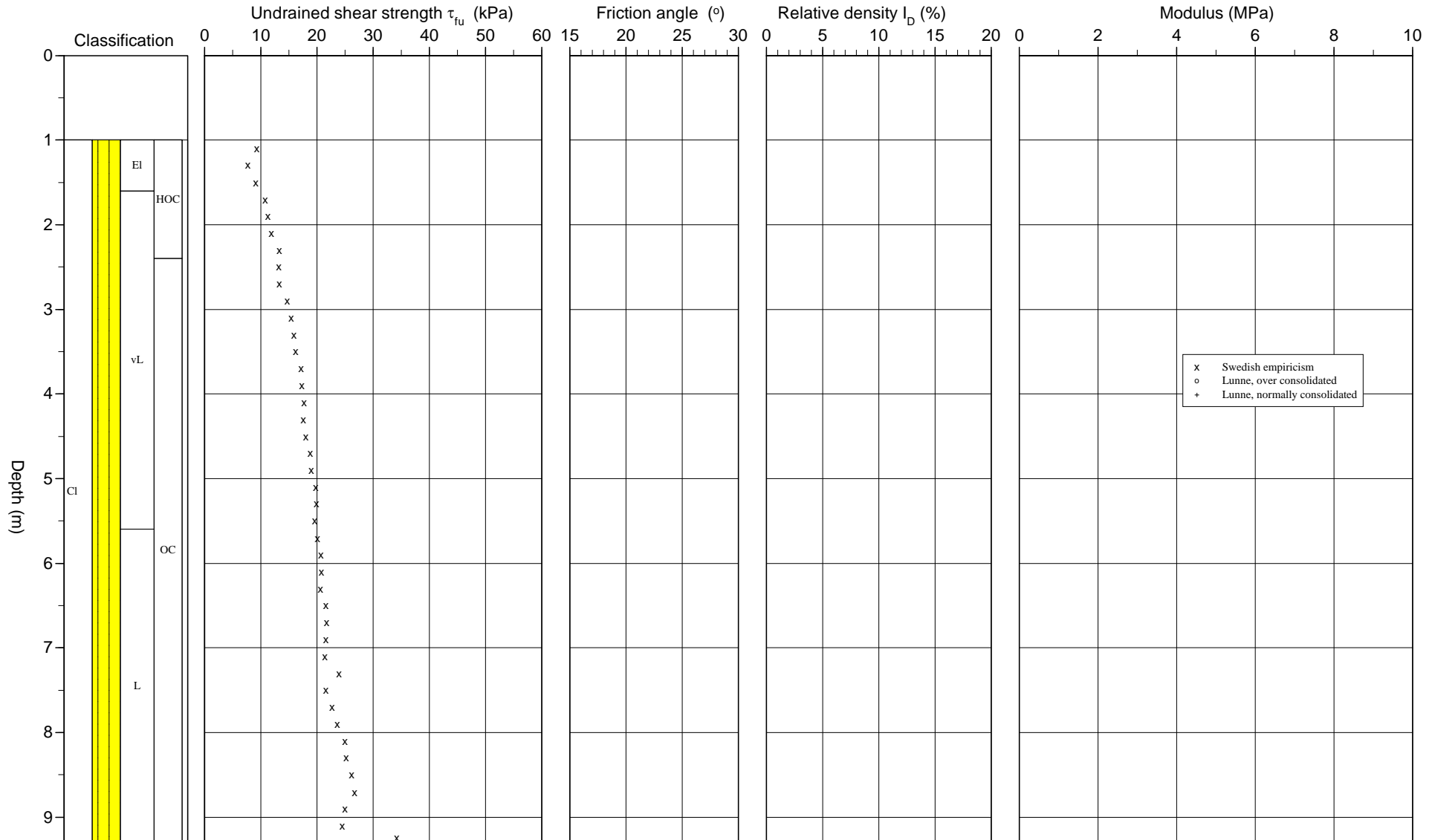
Project	LÖDING-VIKAN
Project nr	50513
Site	368
Designation	940
Date	20100317



BILAG 62

Reference Terreng Predrilling depth 1,00 m Evaluator arisl
 Level at reference Predrilled material Evaluation date
 Ground water level 1,00 m Equipment Memocone MKII CI 3
 Start depth 1,00 m Geometry Normal

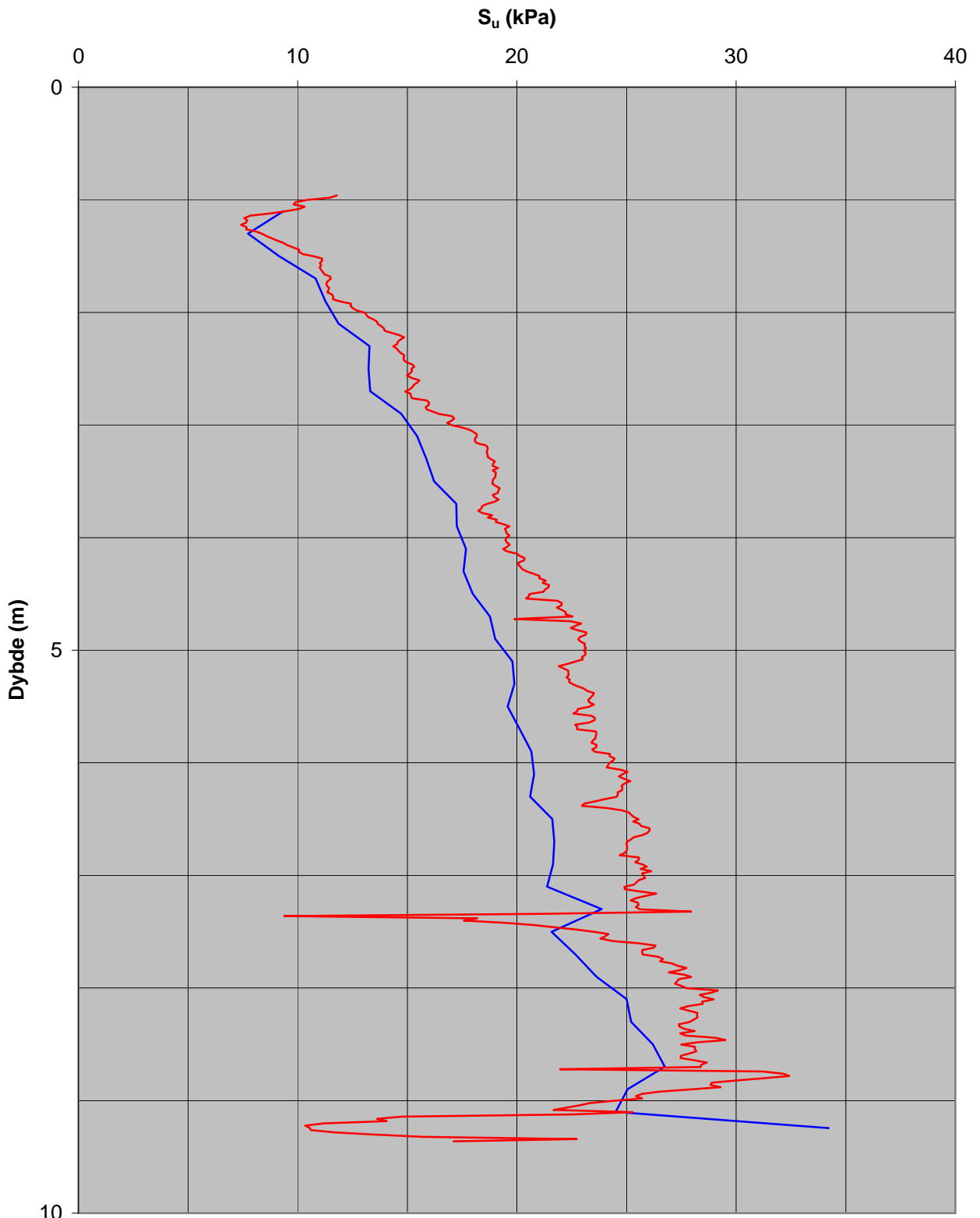
Project LÖDING-VIKAN
 Project nr 50513
 Site 368
 Designation 940
 Date 20100317



50513

Hull nr. 368

Beregnet s_u fra trykksondering (CPTU)



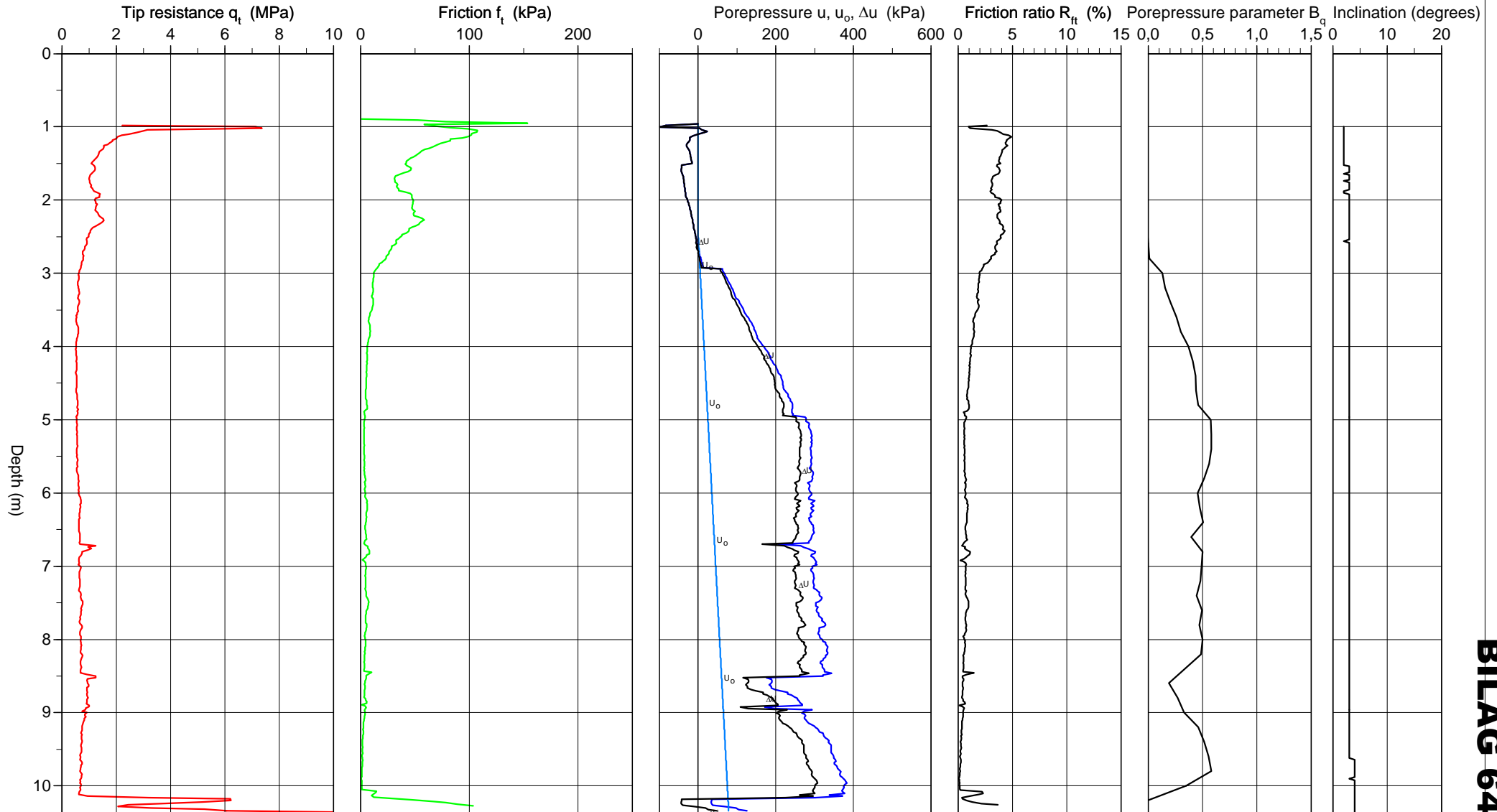
Bæreevnefaktor $N_{\Delta u}$ 12

— CPTU H368 - Spissmotstand — CPTU H368 - Poreovertrykk

CPT-test performed according to EN ISO 22476-1

Predrilling depth	1,00 m	Reference	Terreng	Fluid in filter	Gelatin
Start depth	1,00 m	Level at reference	8,99 m	Coordinats	
Stop depth	10,38 m	Predrilled material		Equipment	Memocone MKII Cl 3
Ground water level	2,50 m	Geometry	Normal	Cone nr	50456

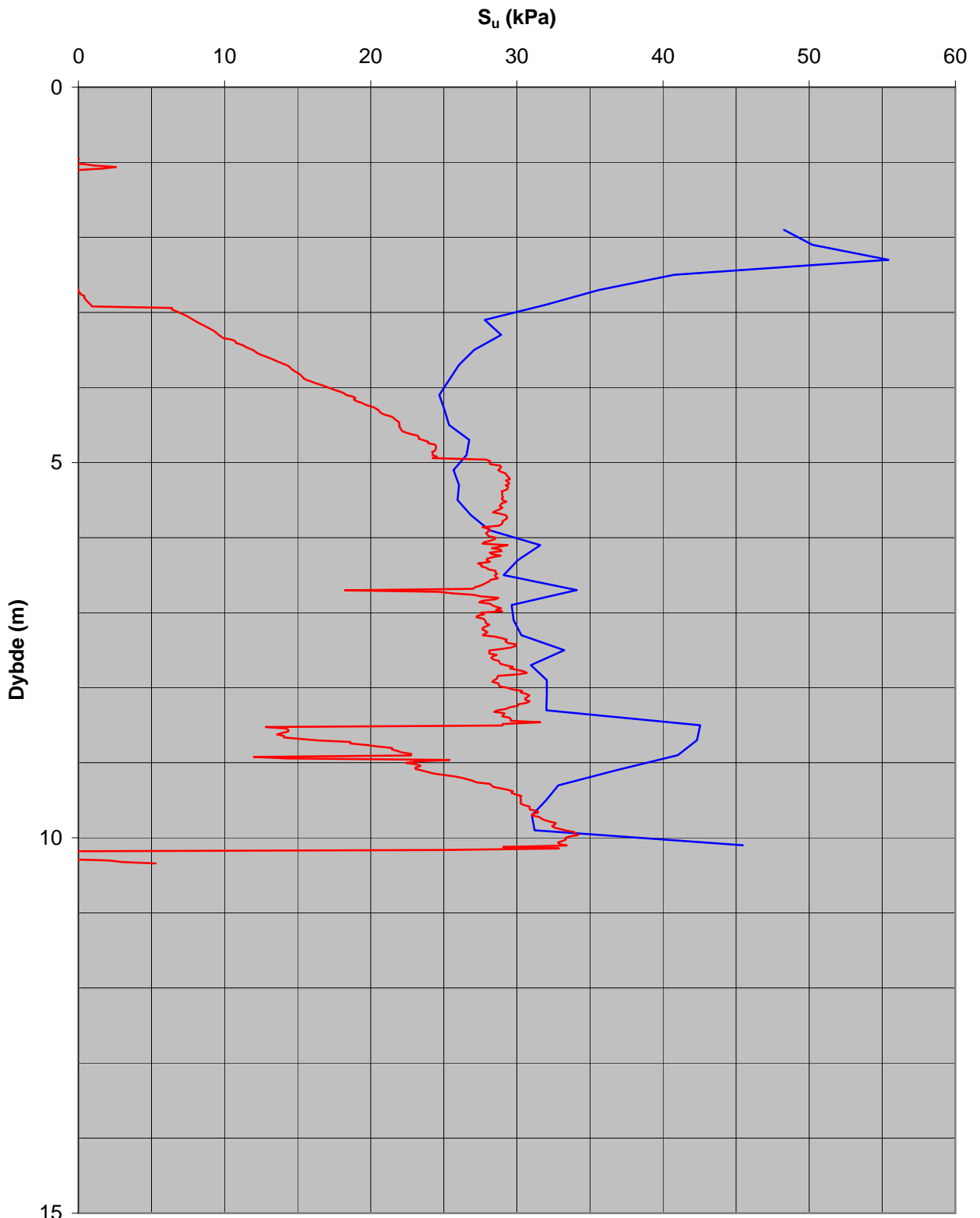
Project	LÖDING-VIKAN
Project nr	50513
Site	372
Designation	963
Date	20100324



50513

Hull nr. 372

Beregnet s_u fra trykksondering (CPTU)



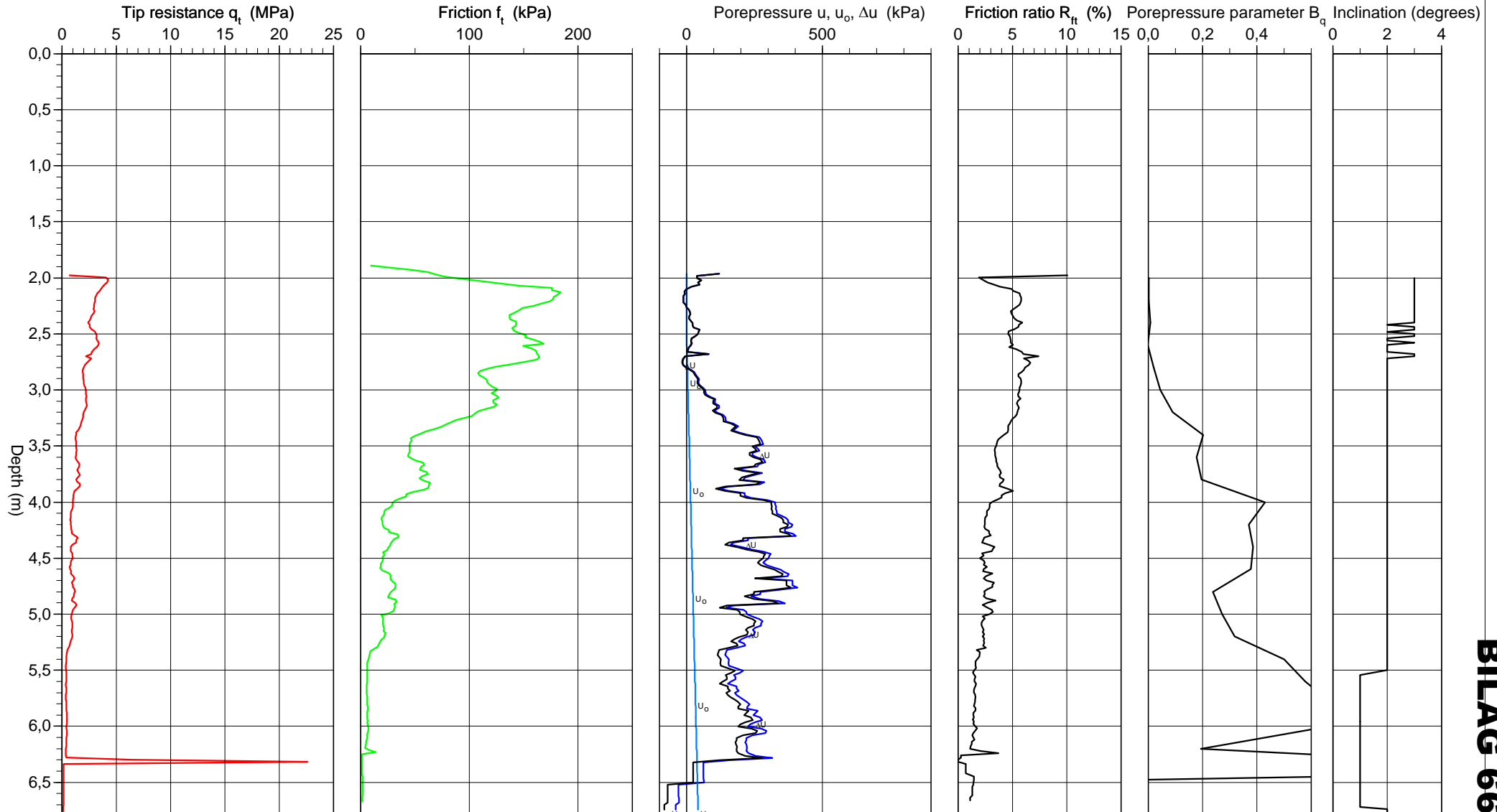
Bæreevnefaktor $N_{\Delta u}$ 9

— CPTU H372 - Spissmotstand — CPTU H372 - Poreovertrykk

CPT-test performed according to EN ISO 22476-1

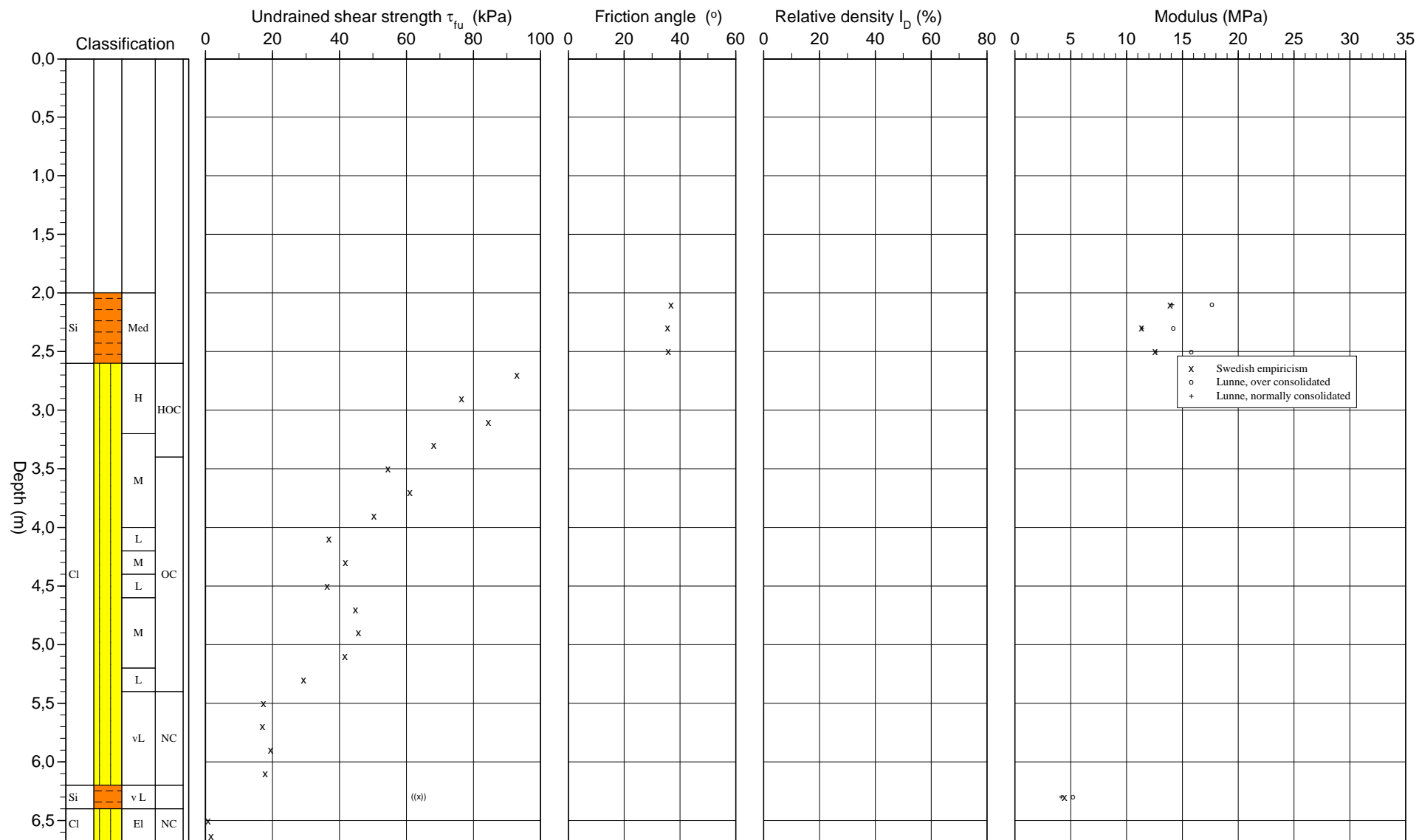
Predrilling depth	2,00 m	Reference	Terreng	Fluid in filter	Gelatin
Start depth	2,00 m	Level at reference	13,66 m	Coordinats	
Stop depth	6,78 m	Predrilled material		Equipment	Memocone MKII Cl 3
Ground water level	2,50 m	Geometry	Normal	Cone nr	50456

Project	LÖDING-VIKAN
Project nr	50513
Site	375
Designation	931
Date	20100316



Reference Terreng Predrilling depth 2,00 m Evaluator arisl
 Level at reference 13,66 m Predrilled material Evaluation date
 Ground water level 2,50 m Equipment Memocone MKII Cl 3
 Start depth 2,00 m Geometry Normal

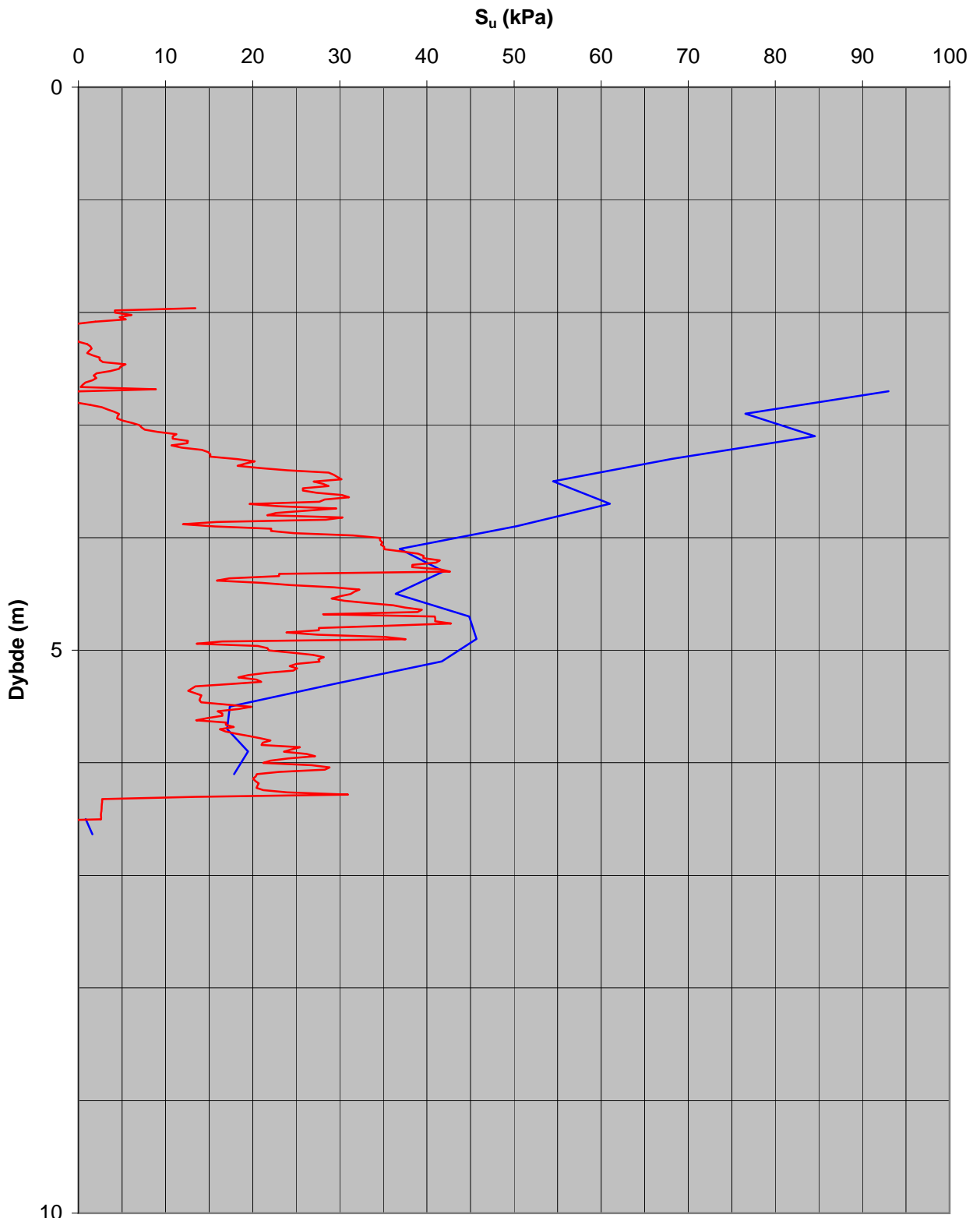
Project LÖDING-VIKAN
 Project nr 50513
 Site 375
 Designation 931
 Date 20100316



50513

Hull nr. 375

Beregnet s_u fra trykksondering (CPTU)



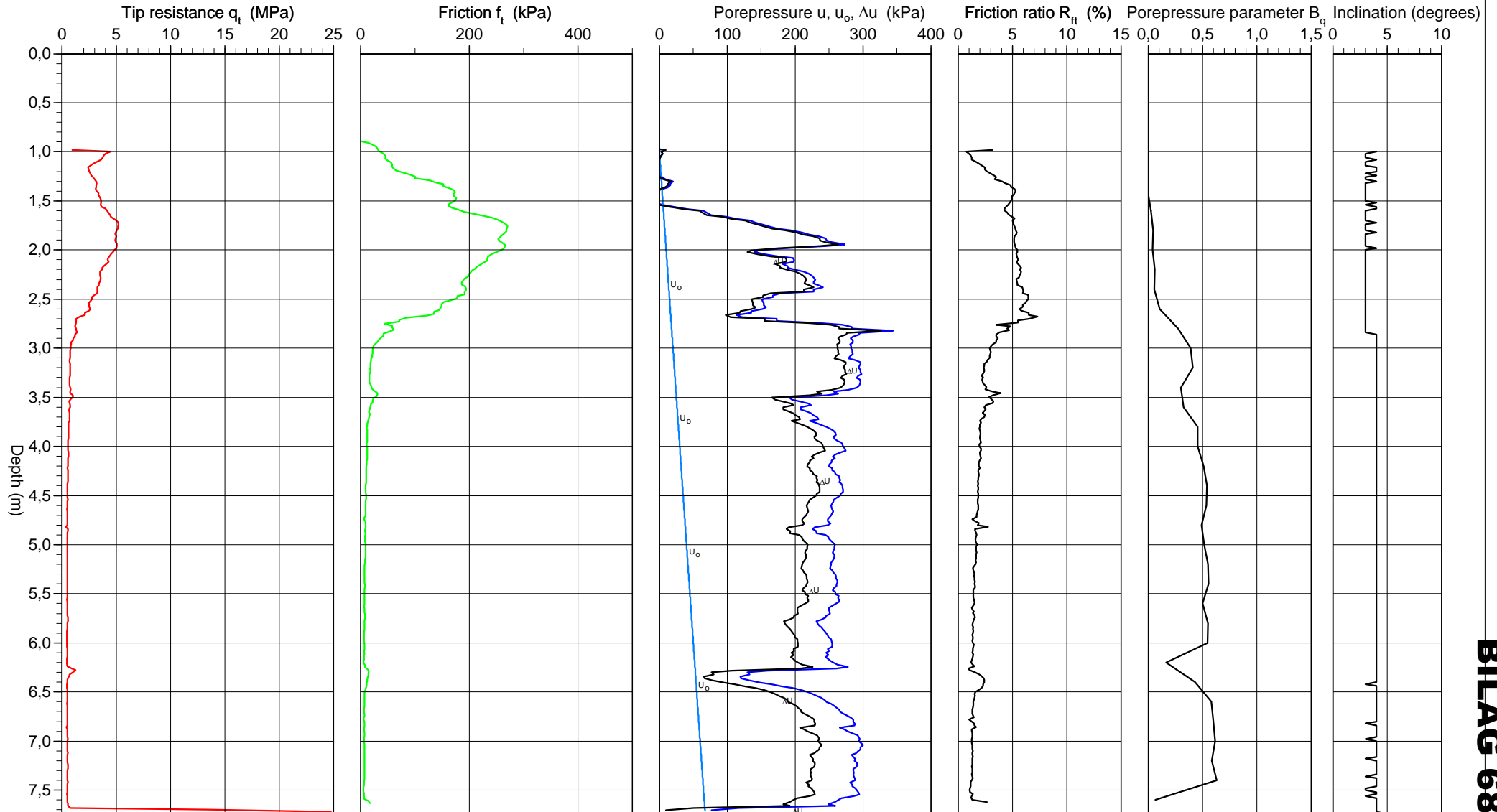
Bæreevnfaktor $N_{\Delta u}$ 9

— CPTU H375 - Spissmotstand — CPTU H375 - Poreovertrykk

CPT-test performed according to EN ISO 22476-1

Predrilling depth	1,00 m	Reference	Terreng	Fluid in filter	Gelatin
Start depth	1,00 m	Level at reference	16,83 m	Coordinats	
Stop depth	7,74 m	Predrilled material		Equipment	Memocone MKII Cl 3
Ground water level	1,00 m	Geometry	Normal	Cone nr	50456

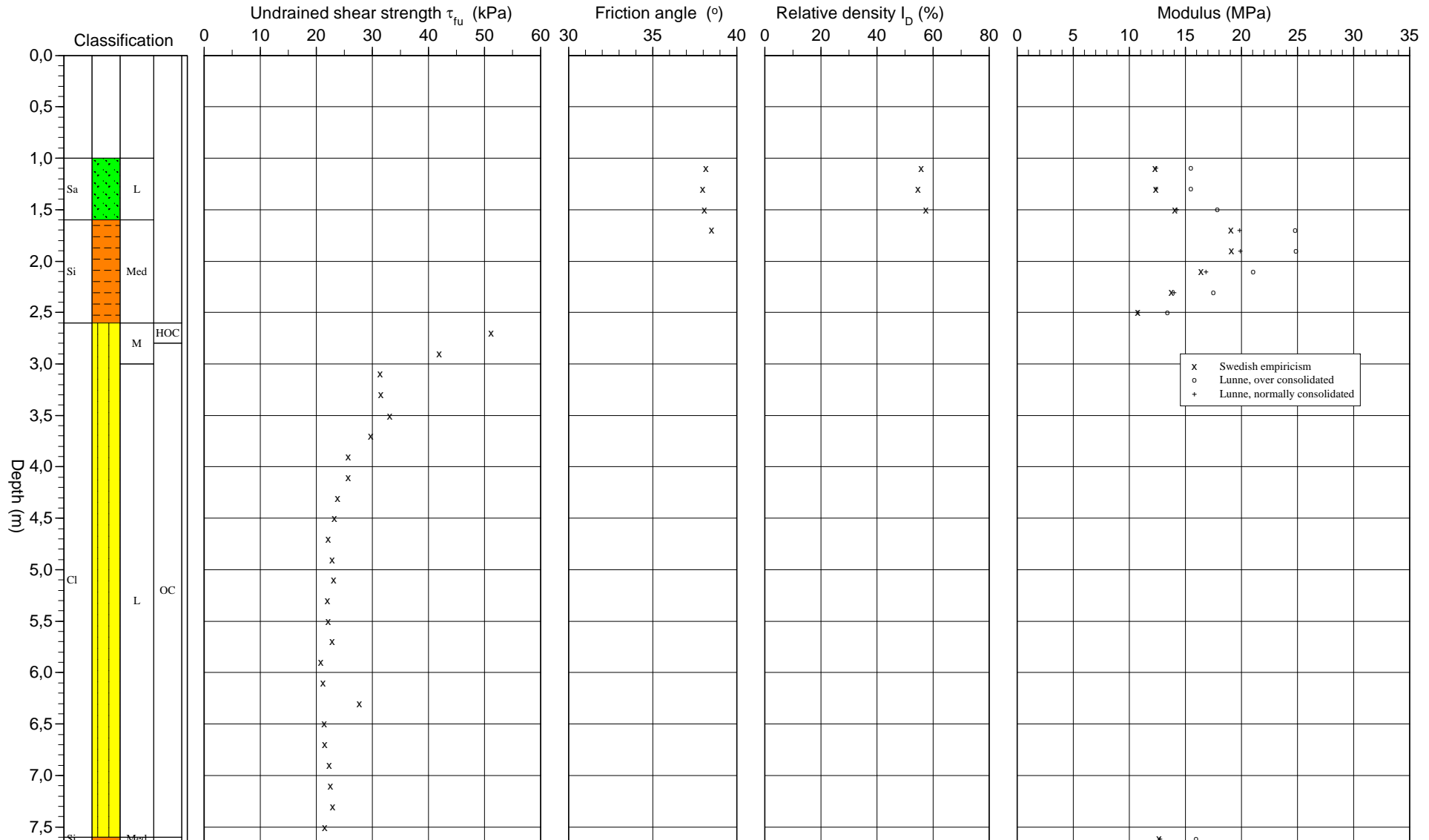
Project	Rv80 Løding - Vikan
Project nr	50513
Site	385
Designation	922
Date	20100310



CPT test evaluated according to SGI Information 15 rev. 2007

Reference Terreng Predrilling depth 1,00 m Evaluator arisl
 Level at reference 16,83 m Predrilled material Evaluation date
 Ground water level 1,00 m Equipment Memocone MKII CI 3
 Start depth 1,00 m Geometry Normal

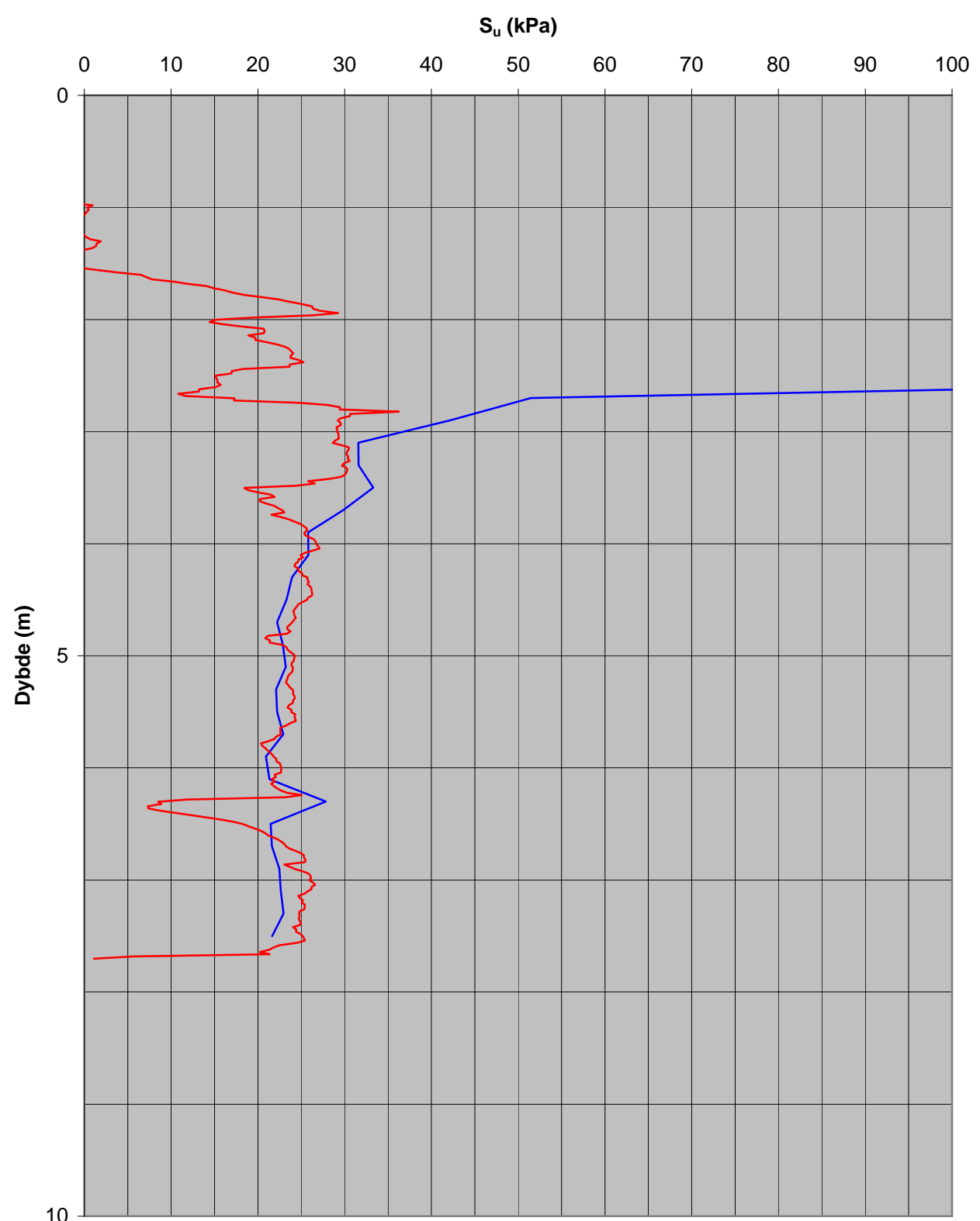
Project Rv80 Løding - Vikan
 Project nr 50513
 Site 385
 Designation 922
 Date 20100310



50513

Hull nr. 385

Beregnet s_u fra trykksondering (CPTU)



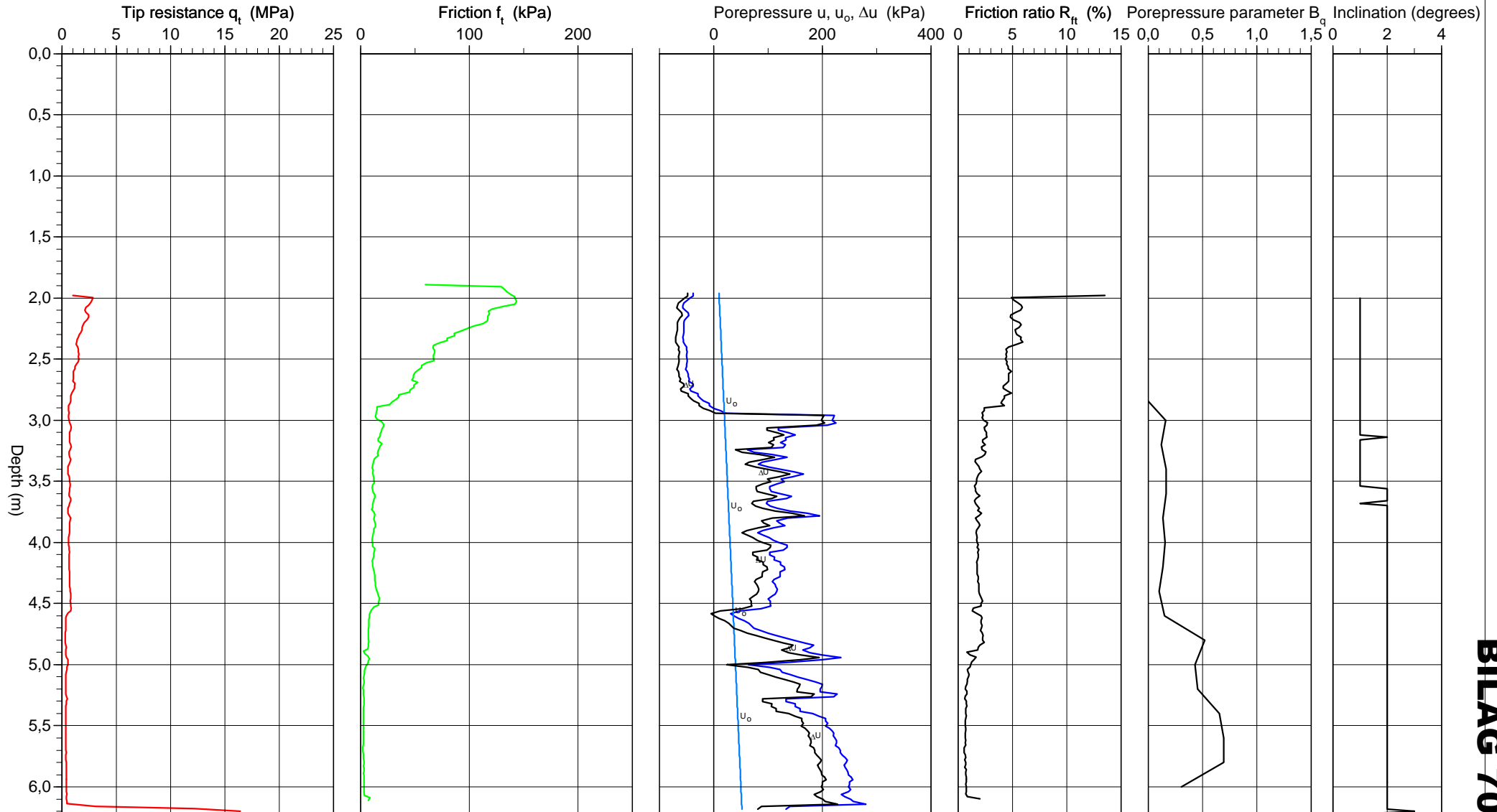
Bæreevnafaktor $N_{\Delta u}$ 9

— CPTU H385 - Spissmotstand — CPTU H385 - Poreovertrykk

CPT-test performed according to EN ISO 22476-1

Predrilling depth	2,00 m	Reference	Terreng	Fluid in filter	Gelatin
Start depth	2,00 m	Level at reference	13,92 m	Coordinats	
Stop depth	6,22 m	Predrilled material		Equipment	Memocone MKII Cl 3
Ground water level	1,00 m	Geometry	Normal	Cone nr	50456

Project	LÖDING-VIKAN
Project nr	50513
Site	386
Designation	932
Date	20100316

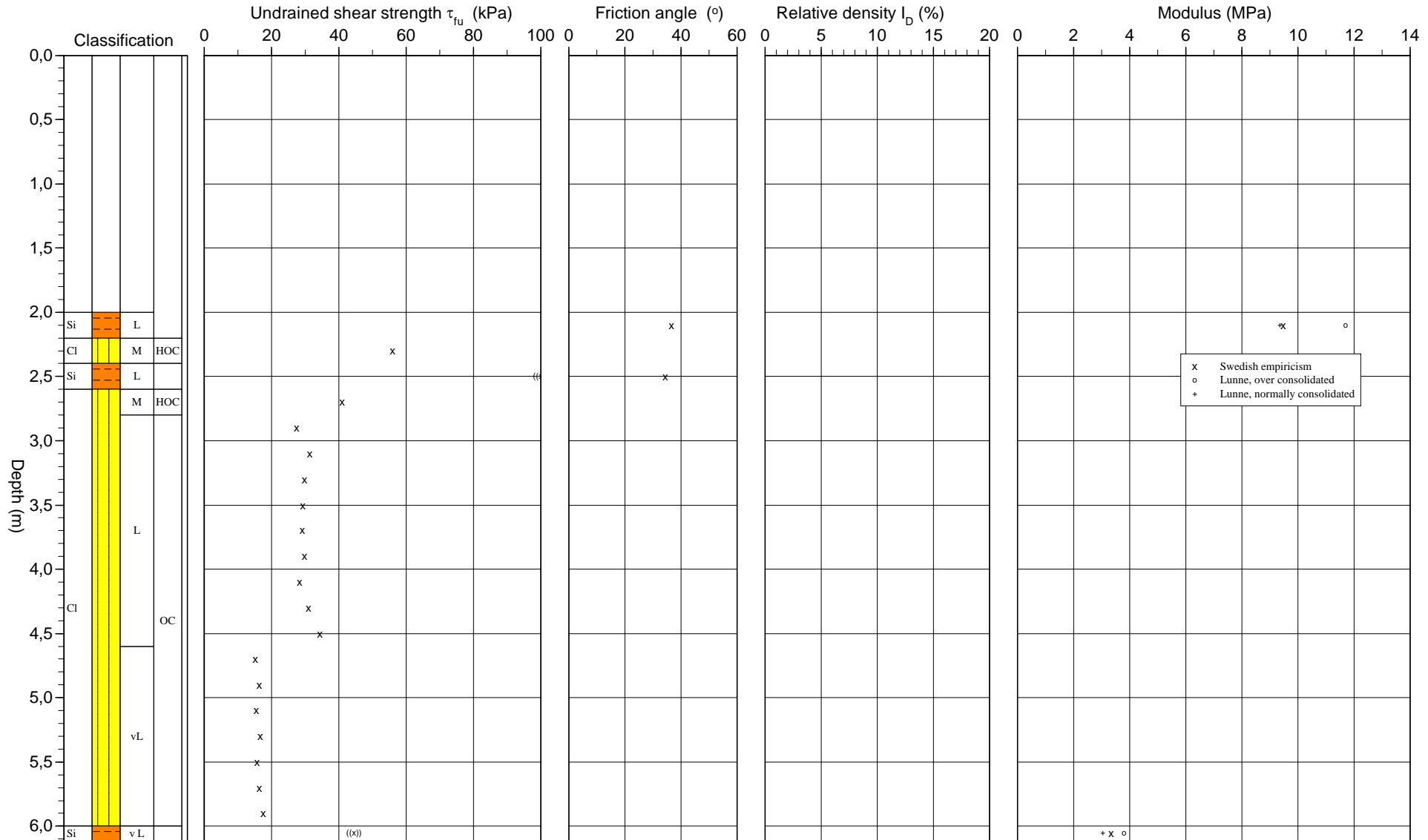


BILAG 70

CPT test evaluated according to SGI Information 15 rev. 2007

Reference Terreng Predrilling depth 2,00 m Evaluator arisl
 Level at reference 13,92 m Predrilled material Evaluation date
 Ground water level 1,00 m Equipment Memocone MKII CI 3
 Start depth 2,00 m Geometry Normal

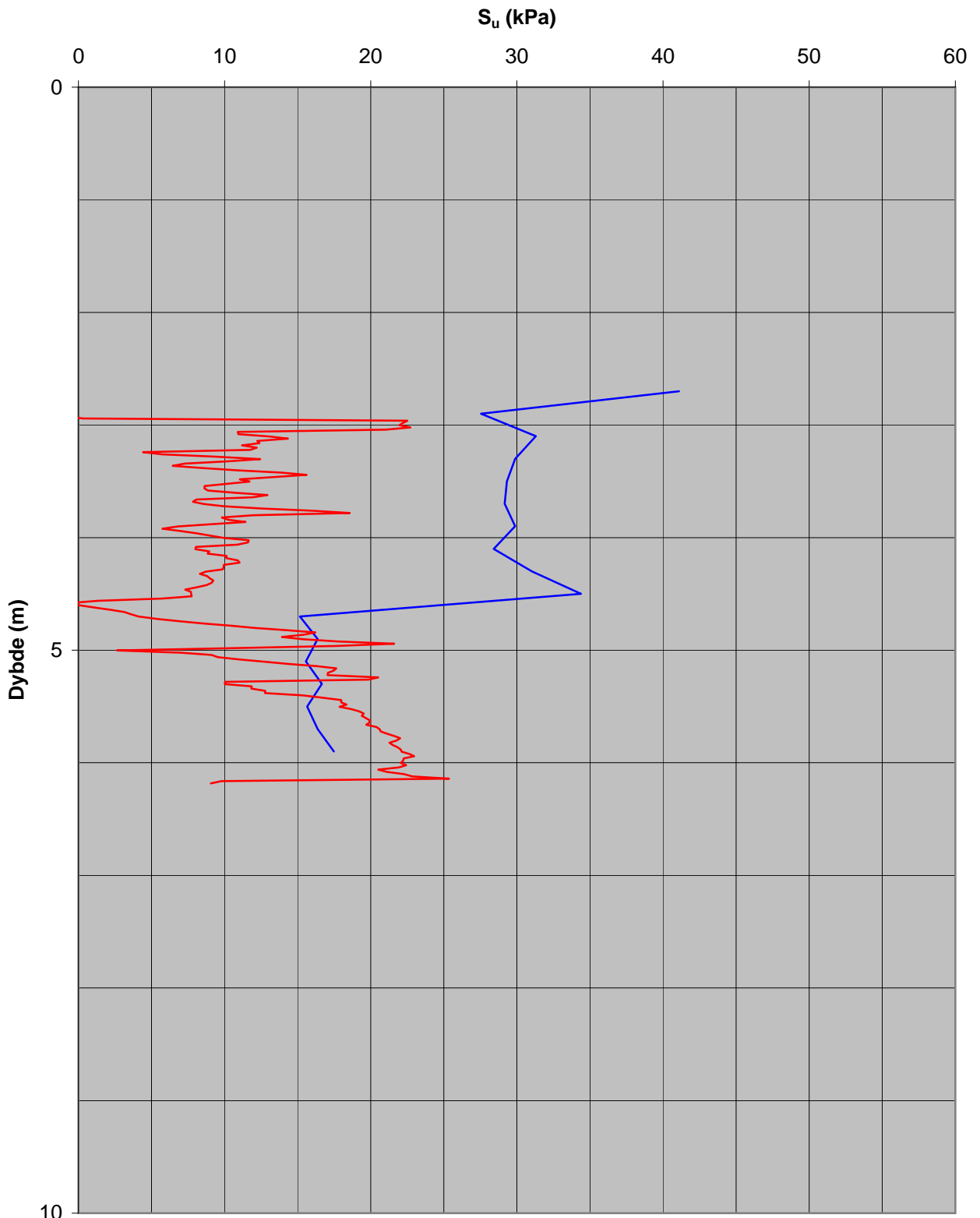
Project LÖDING-VIKAN
 Project nr 50513
 Site 386
 Designation 932
 Date 20100316



50513

Hull nr. 386

Beregnet s_u fra trykksondering (CPTU)



Bæreevnefaktor $N_{\Delta u}$ 9

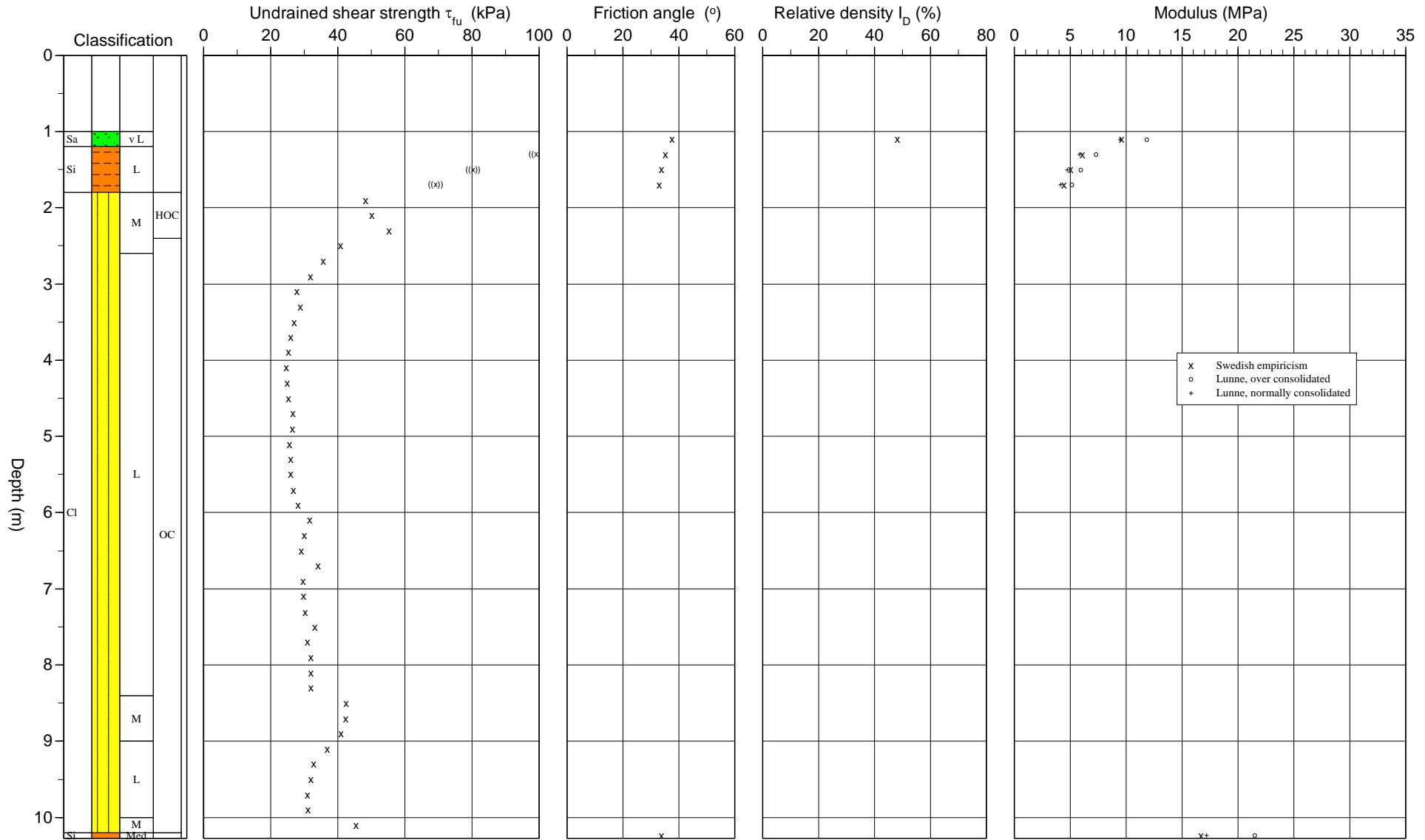
— CPTU H386 - Spissmotstand — CPTU H386 - Poreovertrykk

Reference Terreng
 Level at reference 8,99 m
 Ground water level 2,50 m
 Start depth 1,00 m

Predrilling depth 1,00 m
 Predrilled material
 Equipment Memocone MKII CI 3
 Geometry Normal

Evaluator arisl
 Evaluation date

Project LÖDING-VIKAN
 Project nr 50513
 Site 372
 Designation 963
 Date 20100324



RESULTATER FRA LABORATORIEANALYSER

HULL 24-1

Prøve	Dybde [m]	w [%]	w _p [%]	w _L [%]	I _p	su _u (kPa)	su _o (kPa)	S _t	su _e (kPa)	Brudd- def [%]	γ (kN/m ³)	Jordart
1	0,10	7,8										
1	0,45											Sandig. Grusig Materiale
1	1,00											
2	1,10	16,1										
2	1,45											Sa. Si. Le Materiale
2	2,00											
3	2,10											
3	2,15	26,1							7,0	15,0		
3	2,25	21,6		16,0		5,5	0,3	18,3				
3	2,35	23,2							8,0	10,0	20,7	Si. Sa. Le Materiale
3	2,45	22,7							10,5	10,0		
3	2,80											
4	3,10											
4	3,15	37,3							11,0	6,0		
4	3,25	28,8							11,0	8,0		
4	3,35	31,5		22,0		10,8	0,2	54,0			19,5	Siltig. Sandig Leire
4	3,45	31,5							7,0	8,0		
4	3,80											
5	4,10	28,1										
5	4,25	32,4							9,5	10,0		
5	4,35			21,0		10,2	0,3	34,0			20,1	Siltig Leire
5	4,45	25,1							10,0	8,0		
5	4,55	25,4							7,0	15,0		
5	4,80											
6	5,10	25,6										
6	5,15	22,6							7,5	11,0		
6	5,25			20,0		12,6	0,1	126,0				
6	5,35	30,5							6,5	12,0	20,1	Siltig Leire
6	5,45								5,5	14,0		
6	5,80											
7	6,10											
7	6,15	32,4							8,5	8,0		
7	6,25	31,8		22,0		11,8	0,2	59,0				
7	6,35	33,9							7,5	7,0	19,5	Leire
7	6,45	32,9							7,0	8,0		
7	6,80											
8	7,10	31,5							6,5	10,0		
8	7,15	28,0		19,0		8,5	0,1	85,0				
8	7,25	29,8							6,0	8,0		
8	7,35	29,8									19,5	Leire
8	7,80											

RESULTATER FRA LABORATORIEANALYSER

HULL 28-1

Prøve	Dybde [m]	w [%]	w _p [%]	w _L [%]	I _p	su _u (kPa)	su _o (kPa)	S _t	su _e (kPa)	Brudd- def [%]	γ (kN/m ³)	Jordart
9	0,10	10,2										
9	0,45											Grusig. Sandig Materiale
9	1,00											
10	1,10	9,8										
10	1,45											Grusig. Sandig Materiale
10	2,00											
11	2,30	29,2										
11	2,45	24,7										
11	2,55	28,4		21,0		0,6	0,0				20,5	Siltig. Sandig Leire
11	2,65								6,0	15,0		
11	2,75	28,8							6,5	15,0		
11	3,00											
12	3,30											
12	3,55	33,6		28,0							18,8	Leire
12	3,65	33,6										
12	4,00											
13	4,30	36,8										
13	4,35	40,1		25,0		0,3	0,0					
13	4,55										13,1	Leire
13	5,00											

RESULTATER FRA LABORATORIEANALYSER

HULL 42-1

Prøve	Dybde [m]	w [%]	w _p [%]	w _L [%]	I _p	su _u (kPa)	su _o (kPa)	S _t	su _e (kPa)	Brudd- def [%]	γ (kN/m ³)	Jordart
1	0,10	21,3										
1	0,45											Siltig. Sandig Leire
1	1,00											
2	1,30	28,6							27,5	15,0		
2	1,35	29,6										
2	1,45	29,7		35,0		36,3	8,5	4,3				
2	1,55	29,8									19,7	
2	1,65	29,0							25,0	15,0		
2	2,00											
3	2,30											
3	2,35	30,2							23,0	15,0		
3	2,45	30,7		33,0		29,8	4,6	6,5				
3	2,55	31,9							22,5	15,0	19,4	Leire
3	2,65	32,4							23,5	15,0		
3	3,00											
4	3,30											
4	3,35	32,1							18,0	15,0		
4	3,45	30,1		31,0		24,0	3,1	7,7				
4	3,55	34,5							15,5	15,0	19,3	
4	3,65	31,6							16,5	15,0		
4	4,00											
5	4,30											
5	4,35	35,9							12,0	15,0		
5	4,45	33,4		32,0		9,1	1,4	6,5				
5	4,55										19,3	Leire
5	4,65	33,6							13,0	13,0		
5	4,75	37,9							14,0	13,0		
5	5,00											

RESULTATER FRA LABORATORIEANALYSER

HULL 45C-1

Prøve	Dybde [m]	w [%]	w _p [%]	w _L [%]	I _p	su _u (kPa)	su _o (kPa)	S _t	su _e (kPa)	Brudd- def [%]	γ (kN/m ³)	Jordart
13	0,30											
13	0,35											Sa. Gr. Si Materiale
13	0,60											
14	0,70	25,7										
14	0,75											Sa. Gr. Si. Le Materiale
14	0,95	30,8										
14	1,00											
15	1,30											
15	1,35	23,6							147,0	11,0		
15	1,45	23,5							100,0	7,0		
15	1,55	25,4		35,0		99,5	20,9	4,8			20,5	Leire
15	1,65	27,0							62,5	15,0		
15	1,75	25,8										
15	2,00											
16	2,30											
16	2,35	31,9							32,5	11,0		
16	2,45	28,9		31,0		28,2	4,4	6,4				
16	2,55	33,8							27,5	15,0	19,5	Leire
16	2,65	31,9							25,0	15,0		
16	3,00											
171	3,30	33,1		31,0		18,5	1,4	13,2	9,5	10,0		
171	3,55										19,4	Leire
171	4,00											
172	4,30	36,0							6,0	9,0		
172	4,55	34,2									19,4	Leire
172	4,65					11,8	0,5	23,6				
172	5,00											
173	5,30	33,6							10,0	9,0		
173	5,45								10,0	4,0		
173	5,55	38,0							9,0	10,0	19,0	Leire
173	5,65	38,3				11,4	0,9	12,7	12,0	6,0		
173	6,00											

RESULTATER FRA LABORATORIEANALYSER

HULL 52-1

Prøve	Dybde [m]	w [%]	w _p [%]	w _L [%]	I _p	su _u (kPa)	su _o (kPa)	S _t	su _e (kPa)	Brudd- def [%]	γ (kN/m ³)	Jordart
6	0,10	38,4										
6	0,45											Sa. Si. Le Materiale
6	1,00											
7	1,30											
7	1,45	26,7	0,0	34,0		46,7	9,0	5,2				
7	1,55	30,0									19,8	Leire
7	1,65	32,3							20,0	15,0		
7	1,75	27,6							25,0	15,0		
7	2,00											
8	2,30											
8	2,35	30,5							19,5	15,0		
8	2,45	33,1	0,0	33,0		26,9	2,3	11,7				
8	2,55	32,8							17,5	15,0	19,2	Leire
8	2,65	31,3							18,5	15,0		
8	3,00											
9	3,30											
9	3,35	34,2							9,5	15,0		
9	3,45	29,7	0,0	25,0		13,2	1,1	12,0	0,0			
9	3,55	29,7							9,5	11,0	19,5	Leire
9	3,65	27,1							11,0	10,0		
9	4,00											
10	4,30											
10	4,35	37,3							7,5	8,0		
10	4,55	33,6	0,0	26,0		7,0	0,6	11,7			18,9	Leire
10	4,65	41,5							9,0	8,0		
10	4,75	33,3							9,0	6,0		
10	5,00											
11	5,30											
11	5,35	36,2										
11	5,45	35,8	0,0	33,0		4,1	1,1	3,7				
11	5,55	37,9							5,0	15,0	18,7	Leire
11	5,65	38,9							4,0	15,0		
11	6,00											
12	6,30											
12	6,35	31,6							10,0	12,0		
12	6,45	36,7	0,0	35,0		11,5	1,4	8,2				
12	6,55	35,0							12,5	10,0	19,2	Leire
12	6,65	31,8							12,0	10,0		
12	7,00											

RESULTATER FRA LABORATORIEANALYSER

HULL 112-1

Prøve	Dybde [m]	w [%]	w _p [%]	w _L [%]	I _p	su _u (kPa)	su _o (kPa)	S _t	su _e (kPa)	Brudd- def [%]	γ (kN/m ³)	Jordart
1	0,10	22,2										
1	0,45											Sandig. Siltig Materiale
1	1,00											
2	1,10	30,9										
2	1,15	30,5										
2	1,35										18,9	Siltig Sand
2	1,80											
3	2,10	24,6										
3	2,45											Leire
3	3,00											
4	3,30	24,3										
4	3,55											Leire
4	4,00											
5	4,30											
5	4,35	23,8										
5	4,45	23,1		24,0		33,0	3,4	9,7				
5	4,55	28,1							22,0	12,0	20,3	Leire
5	4,65	26,1							38,0	15,0		
5	4,75	25,0										
5	5,00											
6	5,30	26,1										
6	5,35	29,4										
6	5,45	31,9		31,0		18,8	1,7	11,1				
6	5,55	29,4							31,0	12,0	19,7	Leire
6	5,65	27,3							40,0	13,0		
6	6,00											
7	6,30											
7	6,35	25,9							35,0	15,0		
7	6,45	26,1		26,0		29,9	2,0	15,0				
7	6,55	26,1							30,0	15,0	20,1	Leire
7	6,65	23,9							33,0	15,0		
7	7,00											
8	7,30											
8	7,35	28,9							28,5	15,0		
8	7,45	26,8		28,0		35,1	3,7	9,5				
8	7,55	29,5							30,0	15,0	19,9	Leire
8	7,65	27,1							28,0	15,0		
8	8,00											

RESULTATER FRA LABORATORIEANALYSER

HULL 201-2

Prøve	Dybde [m]	w [%]	w _p [%]	w _L [%]	I _p	su _u (kPa)	su _o (kPa)	S _t	su _e (kPa)	Brudd- def [%]	γ (kN/m ³)	Jordart
1	0,10	24,7										Grusig siltig sand
1	0,20											
2	0,40											
2	0,60	7,0										Sand
2	0,90											
3	1,10											
3	1,45	11,3										Sandig grusig matriale
3	1,90											
4	2,10											
4	2,45	15,4										Sandig grusig siltig matriale
4	2,90											
5	3,10											
5	3,15	29,8							8,8	8,0		
5	3,25	34,0										
5	3,35	28,8		18,8		10,6	0,1	106,0				
5	3,45	25,6							7,0	6,0	19,7	Siltig leire
5	3,55	30,2										
5	3,90											
6	4,10											
6	4,25	39,9							4,5	6,0		
6	4,35	38,4	17,0	23,4	6,4	6,6	0,1	66,0				
6	4,45	37,1							4,2	8,0	18,6	
6	4,55	37,8							5,0	5,0		
6	4,90											
7	5,10											
7	5,25	39,1							5,5	5,0		
7	5,35	39,6				7,1	0,1	71,0				
7	5,45	40,1							5,0	5,0	18,6	Leire
7	5,55	37,5							4,4	10,0		
7	5,90											
8	6,10											
8	6,25	32,9							7,4	10,0		
8	6,35	34,6	17,0	24,1	7,1	9,0	0,2	45,0				
8	6,45	34,3							7,5	8,0	19,1	
8	6,55	32,8							6,5	6,0		
8	6,90											

RESULTATER FRA LABORATORIEANALYSER

HULL 208-1

Prøve	Dybde [m]	w [%]	w _p [%]	w _L [%]	I _p	su _u (kPa)	su _o (kPa)	S _t	su _e (kPa)	Brudd- def [%]	γ (kN/m ³)	Jordart
1	0,10											
1	0,45	8,3										Sand
1	0,90											
2	1,10											
2	1,45	15,3										Sand
2	1,90											
3	2,10											
3	2,45	21,6										Siltig sand
3	2,90											
4	3,10											
4	3,45	22,6										Siltig leirig sand
4	3,90											
5	4,10											
5	4,45	23,3										Sandig siltig leirig materiale
5	4,90											
6	5,10											
6	5,15	29,6							13,5	8,0		
6	5,25	33,2							9,5	7,0		
6	5,35	31,2	14,0	20,7	6,7	11,3	0,1	113,0				
6	5,45	33,1									19,7	Siltig leire
6	5,55	27,6							18,0	13,0		
6	5,65	30,7							15,5	10,0		
6	5,90											
7	6,10											
7	6,25	26,2							11,8	11,0		
7	6,35	26,6				14,4	0,5	28,8				
7	6,45	26,8							11,8	12,0	20,3	
7	6,55	26,9							11,0	12,0		
7	6,90											
8	7,10											
8	7,25	28,2							14,0	15,0		
8	7,35	30,8	18,0	29,9	11,9	28,3	1,8	15,7				
8	7,45	31,3							17,0	15,0	19,0	Leire
8	7,55	29,5							19,0	15,0		
8	7,90											
9	8,10											
9	8,25	32,8							13,0	14,0		
9	8,35	30,4		30,5		19,4	2,6	7,5			19,5	
9	8,45	29,1							15,0	15,0		
9	8,55	32,8							13,0	12,0		
9	8,90											
10	9,10											
10	9,25	32,2							11,0	15,0		
10	9,35	31,8	18,0	30,2	12,2	10,1	1,5	6,7			19,3	Leire
10	9,45	32,2							12,5	14,0		
10	9,55	33,6							13,5	9,0		
10	9,90											

RESULTATER FRA LABORATORIEANALYSER

HULL 218-1

Prøve	Dybde [m]	w [%]	w _p [%]	w _L [%]	I _p	su _u (kPa)	su _o (kPa)	S _t	su _e (kPa)	Brudd- def [%]	γ (kN/m ³)	Jordart
1	0,10											
1	0,45	11,4										Sandig siltig grusig leirig matr
1	0,90											
2	1,10											
2	1,45	22,3										Sandig grusig siltig leirig matr
2	1,90											
3	2,10											
3	2,25	30,0							88,0	8,0		
3	2,35	28,6				83,4	27,0	3,1			19,7	Leire
3	2,45	30,3							30,0	3,0		
3	2,55	30,4							38,0	8,0		
3	2,80											
4	3,10											
4	3,25	32,5							23,0	15,0		
4	3,35	35,1	19,0	39,0	20,0	27,4	4,8	5,7			19,1	Leire
4	3,45	32,4							23,0	15,0		
4	3,55	33,4							22,5	15,0		
4	3,80											
5	4,10											
5	4,25	34,5							16,0	12,0		
5	4,35	33,4							15,0	14,0	19,0	Leire
5	4,45	32,2							16,5	14,0		
5	4,55	34,3		34,5		17,5	2,6	6,7				
5	4,80											
6	5,10											
6	5,25	35,9	20,0	35,9	15,9	9,0	2,4	3,8			18,6	Leire
6	5,35	40,0							13,0	15,0		
6	5,45	36,7							14,5	15,0		
6	5,55	38,7							15,0	12,0		
6	5,70											

RESULTATER FRA LABORATORIEANALYSER

HULL 223-2

Prøve	Dybde [m]	w [%]	w _p [%]	w _L [%]	I _p	su _u (kPa)	su _o (kPa)	S _t	su _e (kPa)	Brudd- def [%]	γ (kN/m ³)	Jordart
1	0,30											
1	0,60	27,0										Leire
1	1,00											
2	1,30											
2	1,60	37,3							14,5	13,0	18,6	
2	2,00											
3	2,30											
3	2,45	39,8							16,5	7,0		
3	2,55	35,3	18,0	35,3	17,3	14,9	2,4	6,2			18,6	Leire
3	2,65	38,8							17,0	9,0		
3	2,75	38,4							17,5	8,0		
3	3,00											
4	3,30											
4	3,45	39,3							18,0	8,0		
4	3,55	37,6		36,8		16,6	2,1	7,9			18,6	
4	3,65	38,5							15,0	10,0		
4	3,75	38,9							13,0	13,0		
4	4,00											
5	4,30											
5	4,45	36,9							13,0	12,0		
5	4,55	38,4	20,0	37,2	17,2	15,2	1,9	8,0			18,7	Leire
5	4,65	38,9							15,0	8,0		
5	4,75	35,2							17,0	8,0		
5	5,00											
6	5,30											
6	5,45	35,3							13,5	12,0		
6	5,55	37,0		35,7		14,2	1,9	7,5			18,8	
6	5,65	37,9							15,5	8,0		
6	5,75	39,0							17,5	8,0		
6	6,00											
7	6,30											
7	6,45	37,8							13,0	7,0		
7	6,55	35,4	18,0	33,4	15,4	14,2	1,5	9,5			18,9	Leire
7	6,65	35,4							15,0	9,0		
7	6,75	32,1							15,0	10,0		
7	7,00											
8	7,30											
8	7,45	33,8				14,2	0,9	15,8				
8	7,55	33,7							14,3	8,0	19,2	
8	7,65	31,3							14,2	10,0		
8	7,75	33,7							14,8	8,0		
8	8,00											
9	8,30											
9	8,45	32,9							15,5	9,0		
9	8,55	36,7	18,0	34,0	16,0	17,5	1,2	14,6			18,9	Leire
9	8,65	36,1							17,0	9,0		
9	8,75	35,3							16,0	8,0		

RESULTATER FRA LABORATORIEANALYSER

HULL 225-2

Prøve	Dybde [m]	w [%]	w _p [%]	w _L [%]	I _p	su _u (kPa)	su _o (kPa)	S _t	su _e (kPa)	Brudd- def [%]	γ (kN/m ³)	Jordart
1	0,10											
1	0,25	26,1										Leire
1	0,35	26,3				50,3	33,8	1,5				
1	0,55											
1	0,65											
1	0,50											
2	1,10											
2	1,25	31,9							22,0	15,0		
2	1,35	33,7	22,0	35,7	13,7	26,1	3,7	7,1			19,4	Leire
2	1,45	34,0							18,0	15,0		
2	1,55	33,7							19,5	15,0		
2	1,80											
3	2,10											
3	2,25	35,3							11,7	8,0		
3	2,35	37,5		29,7		10,4	0,2	52,0			18,3	
3	2,45	37,6		0,0					11,8	8,0		
3	2,55	34,7							10,8	12,0		
3	2,80											
4	3,10											
4	3,25	33,6							7,5	10,0		
4	3,35	35,1	16,0	23,5	7,5	6,0	0,3	20,0			18,7	Leire
4	3,45	35,1							6,7	8,0		
4	3,55	30,9							7,0	7,0		
4	3,80											
5	4,10											
5	4,25	36,5							7,1	8,0		
5	4,35	36,0				9,0	0,2	45,0			19,1	
5	4,45	35,1							9,3	6,0		
5	4,55	33,2							10,5	6,0		
5	4,80											
6	5,10											
6	5,25	36,6							5,8	8,0		
6	5,35	36,4	17,0	23,7	6,7	6,8	0,1	68,0			19,0	Leire
6	5,45	37,9							7,5	8,0		
6	5,55	34,6							7,5	8,0		
6	5,80											
7	6,10											
7	6,25	35,5							7,0	8,0		
7	6,35	34,7				8,2	0,1	82,0			19,1	
7	6,45	33,8							8,0	8,0		
7	6,55	34,4							8,2	8,0		
7	6,80											
8	7,10											
8	7,25	33,7							7,0	8,0		
8	7,35	34,9	17,0	23,9	6,9	7,8	0,1	78,0			19,2	Leire
8	7,45	34,7							8,0	8,0		
8	7,55	35,9							8,2	8,0		
8	7,80											

RESULTATER FRA LABORATORIEANALYSER

HULL 225-2

Prøve	Dybde [m]	w [%]	w _p [%]	w _L [%]	I _p	su _u (kPa)	su _o (kPa)	S _t	su _e (kPa)	Brudd- def [%]	γ (kN/m ³)	Jordart
9	8,10											
9	8,25	32,3							5,2	9,0		
9	8,35	34,8				8,1	0,1	81,0			19,2	Leire
9	8,45	36,0							8,0	7,0		
9	8,55	35,5							9,5	9,0		
9	8,80											
10	9,10											
10	9,25	29,4							6,5	9,0		
10	9,35	31,5	17,0	22,4	5,4	11,0	0,2	55,0			19,6	
10	9,45	32,8							8,1	8,0		
10	9,55	34,1							9,0	8,0		
10	9,80											

RESULTATER FRA LABORATORIEANALYSER

HULL 233-2

Prøve	Dybde [m]	w [%]	w _p [%]	w _L [%]	I _p	su _u (kPa)	su _o (kPa)	S _t	su _e (kPa)	Brudd- def [%]	γ (kN/m ³)	Jordart
1	0,10											
1	0,50	19,5										Sandig siltig grusig leirig matr
1	1,00											
2	1,10											
2	1,45	23,7										Leire
2	1,90											
3	2,10											
3	2,25	32,4							22,5	15,0		
3	2,35	31,6	18,0	34,7	16,7	26,7	4,8	5,6			19,4	Leire
3	2,45	33,8							23,0	15,0		
3	2,55	35,7							21,5	15,0		
3	2,80											
4	3,10											
4	3,25	32,4							18,5	15,0		
4	3,35	29,8		32,6		24,6	4,8	5,1			19,2	
4	3,45	32,7							21,0	15,0		
4	3,55	35,7							21,5	15,0		
4	3,80											
5	4,10											
5	4,25	32,5							22,5	15,0		
5	4,35	33,0	19,0	34,9	15,9	20,9	3,7	5,6			19,0	Leire
5	4,45	31,7							26,0	14,0		
5	4,55	31,0							24,0	15,0		
5	4,80											
6	5,10											
6	5,25	32,2							22,0	15,0		
6	5,35	30,5		30,5		20,8	2,4	8,7			19,3	
6	5,45	30,0							22,0	14,0		
6	5,55	32,6							25,0	15,0		
6	5,80											
7	6,10											
7	6,25	31,4							18,5	14,0		
7	6,35	29,6	19,0	29,7	10,7	20,8	2,6	8,0			19,5	Leire
7	6,45	32,5							22,0	15,0		
7	6,55	33,1							22,5	14,0		
7	6,80											
8	7,10											
8	7,25	29,9							13,5	12,0		
8	7,35	29,2									19,8	Siltig leire
8	7,45	29,5							9,5	13,0		
8	7,55	29,2							14,0	10,0		
8	7,80											

RESULTATER FRA LABORATORIEANALYSER

HULL 259-2

Prøve	Dybde [m]	w [%]	w _p [%]	w _L [%]	I _p	su _u (kPa)	su _o (kPa)	S _t	su _e (kPa)	Brudd- def [%]	γ (kN/m ³)	Jordart
1	0,20											
1	0,50	22,2										Sandig siltig leirig matriale
1	0,90											
2	1,30											
2	1,45	25,4							5,5	15,0		
2	1,55	21,1									20,8	Leire
2	1,65	24,3				3,3	1,0	3,3				
2	1,75	24,1							3,5	15,0		
2	1,85	25,3										
2	2,00											
3	2,30											
3	2,45	34,1							10,8	15,0		
3	2,55	35,7		28,9		11,3	1,2	9,4			19,2	
3	2,65	40,5							8,8	10,0		
3	2,75	37,2							9,5	12,0		
3	3,00											
4	3,30											
4	3,45	34,9							11,2	10,0		
4	3,55	36,6	18,0	35,0	17,0	7,8	1,8	4,3			19,1	Siltig sandig leire
4	3,65	35,9							10,0	12,0		
4	3,75	37,6							11,3	12,0		
4	4,00											
5	4,30											
5	4,45	37,4							10,0	12,0		
5	4,55	38,8		38,8		10,7	2,4	4,5			18,9	
5	4,65	40,3							10,5	8,0		
5	4,75	32,8							13,0	15,0		
5	5,00											
6	5,30											
6	5,45	39,9							9,4	15,0		
6	5,55	39,9	19,0	38,8	19,8	10,2	2,0	5,1			18,6	Leire
6	5,65	40,4							10,0	8,0		
6	5,75	39,0							9,8	15,0		
6	6,00											
7	6,30											
7	6,45	42,1							10,6	11,0		
7	6,55	39,9		39,0		12,3	2,1	5,9			18,5	
7	6,65	41,2							11,2	12,0		
7	6,75	40,6							11,9	10,0		
7	7,00											
8	7,30											
8	7,45	38,2							10,8	12,0		
8	7,55	36,7	18,0	35,6	17,6	8,4	2,0	4,2			18,8	Leire
8	7,65	36,2							12,0	12,0		
8	7,75	39,2							13,0	10,0		
8	8,00											
9	8,30											
9	8,45	39,7							12,6	9,0		

RESULTATER FRA LABORATORIEANALYSER

HULL 259-2

Prøve	Dybde [m]	w [%]	w _p [%]	w _L [%]	I _p	su _u (kPa)	su _o (kPa)	S _t	su _e (kPa)	Brudd- def [%]	γ (kN/m ³)	Jordart
9	8,55	38,7		38,7		11,8	2,4	4,9			18,9	
9	8,65	40,0							11,4	12,0		
9	8,75	38,4							11,8	15,0		
9	9,00											
10	9,30											
10	9,45	36,4							14,4	12,0		
10	9,55	37,6	20,0	37,7	17,7	11,3	2,4	4,7			18,9	Leire
10	9,65	38,0							13,0	14,0		
10	9,75	34,8							15,0	12,0		
10	10,00											

RESULTATER FRA LABORATORIEANALYSER

HULL W903B-3C

Prøve	Dybde [m]	w [%]	w _p [%]	w _L [%]	I _p	su _u (kPa)	su _o (kPa)	S _t	su _e (kPa)	Brudd- def [%]	γ (kN/m ³)	Jordart
1	0,30	14,2										
1	0,55											Sandig. Grusig Materiale
1	1,00											
2	1,30	18,9										
2	1,55											Sa. Gr. Si. Le Materiale
2	2,00											
3	2,30	24,2										
3	2,55											Sa. Si. Le Materiale
3	3,00											
4	3,30											
4	3,35	36,6							12,0	10,0		
4	3,45	30,8		24,0		14,4	1,0	14,4				
4	3,55	33,2							14,5	10,0	19,3	Leire
4	3,65	29,5							15,0	13,0		
4	4,00											
167	4,30	28,7							12,0	11,0		
167	4,35					19,8	1,1	18,0				
167	4,55										19,6	Leire
167	4,65	28,0										
167	5,00											
168	5,30	35,0				16,2	0,4	40,5	14,0	9,0		
168	5,55	35,0							15,0	10,0	19,2	Siltig Leire
168	5,65	36,2							21,0	10,0		
168	5,75			27,0								
168	6,00											
5	6,30											
5	6,35	32,6							3,8	8,0		
5	6,45	35,9		23,0		7,4	0,1	74,0				
5	6,55	35,6							8,5	9,0	19,1	Leire
5	6,65	33,2							9,5	8,0		
5	7,00											
169	7,30	32,2							6,0	9,0		
169	7,35			24,0		9,8	0,2	49,0				
169	7,55										19,2	Leire
169	8,00											
170	8,30	31,5				9,1	0,1	91,0	8,0	8,0		
170	8,55	31,2							16,0	9,0	19,5	Leire
170	8,65	30,8							10,0	8,0		
170	9,00											

RESULTATER FRA LABORATORIEANALYSER

HULL W903B-5B

Prøve	Dybde [m]	w [%]	w _p [%]	w _L [%]	I _p	su _u (kPa)	su _o (kPa)	S _t	su _e (kPa)	Brudd- def [%]	γ (kN/m ³)	Jordart
7	0,10	10,5										
7	0,45											Sandig. Grusig Materiale
7	1,00											
8	1,30	16,3										
8	1,55											Sa. Si. Le Materiale
8	2,00											
9	2,30	25,8							6,0	15,0		
9	2,35	32,6							6,5	12,0		
9	2,45	31,8		21,0		9,1	0,3	30,3				
9	2,55	25,2									19,8	Siltig. Sandig Leire kvikk
9	2,55											
9	2,65	31,1							4,0	15,0		
9	2,75	30,9										
9	3,00											
10	3,30					9,6	0,5	19,2				
10	3,35	35,2							8,0	15,0		
10	3,45	31,7		25,0								
10	3,55	26,1							7,0	4,0	19,3	Siltig. Sandig Leire kvikk
10	3,55											
10	3,65	29,4							8,5	6,0		
10	4,00											
11	4,30			30,0								
11	4,35	40,4							8,0	8,0		
11	4,45	38,9				9,6	0,8	12,0				
11	4,55	38,4							8,2	5,0	18,5	Leire
11	4,65	36,3							8,2	6,0		
11	5,00											
12	5,30											
12	5,35	30,6							9,0	15,0		
12	5,45	33,7		31,0		10,7	1,2	8,9				
12	5,55	33,5							9,0	15,0	19,3	Leire
12	5,65	31,5							10,0	15,0		
12	6,00											
13	6,30	37,0							6,5	15,0		
13	6,35	38,0							8,0	11,0		
13	6,45	36,6		30,0		9,8	1,0	9,8				
13	6,55	36,8							8,0	10,0	19,0	Leire
13	7,00											

RESULTATER FRA LABORATORIEANALYSER

HULL W903D-1

Prøve	Dybde [m]	w [%]	w _p [%]	w _L [%]	I _p	su _u (kPa)	su _o (kPa)	S _t	su _e (kPa)	Brudd- def [%]	γ (kN/m ³)	Jordart
1	0,10											
1	0,45											
1	1,00											
2	1,10	20,7										
2	1,45											Siltig Leire
2	2,00											
3	2,30	25,2							26,0	15,0		
3	2,35	27,7		29,0		24,0	4,2	5,7				
3	2,45	32,5							16,0	15,0		
3	2,55										19,9	Leire
3	3,00											
4	3,30											
4	3,35	35,4							4,0	6,0		
4	3,45	38,8		25,0		7,5	0,2	37,5				
4	3,55	38,9							4,5	7,0	20,2	Leire
4	3,55											kvikk
4	3,65	40,5										
4	3,75	41,8										
4	4,00											
5	4,30	37,9										
5	4,35	39,6										
5	4,45	43,3		26,0		5,9	0,1	59,0				
5	4,55	39,7							3,5	15,0	18,4	Leire
5	4,55											kvikk
5	4,65	40,2										
5	4,75	40,3							3,5	10,0		
5	5,00											
6	5,30	41,6							2,0	6,0		
6	5,35	40,4		27,0		5,3	0,1	53,0				
6	5,45	40,3							3,0	8,0		
6	5,55										18,0	Leire
6	5,55											kvikk
6	6,00											

RESULTATER FRA LABORATORIEANALYSER

HULL W903E-61

Prøve	Dybde [m]	w [%]	w _p [%]	w _L [%]	I _p	su _u (kPa)	su _o (kPa)	S _t	su _e (kPa)	Brudd- def [%]	γ (kN/m ³)	Jordart
7	1,10	21,0										
7	1,45											Siltig Leire
7	2,00											
8	2,30	26,6							24,0	15,0		
8	2,35	23,6										
8	2,45	31,7		31,0		19,8	2,1	9,4				
8	2,55	32,0							15,5	12,0	19,8	Leire
8	2,65	32,4							17,0	11,0		
8	3,00											
9	3,30	29,5		20,0		9,8	0,1	98,0				
9	3,55	28,9							10,0	9,0	20,3	Leire
9	3,65	29,3							12,0	9,0		
9	3,75	29,7							8,0	10,0		
9	4,00											
10	4,30	30,5							7,0	9,0		
10	4,45	35,0		23,0		8	0,1	80,0				
10	4,55	36,1							7,2	5,0	19,3	Leire
10	4,65	36,1							7,5	6,0		
10	5,00											
11	5,30											
11	5,35	35,5							10,3	6,0		
11	5,45	35,9		23,0		8,7	0,1	87,0				
11	5,55	36,4							7,5	5,0	18,9	Leire
11	5,65	36,8							7,7	3,0		
11	6,00											
12	6,30								6,9	8,0		
12	6,35	36,7										
12	6,45	36,8		24,0		8,6	0,1	86,0				
12	6,55	39,4							7,0	7,0	18,9	Leire
12	6,65	38,7							8,5	7,0		

RESULTATER FRA LABORATORIEANALYSER

HULL W965A-2D

Prøve	Dybde [m]	w [%]	w _p [%]	w _L [%]	I _p	su _u (kPa)	su _o (kPa)	S _t	su _e (kPa)	Brudd- def [%]	γ (kN/m ³)	Jordart
1	0,25											
1	0,45	26,0										Siltig. Sandig Leire
1	1,00											
2	1,10	27,8										
2	1,45											Siltig Leire
2	2,00											
13	2,30	34,8							23,0	9,0		
13	2,45					20,7	2,5	8,3				
13	2,55	33,8							20,5	9,0	19,3	siltig leire
13	2,65	34,1							19,0	10,0		
13	3,00											
3	3,30											
3	4,00											
14	4,30	36,1							9,5	12,0		
14	4,45		21,0	24,0	3,0							
14	4,55	34,5									19,1	Leire
14	4,55											kvikk
14	4,75					6,1	0,1	61,0				
14	5,00											
4	5,30											
4	5,35	35,0							2,9	6,0		
4	5,45	37,9	0,0	23,0			0,1					
4	5,55	34,5							2,9	6,0	18,6	Leire
4	5,65	38,3							3,6	7,0		
4	6,00											
15	6,30	63,9							6,5	7,0		
15	6,55	33,7	19,0	20,0	1,0				6,0	6,0	19,2	siltig leire
15	6,55											kvikk
15	6,65	34,6				23,9	0,1	239,0	2,0	6,0		

RESULTATER FRA LABORATORIEANALYSER

HULL W965A-4C

Prøve	Dybde [m]	w [%]	w _p [%]	w _L [%]	I _p	su _u (kPa)	su _o (kPa)	S _t	su _e (kPa)	Brudd- def [%]	γ (kN/m ³)	Jordart
1	0,25											
1	0,55	14,5										Sa. Gr. Si. Le Materiale
1	1,00											
6	1,30											
6	1,35	42,2							11,5	5,0		
6	1,45	34,1		32,0		8,6	1,4	6,1				
6	1,55	32,8							14,5	13,0	19,0	Leire
6	1,65	34,3							12,0	10,0		
6	2,00	0,0										
16	2,30	35,9							10,0	6,0		
16	2,45	0,0				10,2	0,3	34,0				
16	2,55	37,9							7,0	8,0	18,9	siltig leire
16	2,55	0,0										kvikk
16	2,65	34,8							6,5	8,0		
16	3,00	0,0										
7	3,30	27,2							4,5	10,0		
7	3,35	31,9							6,6	10,0		
7	3,45	28,6		20,0		8,7	0,2	43,5				
7	3,55	33,2							6,3	10,0	19,9	Leire
7	4,00											
7	3,30											
7	3,60										19,9	
7	4,00											
17	4,30	33,6							4,5	9,0		
17	4,55	35,3				4,8	0,1	48,0	5,5	12,0	19,2	Leire
17	4,55											kvikk
17	4,65	35,1										
17	5,00											
18	5,30	36,4							8,0	10,0		
18	5,45					7,7	0,1	77,0				
18	5,55	34,1							8,5	12,0	19,2	leire
18	5,55											kvikk
18	5,65	35,9							9,5	11,0		

RESULTATER FRA LABORATORIEANALYSER

HULL W965A-8

Prøve	Dybde [m]	w [%]	w _p [%]	w _L [%]	I _p	su _u (kPa)	su _o (kPa)	S _t	su _e (kPa)	Brudd- def [%]	γ (kN/m ³)	Jordart
1	0,10											
1	0,45	26,5										Sandig. Siltig Materiale
1	1,00											
12	1,10	30,7										
12	1,45											Siltig. Sandig Leire
12	2,00											
13	3,10	26,4							50,0	11,0		
13	3,25	28,5		34,0		47,8	6,6	7,2				
13	3,35	29,6							45,0	14,0	19,8	Leire
13	3,45	30,6							45,0	12,0		
13	3,80											
19	4,10	30,4							18,0	14,0		
19	4,25	25,4				18,5	1,7	10,9				
19	4,35		24,0	30,0	6,0				25,0	15,0	19,6	Leire
19	4,45	31,3							20,0	15,0		
19	4,80											
20	5,10	35,8							11,0	15,0		
20	5,25		20,0	24,0	4,0	9,8	0,3	32,7				
20	5,35	34,6							8,5	11,0	19,4	Siltig Leire kvikk
20	5,35											
20	5,45	31,5							11,0	13,0		
20	5,80											

RESULTATER FRA LABORATORIEANALYSER

HULL 334

Prøve	Dybde [m]	w [%]	w _p [%]	w _L [%]	I _p	su _u (kPa)	su _o (kPa)	S _t	su _e (kPa)	Brudd- def [%]	γ (kN/m ³)	Jordart
1	0,10											
1	0,40	23,9										Sandig siltig grusig materiale
1	0,80											
2	1,10											
2	1,15	30,3										
2	1,25	34,9							15,0	15,0	19,0	Leire
2	1,35	35,6	21,0	36,9	15,9	11,8	3,2	3,7				
2	1,55											
2	1,65											
2	1,50											
3	2,10											
3	2,10	27,0										Siltig leire
3	2,20											

RESULTATER FRA LABORATORIEANALYSER

HULL 343

Prøve	Dybde [m]	w [%]	w _p [%]	w _L [%]	I _p	su _u (kPa)	su _o (kPa)	S _t	su _e (kPa)	Brudd- def [%]	γ (kN/m ³)	Jordart
1	0,10											
1	0,40	18,1										Grusig sand
1	0,80											
2	1,10											
2	1,40	11,3										Sandig grusig matriale
2	1,80											
3	2,10	21,0										Sandig siltig leirig matriale
3	2,10											
4	3,10											
4	3,25	36,5							6,9	6,0		
4	3,35	36,6	19,0	26,5	7,5	7,6	0,3	25,3			19,3	Leire
4	3,45	32,6							6,5	7,0		
4	3,55	31,5							7,0	8,0		
4	3,80											
5	4,10											
5	4,15	36,8							3,6	6,0		
5	4,25	36,8							5,8	10,0		
5	4,35	28,4							5,5	8,0	19,6	Siltig leire
5	4,45	25,9				5,1	0,3	17,0				
5	4,55	30,0										
5	4,80											
6	5,10											
6	5,15	41,3										
6	5,25	40,7				7,1	0,4	17,8				
6	5,35										18,8	leire
6	5,35										0,0	kvikk
6	5,65	37,5							7,0	7,0		
6	5,80											
7	6,10											
7	6,25	39,4							8,0	7,0		
7	6,35					8,3	0,3	27,7			19,2	leire
7	6,35											kvikk
7	6,45	34,5							8,0	10,0		
7	6,55	33,6							9,0	10,0		
7	6,80											
8	7,10											
8	7,15	36,8							6,0	9,0		
8	7,25	37,8							10,0	6,0		
8	7,35										18,8	leire
8	7,45					9,8	0,6	16,3				
8	7,80											
9	8,10											
9	8,25	36,7							10,0	7,0		
9	8,35					8,1	0,6	13,5			18,7	
9	8,45	37,5							11,0	7,0		
9	8,55	39,3							10,0	6,0		
9	8,80											

RESULTATER FRA LABORATORIEANALYSER

HULL 343

Prøve	Dybde [m]	w [%]	w _p [%]	w _L [%]	I _p	su _u (kPa)	su _o (kPa)	S _t	su _e (kPa)	Brudd- def [%]	γ (kN/m ³)	Jordart
10	9,10											
10	9,25	32,8							10,8	11,0		
10	9,35	33,1	17,0	23,5	6,5	9,9	0,5	19,8			19,3	Leire
10	9,45	36,5							11,2	9,0		
10	9,55	33,7							12,9	11,0		
10	9,80											

RESULTATER FRA LABORATORIEANALYSER

HULL 373

Prøve	Dybde [m]	w [%]	w _p [%]	w _L [%]	I _p	su _u (kPa)	su _o (kPa)	S _t	su _e (kPa)	Brudd- def [%]	γ (kN/m ³)	Jordart
1	0,20											
1	0,50	49,6										Leire
1	0,90											
2	1,10											
2	1,25	32,2		32,0		14,4	2,3	6,3				
2	1,35	33,1							14,5	11,0	19,3	Leire
2	1,45	34,2							15,0	12,0		
2	1,55	28,7							10,5	13,0		
2	1,80											
3	2,10											
3	2,25	35,1							12,5	12,0		
3	2,35	33,9	19,0	33,2	14,2	12,9	2,1	6,1			19,1	Leire
3	2,45	33,5							13,5	11,0		
3	2,55	36,8							10,0	12,0		
3	2,80											
4	3,10											
4	3,25	39,2							12,0	6,0		
4	3,35	38,2				8,2	0,3	27,3			18,8	Leire
4	3,45	36,2							11,0	6,0		kvikk
4	3,55	33,7							11,0	7,0		
4	3,80											
5	4,10											
5	4,25	37,2							13,8	4,0		
5	4,35	38,4	18,0	24,1	6,1	8,4	0,3	28,0			18,8	Leire
5	4,45	38,2							13,0	5,0		kvikk
5	4,55	36,9							10,0	8,0		
5	4,80											
6	5,10											
6	5,15	35,8							9,5	11,0		
6	5,25	37,1	18,0	26,7	8,7	9,3	0,2	46,5				
6	5,35	44,5							12,9	6,0	18,7	Leire
6	5,45	32,5										kvikk
6	5,55	31,0										
6	5,65	32,7										
6	5,80											

RESULTATER FRA LABORATORIEANALYSER

HULL 385

Prøve	Dybde [m]	w [%]	w _p [%]	w _L [%]	I _p	su _u (kPa)	su _o (kPa)	S _t	su _e (kPa)	Brudd- def [%]	γ (kN/m ³)	Jordart
1	0,10											
1	0,45	26,7										Sandig grusig siltig matriale
1	0,90											
2	1,10											
2	1,35	19,2									20,7	Siltig leire
2	1,45	21,2										
2	1,55	22,4										
2	1,65	22,6										
2	1,80											
3	2,10											
3	2,35	25,3							102,0	10,0	20,6	Leire
3	2,45	24,3				111,3	62,3	1,8				
3	2,55	23,2							152,0	11,0		
3	2,65	23,1							110,0	15,0		
3	2,80											
4	3,10											
4	3,25	29,0							35,0	15,0		
4	3,35	26,9	18,0	31,4	13,4	40,2	8,3	4,8			19,9	Leire
4	3,45	30,2							37,5	15,0		
4	3,55	30,1							38,5	15,0		
4	3,80											
5	4,10											
5	4,25	33,9							31,0	15,0		
5	4,35	32,2	20,0	34,0	14,0	28,3	3,7	7,6			19,5	Leire
5	4,45	30,5							28,5	15,0		
5	4,55	31,1							28,0	15,0		
5	4,80											
6	5,10											
6	5,25	33,6							25,0	15,0		
6	5,35	33,1	19,0	35,0	16,0	20,8	3,7	5,6			19,5	Siltig leire
6	5,45	31,3							20,0	15,0		
6	5,55	29,6							21,5	15,0		
6	5,80											
7	6,10											
7	6,25	32,3							18,5	15,0		
7	6,35	31,5		31,5		19,4	2,4	8,1			19,4	Leire
7	6,45	36,4							19,5	14,0	0,0	
7	6,55	35,0							18,5	14,0		
7	6,80											
8	7,10											
8	7,15	31,0										Leire
8	7,25											

RESULTATER FRA LABORATORIEANALYSER

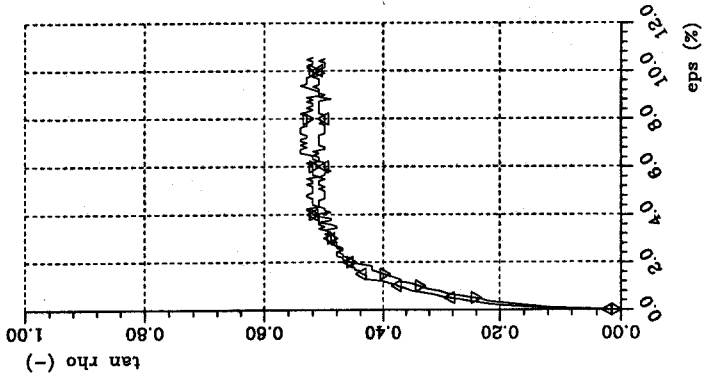
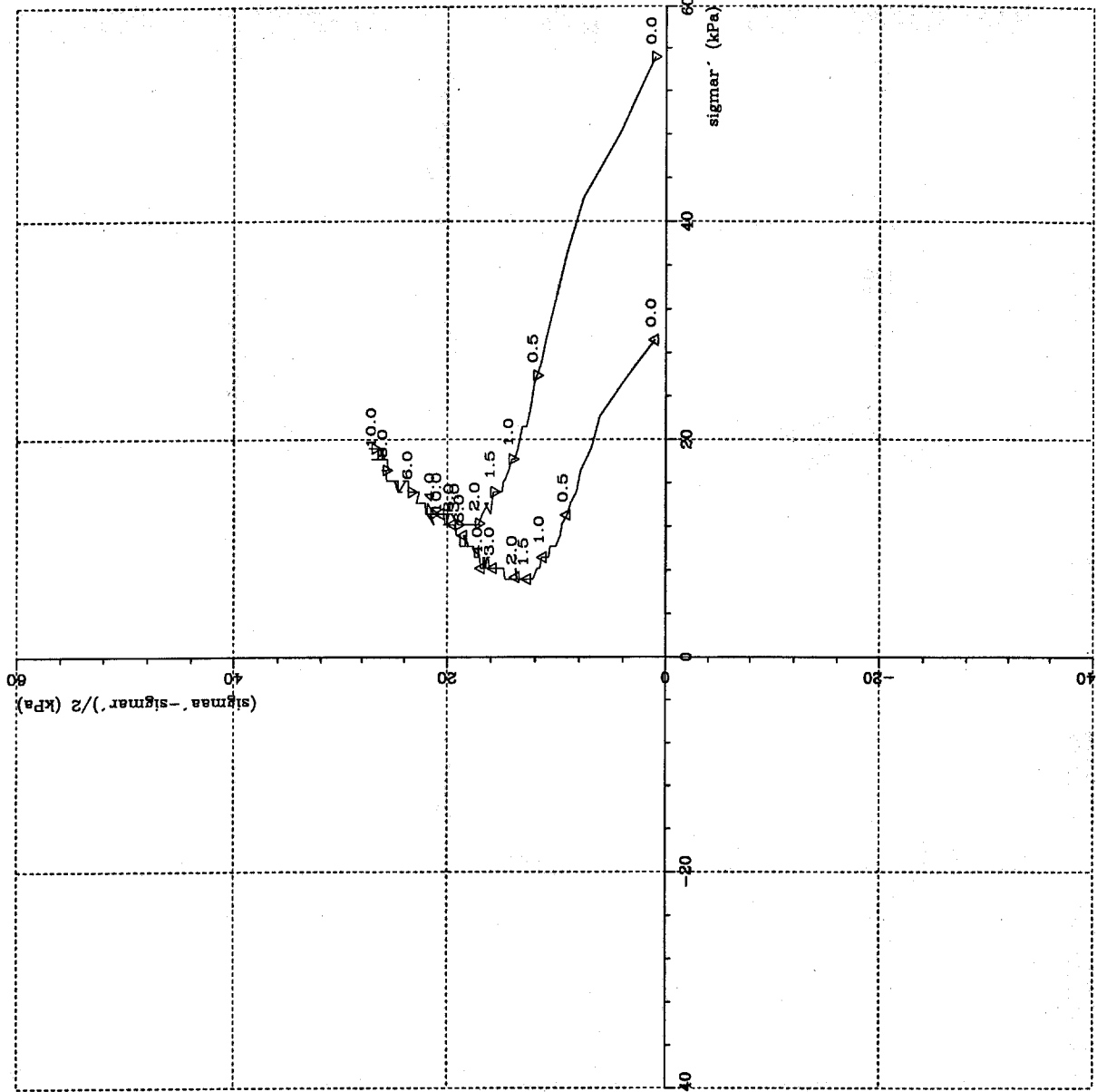
HULL 387

Prøve	Dybde [m]	w [%]	w _p [%]	w _L [%]	I _p	su _u (kPa)	su _o (kPa)	S _t	su _e (kPa)	Brudd- def [%]	γ (kN/m ³)	Jordart
1	0,20											
1	0,50	27,0										Leire
1	0,90											
2	1,20											
2	1,50	27,7										Leire
2	1,90											
3	2,10											
3	2,35										21,0	Leire
3	2,55	22,8				119,0						
3	2,65	22,4							87,5	15,0		
3	2,80											
4	3,10											
4	3,25	29,6							27,5	15,0		
4	3,35	30,2	19,0	33,6	14,6	36,3	5,6	6,5			19,7	Leire
4	3,45	31,5							46,0	11,0		
4	3,55	28,6							54,0	15,0		
4	3,65	29,8							46,0	15,0		
4	3,80											

RESULTATER FRA LABORATORIEANALYSER

HULL 388

Prøve	Dybde [m]	w [%]	w _p [%]	w _L [%]	I _p	su _u (kPa)	su _o (kPa)	S _t	su _e (kPa)	Brudd- def [%]	γ (kN/m ³)	Jordart
1	0,10											
1	0,40	32,5										Sandig siltig matriale
1	0,80											
2	1,10											
2	1,40	18,0										Sandig grusig matriale
2	1,80											
3	2,10											
3	2,25										21,5	Leire
3	2,45	20,5				123,0						
3	2,55	19,7							150,0	15,0		
3	2,65	19,5							165,0	11,0		
3	2,60											
4	3,10											
4	3,35	25,5				119,0					20,8	Leire
4	3,45	21,5										
4	3,55	22,4							180,0	15,0		
4	3,65	23,6							150,0	15,0		
4	3,70											
5	4,10											
5	4,25										20,5	Leire
5	4,35	23,8							115,0	15,0		
5	4,45	23,1				87,8						
5	4,55	25,1							99,0	15,0		
5	4,65	25,6							63,0	14,0		
5	4,70											



tan rho (-) = 0.55
 a (kPa) = 12.00
 a (kPa) = 12.00

Sym	Profil	Dybde(m)	Labnr	Forsøkstype	dV(cm3)	Korr.	Kommentar
▲	Hull 45	3.30	171B	CIUA1	5.50	12 4	siltig leire
▼	Hull 45	3.50	171D	CIUA1	10.00	12 4	siltig leire

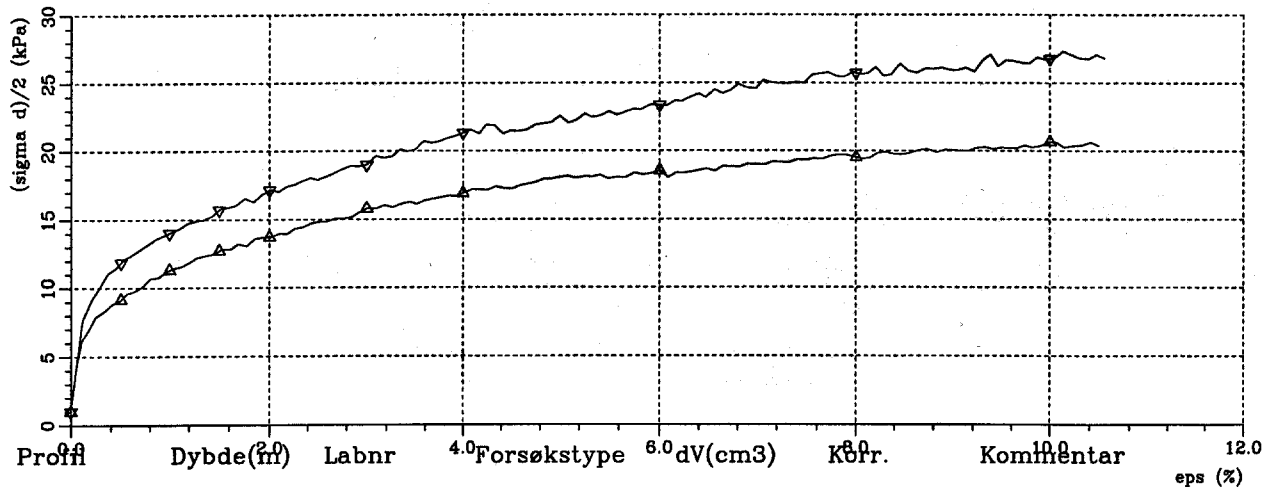
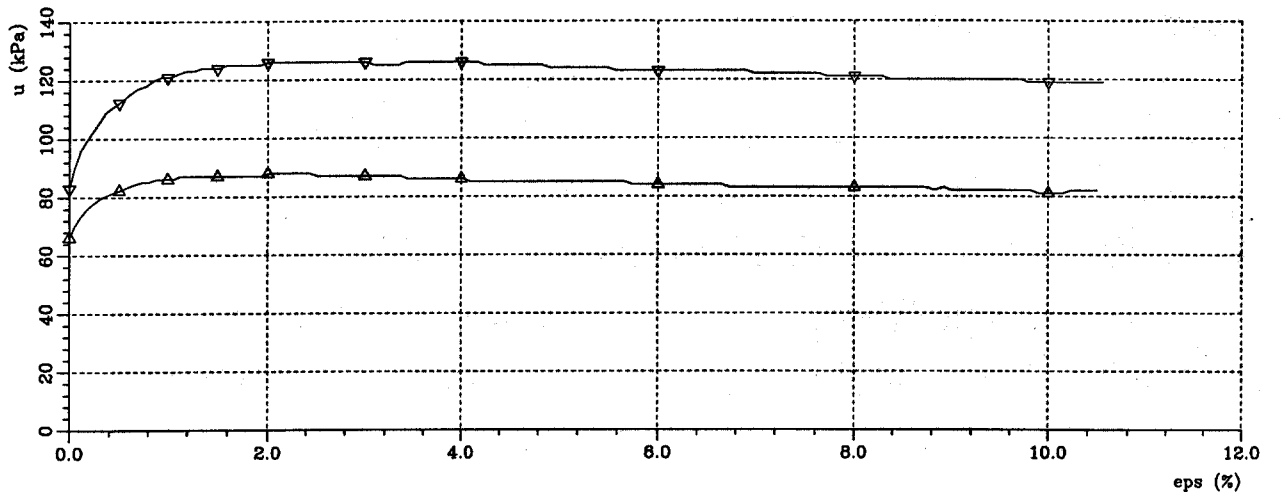
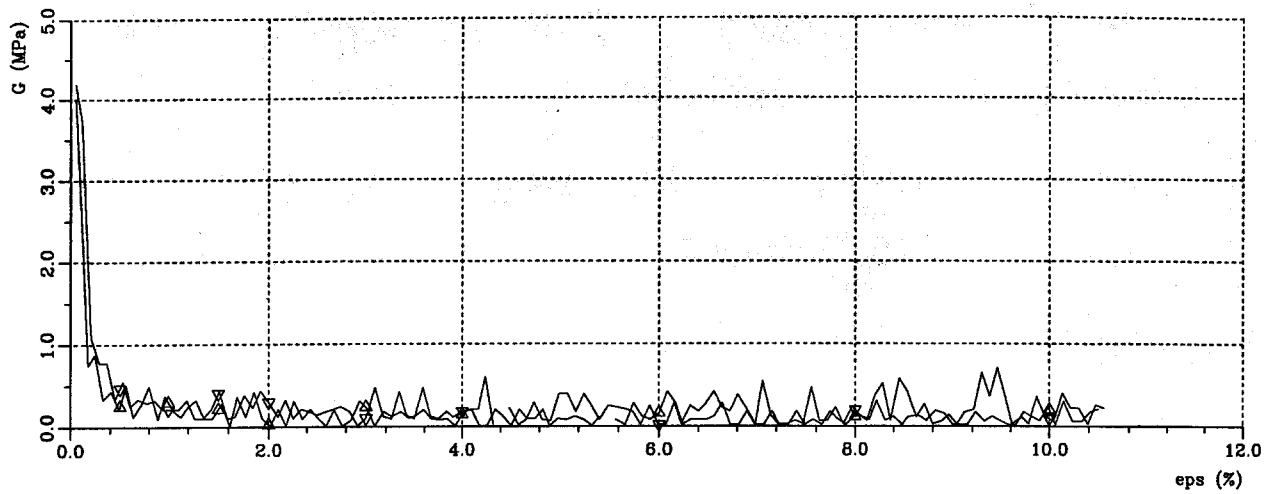
TREKSIALFORSØK

VEGTEKNISK AVDELING

Oppdr.nr.
W903D

Dato
17.11.00

Fig.



Sym	Profil	Dybde(m)	Labnr	Forsøkestype	dV(cm ³)	Kørr.	Kommentar
▲	Hull 45	3.30	171B	CIUA1	5.50	12 4	siltig leire
▼	Hull 45	3.50	171D	CIUA1	10.00	12 4	siltig leire

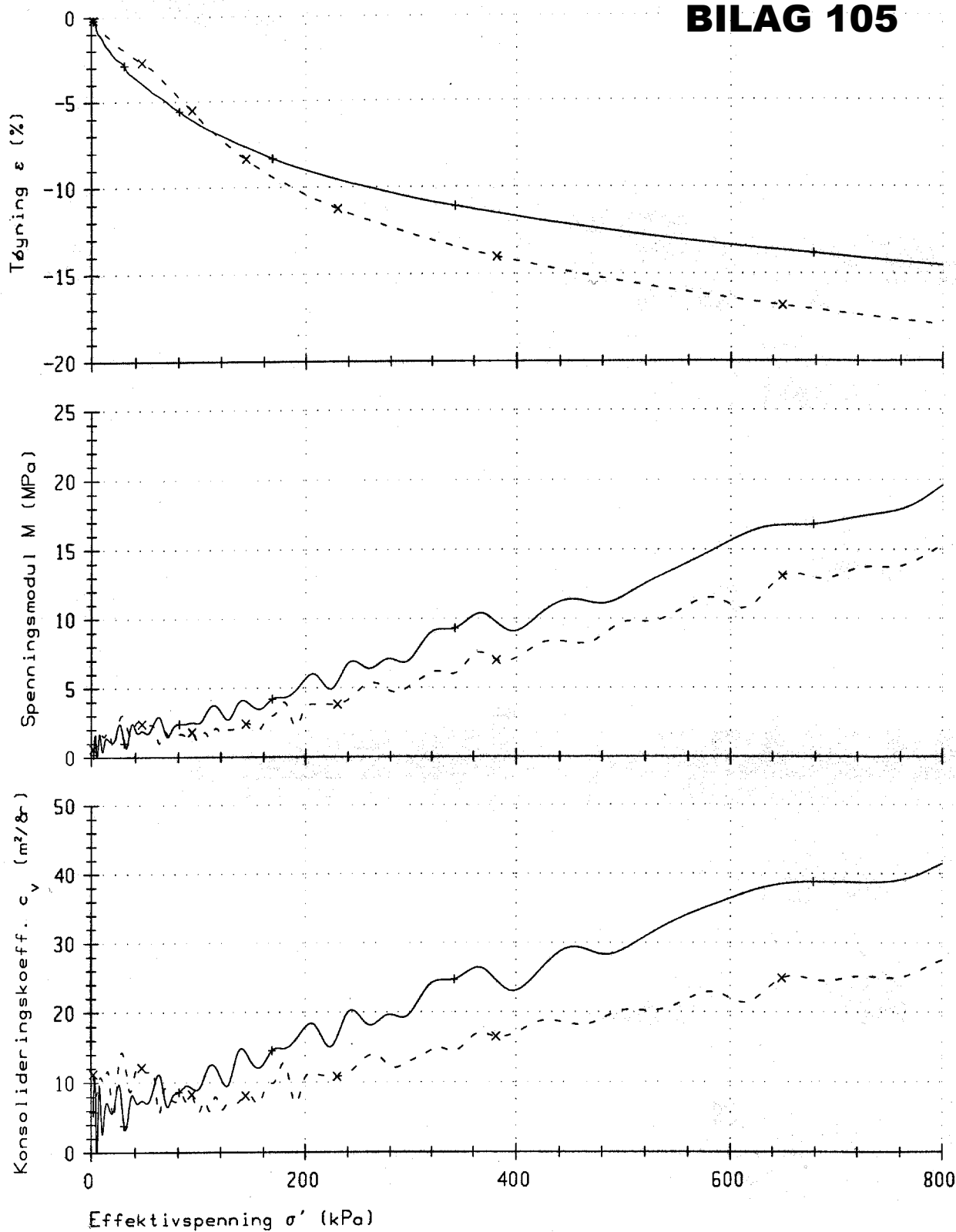
TREKSIALFORSØK

VEGTEKNISK AVDELING

Oppdr.nr.
W903D

Dato
17.11.00

Fig.



	Boring	Dybde,m	Labnr.	F.type	Kommentar
+	Nr 45	4.5	172C	CRS	leire
x	Nr 45	5.5	173C	CRS	leire

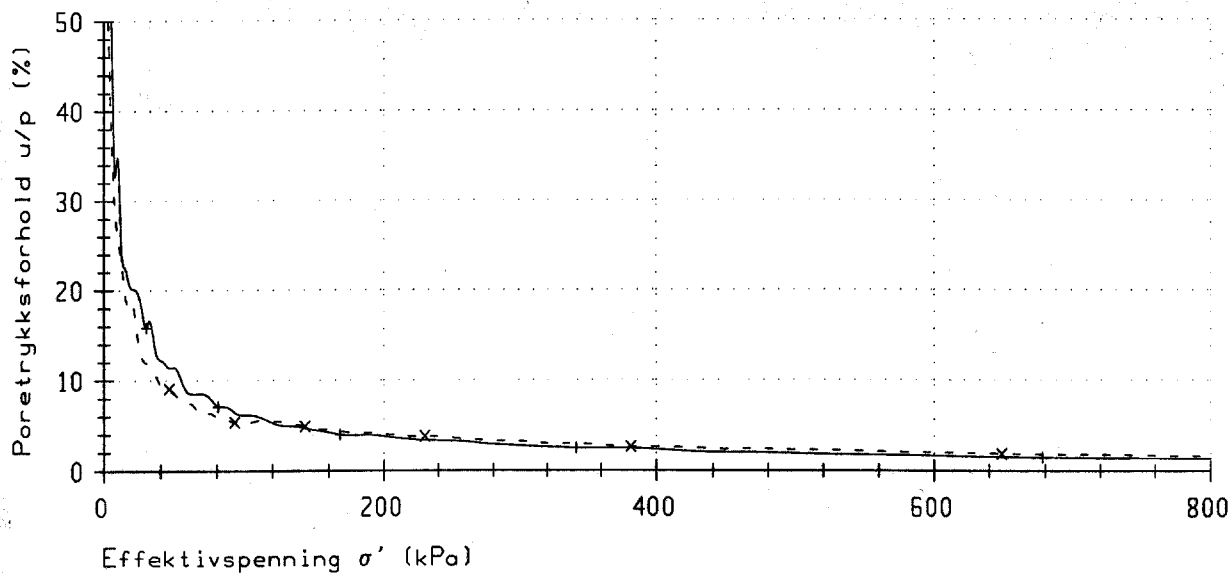
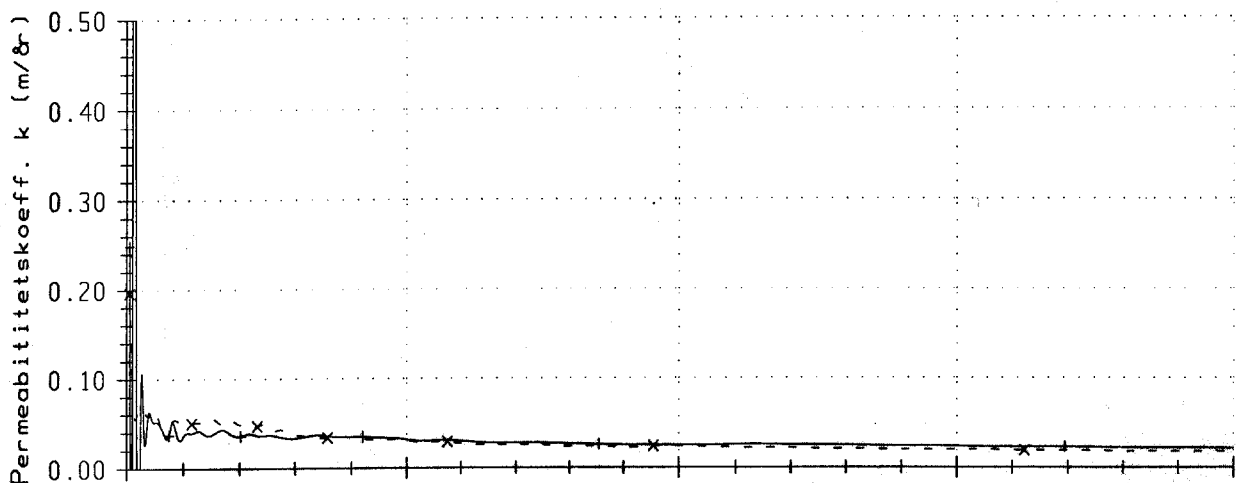
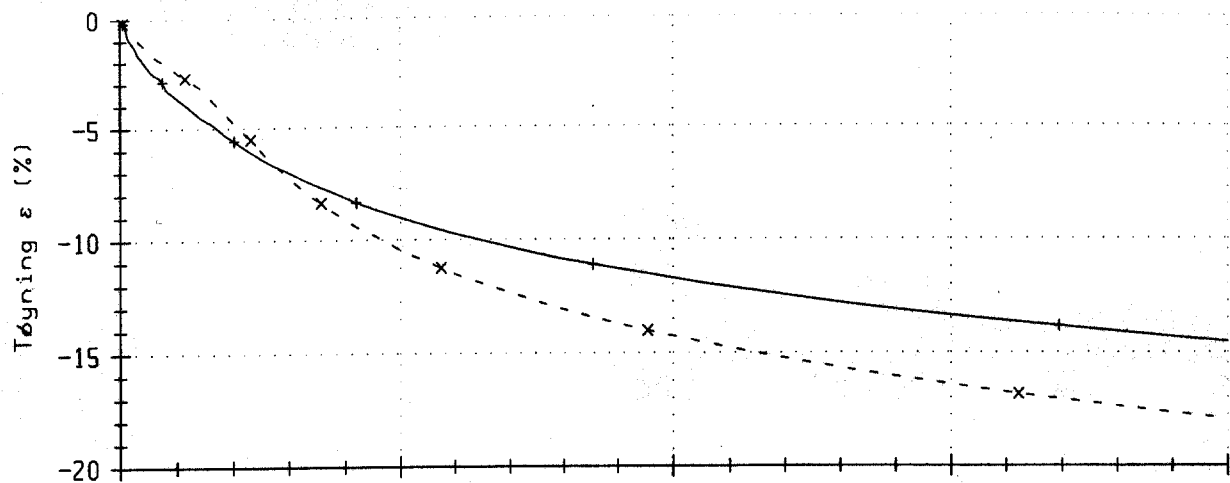
KONTINUERLIG ØDOMETER

Veglaboratoriet

Oppdrag
W903D

Dato
2000-11-28

Fig.



	Boring	Dybde,m	Labnr.	F.type	Kommentar
+	Nr 45	4.5	172C	CRS	leire
x	Nr 45	5.5	173C	CRS	leire

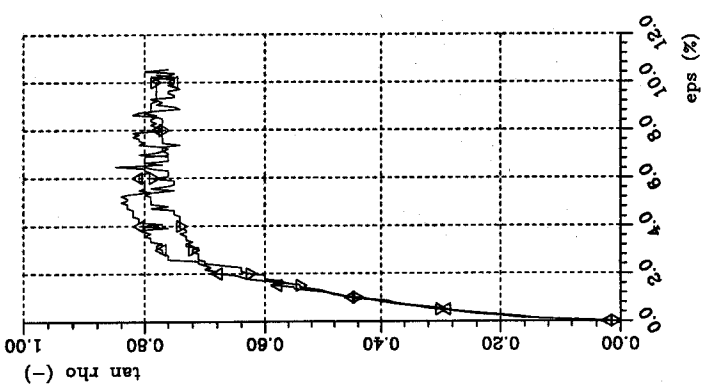
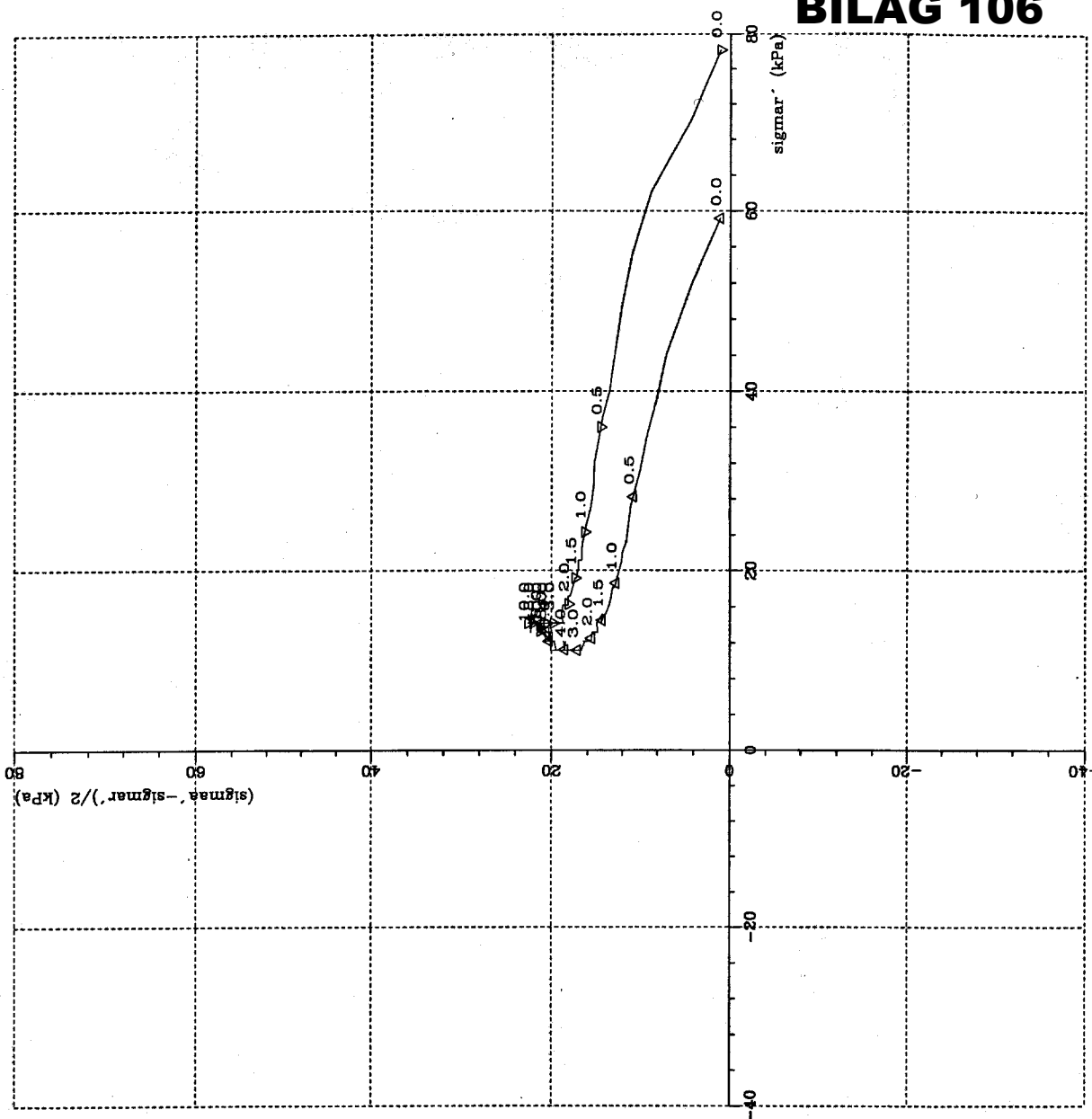
KONTINUERLIG ØDOMETER

Veglaboratoriet

Oppdrag
W903D

Dato
2000-11-28

Fig.



tan rho (-) = 0.55
 a (kPa) = 0.00
 a (kPa) = 0.00

Sym	Profil	Dybde(m)	Labnr	Forsøkstype	dV(cm3)	Korr.	Kommentar
▲	Hull 3	4.60	167E	CIUA1	9.00	12 4	siltig leire
▼	Hull 3	4.70	167F	CIUA1	10.50	12 4	siltig leire

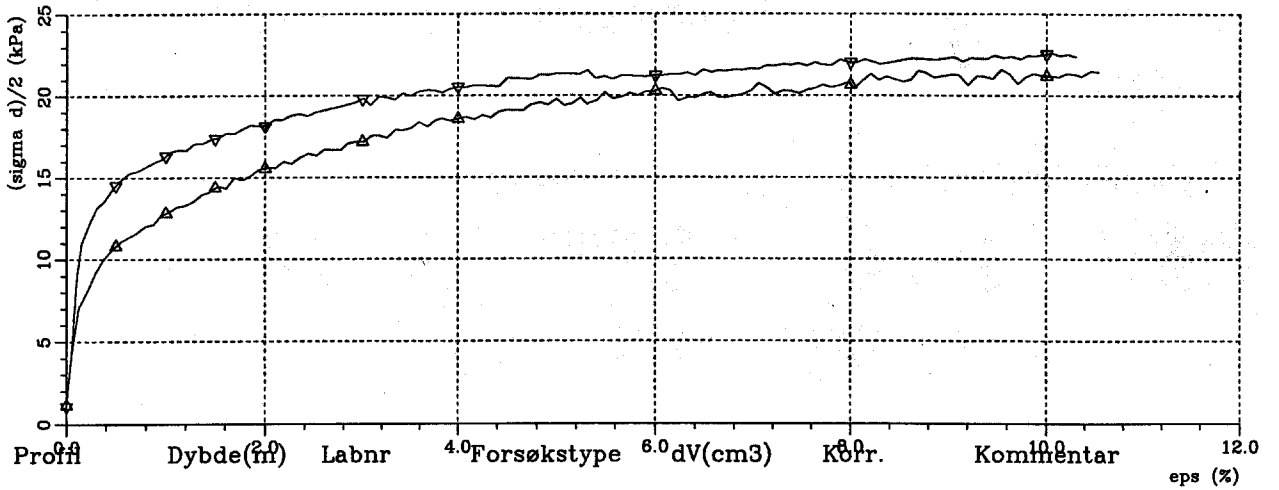
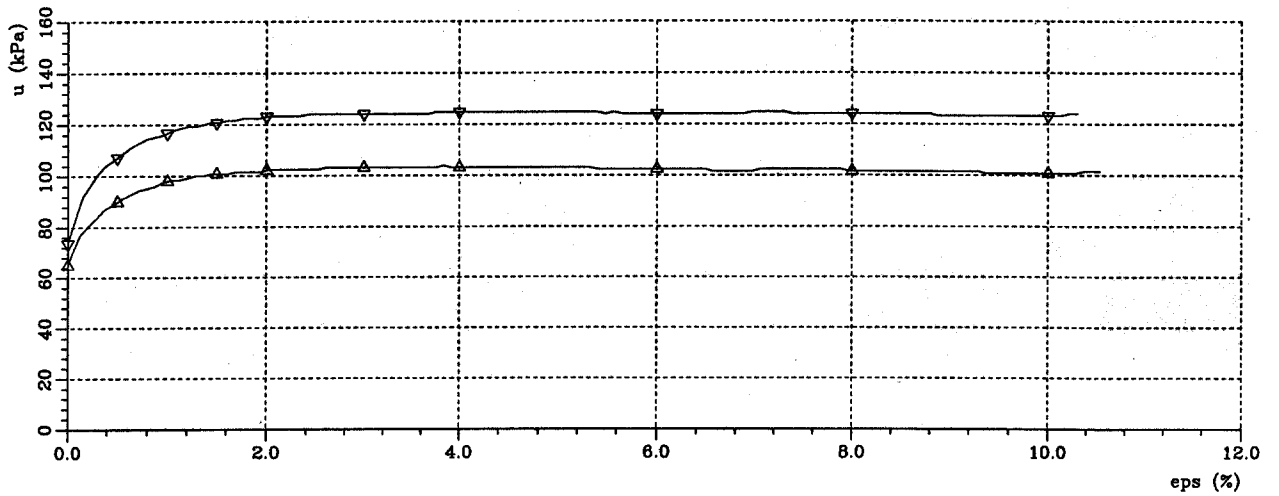
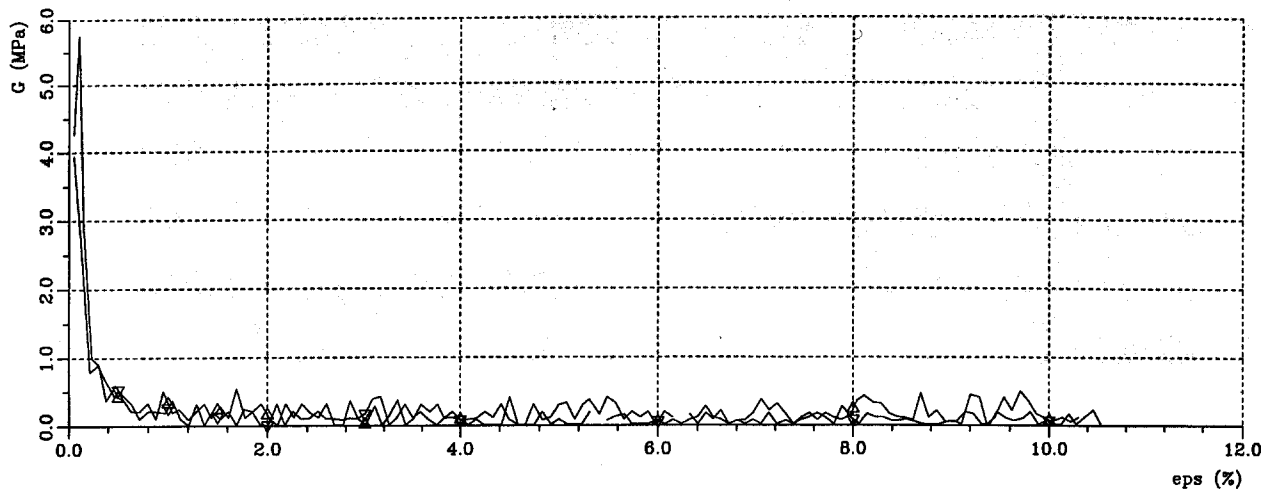
TREKSIALFORSØK

VEGTEKNISK AVDELING

Oppdr.nr.
W903D

Dato
17.11.00

Fig.



Sym	Profil	Dybde(m)	Labnr	Forsøkstype	dV(cm ³)	KØpr.	Kommentar
▲	Hull 3	4.60	167E	CIUA1	9.00	12 4	siltig leire
▼	Hull 3	4.70	167F	CIUA1	10.50	12 4	siltig leire

TREKSIALFORSØK

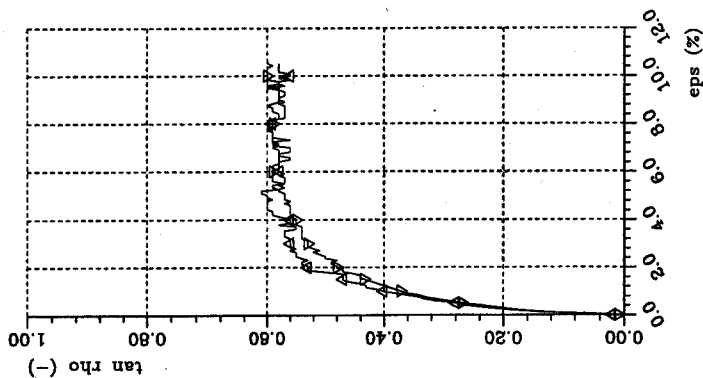
VEGTEKNISK AVDELING

Oppdr.nr.
W903D

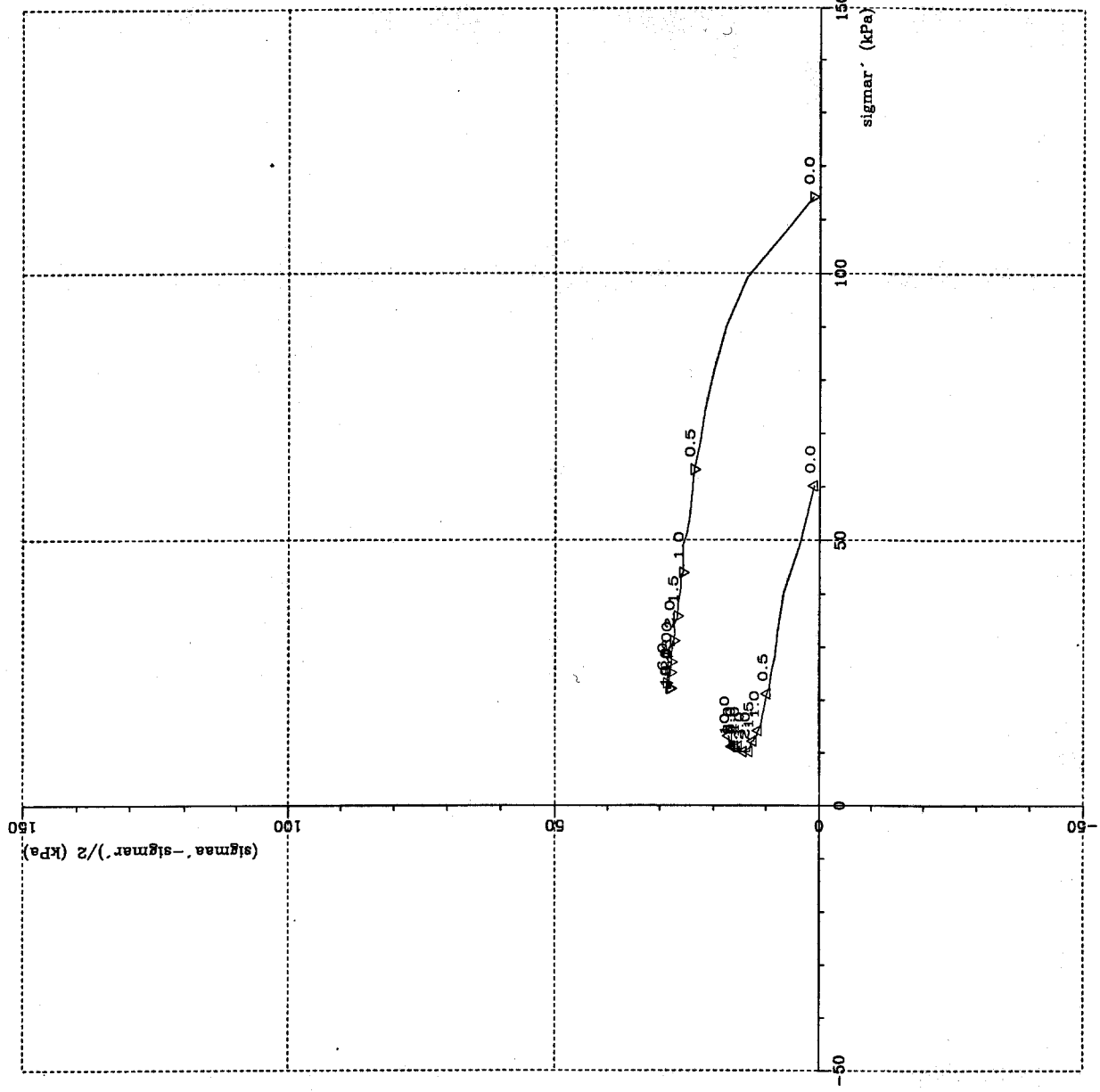
Dato
17.11.00

Fig.

Sym	Profil	Dybde(m)	Labnr	Forsøkstype	dV(cm3)	Korr.	Kommentar
▲	Hull 3	7.40	169C	CIUA1	10.50	12 4	leire, kvikk
▼	Hull 3	7.70	169F	CIUA1	12.00	12 4	leire, kvikk

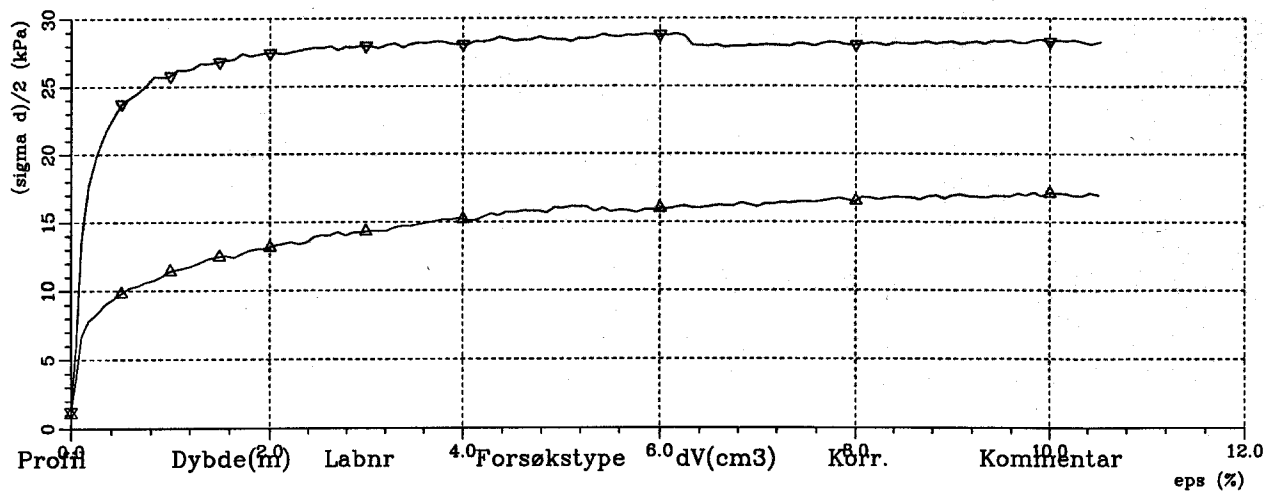
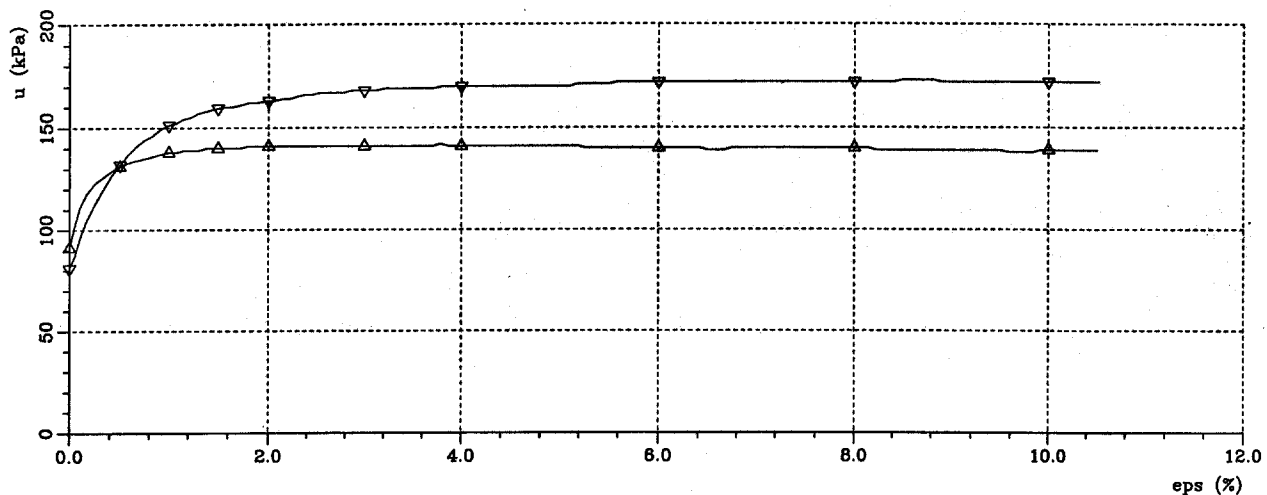
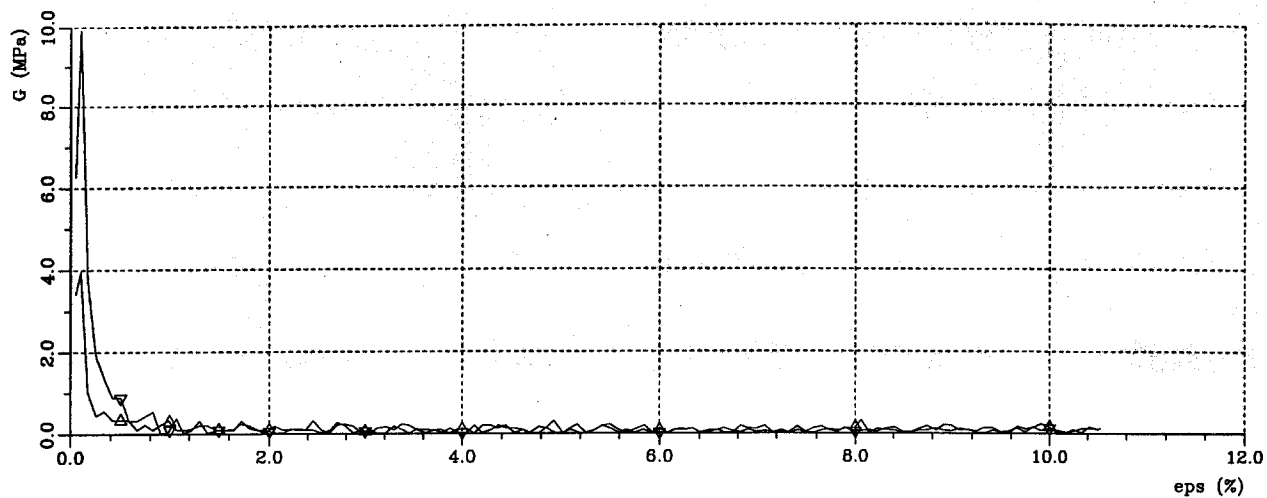


tan rho (-) = 0.49
 a (kPa) = 5.00
 a (kPa) = 5.00



TREKSIALFORSØK
 VEGTEKNISK AVDELING

Oppdr.nr. W903D
Dato 17.11.00
Fig.



Sym	Profil	Dybde(m)	Labnr	Forsøkstype	$dV(cm^3)$	Køpr.	Kommentar
▲	Hull 3	7.40	169C	CIUA1	10.50	12 4	leire, kvikk
▼	Hull 3	7.70	169F	CIUA1	12.00	12 4	leire, kvikk

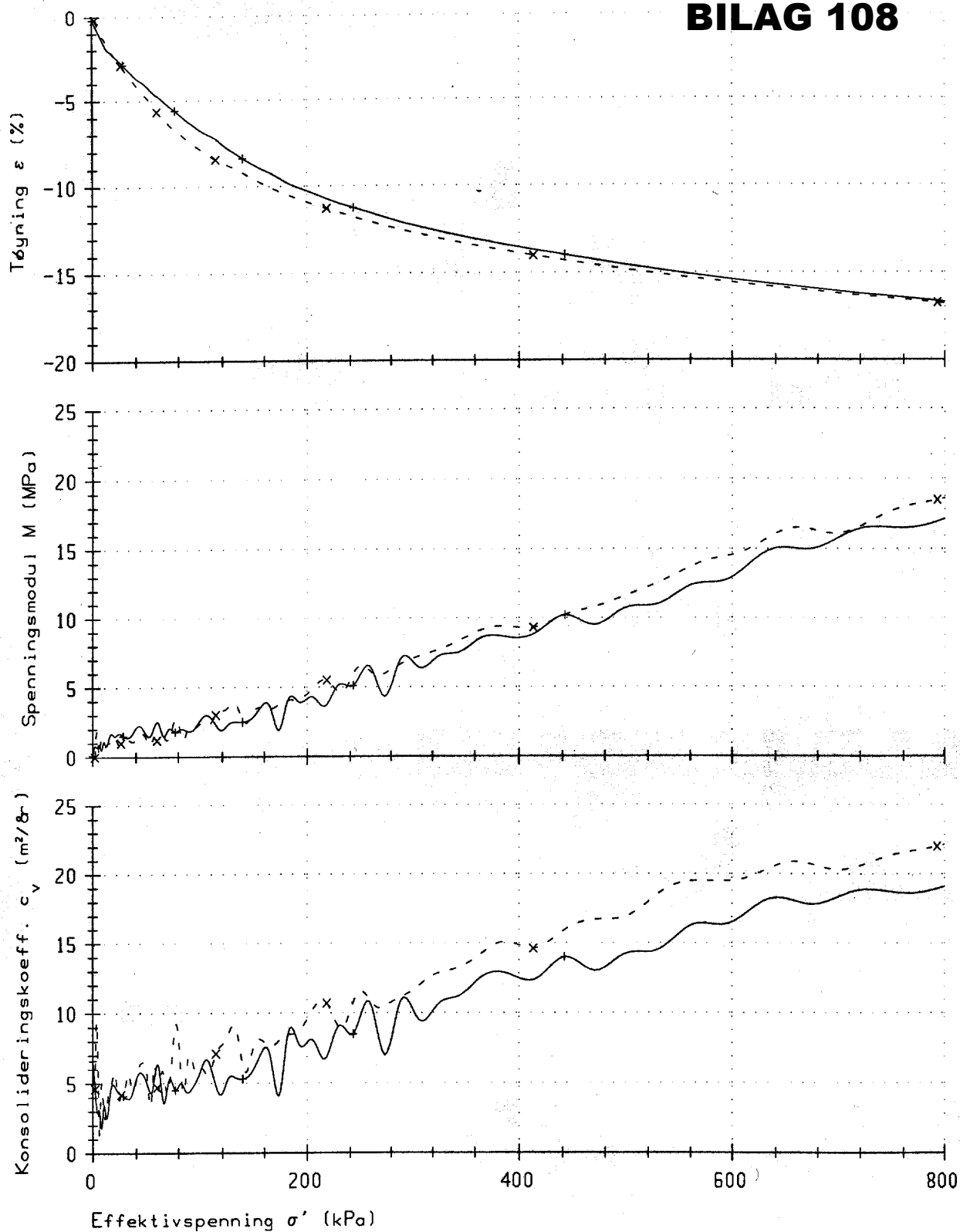
TREKSIALFORSØK

VEGTEKNISK AVDELING

Oppdr.nr.
W903D

Dato
17.11.00

Fig.



Boring	Dybde, m	Labnr.	F.type	Kommentar
+ - + Nr 3	5.5	168E1	CRS	kvikk leire siltig spredte sandkorn
* -x- * Nr 3	8.3	170B	CRS	kvikk leire

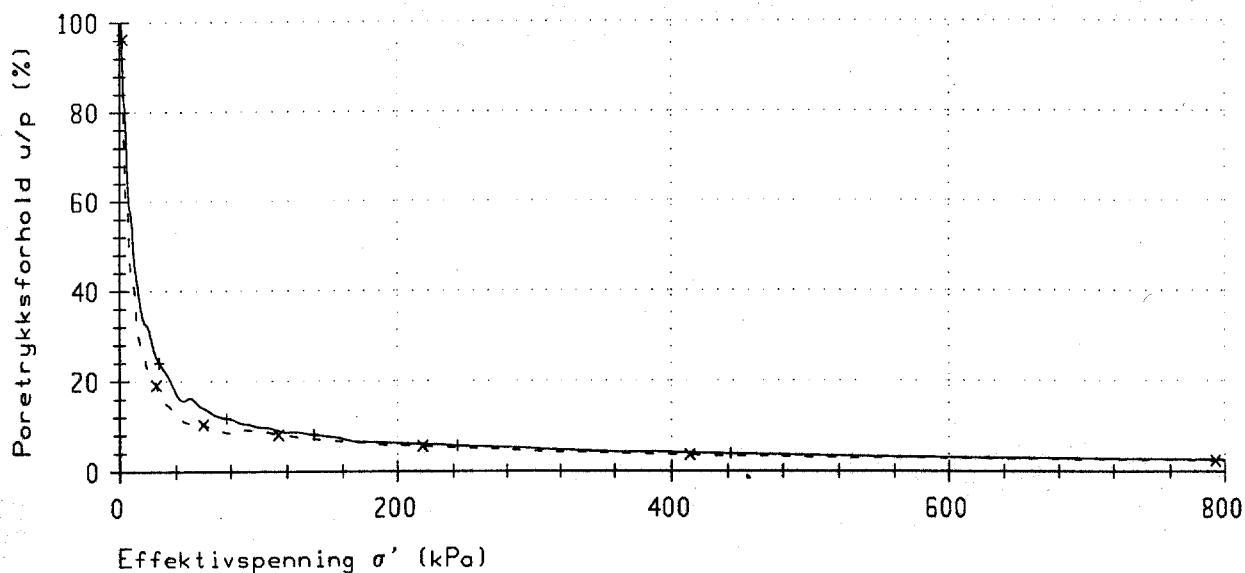
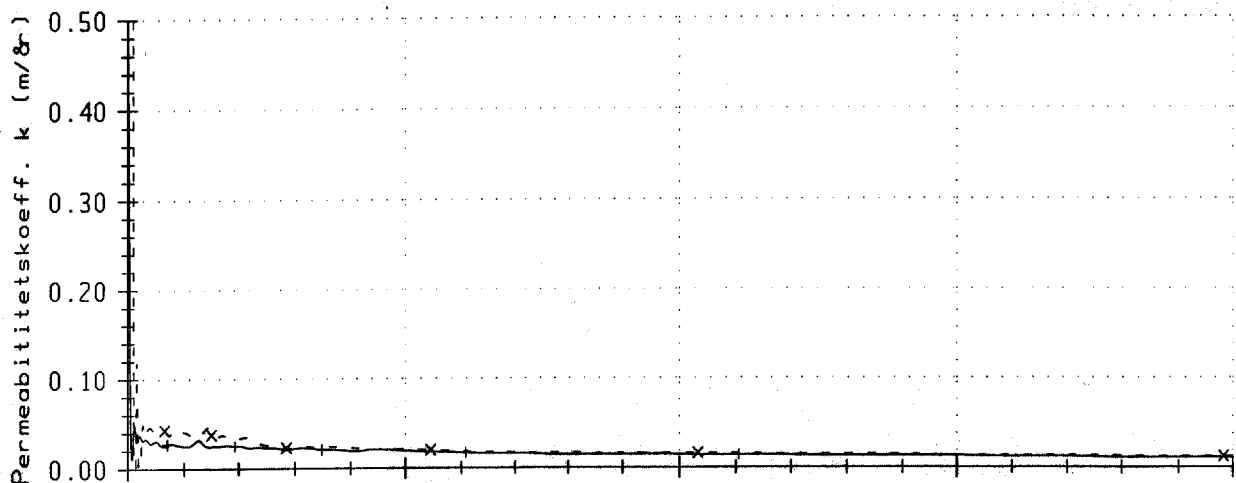
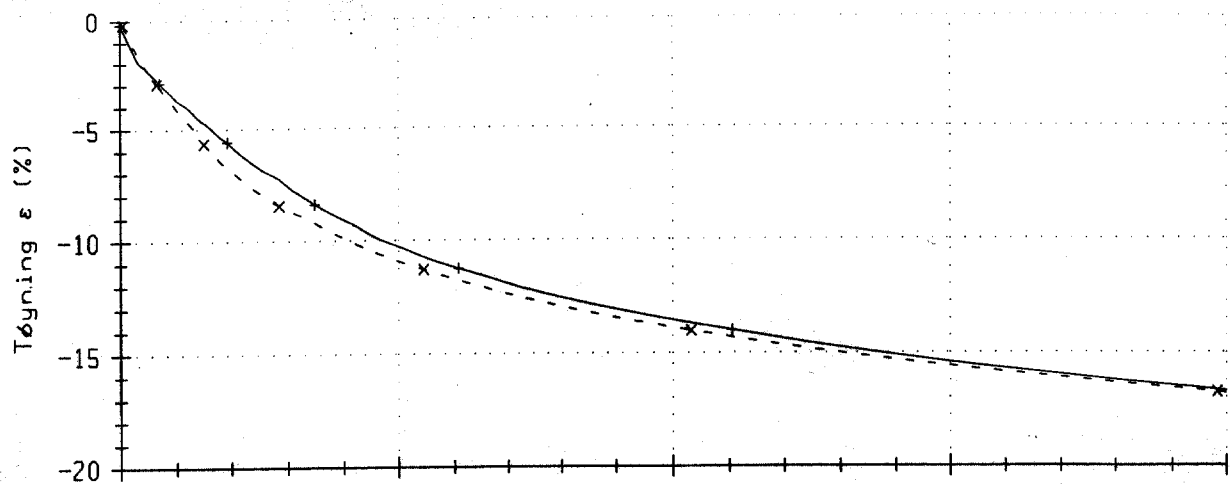
KONTINUERLIG ØDOMETER

Veglaboratoriet

Oppdrag
W903D

Dato
2000-11-23

Fig.



Boring	Dybde, m	Labnr.	F.type	Kommentar
+ + + Nr 3	5.5	168E1	CRS	kvikk leire siltig spredte sandkorn
x - x - x Nr 3	8.3	170B	CRS	kvikk leire

KONTINUERLIG ØDOMETER

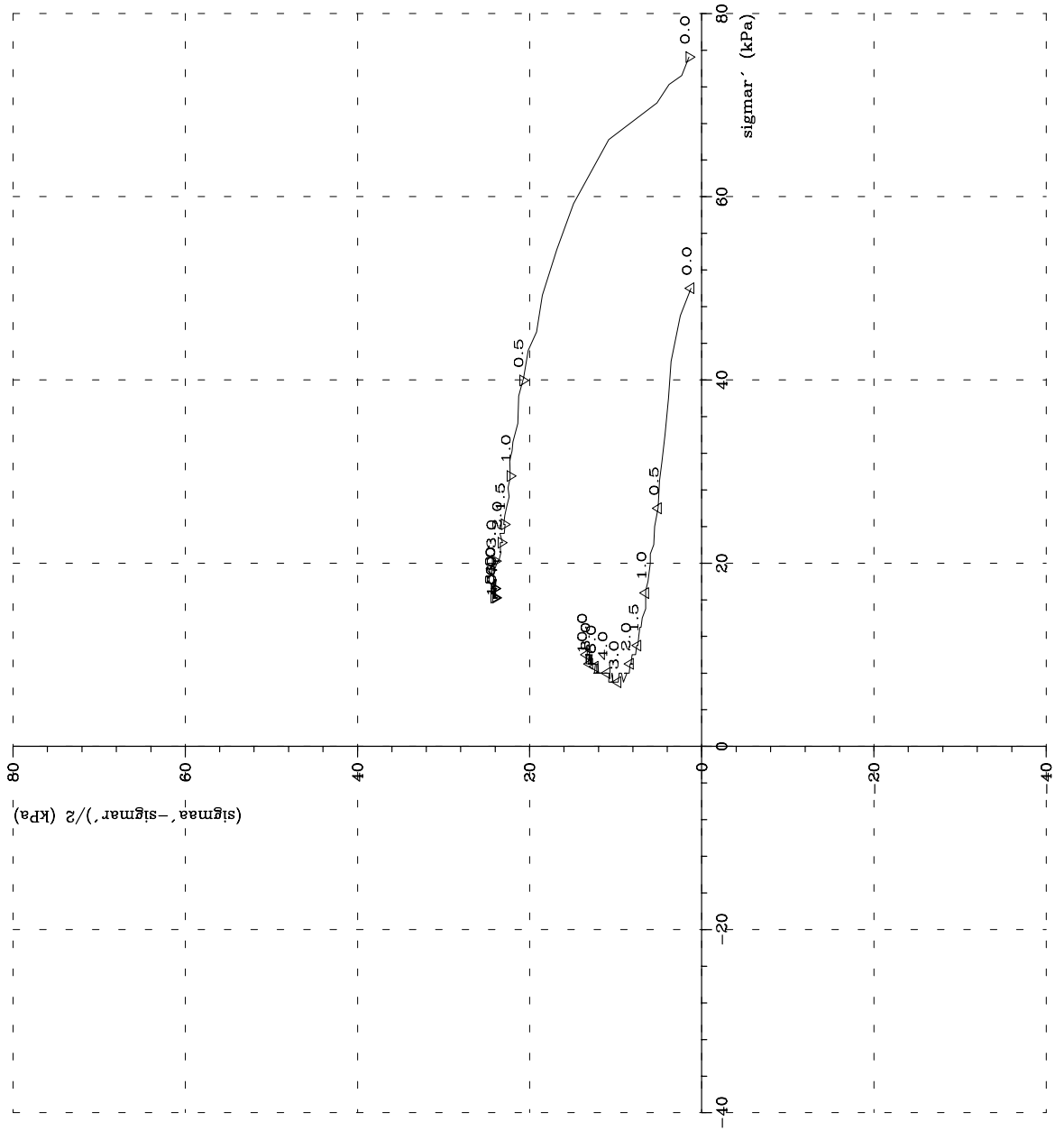
Veglaboratoriet

Oppdrag
W903D

Dato
2000-11-23

Fig.

Sym	Profil	Dybde(m)	Labnr	Forsøkstype	dV(cm ³)	Korr.	Kommentar
△	Hull 2	4.40	014C	CIUA1	7.00	12 4	siltig leire, kvikk
△	Hull 2	4.50	014D	CIUA1	17.00	12 4	siltig leire, kvikk



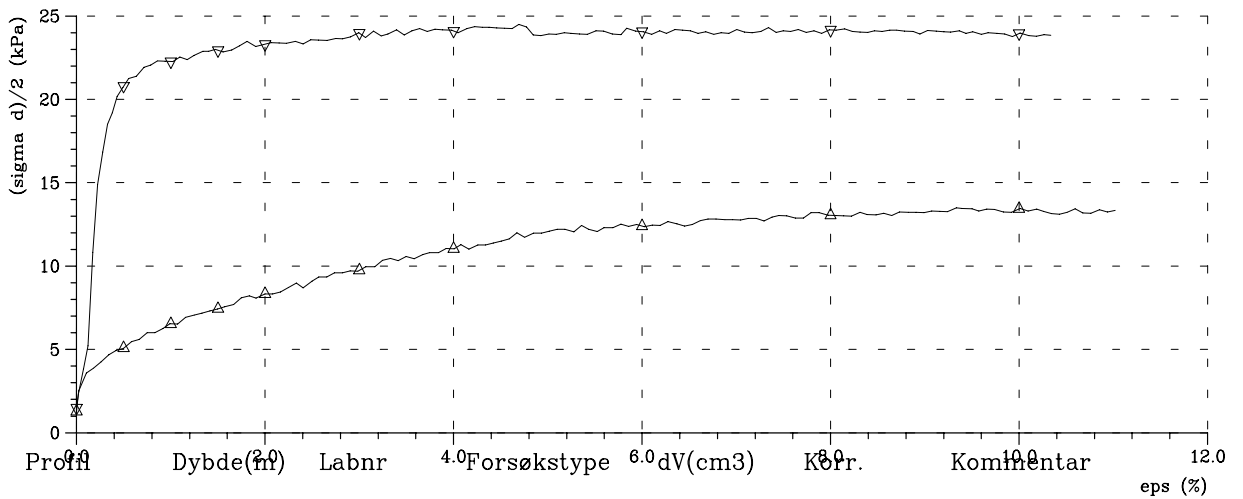
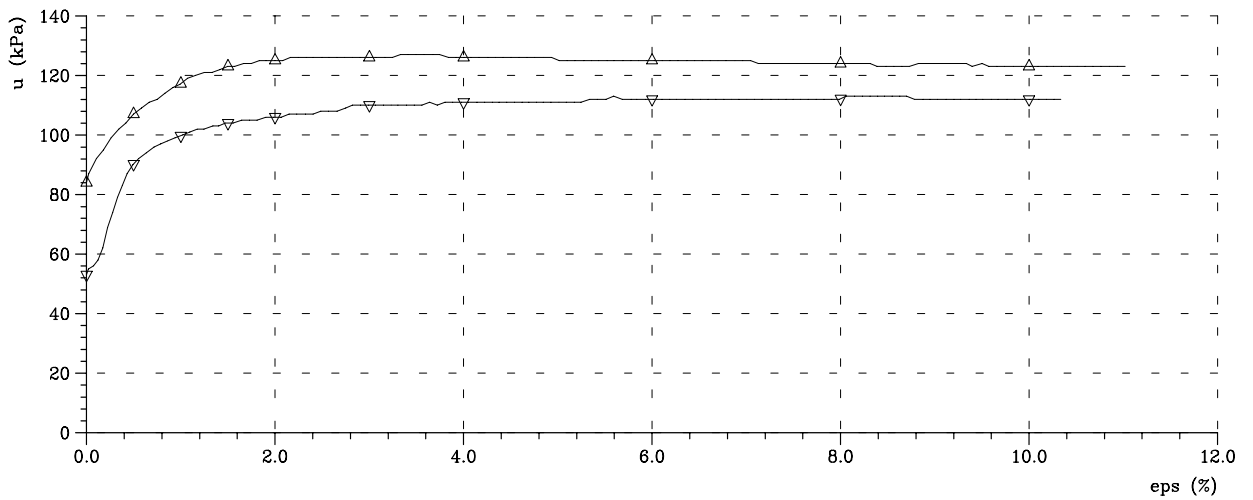
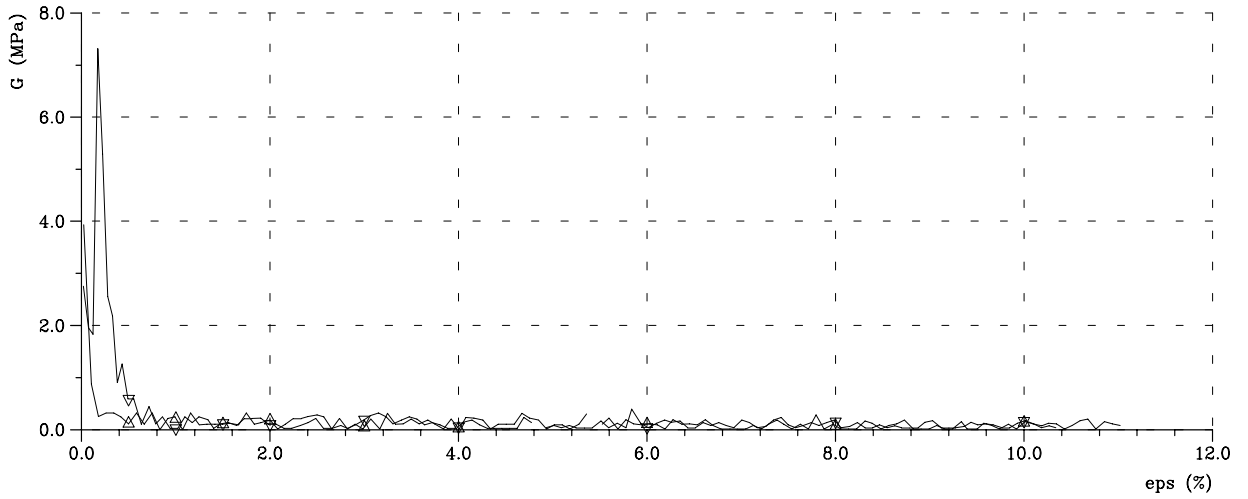
TREAKSIALFORSØK

VEGTEKNISK AVDELING

Oppdr.nr.
W965A

Dato
14. 3.03

Fig.



Sym	Profil	Dybde(m)	Labnr	Forsøkstype	dV(cm3)	Køpr.	Kommentar
▲	Hull 2	4.40	014C	CIUA1	7.00	12 4	siltig leire, kvikk
▼	Hull 2	4.50	014D	CIUA1	17.00	12 4	siltig leire, kvikk

TREAKSIALFORSØK

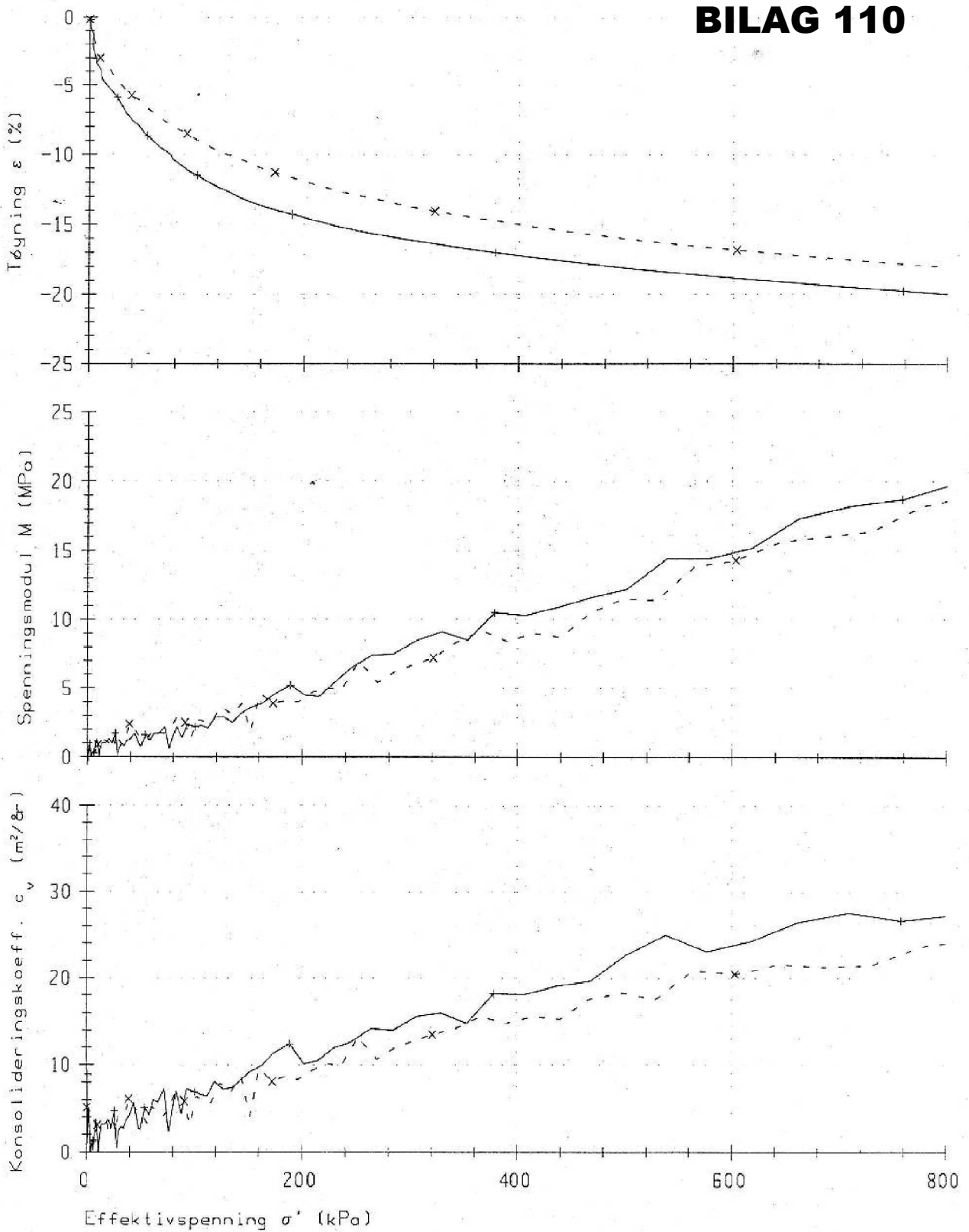
Oppdr.nr.
W965A

Dato
14. 3.03

VEGTEKNISK AVDELING

Fig.

BILAG 110



Boring	Dybde, m	Labnr.	F.type	Kommentar
+ - + Hull 2	4.6	14E	CRS	siltig leire kvikk
x - x - x Hull 2	4.6	14E1	CRS	siltig leire kvikk

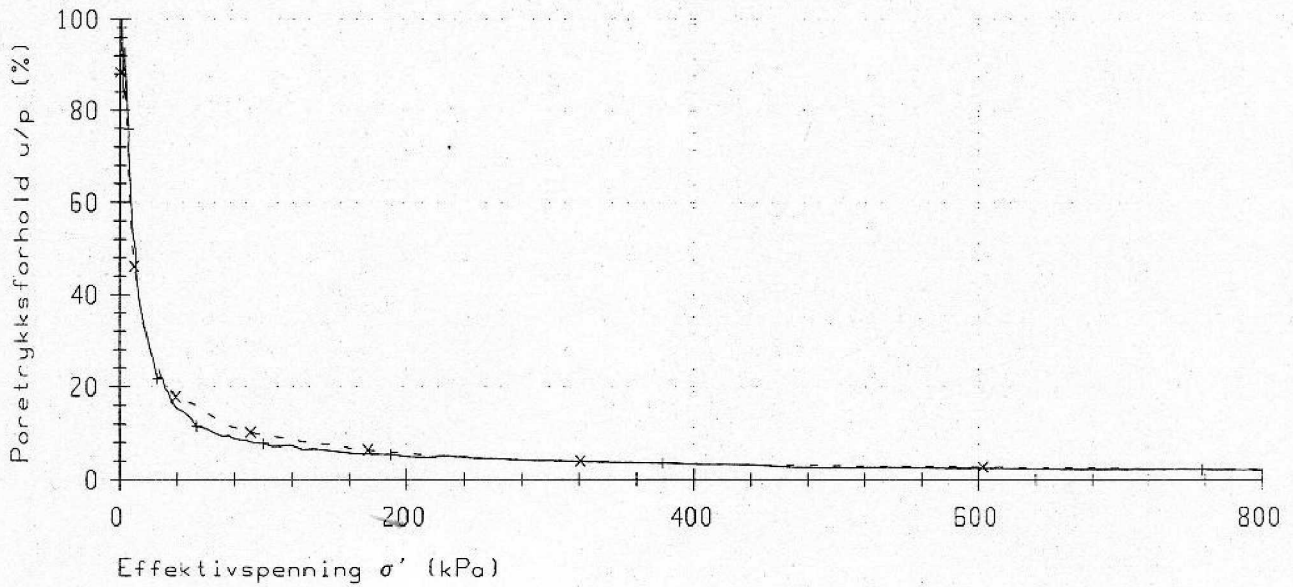
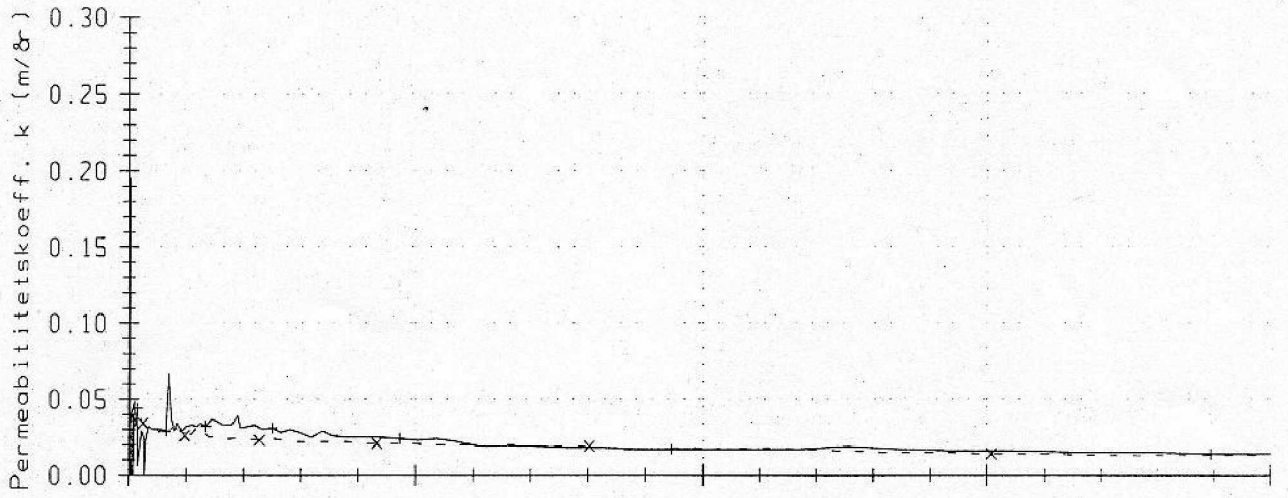
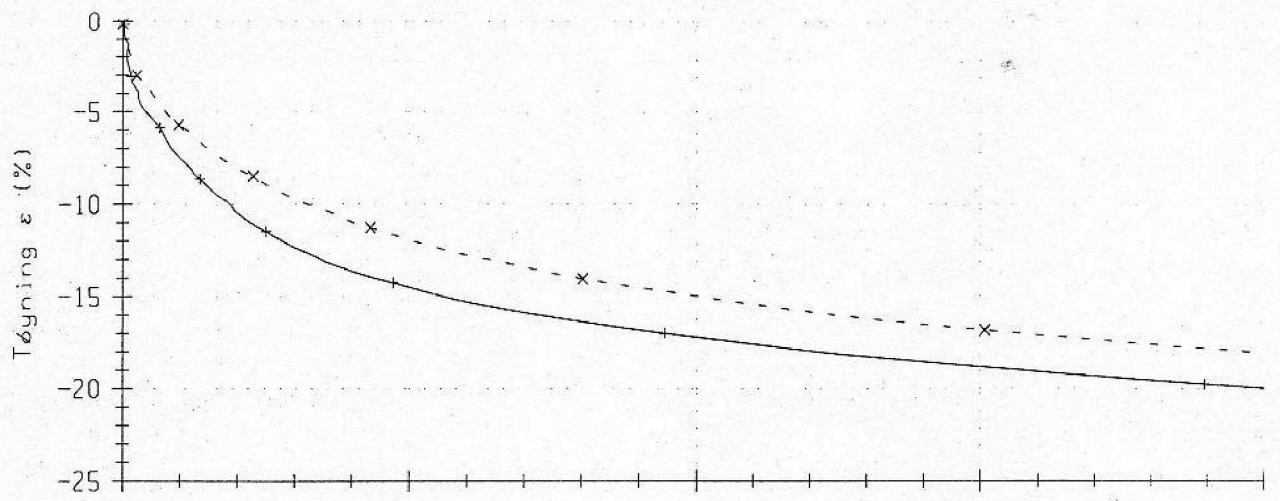
KONTINUERLIG ØDOMETER

Oppdrag
w965A

Veglaboratoriet

Dato
2003-02-19

Fig.



	Boring	Dybde, m	Labnr.	F.type	Kommentar
+	Hull 2	4.6	14E	CRS	siltig leire kvikk
x	Hull 2	4.5	14E1	CRS	siltig leire kvikk

KONTINUERLIG ØDOMETER

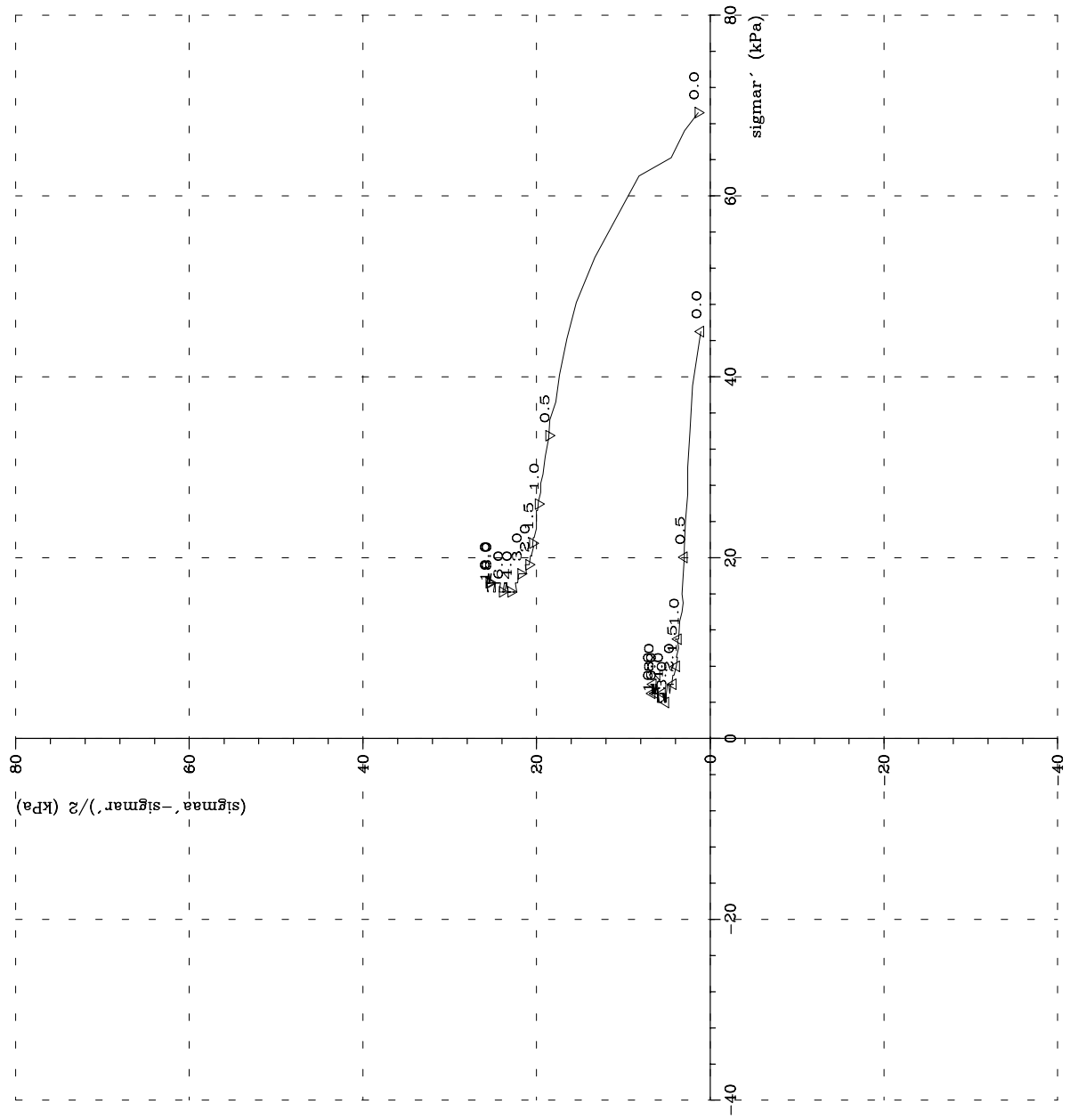
Veglaboratoriet

Oppdrag
w965A

Date
2003-02-19

Fig.

Sym	Profil	Dybde(m)	Labnr	Forsøkstype	dV(cm ³)	Korr.	Kommentar
△	Hull 4	4.50	017D	CIUA1	7.00	12 4	siltig leire, kvikk
▽	Hull 4	4.60	017E	CIUA1	20.00	12 4	siltig leire, kvikk



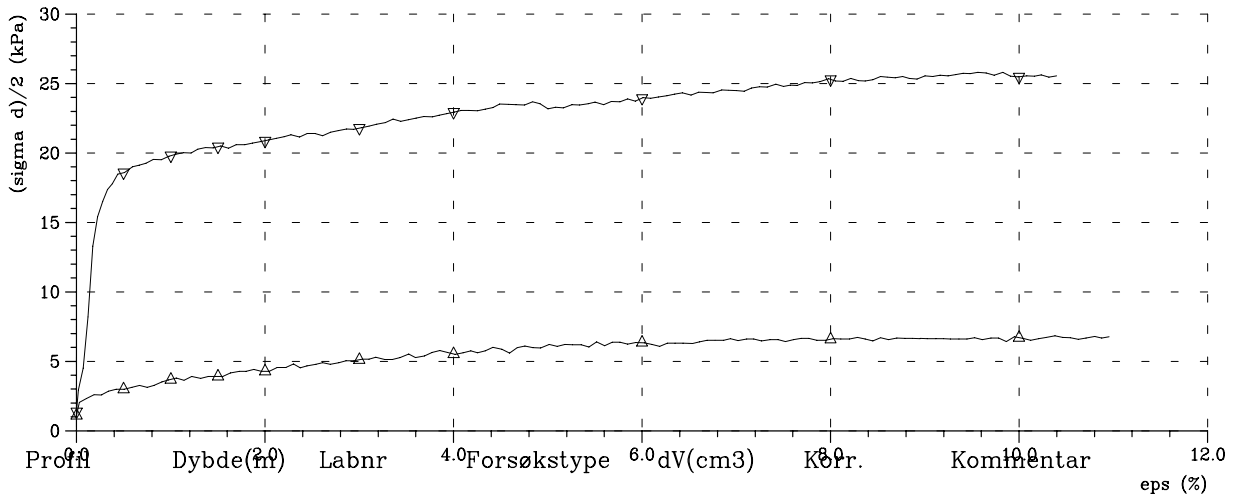
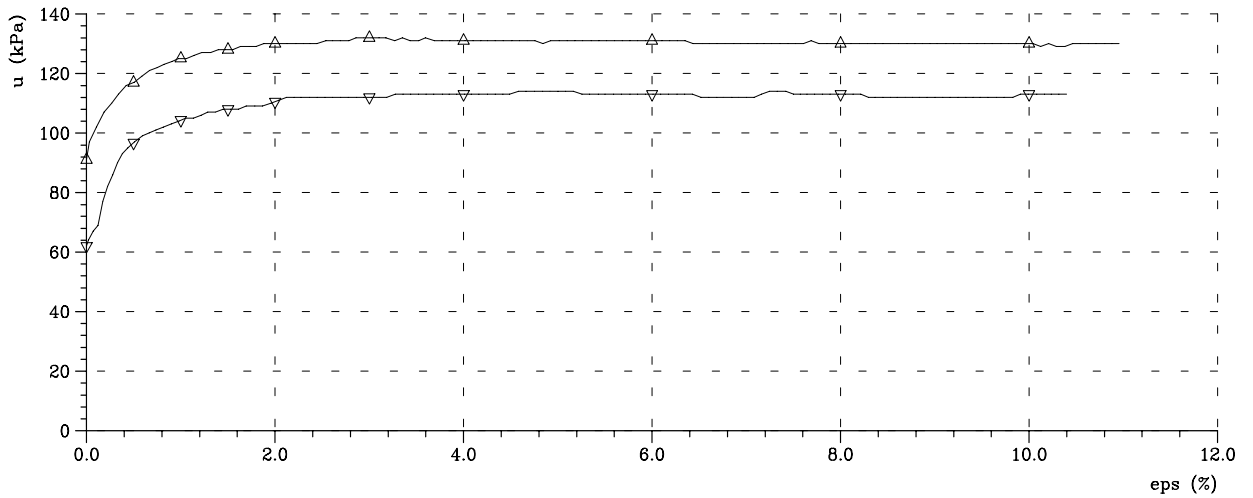
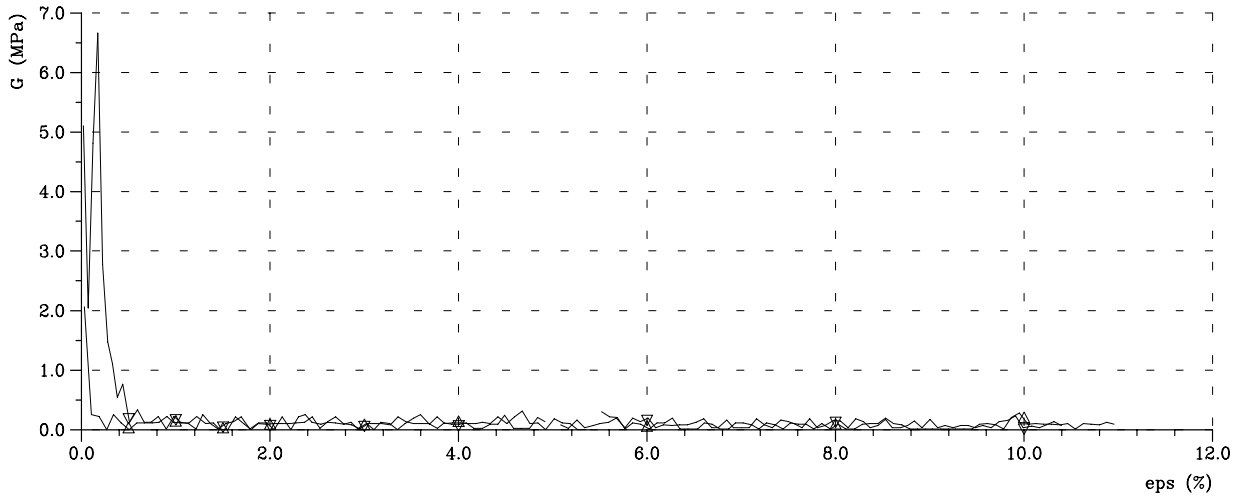
TREKSIALFORSØK

VEGTEKNISK AVDELING

Oppdr.nr.
W965A

Dato
14. 3.03

Fig.



Sym	Profil	Dybde(m)	Labnr	Forsøkstype	dV(cm ³)	Køpr.	Kommentar
▲	Hull 4	4.50	017D	CIUA1	7.00	12 4	siltig leire, kvikk
▼	Hull 4	4.60	017E	CIUA1	20.00	12 4	siltig leire, kvikk

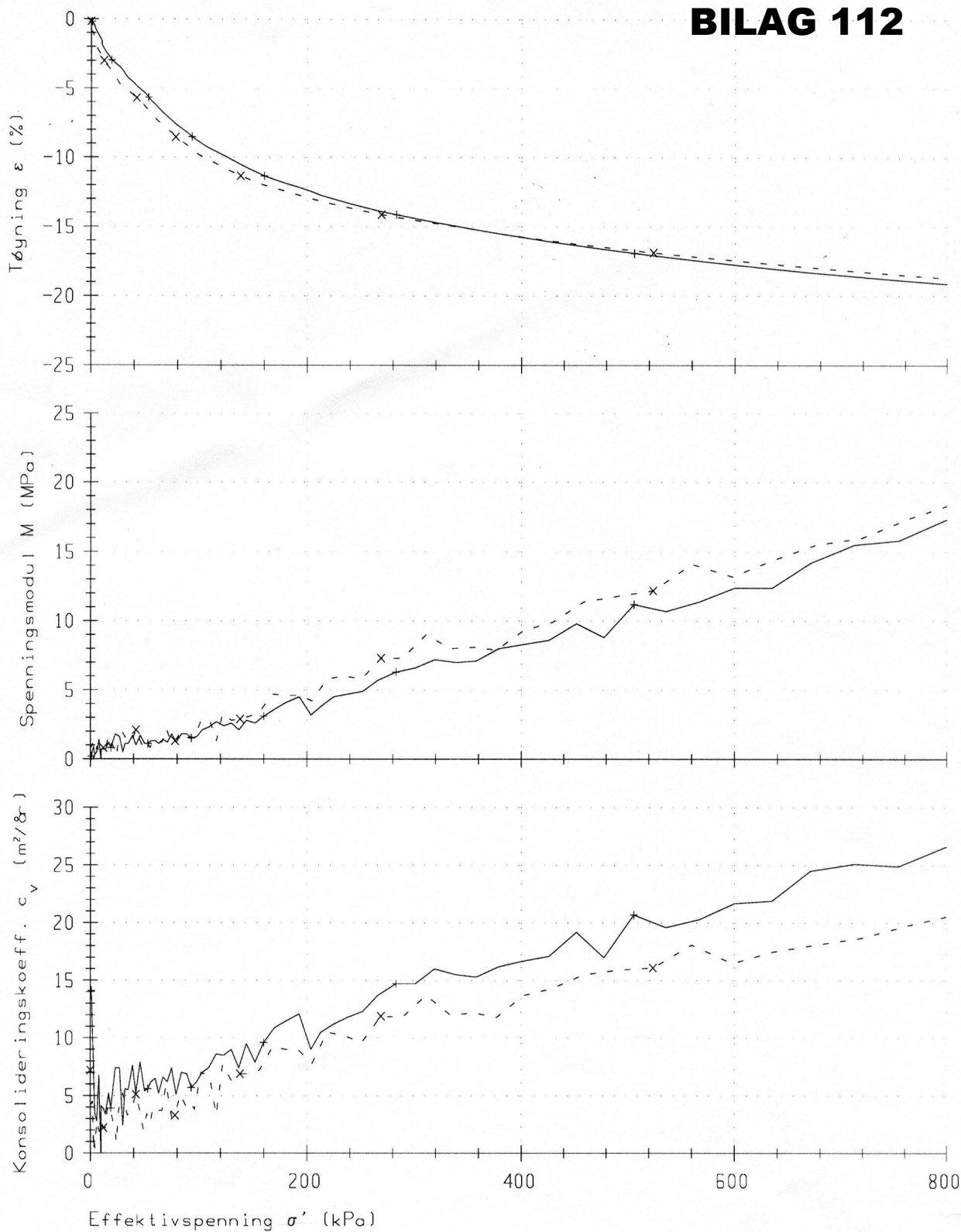
TREAKSIALFORSØK

Oppdr.nr.
W965A

Dato
14. 3.03

VEGTEKNISK AVDELING

Fig.



Boring	Dybde,m	Labnr.	F.type	Kommentar
+ -+ Hull 4	2.5	16D	CRS	leire kvikk
x -x- x Hull 4	5.7	18D	CRS	leire kvikk

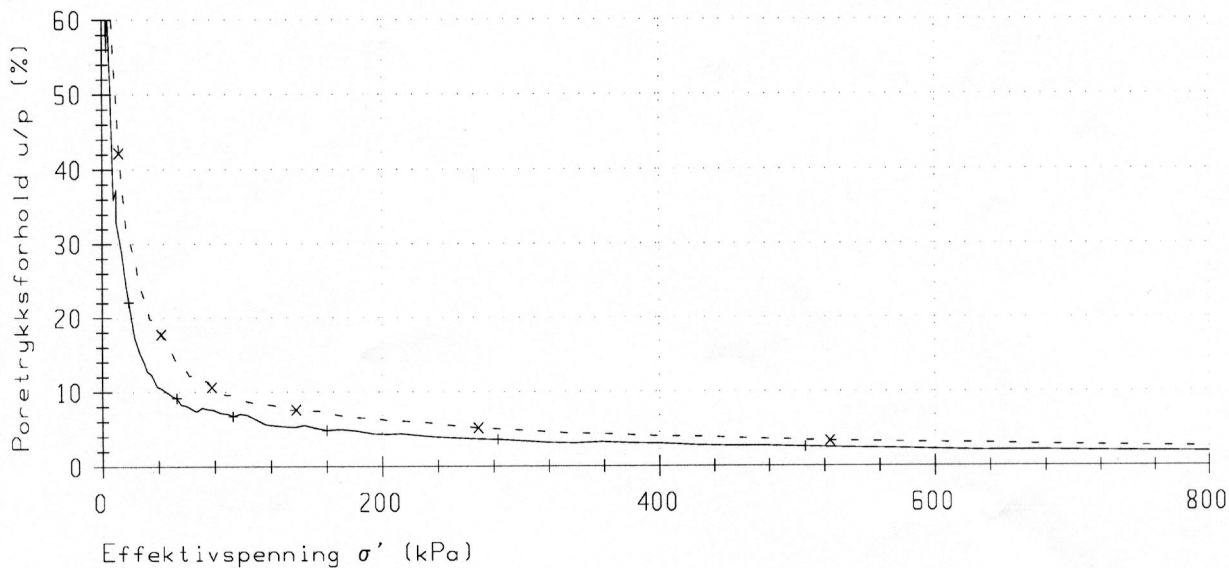
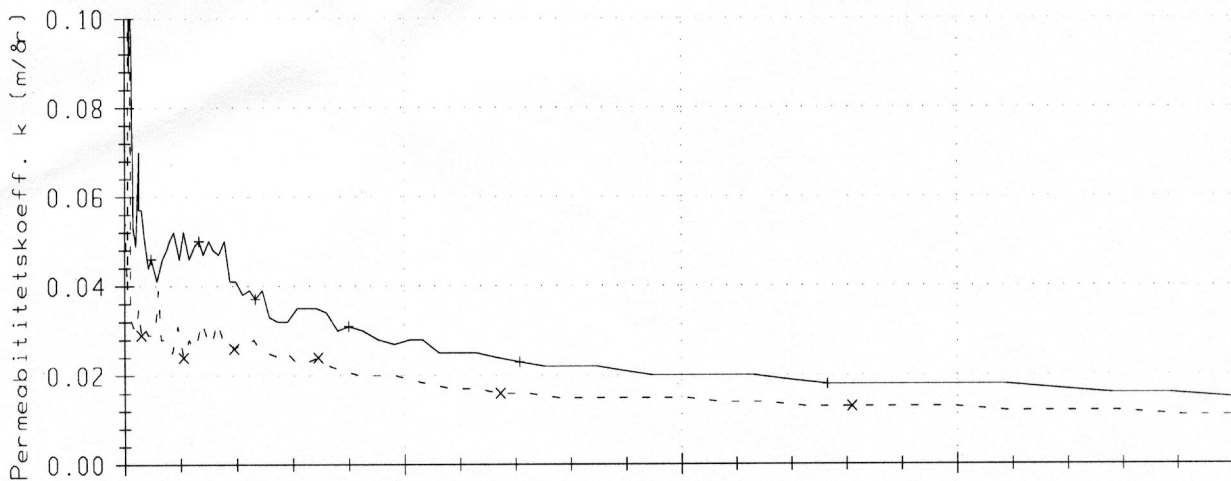
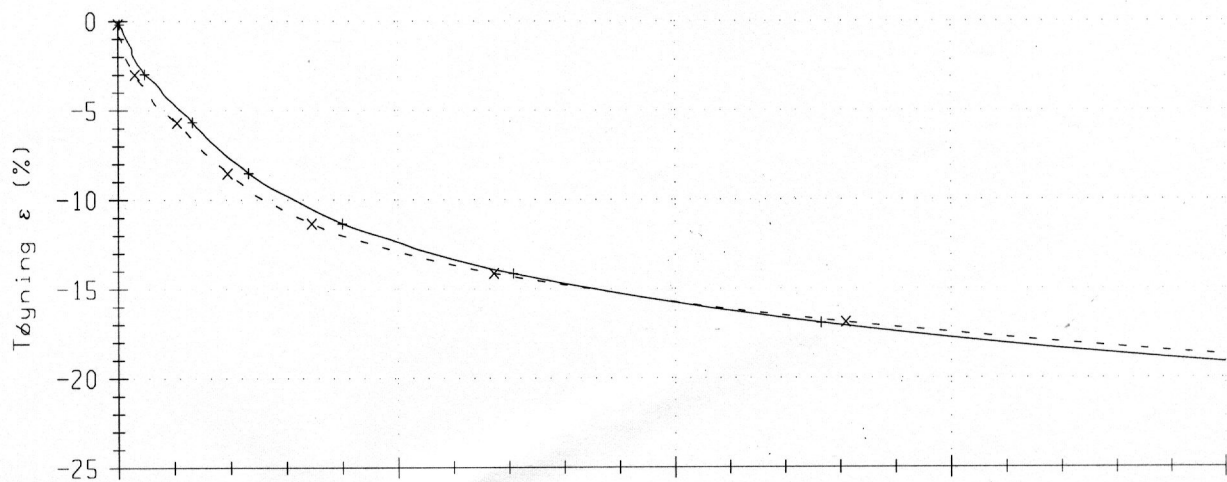
KONTINUERLIG ØDOMETER

Veglaboratoriet

Oppdrag
W965A

Dato
2003-03-12

Fig.



Boring	Dybde,m	Labnr.	F.type	Kommentar
+ - + H11 4	2.5	16D	CRS	leire kvikk
* - x - * H11 4	5.7	18D	CRS	leire kvikk

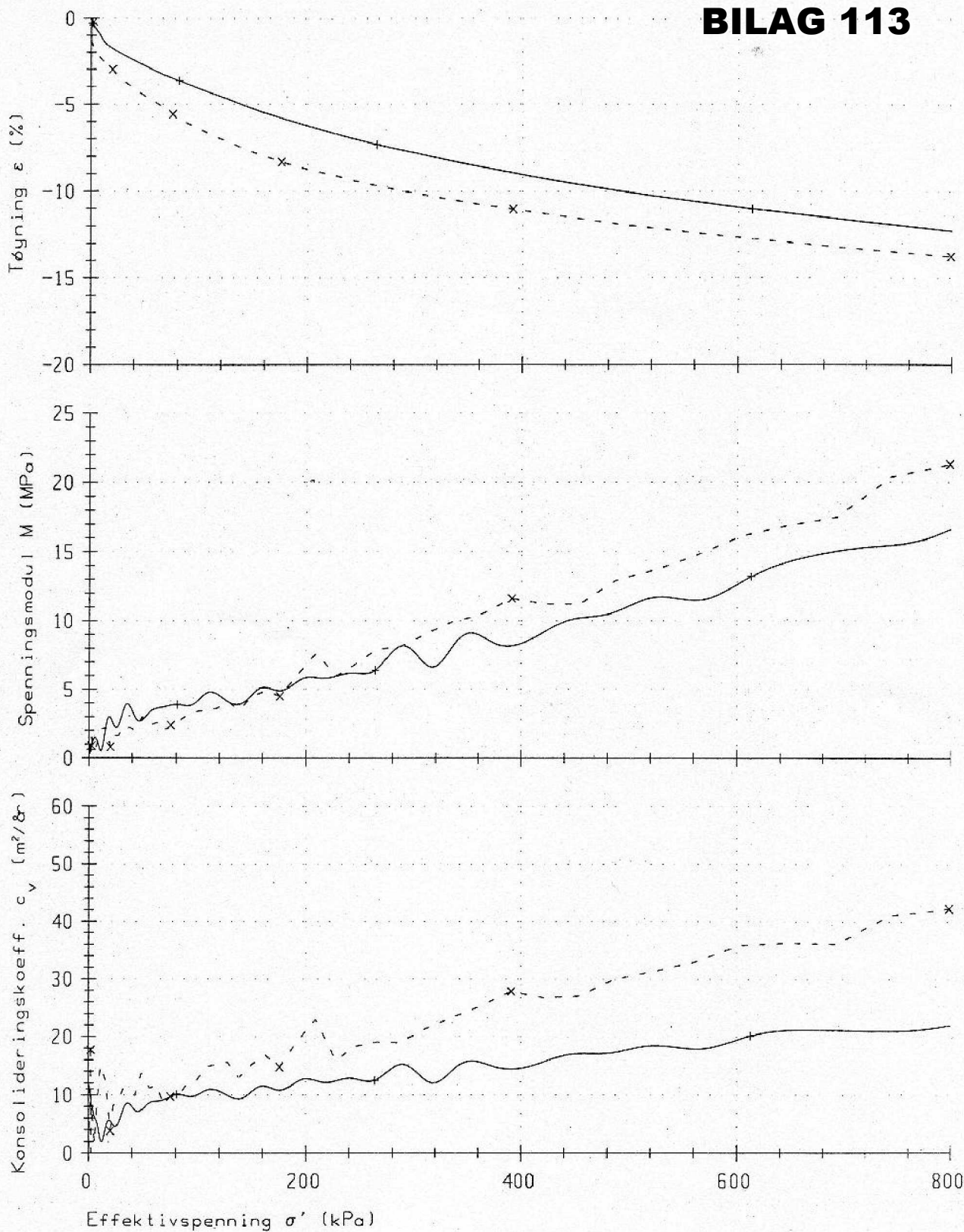
KONTINUERLIG ØDOMETER

Oppdrag
W965A

Veglaboratoriet

Dato
2003-03-12

Fig.



	Boring	Dybde,m	Labnr.	F.type	Kommentar
—+—+—	Hull 8	4.4	19C	CRS	siltig leire
-x-	Hull 8	5.5	20D	CRS	siltig leire kvikk

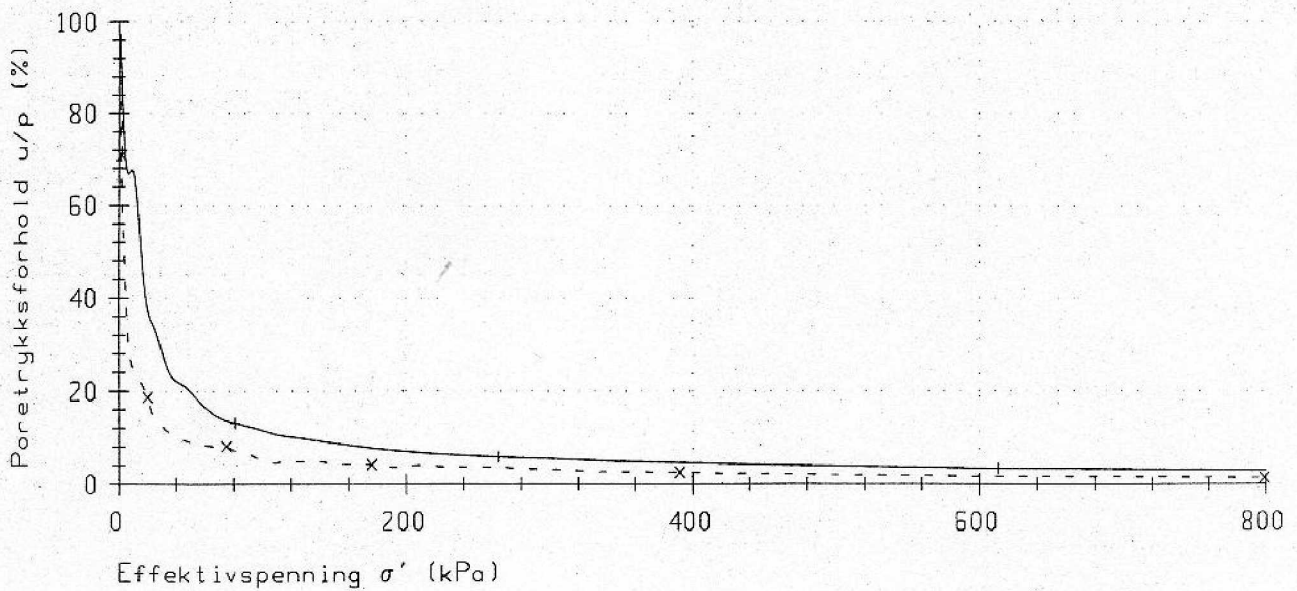
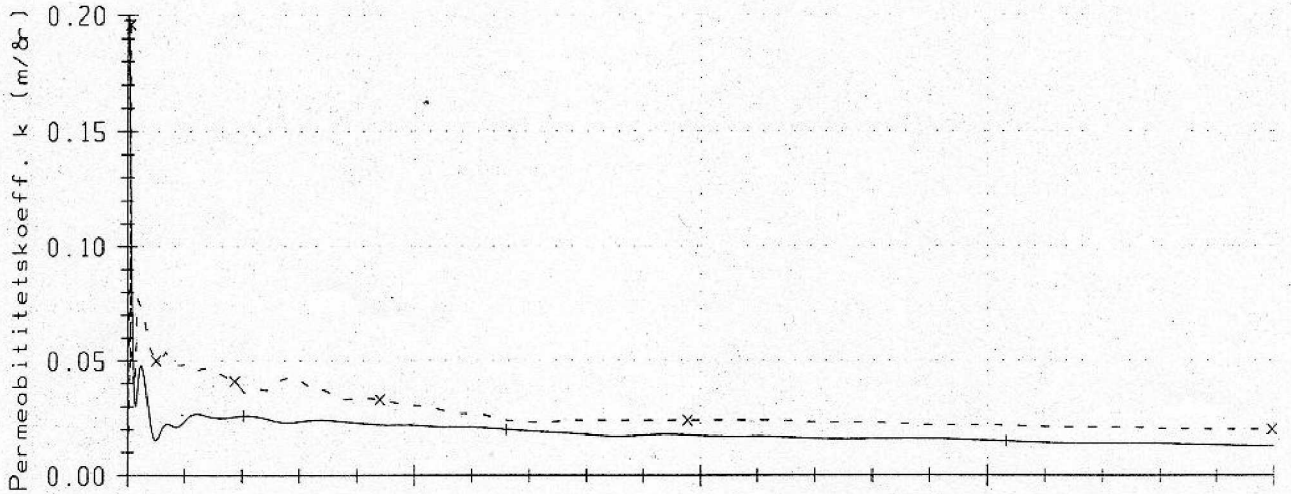
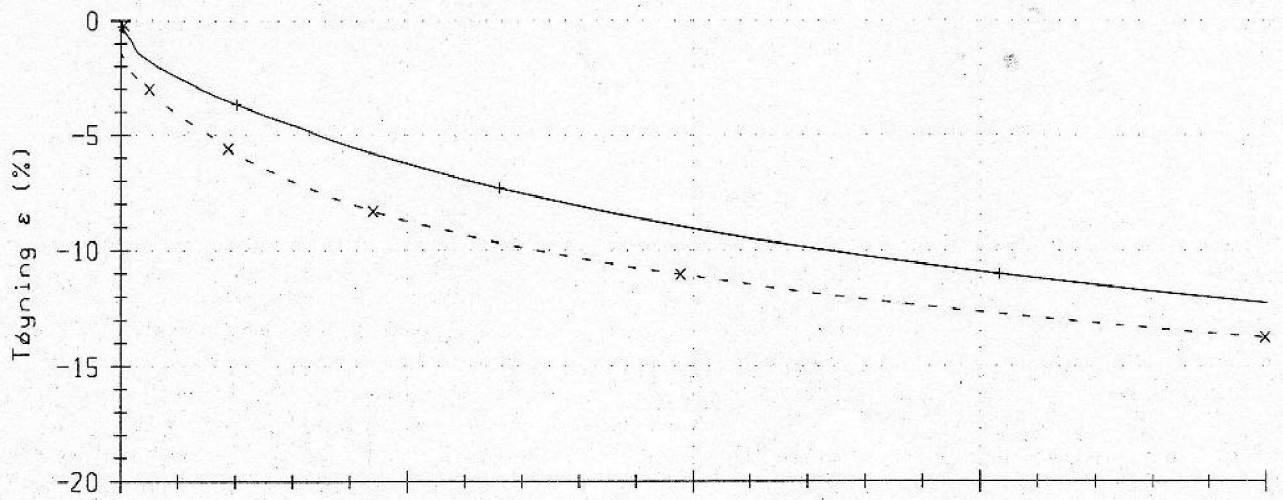
KONTINUERLIG ØDOMETER

Veglaboratoriet

Oppdrag
W939D

Dato
2003-02-21

Fig.



Boring	Dybde,m	Labnr.	F.type	Kommentar
+ - + Hull 8	4.4	19C	CRS	siltig leire
* -x- * Hull 8	5.5	20D	CRS	siltig leire kvikk

KONTINUERLIG ØDOMETER

Veglaboratoriet

Oppdrag

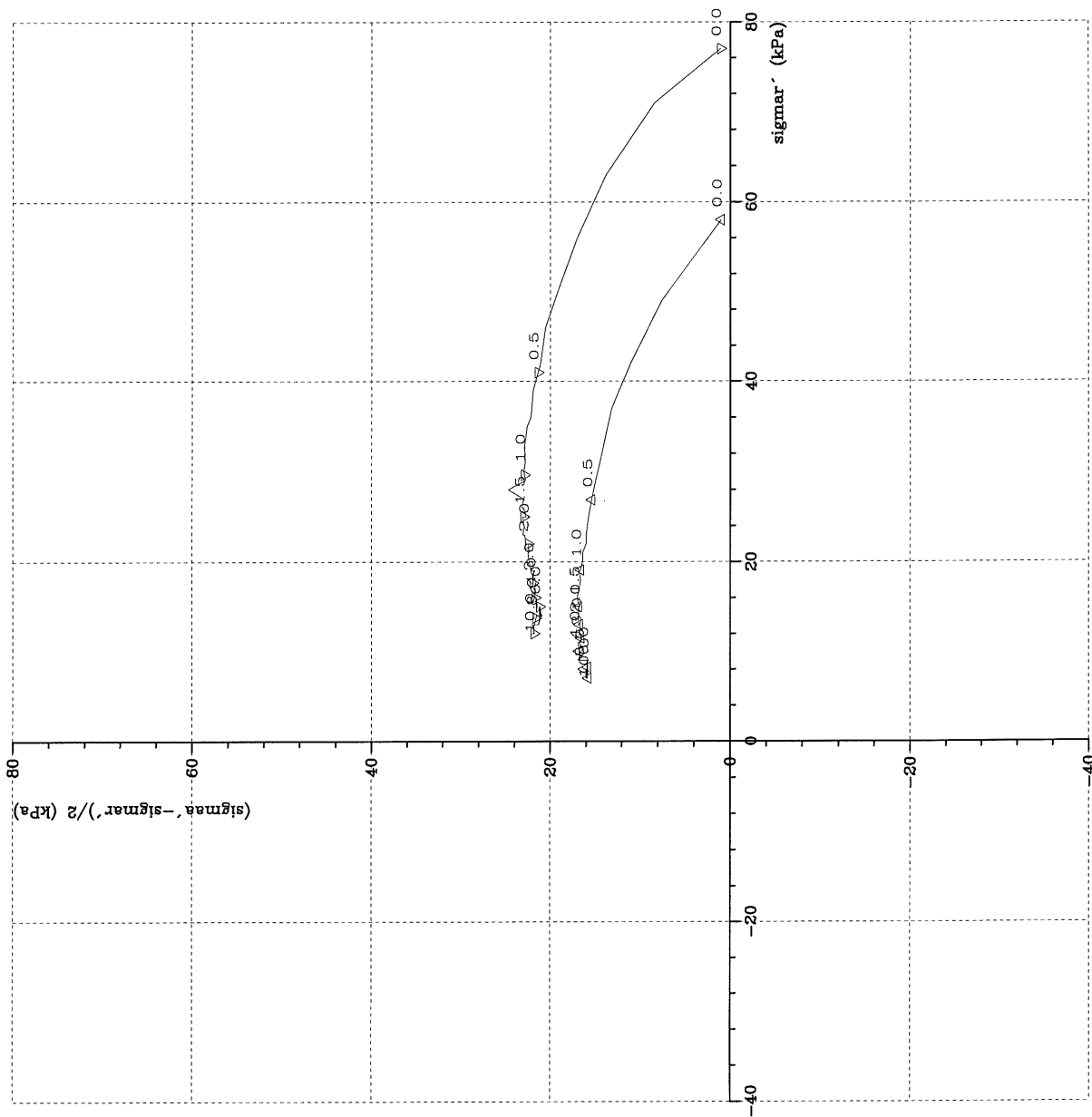
W939D

Dato

2003-02-21

Fig.

Sym	Profil	Dybde(m)	Labnr	Forsøkstype	dV(cm ³)	Korr.	Kommentar
△	Hull 343	5.40	6D	CIUA1	15.00	12.4	leire, kvikk
▽	Hull 343	7.50	8E	CIUA1	15.00	12.4	leire



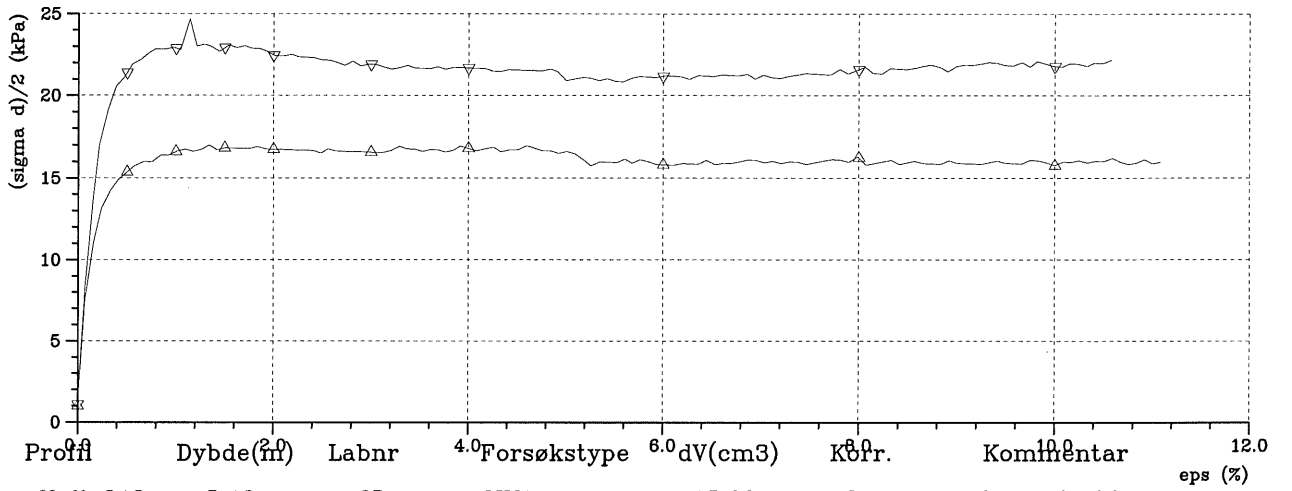
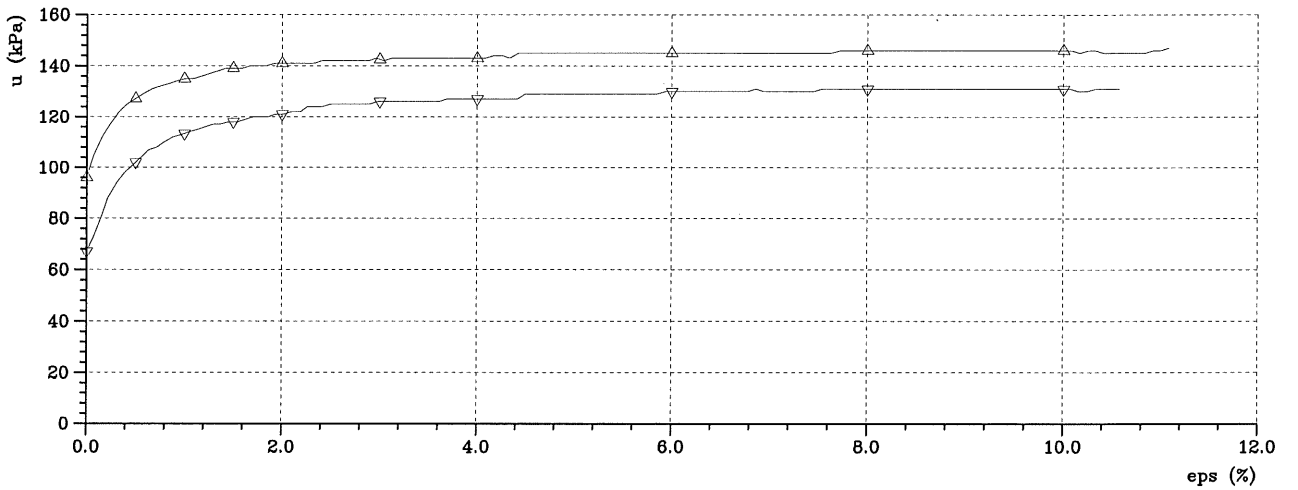
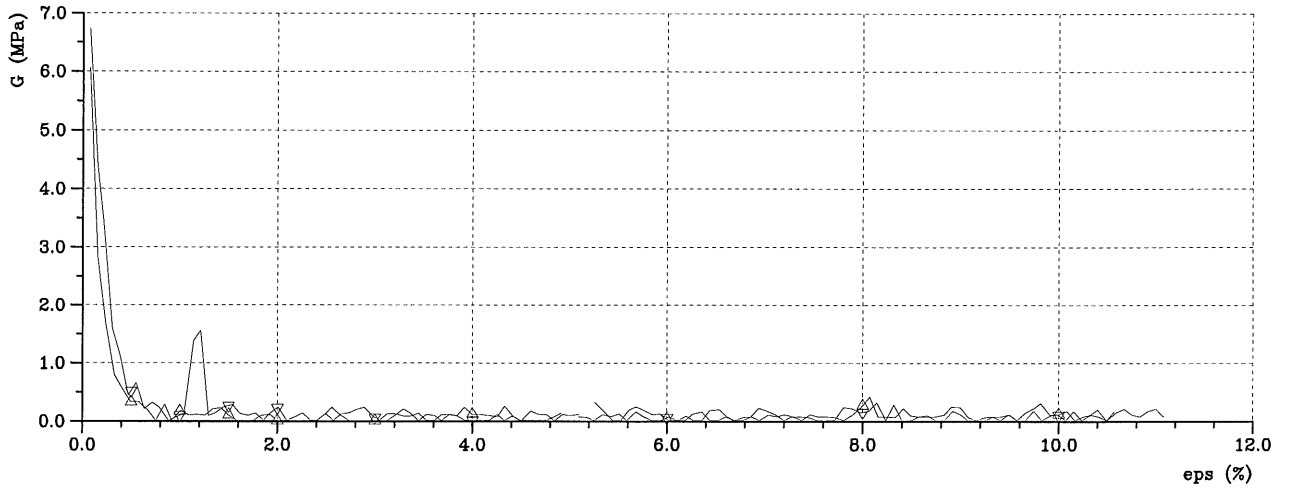
TREAKSIALFORSØK

VEGTEKNISK AVDELING

Oppdr.nr.
N50513

Dato
15. 4.10

Fig.



Sym	Profil	Dybde(m)	Labnr	Forsøkstype	dV(cm ³)	Kørr.	Kommentar
▲	Hull 343	5.40	6D	CIUA1	15.00	12 4	leire, kvikk
▼	Hull 343	7.50	8E	CIUA1	15.00	12 4	leire

TREKSIALFORSØK

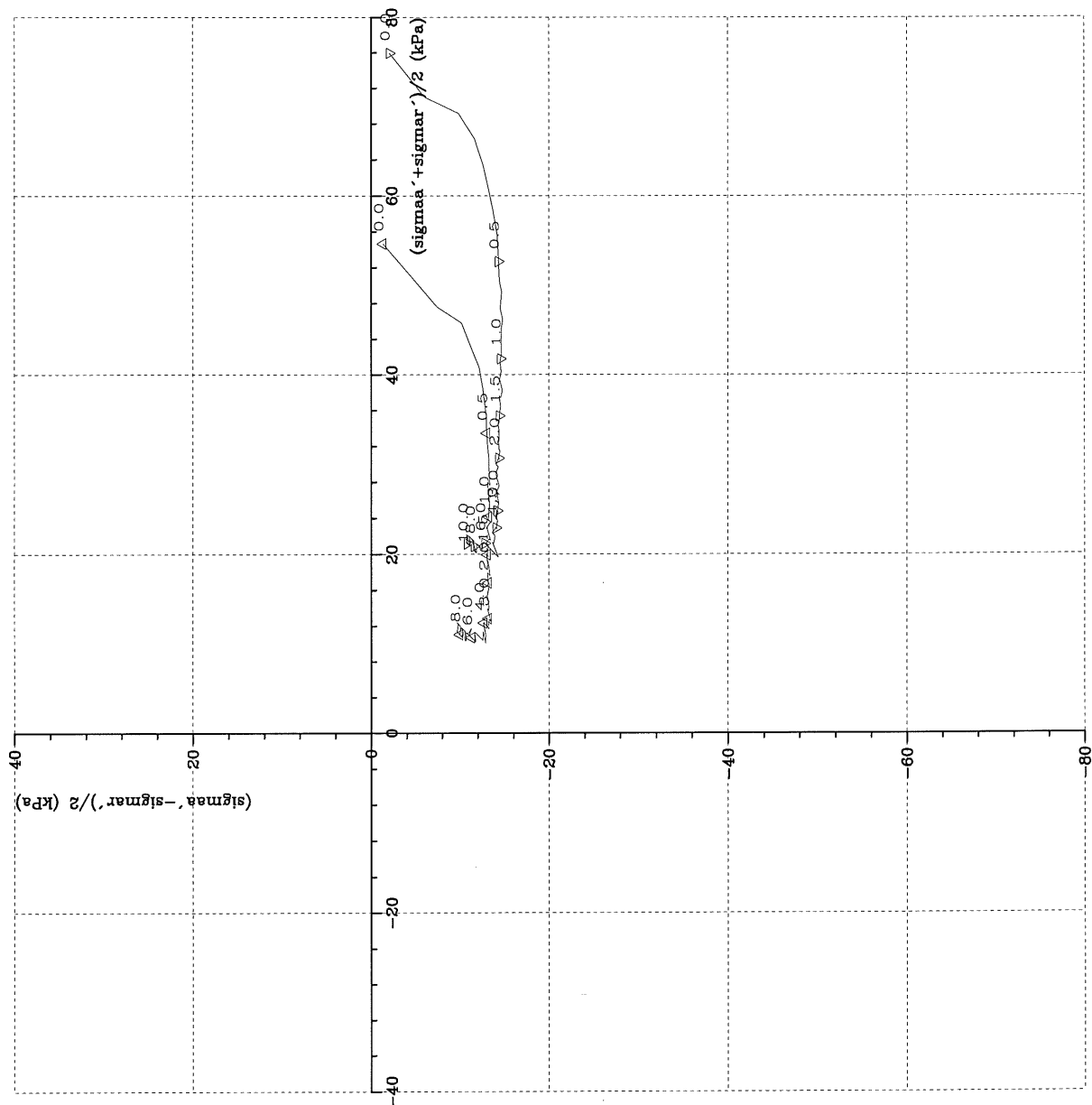
VEGTEKNISK AVDELING

Oppdr.nr.
N50513

Dato
15. 4.10

Fig.

Sym	Profil	Dybde(m)	Labnr	Forsøkstype	dV(cm ³)	Korr.	Kommentar
△	Hull 343	5.30	6C	CIUP3	16.00	12 4	leire, kvikk
▽	Hull 343	7.60	8F	CIUP3	17.00	12 4	leire



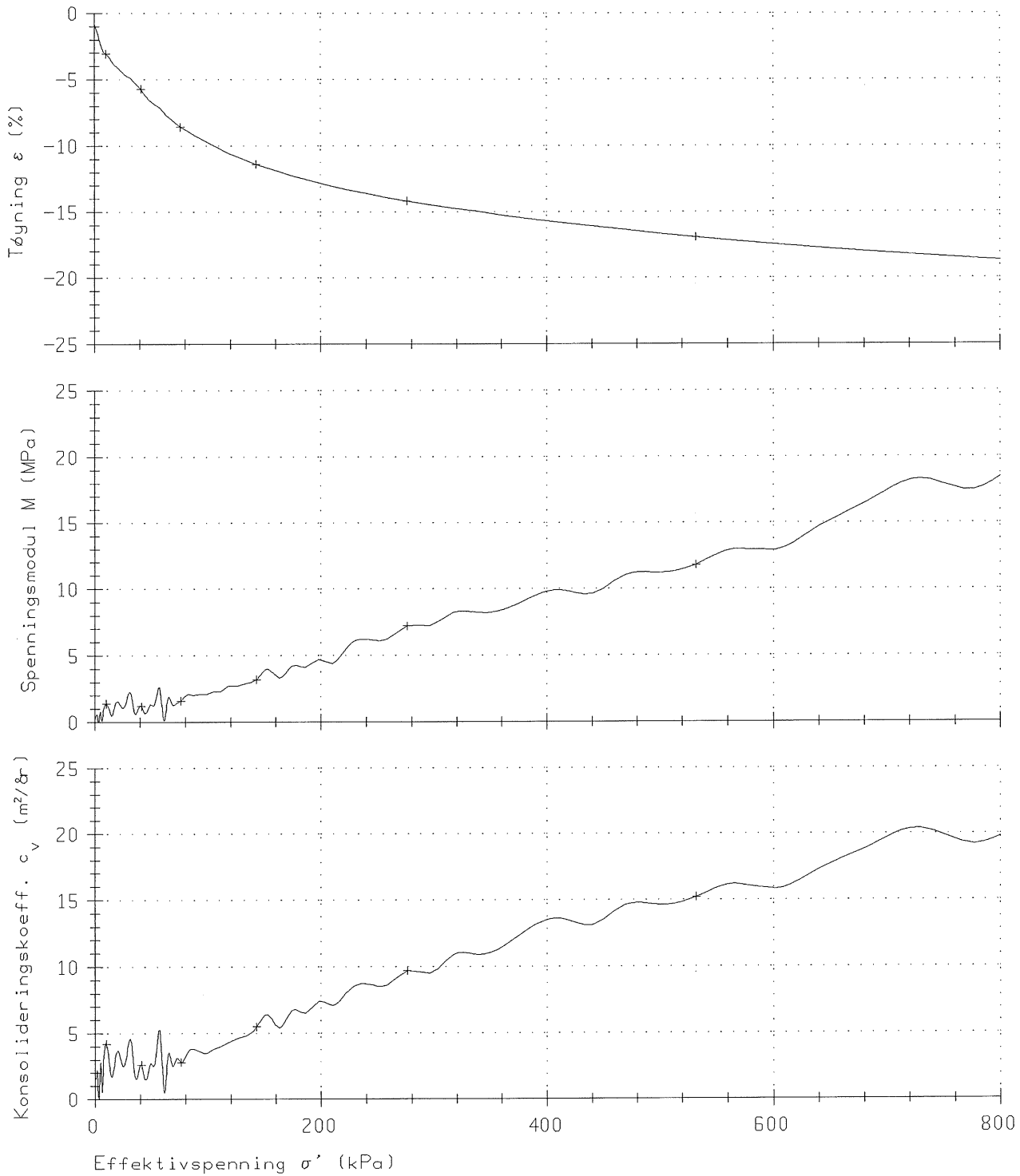
TREKSIALFORSØK

VEGTEKNISK AVDELING

Oppdr.nr.
N50513

Dato
16. 4.10

Fig.

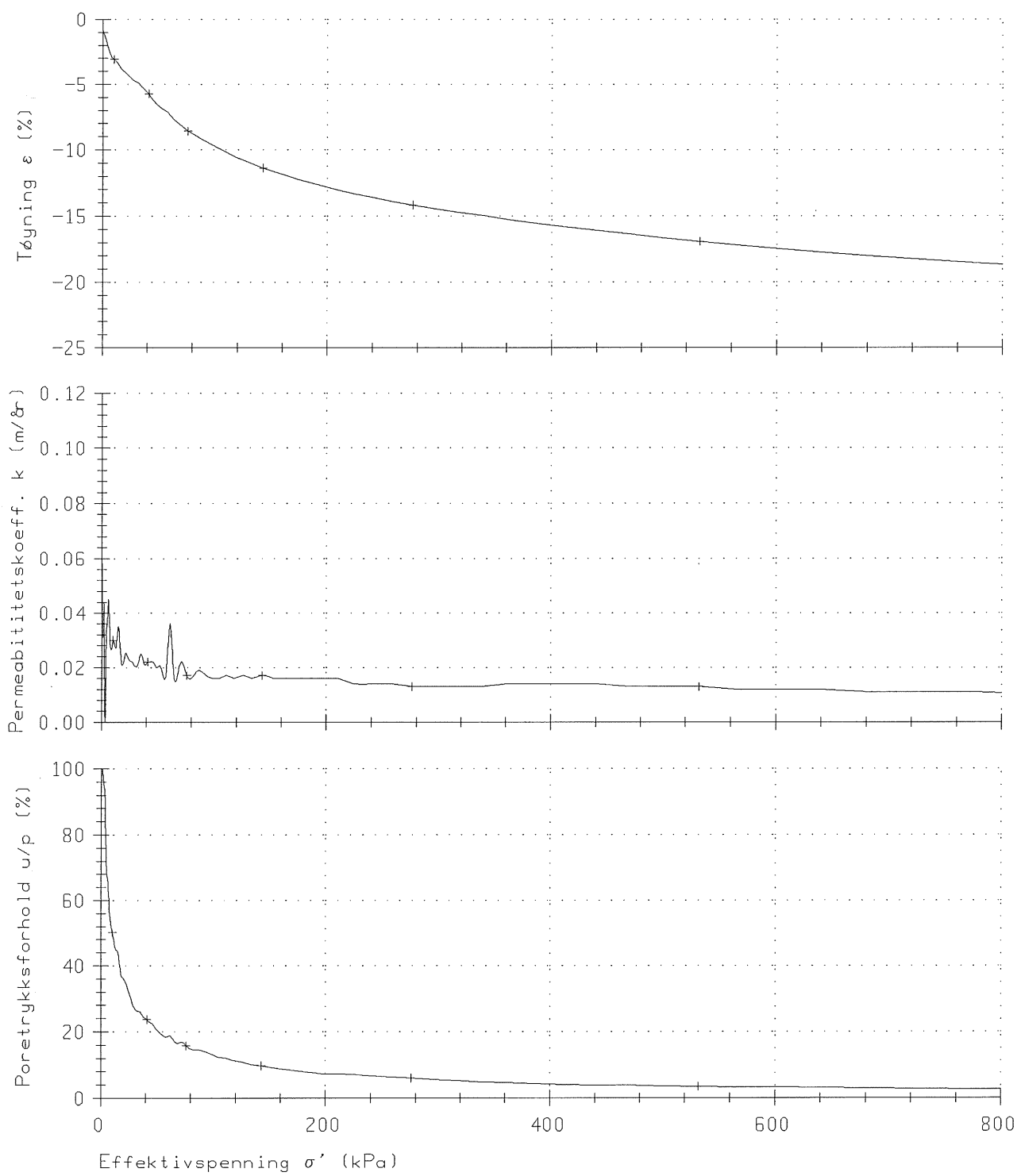


Boring	Dybde,m	Labnr.	F.type	Kommentar
→→→ Hull 343	5.5	6E	CRS	leire, kvikk

KONTINUERLIG ØDOMETER

Statens Vegvesen

Oppdrag	N50513
Dato	2010-04-12
Fig.	



Boring	Dybde,m	Labnr.	F.type	Kommentar
→ → → Hull 343	5.5	6E	CRS	leire, kvikk

KONTINUERLIG ØDOMETER

Statens Vegvesen

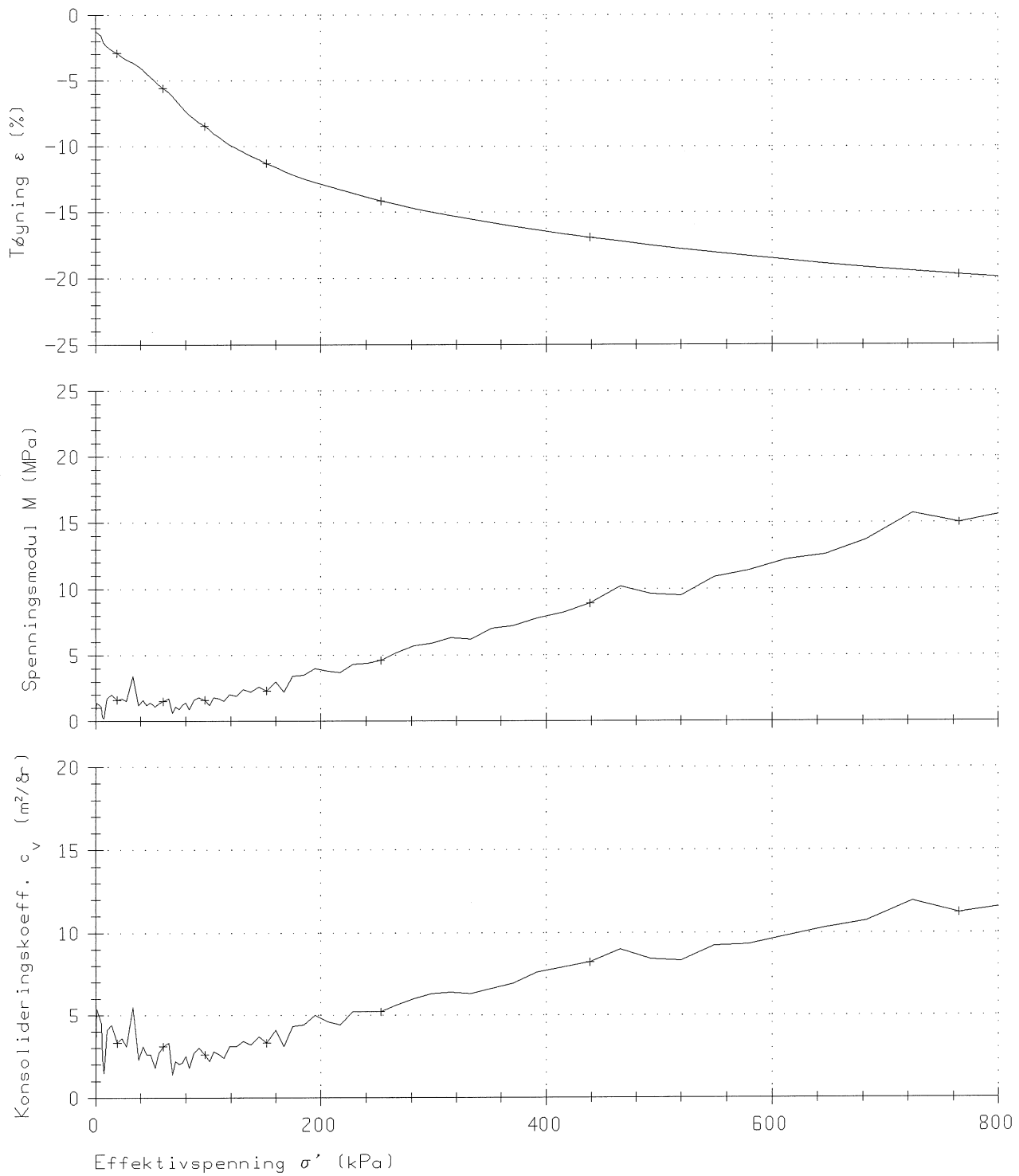
Oppdrag

N50513

Dato

2010-04-12

Fig.



Boring	Dybde,m	Labnr.	F.type	Kommentar
→ → → Hull 343	7.3	8C	CRS	leire

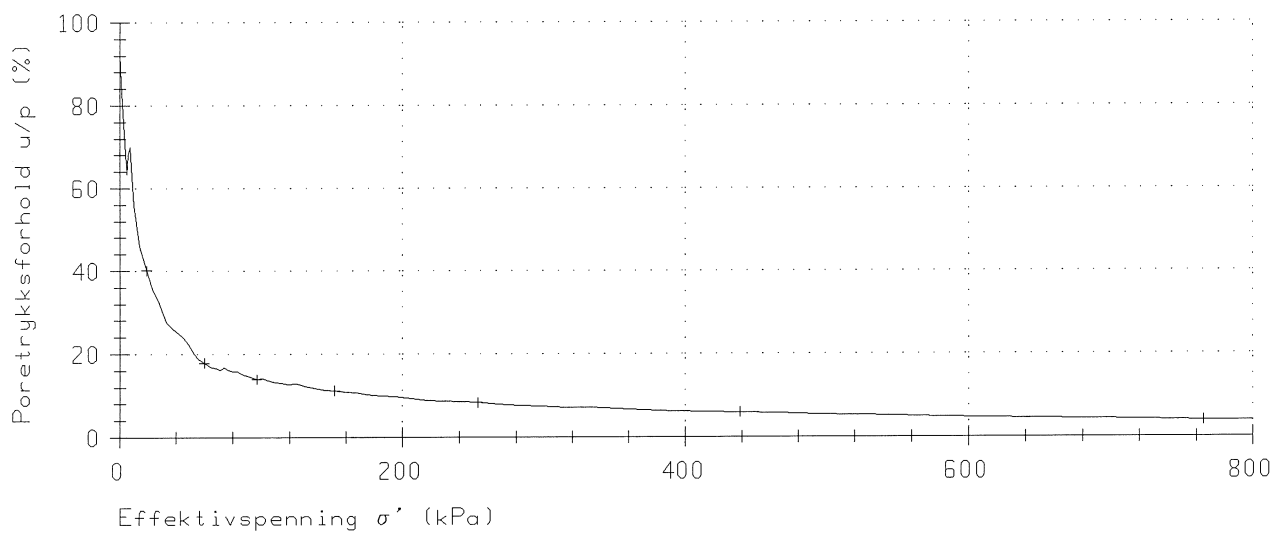
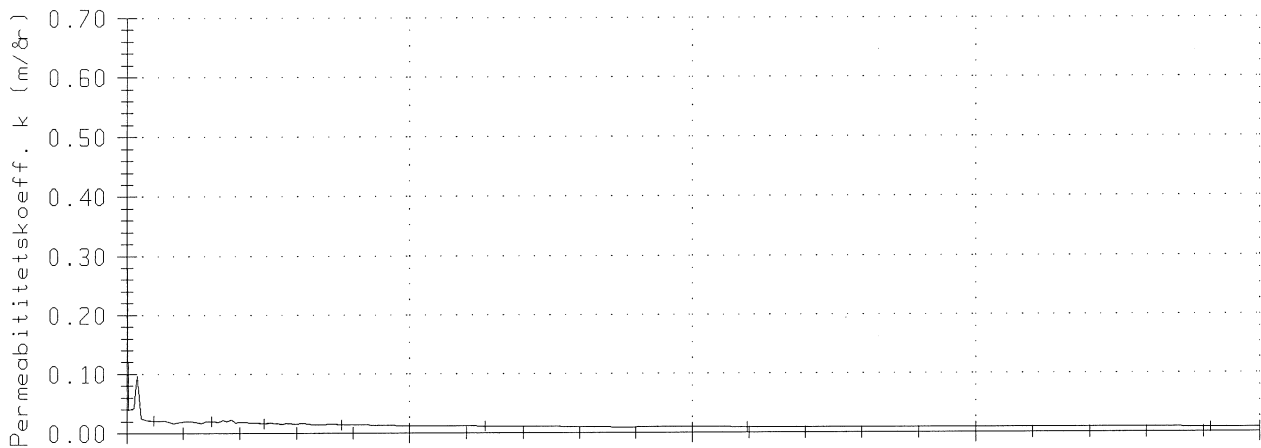
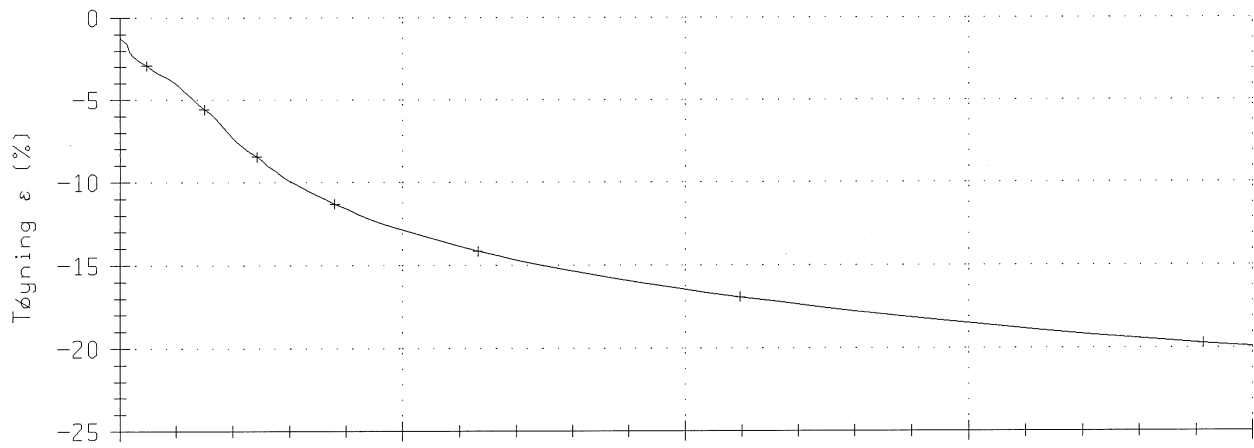
KONTINUERLIG ØDOMETER

Statens Vegvesen

Oppdrag
N50513

Dato
2010-04-14

Fig.



Boring	Dybde,m	Labnr.	F.type	Kommentar
→ → → Hull 343	7.3	8C	CRS	leire

KONTINUERLIG ØDOMETER

Statens Vegvesen

Oppdrag
N50513

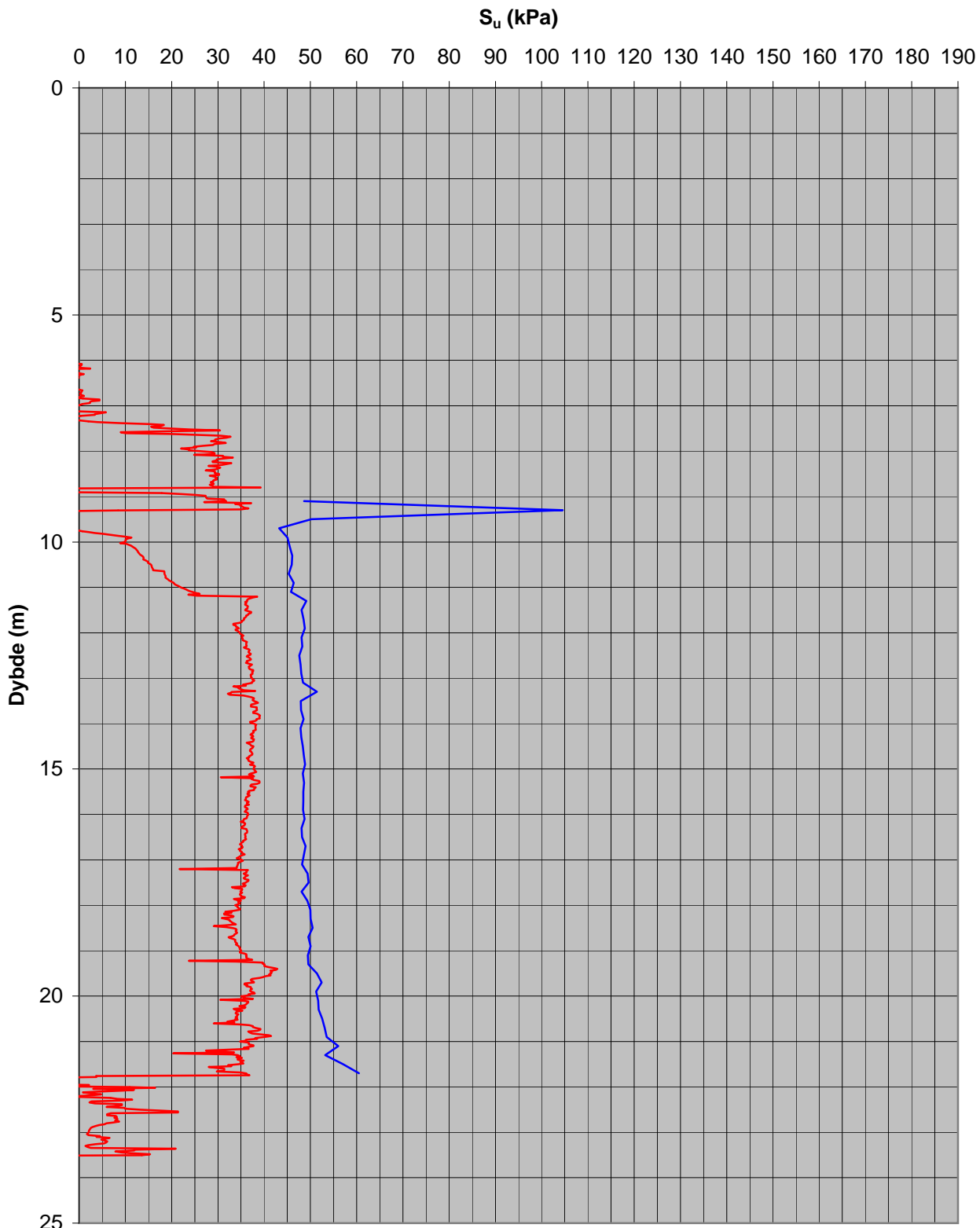
Dato
2010-04-14

Fig.

50513

Hull nr. 308

Beregnet s_u fra trykksondering (CPTU)



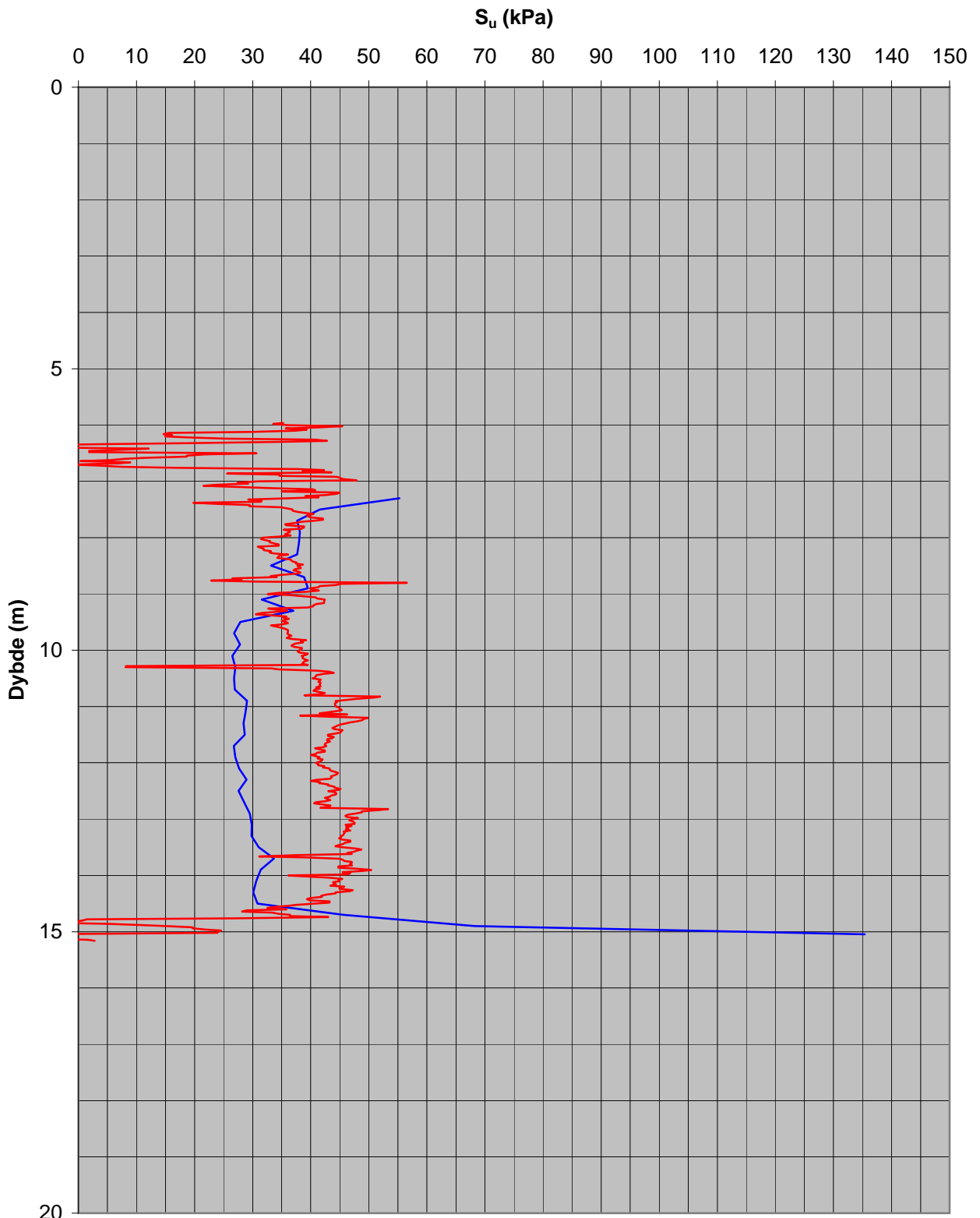
Bæreevnfaktor $N_{\Delta u}$ 9

— CPTU H308 - Spissmotstand — CPTU H308 - Poreovertrykk

50513

Hull nr. 310

Beregnet s_u fra trykksondering (CPTU)



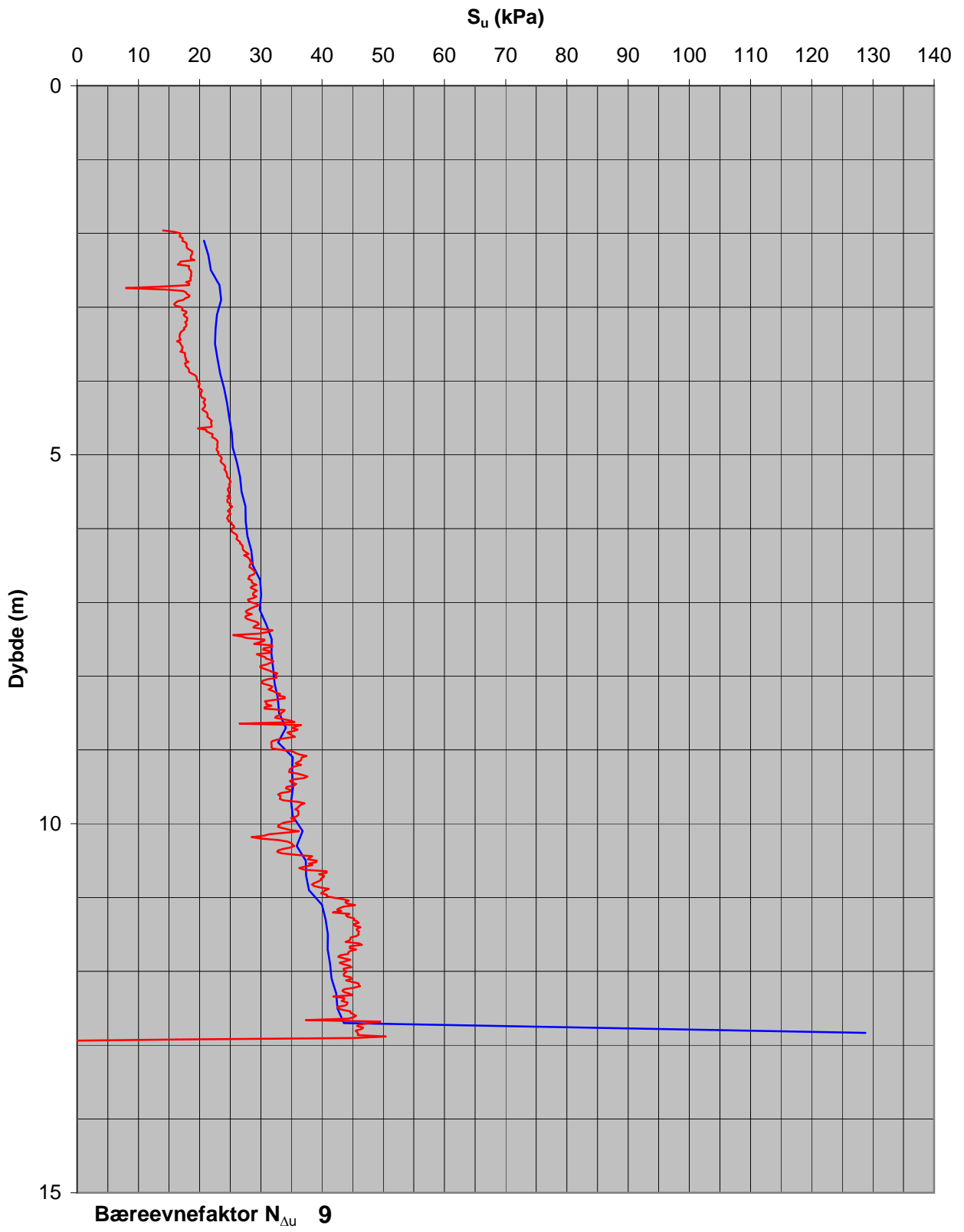
Bæreevnefaktor $N_{\Delta u}$ 9

— CPTU H310 - Spissmotstand — CPTU H310 - Poreovertrykk

50513

Hull nr. 318

Beregnet s_u fra trykksondering (CPTU)

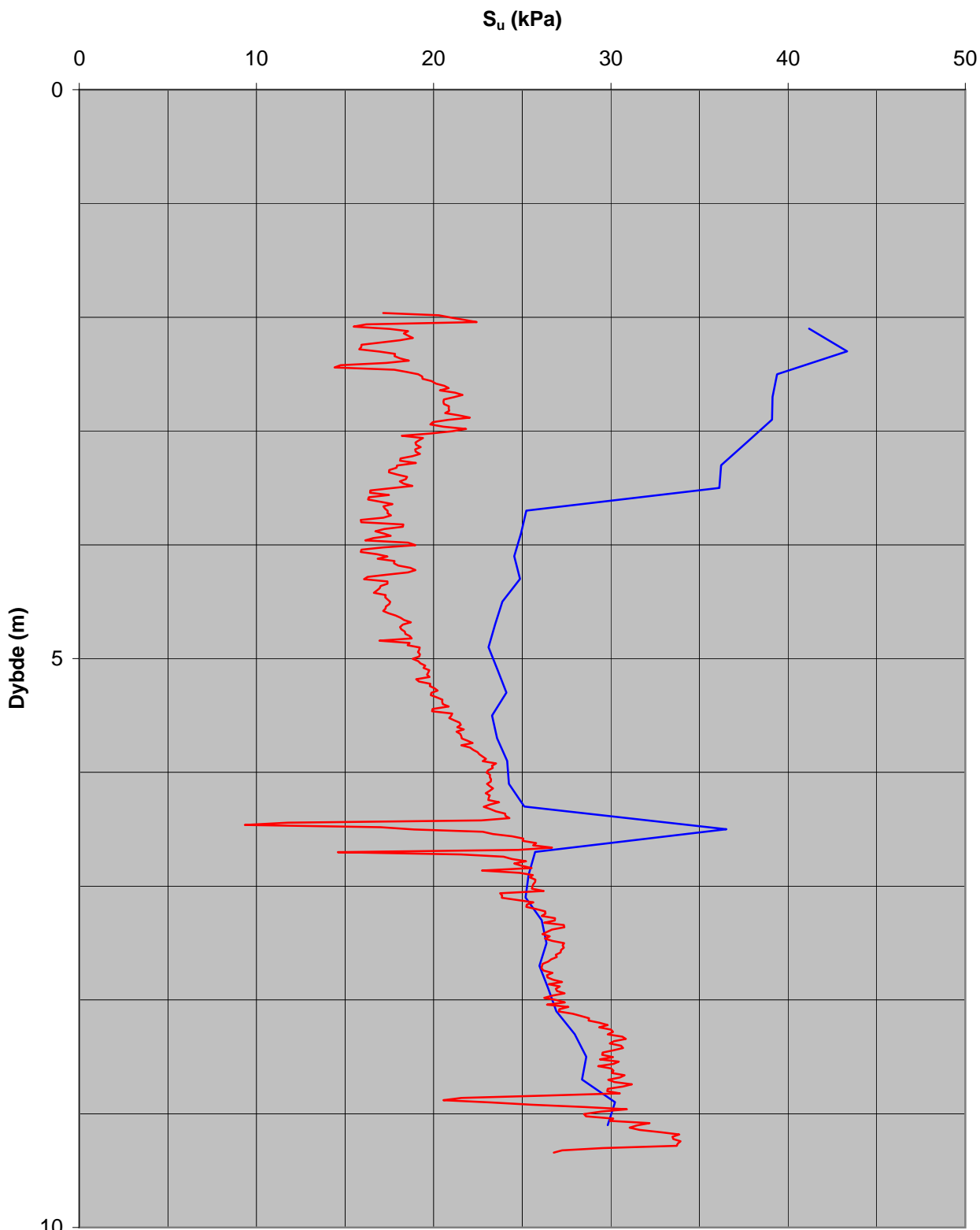


— CPTU H318 - Spissmotstand — CPTU H318 - Poreovertrykk

50513

Hull nr. 320

Beregnet s_u fra trykksondering (CPTU)

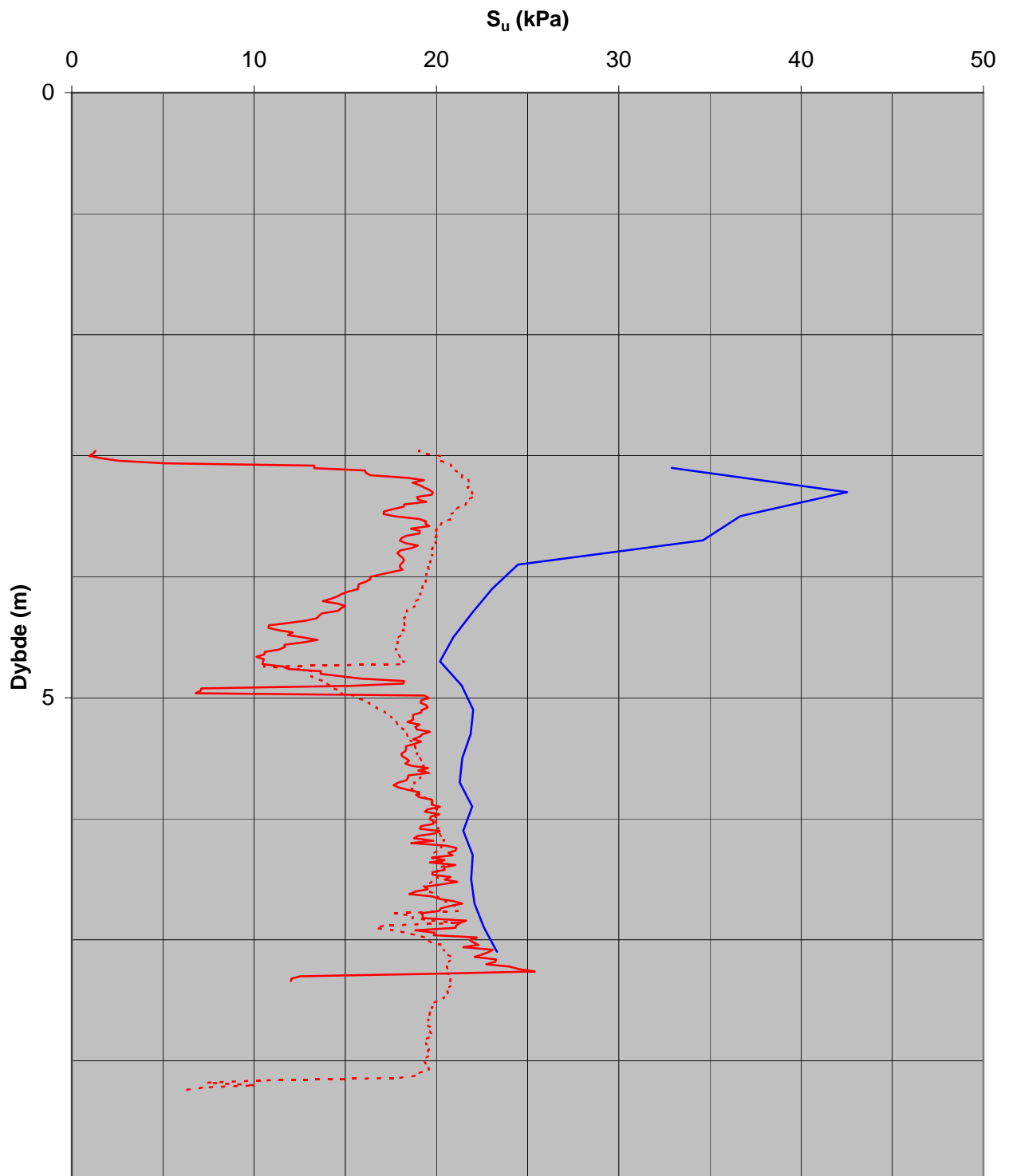


Bæreevnafaktor $N_{\Delta u}$ 9

— CPTU H320 - Spissmotstand — CPTU H320 - Poreovertrykk

50513

Hull nr. 328-2

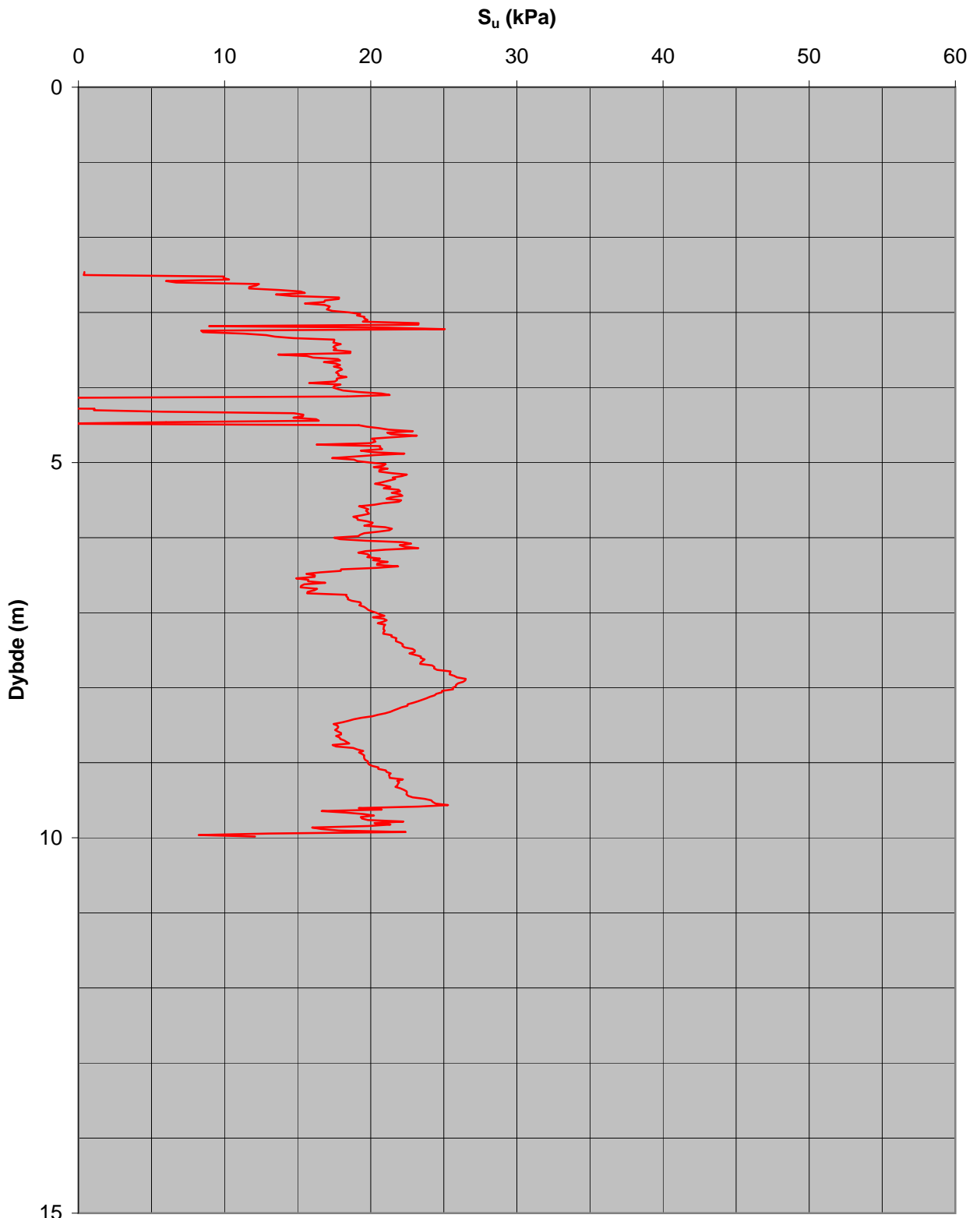
Beregnet s_u (poreovertrykk) fra trykksonderingBæreevnfaktor $N_{\Delta u} = 9$

— CPTU H328-2 - Spissmotstand — CPTU H328-2 - Poreovertrykk
- - - CPTU H328 - Poreovertrykk

50513

Hull nr. 330

Beregnet s_u fra trykksondering (CPTU)



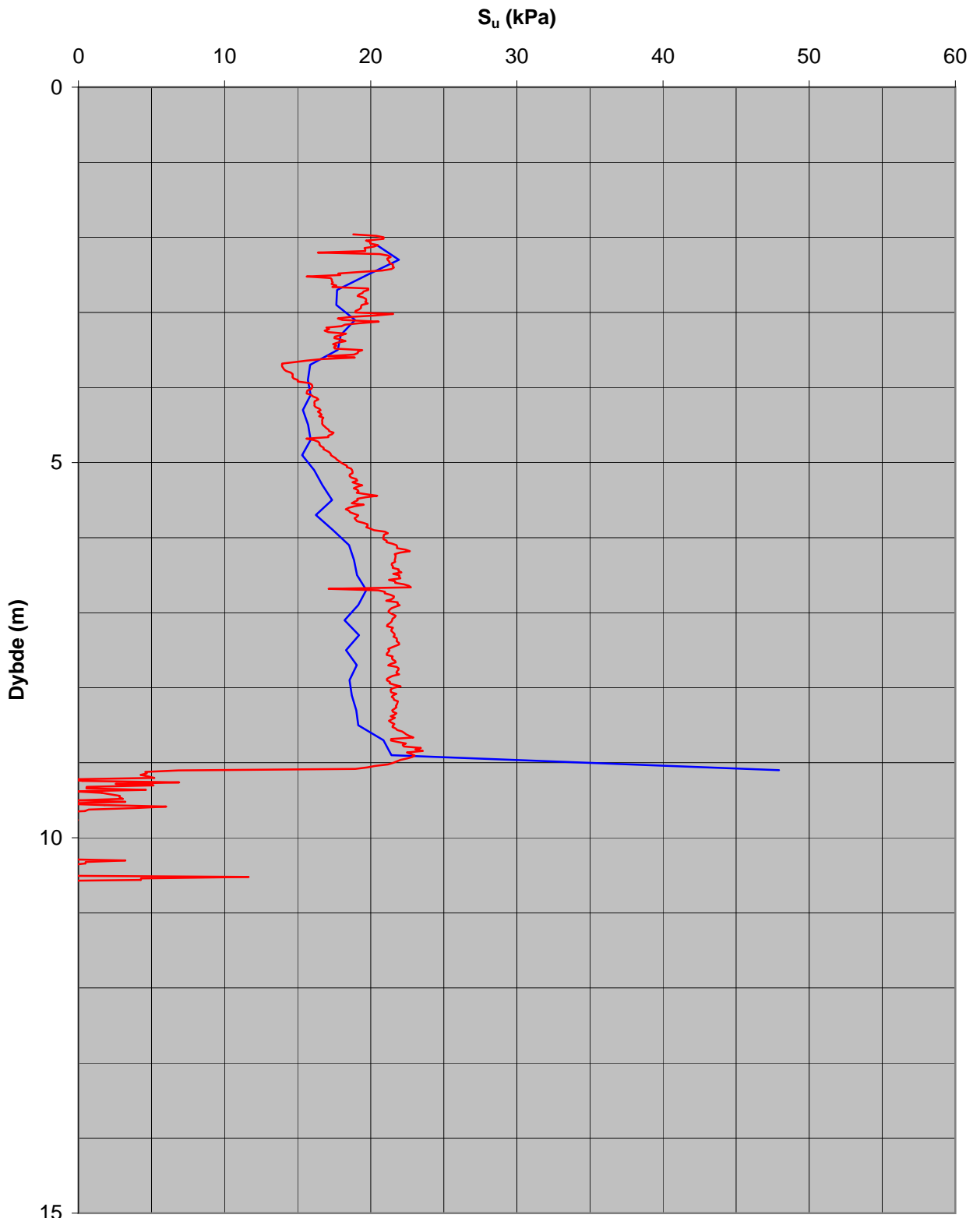
Bæreevnefaktor $N_{\Delta u}$ 9

— CPTU H330 - Spissmotstand — CPTU H330 - Poreovertrykk

50513

Hull nr. 332

Beregnet s_u fra trykksondering (CPTU)



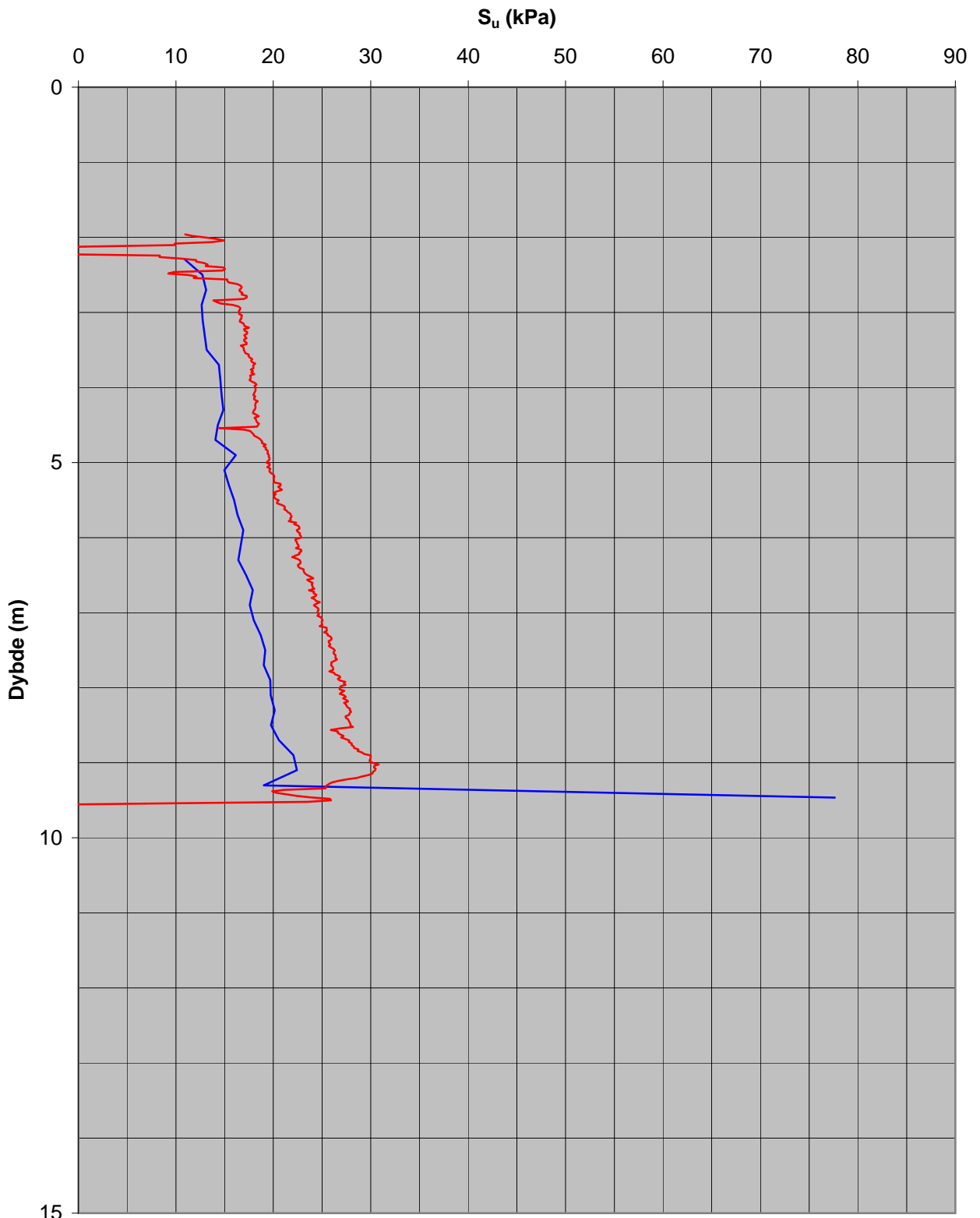
Bæreevnefaktor $N_{\Delta u}$ 12

— CPTU H332 - Spissmotstand — CPTU H332 - Poreovertrykk

59513

Hull nr. 342

Beregnet s_u fra trykksondering (CPTU)



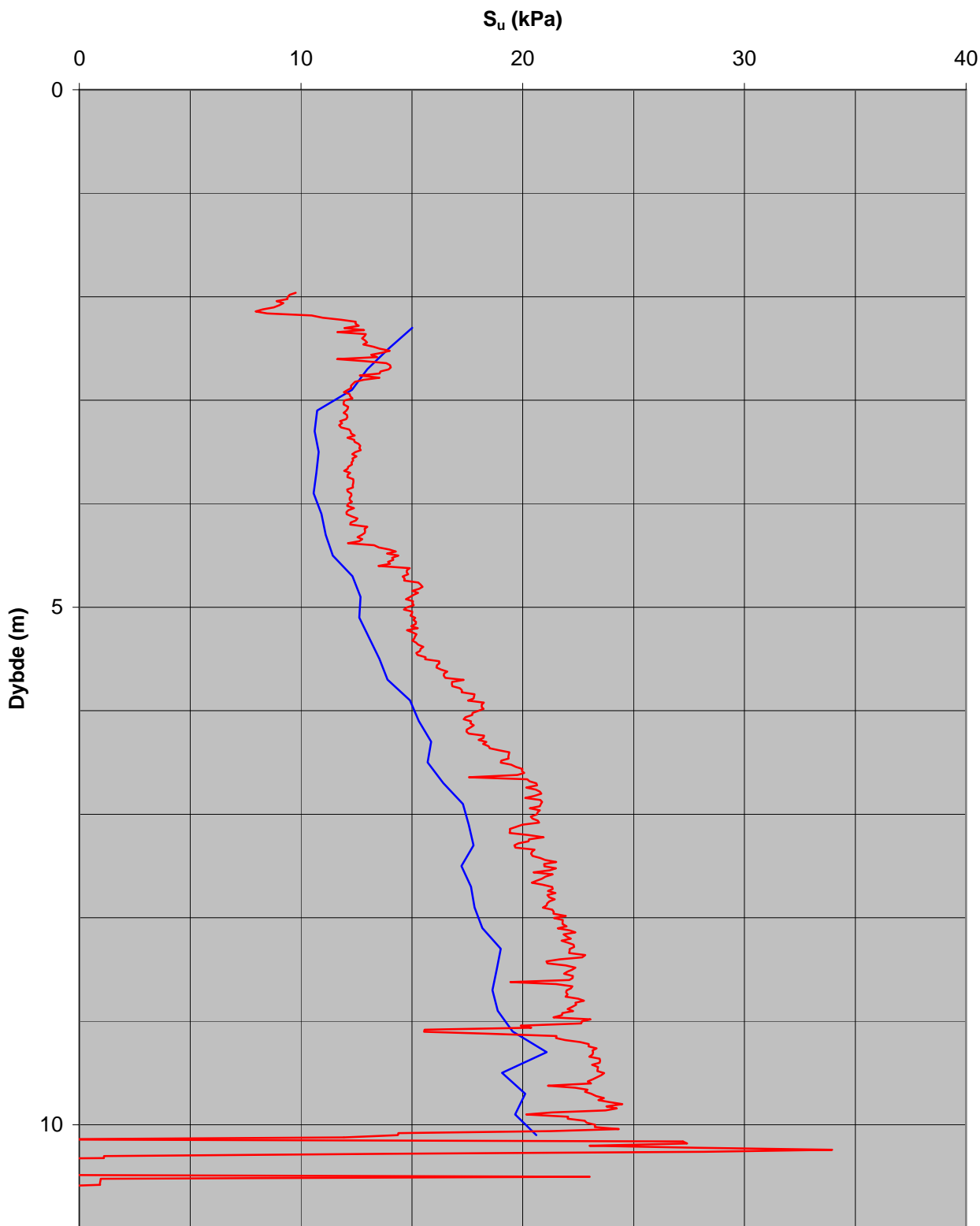
Bæreevnefaktor $N_{\Delta u}$ 12

— CPTU H342 - Spissmotstand — CPTU H342 - Poreovertrykk

59513

Hull nr. 343

Beregnet s_u fra trykksondering (CPTU)



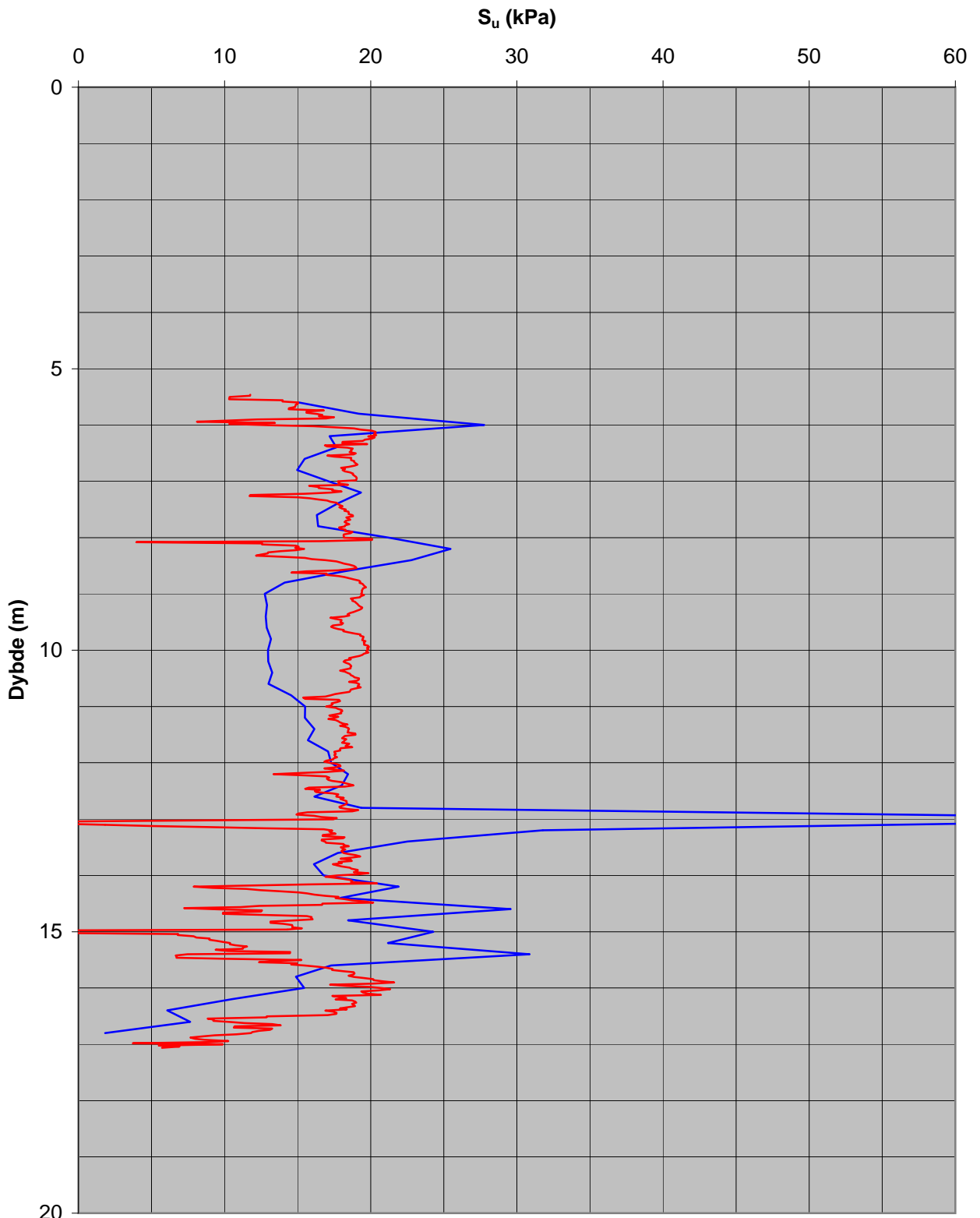
Bæreevnefaktor $N_{\Delta u} = 12$

— CPTU H343 - Spissmotstand — CPTU H343 - Poreovertrykk

59513

Hull nr. 344

Beregnet s_u fra trykksondering (CPTU)



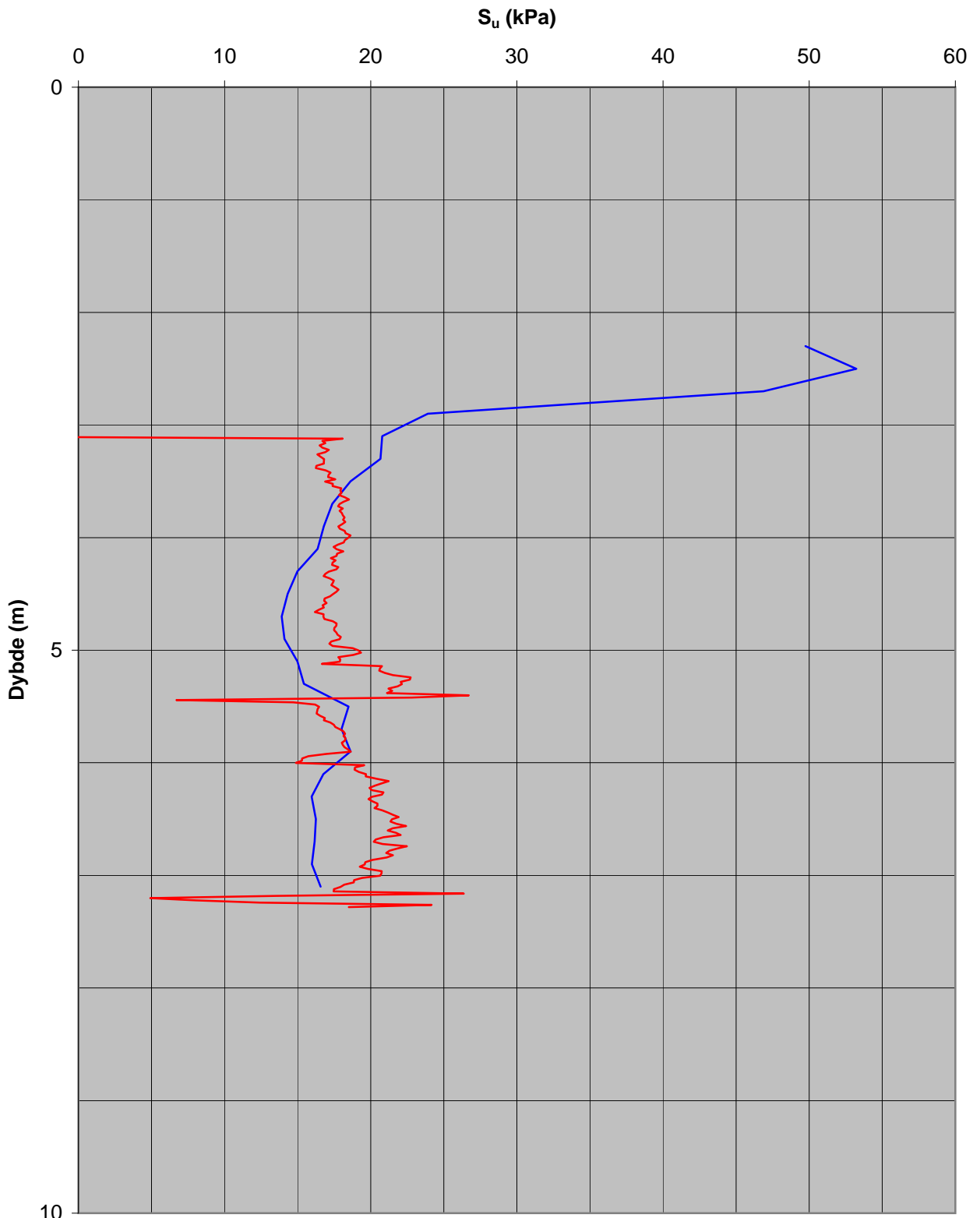
Bæreevnefaktor $N_{\Delta u}$ 12

— CPTU H344 - Spissmotstand — CPTU H344 - Poreovertrykk

50513

Hull nr. 352

Beregnet s_u fra trykksondering (CPTU)



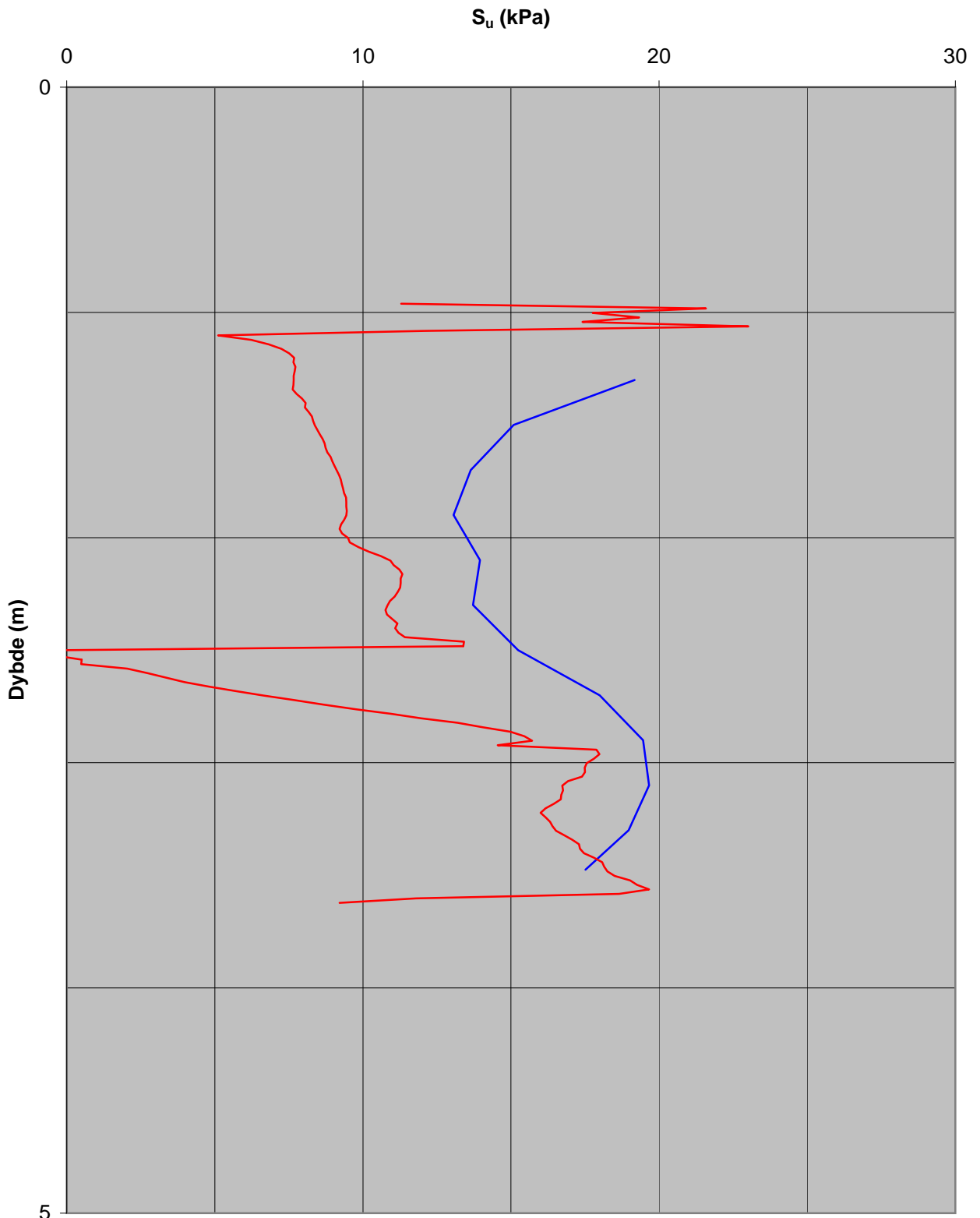
Bæreevnefaktor $N_{\Delta u}$ 9

— CPTU H352 - Spissmotstand — CPTU H352 - Poreovertrykk

50513

Hull nr. 357

Beregnet s_u fra trykksondering (CPTU)



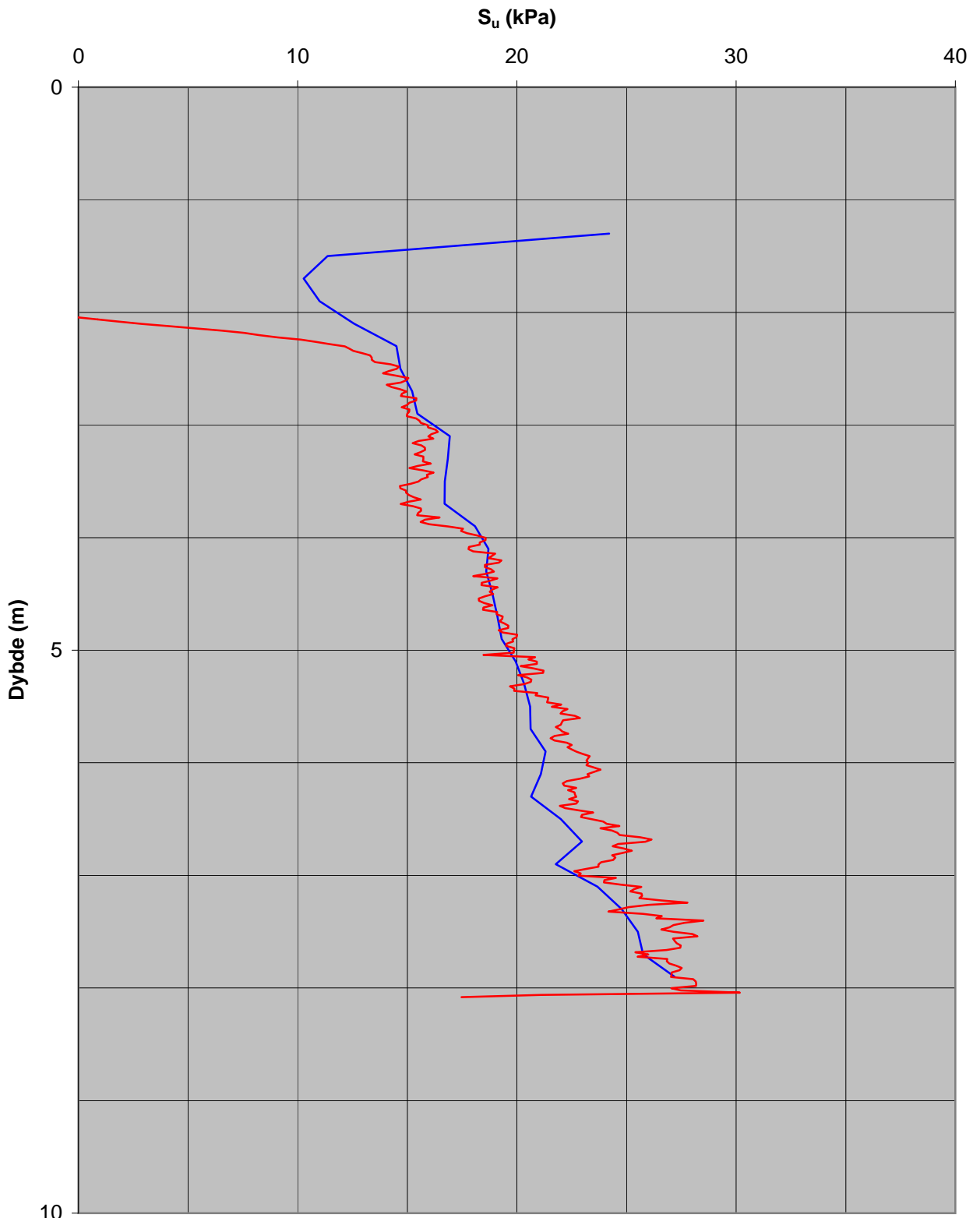
Bæreevnafaktor $N_{\Delta u}$ 9

— CPTU H357 - Spissmotstand — CPTU H357 - Poreovertrykk

50513

Hull nr. 360

Beregnet s_u fra trykksondering (CPTU)



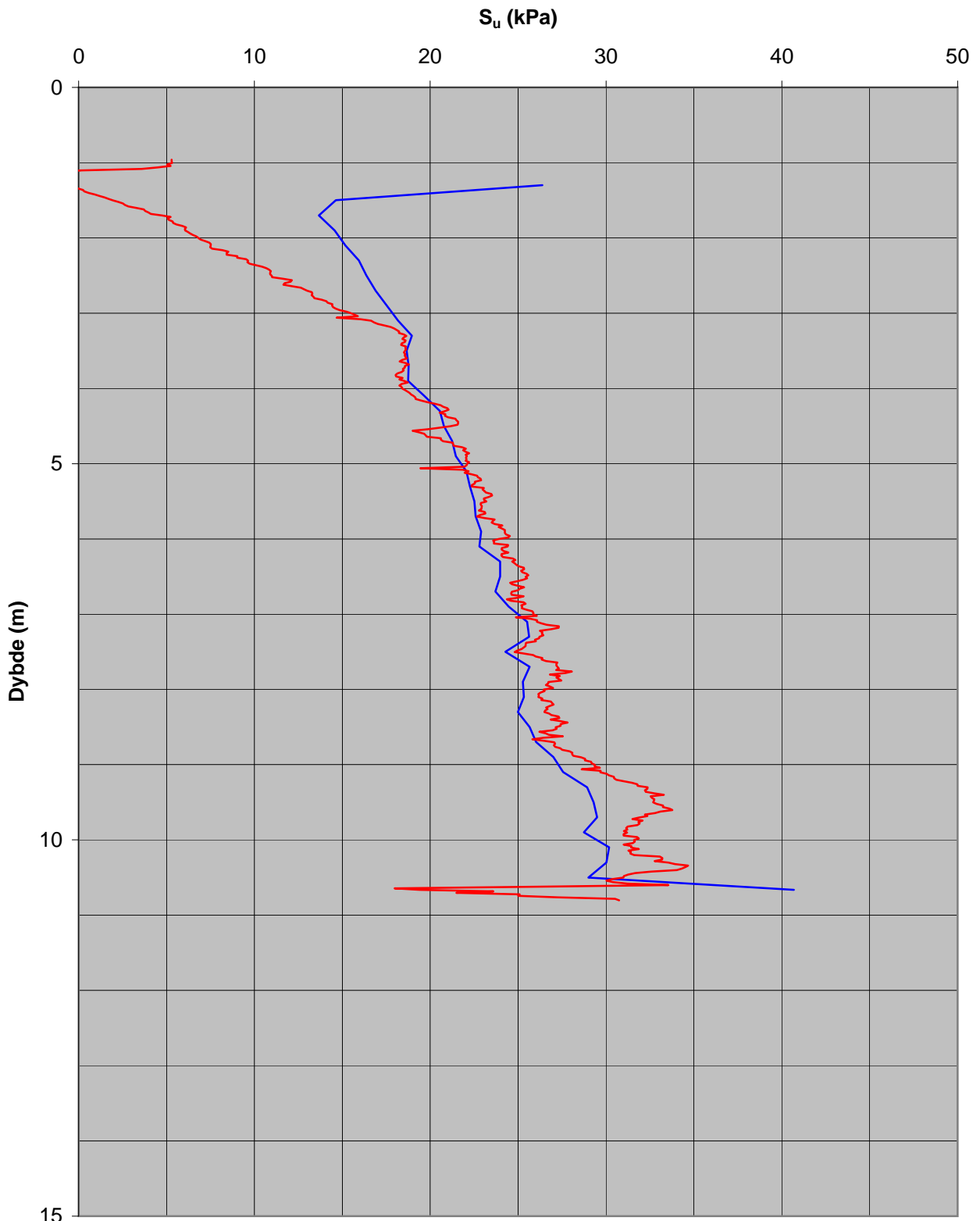
Bæreevnefaktor $N_{\Delta u}$ 12

— CPTU H360 - Spissmotstand — CPTU H360 - Poreovertrykk

50513

Hull nr. 362

Beregnet s_u fra trykksondering (CPTU)



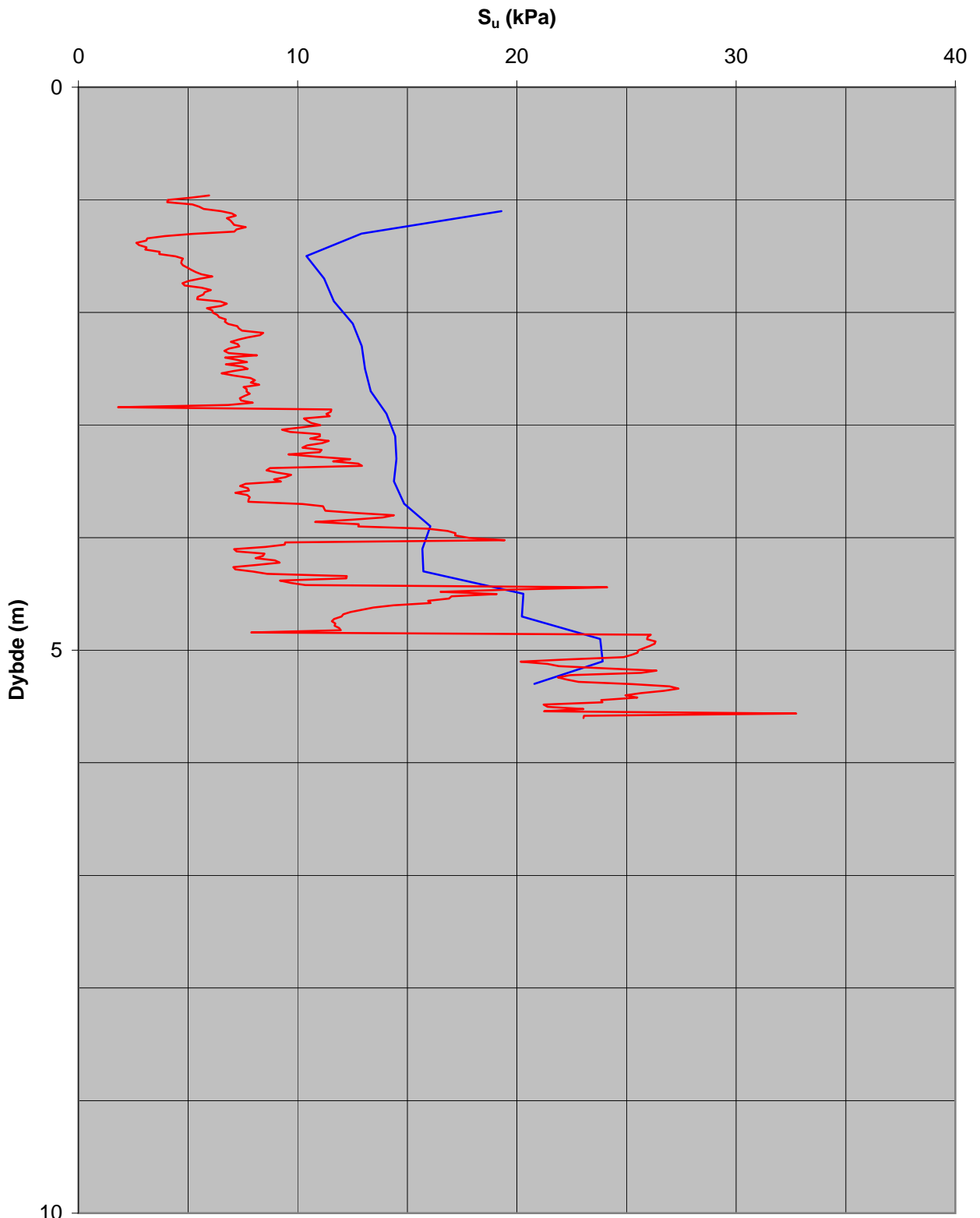
Bæreevnefaktor $N_{\Delta u}$ 12

— CPTU H362 - Spissmotstand — CPTU H362 - Poreovertrykk

50513

Hull nr. 367

Beregnet s_u fra trykksondering (CPTU)



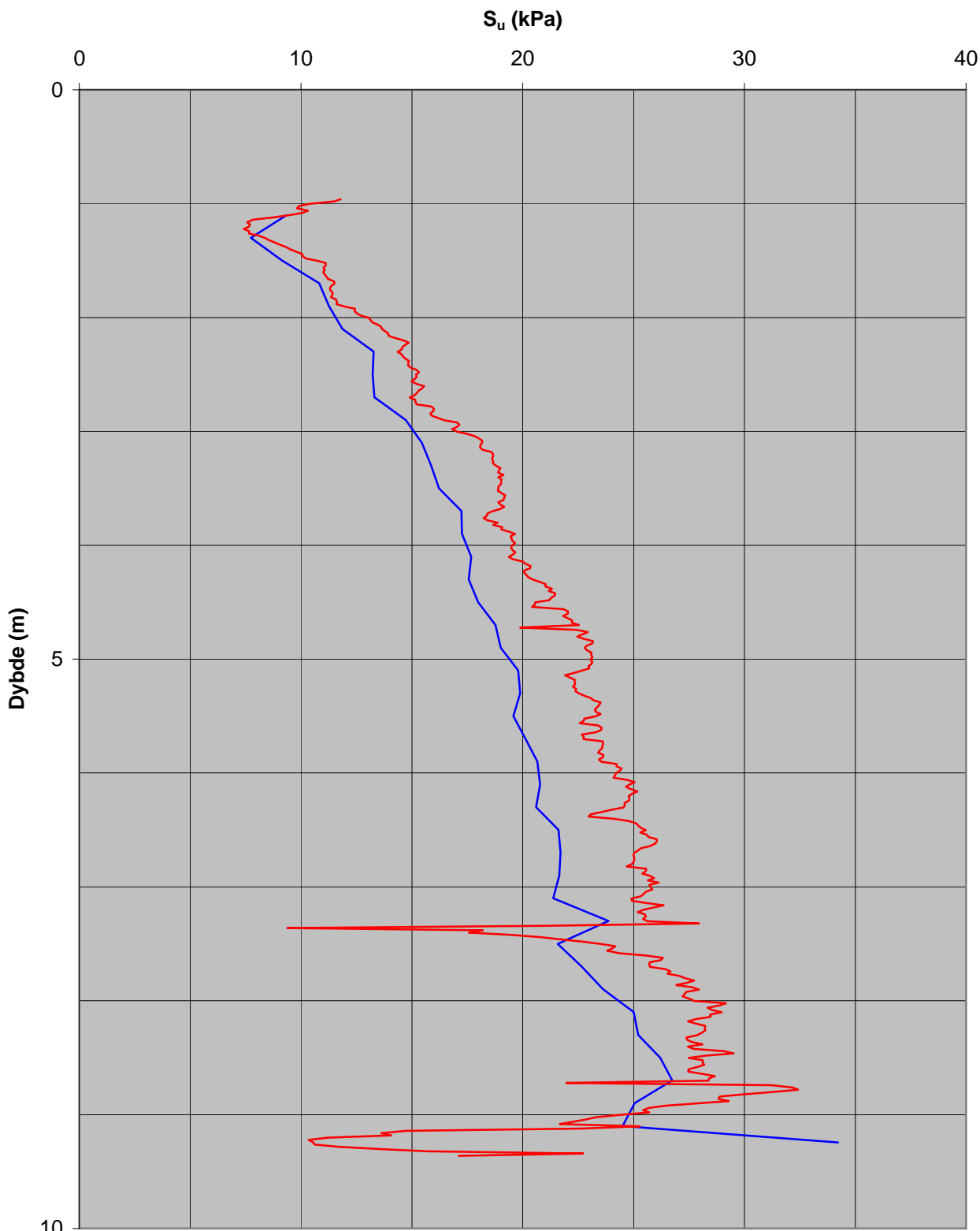
Bæreevnefaktor $N_{\Delta u}$ 9

— CPTU H367 - Spissmotstand — CPTU H367 - Poreovertrykk

50513

Hull nr. 368

Beregnet s_u fra trykksondering (CPTU)



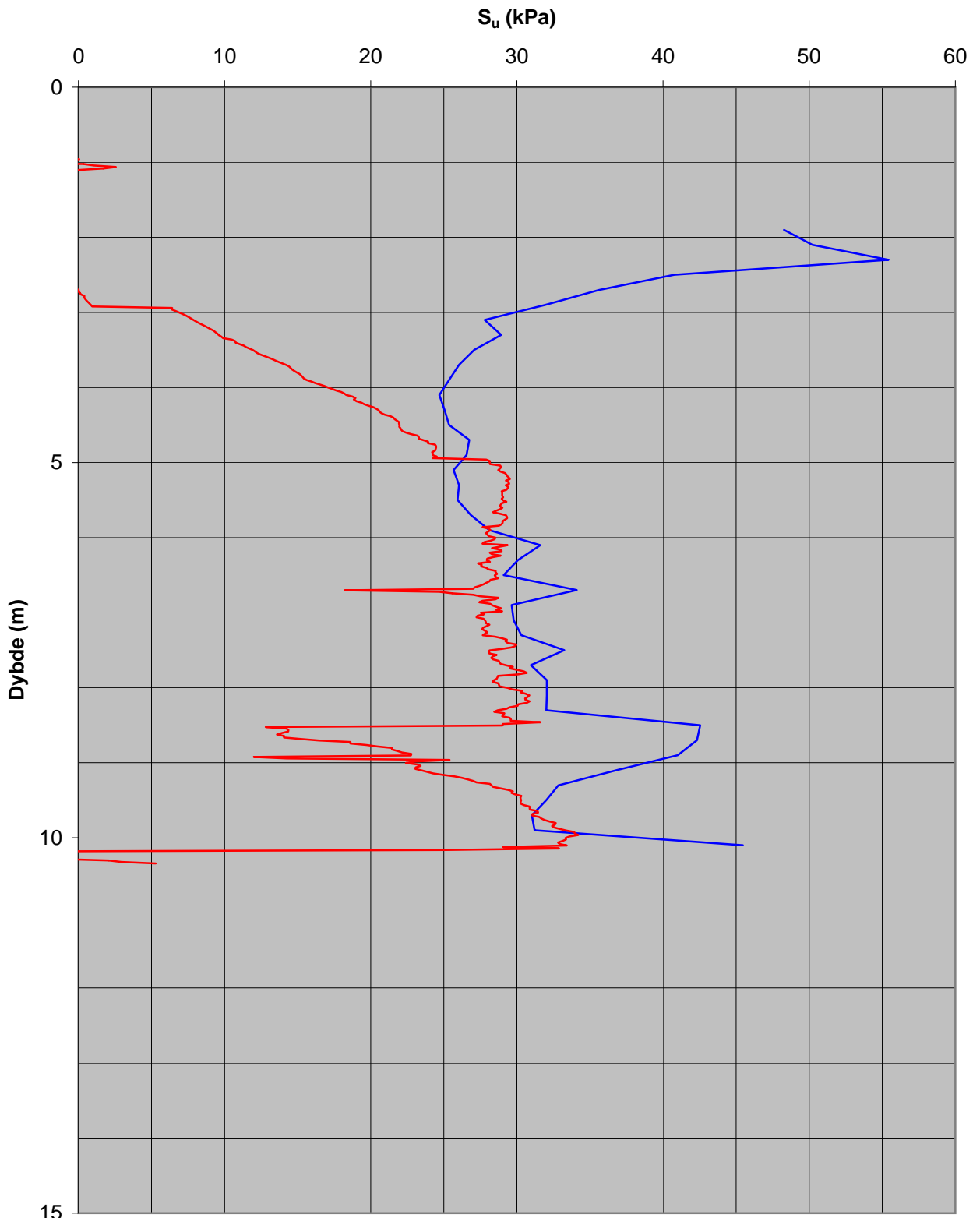
Bæreevnefaktor $N_{\Delta u}$ 12

— CPTU H368 - Spissmotstand — CPTU H368 - Poreovertrykk

50513

Hull nr. 372

Beregnet s_u fra trykksondering (CPTU)



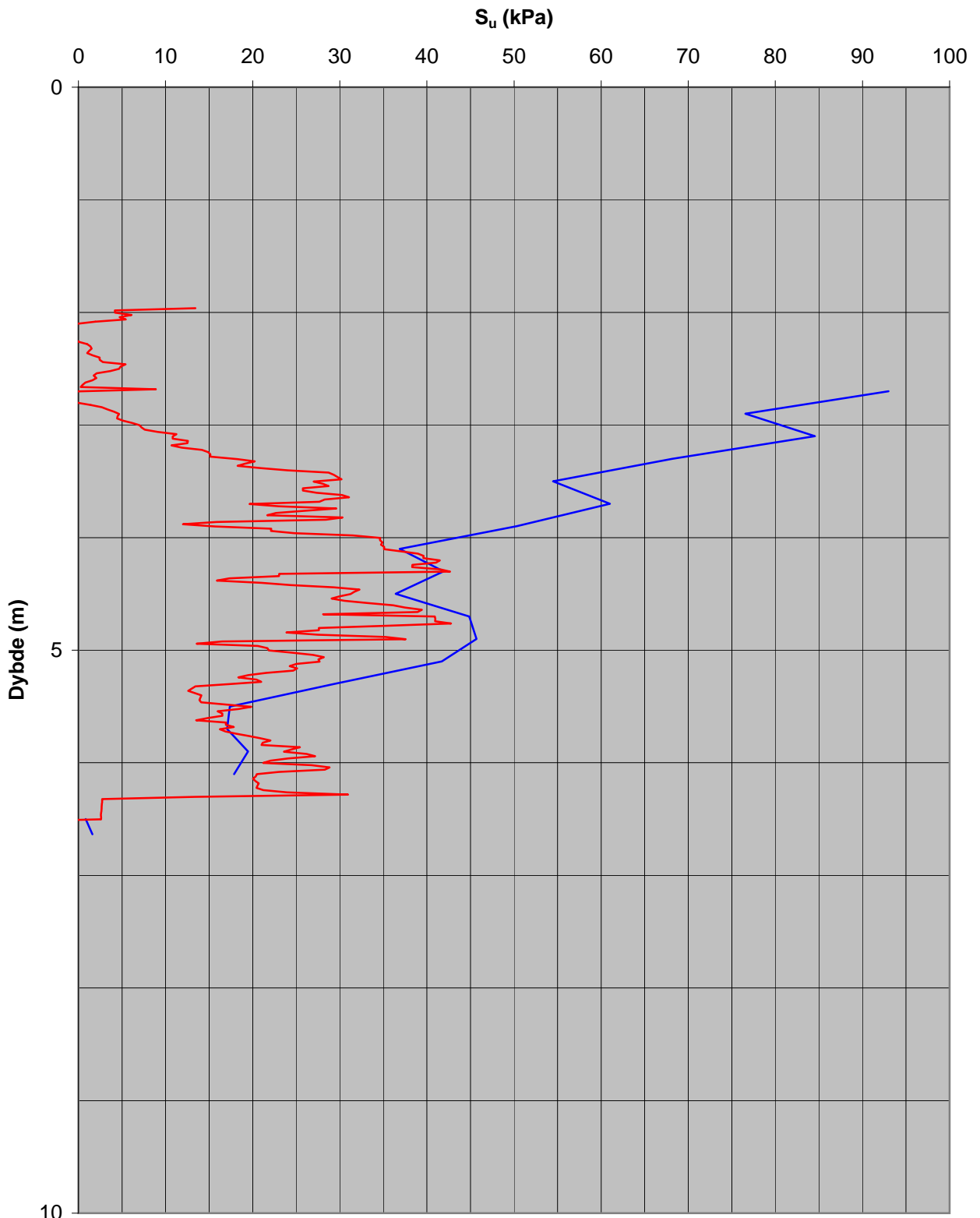
Bæreevnefaktor $N_{\Delta u}$ 9

— CPTU H372 - Spissmotstand — CPTU H372 - Poreovertrykk

50513

Hull nr. 375

Beregnet s_u fra trykksondering (CPTU)



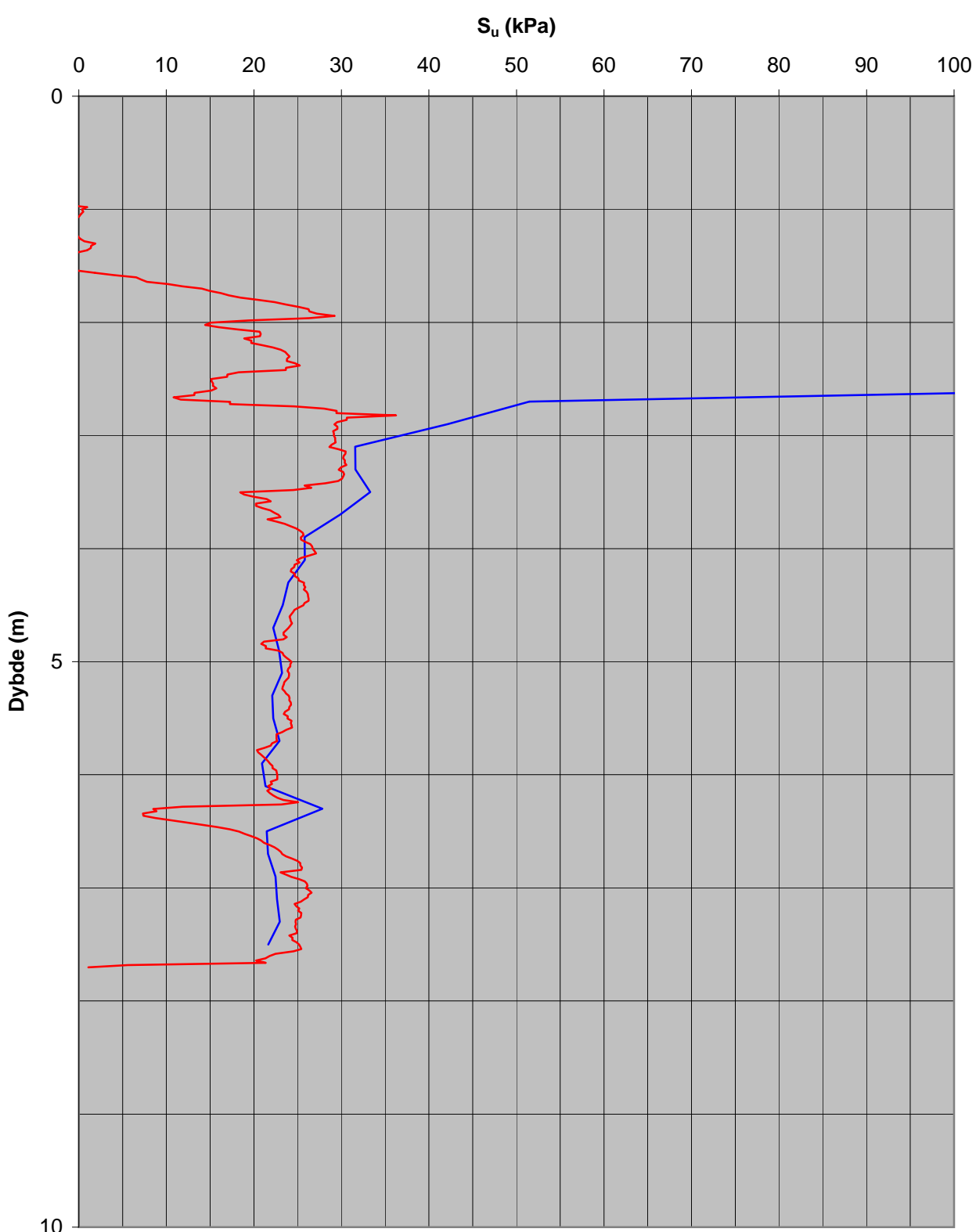
Bæreevnefaktor $N_{\Delta u}$ 9

— CPTU H375 - Spissmotstand — CPTU H375 - Poreovertrykk

50513

Hull nr. 385

Beregnet s_u fra trykksondering (CPTU)



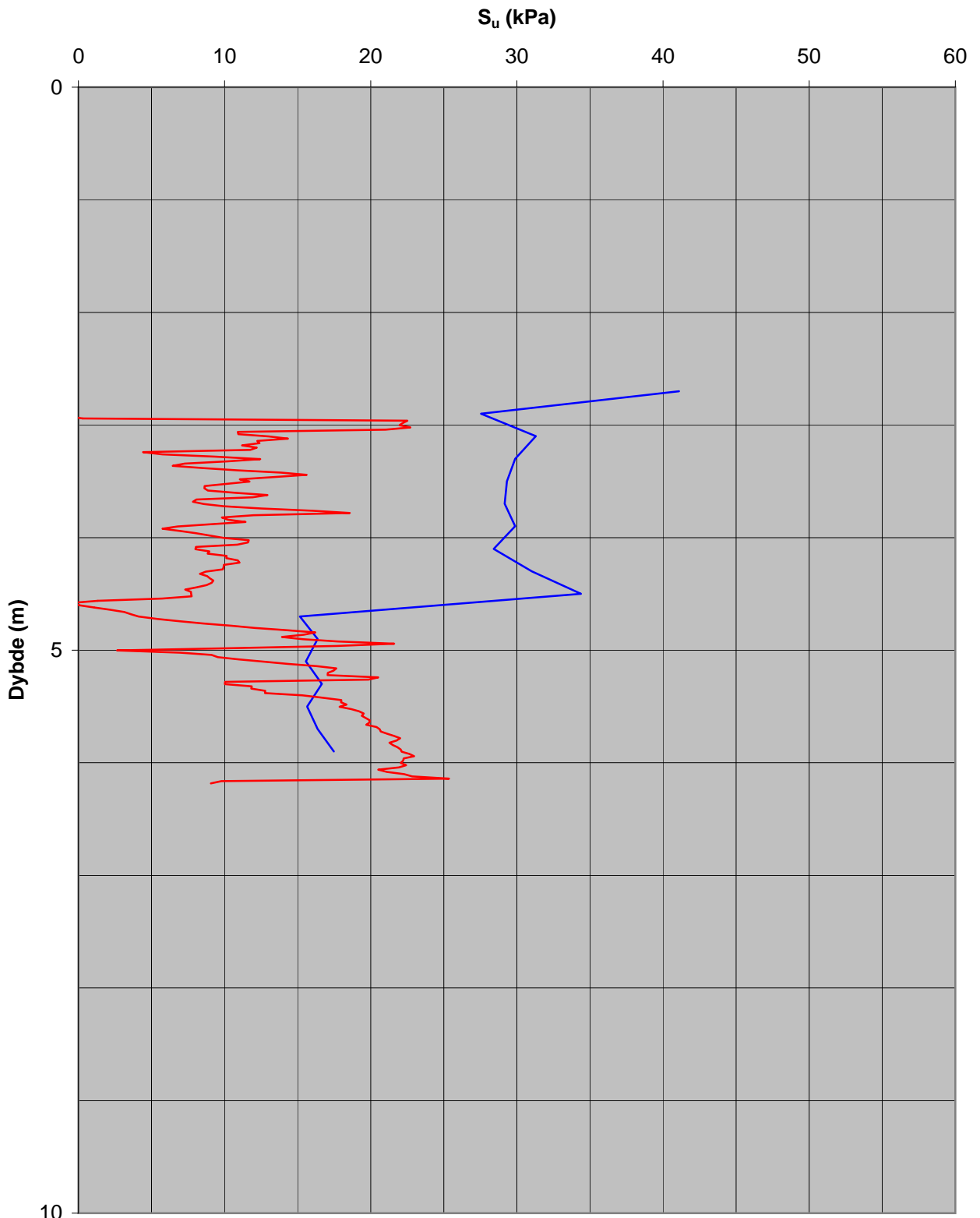
Bæreevnefaktor $N_{\Delta u}$ 9

— CPTU H385 - Spissmotstand — CPTU H385 - Poreovertrykk

50513

Hull nr. 386

Beregnet s_u fra trykksondering (CPTU)



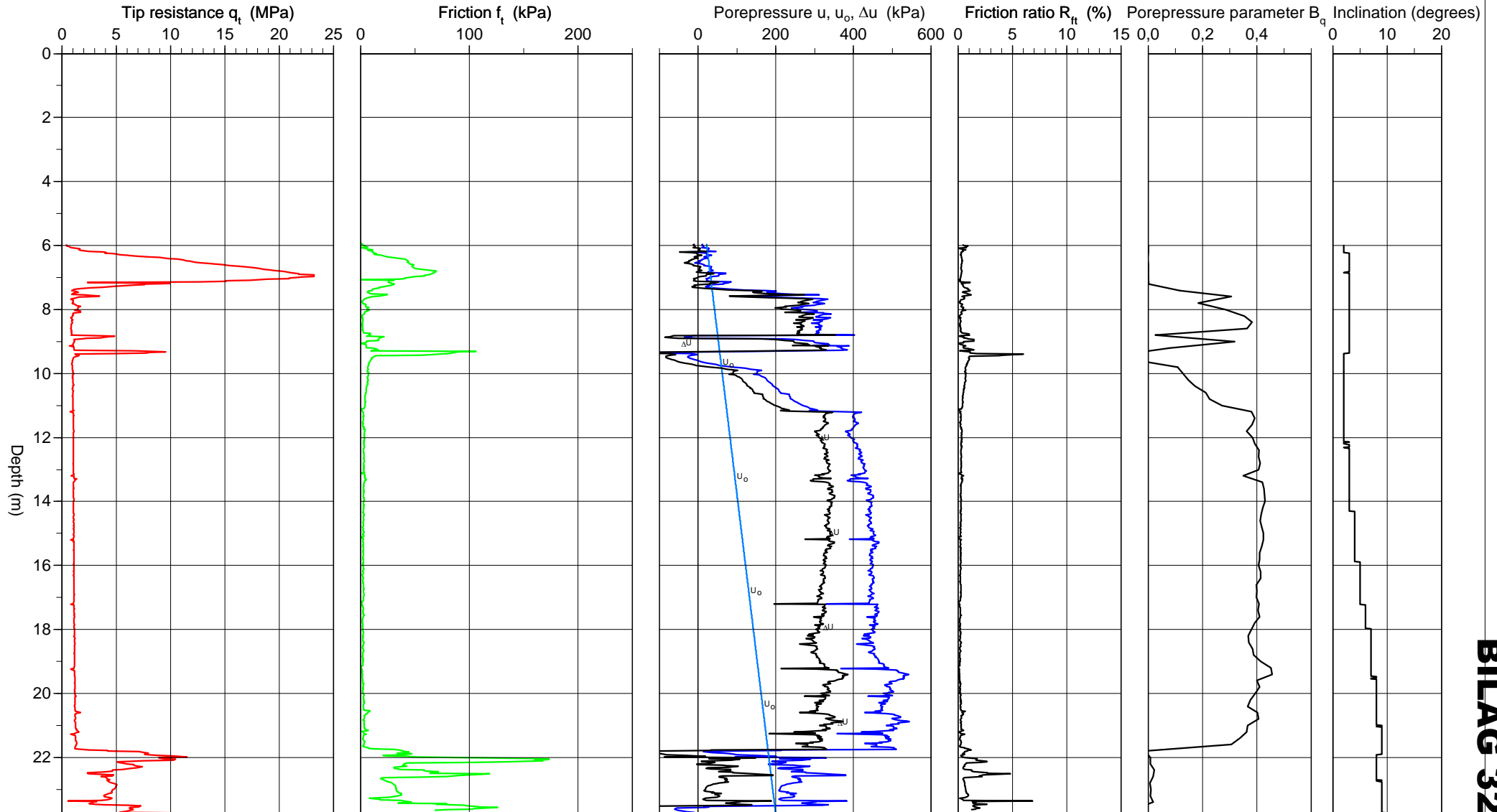
Bæreevnefaktor $N_{\Delta u}$ 9

— CPTU H386 - Spissmotstand — CPTU H386 - Poreovertrykk

CPT-test performed according to EN ISO 22476-1

Predrilling depth	6,00 m	Reference	Terreng	Fluid in filter	Gelatin
Start depth	6,00 m	Level at reference	3,81 m	Coordinats	
Stop depth	23,76 m	Predrilled material		Equipment	Memocone MKII Cl 3
Ground water level	3,80 m	Geometry	Normal	Cone nr	60258

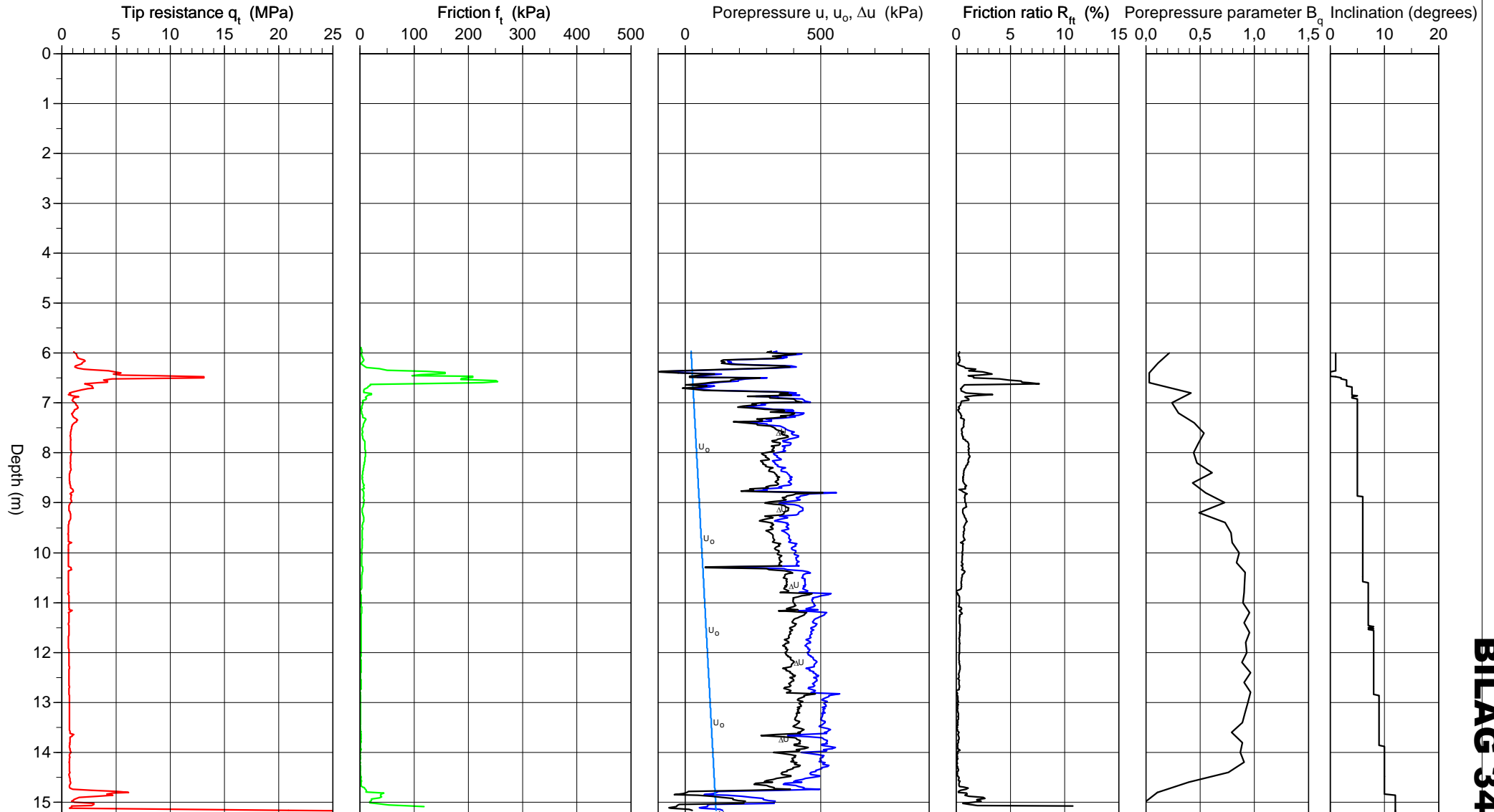
Project	Rv80 Løding - Vikan
Project nr	50513
Site	308
Designation	904
Date	20100301



CPT-test performed according to EN ISO 22476-1

Predrilling depth	6,00 m	Reference	Terreng	Fluid in filter	Gelatin
Start depth	6,00 m	Level at reference	3,80 m	Coordinats	
Stop depth	15,20 m	Predrilled material		Equipment	Memocone MKII CI 3
Ground water level	3,80 m	Geometry	Normal	Cone nr	60258

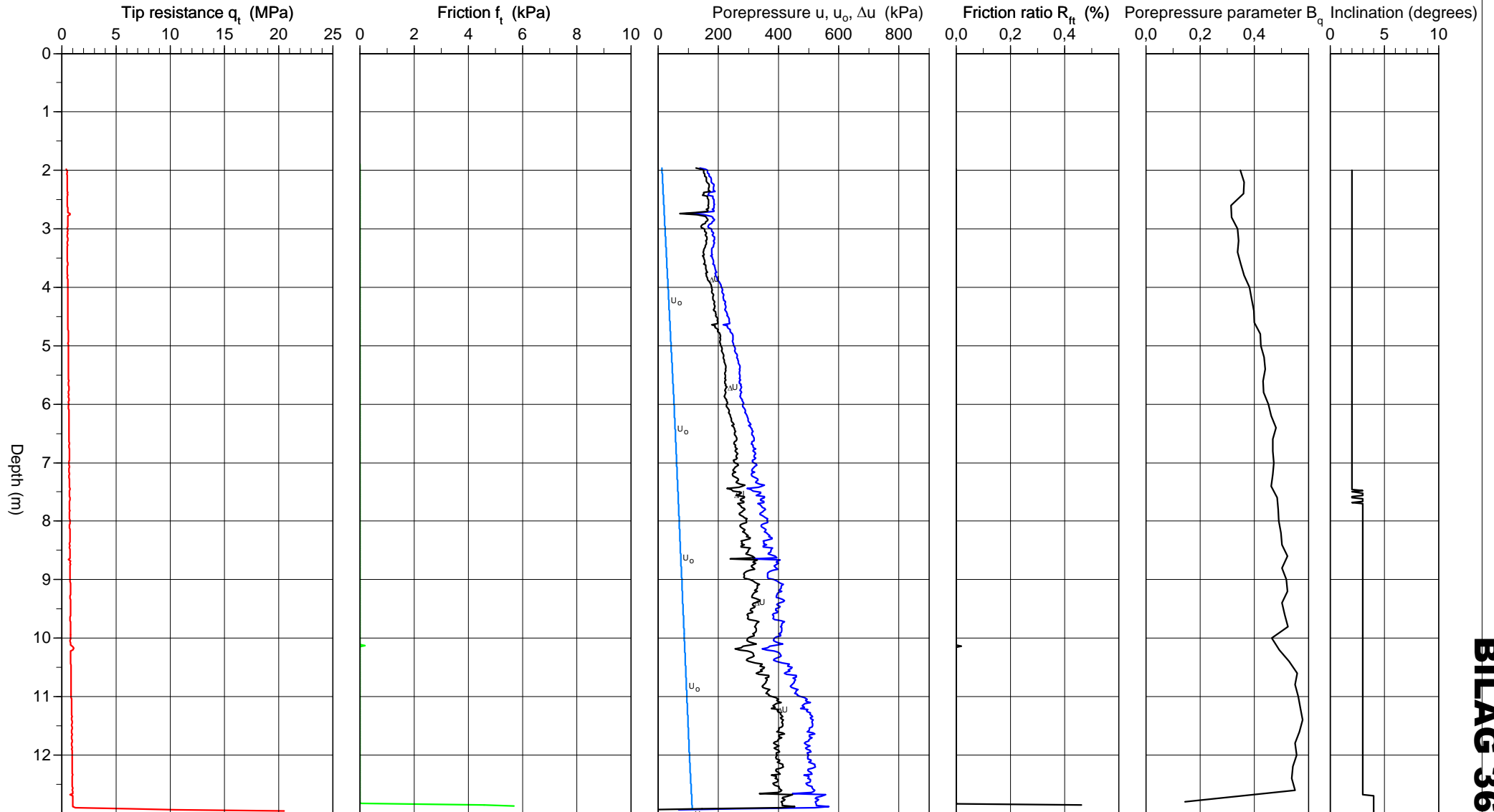
Project	Rv80 Løding - Vikan
Project nr	50513
Site	310
Designation	905
Date	20100301



CPT-test performed according to EN ISO 22476-1

Predrilling depth	2,00 m	Reference	Terreng	Fluid in filter	Gelatin
Start depth	2,00 m	Level at reference	7,72 m	Coordinats	
Stop depth	12,98 m	Predrilled material		Equipment	Memocone MKII Cl 3
Ground water level	0,70 m	Geometry	Normal	Cone nr	60258

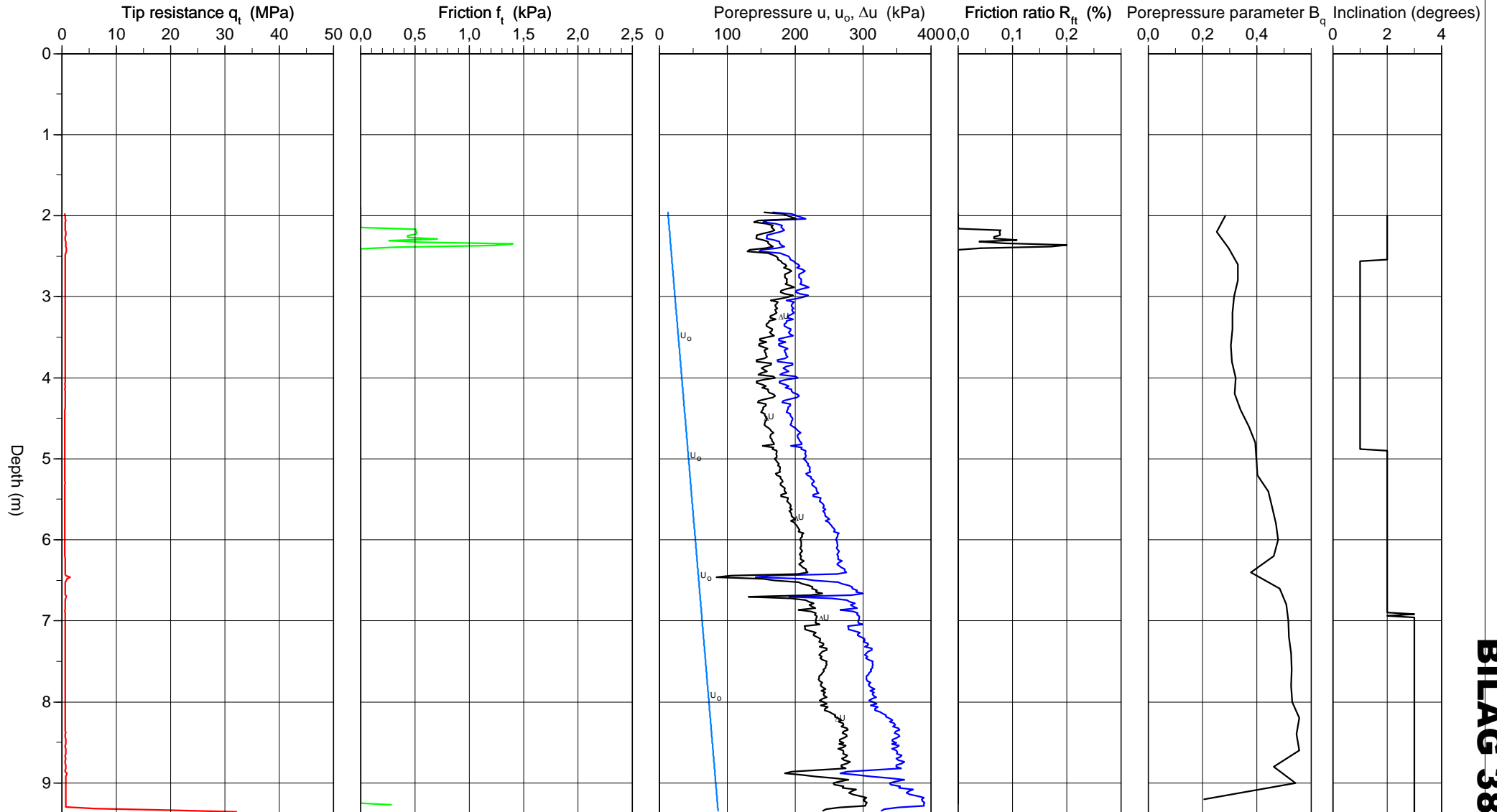
Project	RV80 Løding - Vikan
Project nr	50513
Site	318
Designation	901
Date	20100226



CPT-test performed according to EN ISO 22476-1

Predrilling depth	2,00 m	Reference	Terreng	Fluid in filter	Gelatin
Start depth	2,00 m	Level at reference	7,25 m	Coordinats	
Stop depth	9,38 m	Predrilled material		Equipment	Memocone MKII Cl 3
Ground water level	0,70 m	Geometry	Normal	Cone nr	60258

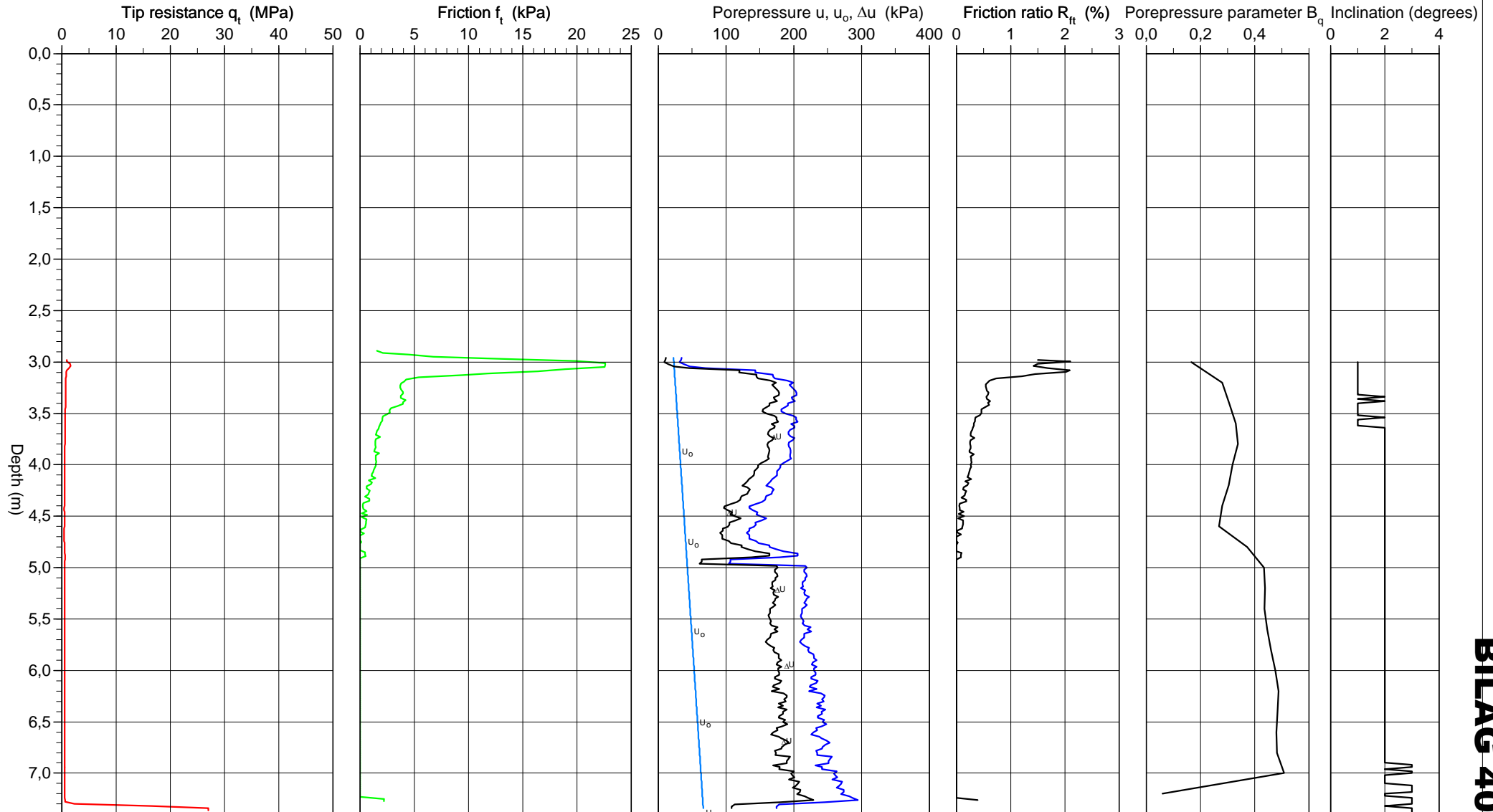
Project	Rv80 Løding - Vikan
Project nr	50513
Site	320
Designation	902
Date	20100226



CPT-test performed according to EN ISO 22476-1

Predrilling depth	3,00 m	Reference	Terreng	Fluid in filter	Gelatin
Start depth	3,00 m	Level at reference	5,53 m	Coordinats	
Stop depth	7,38 m	Predrilled material		Equipment	Memocone MKII Cl 3
Ground water level	0,70 m	Geometry	Normal	Cone nr	60258

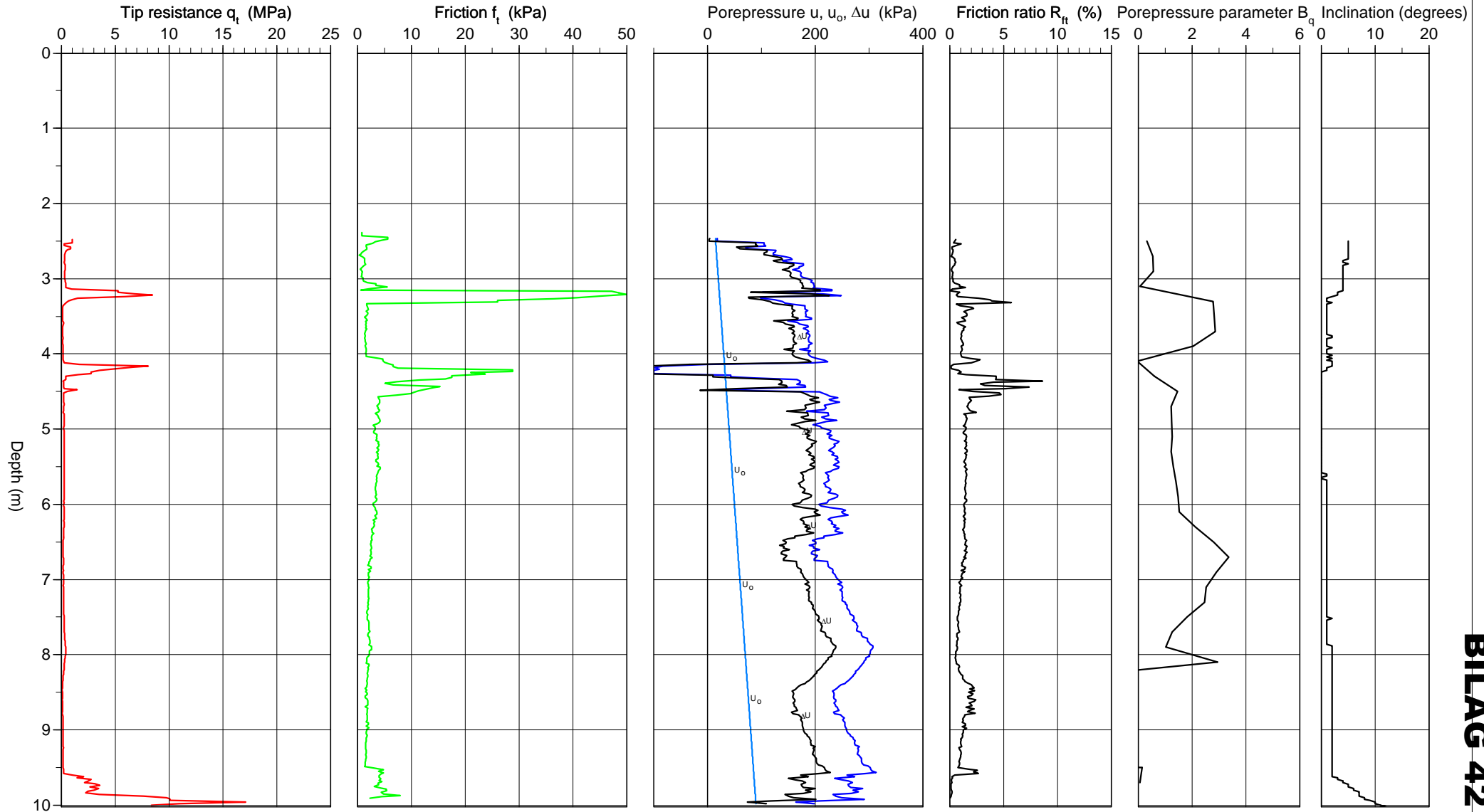
Project	RV80 Løding - Vikan
Project nr	50513
Site	328
Designation	903
Date	20100226



CPT-test performed according to EN ISO 22476-1

Predrilling depth	2,50 m	Reference	Terreng	Fluid in filter	Gelatin
Start depth	2,50 m	Level at reference	8,67 m	Coordinats	
Stop depth	10,02 m	Predrilled material		Equipment	Memocone MKII Cl 3
Ground water level	1,00 m	Geometry	Normal	Cone nr	50456

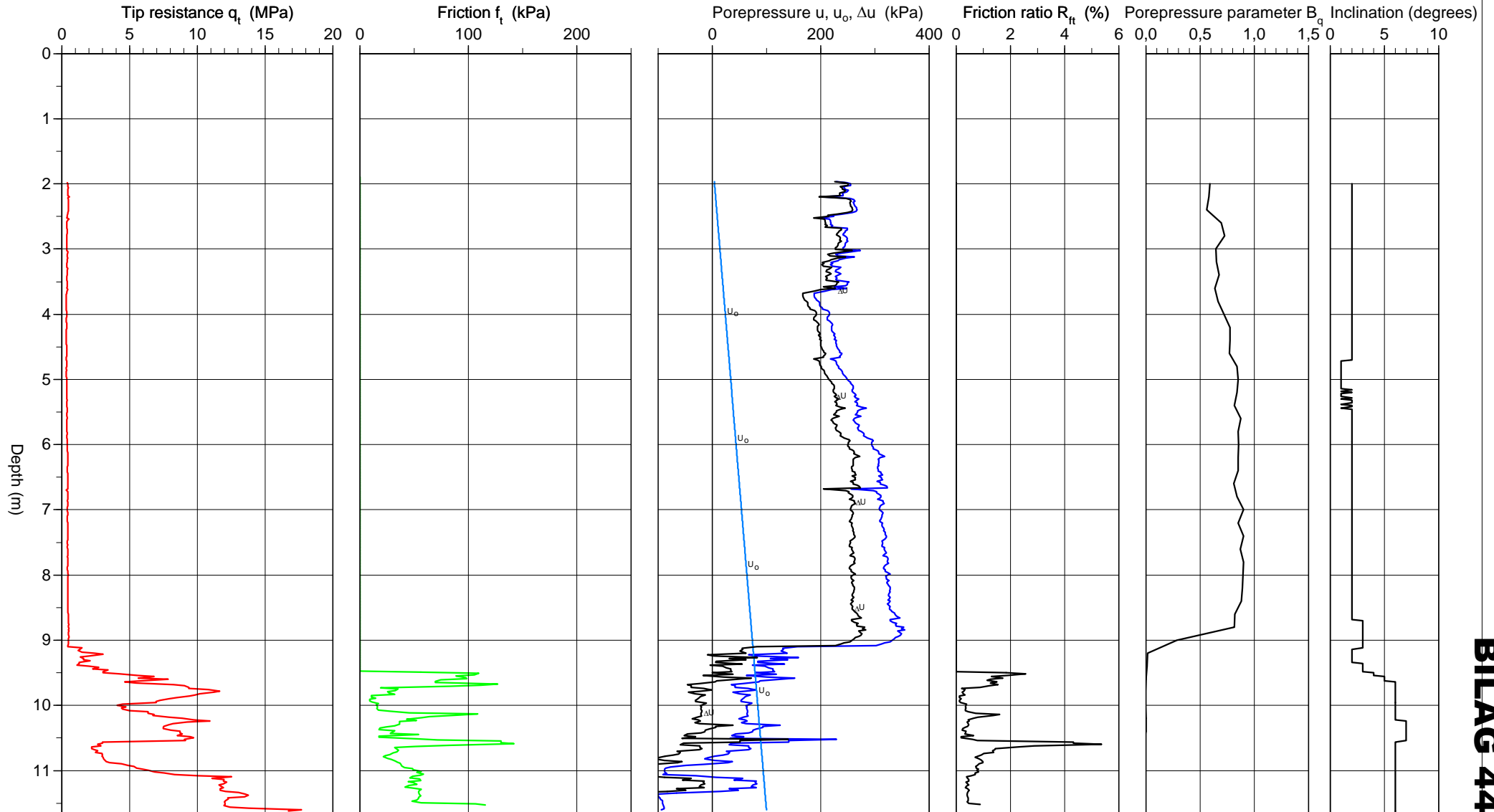
Project	Rv80 Vikan - Løding
Project nr	50513
Site	330
Designation	899
Date	20100218



CPT-test performed according to EN ISO 22476-1

Predrilling depth	2,00 m	Reference	Terreng	Fluid in filter	Gelatin
Start depth	2,00 m	Level at reference	8,86 m	Coordinats	
Stop depth	11,64 m	Predrilled material		Equipment	Memocone MKII Cl 3
Ground water level	1,60 m	Geometry	Normal	Cone nr	50456

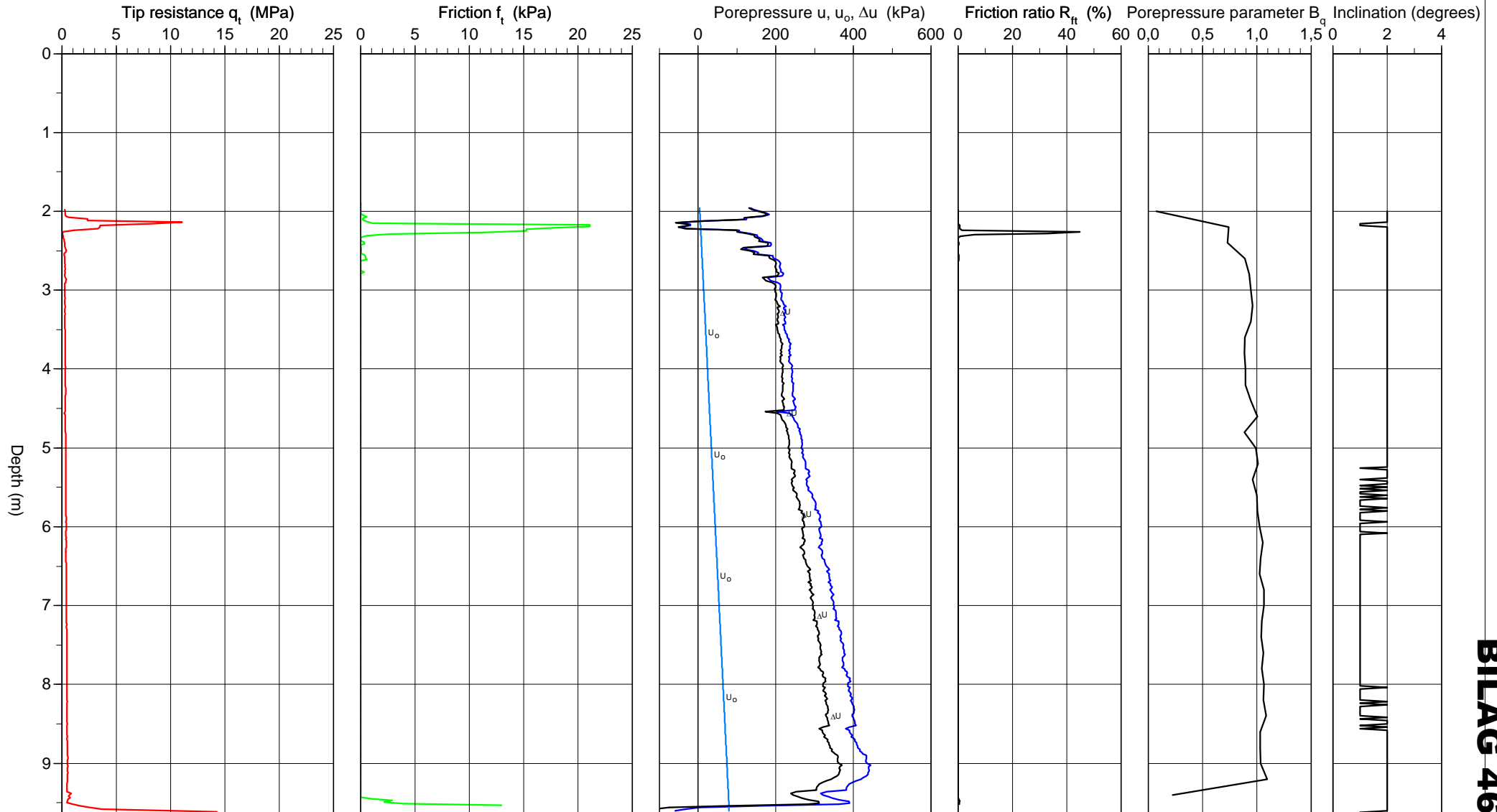
Project	Rv80 Løding - Vikan
Project nr	50513
Site	332
Designation	898
Date	20100218



CPT-test performed according to EN ISO 22476-1

Predrilling depth	2,00 m	Reference	Terreng	Fluid in filter	Gelatin
Start depth	2,00 m	Level at reference	8,85 m	Coordinats	
Stop depth	9,64 m	Predrilled material		Equipment	Memocone MKII Cl 3
Ground water level	1,60 m	Geometry	Normal	Cone nr	50456

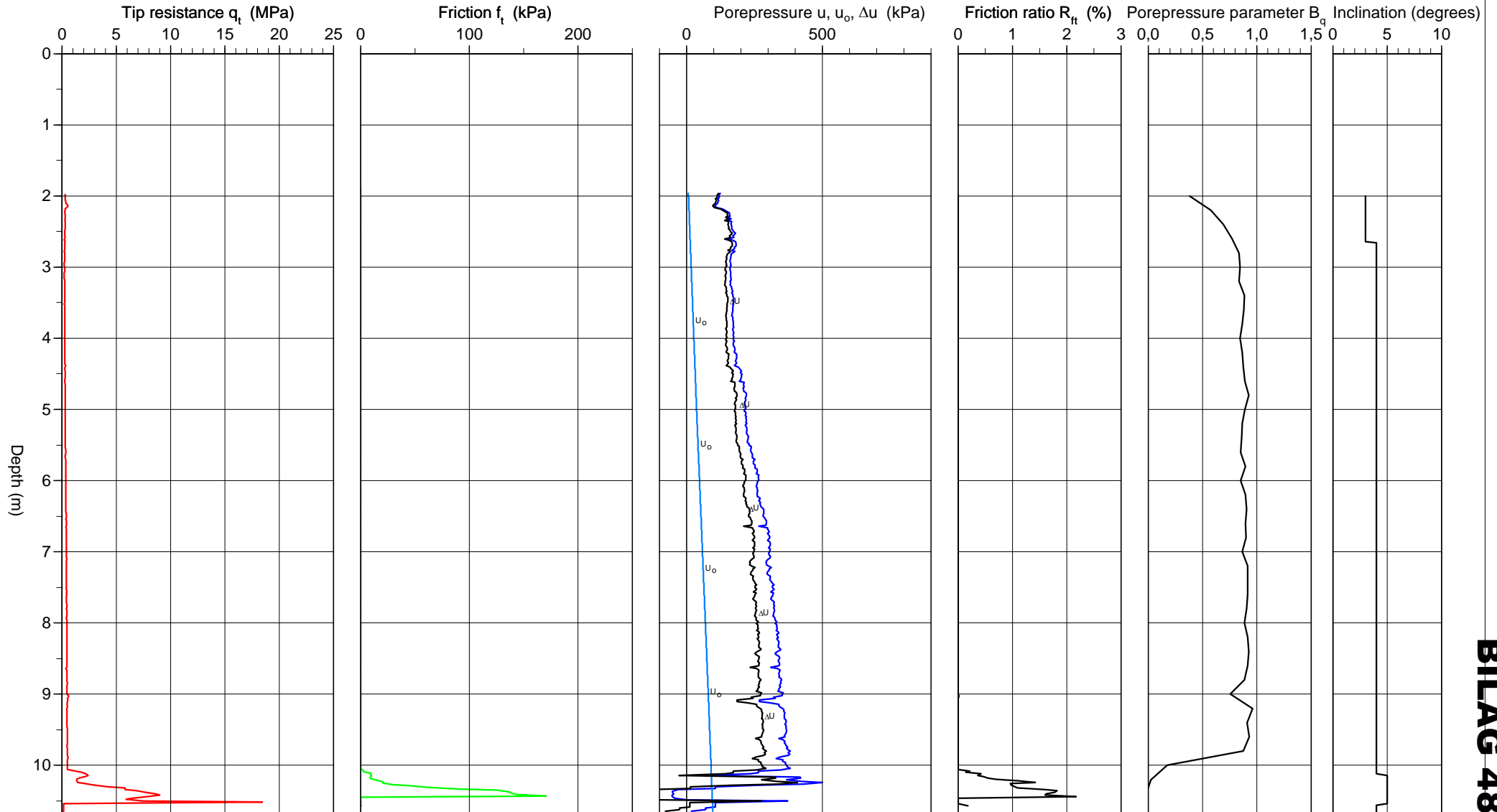
Project	Rv80 Løding - Vikan
Project nr	50513
Site	342
Designation	894
Date	20100211



CPT-test performed according to EN ISO 22476-1

Predrilling depth	2,00 m	Reference	Terreng	Fluid in filter	Gelatin
Start depth	2,00 m	Level at reference	10,49 m	Coordinats	
Stop depth	10,68 m	Predrilled material		Equipment	Memocone MKII Cl 3
Ground water level	1,30 m	Geometry	Normal	Cone nr	50456

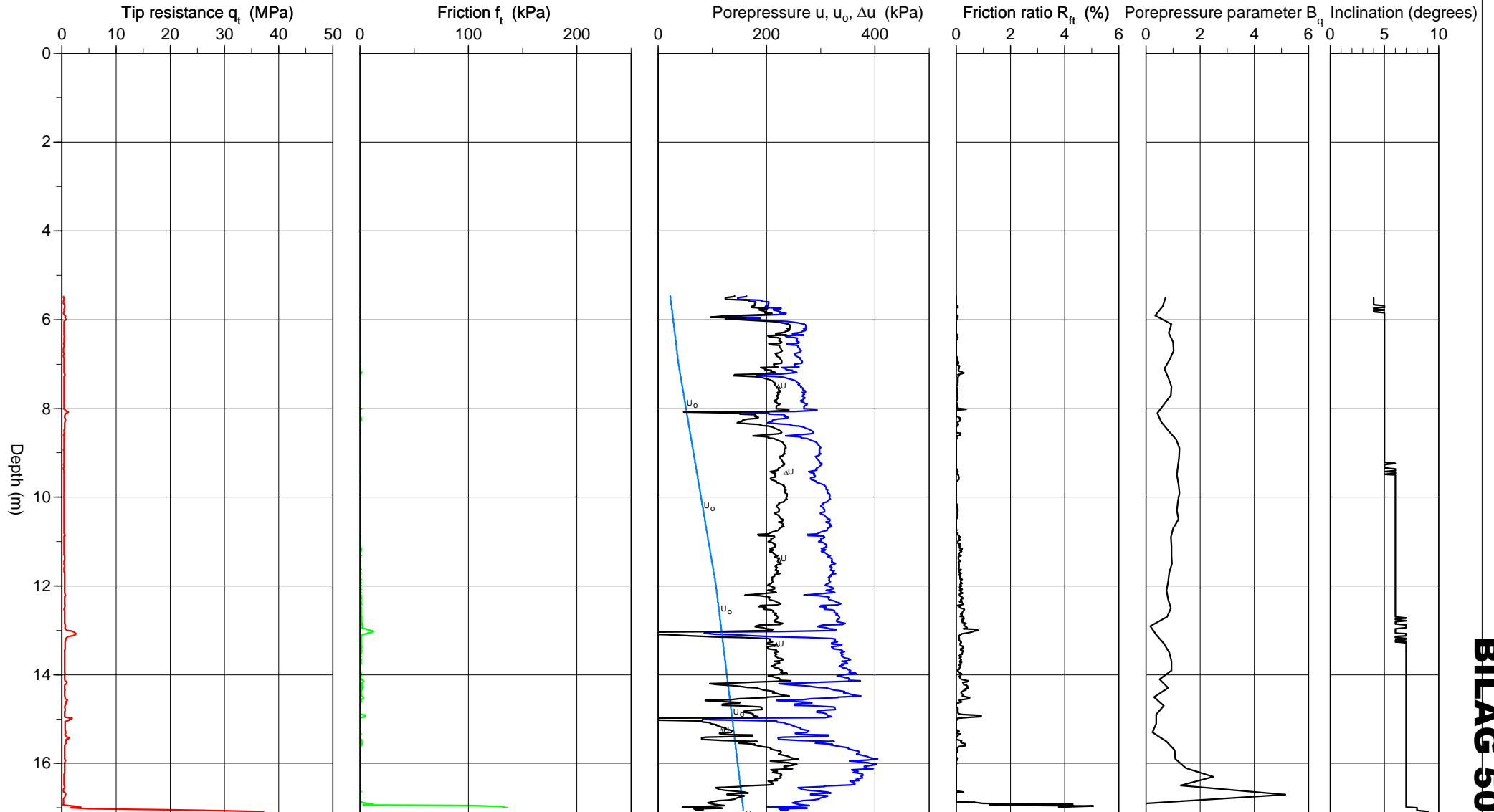
Project	Rv 80 Løding - Vikan
Project nr	50513
Site	343
Designation	892
Date	20100211



CPT-test performed according to EN ISO 22476-1

Predrilling depth	5,50 m	Reference	Terreng	Fluid in filter	Gelatin
Start depth	5,50 m	Level at reference	14,47 m	Coordinats	
Stop depth	17,10 m	Predrilled material		Equipment	Memocone MKII CI 3
Ground water level	3,20 m	Geometry	Normal	Cone nr	50456

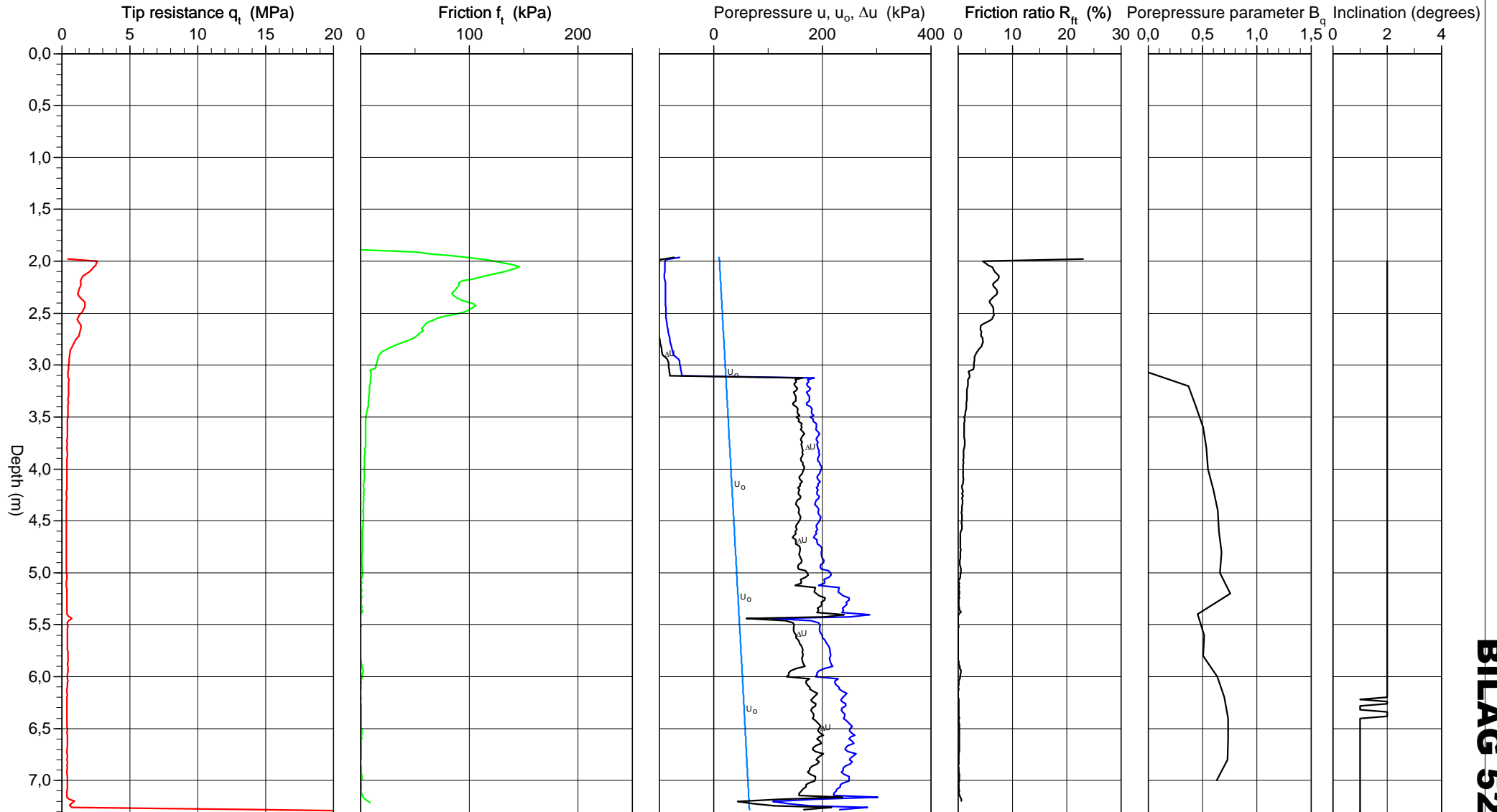
Project	RV80 Løding - Vikan
Project nr	50513
Site	344
Designation	897
Date	20100212



CPT-test performed according to EN ISO 22476-1

Predrilling depth	2,00 m	Reference	Terreng	Fluid in filter	Gelatin
Start depth	2,00 m	Level at reference	2,83 m	Coordinats	
Stop depth	7,32 m	Predrilled material		Equipment	Memocone MKII CI 3
Ground water level	1,00 m	Geometry	Normal	Cone nr	50456

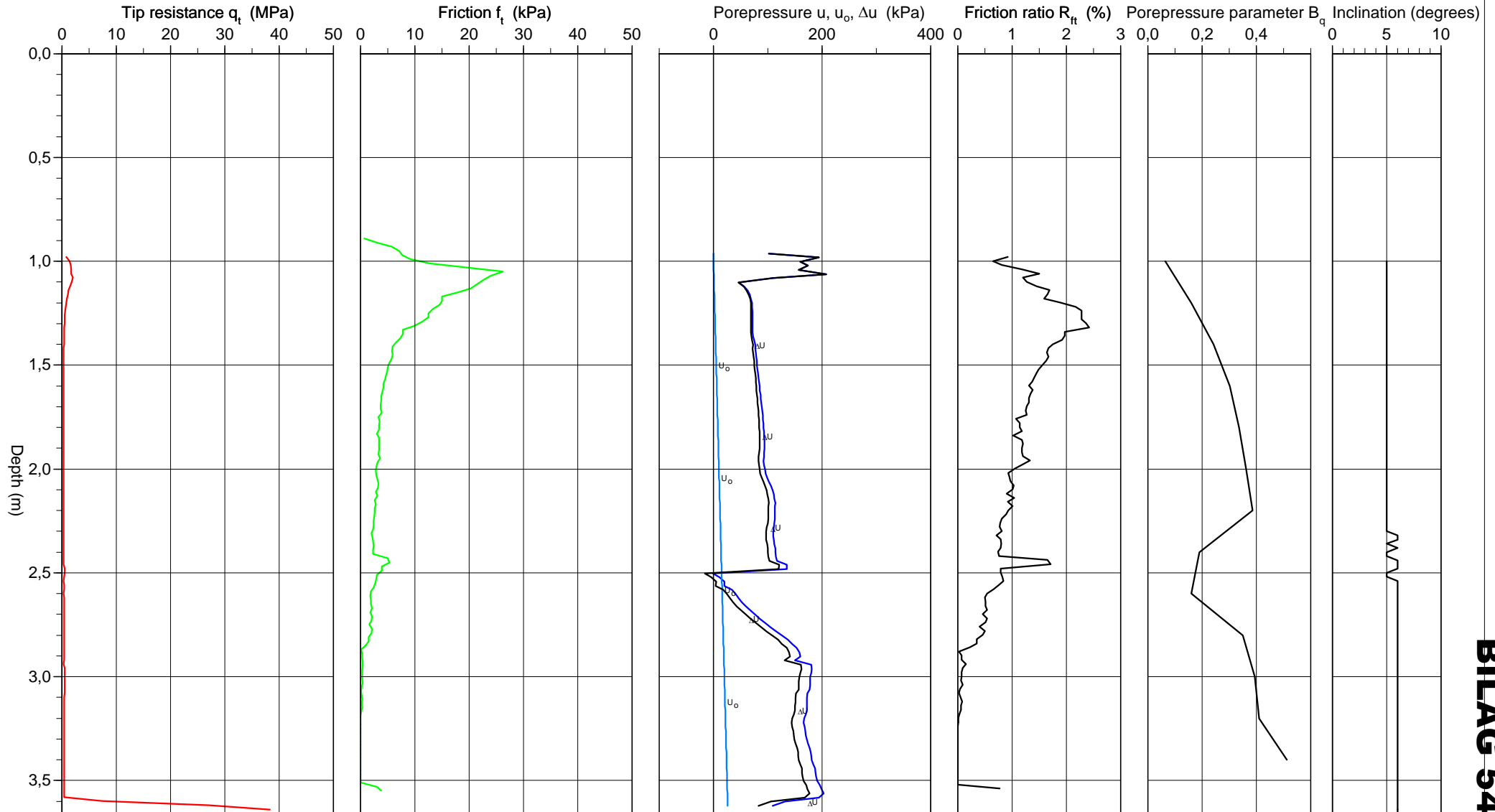
Project	LÖDING-VIKAN
Project nr	50513
Site	352
Designation	957
Date	20100322



CPT-test performed according to EN ISO 22476-1

Predrilling depth	1,00 m	Reference	Terreng	Fluid in filter	Gelatin
Start depth	1,00 m	Level at reference	1,19 m	Coordinats	
Stop depth	3,66 m	Predrilled material		Equipment	Memocone MKII Cl 3
Ground water level	1,00 m	Geometry	Normal	Cone nr	50456

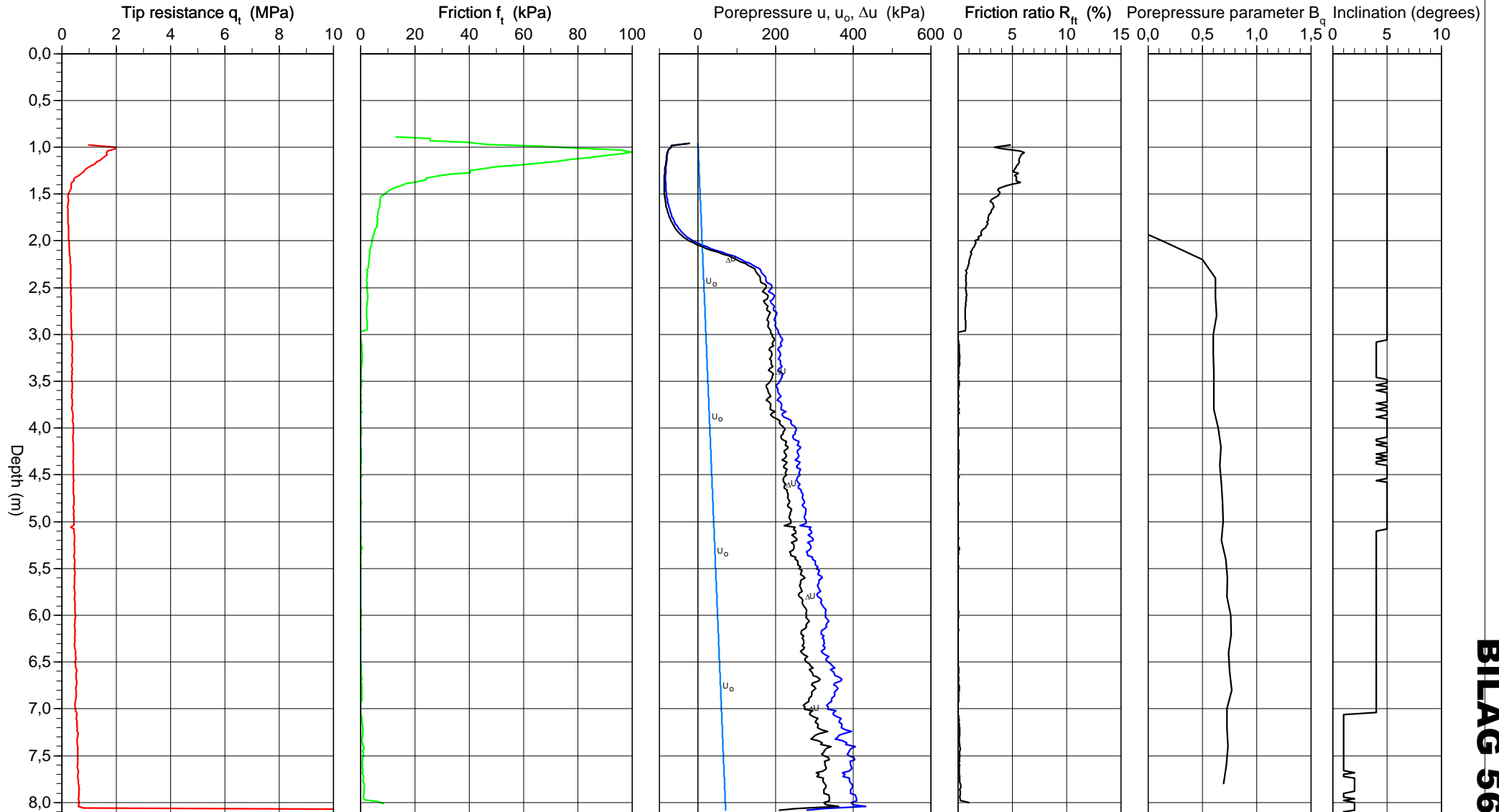
Project	LÖDING-VIKAN
Project nr	50513
Site	357
Designation	959
Date	20100322



CPT-test performed according to EN ISO 22476-1

Predrilling depth	1,00 m	Reference	Terreng	Fluid in filter	Gelatin
Start depth	1,00 m	Level at reference	1,22 m	Coordinats	
Stop depth	8,12 m	Predrilled material		Equipment	Memocone MKII Cl 3
Ground water level	1,00 m	Geometry	Normal	Cone nr	50456

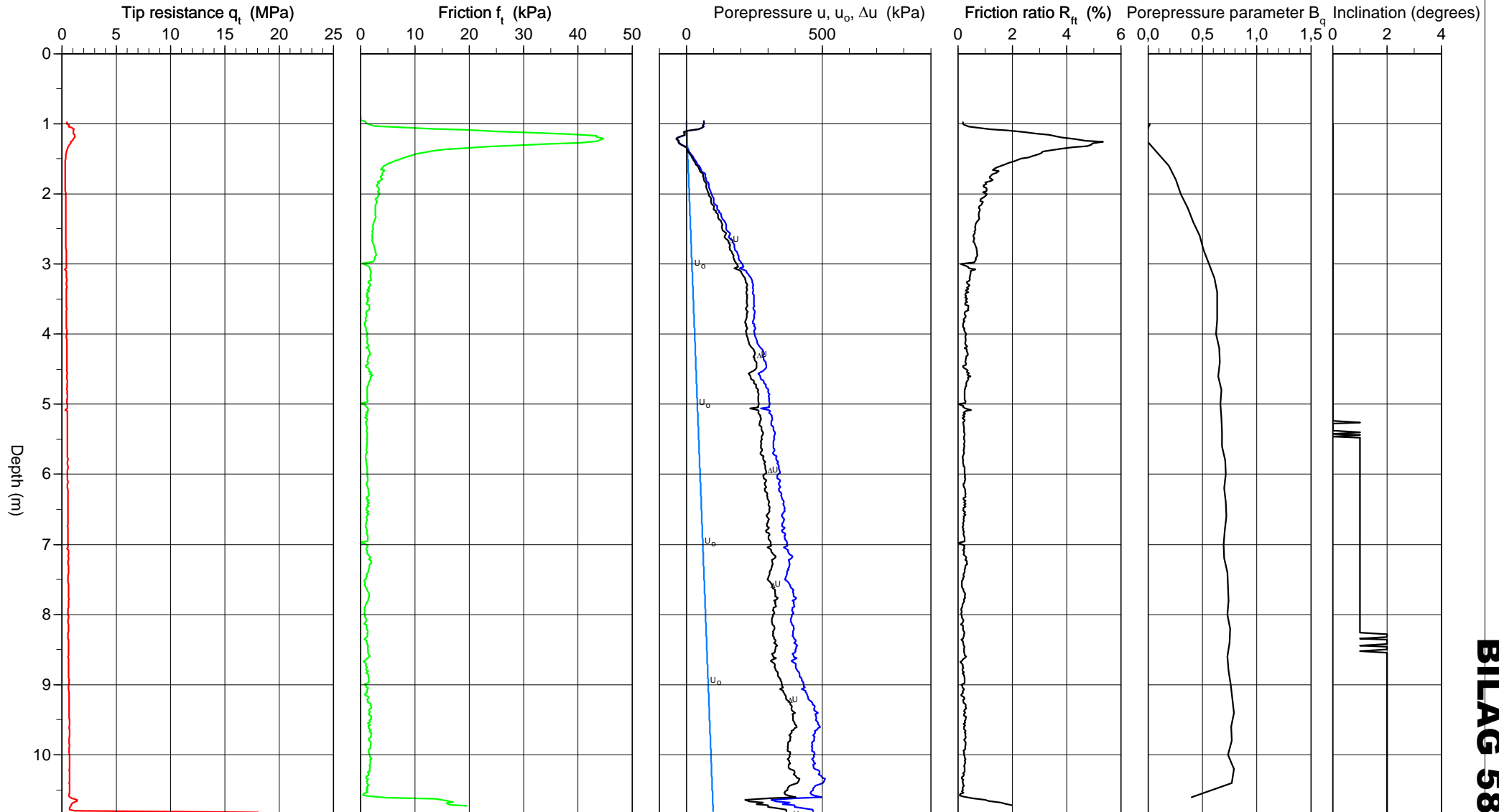
Project	LÖDING-VIKAN
Project nr	50513
Site	360
Designation	964
Date	20100325



CPT-test performed according to EN ISO 22476-1

Predrilling depth	1,00 m	Reference	Terreng	Fluid in filter	Gelatin
Start depth	1,00 m	Level at reference	1,24 m	Coordinats	
Stop depth	10,84 m	Predrilled material		Equipment	Memocone MKII Cl 3
Ground water level	1,00 m	Geometry	Normal	Cone nr	50456

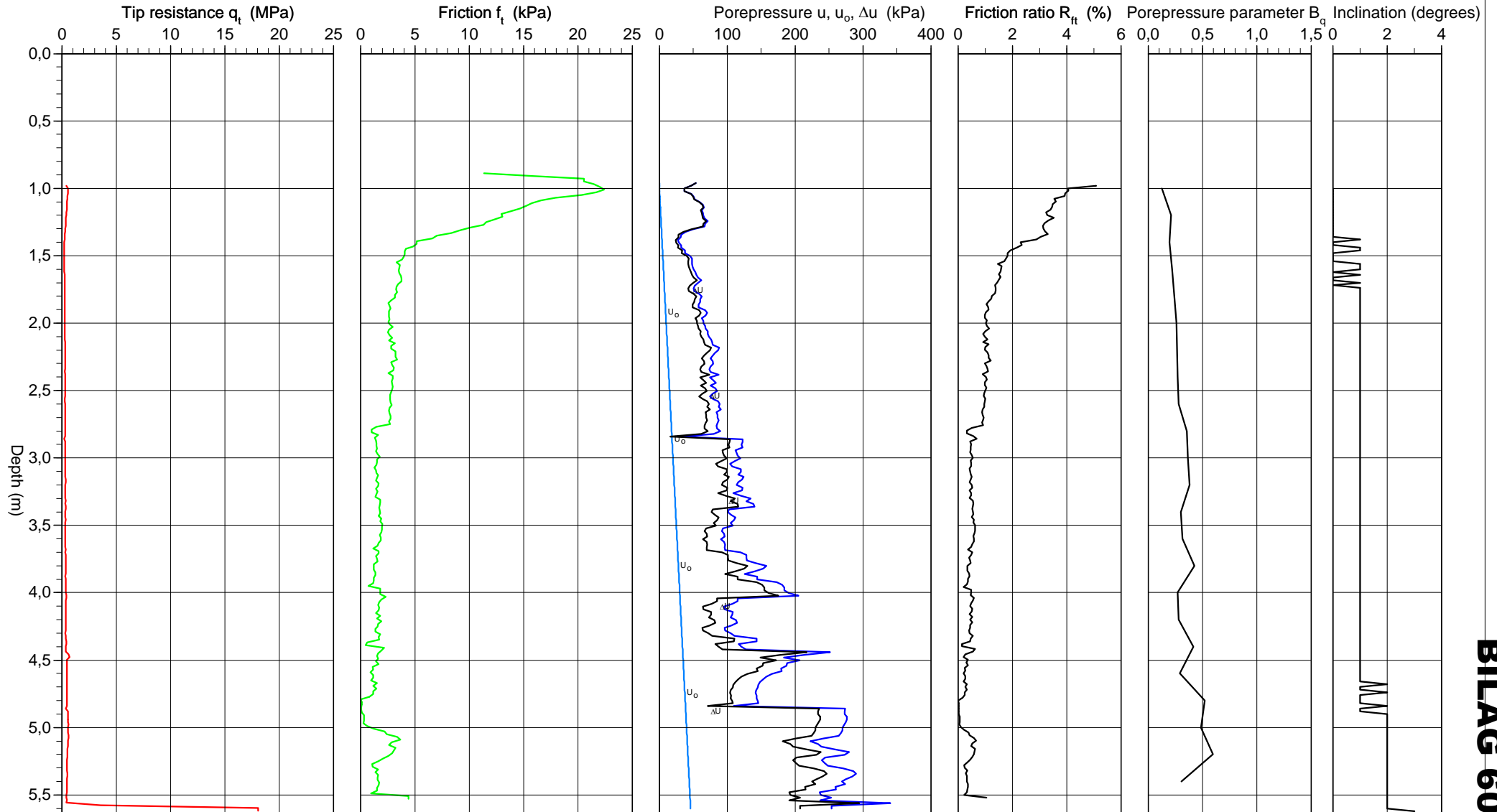
Project	LÖDING-VIKAN
Project nr	50513
Site	362
Designation	965
Date	20100325



CPT-test performed according to EN ISO 22476-1

Predrilling depth	1,00 m	Reference	Terreng	Fluid in filter	Gelatin
Start depth	1,00 m	Level at reference	1,05 m	Coordinats	
Stop depth	5,64 m	Predrilled material		Equipment	Memocone MKII Cl 3
Ground water level	1,00 m	Geometry	Normal	Cone nr	50456

Project	LÖDING-VIKAN
Project nr	50513
Site	367
Designation	941
Date	20100317

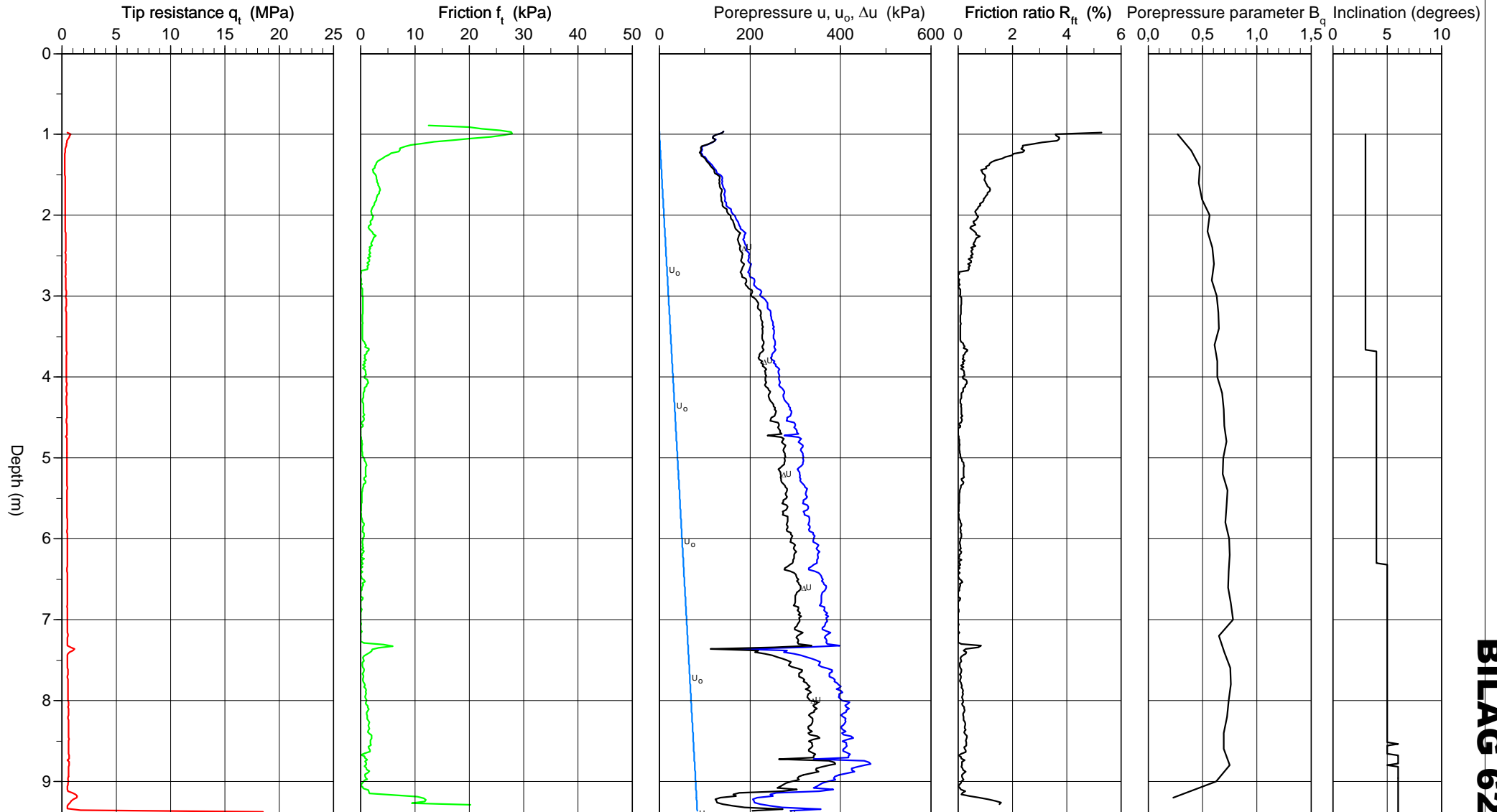


BILAG 60

CPT-test performed according to EN ISO 22476-1

Predrilling depth	1,00 m	Reference	Terreng	Fluid in filter	Gelatin
Start depth	1,00 m	Level at reference		Coordinats	
Stop depth	9,40 m	Predrilled material		Equipment	Memocone MKII Cl 3
Ground water level	1,00 m	Geometry	Normal	Cone nr	50456

Project	LÖDING-VIKAN
Project nr	50513
Site	368
Designation	940
Date	20100317

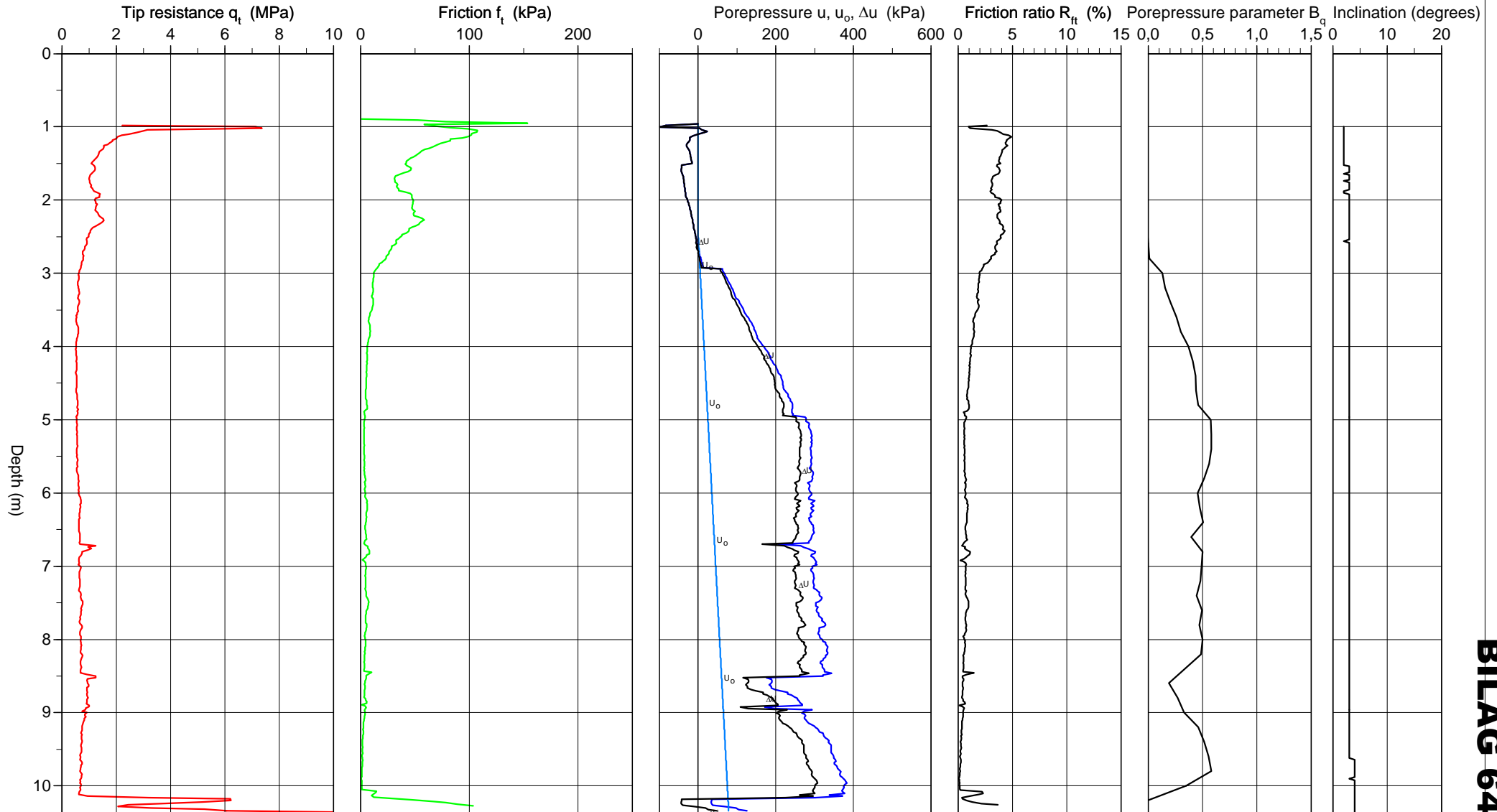


BILAG 62

CPT-test performed according to EN ISO 22476-1

Predrilling depth	1,00 m	Reference	Terreng	Fluid in filter	Gelatin
Start depth	1,00 m	Level at reference	8,99 m	Coordinats	
Stop depth	10,38 m	Predrilled material		Equipment	Memocone MKII Cl 3
Ground water level	2,50 m	Geometry	Normal	Cone nr	50456

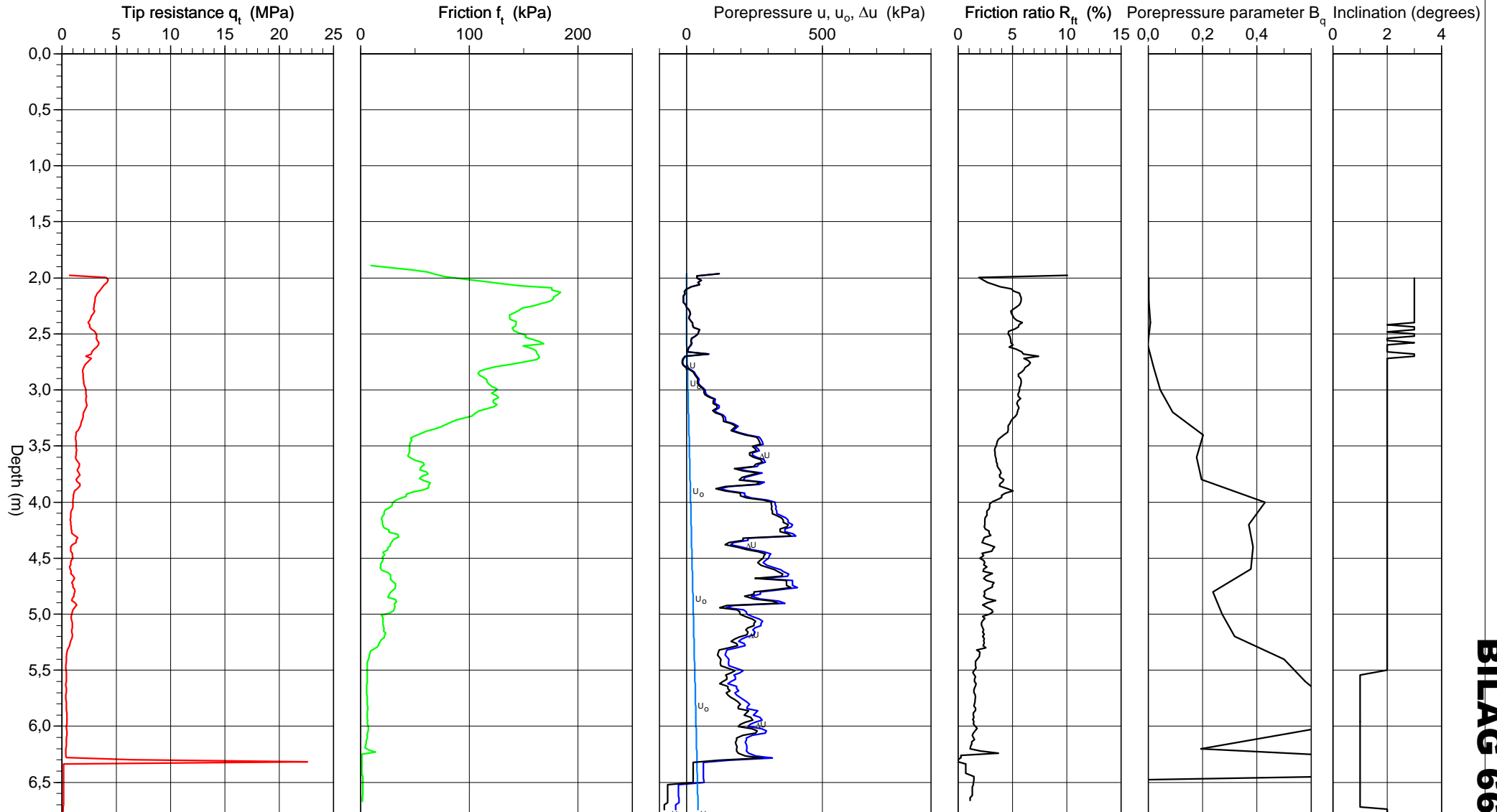
Project	LÖDING-VIKAN
Project nr	50513
Site	372
Designation	963
Date	20100324



CPT-test performed according to EN ISO 22476-1

Predrilling depth	2,00 m	Reference	Terreng	Fluid in filter	Gelatin
Start depth	2,00 m	Level at reference	13,66 m	Coordinats	
Stop depth	6,78 m	Predrilled material		Equipment	Memocone MKII Cl 3
Ground water level	2,50 m	Geometry	Normal	Cone nr	50456

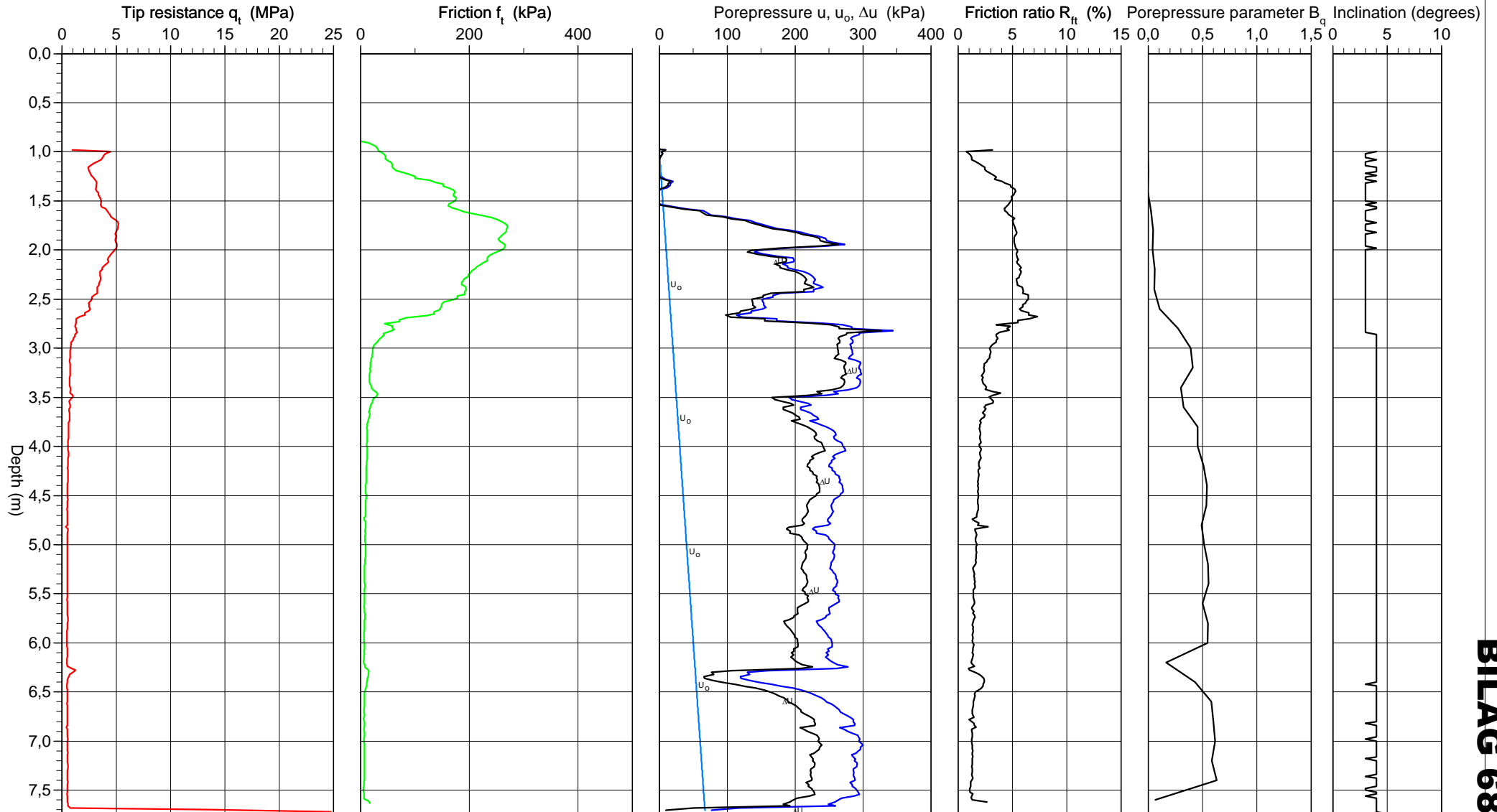
Project	LÖDING-VIKAN
Project nr	50513
Site	375
Designation	931
Date	20100316



CPT-test performed according to EN ISO 22476-1

Predrilling depth	1,00 m	Reference	Terreng	Fluid in filter	Gelatin
Start depth	1,00 m	Level at reference	16,83 m	Coordinats	
Stop depth	7,74 m	Predrilled material		Equipment	Memocone MKII Cl 3
Ground water level	1,00 m	Geometry	Normal	Cone nr	50456

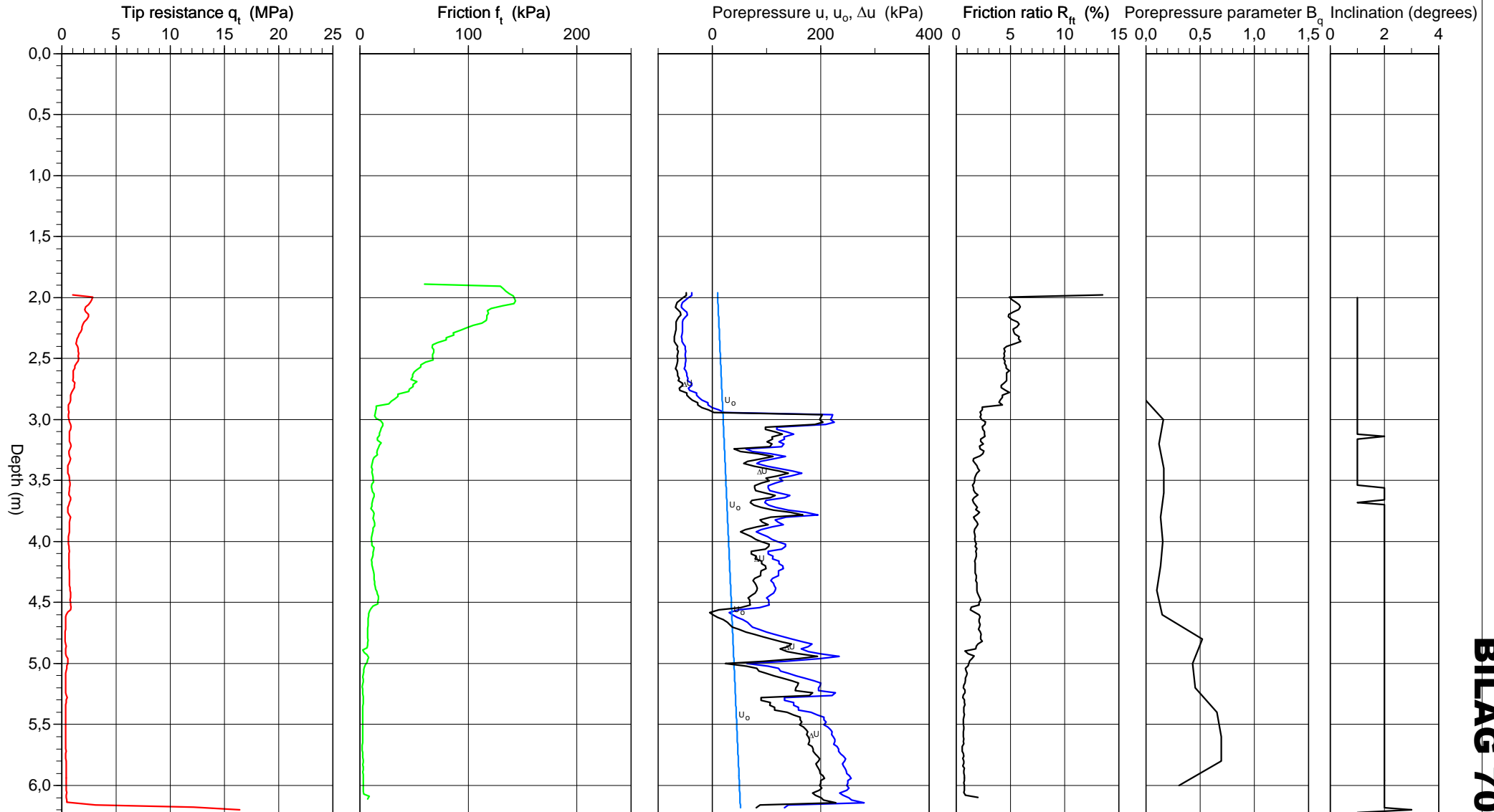
Project	Rv80 Løding - Vikan
Project nr	50513
Site	385
Designation	922
Date	20100310



CPT-test performed according to EN ISO 22476-1

Predrilling depth	2,00 m	Reference	Terreng	Fluid in filter	Gelatin
Start depth	2,00 m	Level at reference	13,92 m	Coordinats	
Stop depth	6,22 m	Predrilled material		Equipment	Memocone MKII Cl 3
Ground water level	1,00 m	Geometry	Normal	Cone nr	50456

Project	LÖDING-VIKAN
Project nr	50513
Site	386
Designation	932
Date	20100316



BILAG 70

Eksempel på bruk og tolkning av CPTU i Statens vegvesen

Arild Sleipnes
Geo- og laboratorieseksjoen
Ressursavdelingen
Region Nord



Bruk og tolkning av CPTU

- Foreskriver relativt mange trykksonderinger (CPTU) som et supplement til uforstyrrede prøveserier i særlig leirområder
- Synes vi i all hovedsak får bra kvalitet på disse sonderingene
- Legger opp til at alle borfiler sendes inn umiddelbart og at de kontrolleres med hensyn til særlig nullpunktsavvik og poretrykksrespons før borryggen forlater stedet. Medfører også at det er nødvendig å ta på nytt en liten del av sonderingene.
- Tolker ved hjelp av Conrad 3.0 (skjærstyrke ut fra spisstrykk) og eget regneark (skjærstyrke ut fra poreovertrykk). Kontrollen av sonderingene etter boring skjer ved at disse leses inn i Conrad
- Prøver også å få utført poretrykksmålinger og uforstyrrede prøveserier i en del av de samme punktene der det utføres trykksonderinger



Bruk og tolkning av CPTU

- Følger opp nullpunktsvariasjonene i eget regneark

CPTU-SONDERINGER MED ENVI-SONDE NR. 50456

Oppdragsnr.	Fil	Borhull	Geoprinter nr.	Dato	Nullpunkt før/etter											
					Spisstrykk				Poretrykk				Overflatefriksjon			
					Før $Z_0,2$	Etter $Z_0,2$	Forskjell tallverdi	Forskjell i kPa	Før $Z_0,1$	Etter $Z_0,1$	Forskjell tallverdi	Forskjell i kPa	Før $Z_0,3$	Etter $Z_0,3$	Forskjell tallverdi	Forskjell i kPa
50513	2075-11b-feb	343	892	11.02.2010	6282	6344	62	155.0	183	180	-3	-0.3	106	104	-2	-0.2
50513	2075-11c-feb	342	894	11.02.2010	6362	6328	-34	-85.0	176	175	-1	-0.1	103	104	1	0.1
50513	2075-12-feb-2	344	897	12.02.2010	6428	6396	-32	-80.0	178	173	-5	-0.5	105	100	-5	-0.5
50513	2075-18-feb-2	332	898	18.02.2010	6394	6700	306	765.0	172	170	-2	-0.2	102	102	0	0.0
50513	2075-18b-feb	330	899	18.02.2010	6742	6752	10	25.0	171	169	-2	-0.2	100	102	2	0.2
50513	2075-18c-feb	328	900	18.02.2010	6784	6444	-340	-850.0	169	172	3	0.3	103	104	1	0.1
50513	2075-10-mar	385	922	10.03.2010	6290	6300	10	25.0	191	184	-7	-0.7	105	106	1	0.1
50513	2075-16-mars	375	931	16.03.2010	6362	6436	74	185.0	184	164	-20	-2.0	105	107	2	0.2
50513	2075-16b-mar	386	932	16.03.2010	6478	6536	58	145.0	185	182	-3	-0.3	105	106	1	0.1
50513	2075-17-mar	368	940	17.03.2010	6530	6510	-20	-50.0	182	181	-1	-0.1	106	107	1	0.1
50513	2075-17-mar	367	941	17.03.2010	6530	6508	-22	-55.0	178	178	0	0.0	107	107	0	0.0
50513	2075-22b-mar	352	957	22.03.2010	6516	6502	-14	-35.0	180	179	-1	-0.1	106	106	0	0.0
50513	2075-22d-mar	357	959	22.03.2010	6504	6342	-162	-405.0	182	180	-2	-0.2	106	105	-1	-0.1
50513	2075-24-mar	372	963	24.03.2010	6340	6300	-40	-100.0	184	158	-26	-2.6	105	107	2	0.2
50513	2075-25-mar	360	964	25.03.2010	6322	6352	30	75.0	184	183	-1	-0.1	106	107	1	0.1
50513	2075-25b-mar	362	965	25.03.2010	6342	6324	-18	-45.0	176	175	-1	-0.1	106	107	1	0.1

- Benyttes denne oppfølgingen for blant annet å avgjøre når det er nødvendig med kalibrering



Bruk og tolkning av CPTU

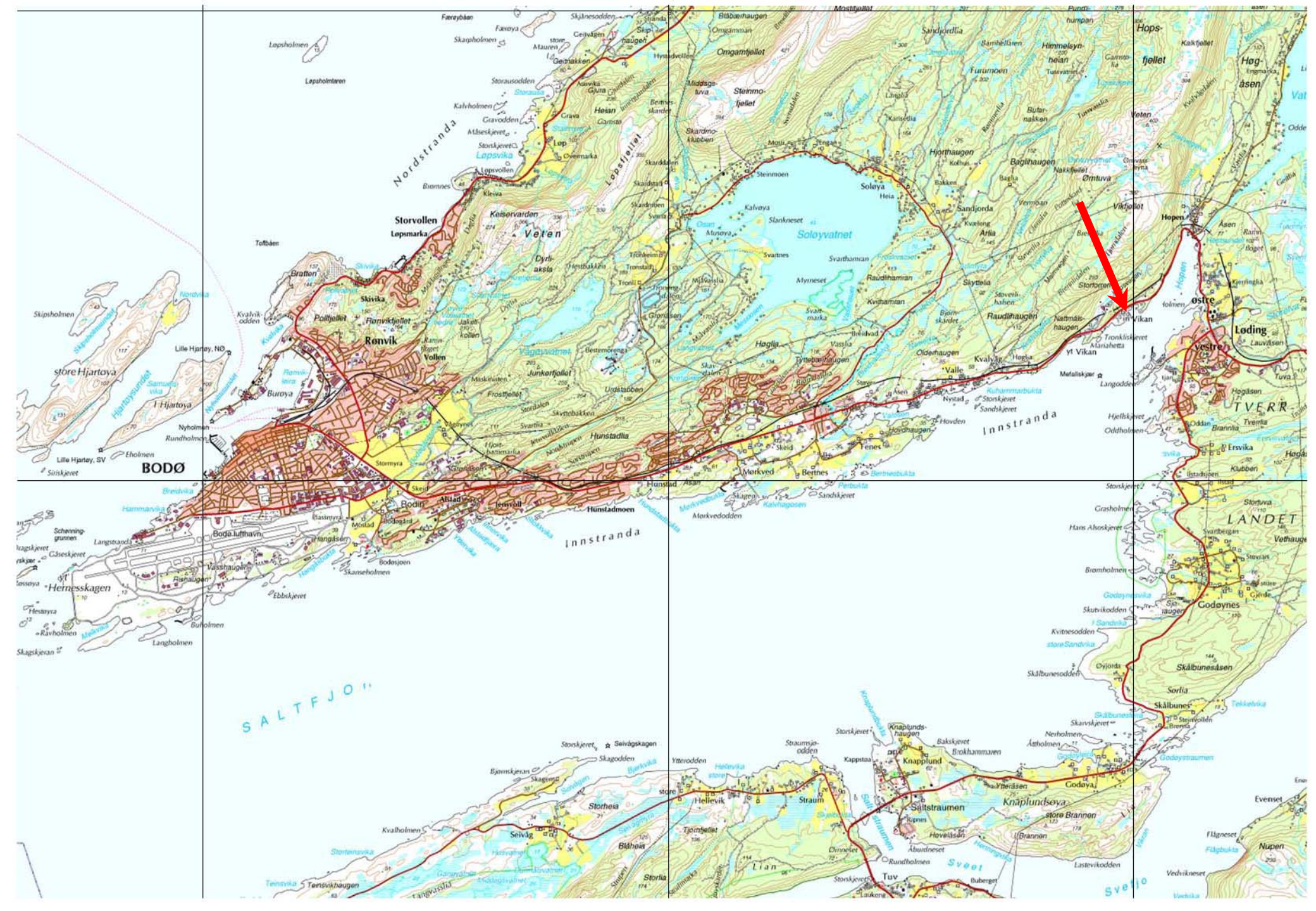
- Har foreløpig kun Envi 5 tonns sonde (Memocone MKII CI3), men ønsker å anskaffe tonns sonde for å få bedre oppløsning på spisstrykket i bløte leirmasser
- Neste sonde vi anskaffer vil også være utstyrt slik at vi kan se registreringene direkte under nedpressing og slik få bedre kontroll med kvaliteten under utførelsen

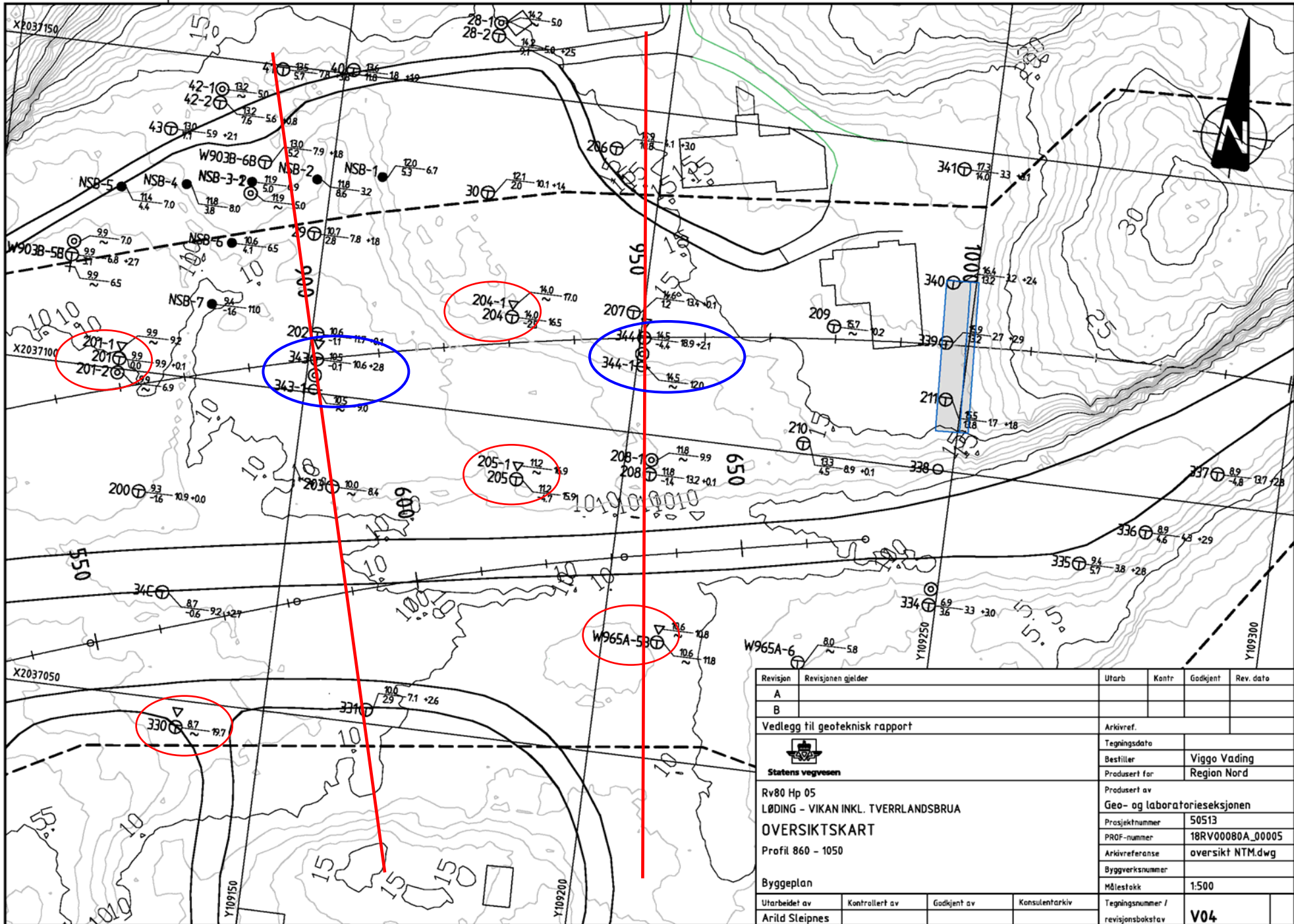



Bruk og tolkning av CPTU

- Eksempel fra Rv80 Løding – Vikan i Bodø kommune hvor byggeplan/konkurransesgrunnlag utarbeides nå
- Problemstilling:
 - Fordypninger i bergoverflaten fylt med kvikkleire, svært vekslende løsmassemektingheter
 - Stabilitets- og setningsforholdene for vegfylling/tilløpsfylling til bru
 - Uforstyrrede prøveserier er sjelden helt uforstyrret
 - Hovedvannledning for Bodø kommune ligger innenfor dette området







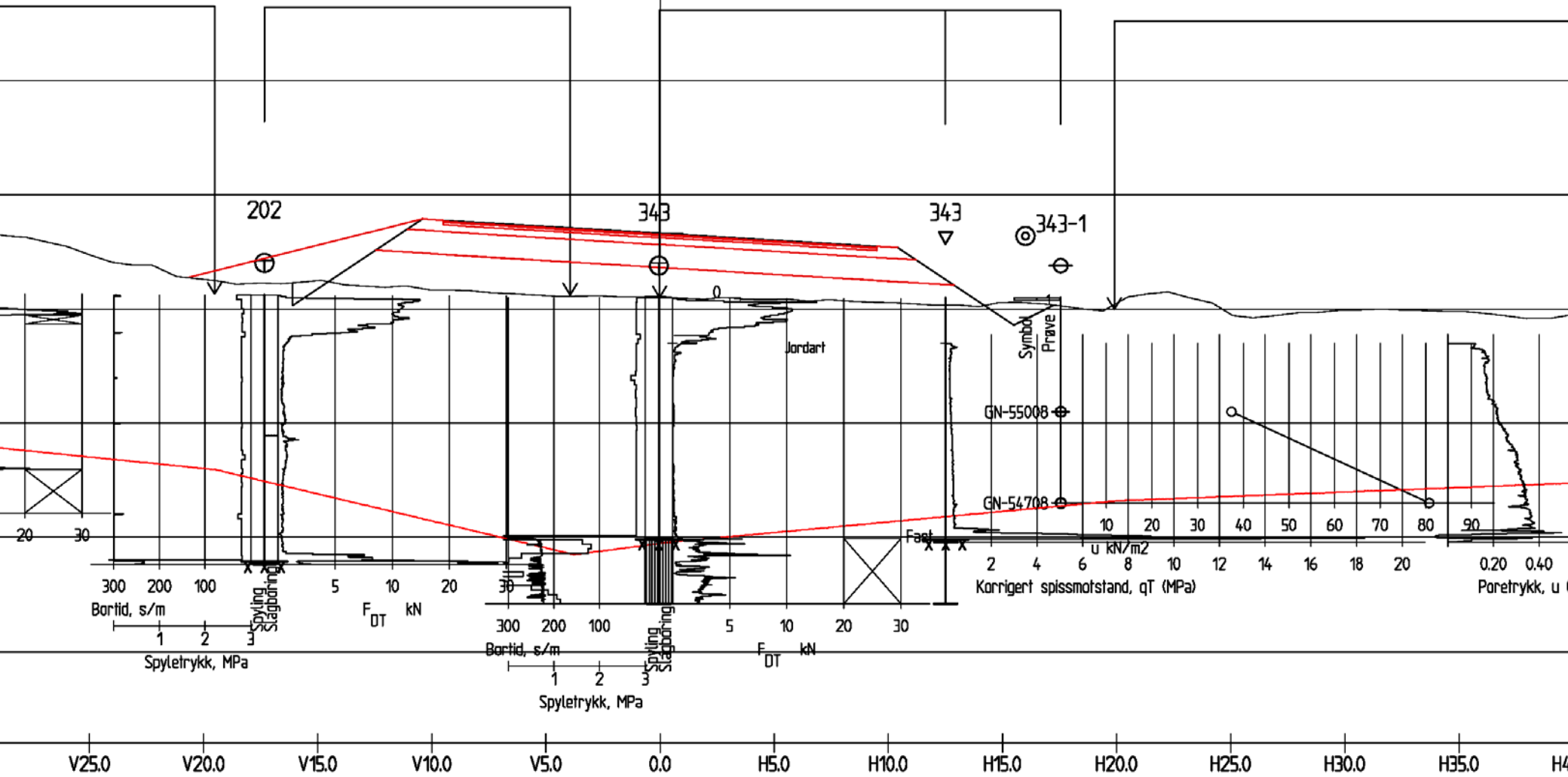
Revisjon	Revisjonen gjelder	Utarb	Kontr	Godkjent	Rev. date
A					
B					
Vedlegg til geoteknisk rapport		Arkivref.			
 Statens vegvesen		Tegningsdato		Viggo Vading	
		Bestiller		Region Nord	
Rv80 Hp 05 LØDING - VIKAN INKL. TVERRLANDSBRUA OVERSIKTSKART Profil 860 - 1050		Produisert av		Geo- og laboratorieseksjonen	
		Prosjektnummer		50513	
Byggeplan		PROF-nummer		18RV00080A_00005	
		Arkivreferanse		oversikt NTM.dwg	
Utarbeidet av		Byggeværksnummer		Målestokk	
		Kontrollert av		1:500	
Arild Sleipnes		Godkjent av		Tegningsnummer / revisjonsbokstav	
		Konsulentarkiv		V04	



30/11/2000



11200.VL



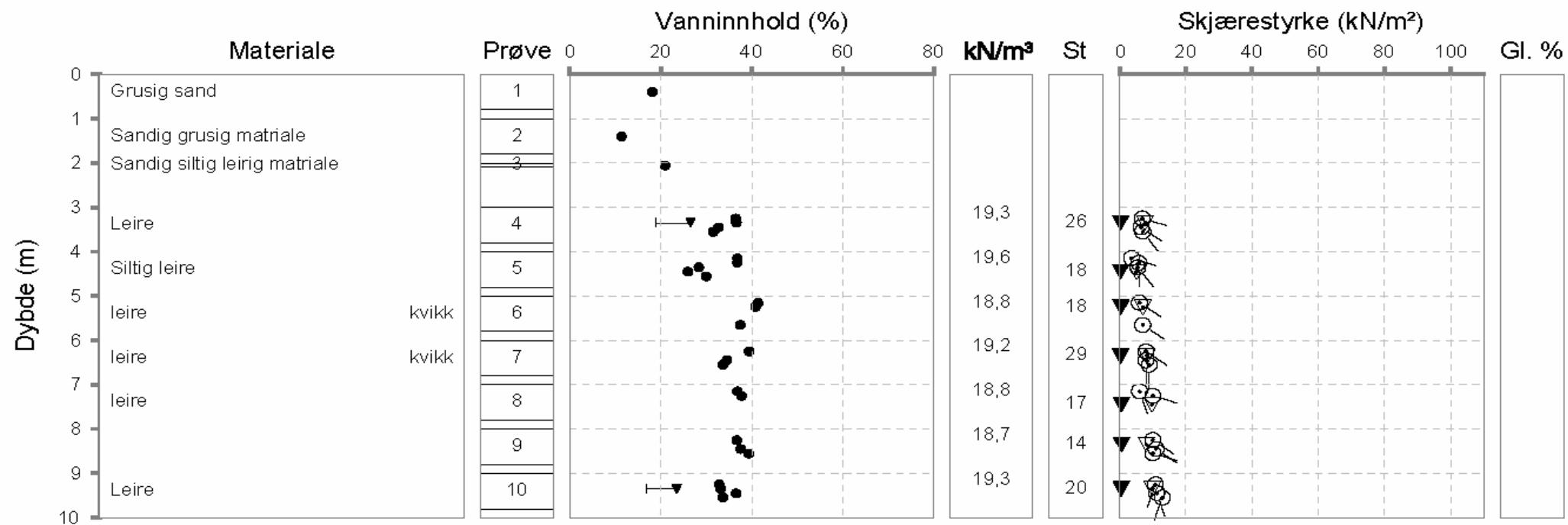
Profil 900

Poretrykksmålinger

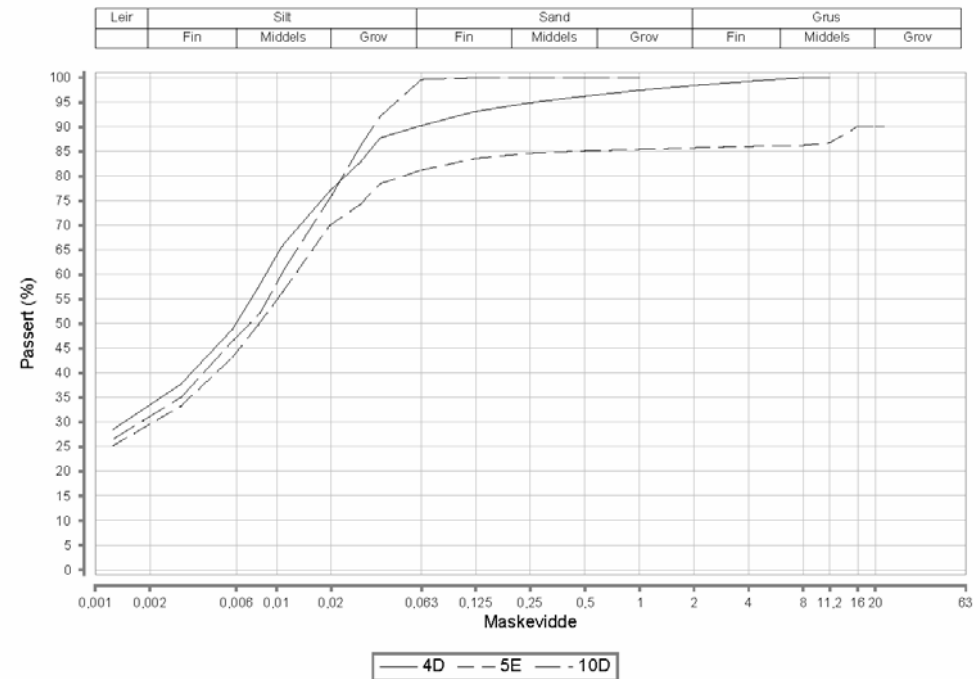
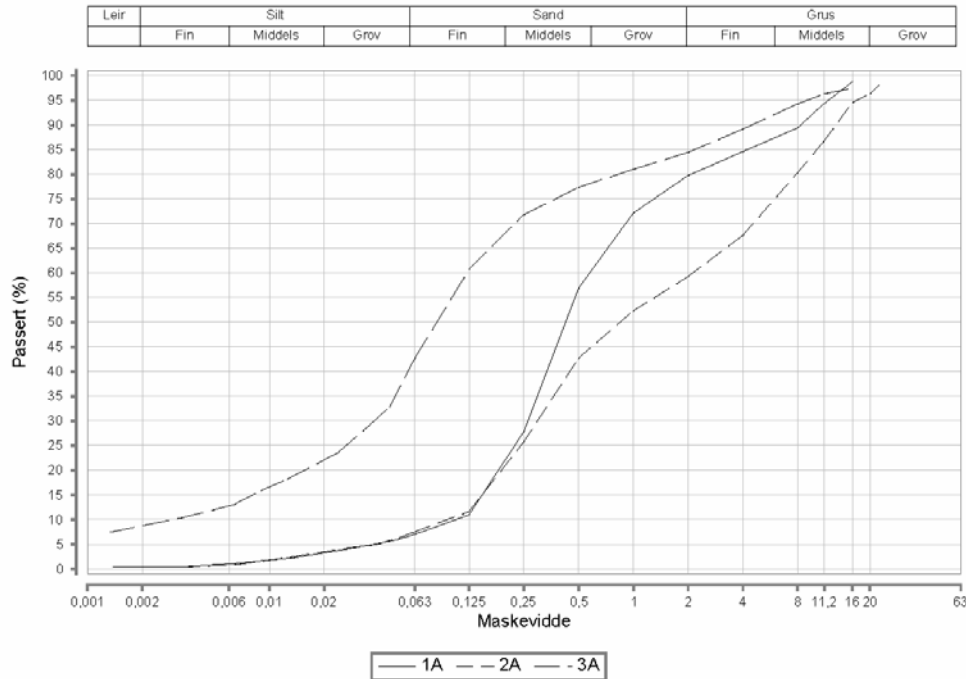
- Hull 343, 3.3.2010
 - Dybde 5.0 m = 37.4 kPa
 - Dybde 9.0 m = 80.0 kPa
 - Dvs. tilnærmet hydrostatisk med en grunnvannsstand 1 meter under terrenget



Rutineundersøkelser hull 343



Korngradering hull 343

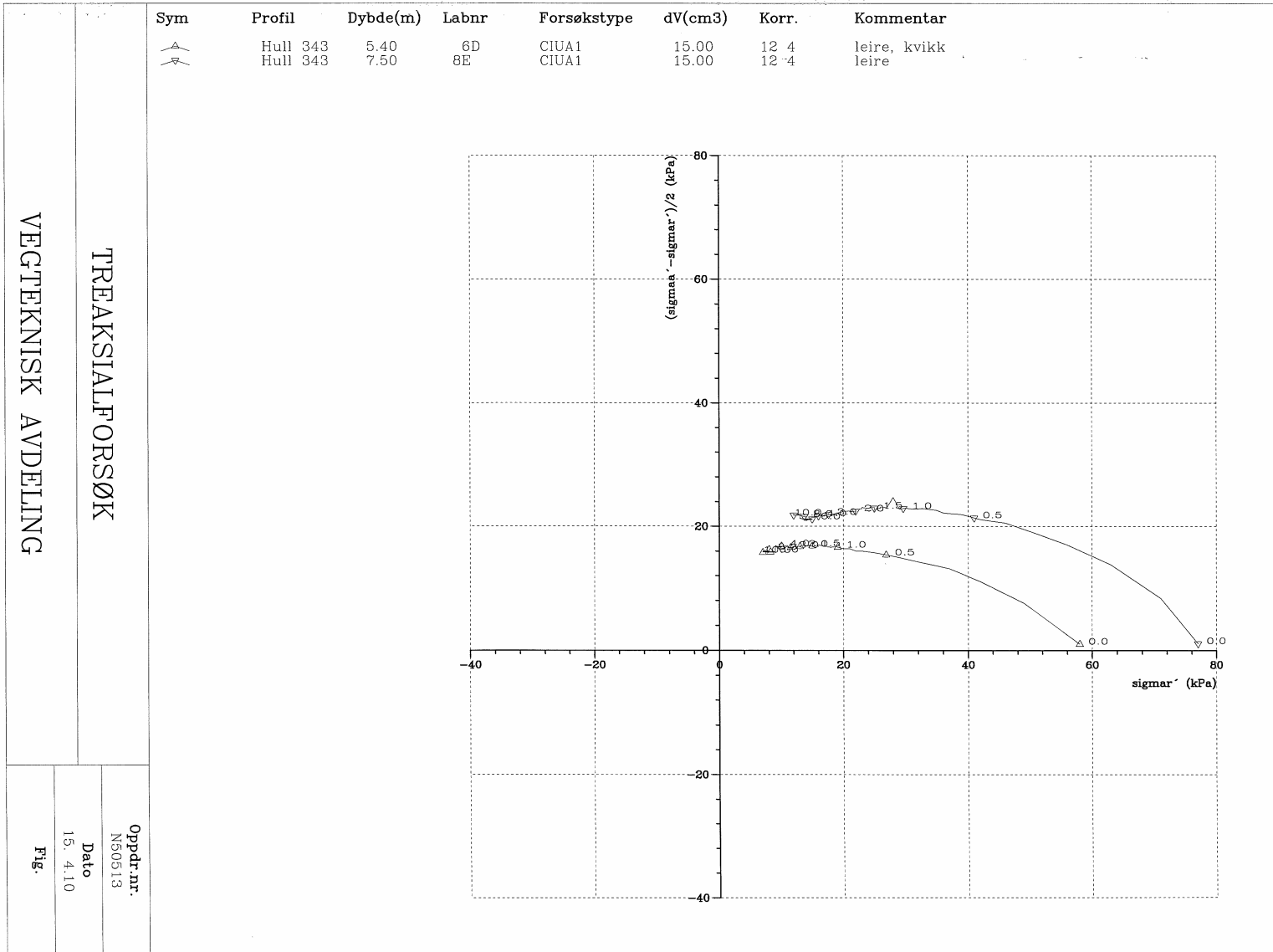


Syl/pose	Vegnr	HP	Km ² /profil	Avst.cl	Dybde	Jordart	Cu	TG
1A	RV80		'343		0,0 - 0,8	Grusig sand	5,4	T2
2A	RV80		'343		1,0 - 1,8	Sandig grusig materiale	22,3	T2
3A	RV80		'343		2,0 - 2,1	Sandig siltig leirig materiale	41,0	T4

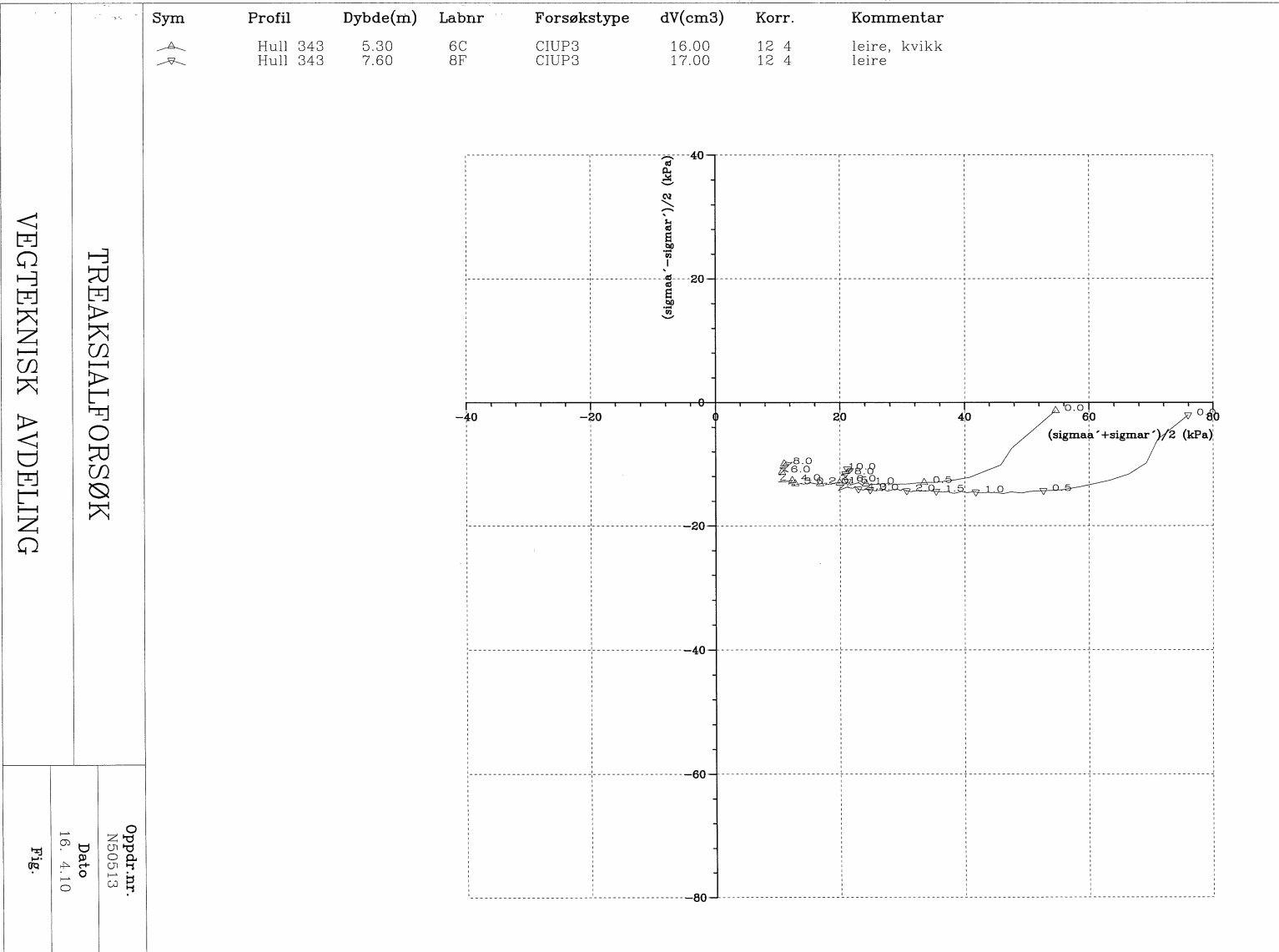
Syl/pose	Vegnr	HP	Km ² /profil	Avst.cl	Dybde	Jordart	Cu	TG
4D	RV80		'343		3,0 - 3,8	Leire	0,0	T4
5E	RV80		'343		4,0 - 4,8	Siltig leire	0,0	T4
10D	RV80		'343		9,0 - 9,8	Leire	0,0	T4



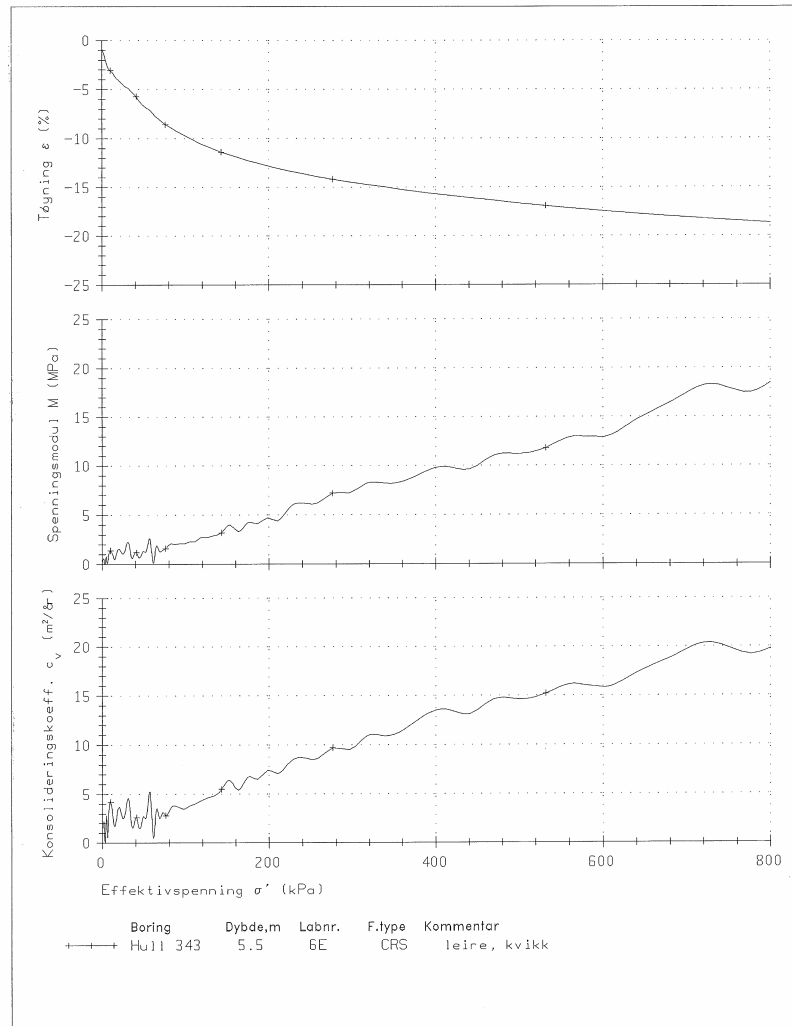
Aktivt treaksialforsøk



Passivt treaksialforsøk



Kontinuerlig ødometer



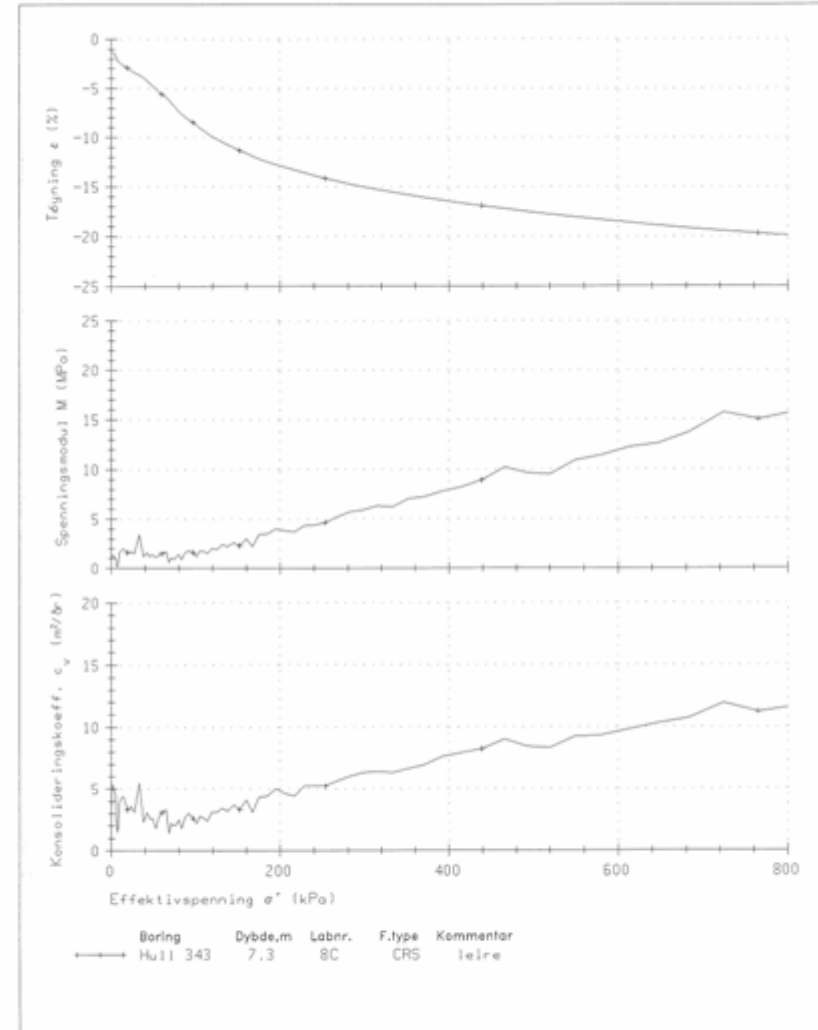
KONTINUERLIG ØDOMETER

Statens Vegvesen

Oppdrag
N50513

Date
2010-04-12

Fig.



KONTINUERLIG ØDOMETER

Statens Vegvesen

Oppdrag
N50513

Date
2010-04-14

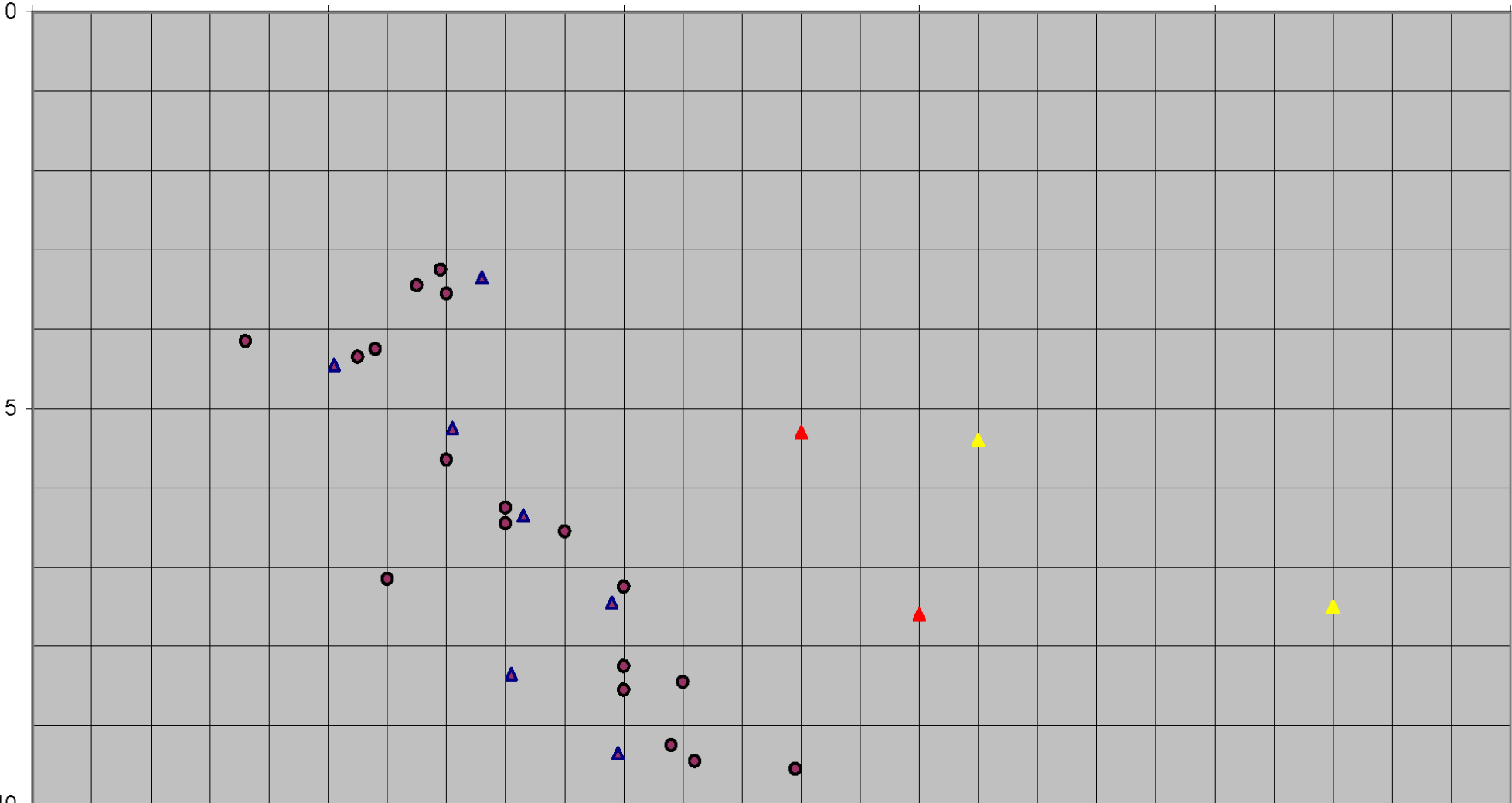
Fig.



SAMMESTILLING AV SKJÆRSTYRKEVERDIER PRØVESERIE

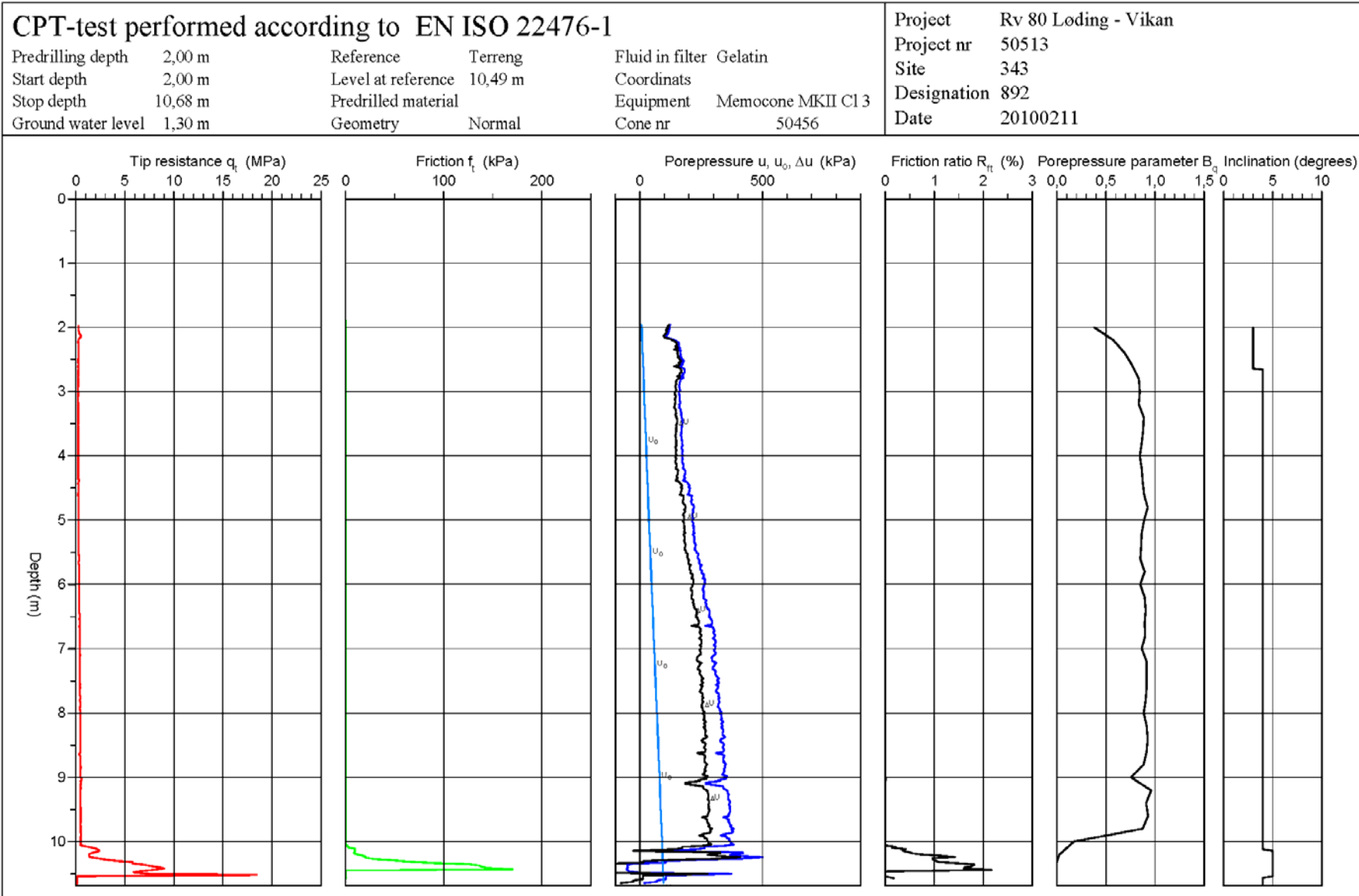
Skjærstyrke, kPa

0 5 10 15 20 25



▲ HULL 343 Konus ● HULL 343 Enaks ▲ HULL 343 Aktiv treaks ▲ HULL 343 Passivt treaks

Tolkning av CPTU i Conrad



Formelverk Conrad/eget regneark

S_u ut fra spissmotstand forutsatt at flytegrense er oppgitt

$$\tau_{FU} = \frac{q_T - \sigma_{V0}}{k9 + k10 \cdot w_L} \quad k9=13.4 \text{ og } k10=6.65$$

S_u ut fra spissmotstand uten flytegrense samt for silt

$$\tau_{FU} = \frac{q_T - \sigma_{V0}}{k11} \quad k11=16.3 \text{ for leire, } 14.5 \text{ for silt og } 24.0 \text{ for gytje}$$

S_u ut fra poreovertrykk (eget regneark ved eksport av data fra Conrad)

$$s_{up} = \frac{U - U_0}{N_{\Delta u}} \quad N_{\Delta u} = 12 \text{ for hull } 343$$

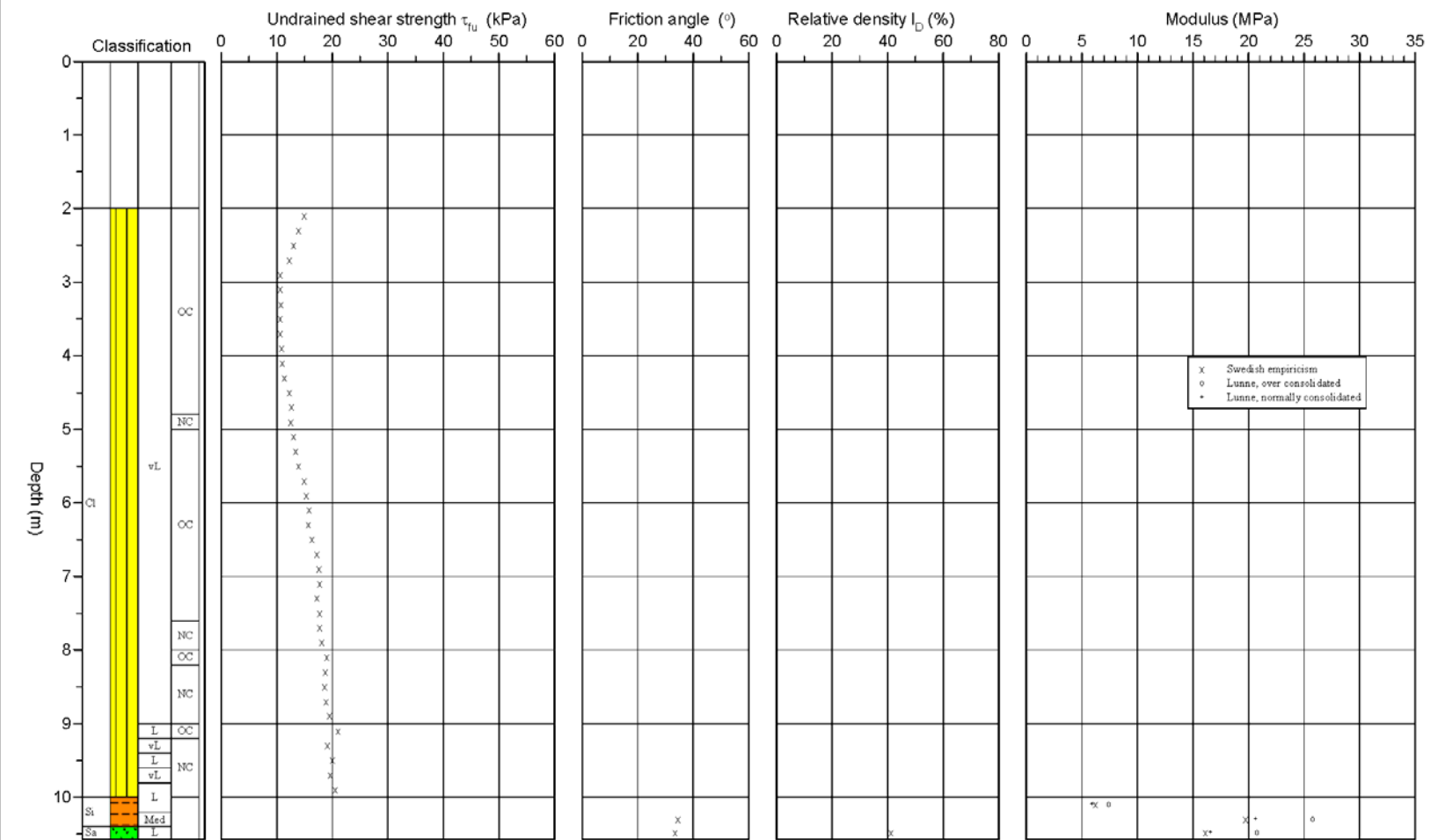


Tolkning av CPTU i Conrad

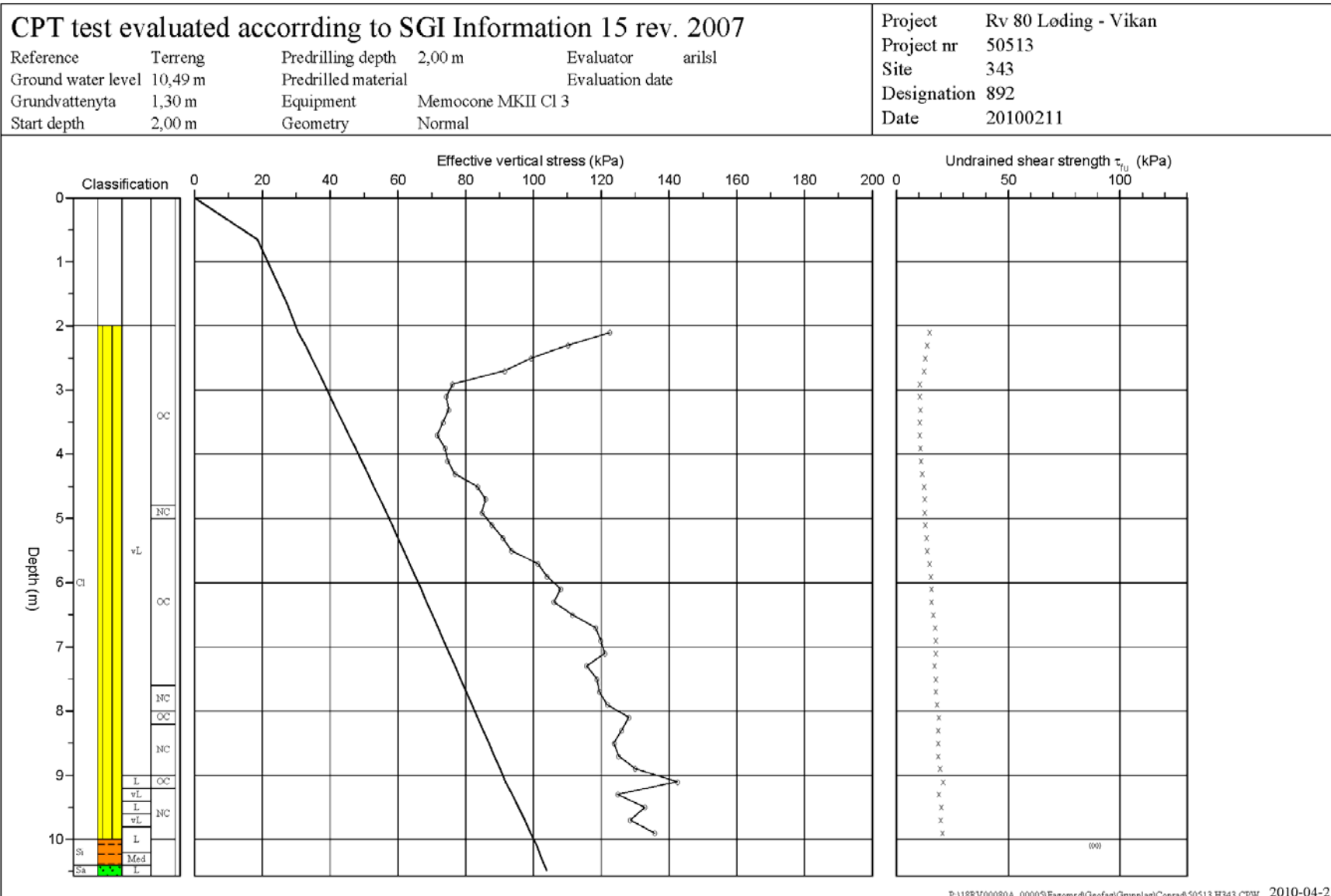
CPT test evaluated according to SGI Information 15 rev. 2007

Reference	Terreng	Predrilling depth	2,00 m	Evaluator	arisl
Level at reference	10,49 m	Predrilled material		Evaluation date	
Ground water level	1,30 m	Equipment	Memocone MKII CI 3		
Start depth	2,00 m	Geometry	Normal		

Project	Rv 80 Loding - Vikan
Project nr	50513
Site	343
Designation	892
Date	20100211



Tolkning av CPTU i Conrad

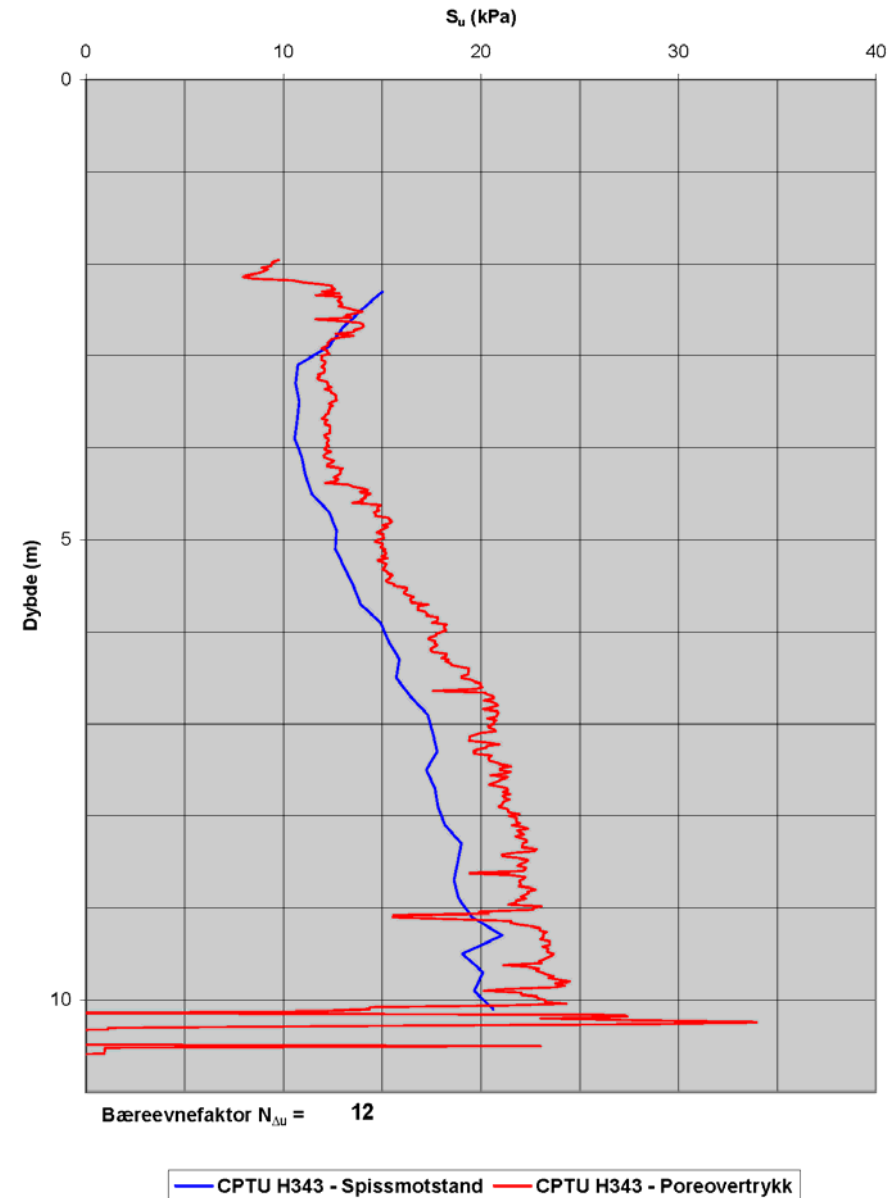


Regneark med
tolkning s_u fra både
spissmotstand og
poreovertrykk

59513

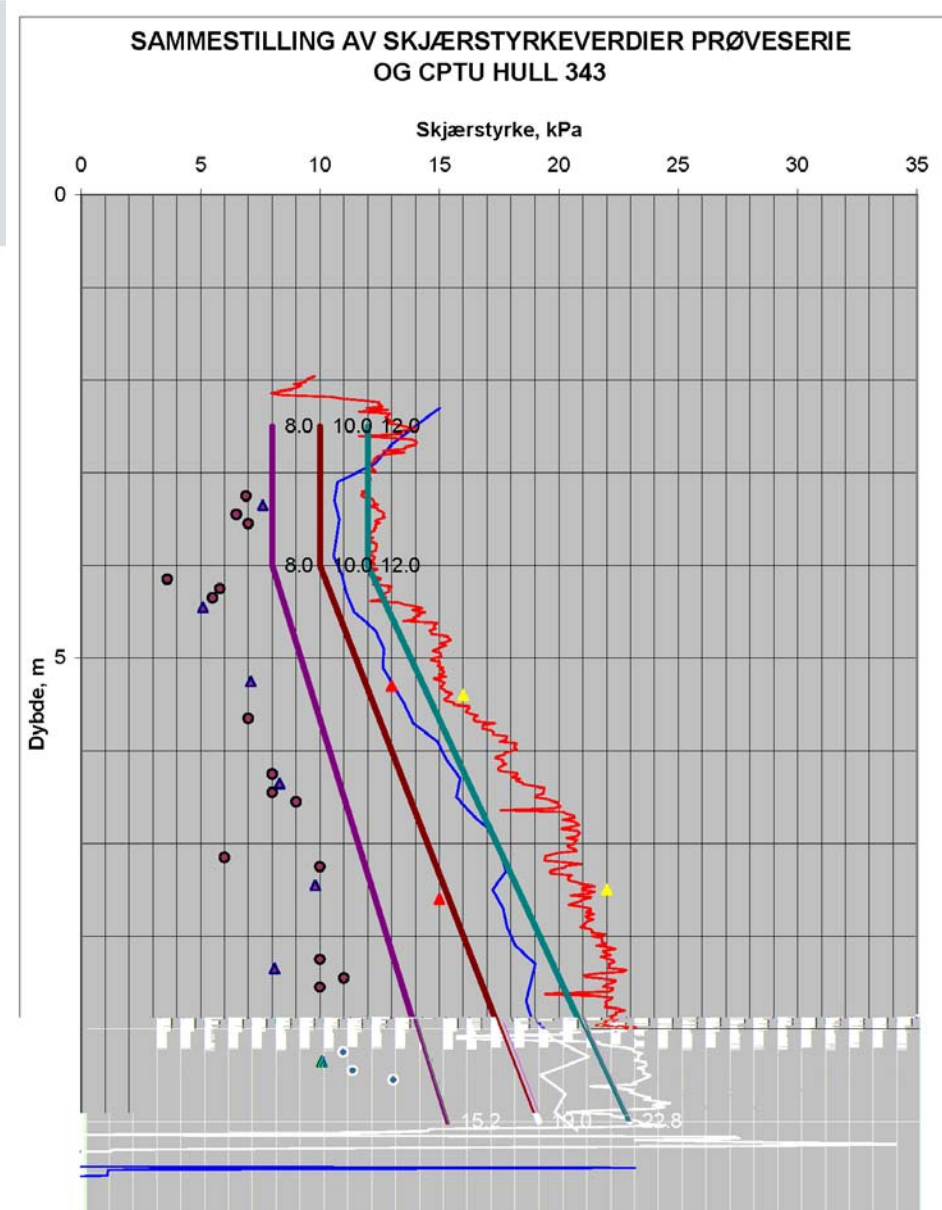
Hull nr. 343

Beregnet s_u fra trykksondring (CPTU)



Sammenstilling/forslag til valg av skjærstyrkeprofiler for hull 343

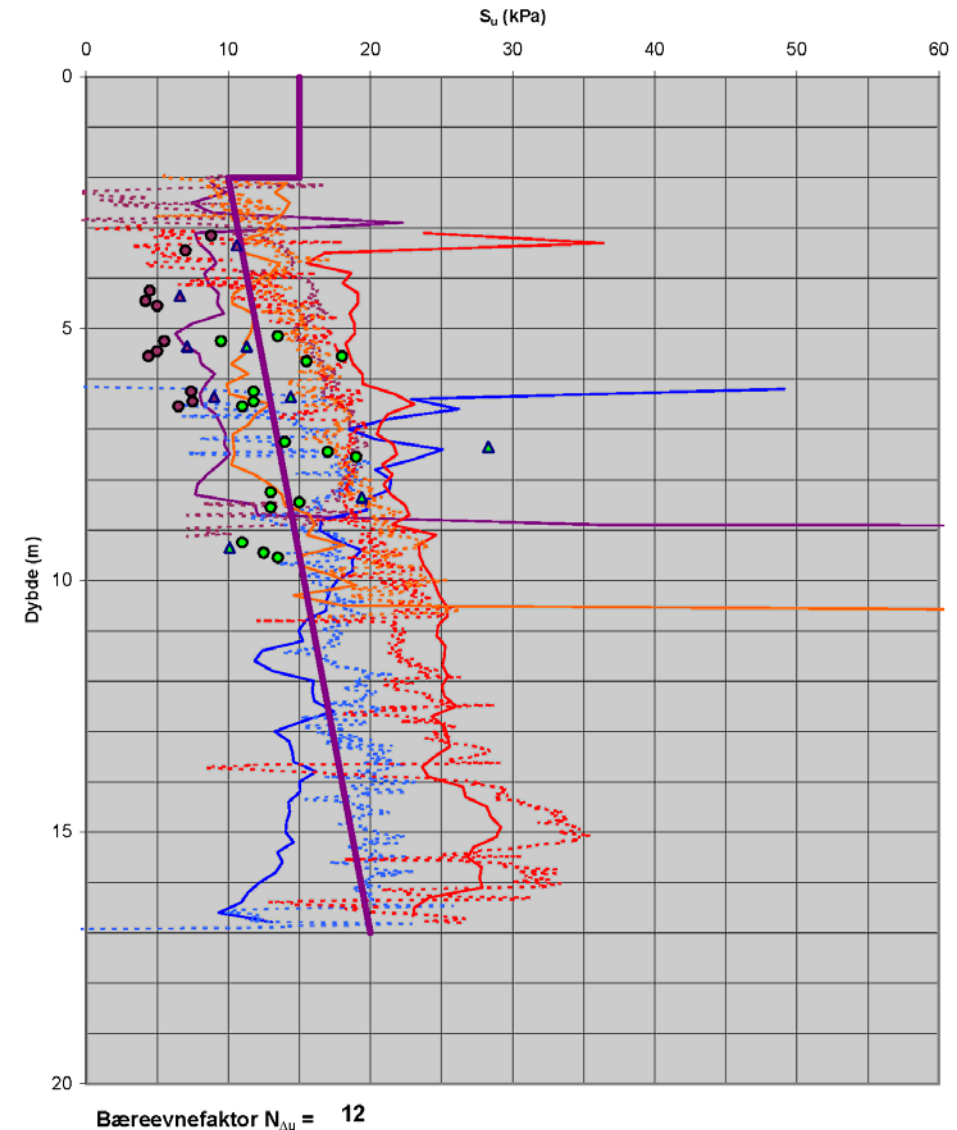
- $Su_D = 10.0$ kPa i dybde 2.5 til 4 meter
- $Su_D = 10.0 + 1.50(z-4)$ kPa dypere enn 4 meter
- Faktorer i ADP-beregning
 - $A_a = 1.20$
 - $A_d = 1.0$
 - $A_p = 0.80$



Sammenstilling/valgt skjærstyrkeprofil for tidligere planfase

- Basert på 2 stk prøveserier og 5 stk CPTU
- Ikke tidligere utført treaksialforsøk i dette området (men i naboområdet)
- $S_{uD} = 10 + 0.67(z-2) \text{ kPa}$ for dybere enn 2 meter under terreng

Sammenstilling av skjærstyrkeverdier CPTU og 54mm prøveserie, hull, 201, 204, 205, 208 og W965A-5B

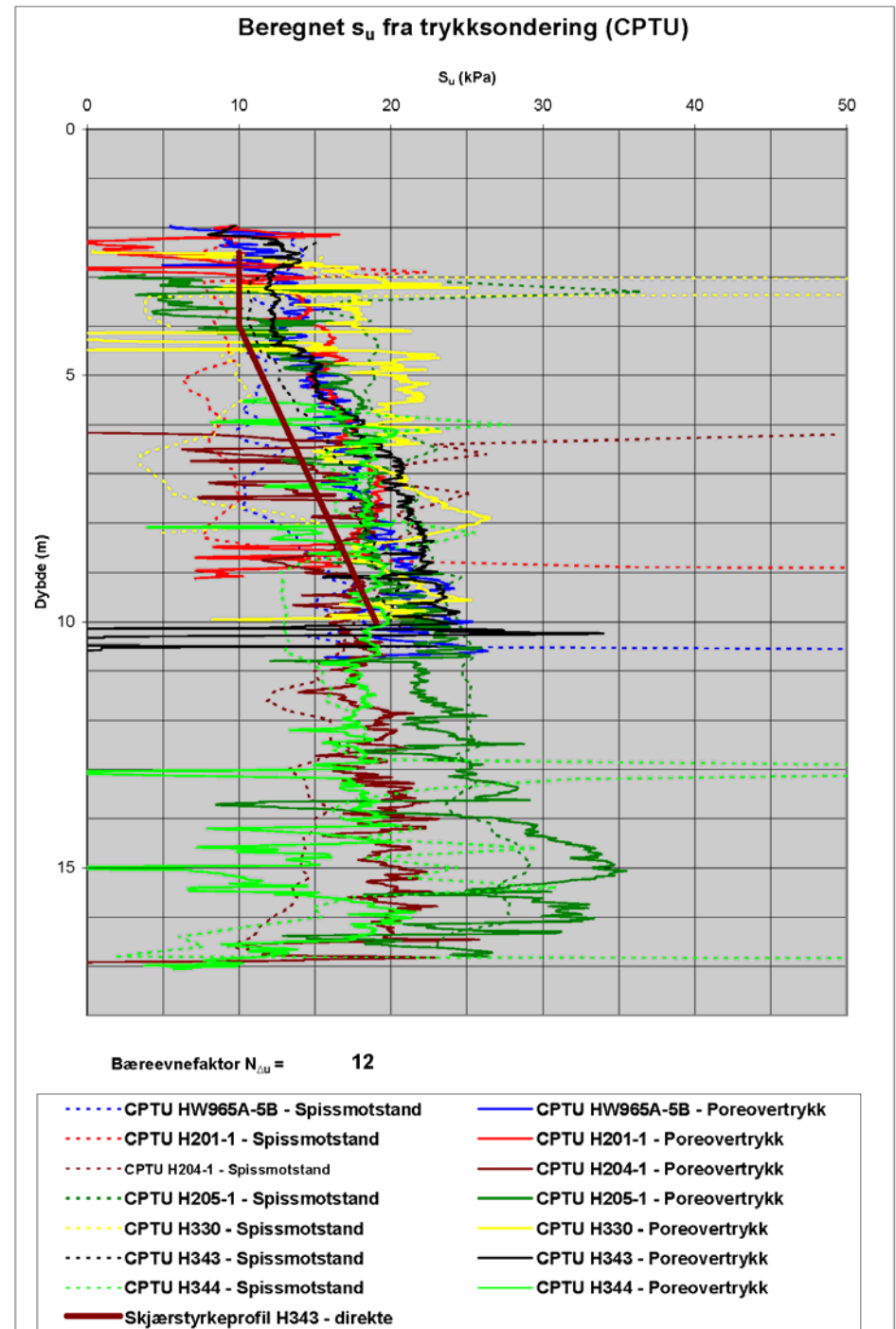


- | | |
|-------------------------------|-----------------------------------|
| ▲ HULL 201-2 Konus | ● HULL 201-2 Enaks |
| — CPTU H201-2 - Spissmotstand | - - - CPTU H201-2 - Poreovertrykk |
| — CPTU H204-1 - Spissmotstand | - - - CPTU H204-1 - Poreovertrykk |
| — CPTU H205-1 - Spissmotstand | - - - CPTU H205-1 - Poreovertrykk |
| ▲ HULL 208-1 Konus | ● HULL 208-1 Enaks |
| — CPTU H5B - Spissmotstand | - - - CPTU H5B - Poreovertrykk |
| — Valgt skjærstyrkeprofil | |



Sammenstilling av tolket skjærstyrke fra CPTU i området

- Vil legge inn alle konus, enaksialforsøk, aktiv og passive treaksialforsøk for området før jeg endelig velger dimensjonerende skjærstyrkeprofil, (passivt, direkte og aktivt) for området



CPTU-seminar Vegdirektoratet 26. april 2010

Bruk av CPTU i Geovest-Haugland AS

Dr. ing. Arne Åsmund Skotheim
Seniorrådgiver Geovest-Haugland AS

1 UTSTYR

Geovest-Haugland anskaffet trykksonderingsutstyr i 1994, og per i dag benytter vi Geotech-sonder med dobbelt sett logging på begge våre 2 operative Geotech-rigger.

I de første årene etter anskaffelse hadde vi kun akustisk logging, og vi hadde tidvis problem med ikke-registrerte loggedata i enkelte og/eller flere dybdenivåer. Dette ble forsøkt forbedret/løst med modifikasjoner for registreringsenheten (mikrofonenheten), noe som en til en viss grad lyktes med.

Det ble likevel besluttet at Geotech-sondene skulle utstyres med memo-cone i spissen, og etter dette har reelt tap av data ikke forekommet. Dette har således bidratt til å sikre kvaliteten, og ikke minst til at vi har data hvis et av systemene skulle svikte.

Boremannskapene er utstyrt med PC/Geologger og kan følge med på dataskjermen under CPTU-sonderingene, og våre erfarne borere er selv i stand til oppdage umiddelbare problemer. Elektronisk oversendelse av CPTU-rådata fra borelaget umiddelbart etter kjørt forsøk medfører at saksbehandleren kan vurdere forsøket mens boreenheten er på stedet, og eventuelt beordre supplerende forsøk hvis det skulle være ønskelig (f. eks. ved mistanke om dårlig metning).

2 FORSØKSUTFØRELSE

CPTU-forsøkene utføres etter prosedyrer beskrevet i gjeldende versjon av Håndbok 015 fra Statens vegvesen; Ref. [1]; og Melding nr 5 fra Norsk Geoteknisk Forening (Veiledning for utførelse av trykksondering); Ref. [2].

Eventuelle vesentlige avvik fra prosedyrene skal anmerkes av boremannskapet under oppdraget.

3 METNING

Vi benytter normalt sonder med spaltefilter, plassert bak selve konen (u_2). Når det gjelder metning av filteret, benytter vi som regel frostvæske for trykk-kammeret og silikonfett for kanalene (syrefritt).

Dersom poretrykksregistreringen har "sett rar ut", har vi heller valgt å kjøre en supplerende boring ved samme posisjon enn å bruke andre metningsmedium som f. eks. gelatin.

Vi har flere ganger hatt (eller muligens hatt) problemer med metningen når vi har sondert gjennom et fast topplag og kommet ned i et mye bløtere/løsere lag. Ved umiddelbar vurdering av dataene har saksbehandler da i enkelte tilfeller beordret supplerende CPTU-sondering ved samme posisjon, gjerne ved å øke forboringsdybden slik at sonderingen starter opp i/under toppen av det mye løsere/bløtere laget.

4 KVALITET AV CPTU-SONDERINGENE

Per i dag benytter vi ikke automatisert kontroll av kvaliteten på CPTU-sonderingene i programmer eller tolkningsregneark.

Kvalitetskontrollen blir utført manuelt ved gjennomgang av dataene etter at de er importert i tolkningsregneark. Og i den forbindelse er selvsagt vurdering av elektronisk oversendte CPTU-rådata fra boremannskapene umiddelbart etter kjørt forsøk et viktig ledd i kvalitetssikringen; jamfør ovenfor.

5 TOLKNINGSVERKTØY – REGNEARK OG PROGRAMMER

Ved tolkning av CPTU bruker vi primært egenutviklet regnearkverktøy (excel). Første versjon av disse regnearkene ble laget i 1996-1997, og siden er de utviklet "dynamisk" og stegvis over tid. Vi har brukt dem på en lang rekke prosjekter, og for å si det populært: Vi "vet" hva vi gjør. Nærmere beskrivelse av gjeldende versjoner av disse regnearkløsningene er gitt nedenfor.

Vi vurderte å anskaffe CONRAD for vel 10 år siden. Etter en gjennomgang/vurdering valgte vi imidlertid å satse videre på det egne regnearkbaserte tolkningsverktøyet. Beslutningen om ikke-kjøp var delvis basert på at vi foretrakk en norsk tilnærming heller enn svensk/SGI tilnærming. Vi har siden ikke revurdert denne beslutningen.

Vi har hatt CPT-pro (fra GeoSoft) siden 2008; Ref. [3]; og vår sivilingeniør Arne Kavli har brukt dette på noen prosjekter. På disse prosjektene har vi imidlertid likevel stort sett endt opp med å bruke våre egne regneark. Så langt benytter vi således ikke CPT-pro som primærtolkningsapparat.

6 VÅRE GENERELLE REGNEARKLØSNINGER

Ved tolkning av CPTU benytter vi 3 forskjellige regneark. To av dem benyttes til å bestemme styrke- og deformasjonsparametre (primært), mens det tredje regnearket benyttes til å estimere konsolideringskoeffisient og permeabilitetskoeffisient fra dissipasjonsforsøk.

6.1 Regneark 1 (CPT 2010)

Regneark 1 er primært utviklet og vedlikeholdt av vår seniorrådgiver dr. ing. Torgeir Døssland; fra første versjon i 1996/1997 og fram til gjeldende 2010-versjon.

Dette regnearket deler sonderingsdybden inn i 10 lag eller intervall primært ut fra q_t -variasjonen med dybden for aktuell CPTU. Jordartstype og jordparametre bestemmes for hvert enkelt lag/intervall via tolkningsmodeller beskrevet nedenfor. Regnearket inkluderer flere makroer som "styrer" tolkningen.

Jordartsklassifisering:

- Ifølge q_t - B_q metode etter Robertson et al (1990), slik det fremgår av Figur 5.8 (høyre del) i Ref. [4].
- Ifølge q_t - F_r metode etter Robertson et al (1990), slik det fremgår av Figur 5.8 (venstre del) i Ref. [4].
- Ifølge q_t - B_q metode etter Senneset et al (1989); Ref. [7]; kalt NTH-metoden. Dette er en videreutvikling av N_m - B_q metoden etter Senneset et al (1982); Ref. [5].

Det fins et betydelig utvalg av andre klassifiseringsmetoder omtalt i internasjonal faglitteratur, og noen av disse har vært prøvd i enkeltprosjekt. Men per i dag er ingen av disse innbakt i regnearket.

Effektivspenningsbaserte styrkeparametre (a og ϕ):

- Den såkalte NTH-metoden etter Senneset et al (1982, 1985, 1989) og Sandven (1990); Ref. [5], Ref. [6], Ref. [7] og Ref. [8].

Plastifiseringsvinkelen (β) må gis inn som input. Selv om veiledende verdier for ulike jordarter er angitt i f. eks. Ref. [8], kan plastifiseringsvinkelen (β) erfaringsmessig være en vanskelig parameter å anslå. I en

del tilfeller har vi vært nødt til å benytte (betydelig) lavere β -verdier enn anbefalt for å få rimelige friksjonsvinkler (φ) for rimelige attraksjoner (a).

Udrenert skjærstyrke (s_u^C):

- N_{kt} , N_{ke} og $N_{\Delta u}$ etableres som funksjon av B_q i henhold til Figur 5.23 og Figur 5.25 i Ref. [4]. Per i dag ligger en lineær funksjon av typen $N_{ij}=a+b*B_q$ inne.

Ved å angi $b=0$ kan en spesifisere konstante N_{ij} verdier uavhengig av B_q . Ved å gi inn $a \neq 0$ og $b \neq 0$ kan en basere seg på en B_q -avhengig N_{ij} . Per i dag ligger følgende funksjoner inne som beste estimat ut fra Figur 5.23 og Figur 5.25 i Ref. [4]:

$$\begin{aligned}N_{kt} &= 19-12.5*B_q \\N_{ke} &= 16-14.5*B_q \\N_{\Delta u} &= 1+9*B_q\end{aligned}$$

Aktiv udrenert skjærstyrke (s_u^C) tolkes deretter ut på vanlig måte; dvs. som

$$\begin{aligned}s_u^C &= (q_t - \sigma_{v0})/N_{kt} \\s_u^C &= (q_t - u)/N_{ke} \\s_u^C &= \Delta u/N_{\Delta u}\end{aligned}$$

Profil for direkte (s_u^{DSS}) og passiv udrenert skjærstyrke (s_u^E) blir deretter vanligvis etablert som henholdsvis 2/3 (eventuelt 0,7) og 1/3 (eventuelt 0,4) av tolket s_u^C , hvis da ikke relevante skjærforsøk som viser andre verdier blir utført i det aktuelle prosjektet.

Setningsparametre (M , m):

Deformasjonsmodul (M) og modultall (m) tolkes empirisk, primært etter metoder beskrevet i Ref. [4] og Ref. [8].

De tolkede verdier blir kritisk vurdert med hensyn til forventede verdier ut fra erfaring, og som regel gir dette rimelig størrelsesorden på disse parametrene.

Presentasjon:

I Regneark 1 ligger en rekke kurver mot dybde inne som standard, men normalt nøyer en seg med å presentere profil for s_u^C og/eller a & φ mot dybde, samt et sammendragark som oppsummerer nøkkelresultater. Profilene for s_u^C og/eller a & φ kan inneholde både en beste gjennomsnittskurve, en middelkurve minus k * standardavvik og en laveste tolket kurve. Men i en del tilfeller nøyer en seg med kun å presentere middelkurven, og eventuelt en karakteristisk kurve ("forsiktig anslått middelverdi").

Eksempel:

Et eksempel er hentet fra grunnundersøkelser i sjøen for ny Loftesnes bru inklusiv fyllinger i Sogndal, der stabilitet var et viktig tema. Boringene inklusiv laboratorieanalyser er utført av vegvesenet, mens vi har tolket og rapportert.

Utvalgte data og tolkninger er vist i Figur 1 til 3. CPTU-sonderingene er tolket med Regneark 1 (egentlig en tidligere versjon), og vi har her bare presentert data fra Profil 910 og Posisjon nr 50 spesielt.

Forutgående totalsonderinger viste her tilnærmet null matekraft/motstand i betydelige dybdeintervall, og CPTU supplert med prøvetaking var påkrevet for å fremskaffe styrkeparametre for stabilitetsanalysene.

Grunnforholdene i området er grovt sett dominert av relativt ensgradert løs til middels fast silt/sand over fastere grovere masser, men i enkelte posisjoner og dybdeintervall er leire påtruffet. I Posisjon nr 50 er det for eksempel et antatt tynt lag av bløt leire eller siltig leire i 7,4-8,8m dybde under sjøbunnen.

Andre parametre:

Ingen spesielle.

6.2 Regneark 2 (CPT Var 2010)

Regneark 2 er primært utviklet og vedlikeholdt av vår seniorrådgiver dr. ing. Arne Åsmund Skotheim; fra første versjon i 1996/1997 og fram til gjeldende 2010-versjon.

I dette regnearket benyttes tolkningsmodellene for hvert dybdenivå med registrering; dvs. for hver 20 eller 25 mm i dybden. Det foretas således ikke noen inndeling i lag/intervall før etter at tolkningen er ferdig utført.

Jordartsklassifisering:

- Egen prosedyre for jordartsklassifisering er ikke implementert i dette regnearket per idag, men slik tolkning er planlagt å skulle introduseres ved neste revisjon – trolig senere i 2010. En samlet vurdering av rådata og tolkede parametre benyttes imidlertid sammen med erfaring/skjønn for å bestemme antatt jordartstype og lagdeling etter at parametertolkningen er utført.

Effektivspenningsbaserte styrkeparametre (a og ϕ):

I dette regnearket benyttes samme direkte tolkningsmetode som for Regneark 1, dvs.:

- Den såkalte NTH-metoden etter Senneset et al (1982, 1985, 1989) og Sandven (1990); Ref. [5], Ref. [6], Ref. [7] og Ref. [8]. Plastifiseringsvinkelen (β) må gis inn som input; jamfør kommentar vedrørende dennes størrelse for Regneark 1 ovenfor.

I tillegg benyttes flere to-trinns-modeller for tolkning der en først tolker ut relativ lagringstetthet (D_r), for deretter å tolke ut friksjonsvinkel (ϕ) via en ϕ - D_r korrelasjon.

Gjeldende versjon av Regneark 2 inkluderer følgende D_r -formler i Trinn 1:

- Ifølge Kulhawy & Mayne (1990); Ref. [9].
- Ifølge Baldi et al (1986) for NC materiale; Ref. [10].
- Ifølge Baldi et al (1986) for OC materiale; Ref. [10].
- Ifølge Clausen et al (2005); Ref. [11].
- Ifølge Jamiolkowski et al (1985); Ref. [12].

Gjeldende versjon av Regneark 2 inkluderer videre følgende ϕ - D_r -formler i Trinn 2:

- Ifølge Schmertmann (1978); Ref. [13]; generalisert for effektiv middelspenning; jamfør f. eks. Duncan (2004); Ref. [14]; og Kleven et al (1986); Ref. [15].
- Ifølge Kleven et al (1986); Ref. [15].

Andre ϕ -tolkningsmetoder som f. eks. ifølge Robertson & Campanella (1983); Ref. [16]; er per i dag ikke innbakt i regnearket.

Udrenert skjærstyrke (s_u^C):

Gjeldende versjon av Regneark 2 inkluderer følgende tolkningsmetoder for udrenert aktiv skjærstyrke (s_u^C):

- N_{kt} , N_{ke} og $N_{\Delta u}$ etableres som funksjon av B_q i henhold til Figur 5.23 og Figur 5.25 i Ref. [4] med etterfølgende tolkning av (s_u^C); dvs. som for Regneark 1 (se ovenfor).
- N_{kt} , N_{ke} og $N_{\Delta u}$ etableres i henhold til formler i Karlsrud et al (2005) basert på blokkprøver, med en reduksjonsfaktor på påfølgende tolket s_u^C (f. eks. for sprøbruddmaterialer som svært sensitive leirer og kvikkleirer); Ref. [17].

Alle 3 korrelasjonsvarianter er implementert i regnearket; dvs. OCR relatert til B_q , OCR relatert til $\Delta u/\sigma_{v0}'$ og OCR relatert til Q_t . I tillegg til OCR er sensitivitet (S_t) og plastisitetsindeks (I_p) inngangsparametre.

Profil for direkte (s_u^{DSS}) og passiv udrenert skjærstyrke (s_u^E) blir deretter etablert som beskrevet ovenfor for Regneark 1.

Når det gjelder s_u^C -tolkning, fremholder Karlsrud et al (2005) i Ref. [17] at deres $N_{\Delta u}$ -formulering basert på OCR relatert til Q_t er beste og mest konsistente variant. Det er imidlertid 3 spørsmål som kan stilles ved dette.

For det første forstår vi det slik at korrelasjonene i Ref. [17] hovedsakelig er etablert ut fra sonderinger med ENVI-sonder, ikke Geotech-sonder som vi benytter i Geovest-Haugland. Vi har ikke kjennskap til studier som belyser om dette betyr noe overhode, eller eventuelt hvor mye.

For det andre forstår vi det slik at korrelasjonene i Ref. [17] hovedsakelig er etablert ut fra sonderinger i et begrenset antall marine norske leirer. Det kan derfor diskuteres om disse korrelasjonene kan ansees å være gyldig for vesentlig avvikende typer leirer.

For det tredje kan det stilles spørsmål ved gyldigheten av tolket s_u^C basert på $N_{\Delta u}$ -formuleringer i Ref. [17] for fastere leirer med relativt høy OCR (OCR>10) der B_q samtidig er lav. Slik vi oppfatter det, er grunnlagsdataene begrenset til leirer med OCR<6-7.

Til slutt: I en del tilfeller gir tolkninger via N_{kt} og $N_{\Delta u}$ relativt stort sprik. Hvis det er åpenbart at det er leire eller siltig leire som forefinnes, og spesielt hvis dette er dokumentert via representativ prøvetaking, stoler vi ofte mer på N_{kt} enn på $N_{\Delta u}$ tolkningen. Spesielt gjelder dette hvis vi ut fra geologi, tidligere undersøkelser og/eller andre sonderinger føler oss rimelig sikker på at grunnen er betydelig overkonsolidert.

Setningsparametre (M , m):

Deformasjonsmodul (M) og modultall (m) tolkes empirisk, primært etter metoder beskrevet i Ref. [4] og Ref. [8]; dvs. som for Regneark 1.

De tolkede verdier blir kritisk vurdert med hensyn til forventede verdier ut fra erfaring, og som regel gir dette rimelig størrelsesorden på disse parametrene.

Presentasjon:

I Regneark 2 ligger en rekke kurver mot dybde inne som standard, men normalt nøyer en seg med å presentere profil for s_u^C og/eller $a\&\phi$ (NTH-metode) og/eller $D_r\&\phi$ for aktuelle to-trinnsmetoder. Normalt presenteres middelkurver og/eller karakteristiske kurver.

Eksempel:

Et eksempel på bruk av Regneark 2 (CPT Var 2010) er vist i Figur 4 og 5. Dataene er fra en grunnundersøkelse på land og sjø som vi nettopp har utført for/ved et oppdrettsanlegg nå i 2010. Stabilitet for utfylling er et viktig tema.

Figur 4 og 5 viser tolkede parametre for en utvalgt Posisjon nr 6 med sjødybde på ca 1,5m (NGO). På plottene er Posisjon nr 6M angitt fordi det er memocone-dataene som er lagt til grunn. Tilsvarende data finnes også fra de akustiske registreringer; dvs. ikke data-tap ved noen av systemene.

Grunnforholdene består stort sett av sand med gradvis økende lagringstetthet/fasthet ned til ca 11m dybde under sjøbunnen. Deretter følger et 2,5-3,0m tykt lag av middels fast leirig silt/siltig leire, etterfulgt av faste sandige og grusige masser videre ned til maksimal boreddybde ved totalsonderingen (om lag 26m under sjøbunnen).

Forutgående totalsondering viste forøvrig tilnærmet null matekraft/motstand i laget av leirig silt/siltig leire, og CPTU supplert med noe prøvetaking var helt påkrevet for å fremskaffe styrkeparametre for stabilitetsanalysene.

Ved denne posisjonen ble det først forboret til 1,5m dybde, etterfulgt av CPTU-sondering ned til faste masser i ca 7m dybde, Deretter ble det forboret videre ned til ca 10m dybde, etterfulgt av CPTU-sondering ned til faste masser i ca 14m dybde.

Selv om de ulike formuleringene gir betydelig sprik i tolket D_r og ϕ ; se Figur 4; gir de sammen med tolkede verdier fra 2 andre CPTU-er i området et godt grunnlag for å bestemme karakteristisk styrke i dybdeintervall med drenerte friksjonsmasser. Og i laget med kohesjonsmasser fra ca 11m til vel 13,5m dyp er det relativt liten spredning i tolket s_u^C (kalt s_u^A på Figur 5) fra alle de 12 forskjellige formuleringene som er implementert i Regneark 2 (CPT Var 2010).

Figur 6 viser tolket deformasjonsmodul (M) og tilhørende modultall (m) for kvadratmodul-modell i laget med friksjonsmasser fra forboret dybde 1,5m under sjøbunn og ned til ca 11m dybde. De tolkede parametrene fra denne CPU-sonderingen ser rimelig ut.

Andre parametre:

For leire inneholder Regneark 2 også metoder for OCR og p_c ' tolkning inklusiv SHANSEP-tilpasninger. For sand er verken direkte OCR eller p_c ' tolkning innbakt i 2010-versjonen av regnearket, primært fordi vi anser at kjente korrelasjoner i litteraturen er relativt usikre/upålitelige.

Tolkning av sensitivitet (S_t) ifølge Schmertmann (1978), Rad og Lunne (1986) og Robertson og Campanella (1988); henholdsvis Ref. [18] og [19] og [20]; er innbakt i Regneark 2. Et eksempel er vist i Figur 7, hentet fra et offshore-prosjekt (subsea manifold) i Nordsjøen der vi utførte geoteknisk prosjektering inklusiv utarbeidelse av jordparameterrapport fra utførte felt- og laboratorieundersøkelser (versjon CPT Var 2005 ble brukt).

Tolkningsmetoder for horisontal hviletrykkskoeffisient (K_0') har vært innbakt i en tidligere versjon, men i 2010-versjonen gis kun en antatt K_0' som input for relevante metoder. Årsaken til dette er i hovedsak at de aktuelle metoder ble funnet å være for sofistikert ut fra vurdert pålitelighet.

Tolkning av lav-tøynings-skjærmodul (G_{max}) har også vært innbakt i en tidligere versjon. Et eksempel på dette er vist i Figur 8 (nedre del), der G_{max} ble tolket/estimert fra nedhulls CPTU i noen utvalgte dybdenivå for bruk i dynamiske analyser for en planlagt rotasjonspresse. Som Figur 8 (øvre del) viser, bestod grunnforholdene her av meget fast moreneleire/morene, og ukorrigerede spissmotstander på opp mot ca 50 MPa ble registrert. I gjeldende 2010-versjon er G_{max} -tolkning ikke inkludert, hovedsakelig fordi det meget sjeldent etterspørres.

6.3 Regneark 3 (Dissipasjon 1999)

Regneark 3 er primært utviklet og vedlikeholdt av vår seniorrådgiver dr. ing. Arne Åsmund Skotheim, og gjeldende versjon er fra 1999.

Dette er et selvstendig regneark for tolkning av horisontal/radiell konsolideringskoeffisient (c_r) og permeabilitetskoeffisient (k_r) fra dissipasjonsforsøk i valgte dybdenivå. Kun metoden beskrevet av Senneset et al (1982); Ref. [5]; er implementert i dette regnearket per i dag (kalt NTH-metoden). Andre formuleringer er planlagt å skulle introduseres i neste versjon av regnearket (trolig i 2010).

Et eksempel på tolkning av dissipasjonsforsøk er hentet fra en grunnundersøkelsesrapport for et avfallsdeponi i Hordaland. I Posisjon nr 7 er dissipasjonsforsøk utført i 4 utvalgte dybdenivåer i stedlige løsmasser av sand og sandig silt. Tolkede parametre både fra dissipasjonsforsøkene og fra 3 empiriske formler basert på kornfordeling er oppsummert i Figur 9 og 10.

Som Figur 9 viser, ble betydelig sprik mellom metodene avdekket. Men ut fra en totalvurdering basert på alle 4 metoder supplert med erfaringstall fra litteraturen endte en opp med et anbefalt rimelig sett av permeabilitetskoeffisienter for de aktuelle lag i grunnen.

7 PLANLEGGING AV GRUNNUNDERSØKELSER

Ved planlegging av grunnundersøkelser der CPTU-sonderinger kan være aktuelt, utfører vi normalt alltid totalsondering i en posisjon før CPTU-sondering eventuelt blir kjørt der (dvs. minst 2m fra totalsonderingshullet).

Ved undersøkelser på sjøen er det i utgangspunktet tids- og kostnadsbesparende å utføre alle nødvendige undersøkelsestyper (også CPTU og eventuell prøvetaking) før en flytter til neste posisjon på oppsatt borplan. Ved omfattende grunnundersøkelser for lange veglinjestrekk som inkluderer utfylling i sjøen, utfører en likevel relativt ofte mange totalsonderinger først, for deretter å velge ut noen få av de verste posisjoner for CPTU-sondering og prøvetaking.

Ved flere slike grunnboringsoppdrag de siste årene, der vi enten har boret selv eller der andre har boret og vi har fulgt opp inklusiv tolket og rapportert, har null matekraft blitt registrert i betydelige dybdeintervall for et betydelig antall totalsonderinger ved relativt løse/bløte grunnforhold. Et eksempel på dette er vist i Figur 3, der etterfølgende CPTU i Posisjon nr 50 gav betydelig bormotstand som resulterte i tolket karakteristisk friksjonsvinkel på minst 28° for tilhørende attraksjon på minst 5 kPa; se Figur 1. Et annet

eksempel er fra grunnundersøkelsen for oppdrettsanlegget i Sør-Trøndelag. Etterfølgende CPTU gav tolket aktiv udrenert skjærstyrke på i størrelsesorden ca 30-50 kPa i dybdeintervallet ca 11-13,7m; se Figur 5; der forutgående totalsondering i samme posisjon hadde gitt tilnærmet null matekraft.

Når en måler null matekraft ved en totalsondering, vet en egentlig ikke hvor stor bormotstanden er. En vet bare at den ikke er spesielt stor. Når null matekraft har blitt målt, enten ved egne eller andres totalsonderinger, har vi som regel spurt utførende boreleder om nullavlesning er foretatt rett over sjøbunn (hvis vi da selv ikke har vært til stede og kontrollert dette). Svaret vi får er alltid bekreftende: Nullstilling er utført ved sjøbunn.

For å konkretisere dette: Har en kjørt 10-20 totalsonderinger på sjøen for et utfyllingsprosjekt med vanskelige grunnforhold og relativt bratt sjøbunn, der dybdeintervall med null matekraft er registrert i mange/alle posisjoner, gir supplerende CPTU i en eller noen få utvalgte posisjoner ofte ikke god nok informasjon til å vurdere stabiliteten på en fullgod måte.

Den umiddelbare konsekvens av dette burde være at flere/mange supplerende CPTU-sonderinger kjøres for å kunne bestemme grunnens styrkeparametre bedre. Dette ville bety større tidsforbruk og større kostnader på grunnundersøkelsene for et slikt prosjekt. Og for oss geoteknikere – som synes tolkning av trykksondering er en spennende øvelse – ville dette gitt en mer spennende hverdag!

Etter å ha vært involvert i relativt mange prosjekter med slike null-matekraft-problemer gjennom de siste 5-10 år, "snudde vi på flisa" og stilte oss selv følgende fundamentale spørsmål for et par år siden: Er standard prosedyre for kjøring av totalsondering god nok eller optimal, både generelt og spesielt ved slike tilfeller?

Vi vil tro at andre rådgivere/forskere også har erfart det samme som oss, og reist samme spørsmål. Hva andre eventuelt har funnet ut om dette, vet vi ikke. Men vi tok følgende bestemmelse for 1-2 år siden: Vi utfører totalsondering etter andre ustandardiserte prosedyrer på utvalgte prosjekter der enten null-matekraft-problemet opptrer eller der matekraften er svært lav, da for egen regning/kostnad uten å belaste oppdragsgiver.

Så langt har vi utført slike undersøkelser i 1-2 utvalgte posisjoner på 3 prosjekter :

- Et på sjøen med grunnforhold av siltig leire med begrenset mektighet.
- Et på sjøen med mektige avsetninger av siltig sand, til dels grusig og med betydelig innhold av humus og glimmer (ugunstig).
- Et på land med betydelig mektighet av kvikkleire over siltig leire.

For samtlige utvalgte undersøkelsesposisjoner har vi utført følgende undersøkelser:

- Standard totalsondering med registrering av null eller tilnærmet null matekraft i et eller flere dybdeintervall.
- CPTU-sondering etter standard prosedyrer.
- Prøvetaking for å dokumentere materialtyper, etterfulgt av laboratorieanalyser.
- "Ustandard totalsondering" uten rotasjon (og uten spyling og slag), og med standard penetrasjonshastighet for totalsondering (dvs. 50mm/s).
- "Ustandard totalsondering" uten rotasjon (og uten spyling og slag), og med standard penetrasjonshastighet for CPTU-sondering (dvs. 20mm/s).

Så langt har disse forskningspregede undersøkelsene gitt flere interessante resultater, også rent tolkningsmessig ved å anvende tilpasset CPTU-basert tolkningsverktøy. Etter planen skal vi utføre flere slike undersøkelser før vi samler opp og dokumenterer erfaringene. Et eksempel fra en av lokalitetene er vist i Figur 11 og 12.

9 POTENSIALE OG UTVIKLINGSMULIGHETER

Gjennom de siste 10-årene har det blitt publisert et stort antall artikler og rapporter som omhandler CPTU, både nasjonalt og internasjonalt. Mange tolkningmodeller er utviklet og blir brukt i større eller mindre grad. For en praktiserende rådgivende ingeniør/geotekniker er det relativt krevende å holde seg ajour med det som publiseres. Det er derfor viktig at ledende faginstusjoner som NGI, NTNU/SINTEF og Statens vegvesen gir veiledende føringer for god praksis.

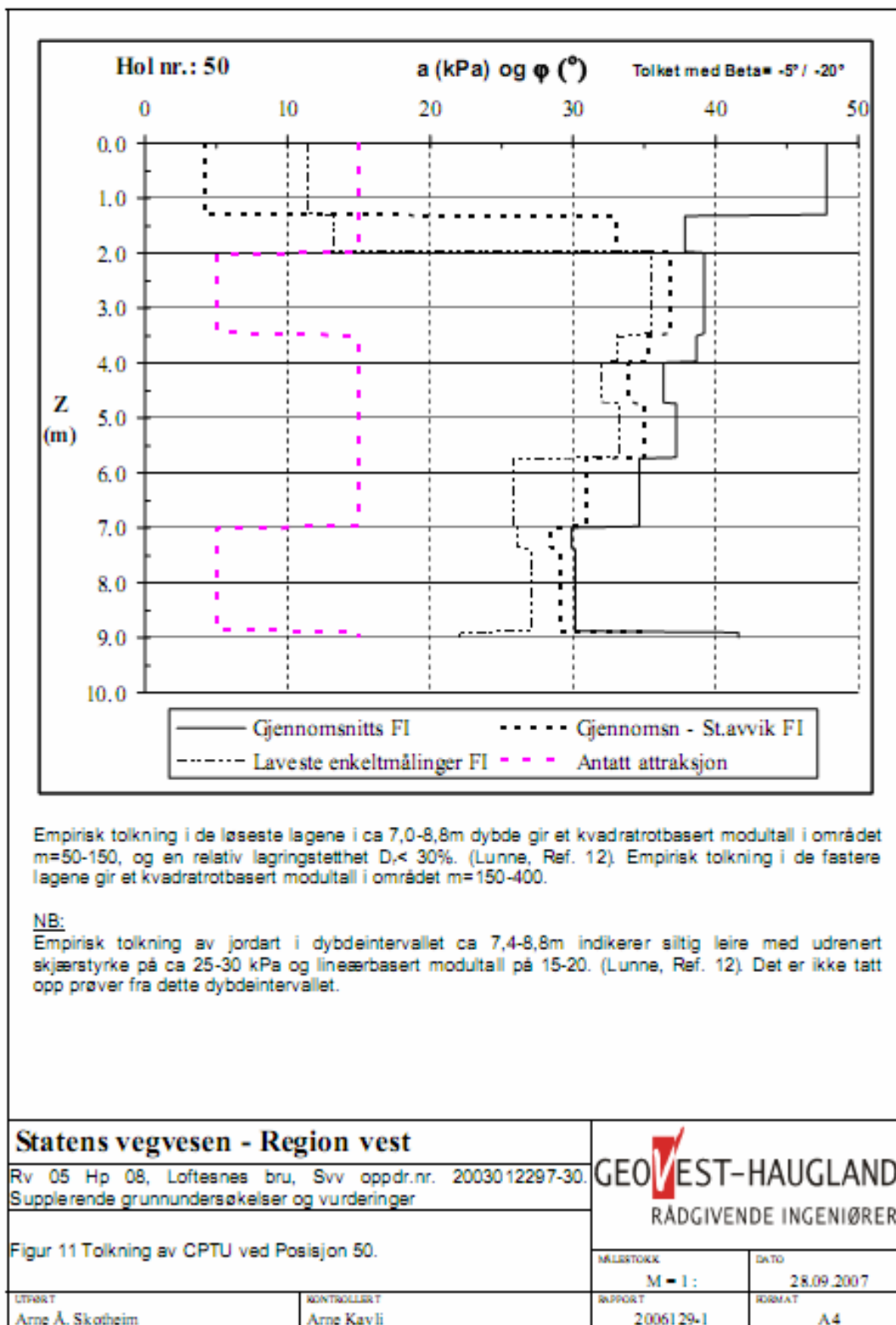
Fra vårt ståsted er det åpenbart at videre utvikling av mer pålitelig tolkningverktøy samt av selve utstyret er sentralt. CPTU-sondering er viktig for å skaffe til veie gode jordparametre i prosjekt med sand-silt-leire, og bruken vil ventelig øke ytterligere ved slike grunnforhold. For bruk i mer grusige friksjonsmasser og i egnede faste morener/moreneleirer trengs mer robust og kraftig CPTU-sonde.

Ved normale grunnundersøkelser på sjøen (ikke offshore) utføres boringene inklusiv CPTU-sonderingene med boretårn eller borerigg plassert på dekket av aktuell borebåt/boreflåte. Nødvendig bruk av foringsrør medfører at tidsforbruk og kostnader ved slike boringer blir betydelige. Uten dynamisk posisjonering og heave-kompensering er det dessuten klare operasjonelle begrensninger ved selv moderate bølgehøyder. Her er det et potensiale for forbedringer både operasjonelt og utstyrmessig, og derav kostnadsmessig. Dette gjelder åpenbart ved boring fra dekk, men utførelse fra sjøbunnsjekker kan bli aktuelt også for "near-shore" grunnundersøkelser om ikke altfor lenge.

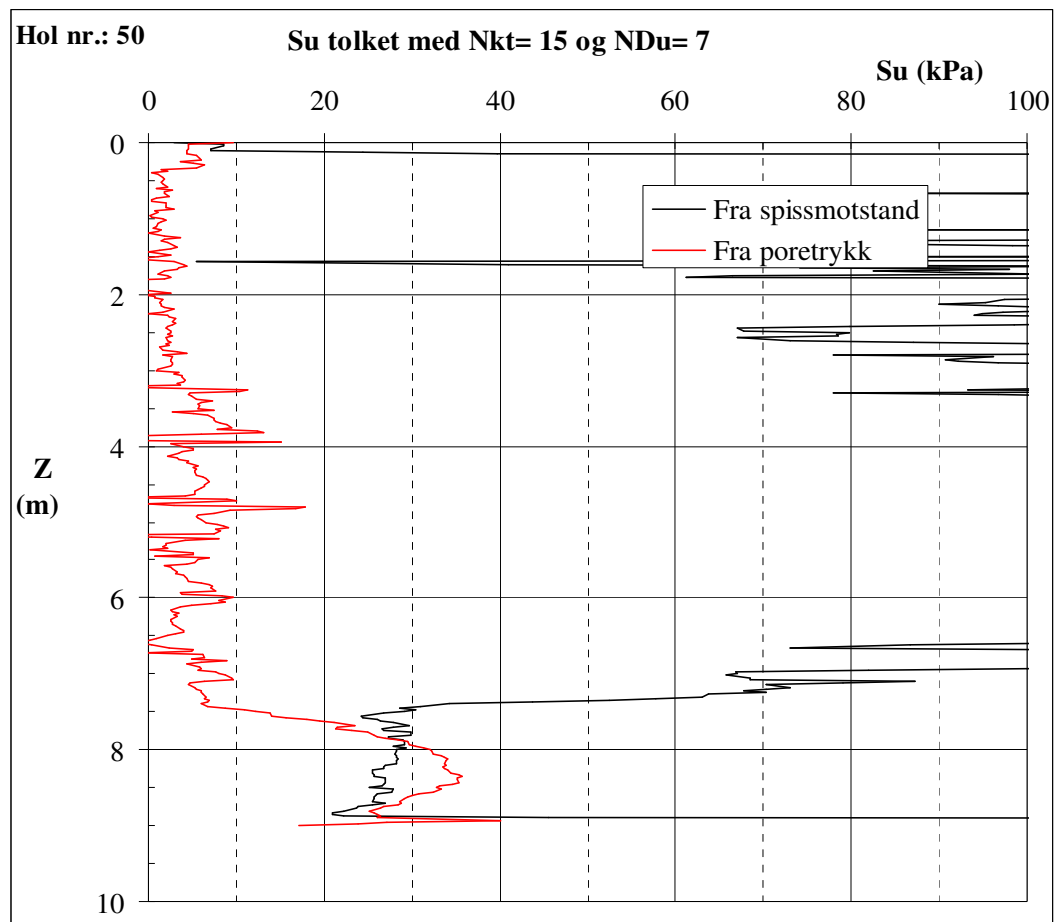
10 REFERANSER

- [1] Statens vegvesen (1997): Feltundersøkelser. Håndbok – 015.
- [2] Norsk Geoteknisk Forening (2010): Veiledning for utførelse av trykksondering. Melding nr 5, rev. 3.
- [3] Geosoft (2008): CPT-pro. Versjon 5.46.
- [4] Lunne, T., Robertson, P. K. and Powell, J. J. M. (1997): Cone Penetration Testing in Geotechnical Practice. Blackie Academic & Professional.
- [5] Senneset, K., Janbu, N. and Svanø, G. (1982): Strength and deformation parameters from cone penetration tests. 2nd European Symposium of Penetration Testing ESOPT 2, Amsterdam, 1982. Proceedings, Vol. 2, pp. 863-870.
- [6] Senneset, K. and Janbu, N. (1985): Shear strength parameters obtained from static cone penetration tests. Strength Testing of Marine Sediments; Laboratory and In Situ Measurements. Symposium, San Diego, 1984, ASTM Special technical publication, STP 883, pp. 41-54.
- [7] Senneset, K., Sandven, R. and Janbu, N. (1989): The evaluation of soil parameters from piezocone tests. In Situ Testing of Soil Properties for Transportation Facilities. National Research Council, Washington DC. Transportation Research Record 1235, pp. 24-37.
- [8] Rolf Sandven (1990): Strength and Deformation Properties of Fine Grained Soils Obtained from Piezo-cone Tests. Dr. ing. avhandling, Institutt for geoteknikk, NTNU.
- [9] Kulhawy, F. H. and Mayne, P. H. (1990): Manual on estimating soil properties for foundation design. Electric Power Research Institute, EPRI. August, 1990.
- [10] Baldi, G., Bellotti, R., Ghionna, V., Jamiolkowski, M. and Pasqualini, E. (1986): Interpretation of CPTs and CPTUs; 2nd part: drained penetration of sands. Proceedings of the Fourth International Geotechnical Seminar, Singapore; pp. 143-156.
- [11] Clausen, C. J. F., Aas, P. M. and Karlsrud, K. (2005): Bearing capacity of driven piles in sand., the NGI approach. Proceedings of International Symposium on Frontiers in Offshore Geotechnics, Perth, Western Australia, 19-21 Sept. 2005.

-
- [12] Jamiolkowski, M., Ladd, C. C., Germaine, J. T. and Lancelotta, R. (1985): New developments in field and laboratory testing of soils. State-of-the-art report. Proceedings of the 11th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, San Francisco, Vol. 1, pp. 57-153.
- [13] Schmertmann, J. H. (1978): Study of feasibility of using Wissa-type piezometer probe to identify liquefaction potential of saturated fine sands. Waterways Experiment Station, Vicksburg, Technical Report, S-78-2.
- [14] Duncan, J. M. (2004): Friction Angles for Sand, Gravel and Rockfill. Notes of a lecture presented at the Kenneth L. Lee Memorial Seminar, Long Beach, California, April 28, 2004.
- [15] Kleven, A., Lacasse, S. and Andersen, K. H. (1986): Soil parameters for offshore foundation design. NGI Report No. 40013-34, dated 9 April 1986.
- [16] Robertson, P. K. and Campanella, R. G. (1983): Interpretation of cone penetration tests: Part I: Sand. Canadian Geotechnical Journal, 20(4), pp. 718-733.
- [17] Karlsrud, K., Lunne, T., Kort, D. A. and Strandvik, S. (2005): CPTU correlations for clays. International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, 16. Osaka 2005. Proceedings, Vol. 2, pp. 693-702.
- [18] Schmertmann, J. H. (1978): Guidelines for cone penetration test, performance and design. US Federal Research Highway Administration, Washington DC, Report, FHWA-TS-78-209, 145.
- [19] Rad, N. S. and Lunne, T. (1986): Correlations between piezocone results and laboratory soil properties. Norwegian Geotechnical Institute, Oslo, Report 52155-39.
- [20] Robertson, P. K. and Campanella, R. G. (1988): Guidelines for geotechnical design using CPT and CPTU. University of British Columbia, Vancouver, Department of Civil Engineering, Soil Mechanics Series 120.



Figur 1 Loftesnes bru – Tolkning med Regneark 1 (CPT 2010).



NB: Karakteristisk $s_u^c = s_u(\text{middel}) - 0.5 \cdot \text{STD}(s_u)$ er vist ovenfor.

Resultatsammendrag fra trykksondering

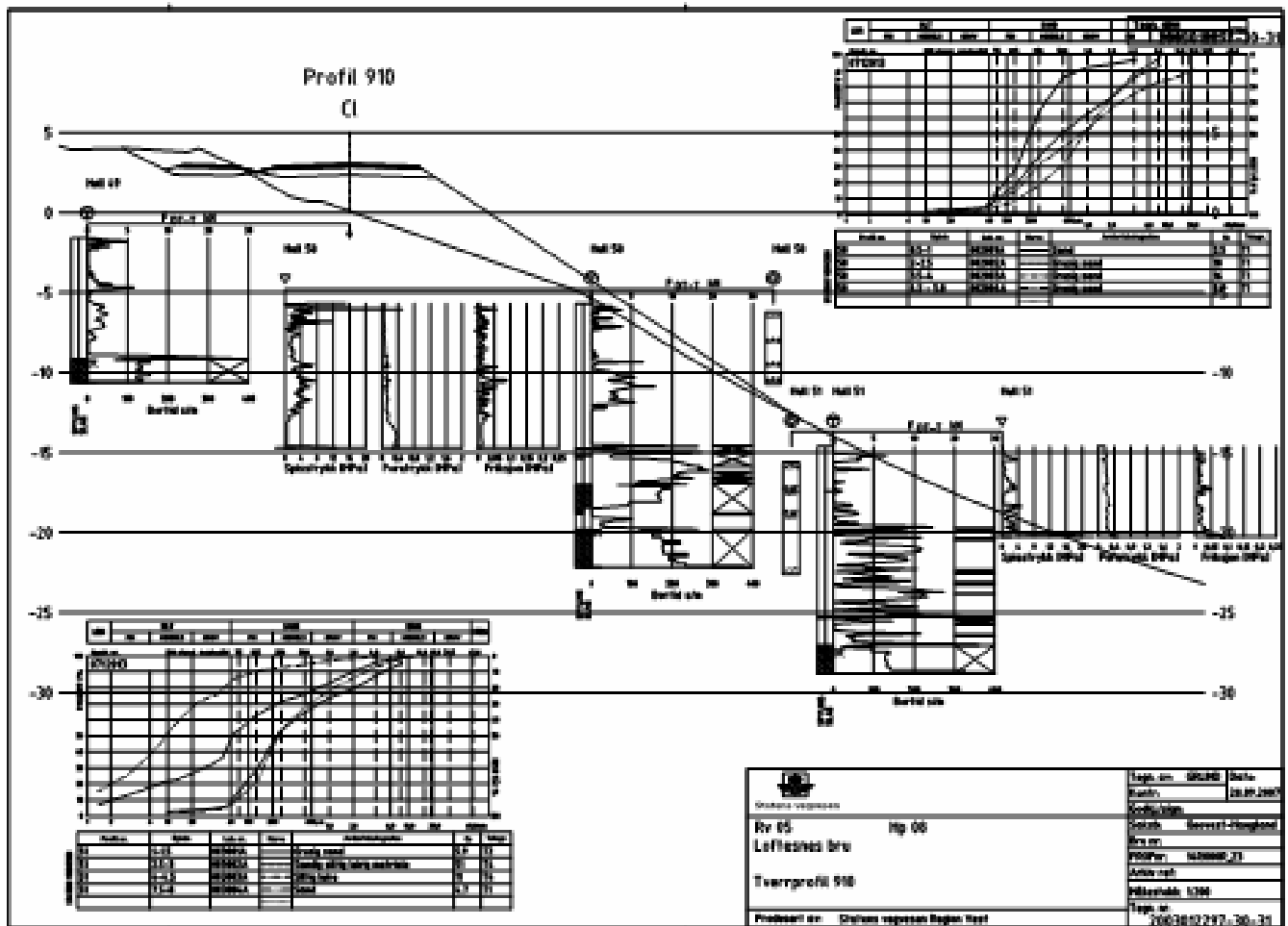
Prosjekt: Loftesnes bru

Hull nr. 50

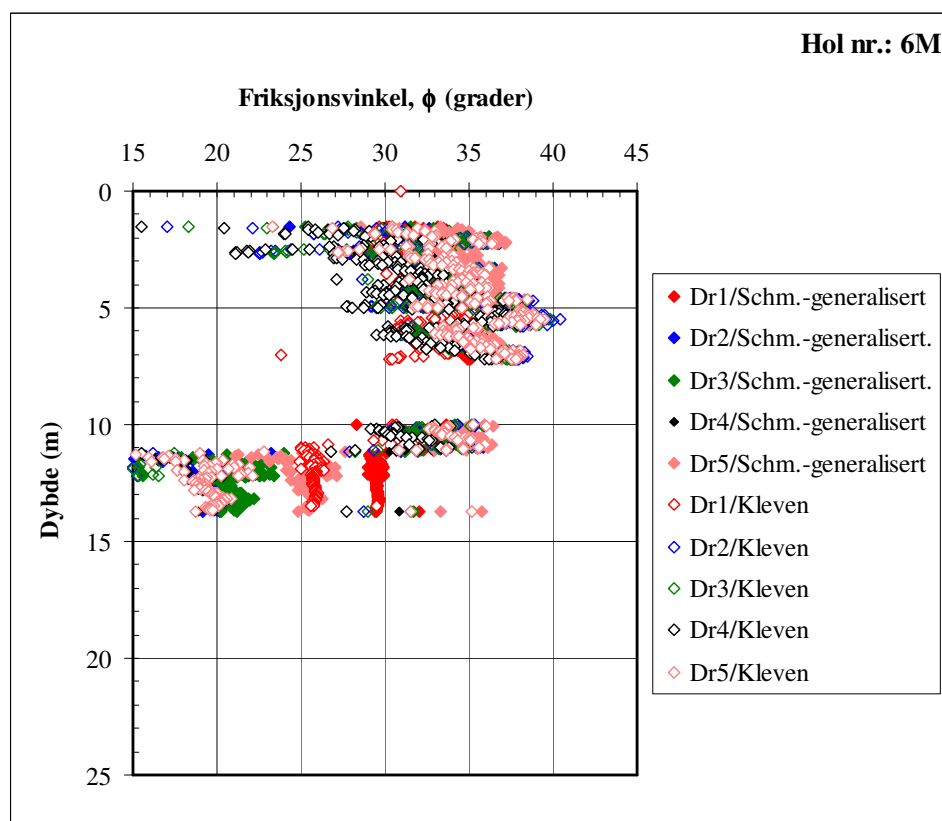
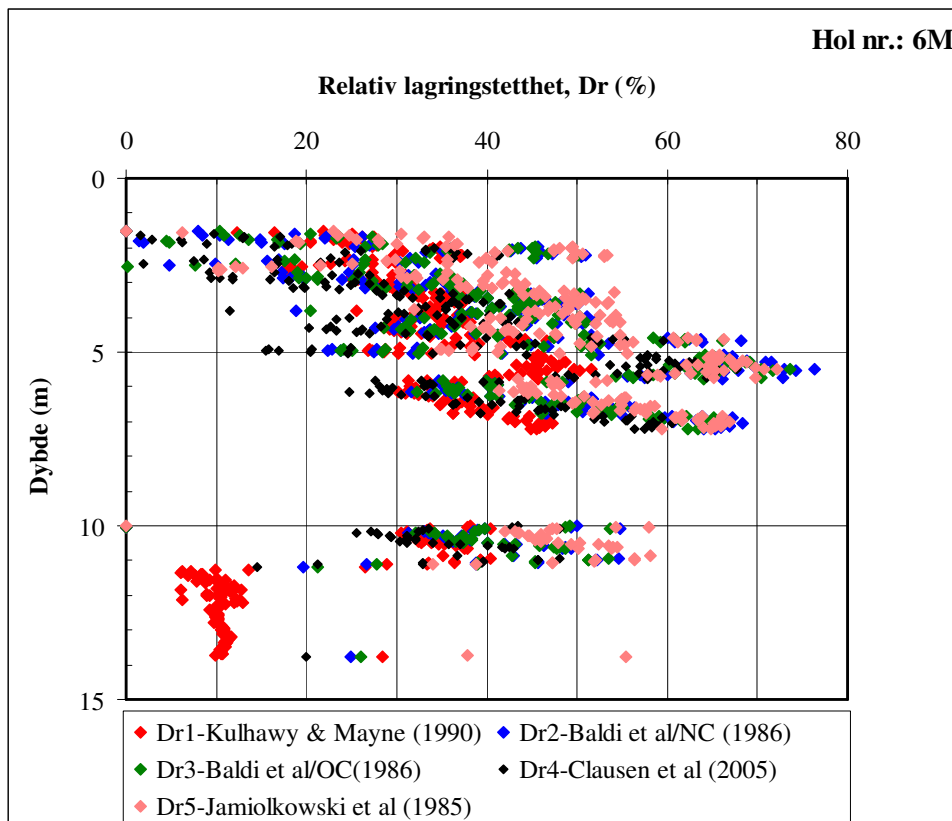
GV-nivå -4.7 (Positiv verdi for GV under terreng, negativ lik vanddyb for sjøboring)

Lag nr.	Dybde		Jordart			$S_{u \text{ mid-}}$ (kPa)	a_{antatt} (kPa)	ϕ_{antatt} (°)	ϕ_{mid} (°)
	topp	bunn	(Etter NTNU)	(Etter T. Lunne)					
				Qt vs Bq	Qt vs Fr	Nkt=15			
1	0.000	1.325	Ukjent jordart	Ukjent jordart	Ukjent jordart	176	15	-20	48
2	1.325	2.000	Sand, sandig grus	Grusig sand/sand	Grusig sand/sand	104	15	-20	38
3	2.000	3.500	Sand, sandig grus	Sand/siltig sand	Sand/siltig sand	96	5	-5	39
4	3.500	4.000	Sand, sandig grus	Sand/siltig sand	Sand/siltig sand	212	15	-20	39
5	4.000	4.750	Sand, sandig grus	Sand/siltig sand	Sand/siltig sand	177	15	-20	36
6	4.750	5.750	Sand, sandig grus	Sand/siltig sand	Sand/siltig sand	239	15	-20	37
7	5.750	7.000	Sand, sandig grus	Sand/siltig sand	Sand/siltig sand	173	15	-20	35
8	7.000	7.400	Silt/finsand	Sand/siltig sand	Siltig sand/sandig silt	62	5	-5	30
9	7.400	8.900	Fast leire, siltig	Leire/siltig leire	Leire/siltig leire	26	5	-5	30
10	8.900	9.000	Sand, sandig grus	Sand/siltig sand	Sand/siltig sand	371	15	-20	42

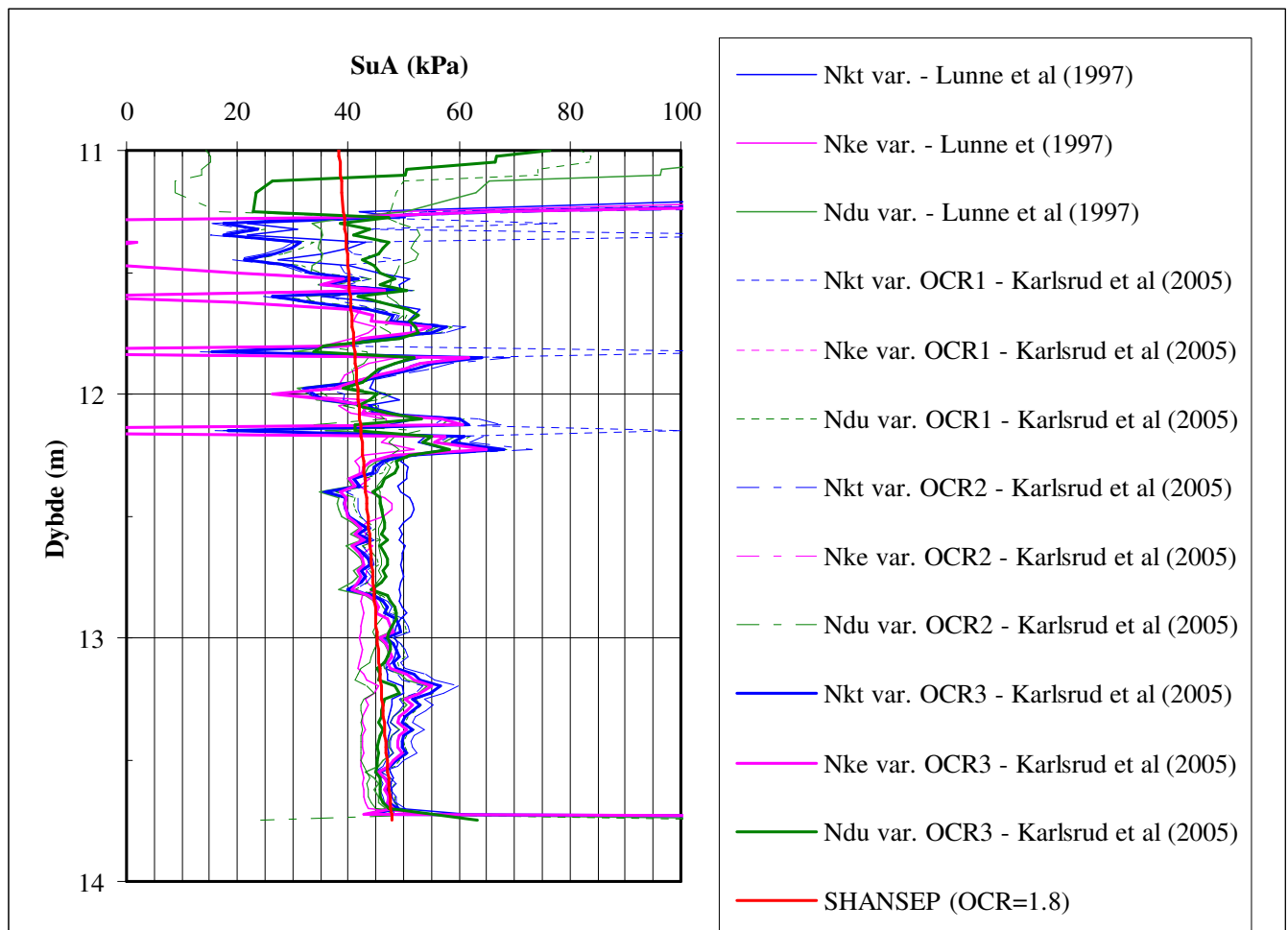
Figur 2 Loftesnes bru – Tolkning med Regneark 1 (CPT 2010); forts..



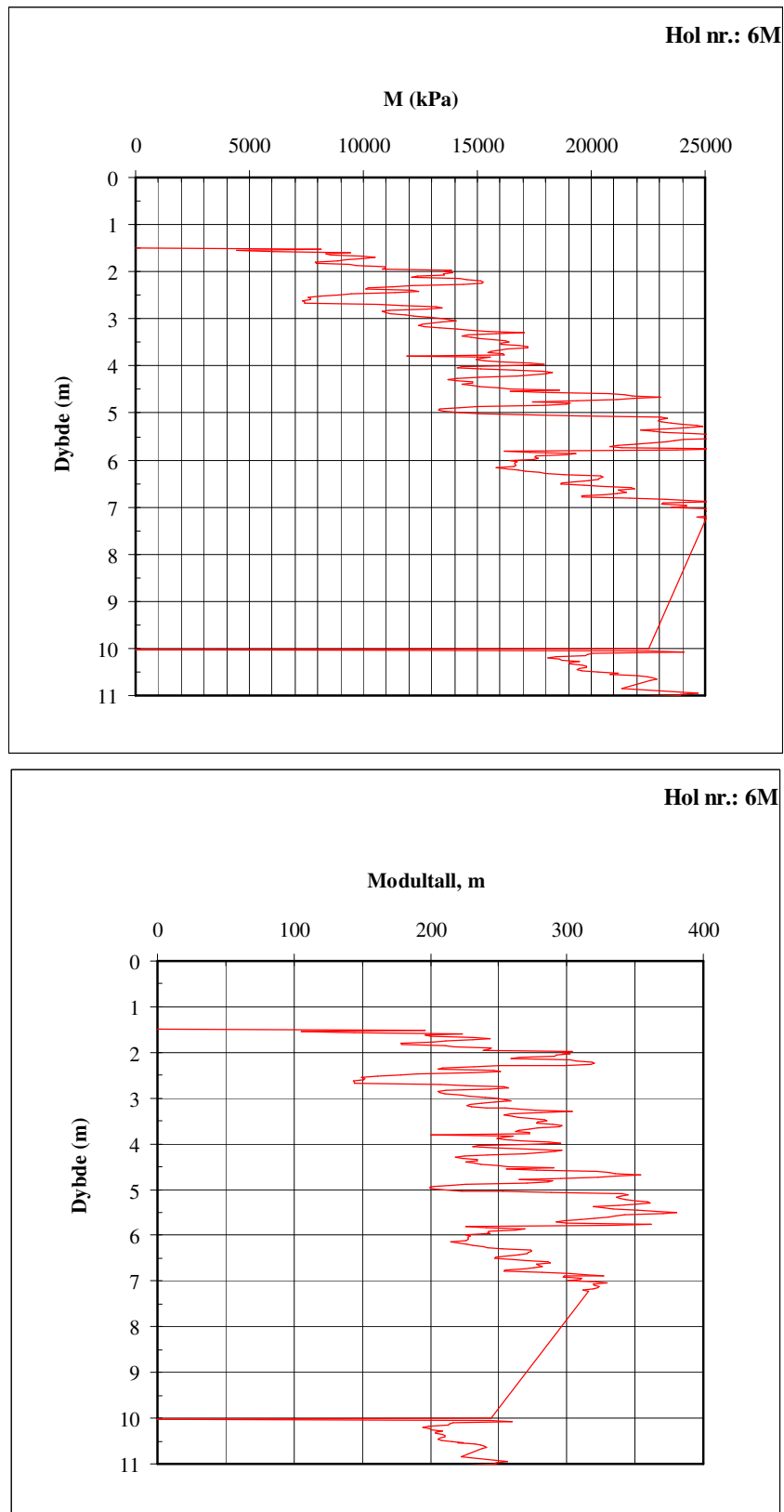
Figur 3 Loftesnes bru – Profil 910 fra rapport.



Figur 4 Oppdrettanlegg i Sør-Trøndelag. Tolkninger med Regneark 2 (CPT Var 2010).



Figur 5 Oppdrettanlegg i Sør-Trøndelag. Tolkninger med Regneark 2 (CPT Var 2010); forts..



Figur 6 Oppdrettanlegg i Sør-Trøndelag. Tolkninger med Regneark 2 (CPT Var 2010); forts..
(Kvadratrotmodul-tilpasning).

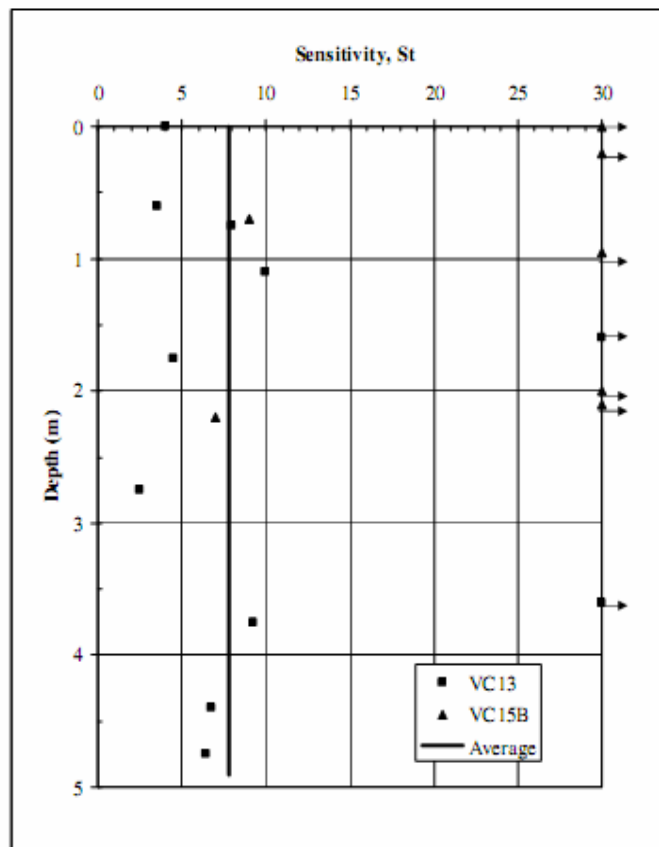


Figure A1.5 – Sensitivity (S_t) versus depth determined with small laboratory hand vane. 0-5 m.

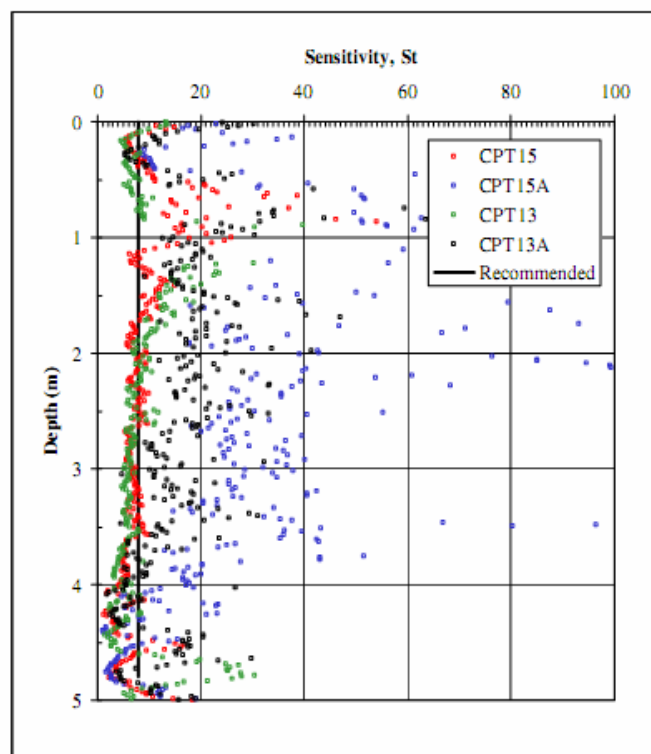
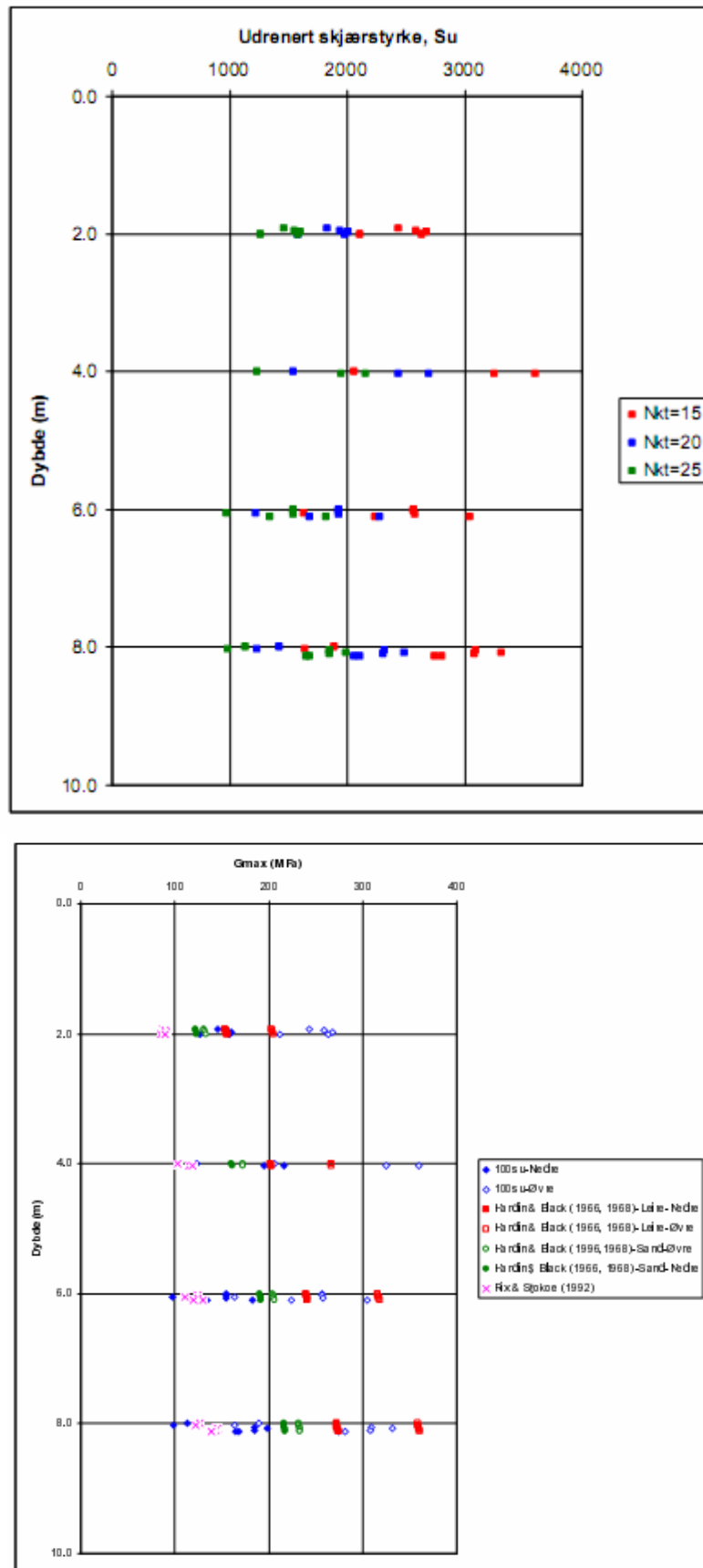


Figure A1.6 – Sensitivity (S_t) determined from the CPTs applying Rad and Lunne (1986). 0-5 m.

Figur 7 Offshore Manifold - Lab.målt og CPTU-tolket S_t med Regneark 2 (CPT Var 2005, eldre versjon).



Figur 8 Rotasjonspressefundament - Tolkninger med Regneark 2 (CPT Var 2005, eldre versjon).

Grunnens permeabilitet er estimert/tolket via 4 forskjellige metoder:

- (a) Janbus empiriske formel
- (b) Hazens empiriske formel
- (c) Gustavsons empiriske formel
- (d) tolkning av dissipasjonsforsøk.

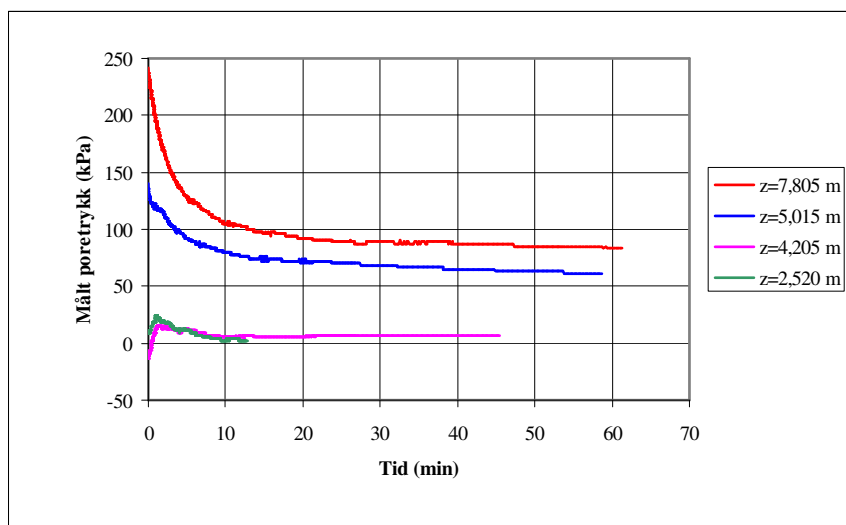
De 3 først nevnte metoder er alle basert på korrelasjon mellom permeabilitetskoeffisient (k) og karakteristiske punkt(er) på kornfordelingskurven.

Tabell 3 Estimert permeabilitet fra kornfordeling:

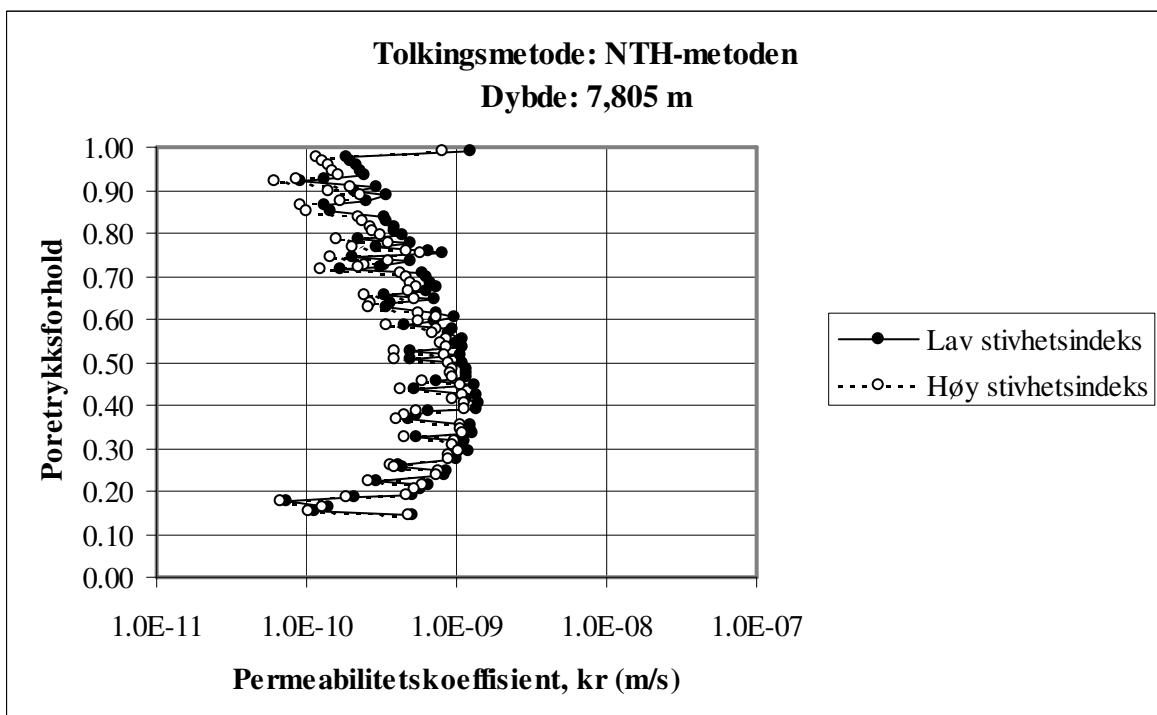
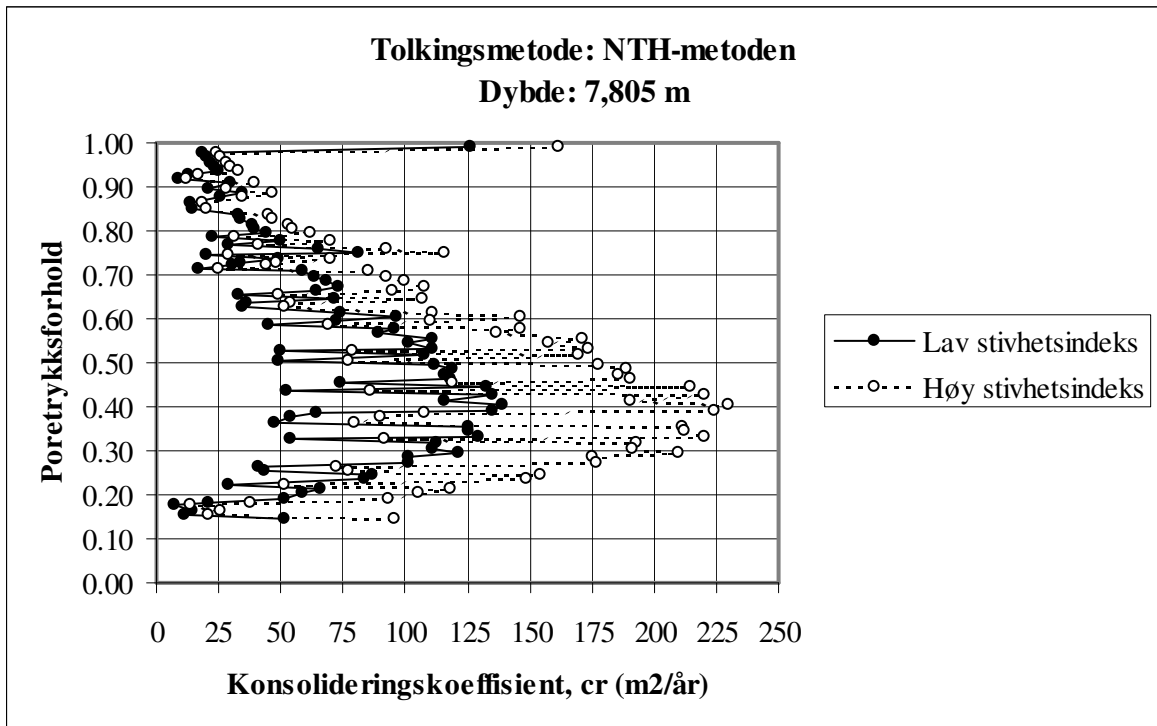
Prøve- dybde (m)	Lag (nr)	Korn- fordeling s analyse	Materialbetegnelse fra kornfordeling	Permeabilitetskoeffisient (k) fra metode (a) til (c)	
				Ved 20°C i lab. (m/s)	Ved 4°C i jord (m/s)
Posisjon nr 7					
2,0-3,2	2	X	Sand (T2)	$2,1 \cdot 10^{-5}$ til $5,0 \cdot 10^{-5}$	$1,4 \cdot 10^{-5}$ til $3,3 \cdot 10^{-5}$
3,8-5,0	3	X	Silt, sandig (T2)	$2,6 \cdot 10^{-6}$ til $8,0 \cdot 10^{-6}$	$1,7 \cdot 10^{-6}$ til $5,2 \cdot 10^{-6}$
5,0-6,0	3	X	Silt, sandig (T4)	$1,8 \cdot 10^{-6}$ til $5,0 \cdot 10^{-6}$	$1,2 \cdot 10^{-6}$ til $3,3 \cdot 10^{-6}$
7,0-8,0	3	X	Silt (T4)	$2,6 \cdot 10^{-7}$ til $6,0 \cdot 10^{-7}$	$1,7 \cdot 10^{-7}$ til $3,9 \cdot 10^{-7}$

Tabell 4 Estimert permeabilitet fra dissipasjonsforsøk:

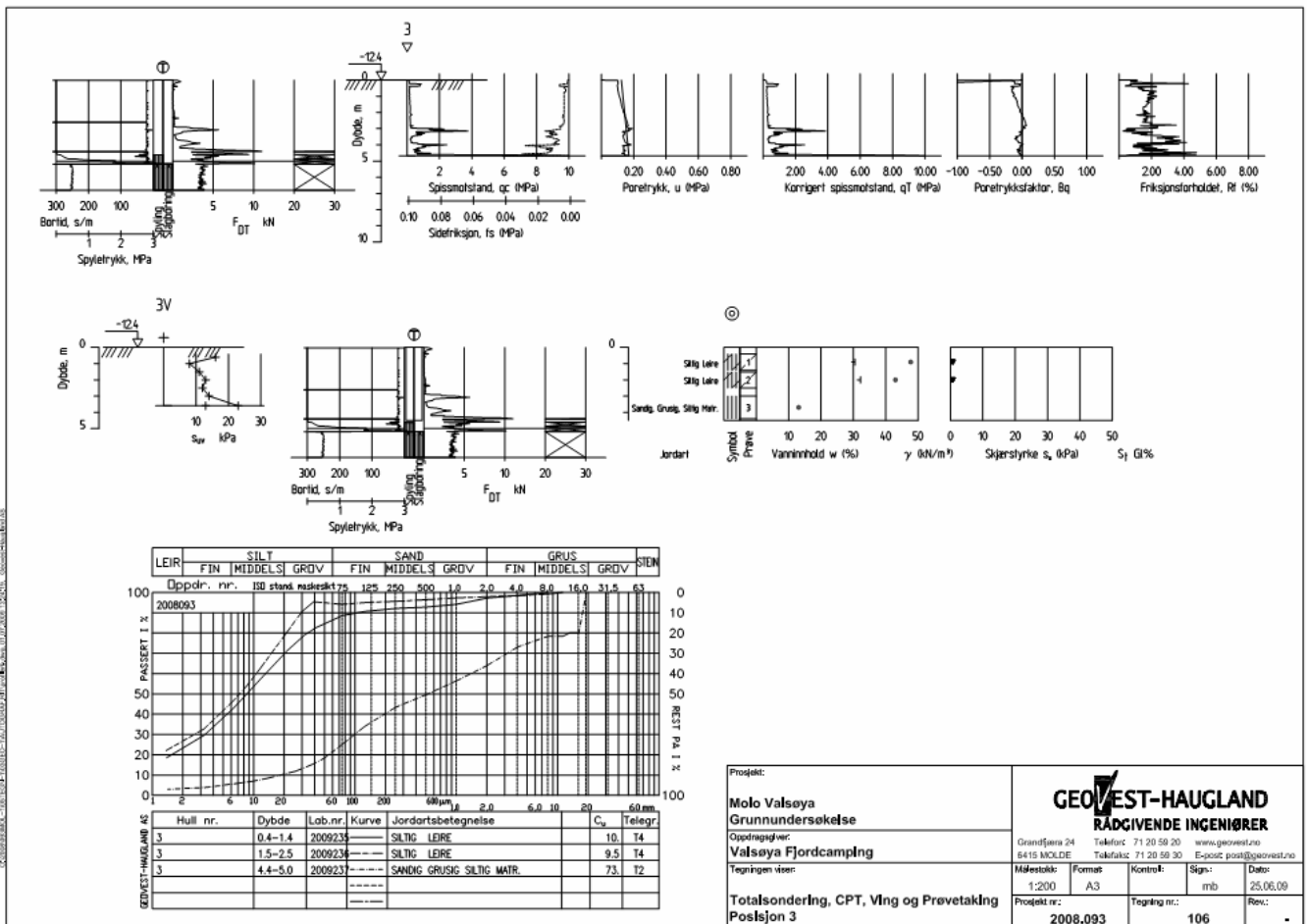
Forsøks- dybde (m)	Lag (nr)	Korn- fordeling s analyse	Materialbetegnelse fra kornfordeling	Permeabilitetskoeffisient (k) fra metode (d) [ved 4°C i jord]
				(m/s)
Posisjon nr 7				
2,520	2	X	Sand (T2)	$1,4 \cdot 10^{-9}$ til $1,1 \cdot 10^{-8}$
4,205	3	X	Silt, sandig (T2)	$2,5 \cdot 10^{-9}$ til $3,3 \cdot 10^{-8}$
5,015	3	X	Silt, sandig (T4)	$8,0 \cdot 10^{-11}$ til $5,2 \cdot 10^{-10}$
7,805	3	X	Silt (T4)	$2,4 \cdot 10^{-10}$ til $1,4 \cdot 10^{-9}$



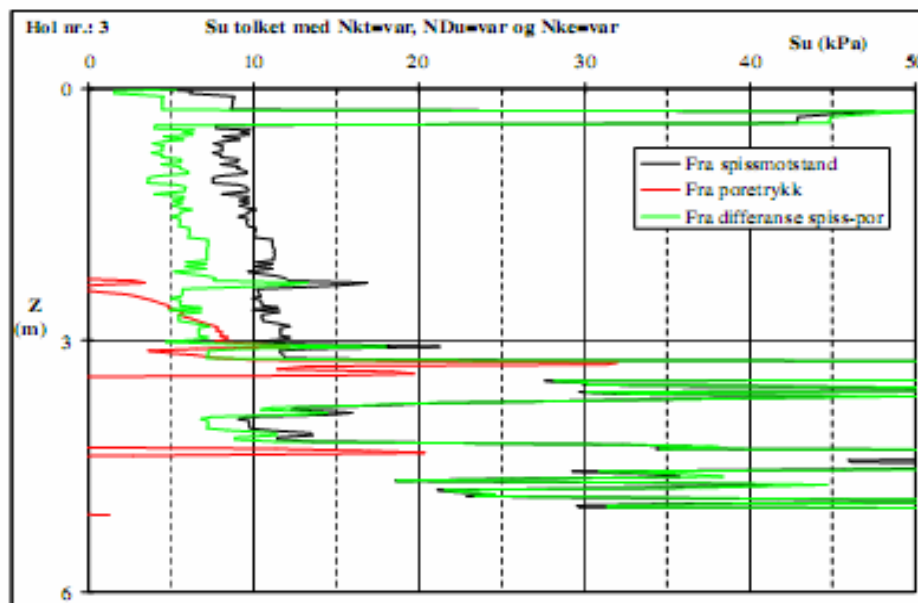
Figur 9 Avfallsdeponi Hordaland – Permeabilitet fra empiriske lab.metoder og fra dissipasjonsforsøk.



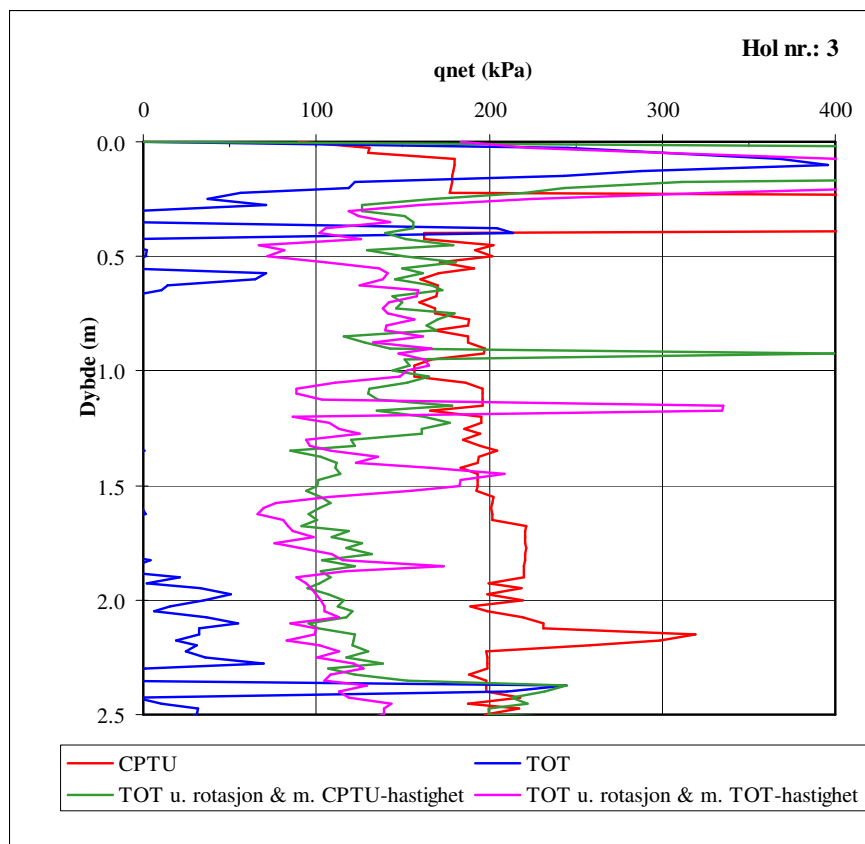
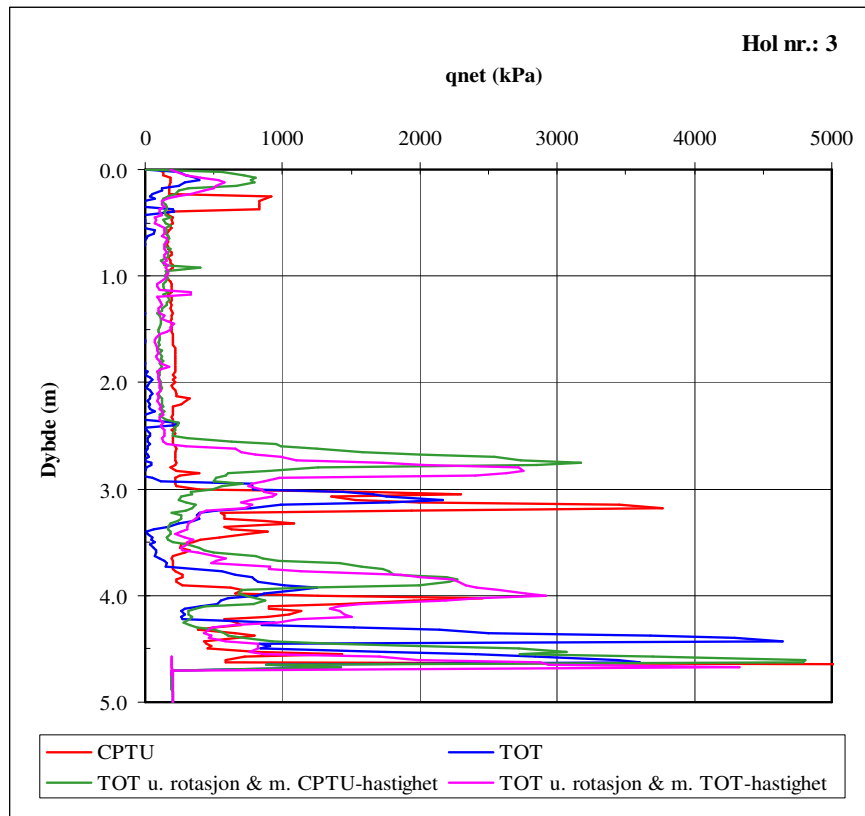
Figur 10 Avfallsdeponi – Konsolideringskoeffisient (c_r) og permeabilitetskoeffisient (k_r) tolket med Regneark 3 (Dissipasjon 1999) fra utførte dissipasjonsforsøk.



Figur 2 Tolkning av CPT Hull 3



Figur 11 Grunnundersøkelse for molo – Resultater for Posisjon nr 3.



Figur 12 Grunnundersøkelse for molo – Resultater for Posisjon nr 3, forts..

**CPTU-seminar Vegdirektoratet
26. april 2010**

Bruk av CPTU i Geovest-Haugland AS

**Dr. ing. Arne Åsmund Skotheim
Seniorrådgiver Geovest-Haugland AS**

Utstyr

- Geovest-Haugland anskaffet trykksonderingsutstyr i 1994 (Geotech)
- Kun akustisk logging de første årene - Tidvis problem med datatap → Forbedret
- Nå: 2 operative Geotech-rigger med Geotech CPTU-sonder med dobbelt sett logging på begge
- Akustisk logging + Memo-cone → Tap av data ikke forekommet → Sikre kvaliteten
- PC/Geologger → borerne oppdager umiddelbare problemer under CPTU-sonderingene
- Elektronisk oversendelse av CPTU-rådata fra borelaget umiddelbart etter kjørt forsøk medfører at saksbehandleren kan vurdere forsøket mens boreenheten er på stedet, og eventuelt beordre supplerende forsøk i en posisjon.

Forsøksutførelse

- Håndbok 015 fra Statens vegvesen (Feltundersøkelser)
- Melding nr 5 fra Norsk Geoteknisk Forening (Veiledning for utførelse av trykksondering)
- Eventuelle vesentlige avvik fra prosedyrene skal anmerkes av boremannskapet under oppdraget.

Metning

- Vi benytter normalt sonder med spaltefilter, plassert bak selve konen (u2)
 - Metning: Frostvæske for trykk-kammeret og syrefritt silikonfett for kanalene (normalt)
 - Rare poretrykksdata → Supplerende CPTU heller enn andre metningsmedium som f. eks. gelatin
 - Metningsproblem: Ved fast topplag over mye bløtere/løsere lag
- Supplerende CPTU-sondering ved samme posisjon, gjerne ved å øke forboringsdybden slik at sonderingen starter opp i/under toppen av det mye løsere/bløtere laget.

Kvalitet av CPTU-sonderingene

- Per i dag ikke automatisert kontroll av kvaliteten i programmer eller tolkningsregneark
- Manuell/visuell kvalitetskontrollen via tolkningsregneark
- Umiddelbart elektronisk oversendelse til saksbehandler → Viktig ledd i kvalitetssikringen

Tolkning – regneark og program

- Egenutviklet regnearkverktøy (excel) primært
- Første versjon laget i 1996-1997, og siden er de utviklet "dynamisk" og stegvis over tid
- Vi har brukt dem på en lang rekke prosjekter
→ Vi "vet" hva vi gjør
- CONRAD → Vurdert men ikke anskaffet
- CPT-pro (fra GeoSoft) siden 2008
→ Brukt noe, men ikke som primærtolkningsverktøy

Våre generelle regnearkløsninger

- CPT 2010 (Regneark 1)
- CPT Var 2010 (Regneark 2)
- Dissipasjon 1999 (Regneark 3)

Regneark 1 - CPT 2010

- Primært utviklet og vedlikeholdt av vår seniorrådgiver dr. ing. Torgeir Døssland
- Deler sonderingsdybden inn i 10 lag eller intervall primært ut fra qt-variasjonen med dybden
- Jordartstype og jordparametre bestemmes for hvert enkelt lag/intervall
- Inkluderer flere makroer som "styrer" tolkningen.

Jordartsklassifisering - CPT 2010

- Ifølge q_t - B_q metode etter Robertson et al (1990)
- Ifølge q_t - F_r metode etter Robertson et al (1990)
- Ifølge q_t - B_q metode etter Senneset et al (1989); kalt NTH-metoden. Dette er en videreutvikling av N_m - B_q metoden etter Senneset et al (1982).
- Det fins mange andre klassifiseringsmetoder omtalt i internasjonal faglitteratur, og noen av disse har vært prøvd i enkelte prosjekter. Men per i dag er ingen av disse innbakt i regnearket.

Eff.spenn.baserte styrkeparametre a og φ - CPT 2010

- Den såkalte NTH-metoden etter Senneset et al (1982, 1985, 1989) og Sandven (1990)
- Plastifiseringsvinkelen (β) må gis inn som input. Kan være vanskelig parameter å anslå. I en del tilfeller har vi vært nødt til å benytte (betydelig) lavere β -verdier enn anbefalt for å få rimelige friksjonsvinkler (φ) for rimelige attraksjoner (a).

Udrenert skjærstyrke (s_u^c) – CPT 2010

- N_{kt} , N_{ke} og $N_{\Delta u}$ etableres som funksjon av B_q iht til Lunne et al(1997)
- Per i dag ligger en lineær funksjon av typen $N_{ij}=a+b*B_q$ inne.
- $b=0 \rightarrow$ Konstante N_{ij} verdier uavhengig av B_q .
- $a \neq 0$ og $b \neq 0 \rightarrow B_q$ -avhengig N_{ij}

Nå: Følgende funksjoner inne som beste estimat (andre kan velges):

$$\begin{aligned} N_{kt} &= 19-12.5*B_q \\ N_{ke} &= 16-14.5*B_q \\ N_{\Delta u} &= 1+9*B_q \end{aligned}$$

Udrenert skjærstyrke (s_u^C) – CPT 2010

- Aktiv udrenert skjærstyrke (s_u^C) tolkes deretter ut på vanlig måte; dvs. som

$$s_u^C = (q_t - \sigma_{v0}) / N_{kt}$$

$$s_u^C = (q_t - u) / N_{ke}$$

$$s_u^C = \Delta u / N_{\Delta u}$$

- Profil for direkte (s_u^{DSS}) og passiv udrenert skjærstyrke (s_u^E) blir deretter vanligvis etablert som henholdsvis 2/3 (eventuelt 0,7) og 1/3 (eventuelt 0,4) av tolket s_u^C , hvis da ikke relevante skjærforsøk som viser andre verdier blir utført i det aktuelle prosjektet.

Setningsparametre (M, m) – CPT 2010

- Modul (M) og modultall (m) tolkes primært etter metoder av Lunne et al (1997) og Sandven (1990)
- De tolkede verdier blir kritisk vurdert med hensyn til forventede verdier ut fra erfaring, og som regel gir dette rimelig størrelsesordenen på disse parametrene.

Presentasjon – CPT 2010

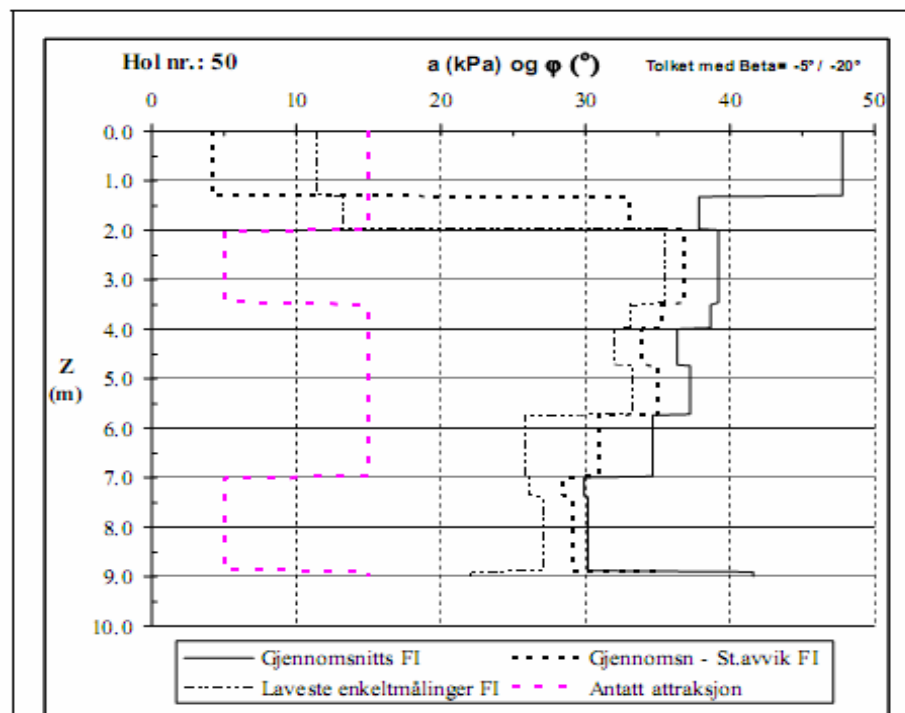
- En rekke kurver mot dybde inne som standard.

Normalt nøyer en seg med å presentere profil for s_u^C og/eller $a\&\phi$ mot dybde, samt et sammendragark med nøkkelresultater.

- Profilene for s_u^C og/eller $a\&\phi$ kan inneholde både en beste gjennomsnittskurve, en middelkurve minus k^* standardavvik og en laveste tolket kurve.

Men ofte presenteres kun middelkurven, og eventuelt en karakteristisk kurve ("forsiktig anslått middelvei").

Loftesnes bru – Tolkning med Regneark CPT 2010



Empirisk tolkning i de løseste lagene i ca 7,0-8,8m dybde gir et kvadratrotbasert modul tall i området $m=50-150$, og en relativ lagringstetthet $D_r < 30\%$. (Lunne, Ref. 12). Empirisk tolkning i de fastere lagene gir et kvadratrotbasert modul tall i området $m=150-400$.

NB:

Empirisk tolkning av jordart i dybdeintervallet ca 7,4-8,8m indikerer siltig leire med udrenert skjærstyrke på ca 25-30 kPa og lineærbasert modul tall på 15-20. (Lunne, Ref. 12). Det er ikke tatt opp prøver fra dette dybdeintervallet.

Statens vegvesen - Region vest

Rv 05 Hp 08, Loftesnes bru, Svv oppdr.nr. 2003012297-30.
 Supplerende grunnundersøkelser og vurderinger

Figur 11 Tolkning av CPTU ved Posisjon 50.

GEOVEST-HAUGLAND
 RÅDGIVENDE INGENIØRER

UTVÆRT
 Arne A. Skotheim

KONTROLLERT
 Arne Kavli

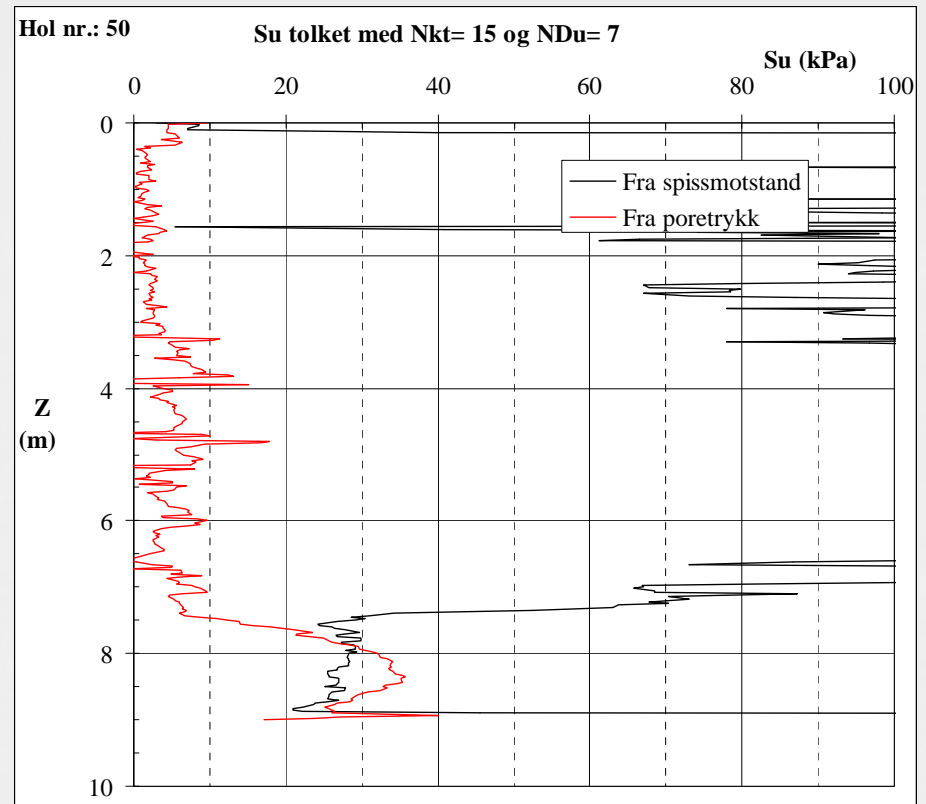
MALESTOKK
 M = 1 :

DATE
 28.09.2007

REPORT
 2006129-1

FORMAT
 A4

Loftesnes bru – Tolkning med Regneark CPT 2010



Resultatsammendrag fra trykksondering

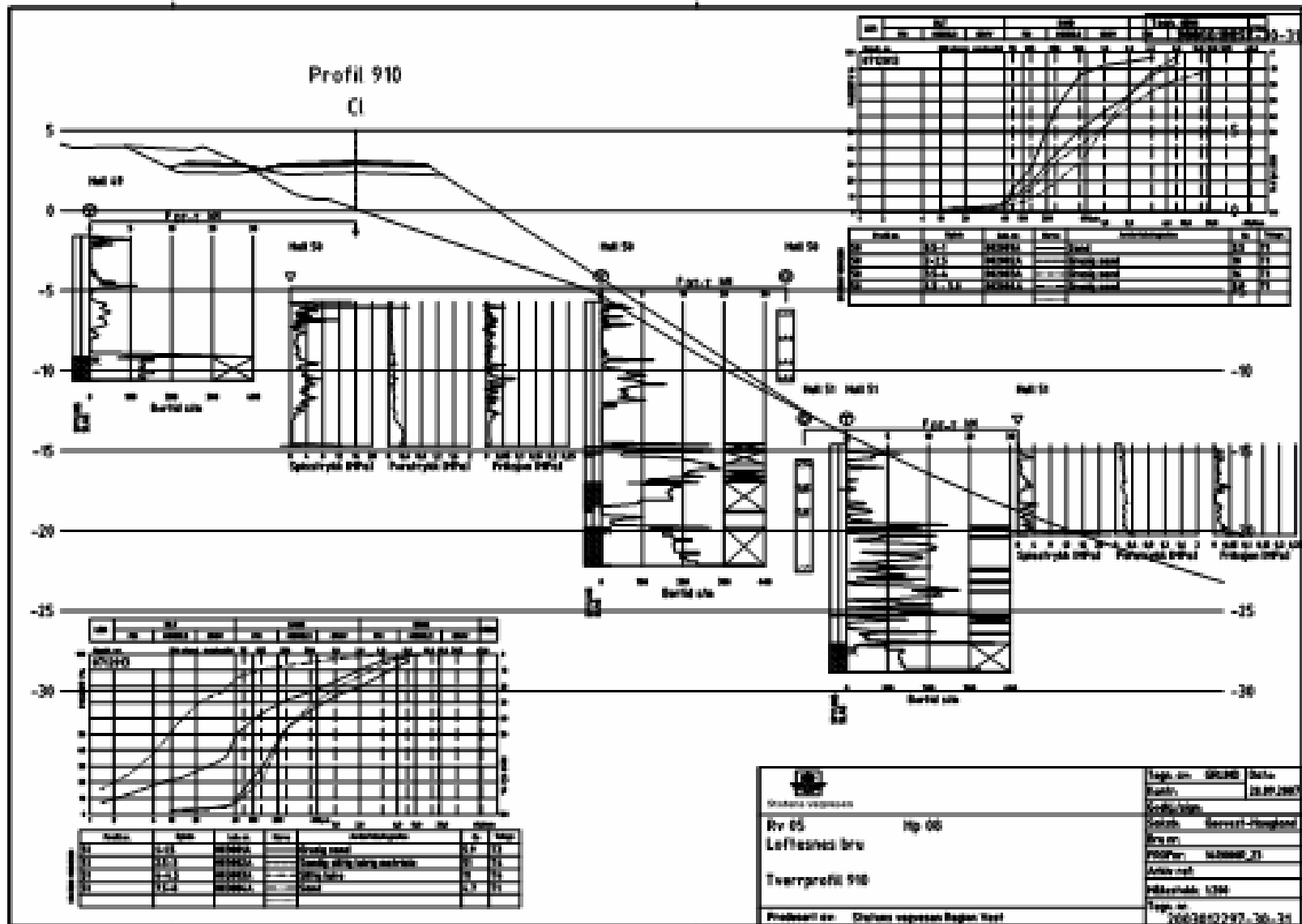
Prosjekt: Loftesnes bru

Hull nr. 50

GV-nivå -4.7 (Positiv verdi for GV under terreng, negativ lik vandyp for sjøboring)

Lag nr.	Dybde		Jordart			S _{u mid.} (kPa)	a antatt (kPa)	φ antatt (°)	φ mid (°)
	topp	bunn	(Etter NTNU)	Qt vs Bq	(Etter T. Lunne)				
1	0.000	1.325	Ukjent jordart	Ukjent jordart	Ukjent jordart	176	15	-20	48
2	1.325	2.000	Sand, sandig grus	Grusig sand/sand	Grusig sand/sand	104	15	-20	38
3	2.000	3.500	Sand, sandig grus	Sand/siltig sand	Sand/siltig sand	96	5	-5	39
4	3.500	4.000	Sand, sandig grus	Sand/siltig sand	Sand/siltig sand	212	15	-20	39
5	4.000	4.750	Sand, sandig grus	Sand/siltig sand	Sand/siltig sand	177	15	-20	36
6	4.750	5.750	Sand, sandig grus	Sand/siltig sand	Sand/siltig sand	239	15	-20	37
7	5.750	7.000	Sand, sandig grus	Sand/siltig sand	Sand/siltig sand	173	15	-20	35
8	7.000	7.400	Silt/finsand	Sand/siltig sand	Siltig sand/sandig silt	62	5	-5	30
9	7.400	8.900	Fast leire, siltig	Leire/siltig leire	Leire/siltig leire	26	5	-5	30
10	8.900	9.000	Sand, sandig grus	Sand/siltig sand	Sand/siltig sand	371	15	-20	42

Loftesnes bru – Profil 910 fra rapport.



Regneark 2 – CPT Var 2010

- Primært utviklet og vedlikeholdt av vår seniorrådgiver dr. ing. Arne Åsmund Skotheim
- Tolkning for hvert dybdenivå med registrering; dvs. for hver 20 eller 25 mm i dybden.
- Det foretas ikke noen inndeling i lag/intervall før etter at tolkningen er ferdig utført.

Jordartsklassifisering – CPT Var 2010

- Egen prosedyre for jordartsklassifisering ikke implementert per idag.
- Slik tolkning er planlagt å skulle introduseres ved neste revisjon – trolig senere i 2010.
- Jordartstype og lagdeling bestemmes ut fra samlet vurdering av rådata og tolkede parametre sammen med prøvetaking og erfaring/skjønn.

Eff.spenn.baserte styrkeparametre a og φ – CPT Var 2010

- Den såkalte NTH-metoden etter Senneset et al (1982, 1985, 1989) og Sandven (1990) (dvs. samme direkte metode som i Regneark 1).

Eff.spenn.baserte styrkeparametre a og φ – CPT Var 2010

Flere to-trinns-modeller for tolkning der en først tolker ut relativ lagringstetthet (D_r), for deretter å tolke ut friksjonsvinkel (φ) via en φ - D_r korrelasjon.

Gjeldende versjon av Regneark 2 inkluderer følgende D_r -formler i Trinn 1:

- Ifølge Kulhawy & Mayne (1990)
- Ifølge Baldi et al (1986) for NC materiale
- Ifølge Baldi et al (1986) for OC materiale
- Ifølge Clausen et al (2005)
- Ifølge Jamiolkowski et al (1985)

Eff.spenn.baserte styrkeparametre a og φ – CPT Var 2010

Gjeldende versjon av Regneark 2 inkluderer følgende φ - D_r formler i Trinn 2:

- Ifølge Schmertmann (1978), generalisert for effektiv middelspenning basert på diverse publikasjoner
- Ifølge Kleven et al (1986)

Andre φ -tolkningsmetoder som f. eks. ifølge Robertson & Campanella (1983); er per i dag ikke innbakt i regnearket.

Udrenert skjærstyrke (s_u^C) – CPT Var 2010

- Samme formuleringer for N_{kt} , N_{ke} og $N_{\Delta u}$ som for Regneark 1.
- N_{kt} , N_{ke} og $N_{\Delta u}$ iht. formler i Karlsrud et al (2005) basert på blokkprøver, med en reduksjonsfaktor på påfølgende tolket s_u^C (f. eks. for sprøbruddmaterialer som svært sensitive leirer og kvikkleirer)

Alle 3 korrelasjonsvarianter er implementert i regnearket; dvs. OCR relatert til B_q , OCR relatert til $\Delta u/\sigma_{v0}'$ og OCR relatert til Q_t .

Øvrige inngangsparametre: Sensitivitet (S_t) og plastisitetsindeks (I_p)

- Profil for direkte (s_u^{DSS}) og passiv udrenert skjærstyrke (s_u^E) blir deretter etablert som beskrevet ovenfor for Regneark 1.

Udrenert skjærstyrke (s_u^C) – CPT Var 2010

Når det gjelder s_u^C -tolkning, fremholder Karlsrud et al (2005) at deres $N_{\Delta U}$ formulering basert på OCR relatert til Q_t er beste og mest konsistente variant. 3 spørsmål til dette:

- Korrelasjonene i Karlsrud et al (2005) er hovedsakelig fra sonderinger med ENVI-sonder, ikke Geotech-sonder som vi benytter i Geovest-Haugland.

Vi har ikke kjennskap til studier som belyser om dette betyr noe overhode, eller eventuelt hvor mye.

- Korrelasjonene i Karlsrud et al (2005) er hovedsakelig etablert ut fra sonderinger i et visst antall marine norske leirer.

Gyldig for vesentlig avvikende typer leirer?

- Gyldigheten av tolket s_u^C basert på $N_{\Delta U}$ -formuleringer i Karlsrud et al (2005) for fastere leirer med relativt høy OCR ($OCR > 10$) der B_q samtidig er lav?

Slik vi oppfatter det, er grunnlagsdataene begrenset til leirer med $OCR < 6-7$.

Udrenert skjærstyrke (s_u^c) – CPT Var 2010

Geovest-Haugland:

- I en del tilfeller gir tolkninger via N_{kt} og $N_{\Delta u}$ relativt stort sprik.
- Hvis det er åpenbart at det er leire eller siltig leire som forefinnes, og spesielt hvis dette er dokumentert via representativ prøvetaking, stoler vi ofte mer på N_{kt} enn på $N_{\Delta u}$ tolkningen.
- Spesielt gjelder dette hvis vi ut fra geologi, tidligere undersøkelser og/eller andre sonderinger føler oss rimelig sikker på at grunnen er betydelig overkonsolidert.

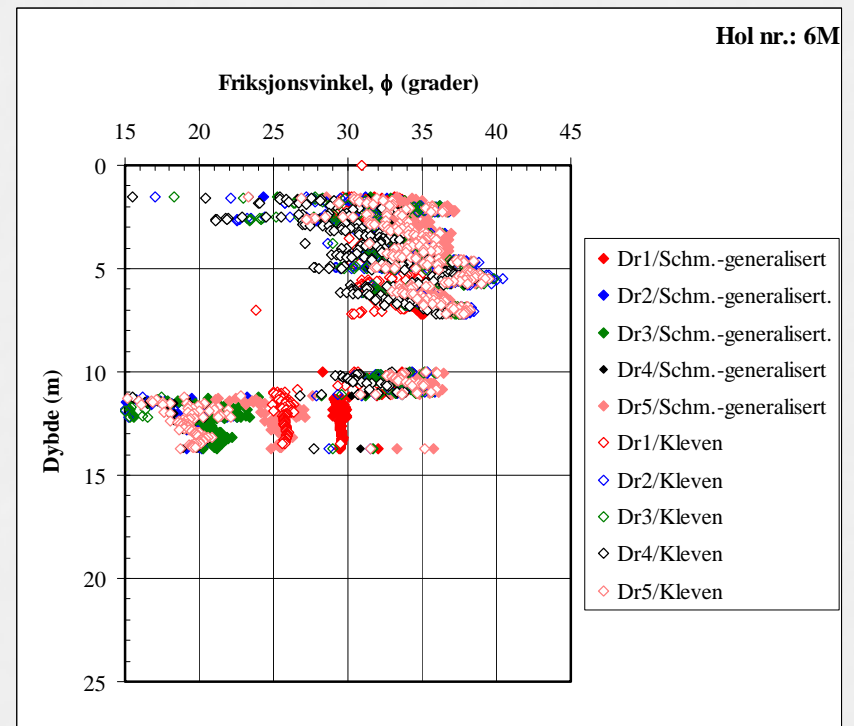
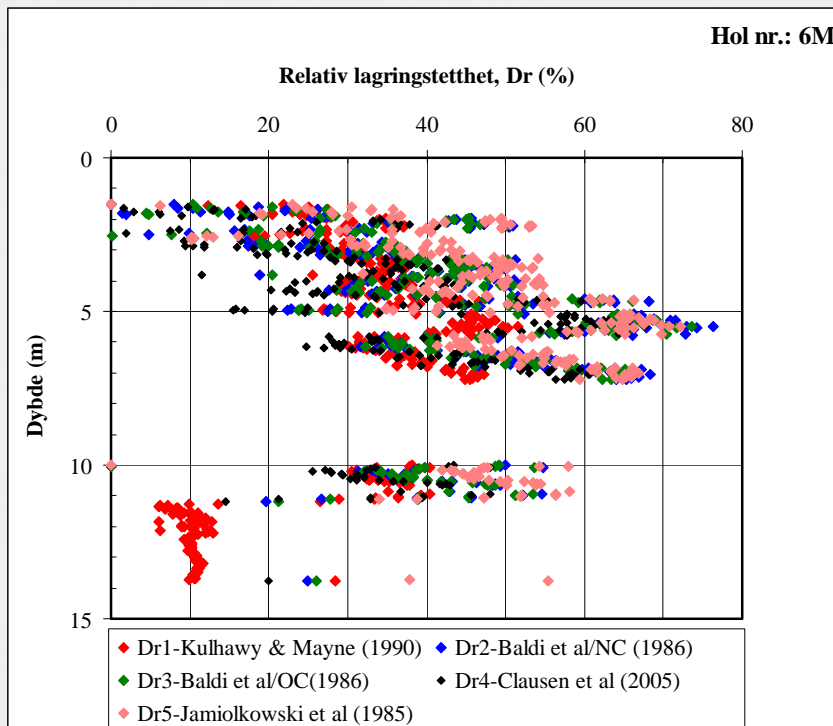
Setningsparametre (M, m) – CPT Var 2010

- Som for Regneark 1, men med tolkning for hver måledybde.

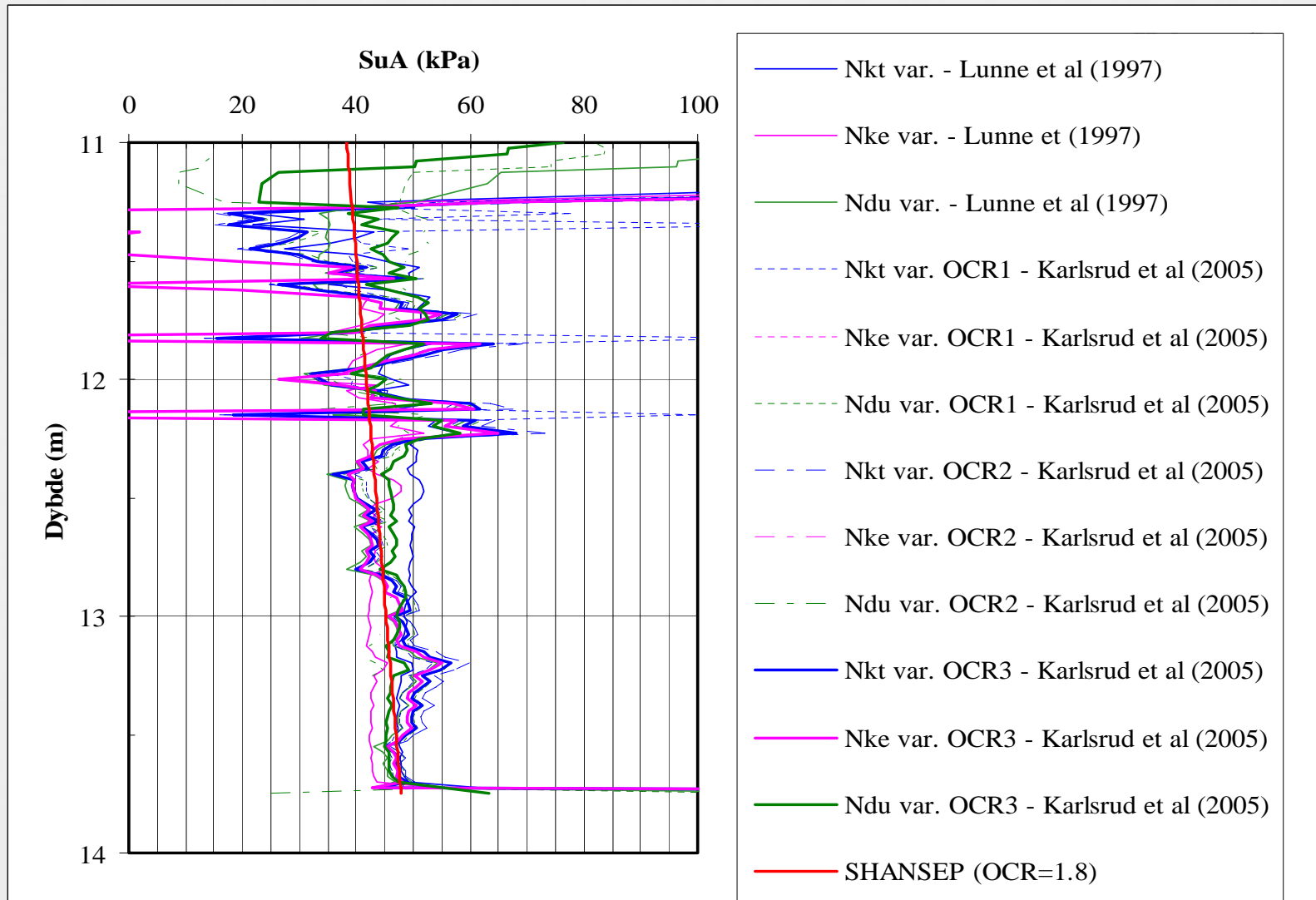
Presentasjon – CPT Var 2010

- En rekke kurver mot dybde inne som standard
- Normalt nøyer en seg med å presentere profil for s_u^C og/eller $a\&\varphi$ (NTH-metode) og/eller $D_r\&\varphi$ for aktuelle to-trinnsmetoder.
- Normalt presenteres middelkurver og/eller karakteristiske kurver.

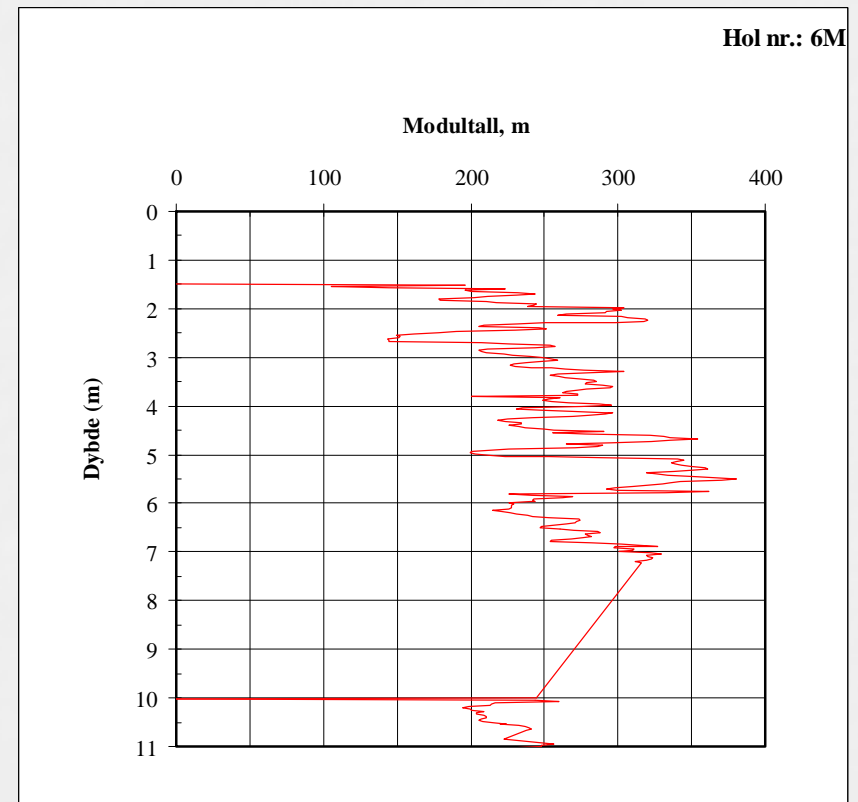
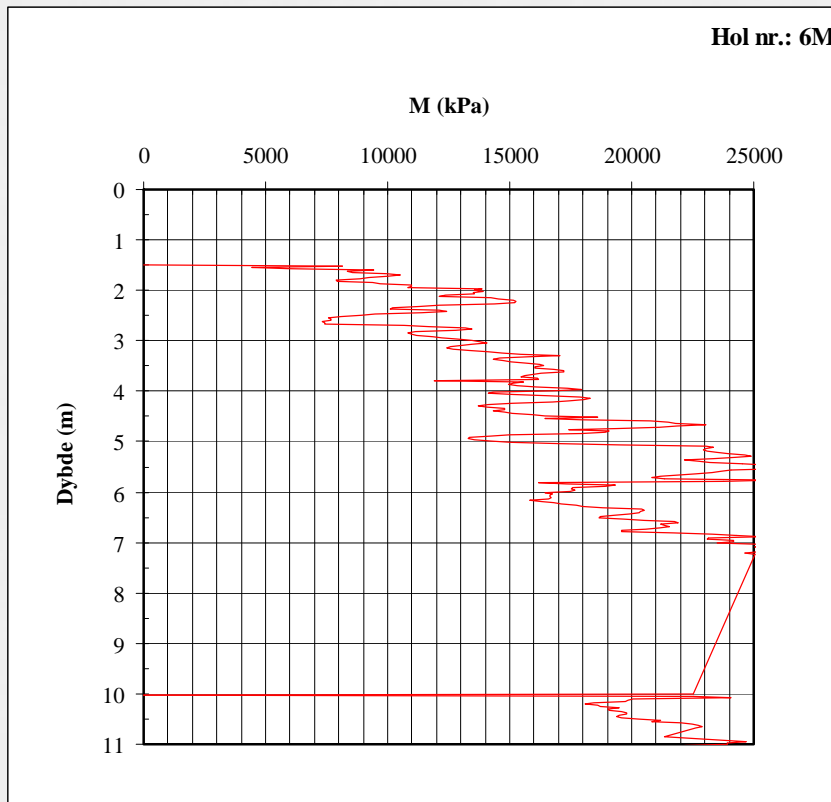
Figur 4 Oppdrettanlegg i Sør-Trøndelag. Tolkninger med Regneark 2 (CPT Var 2010).



Figur 5 Oppdrettanlegg i Sør-Trøndelag. Tolkninger med Regneark 2 (CPT Var 2010)



Figur 6 Oppdrettanlegg i Sør-Trøndelag. Tolkninger med Regneark 2 (CPT Var 2010) (Kvadratrotnmodul-tilpasning).



Andre parametre – CPT Var 2010

- Leire: OCR og p_c' inklusiv SHANSEP-tilpasninger

Sand : OCR og p_c' tolkning ikke innbakt i 2010-versjonen
→ Usikre/upålitelige (primær årsak)

- Leire: S_t ifølge Schmertmann (1978), Rad og Lunne (1986) og Robertson og Campanella (1988)

Figur 7 Offshore Manifold - Lab.målt og CPTU-tolket S_t med Regneark 2 (CPT Var 2005, eldre versjon).

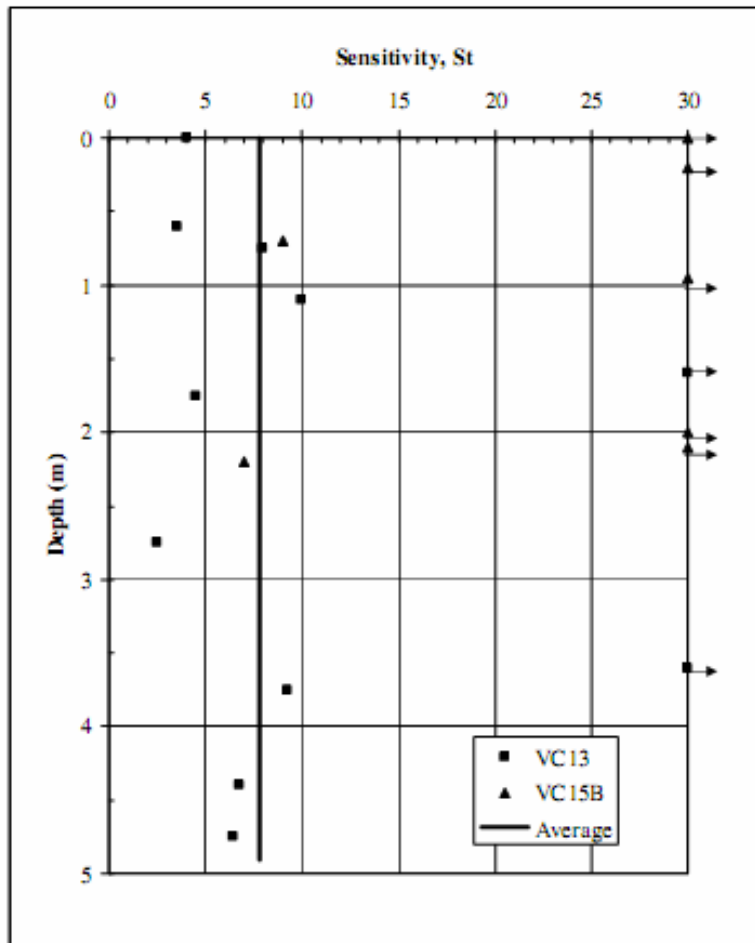


Figure A1.5 – Sensitivity (S_t) versus depth determined with small laboratory hand vane. 0-5 m.

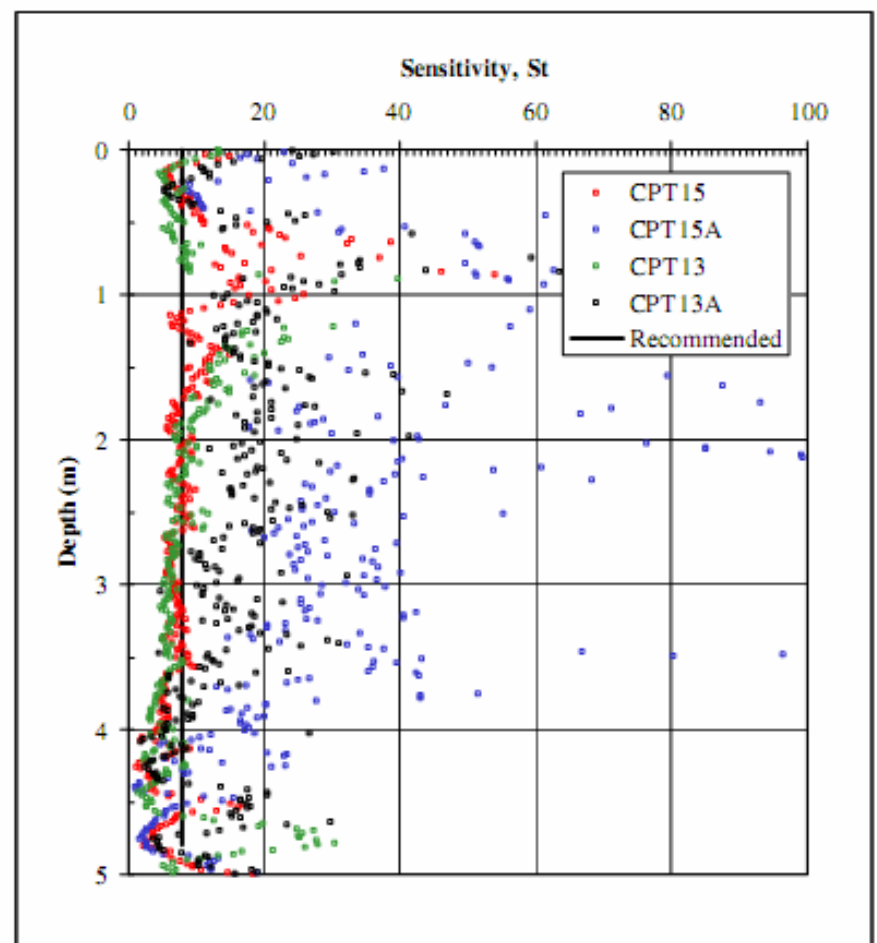
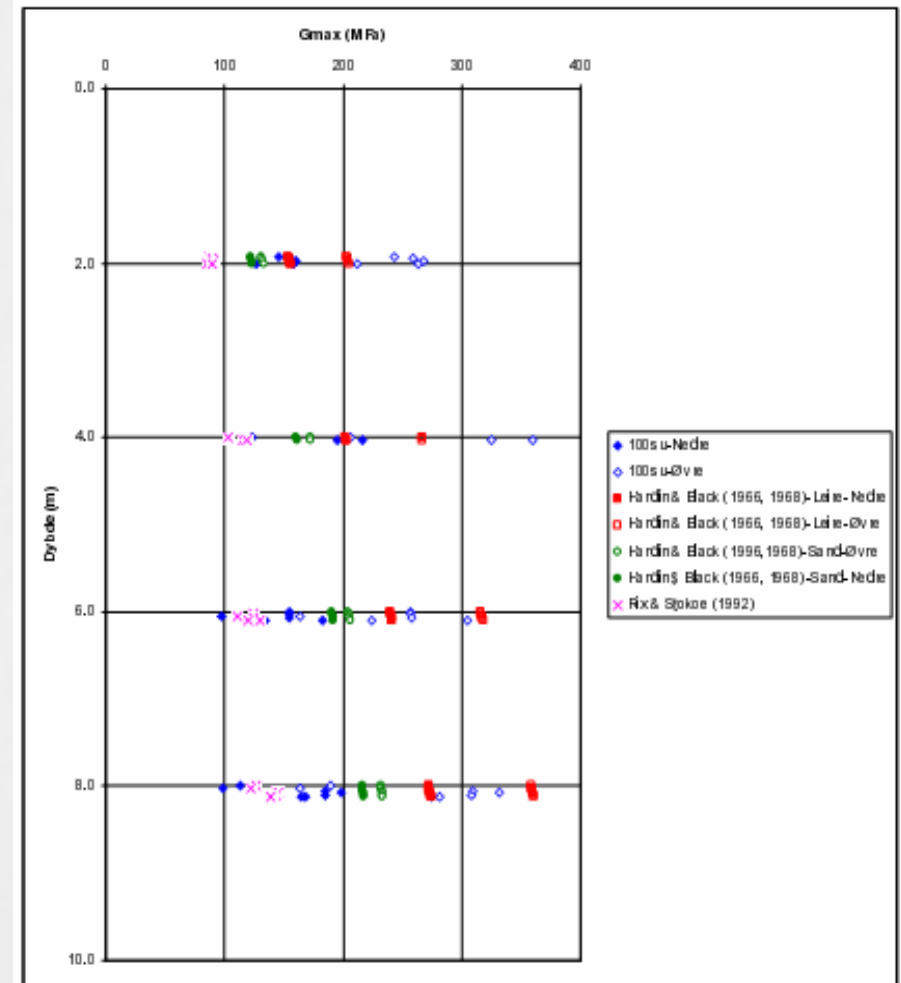
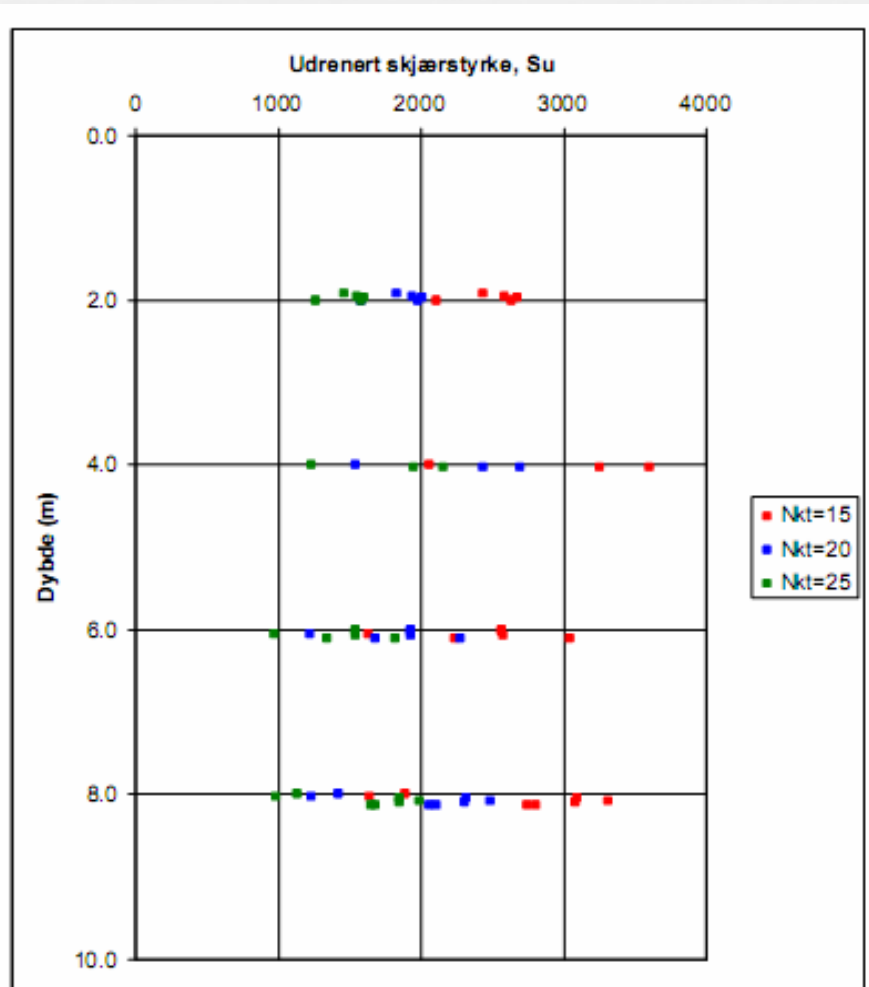


Figure A1.6 – Sensitivity (S_t) determined from the CPTs applying Rad and Lunne (1986). 0-5 m.

Andre parametere – CPT Var 2010

- K_0' i en tidligere versjon, men i 2010-versjonen gis kun en antatt K_0' som input for relevante metoder
→ Usikre/upålitelige (primær årsak)
- Lav-tøynings-skjærmodul (G_{\max}) i en tidligere versjon, men ikke i gjeldende 2010-versjon
→ Etterspørres meget sjeldent (primær årsak)

Figur 8 Rotasjonspressefundament - Tolkninger med Regneark 2 (CPT Var 2005, eldre versjon).



Regneark 3 – Dissipasjon 1999

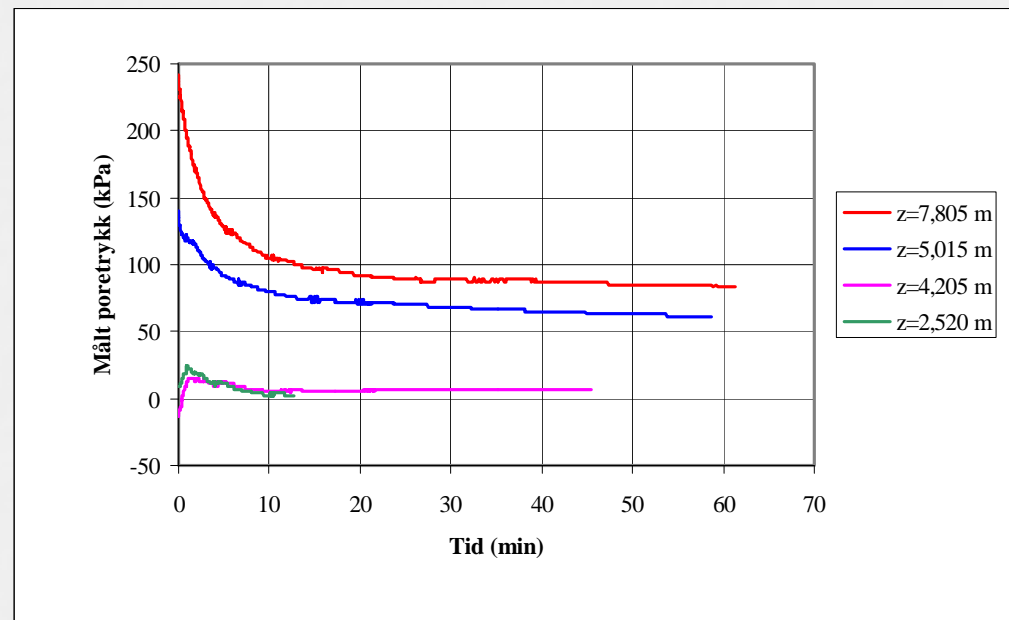
- Primært utviklet og vedlikeholdt av vår seniorrådgiver dr. ing. Arne Åsmund Skotheim
- Gjeldende versjon er fra 1999.
- Horisontal/radiell konsolideringskoeffisient (c_r) og permeabilitetskoeffisient (k_r) fra dissipasjonsforsøk i valgte dybdenivå tolkes.
- Kun metoden beskrevet av Senneset et al (1982) er implementert i dette regnearket per i dag
- Andre formuleringer er planlagt å skulle introduseres i neste versjon av regnearket (trolig i 2010)

Figur 9 Avfallsdeponi Hordaland – Permeabilitet fra empiriske lab.metoder og fra dissipasjonsforsøk.

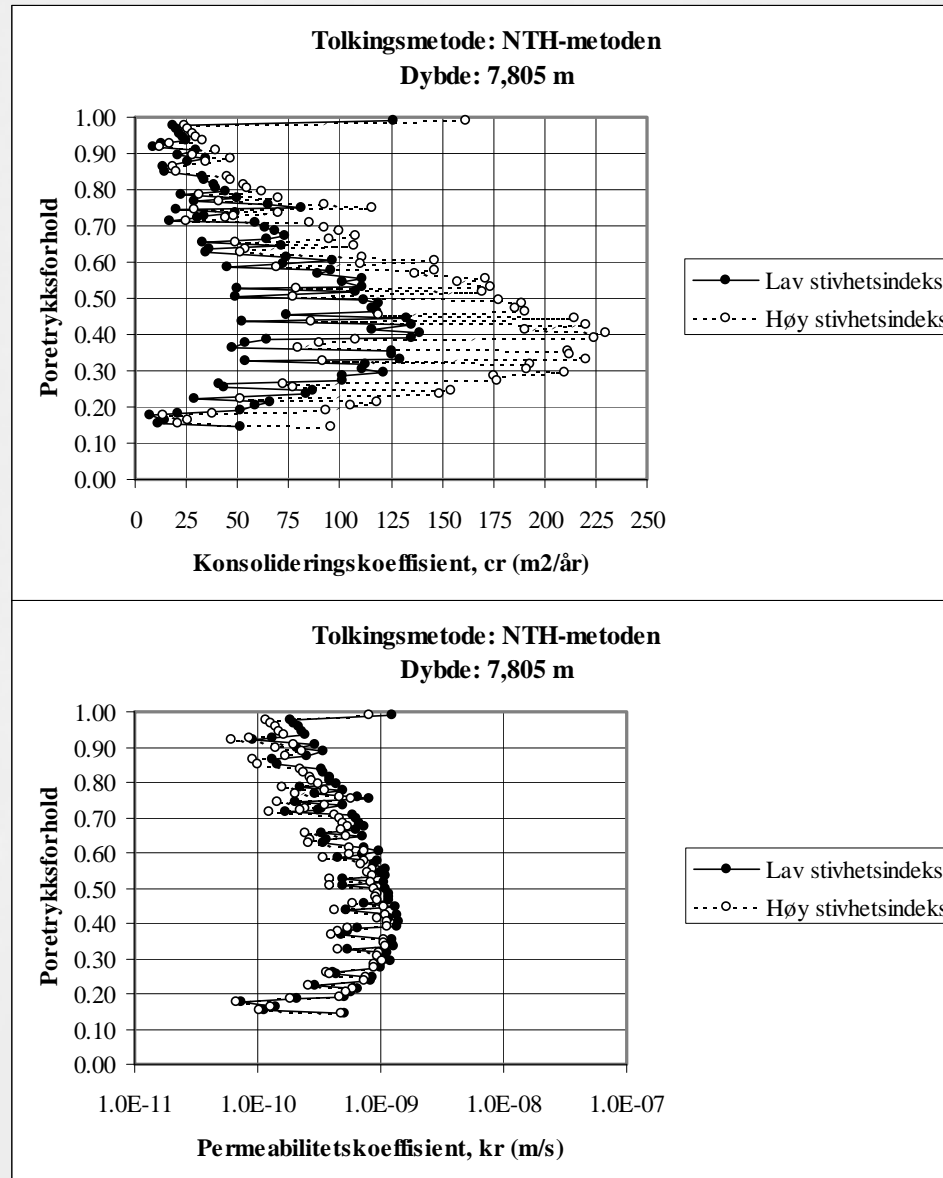
Grunnens permeabilitet er estimert/tolket via 4 metoder:

- (a) Janbus empiriske formel
- (b) Hazens empiriske formel
- (c) Gustavsons empiriske formel
- (d) Tolkning av dissipasjonsforsøk.

De 3 først nevnte metoder er alle basert på korrelasjon mellom permeabilitetskoeffisient (k) og Karakteristiske punkt(er) på kornfordelingskurven.



Figur 10 Avfallsdeponi. Konsolideringskoeff. (c_r) og permeabilitetskoeff. (k_r) tolket med Regneark 3



Planlegging av grunnundersøkelser

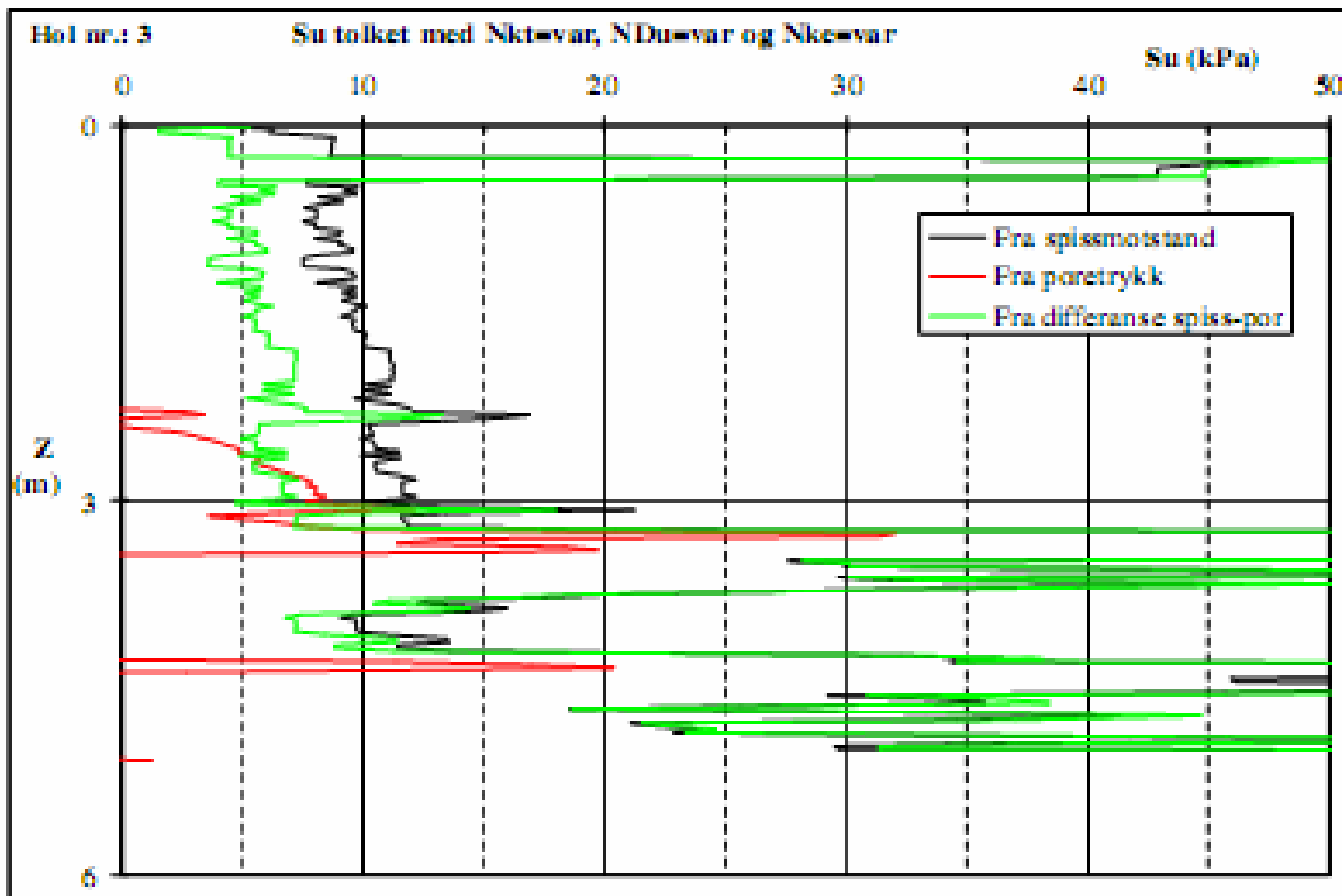
- Normalt utfører vi totalsondering i en posisjon før evt. CPTU.
- På sjø er det i utgangspunktet tids- og kostnadsbesparende å utføre alle nødvendige undersøkelsestyper før en flytter til neste posisjon.
- For lange vegstrekk med fylling i sjø utføres ofte mange totalsonderinger først, for så å velge ut få posisjoner for CPTU-sondering og prøvetaking.
- Ved flere slike grunnboringsoppdrag, der vi eller andre har boret, har null matekraft blitt registrert i betydelige dybdeintervall for et betydelig antall totalsonderinger ved relativt løs/bløt grunn.
- Når null matekraft måles ved en totalsondering vet en egentlig ikke hvor stor bormotstanden er. En vet bare at den ikke er spesielt stor.

Planlegging av grunnundersøkelser

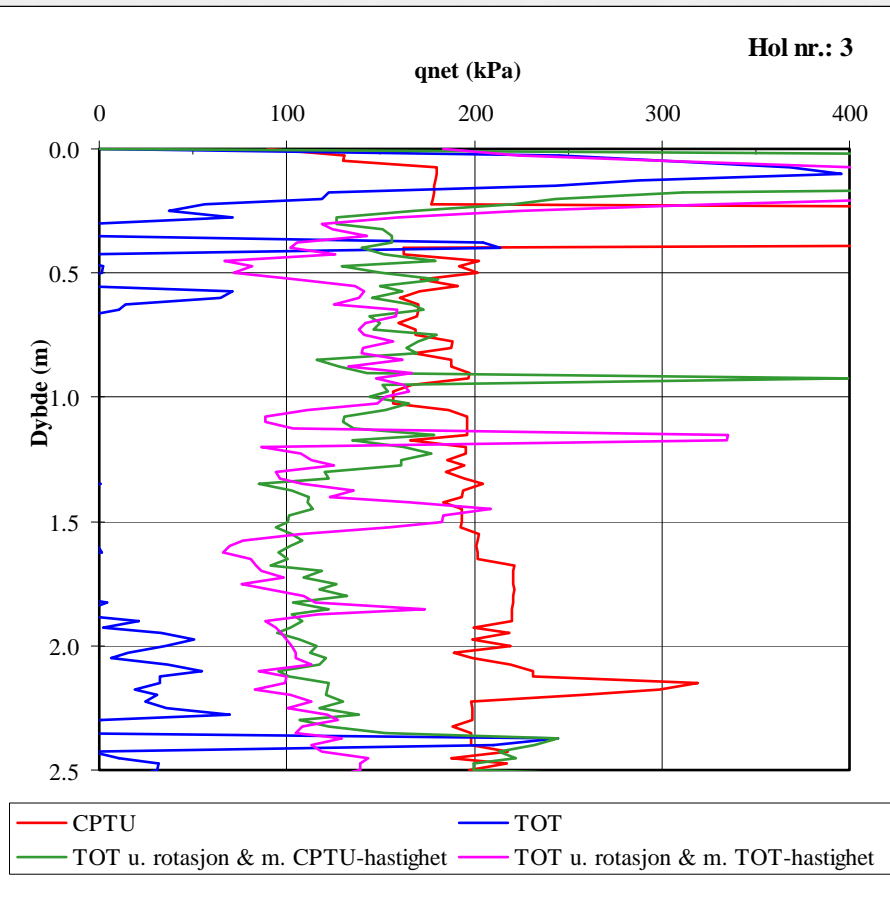
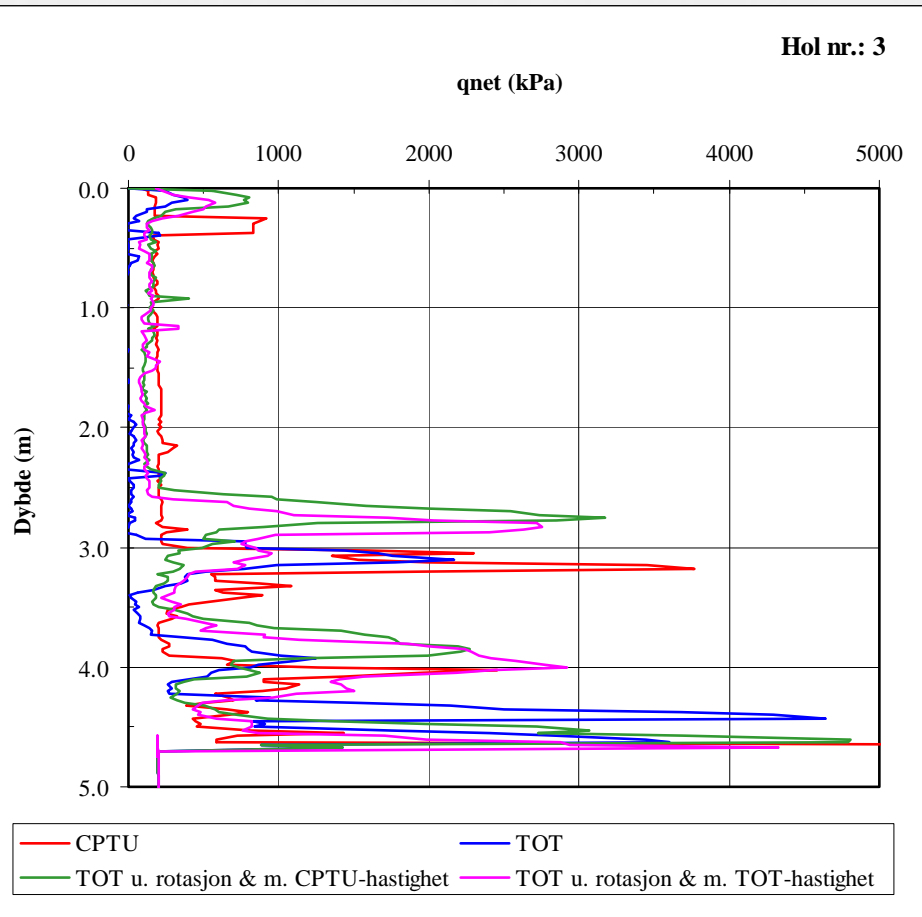
- Er standard prosedyre for kjøring av totalsondering god nok eller optimal, både generelt og spesielt ved slike tilfeller?
- Vi tok følgende bestemmelse for 1-2 år siden: Vi utfører totalsondering etter andre ustandardiserte prosedyrer på utvalgte prosjekter der enten null-matekraft-problemet opptrer eller der matekraften er svært lav, da for egen regning/kostnad uten å belaste oppdragsgiver.
- Så langt har disse forskningspregede undersøkelsene gitt flere interessante resultater, også rent tolkningsmessig ved å anvende tilpasset CPTU-basert tolkningsverktøy. Etter planen skal vi utføre flere slike undersøkelser før vi samler opp og dokumenterer erfaringene.

Figur 11 Grunnundersøkelse for molo – Resultater for Posisjon nr 3.

Figur 2 Tolkning av CPT Hull 3



Figur 12 Grunnundersøkelse for molo – Resultater for Posisjon nr 3



Potensiale og utviklingsmuligheter

- Mye litteratur om CPTU, både nasjonalt og internasjonalt. Mange tolkningmodeller.
- For en praktiserende rådgiver er det relativt krevende å holde seg ajour
→ Viktig at institusjoner som NGI, NTNU/SINTEF og Statens vegvesen gir føringer.
- Videre utvikling av mer pålitelig tolkningverktøy samt av selve utstyret er sentralt.
- CPTU-sondering er viktig for å skaffe til veie gode jordparametre i prosjekt med sand-silt-leire, og bruken vil ventelig øke ytterligere ved slike grunnforhold.
- For bruk i mer grusige masser og i egnede faste morener/moreneleirer trengs mer robust og kraftig CPTU-sonde.
- Ved grunnundersøkelser på sjøen er det et potensiale for forbedringer både operasjonelt og utstyrmessig, og derav kostnadmessig. Dette gjelder både ved boring fra dekk og ved bruk av sjøbunnsjekker; det siste kan bli aktuelt også for "near-shore" grunnundersøkelser i nær framtid.

CPTU-seminar SVV 26.04.2010

NGI's bruk og erfaringer

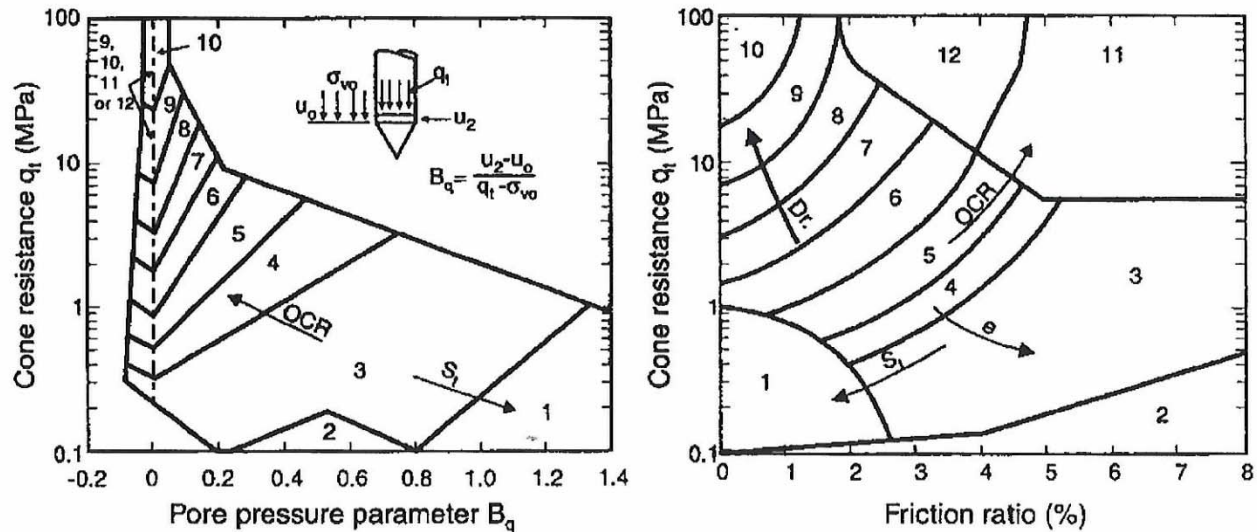
Kjell Karlsrud, NGI

- Generell bakgrunn
- Tolkning av lagdeling
- Bestemmelse av udrenert styrke
- Kontroll, pålitelighet og feilkilder

Generell bakgrunn

- NGI har siden midt på 70-tallet lagt ned stor innsats mht bruk og tolkning av CPTU
- Mye av dette er tatt inn i boken "CPTU Penetration Testing in Geotechnical Practice av Lunne et al (1997)
- Utstrakt bruk offshore sammenheng siden 70-tallet
- Tidlig på 1990 tallet tok NGI en strategisk beslutning om å få metoden inn i vanlig praksis på land i Norge. Dette startet med Gardermobanen.
- Kalibrering mot lab. forsøk på blokkprøver av høy kvalitet har vært av sentral betydning for tolkning i leire

Tolkning av lagdeling



Zone: Soil Behaviour Type:

- | | | |
|---------------------------|------------------------------|------------------------------|
| 1. Sensitive fine grained | 5. Clayey silt to silty clay | 9. Sand |
| 2. Organic material | 6. Sandy silt to clayey silt | 10. Gravelly sand to sand |
| 3. Clay | 7. Silty sand to sandy silt | 11. Very stiff fine grained* |
| 4. Silty clay to clay | 8. Sand to silty sand | 12. Sand to clayey sand* |

* Overconsolidated or cemented.

Oppdaterte CPTU-faktorer for leire
basert på kalibrering mot lab. forsøk
på blokkprøver av meget høy kvalitet

**CPTU- Correlations for Clays
(Paper to ICSMFGE, Osaka 2005)**

K. Karlsrud

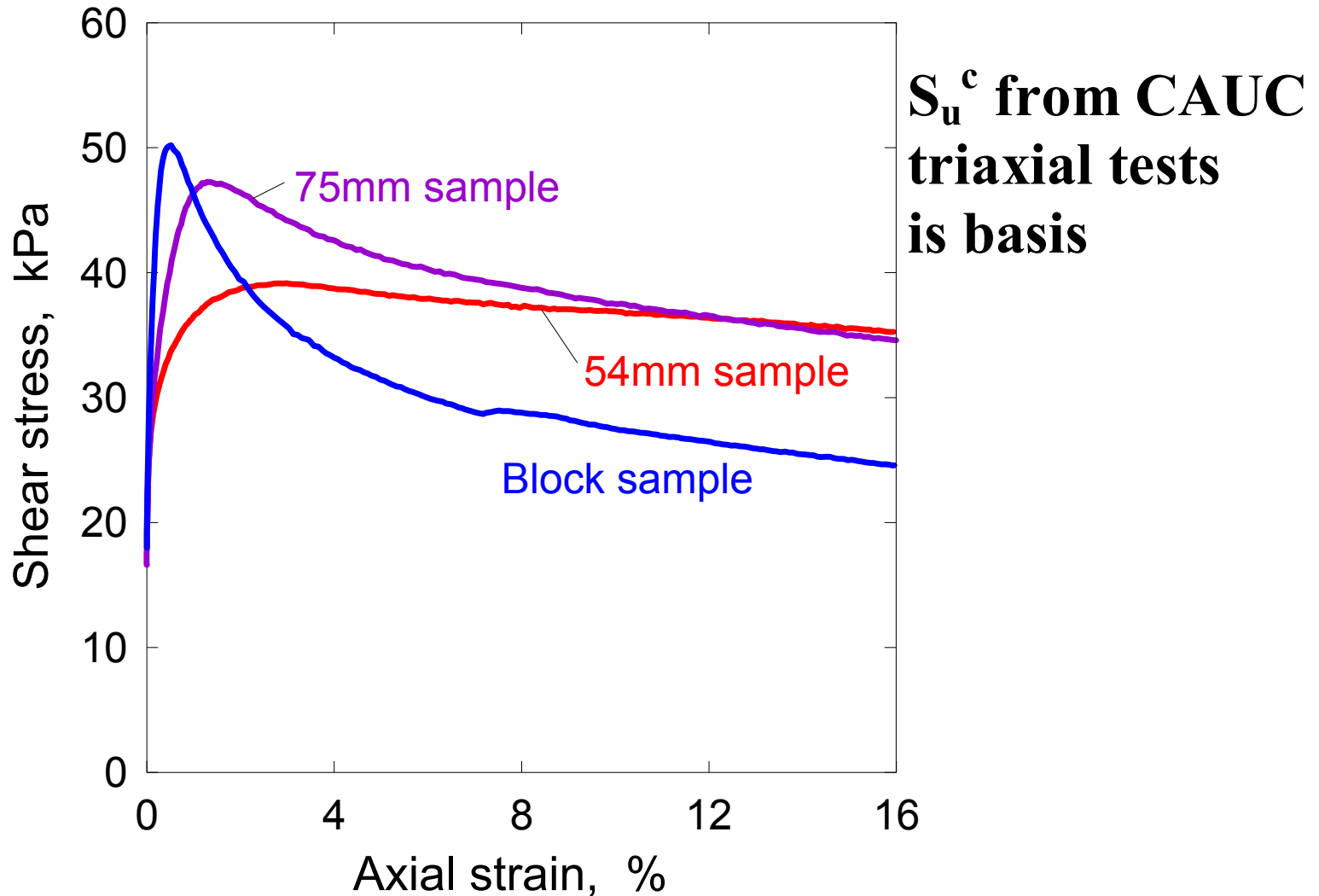
T. Lunne

D.A. Kort

S. Strandvik

Norwegian Geotechnical Institute (NGI)

CPTU factors are correlated against testing of high quality block samples at 17 different sites





Første blokkprøvetaging utført av NGI i 1984 med prøvetager utviklet ved Sherbrooke University i Canada

Cone factors for determination of s_u depend on:

Overconsolidation ratio, OCR

Plasticity index, I_p

Clay sensitivity, S_t

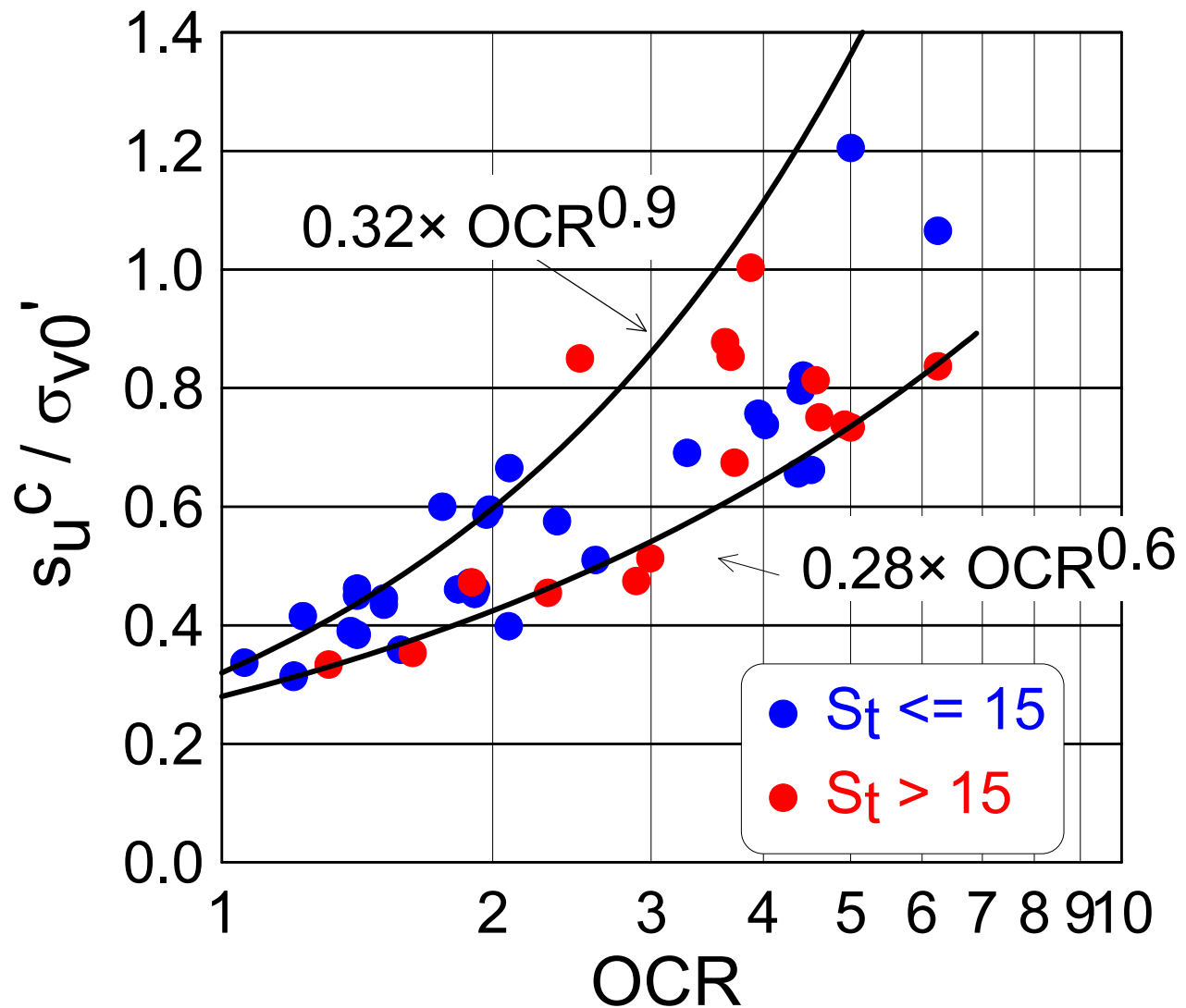
All correlations are made against the active undrained triaxial compression strength

Relationship s_u and OCR

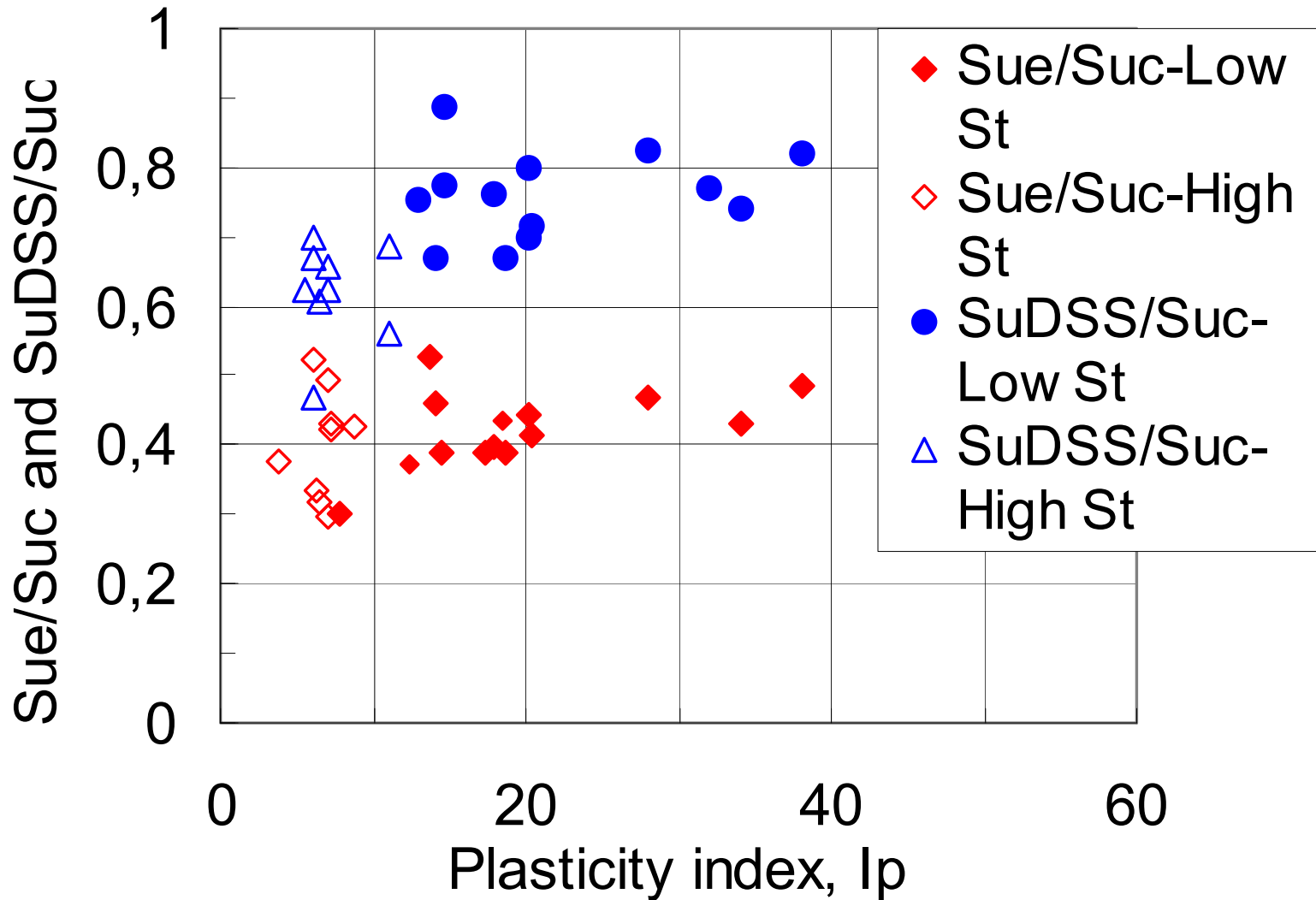
$$s_u/\sigma'_{v0} = \alpha \text{OCR}^\beta$$

$$\alpha = s_u/\sigma'_{v0} \text{ for OCR} = 1.0$$

The normalised triaxial compression strength is related to OCR



Undrained strength anisotropy



Common cone factors

$$N_{\Delta u} = (u_2 - u_0) / s_u^c$$

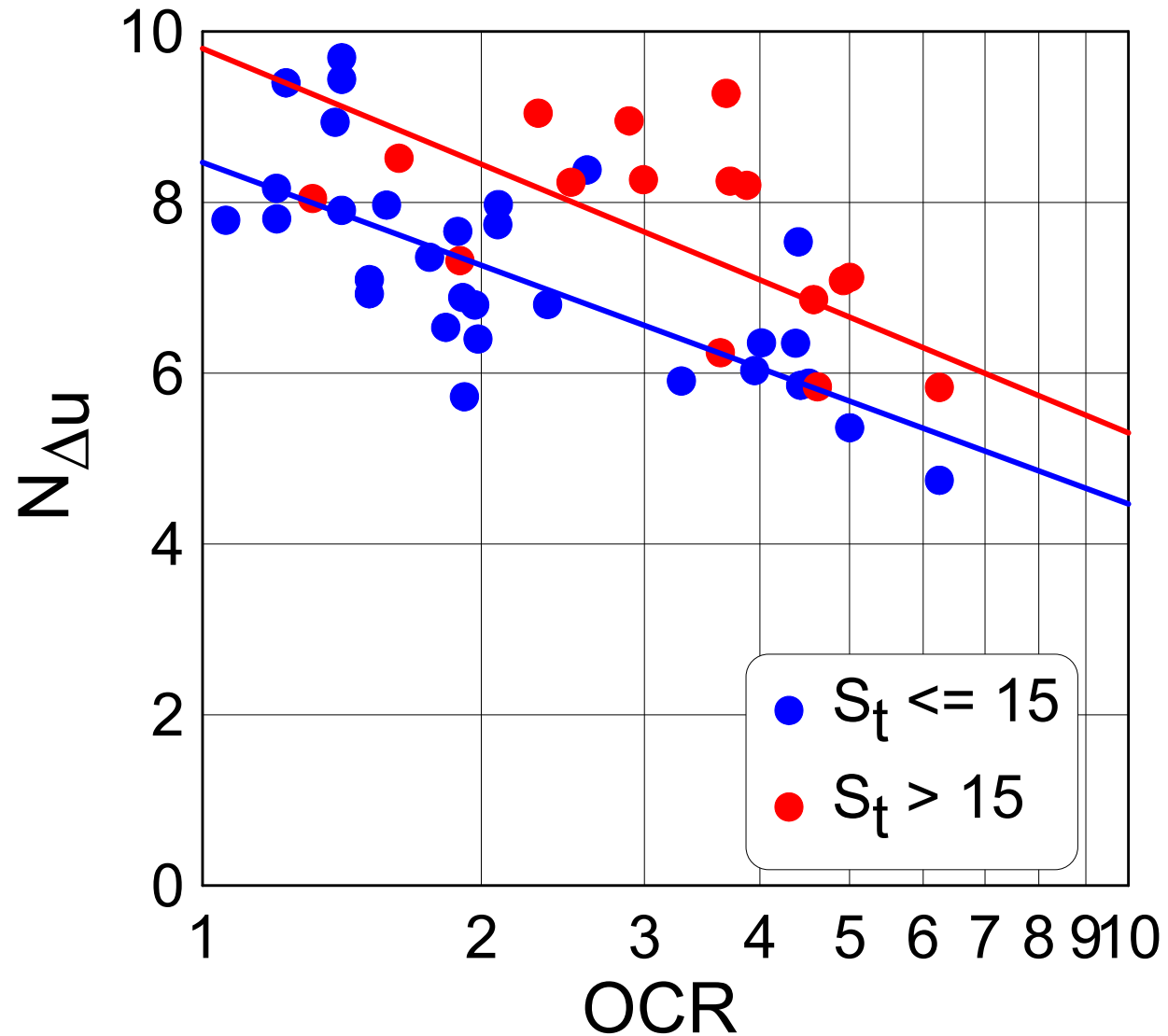
$$N_{kt} = (q_t - \sigma_{v0}) / s_u^c$$

$$N_{ke} = (q_t - u_2) / s_u^c$$

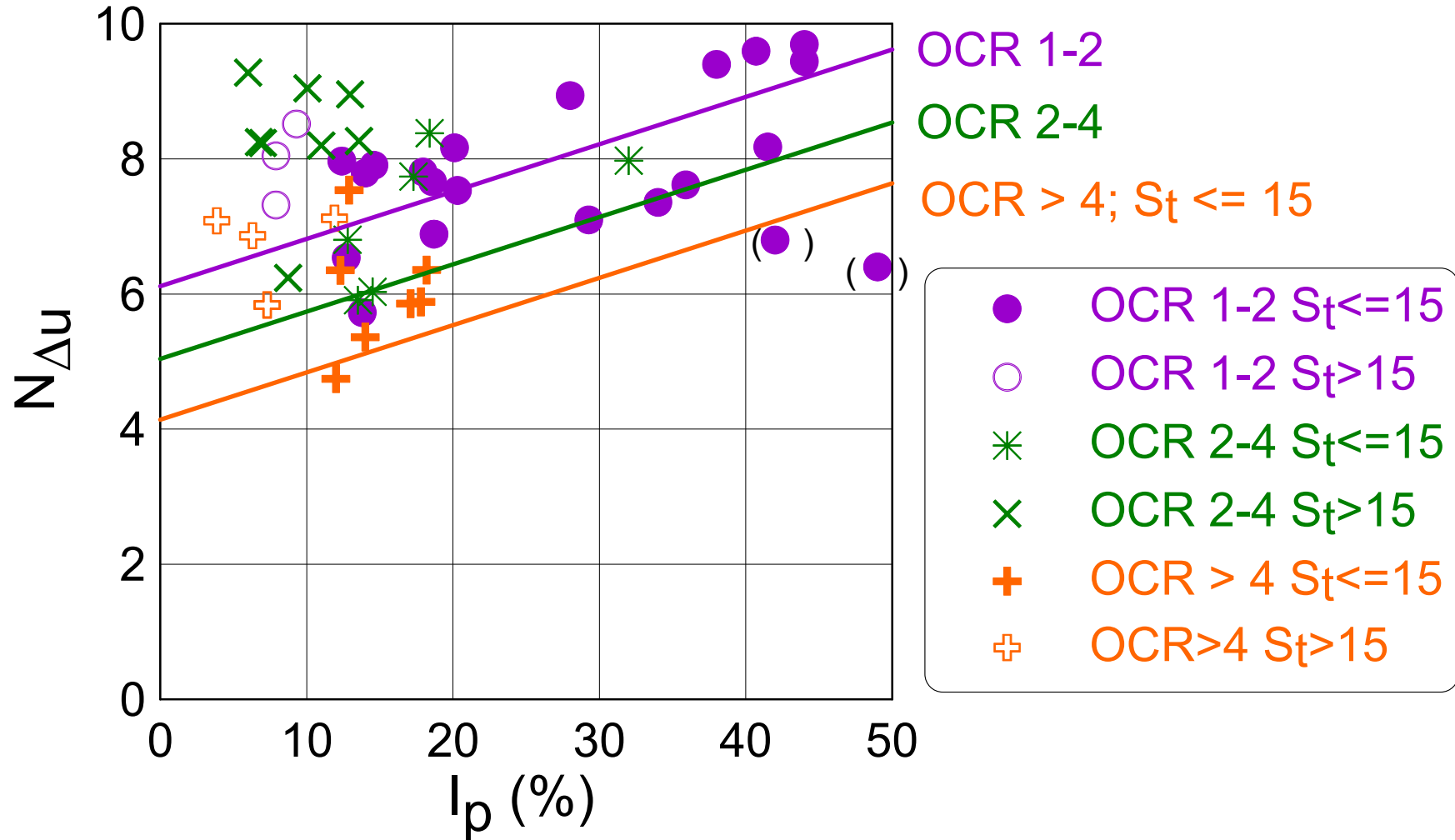
$$\begin{aligned} B_q &= N_{\Delta u} / N_{ke} \\ &= (u_2 - u_0) / (q_t - \sigma_{v0}) \end{aligned}$$

$$Q_t = (q_t - \sigma_{v0}) / \sigma'_{v0}$$

The cone factor $N_{\Delta u}$ shows the best correlation



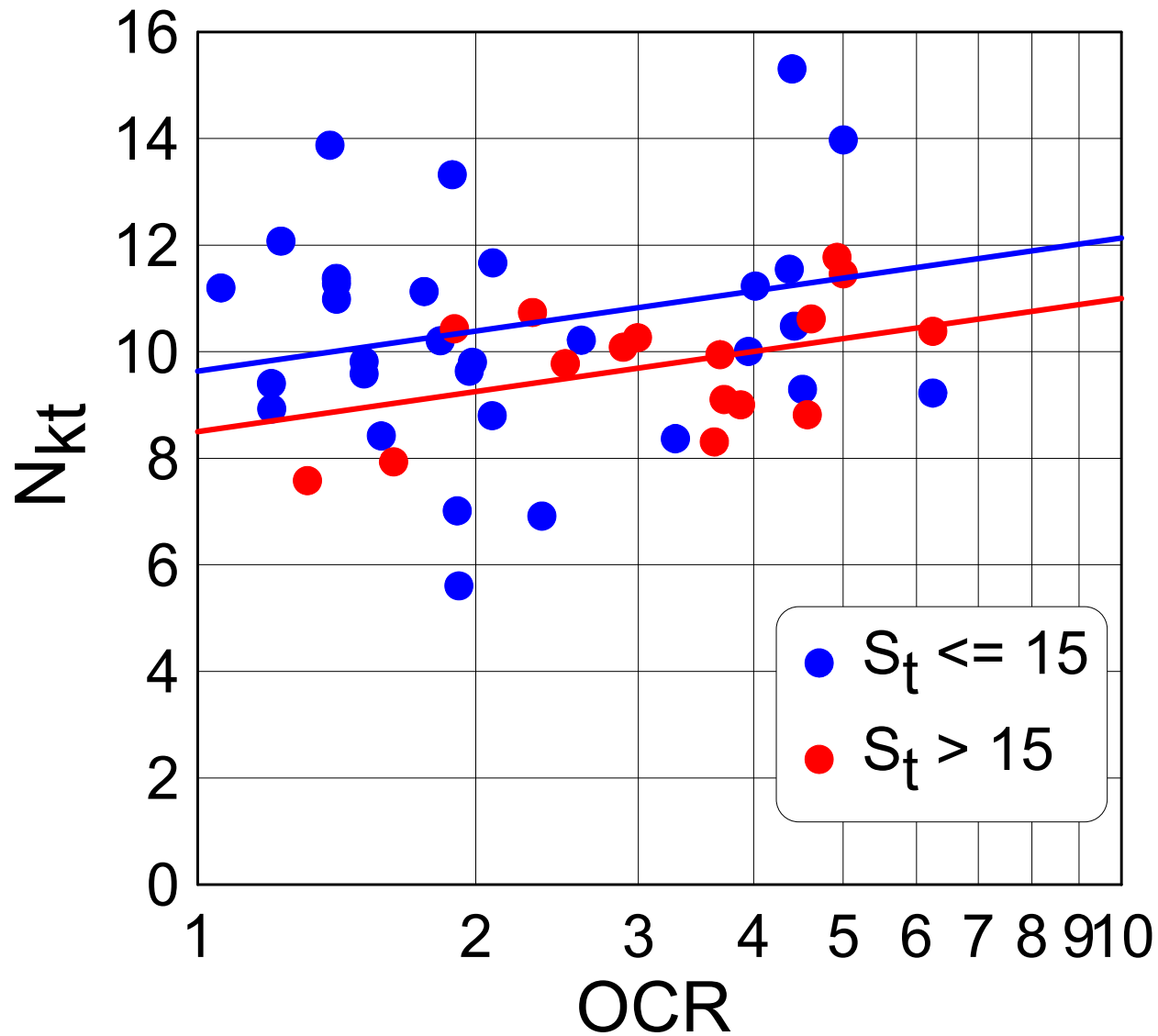
$N_{\Delta u}$ versus I_p and OCR



Correlations to determine s_u^c

Relationship	Standard deviation
$N_{\Delta u} = 6.9 - 4.0 \log \text{OCR} + 0.07 I_p$, $S_t < 15$ $N_{\Delta u} = 9.8 - 4.5 \log \text{OCR}$, $S_t > 15$	0.128
$N_{kt} = 7.8 + 2.5 \log \text{OCR} + 0.082 I_p$, $S_t < 15$ $N_{kt} = 8.5 + 2.5 \log \text{OCR}$, $S_t > 15$	0.197
$N_{ke} = 11.5 - 9.05 B_q$, $S_t < 15$ $N_{ke} = 12.5 - 11.0 B_q$, $S_t > 15$	0.172

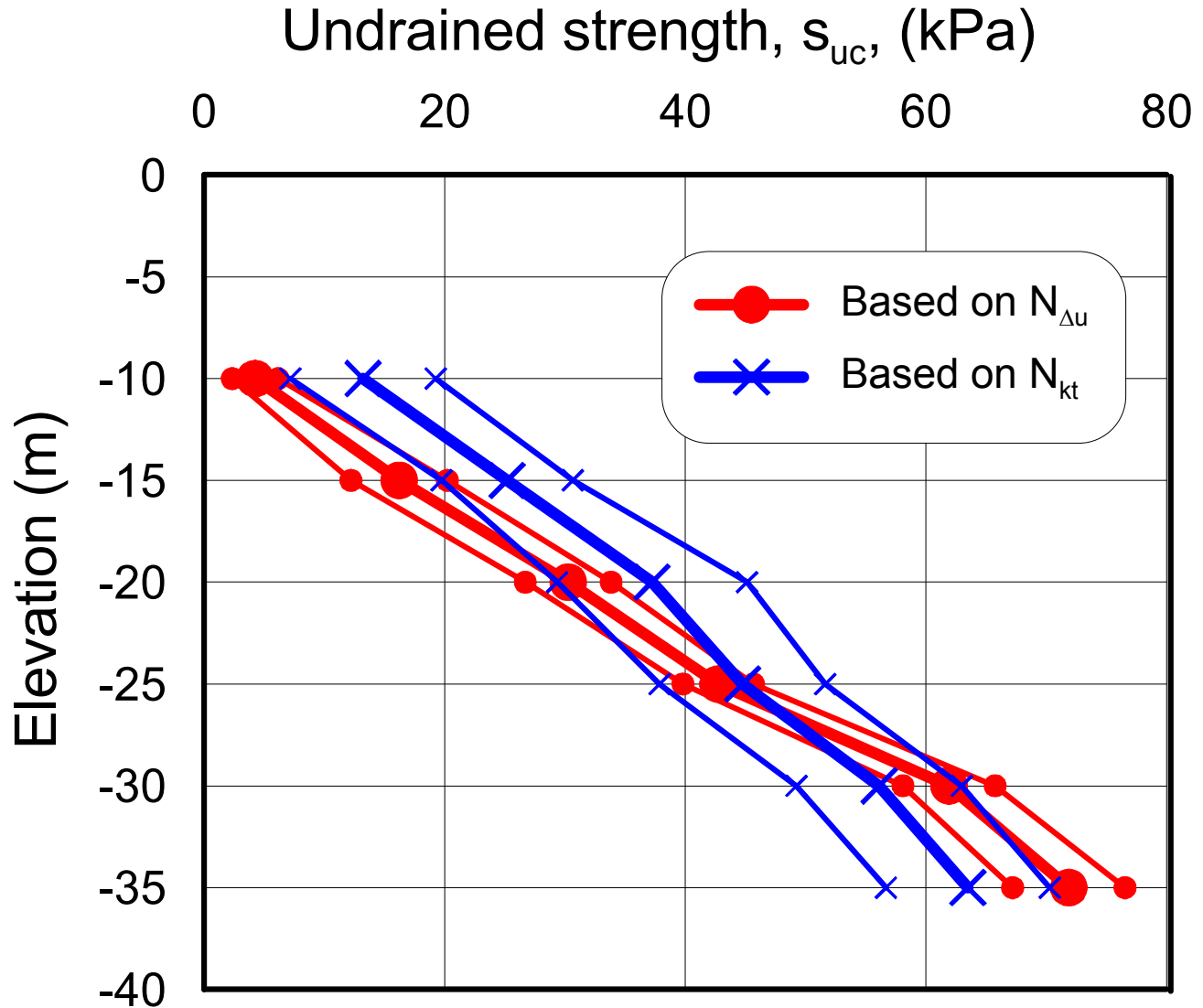
N_{KT} versus OCR



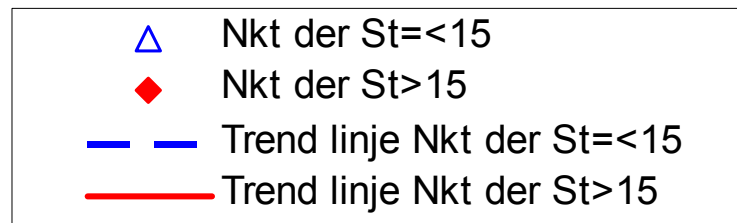
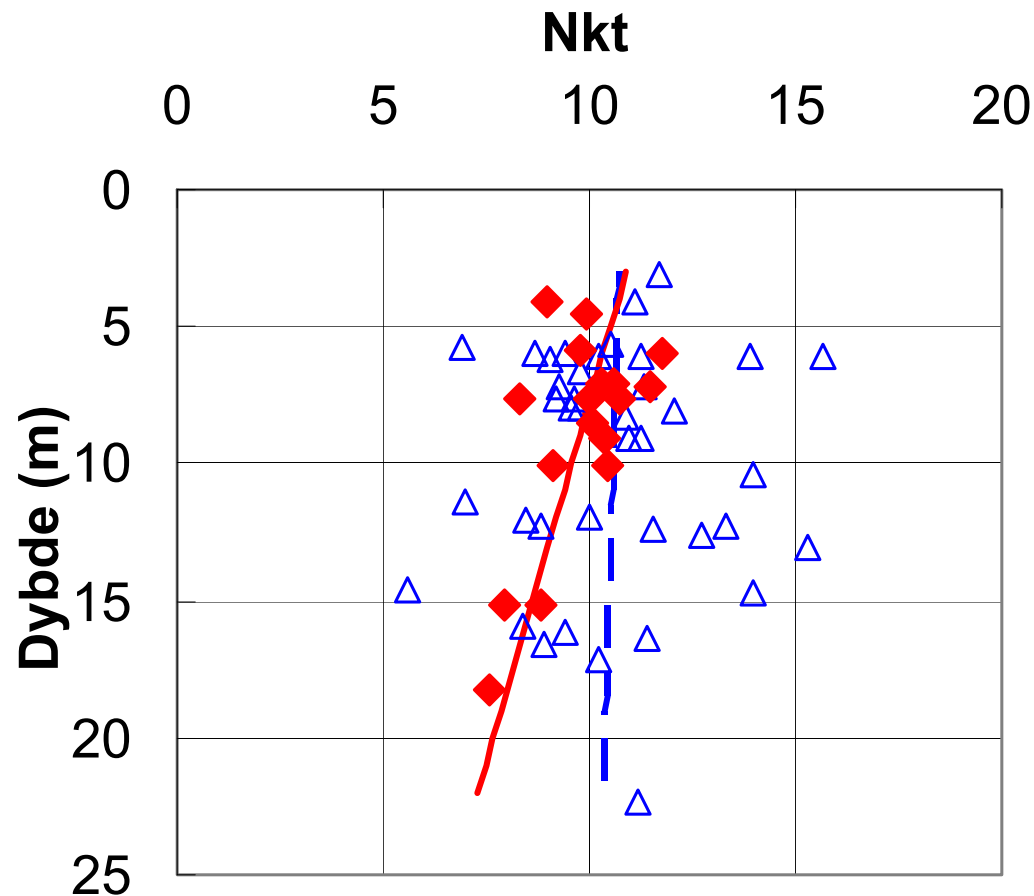
Correlations to determine s_u^c

Relationship	Standard deviation
$N_{\Delta u} = 6.9 - 4.0 \log \text{OCR} + 0.07 I_p$, $S_t < 15$ $N_{\Delta u} = 9.8 - 4.5 \log \text{OCR}$, $S_t > 15$	0.128
$N_{kt} = 7.8 + 2.5 \log \text{OCR} + 0.082 I_p$, $S_t < 15$ $N_{kt} = 8.5 + 2.5 \log \text{OCR}$, $S_t > 15$	0.197
$N_{ke} = 11.5 - 9.05 B_q$, $S_t < 15$ $N_{ke} = 12.5 - 11.0 B_q$, $S_t > 15$	0.172

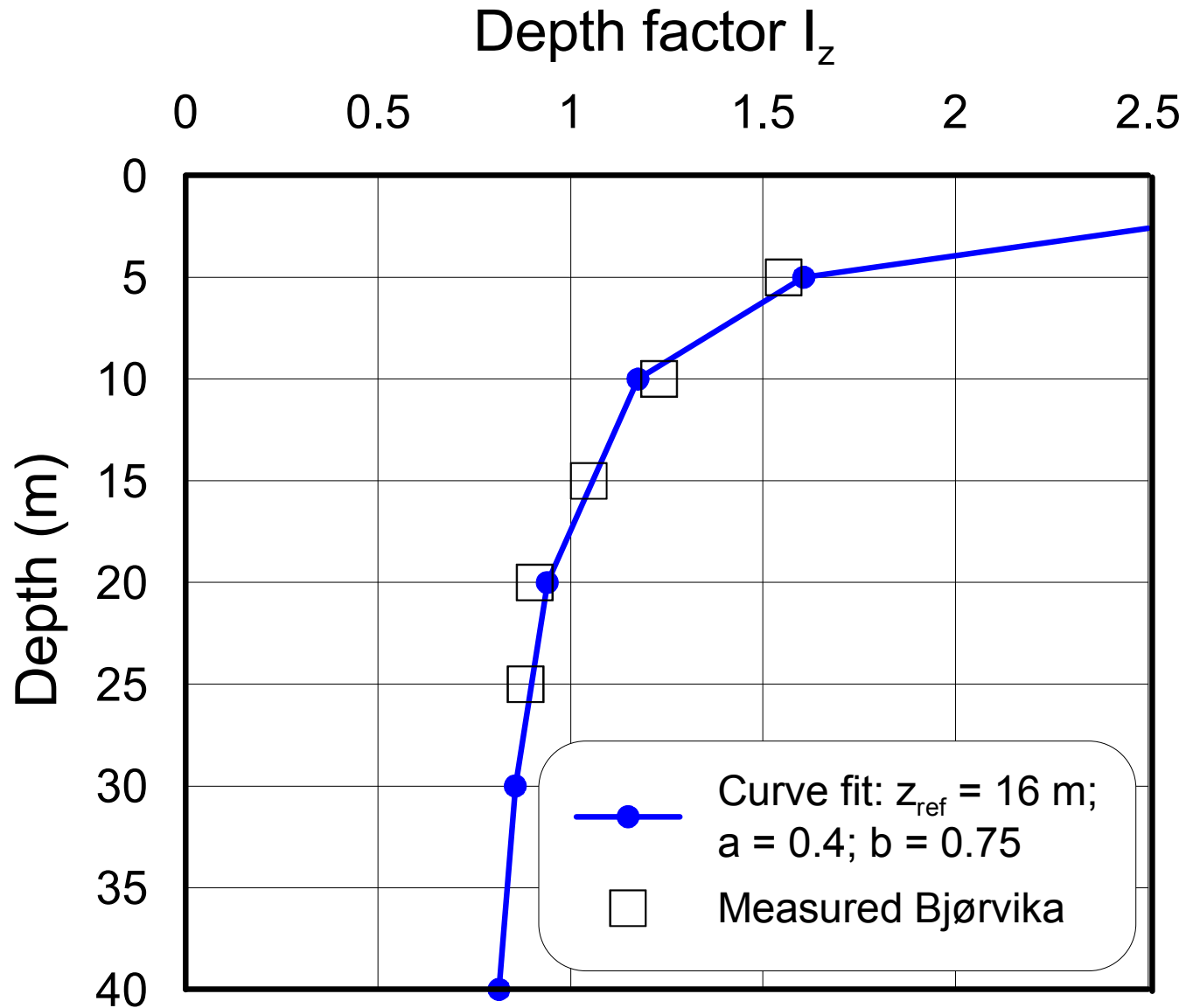
N_{KT} seems to vary with absolute depth



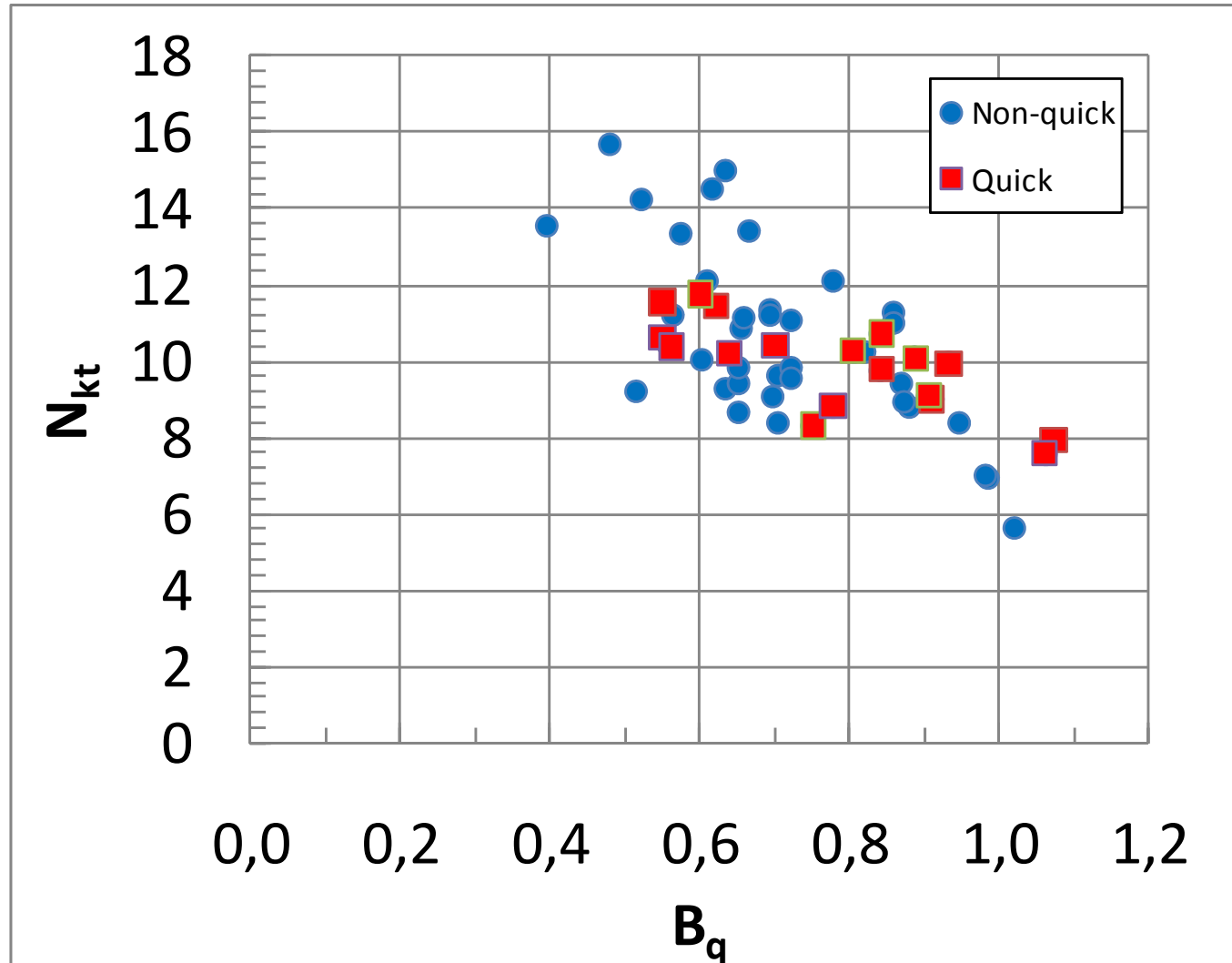
N_{kt} i relasjon til dybde blokkprøve



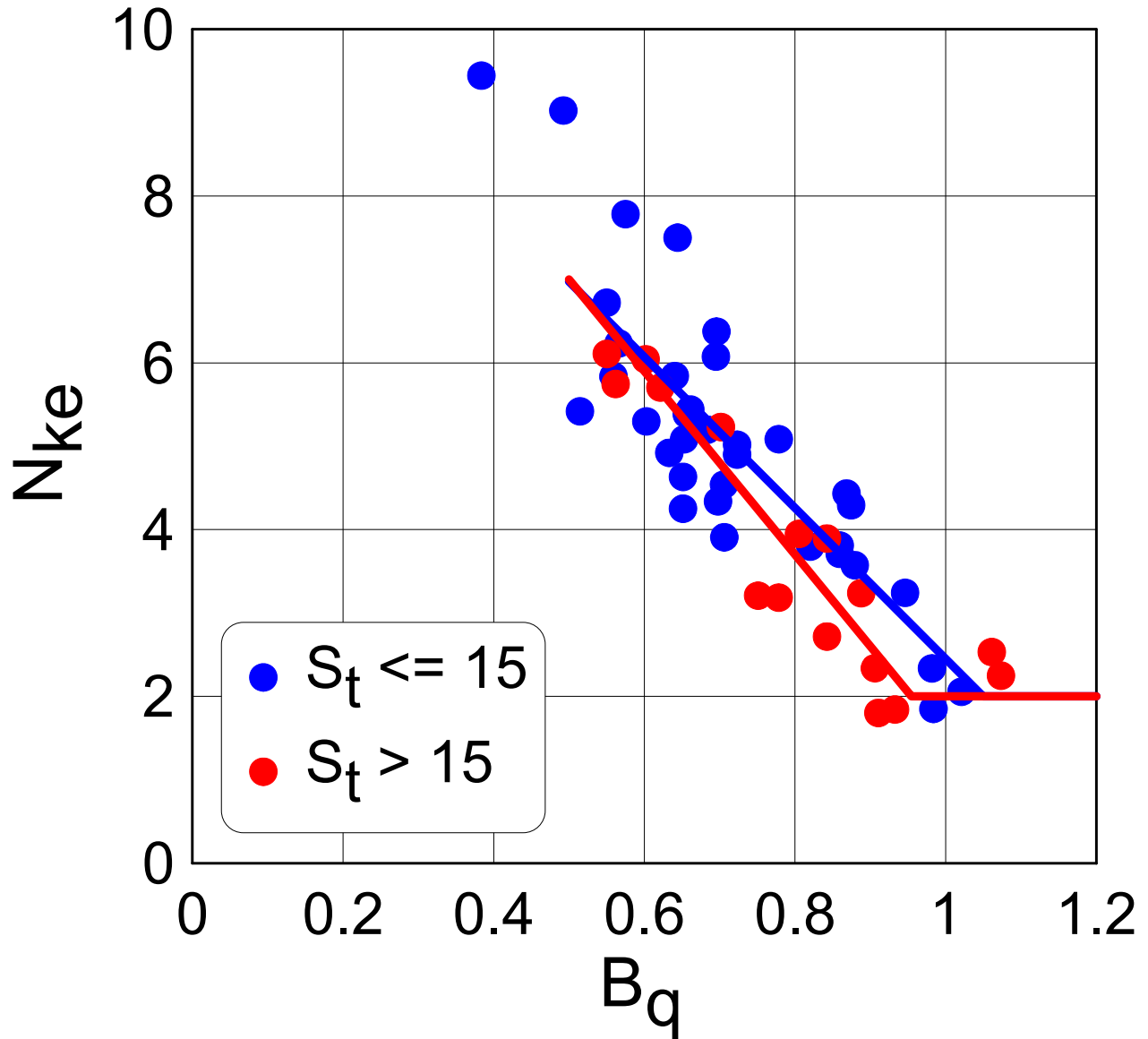
Depth factor – case Bjørvika



N_{kt} i relasjon B_q



N_{KE} versus B_q



Common cone factors

$$N_{\Delta u} = (u_2 - u_0) / s_u^c$$

$$N_{kt} = (q_t - \sigma_{v0}) / s_u^c$$

$$N_{ke} = (q_t - u_2) / s_u^c$$

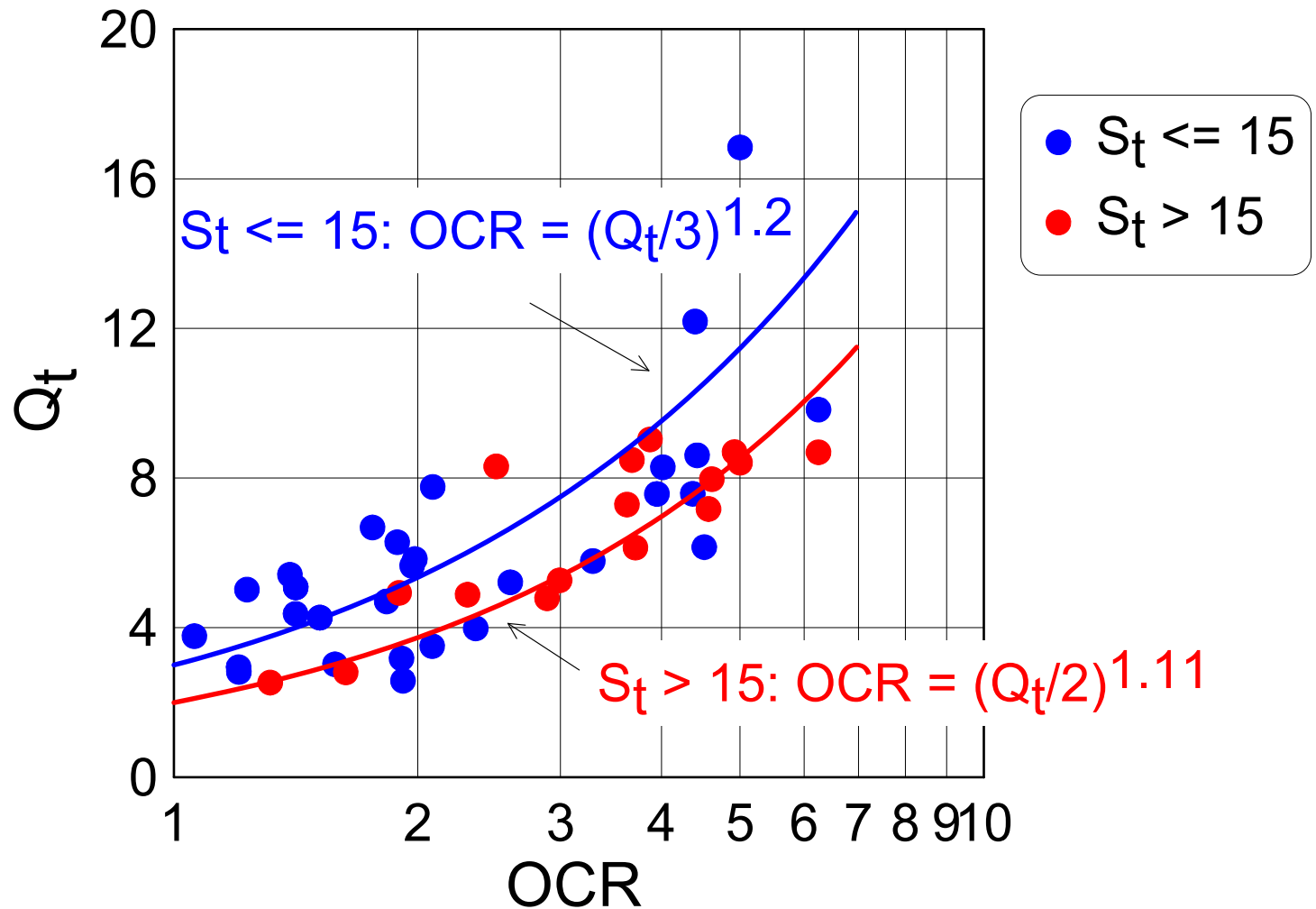
$$\begin{aligned} B_q &= N_{\Delta u} / N_{ke} \\ &= (u_2 - u_0) / (q_t - \sigma_{v0}) \end{aligned}$$

$$Q_t = (q_t - \sigma_{v0}) / \sigma'_{v0}$$

Correlations to determine s_u^c

Relationship	Standard deviation
$N_{\Delta u} = 6.9 - 4.0 \log \text{OCR} + 0.07 I_p$, $S_t < 15$ $N_{\Delta u} = 9.8 - 4.5 \log \text{OCR}$, $S_t > 15$	0.128
$N_{kt} = 7.8 + 2.5 \log \text{OCR} + 0.082 I_p$, $S_t < 15$ $N_{kt} = 8.5 + 2.5 \log \text{OCR}$, $S_t > 15$	0.197
$N_{ke} = 11.5 - 9.05 B_q$, $S_t < 15$ $N_{ke} = 12.5 - 11.0 B_q$, $S_t > 15$	0.172

Q_t is best parameter for independent determination of OCR



Common cone factors

$$N_{\Delta u} = (u_2 - u_0) / s_u^c$$

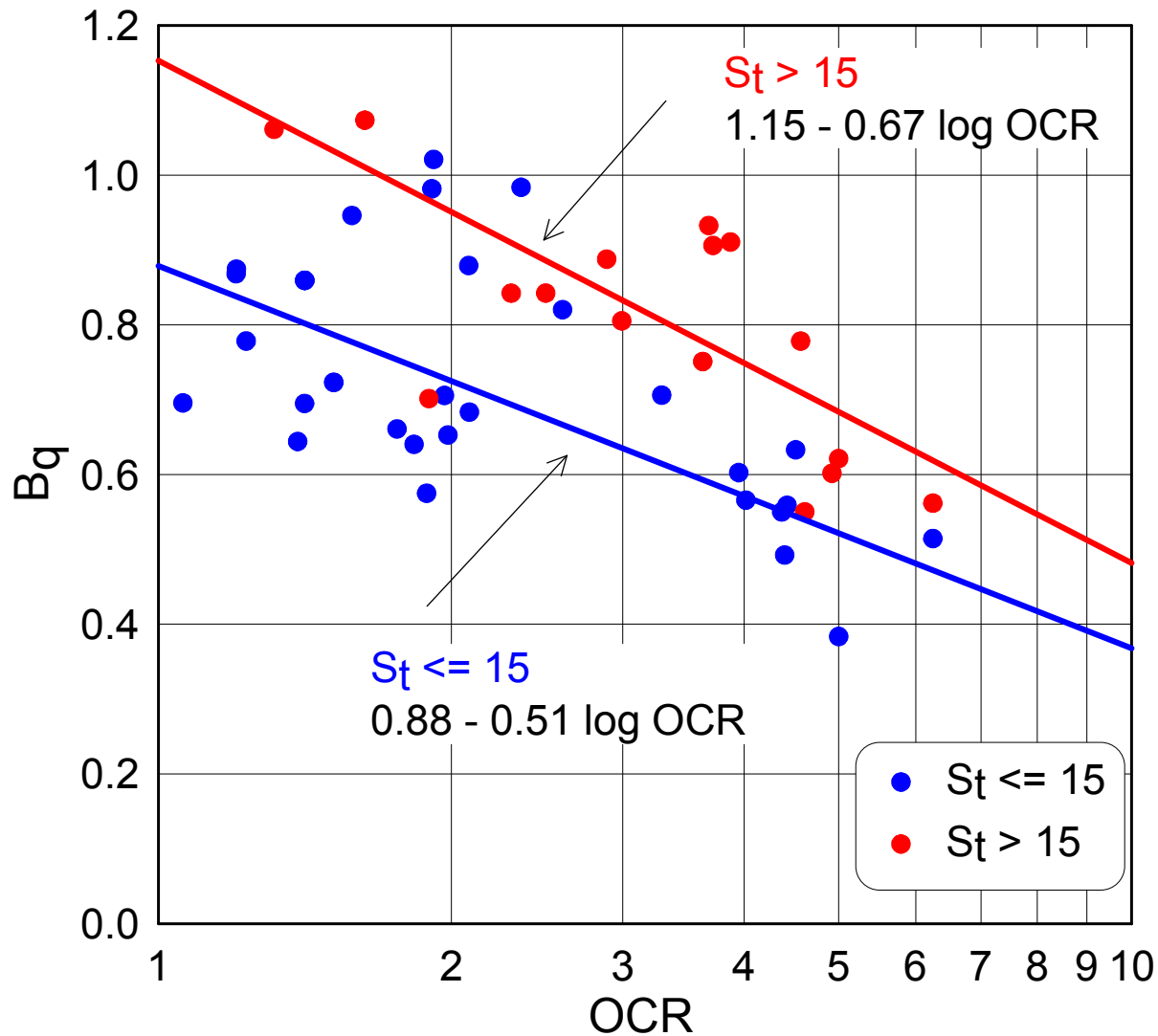
$$N_{kt} = (q_t - \sigma_{v0}) / s_u^c$$

$$N_{ke} = (q_t - u_2) / s_u^c$$

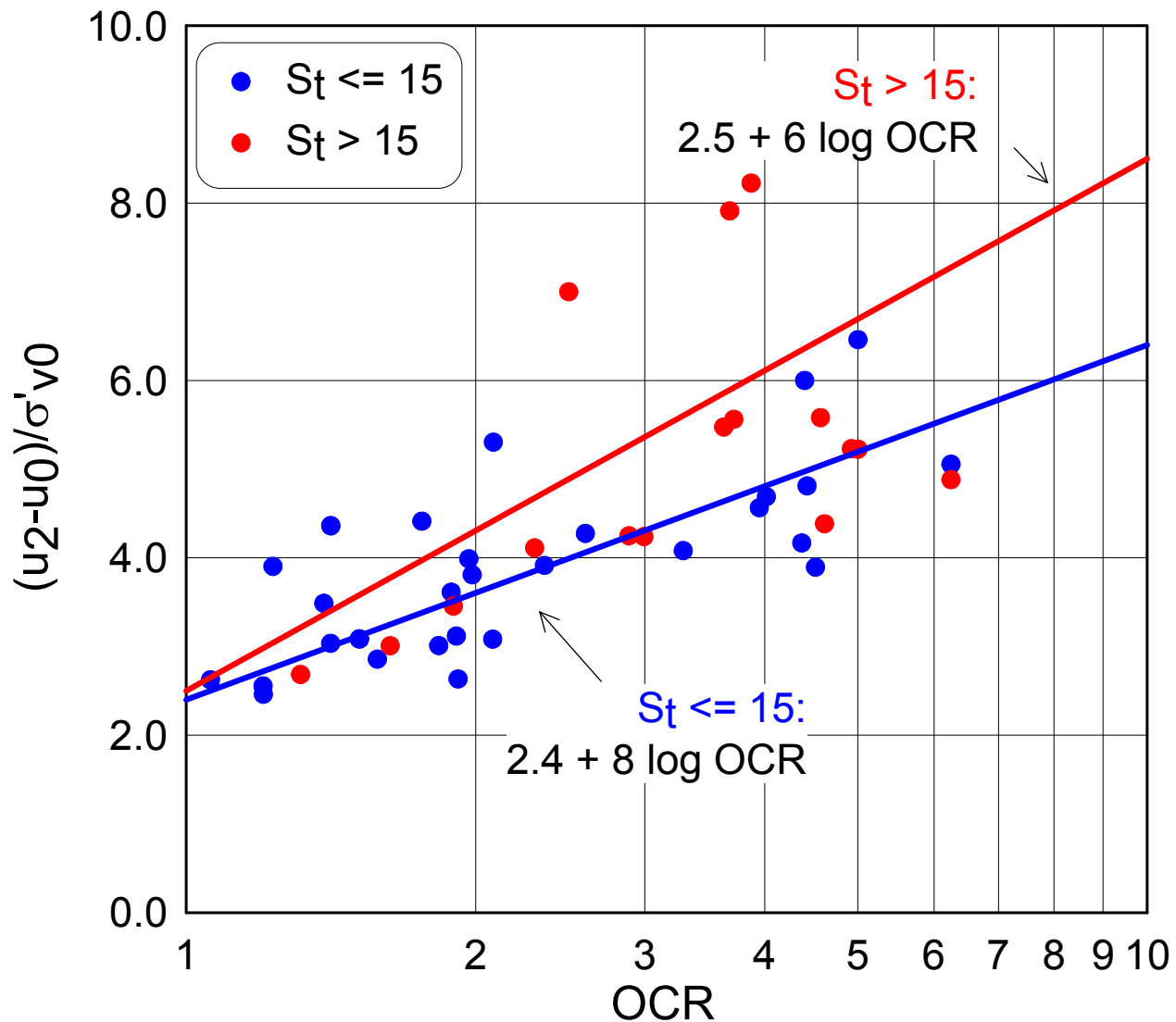
$$\begin{aligned} B_q &= N_{\Delta u} / N_{ke} \\ &= (u_2 - u_0) / (q_t - \sigma_{v0}) \end{aligned}$$

$$Q_t = (q_t - \sigma_{v0}) / \sigma'_{v0}$$

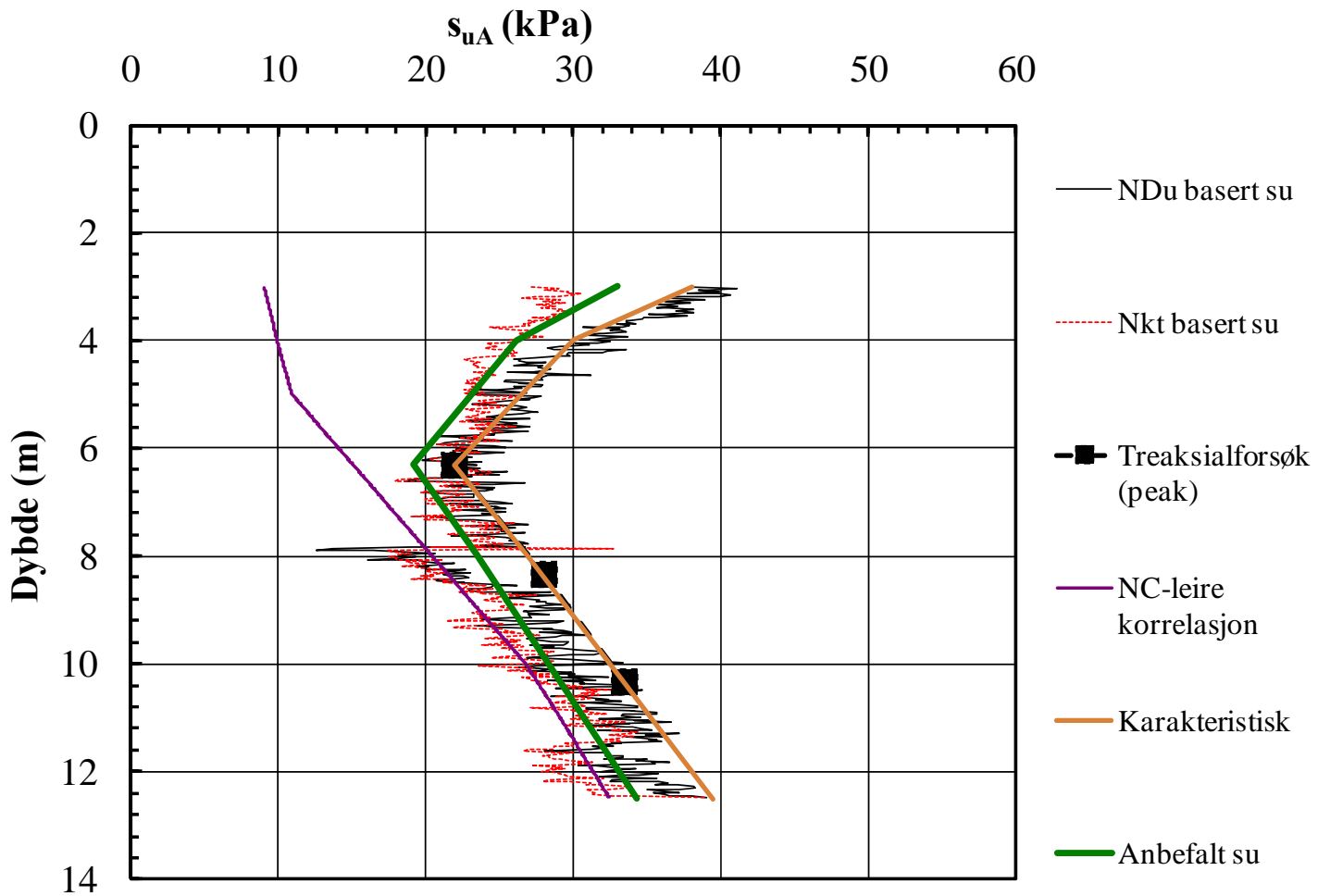
OCR in relation to B_q



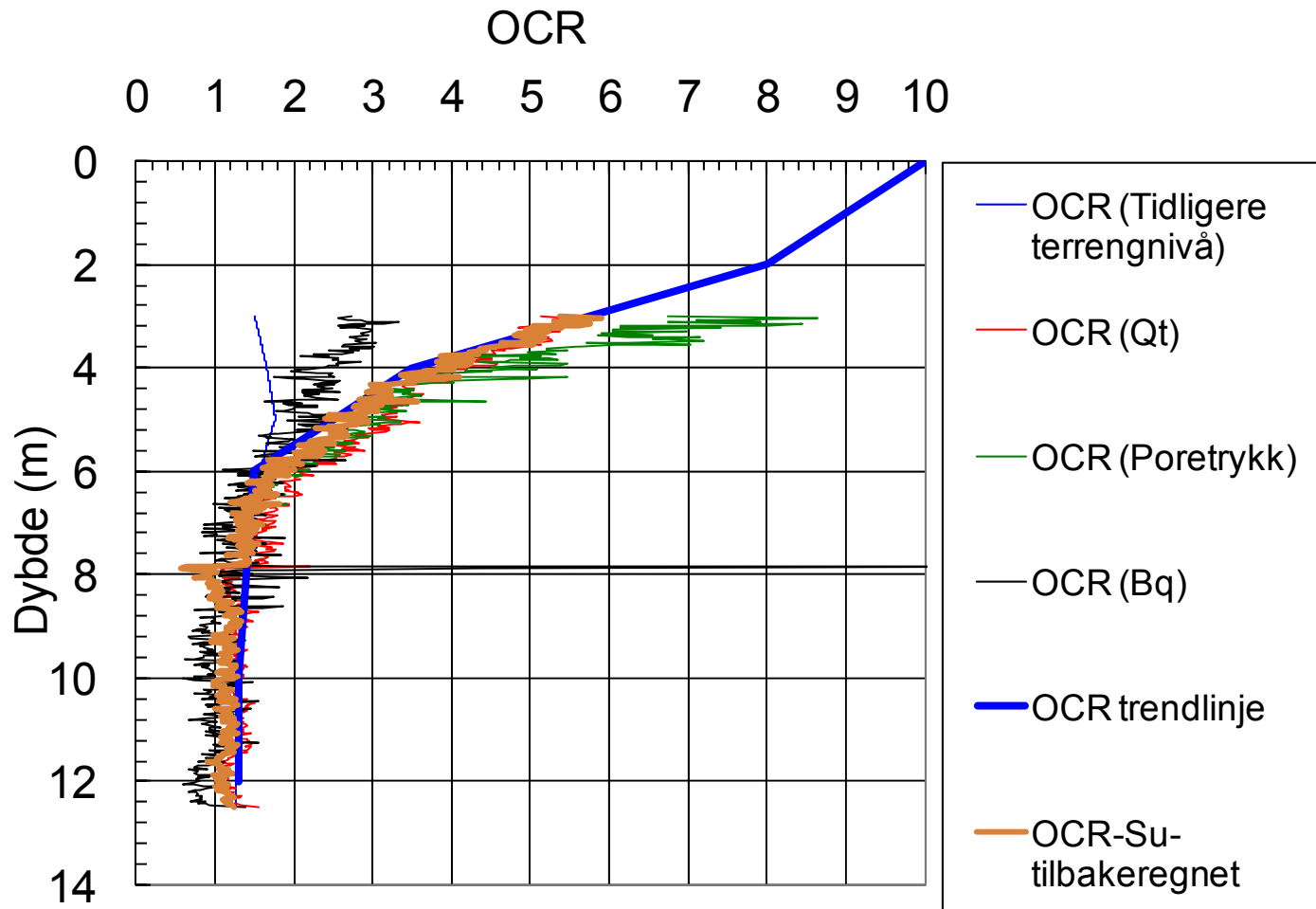
OCR in relation to Δu



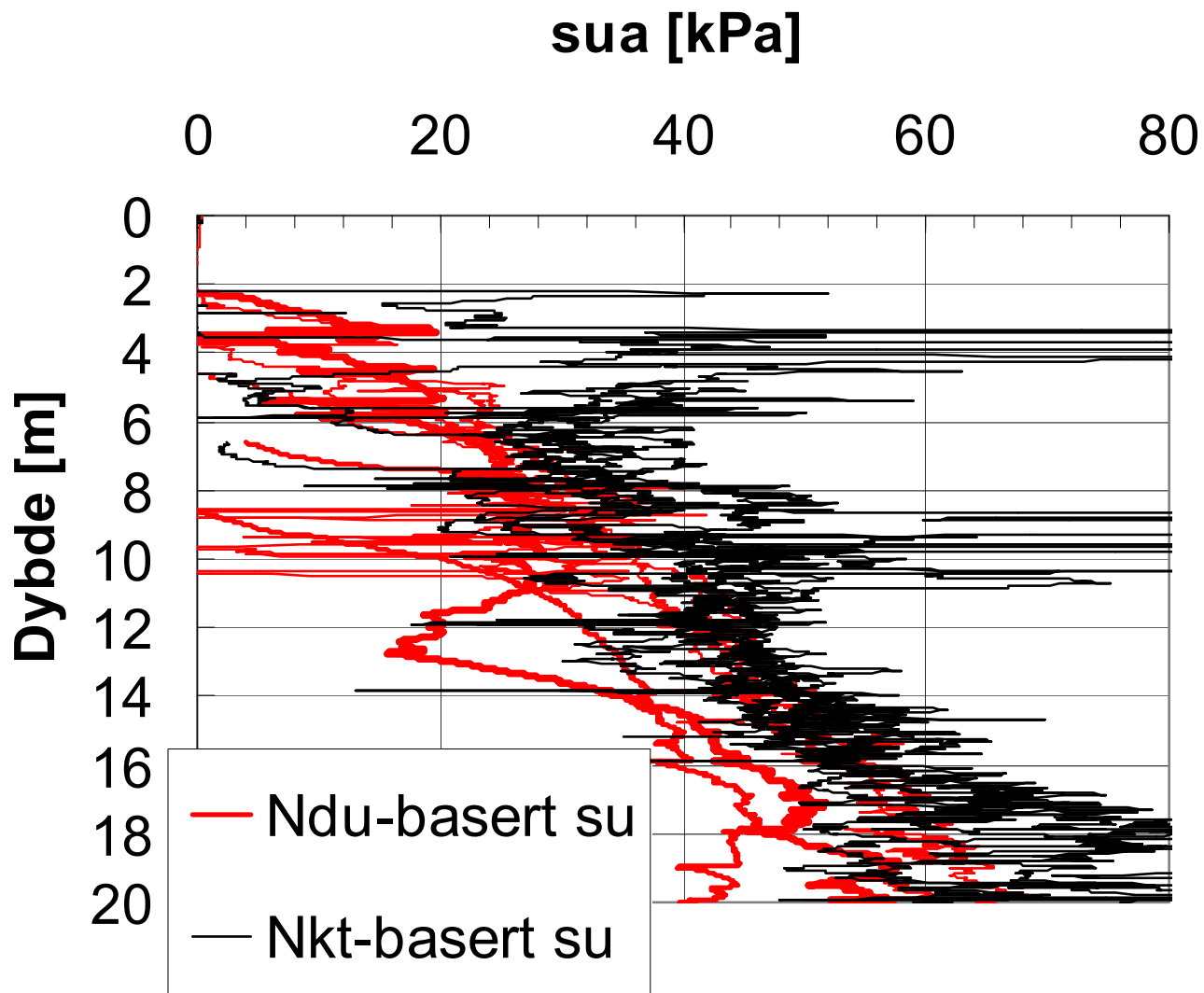
Eksempel Kattmarks, Namsos



Bestem OCR på ulike måter og velg noe som er rimelig i konsistent med beregnet s_{uc}



Kontroller avvik mellom su fra Ndu og Nkt



Konklusjoner

- Poretrykk gir beste korrelasjon til udrenert styrke
- Sjekk alltid at poretrykksrespons virker fornuftig (metning!!). Lav B_q og høy styrke fra N_{KT} indikerer dårlig metning eller grovere masser.
- Husk at korrelasjonene er mot blokkprøver av meget høy kvalitet. Valg av karakteristisk styrke må sees i forhold til potensialet for sprøbrudd oppførsel

Kontroll, pålitelighet og feilkilder

- Repeterbarhet og nøyaktighet av sonde
- Kalibrering og nullavlesening
- Dårlig metning av poretrykksfilter (sonde avhengig)
- Feil ved korreksjon for lufttrykk
- Feil ved korreksjon av vanntrykk ved sondring i sjø
- Feil/manglende data vedr. in-situ poretrykk

Statistical evaluation of CPTUs at Onsøy

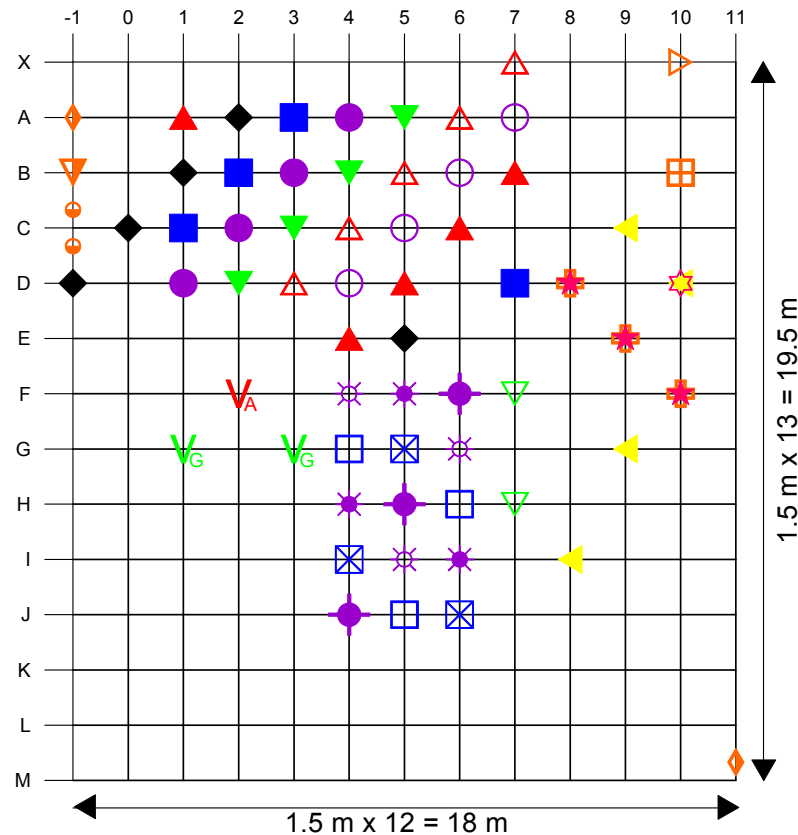
Tom Lunne, NGI

- **Testing out of measured CPTU parameters in a soft marine clay**
 - *Can cone penetrometers normally used for commercial and R&D projects meet the requirements to Accuracy Class 1 of the International Reference Test Procedure (IRTP) (Published by ISSMGE, 1999)?*
- **Participating companies:**
ENVI, Geotech, Geomil, APvdBerg, Fugro, Pagani, Geodelft

Reliability of CPTU test results are affected by:

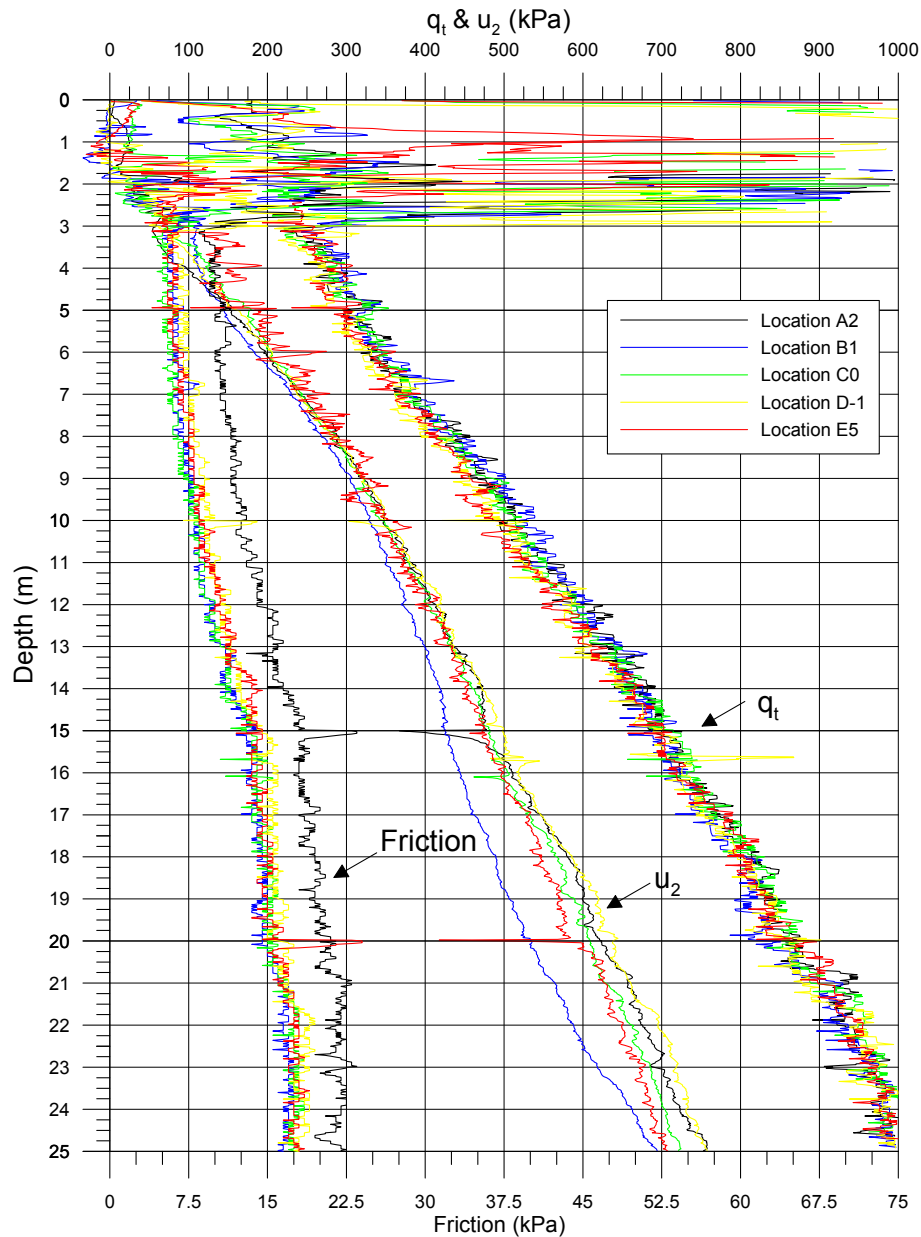
- Mechanical design of cone
- Sensor design
- Measurement range
- Data logging system
- Hysterises effects
- Calibration procedures
- Zero-reading at start and end each boring
- Filter type and proven saturation procedure

CPTUs at NGI's Onsøy site



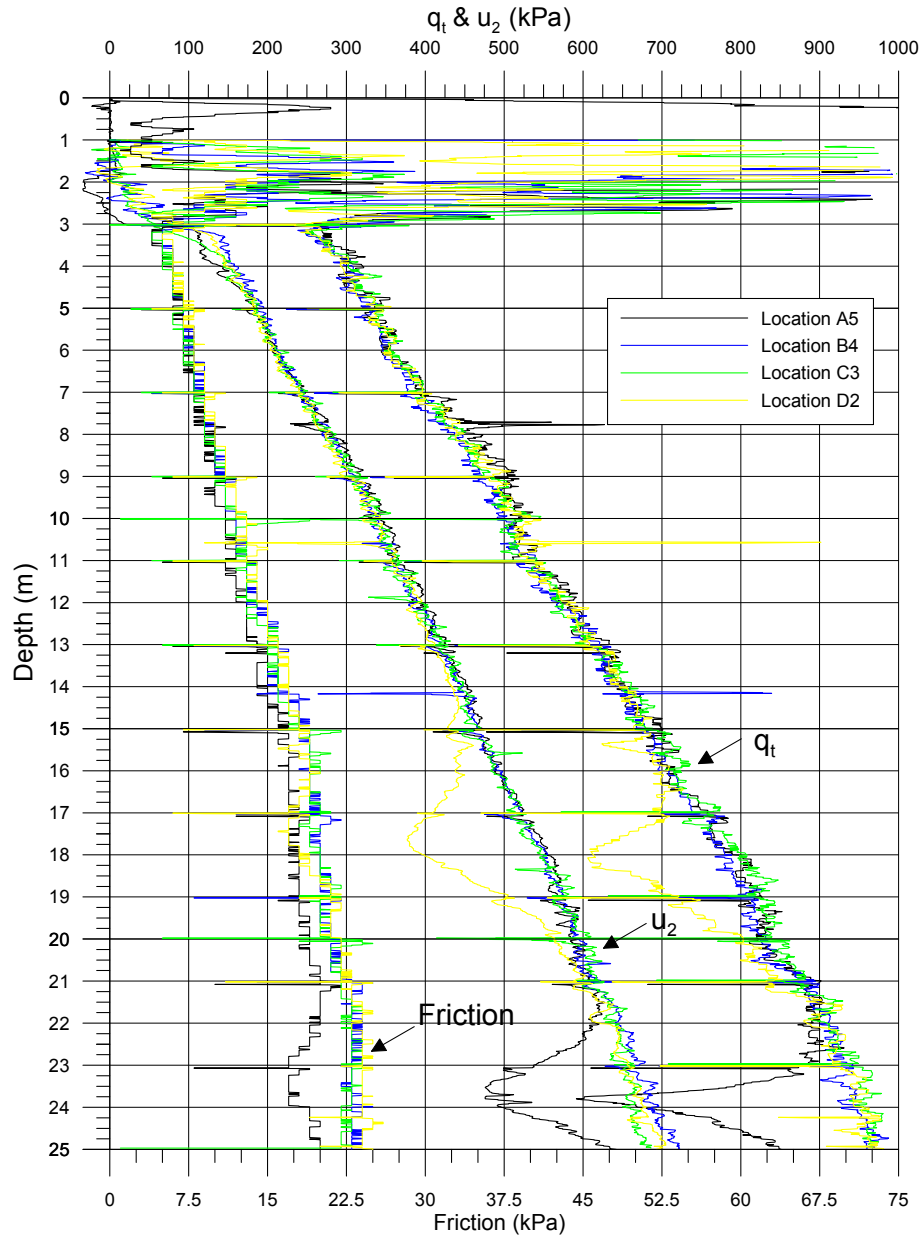
▲	A.P vd Berg, Coson (Continuous)	○	NGI, piezometer
△	A.P vd Berg, Standard (Discontinuous)	▽	NGI, CPTU
■	Geomil, 10 cm ² , u ₂	◇	NGI, rotary sounding
□	Geomil, 10 cm ² , u ₁	⊞	NGI, BL1 (block sampling)
▼	Geotech	⊞	NGI, BH1 (tube sampling, 54 mm compsite)
▽	Geotech w/ el. cond. & temp.	△	NGI, Dissipation test (DPP)
◆	ENVI	⊞	Geomil, no u
●	Fugro, 10 cm ² , u ₂	✱	Fugro, 15 cm ² , butt, u ₁
○	Fugro, 10 cm ² , u ₁	✱	Fugro, 15 cm ² , butt, u ₂
◀	Pagani	◆	Fugro, 33 cm ² , u ₂
★	Statens Vegvesen	▲	A.P. vd Berg, Vane
		▼	Geotech, Vane
		☆	Statens Vegvesen, (54 mm modified)

CPTUs at NGI's Onsøy site



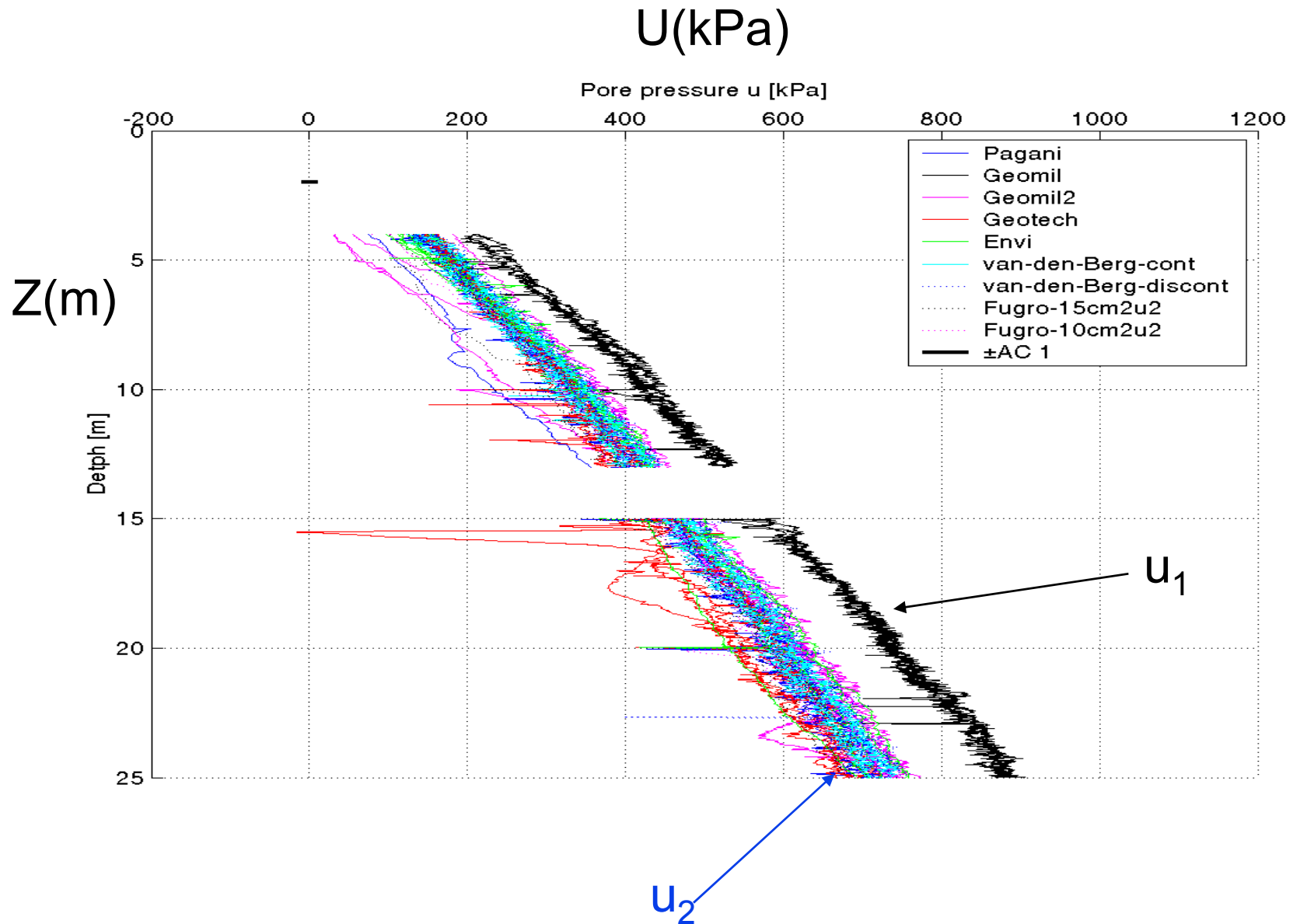
ENVI

CPTUs at NGI's Onsøy site

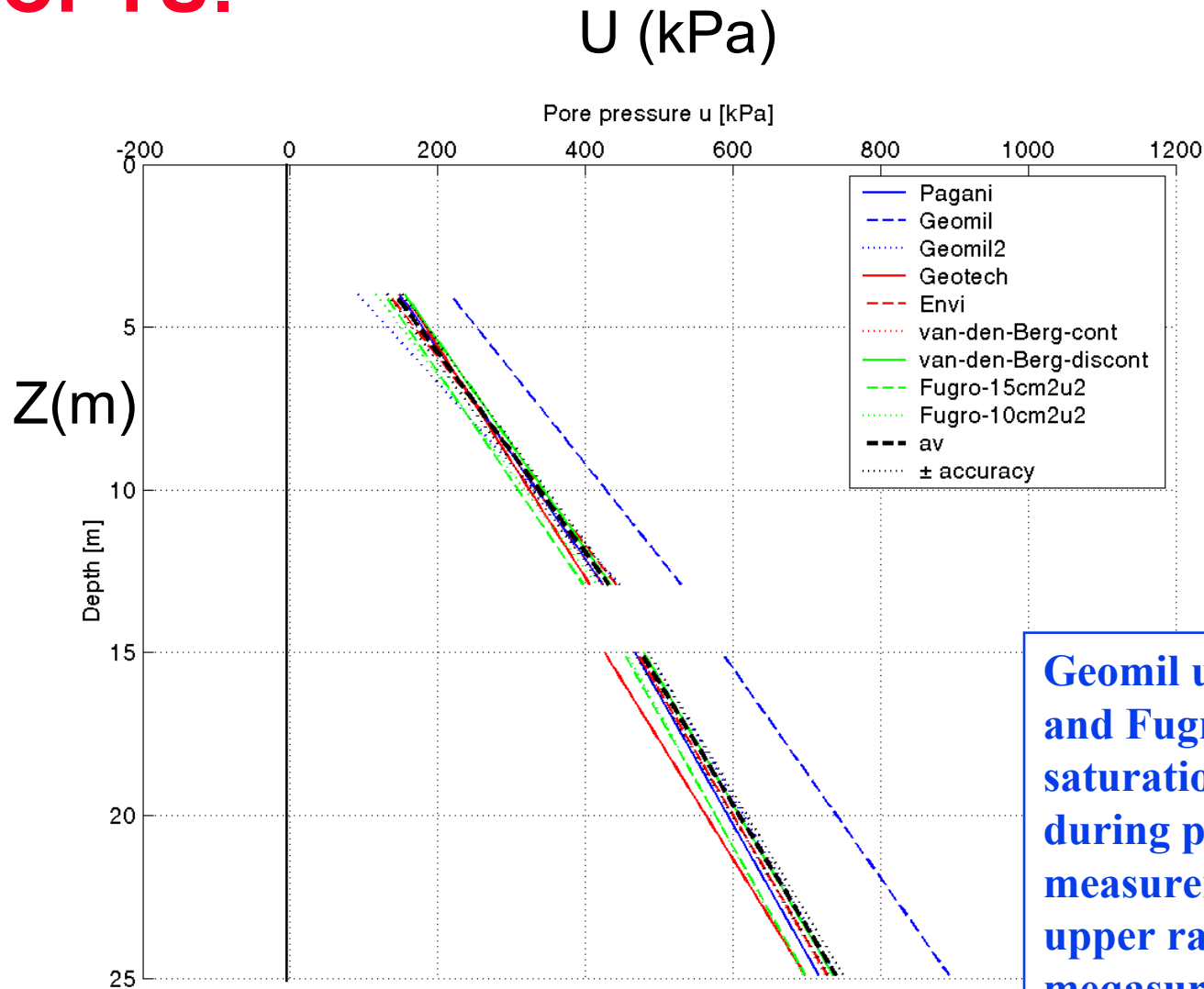


Geotech

Summary of all u values

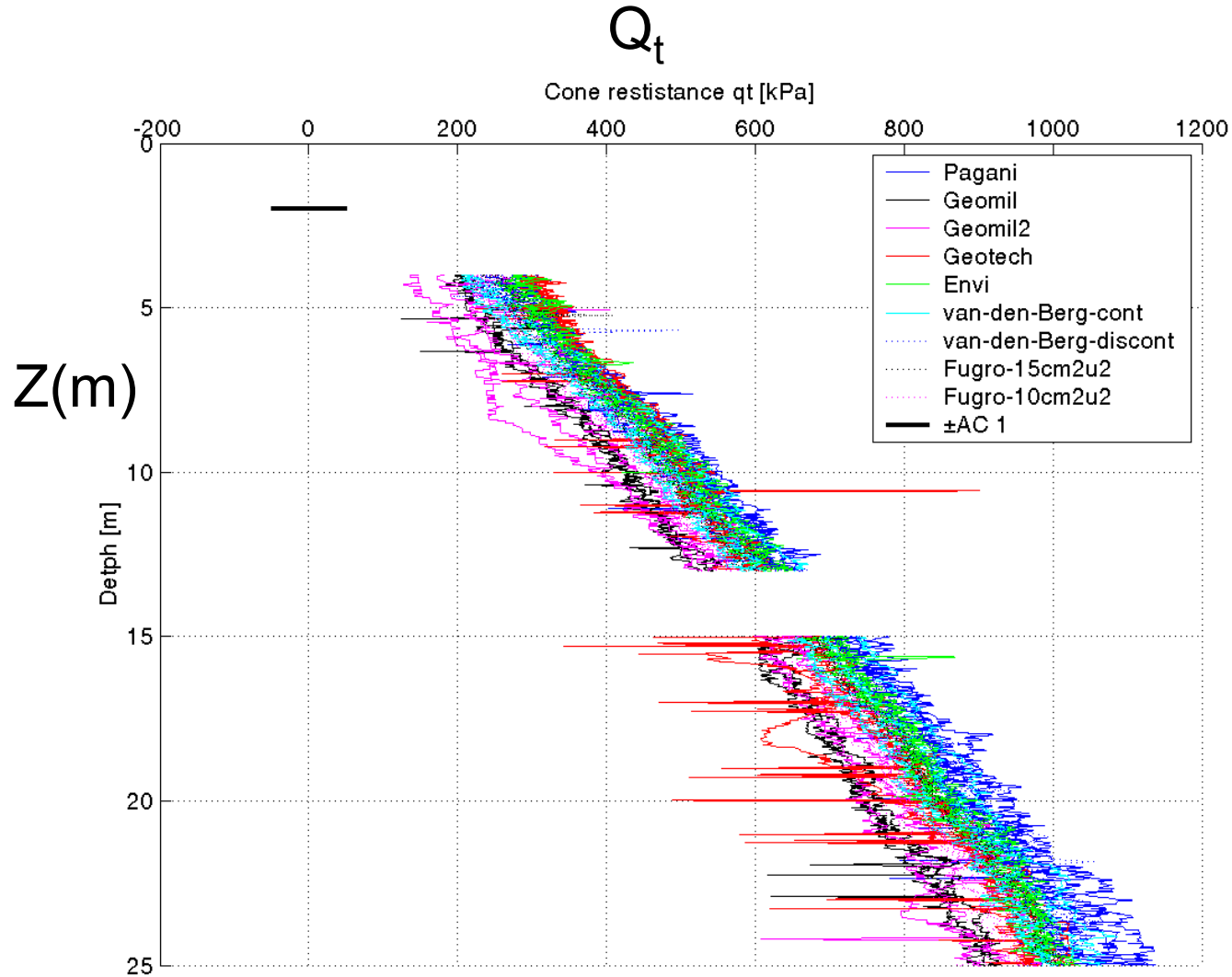


Mean trend for pore pressure, u , for each CPTU.

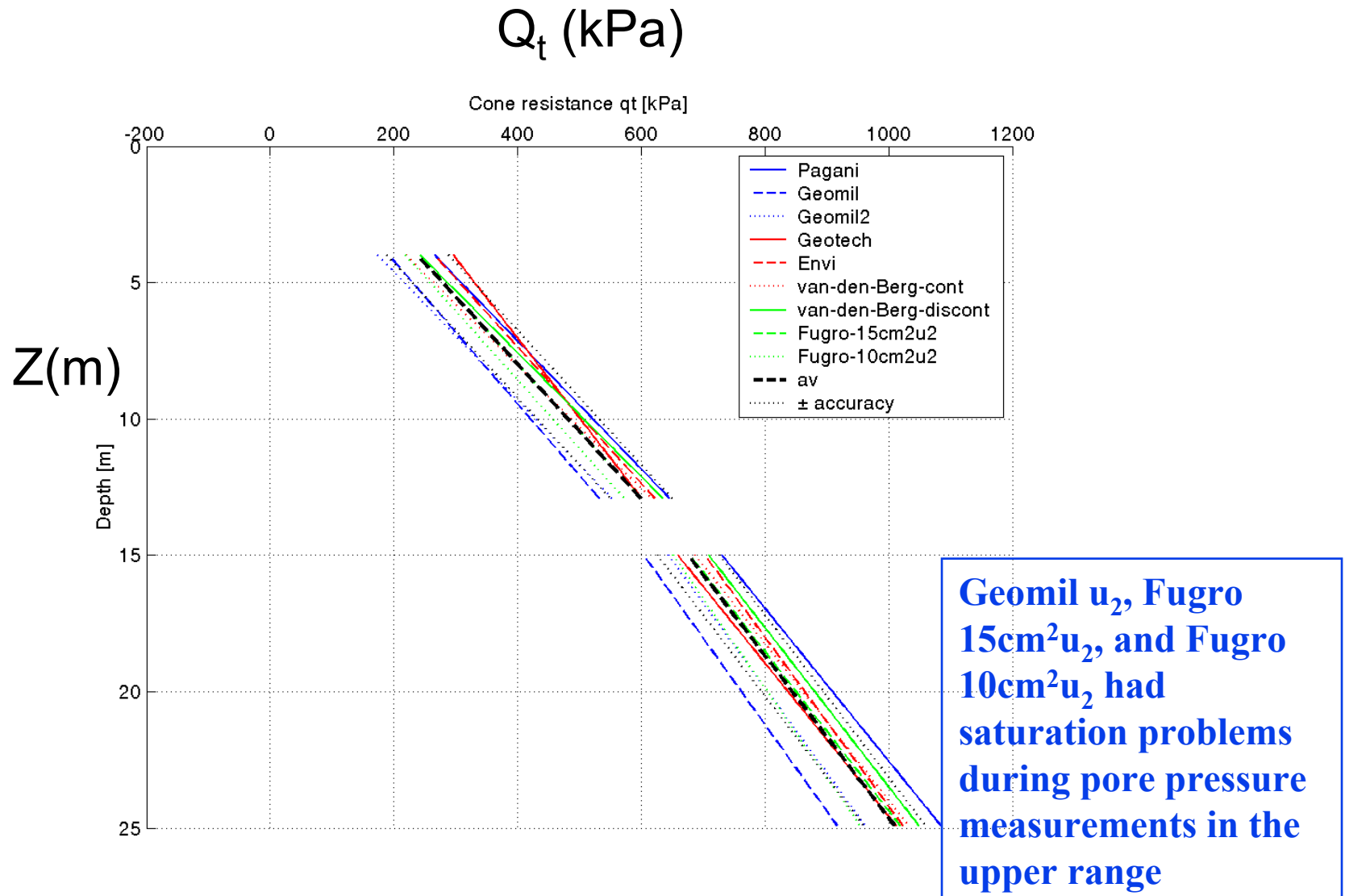


Geomil u_2 , Fugro 15cm²u₂, and Fugro 10cm²u₂ had saturation problems during pore pressure measurements in the upper range. Geomil, u_1 , is measured on cone tip.

Summary of all q_t values

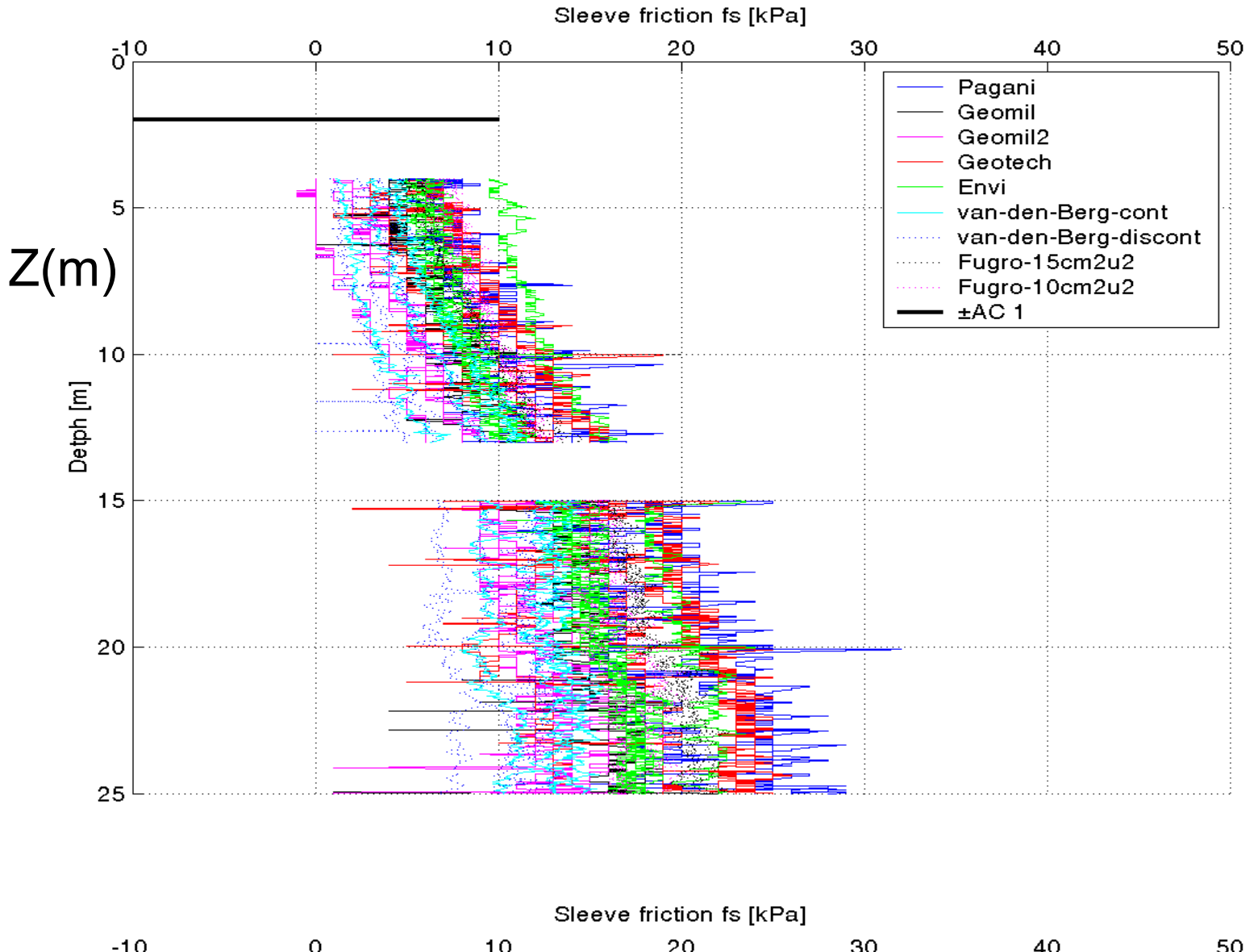


Mean trend for cone resistance, q_t , for each CPTU.

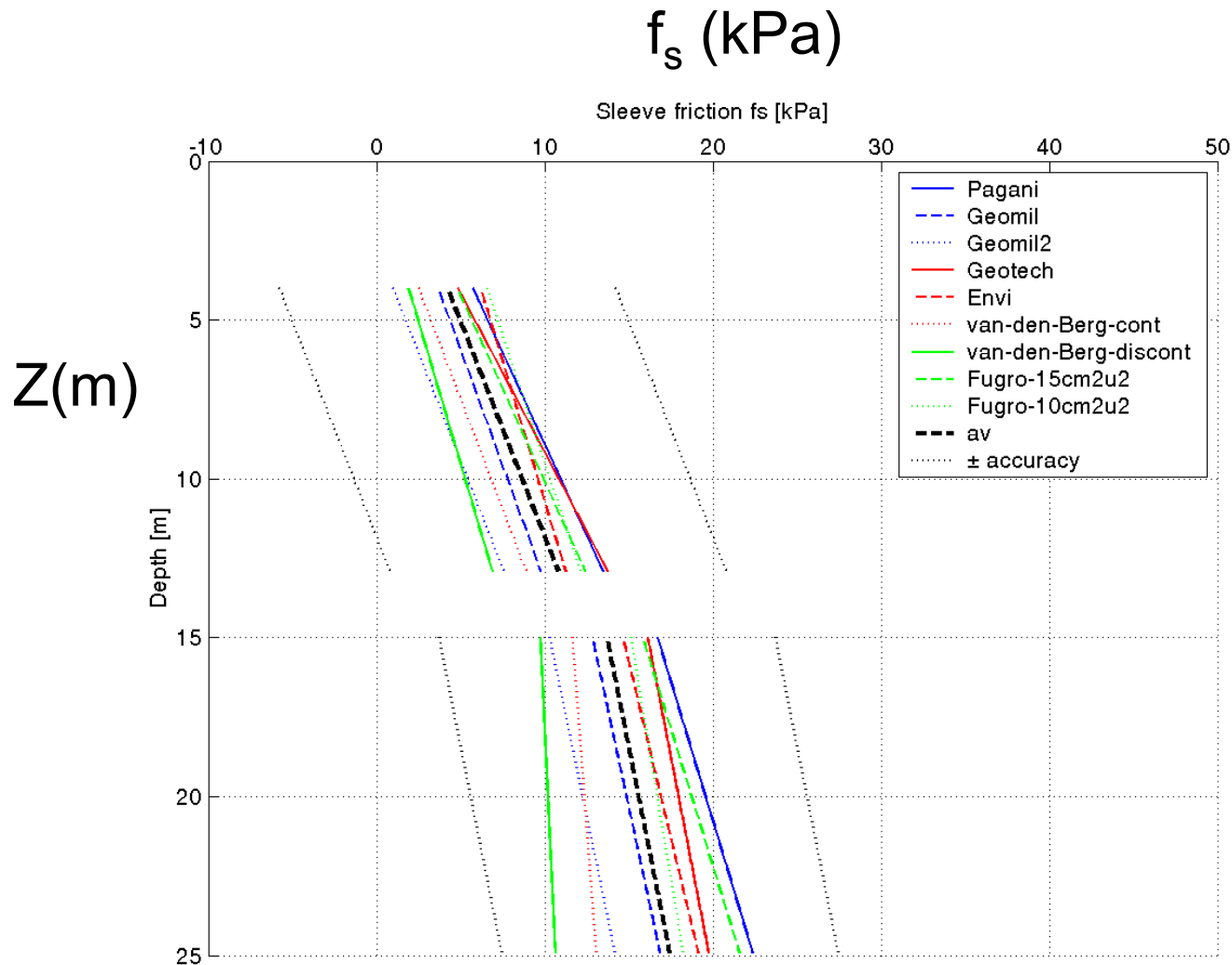


Summary of all f_s values

f_s (kPa)



Mean trend for sleeve friction, f_s , for each CPTU.



Conclusions from CPTUs at NGI's Onsøy site:

- For 3 of the devices incomplete saturation caused results to not even fulfill accuracy Class 3 of IRTP
- Evaluating all CPTUs as a group shows some of the devices do not meet the Class 1 requirements for q_c .
- q_t does not show smaller variation than q_c .

Conclusions from CPTUs at NGI's Onsøy site ctd.:

- No devices fulfilled the Class 1 requirements for pore pressure u
- Otherwise no statistical significant difference was found in measured u -values
- For q_c , q_t and f_s results of most devices were significantly different on statistical basis
- Pore pressure readings are best for interpretation for engineering parameters in soft clay

CPTU- seminar Vegdirektoratet 26 april 2010

En kort oppsummering av NGI's bruk av CPTU i praktisk prosjektering.

Utarbeidet av: Kjell Karlsrud, Teknisk direktør, NGI

Dato: 20.04.2010

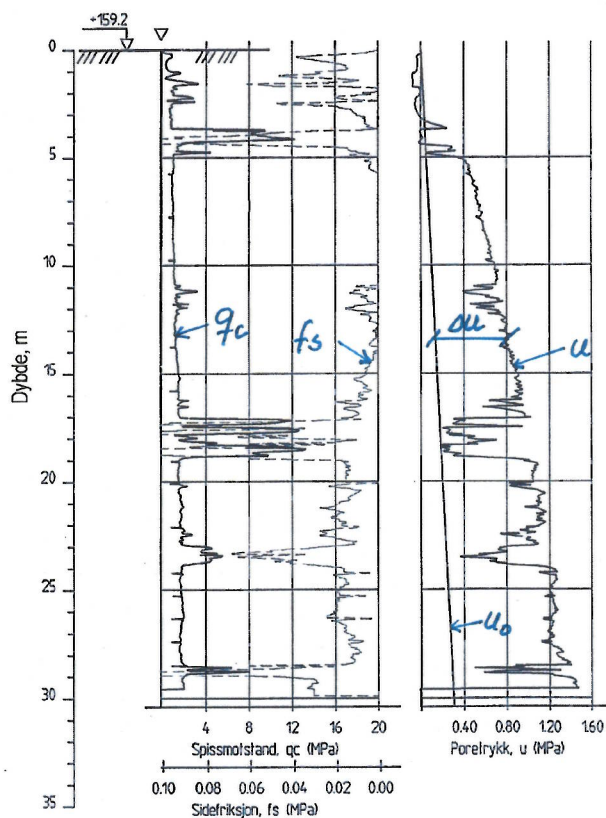
1 Generell bakgrunn

NGI har helt siden begynnelsen av 1970-tallet nedlagt en betydelig forskningsinnsats relatert tolkning og bruk av CPT og CPTU. Mye av NGIs tidlige forskning er inkorporert i boken av Lunne et al (1997) "Cone Penetration Testing in Geotechnical Practice", ref. /1/. Mange av de korrelasjoner mot jordklassifisering og bestemmelse av jordegenskaper som er presentert i denne boken inngår også i ulike kommersielle programmer som er tilgjengelig for CPTU-tolkning.

Etter å ha vært i utstrakt bruk i Nordsjøen fra midt på 70-tallet var det først for tidlig på 1990-tallet at bruk av CPTU-sonderinger for alvor fikk innpass ved grunnundersøkelser på land i Norge. Fra NGI's side var det et bevisst strategisk valg å satse tungt på CPTU i forbindelse med de omfattende grunnundersøkelser som knyttet seg til utbyggingen av Gardermoen flyplass, inkludert jernbanen, fordi vi mente det kunne gi vesentlig bedre prosjekteringsgrunnlag og til en rimeligere pris en ved tidligere praksis.

2 Tolkning av lagdeling

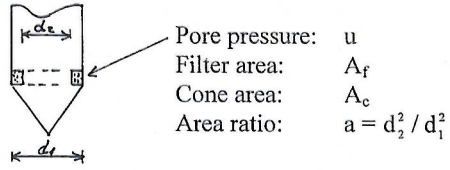
CPTU-sonderinger gir langt mer presis informasjon om lagdeling enn andre sonderinger, jfr. eksempel i fig. 1. Figuren viser også at spissmotstand og poretrykk gir en klar og direkte identifikasjon av sand/siltlag i en leiravsetning gjennom lave poretrykk og høye spissstrykk.



Figur 1 Eksempel på CPTU-boring

Figur 2 definerer ulike parametere utledet fra CPTU-sonderinger som inngår i tolkning av CPTU-resultater. Ref. /1/ gir en utførlig behandling av en lang rekke tolkningsmetoder. Det vil her bare kort gjengis noen eksempler:

- Figur 3 viser et eksempel på diagram som kan benyttes for å tolke materialtype. Her inngår den normaliserte poretrykksfaktoren, B_q , spissmotstand og friksjonsforholdet.
- Leiras overkonsolideringsgrad er relatert til B_q -verdien, men norske erfaringer viser relativt stor spredning. Er man ute etter forkonsolideringstrykket er det normalt best å regne seg tilbake fra utledet udrenert styrke med likning og udrenerte styrkeverdier etablert på grunnlag av korrelasjoner presentert av Karlsrud (2003,b).
- Poretrykksresponsen uttrykt ved B_q er en ganske god indikator på kvikkleire hvis den også sees i sammenheng med overkonsolideringsgraden. For tilnærmet normalkonsolidert kvikkleire er $B_q \geq 1$ for kvikkleire men kommer sjelden over 0,8 for ikke-kvikk leire.



Total cone resistance: $q_c = \frac{Q_c}{A_c}$

Corrected tip resistance: $q_T = q_c + (1 - a) u$

Cone factor: $N_{KT} = \frac{q_T - \sigma_{vo}}{s_u}$

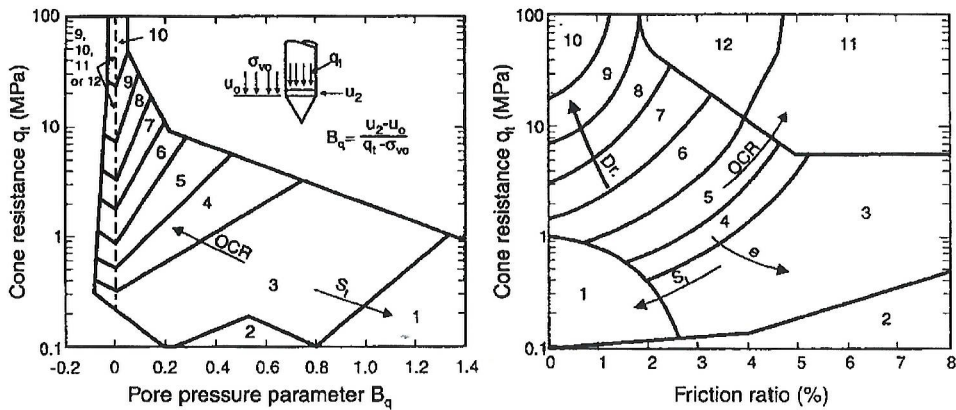
Pore pressure factor $N_{\Delta u} = \frac{\Delta u}{s_u}$

Effective cone factor: $N_{KE} = \frac{q_T - u}{s_u}$

Pore pressure parameter: $B_q = \frac{\Delta u}{q_T - \sigma_{vo}} = \frac{N_{\Delta u}}{N_{KT}}$

Normalized cone res.: $Q = \frac{q_T - \sigma_{vo}}{\sigma_{vo}}$

Figur 2 Definisjon av tolkningsparametre fra CPTU



Zone: Soil Behaviour Type:

- | | | |
|---------------------------|------------------------------|------------------------------|
| 1. Sensitive fine grained | 5. Clayey silt to silty clay | 9. Sand |
| 2. Organic material | 6. Sandy silt to clayey silt | 10. Gravelly sand to sand |
| 3. Clay | 7. Silty sand to sandy silt | 11. Very stiff fine grained* |
| 4. Silty clay to clay | 8. Sand to silty sand | 12. Sand to clayey sand* |

* Overconsolidated or cemented.

Figur 3 Tolking av materialtype fra CPTU (fra ref. /1/)

3. Bestemmelse av udrenert styrke

I ref. /1/ er det vist en rekke korrelasjoner for å utlede udrenert styrke fra CPTU. Disse har også vært mye brukt i Offshore sammenheng.

Karlsrud (2003), ref. /2/ og /3/, anbefalte en del nye korrelasjoner basert blokkprøver for å bestemme aktiv udrenert skjærstyrke. Disse korrelasjonene ble videreutviklet av Karlsrud et al (2005), ref. /4/, og er de som benyttes av NGI i dag. Denne artikkelen vedheftet til orientering.

For å bestemme "passiv" og DSS styrke benyttes typiske empiriske korrelasjoner mot aktiv styrke som også gitt i ref. /3/ og /4/.

I denne sammenheng kan det nevnes at NGIs erfaringer klart tilsier at udrenert styrke kan bestemmes mer pålitelig fra målt poretrykk enn fra målt spissmotstand.

En ulempe ved korrelasjonene er at både $N_{\Delta u}$ og N_{kt} er avhengig av overkonsolideringsgraden, OCR. Har man bare dårlige prøver kan det være vanskelig å bestemme OCR med pålitelighet, og man må gjøre anslag på grunnlag av antatt geologisk forhistorie (for eksempel ut fra hva man kan se fra terrengformasjonene med hensyn til det generelle nivået for gammel havbunn i området). NGI praktiserer derfor å tilbakeregne OCR fra den udrenerte styrke som først er etablert fra en anslått OCR. Dessuten brukes ulike direkte korrelasjoner mellom CPTU og OCR som angitt i ref. /4/. Korrelasjon mot Q_c synes i denne sammenheng å være best. En fornuftig avveining av ulike OCR bestemmelser gjøres som grunnlag for endelig valg.

4. Kontroll, pålitelighet og feilkilder

Det kan rett som det er oppstå CPTU resultater som kan virke merkelige og vanskelige å forklare. I det etterfølgende listes en del aspekter som undertegnede har opplevd. Det kan nevnes at NGI i et større forskningsprosjekt har sjekket repeterbarhet og sammenliknet absolutte verdier som måles med sonder fra en rekke ulike leverandører (i alt 9 ulike sonder). Stort sett viste de fleste sonder godt samsvar og god repeterbarhet. (Dette er bare presentert i intern NGI rapport foreløpig).

- Feil eller endring i nullavlesning. Dette må kontrolleres i for og etterkant av hver sondering.
- Dårlig metning av poretryksfilter. I bransjen brukes ulike metningsmetoder. Det må også sees i sammenheng med type utstyr og filter som benyttes (spalte vs filter). Operatørene er nøkkelen til suksess her. Et problem kan i visse tilfeller være der mangår gjennom masser som dilaterer kraftig og skaper undertrykk. Da kan det ofte oppstå luftbobler, og det tar en id før responsen kommer tilbake til det normale.
- Feil ved korleksjon av lufttrykk. Noen sonder har korrigert for dette automatisk. Dette må tas hensyn til i programmet som regner ut spissmotstand og poretrykk.
- Ved boring gjennom vann kan det tilsvarende fort gjøres feil. Det er noe ulike praksis mht nullstilling i luft eller ved sjøbunn. Dette må fanges opp av programmet som regner ut spissmotstand og poretrykk.
- Manglende informasjon om in-situ poretrykk. Det er viktig at det foreligger uavhengige målinger av poretrykk som gir et representativt bilde av variasjon meddybden der sonderingene utføres.

Referanser

/1/ Tunne, T., Robertson, P.K. and Powell, J.J.M. (1997). Cone Penetration Testing in Geotechnical Practice. Publ. by Blackie Academic & Profession

/2/ Karlsrud, K. Stabilitetsanalyser av skråninger, skjæringer og fyllinger. Tolkning og fastlegging av jordartsparemetre. Karakteristisk jordprofil. NGF-kurs, Hell mai 2003.

/3/ Karlsrud, K. Stabilitetsanalyser av skråninger, skjæringer og fyllinger. Tolkning og fastlegging av jordartsparemetre. Skjærstyrkeegenskaper av leire og bruk i stabilitetsanalyser. NGF-kurs, Hell mai 2003.

/4/ Karlsrud, K., Lunne, T., Kort, D.A. and Strandvik, S. (2005) CPTU correlations for Clays. Proc. 16th ICSMGE, Osaka 2005.

CPTU Correlations for Clays

Corrélations CPTU pour les argiles

K. Karlsrud

The Norwegian Geotechnical Institute, Norway

T. Lunne

The Norwegian Geotechnical Institute, Norway

D.A. Kort

The Norwegian Geotechnical Institute, Norway

S. Strandvik

The Norwegian Geotechnical Institute, Norway

ABSTRACT

New correlations between various CPTU factors, undrained shear strength and overconsolidation ratio have been developed for soft to medium stiff clays. The correlations are based on comparing the CPTU results against undrained triaxial compression strength and preconsolidation pressure determined on block samples of very high quality taken with the Sherbrooke 250 mm block sampler. The data base covers samples from 17 different sites ranging from soft to medium stiff clays with plasticity index from 10 to 50 % and sensitivity from 3 to about 200. The data clearly show that the measured excess pore pressure gives the best and most consistent correlation to the measured undrained strength. The cone resistance shows fairly large scatter, which may partly be an equipment/measurement problem and partly reflect that the cone resistance is a more complex parameter than the pore pressure response and which depends on more subtle clay characteristics. The cone factors also depend on the clay sensitivity and the plasticity index of the clays tested and the type of cone used.

RÉSUMÉ

De nouvelles corrélations entre les facteurs du piézocône CPTU et la résistance au cisaillement non-drainée et le rapport de surconsolidation sont proposées pour les argiles molles à moyennement raides. Ces corrélations ont été obtenues en comparant les résultats CPTU avec la résistance au cisaillement non-drainée en compression triaxiale et la pression de surconsolidation mesurées sur des blocs de haute qualité obtenus avec l'échantillonneur bloc 250 mm de l'Université de Sherbrooke. La base de données compte 17 différents sites d'argile, avec indice de plasticité entre 10 et 50 % et sensibilité entre 3 et 200. Les résultats montrent clairement que la pression interstitielle mesurée par le CPTU présente la corrélation la plus consistante avec la résistance au cisaillement non-drainée. La résistance en pointe du cône apparaît plutôt variable, en partie dû à l'équipement et la mesure elle-même, en partie dû au fait que la résistance en pointe est un paramètre plus complexe que la réponse des pressions interstitielles, et dépend de caractéristiques plus subtiles de l'argile. Les facteurs du piézocône dépendent aussi de la sensibilité et plasticité de l'argile.

1 INTRODUCTION

The cone penetrometer with measurement of pore pressure, called CPTU test, was developed in the late 1970's. The first publication on the CPTU was by Roy et al (1980). The CPTU test was initially a research tool which gradually came into commercial use, and first in connection with site investigations for offshore structures in the early 1980's. In Norwegian onshore commercial practice it took until around 1990 before it found its place. It has by now (2004) gradually become the most common in-situ testing tool for determination of undrained strength of clay deposits in Norwegian site investigations, and has to a large extent replaced in-situ vane borings. This is mainly a result of the introduction of the wireless cone penetrometers manufactured by the Swedish companies ENVI (stores data in memory in the cone) and Geotech (transmits signals acoustically), which have greatly enhanced the efficiency of operations. In this context it may be mentioned that in Norway the CPTU-tests are almost exclusively carried out with one-manned advanced multi-purpose rigs. The production rate typically lies in the range 80-100 m pr. day.

The results of CPTU tests can in principal be used to derive a number of soil parameters related to stress history, shear strength and moduli values. Dissipation tests can also be used to assess the coefficient of consolidation and permeability. The derivation of such parameters in clays is generally based on semi-empirical correlations against parameters established through conventional soil sampling and laboratory tests. This paper deals only with CPTU tests in relatively soft to medium stiff clay deposits and the derivation of undrained shear strength and pre-consolidation stress based on comparisons against pa-

rameters determined exclusively by laboratory tests on very high quality block samples.

2 PROPERTIES OF CLAYS TESTED

In order to enable development of reliable correlations between CPTU-results and real in-situ soil parameters it is vital that such parameters are obtained by laboratory tests on high quality undisturbed soil specimens. Experience shows that it can be difficult to obtain samples of sufficiently good and indisputable quality with conventional commercial piston sampling, or standard Shelby tube sampling. The sample quality normally reduces with decreasing plasticity index and increasing sample depth and clay sensitivity (Karlsrud, 1991; Lunne et al 1997a). The effect of sample disturbance on measured undrained strength, pre-consolidation stress and stress-strain relations depend on the clay type. For many years the Norwegian Geotechnical Institute (NGI) has used the change in volume a sample undergoes during re-consolidation to in-situ effective stresses as an indicator of sample disturbance (Andresen and Kolstad, 1979). Lunne et al (1997a) proposed a modified scale for sample quality equal to the change in void ratio normalised by the initial void ratio.

To obtain high quality samples for establishment of more reliable reference parameters for CPTU correlations, NGI has since 1983 made use of the special Canadian Sherbrooke block sampler, Lefebvre and Poulin (1979), at several sites in Norway, (Lacasse et al., 1985), also in parallel with CPTU testing at the same sites (Karlsrud et al., 1996). According to the classification proposed by Lunne et al (1997a), the samples tested and in-

cluded in this correlation study can be classified as very good to excellent.

The undrained strength determined by triaxial compression tests on samples consolidated anisotropically to the present in-situ effective stresses, s_u^{CAUC} (hereafter for simplicity defined as s_{uc}), has been chosen as the main parameter for comparison against the CPTU results, combined with the pre-consolidation stress, p_c' determined by oedometer tests. All triaxial samples were sheared at a rate of about 0.6% pr. hour. In contrast with what can be the case for disturbed samples, all triaxial compression tests on the block samples showed a pronounced peak at failure. The axial strain at failure tended to increase with OCR from typically 0.3 to 1.2% for OCR less than 2 to 0.3 to 3.0% for OCR of 5. Figure 1 show an example of stress-strain curve for a block sample compared to piston samples.

The oedometer tests were in almost all cases constant rate of strain (CRS) tests, loaded at an axial strain rate of 0.5-1% pr.hour. For all samples tested the oedometer curves gave a very clear definition of the stress level at which the pre-consolidation stress, p_c' (or yield stress as defined by some, e.g. Burland, 1990), as illustrated by a typical example in Figure 2. The precise pre-consolidation stress was generally defined as an average from the Casagrande (1936) method and the Becker et al (1987) method, but these methods gave nearly identical results. It may be noted that the pre-consolidation pressure depends on the rate of straining, similar to the undrained strength. Thus the CRS tests used in this study normally give 5 to 20 % larger pre-consolidation pressures than conventional 24 hour incremental oedometer tests (Leroueil et al., 1983; Lunne, 2002).

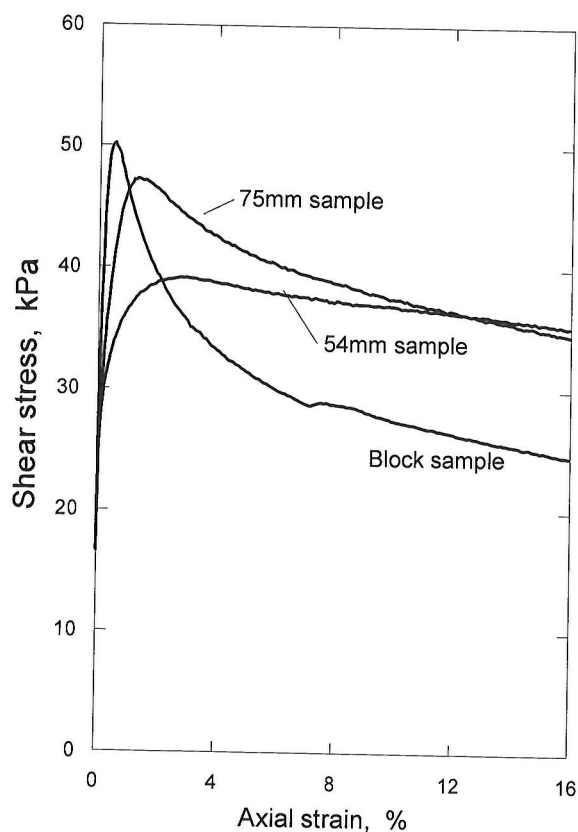


Figure 1. Example of CAUC triaxial test result on block sample compared to piston samples. Lierstranda z=12.3 m (from Lunne et al 2002)

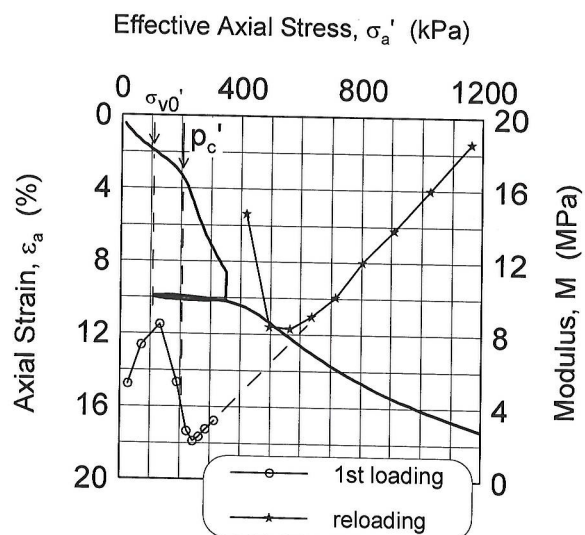


Figure 2. Example of oedometer test result. Lierstranda, z=12.3 m

The combination of CPTU-testing and block sampling has so far been carried out by NGI at 16 different locations in Norway. Table 1 presents typical range of index properties at the different locations. NGI has also been involved with block sampling and laboratory testing at the Bothkennar test site in the UK, which has also been included in this study. At each location block samples were taken from 2 to 5 different levels, giving a total of 58 tests to compare against CPTU results at the same locations and levels.

Table 1: Index properties of clays tested

Location	Depth interval, m	Water content, %	I_p , %	Particles < 2 μ m	S_t
Leira	7.2-15.9	30-34	12-14	36-49	7-10
Hvalsda-len 1	7.2-15.2	31-39	9-17	44-49	5-240
Hvalsda-len 2	7.2-12.4	36-38	12	40-46	15-20
Eidsvoll 1	5.7-14.7	25-33	13-19	37-48	2-5
Eidsvoll 2	10.4-13	25-26	13-14	38-42	2-4
Lier-stranda	6.1-22.4	33-40	14-20	36-44	8-12
Bothken-nar,UK	6.0-8.3	69-72	42-53	17-35	8-13
Emmer-stad	4.1-5.9	37-44	7-11	40	77
Onsøy 1	3.1-9.1	59-72	28-44	21-35	7-12
Glava	5.6-6	33	17-18	29-34	7-10
Daneviks gt.	7.9-16.6	36-53	18-29	36-41	4-8
Nykirke	6.0-10.1	25-37	4-9	27-35	100-180
Kvenild	7.1-8.5	31-37	10-14	31-47	22-63
Onsøy 2	7.2-14.7	63-64	36-42	49-65	---
Buvika 1	7.1-15.1	29-31	6-7	29-30	55-160
Buvika 2	7.6-17.1	31-33	8-13	28-33	10-105
Kløfta-Nybakk	6.1-18.2	32-39	8-18	33-46	7-135

It should be noted that the sensitivities in Table 1 were determined from fall cone tests. The very high sensitivity of some

samples is due to leaching of the original marine clay deposits. The sensitivity varies considerably with depth at some locations. Note also that the plasticity index of clays is influenced by the sensitivity. Normally or lightly over consolidated leached clays with high sensitivity will in un-leached state have a plasticity index which is typically a factor of 1.5 to 2.0 larger than the leached high sensitive clay.

The mostly Norwegian marine clays tested were deposited in the sea after the last glaciation period about 10,000 years ago. The clay mineral content of these Norwegian clays is dominated by Chlorite and Illite/Muskovite (e.g. Kenney, 1967), and they have a low organic content (less than 2%). At the Bothkennar site in the UK the clay was deposited in estuarine conditions, Hight et al. (2003), and the clay has a different mineralogy compared to the Norwegian clays.

The clays tested showed undrained strength, s_{uc} , ranging from 15 to 150 kPa, and overconsolidation ratio, OCR, ranging from 1.2 to 6.3. The highest OCR-values were due to removal of overburden, otherwise it is generally due to secondary creep and/or chemical weathering.

Figure 3 presents the undrained triaxial compression strength determined on the various block samples in relation to the pre-consolidation stress in a normalised form of s_{uc}/σ_{v0}' versus overconsolidation ratio $OCR = p_c'/\sigma_{v0}'$, where σ_{v0}' is the in-situ vertical effective overburden stress. The measured data in Figure 3 are also compared to a range of correlation functions based on the SHANSHEP concept (Ladd et al, 1977), and defined by the equation:

$$s_{uc}/\sigma_{v0}' = \alpha \cdot OCR^m \quad (1)$$

where $\alpha = s_{uc}/\sigma_{v0}'$ for $OCR=1.0$, corresponding to a young truly normally consolidated clay which has not had the opportunity to develop any apparent pre-consolidation pressures due to secondary consolidation (e.g. Bjerrum, 1972).

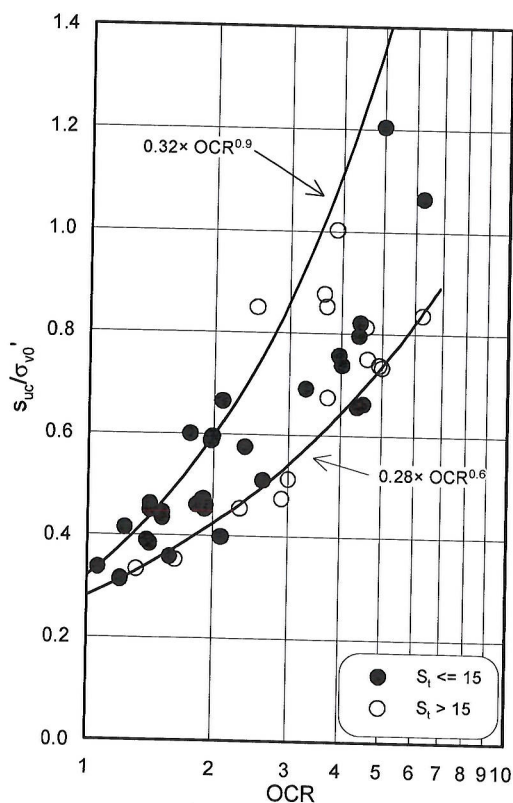


Figure 3. Normalized CAUC strength values, s_{uc}/σ_{v0}' , for block samples in relation to OCR

From Figure 3 it is apparent that these natural clays do not show such a unique relationship between undrained strength and OCR as has been indicated by testing clays that have been pre-consolidated artificially in the laboratory (e.g. Ladd et al 1977). The reason may be that soil structure and possible local chemical bonding or cementation effects plays a role in-situ, which is lost when a sample is artificially pre-consolidated in the laboratory.

On many of the block samples the undrained strength has also been determined by triaxial extension tests (CAUE), s_{uea} and direct simple shear tests (DSS), s_{uDSS} . Figure 4 compares these strengths to the triaxial compression strength. The data suggest somewhat larger anisotropy for the clays with high sensitivity (here taken as $S_t > 15$), and that the anisotropy decreases with increasing plasticity index, I_p . No clear dependence of the anisotropy on the overconsolidation ratio has been observed.

3 CPTU RESULTS AND CORRELATIONS

3.1 Definitions and CPTU factors considered

In the years passed since the CPTU test was first introduced, different cone factors have been used to relate the measured values of cone resistance and excess pore pressure generated during penetration of the probe to the undrained strength of clay deposits, e.g. Lunne et al. (1997b).

In terms of measured pore pressures in CPTU tests the undrained strength is generally correlated to the pore pressure factor

$$N_{\Delta u} = \frac{u_2 - u_0}{s_u} \quad (2)$$

where u_2 = measured pore pressure at the location just behind the neck of the cone and u_0 = in-situ pore pressure. If a cone with pore pressure measurement in the tip is used, it may be possible to make a fair estimate of the u_2 pore pressure by application of a correction factor as given in Lunne et al. (1997b).

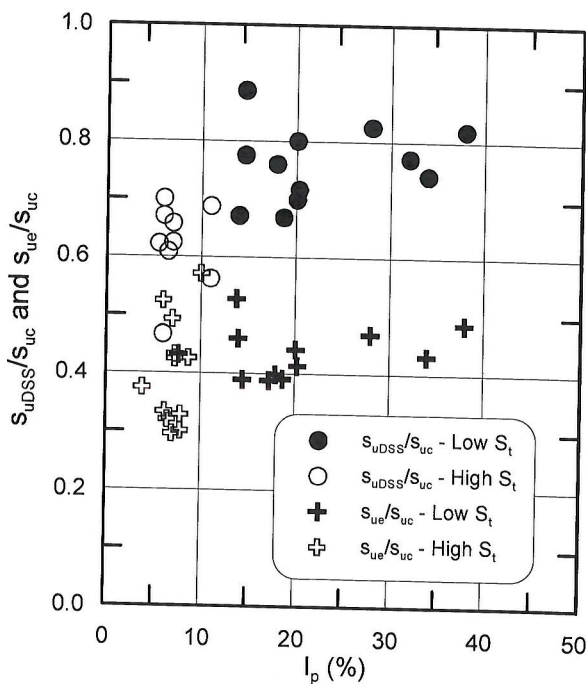


Figure 4. Measured anisotropic strength ratios s_{uDSS}/s_{uc} and s_{ue}/s_{uc} for the block samples

In relation to measured cone resistance it has become common practice to relate the undrained strength to the corrected cone resistance, q_t , rather than the directly measured tip resistance, q_c , through the normalised expression:

$$N_{kt} = \frac{q_t - \sigma_{vo}}{s_u} \quad (3)$$

where σ_{vo} = Total vertical overburden pressure

$$q_t = q_c + u_2(1-a)$$

and a = area ratio of the cone related to the area of the central part of the cone as compared to the gross area. The area ratio is determined by calibration tests in the laboratory as described in Lunne et al. (1997b). This area correction reduces or eliminates some of the observed difference in cone resistance obtained by using cones from different manufacturers.

In previous studies it has also been attempted to relate the undrained strength to a combination of the measured tip resistance and pore pressure through the expression

$$N_{ke} = \frac{q_t - u_2}{s_u} \quad (4)$$

In some previous studies (Lunne et al., 1985; Karlsrud et al., 1996) correlation plots between the corrected tip resistance factor N_{kt} on one axis against the pore pressure factor B_q on the other axis have been shown. B_q is defined as:

$$B_q = \frac{(u_2 - u_0)}{(q_t - \sigma_{vo})} \quad (5)$$

B_q is also equal to $N_{\Delta u} / N_{kt}$. A plot of N_{kt} against $B_q = N_{\Delta u} / N_{kt}$ is therefore misleading in the sense that it does not reflect the cone resistance factor N_{kt} at all because N_{kt} appears as a parameter on both axis. Such a plot actually only reflects how measured excess pore pressure vary with undrained strength. Correlation plots of N_{kt} and B_q are therefore, not included in this paper.

In previous studies (Lunne et al., 1989 and 1997b; Mayne, 1991) the overconsolidation ratio, OCR, has been tried correlated to the pore pressure parameters B_q , and $(u_2 - u_0) / u_0$ and the parameter Q_t defined as:

$$Q_t = \frac{(q_t - \sigma_{vo})}{\sigma'_{vo}} \quad (6)$$

These OCR correlations are also used and discussed later in this paper.

At the majority of the locations in this study the CPTU tests were carried out with the wireless ENVI 5^t cone which has an area ratio of $a = 0.69$ (Elmgren, 1995).

3.2 Note on reliability of measured CPTU parameters

It is very important that the CPTU data are as reliable as possible. The best way to achieve this is to carry out the tests following the requirements and guidelines given in the International Reference Test Procedure (IRTP) published by the International Society for Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (ISSMGE, 1999).

Most equipment used for commercial soil investigations follow the above guidelines, but it is particularly important that the schemes for calibration of sensors and the procedures for recording zero readings before and after each test are adhered to.

Reliable measurement of penetration pore pressures depends very much on good procedures for saturation of the pore pressure measurement system. Test results should be examined shortly after testing to identify possible errors.

However, even if the CPTUs are carried out following the IRTP, experiences indicate that results can vary with the cone penetrometer made from one manufacturer to another, even with present (2004) modern equipment.

NGI(2002) recently carried out a test programme at the Onsøy2 soft clay test site to investigate the variability between different cone penetrometers produced by different manufacturers. The Onsøy2 site has been used by NGI for many years and is a very uniform site. Four to five cone penetrometer tests were done with each of the 9 different cone penetrometers tested. Table 2 presents typical examples of variability in measured cone resistance and pore pressure.

Table 2 Typical results of comparative CPTUs at Onsøy2 test site (Based on NGI, 2002)

Depth, m	Corrected cone resistance, q_t			Measured pore pressure, u_2		
	Overall average (kPa)	Range sensores (% 1)	Total range (% 2)	Overall average (kPa)	Range sensores (% 1)	Total range (% 2)
10	589	±15.6	±16.5	452	±6.9	±12.8
20	898	±14.3	±14.9	681	±7.0	±13.2

- 1) Range between average readings from 9 different cone penetrometers
- 2) Total range including variability of all individual readings from different cone penetrometers (45 different CPTU soundings).

The results in Table 2 illustrate that the total range in cone resistance, q_t , is larger than the range in pore pressure, u_2 , and also that the measured pore pressure is significantly less dependant on the type of cone penetrometer compared to the cone resistance. The reason why there is larger variation in cone resistance compared to the pore pressure is not fully understood, but it is a fact that the measured pore pressure is generally a much higher percentage of the capacity of the pore pressure sensor compared to the cone resistance and capacity of the load cell.

For some of the sites listed in Table 1 the CPTUs were carried out more than 20 years ago. Since considerable equipment improvement has taken place since then it is to be expected that the inherent uncertainties associated with the CPTU measurements may be larger than illustrated in Table 2. This also applies to the ENVI cone used in most of this study.

3.3 Undrained strength correlations

The data from this study clearly show that the pore pressure response gives the most consistent and best correlations to the undrained s_{uc} strength determined on the block samples. Figure 5 shows the derived values of $N_{\Delta u}$ versus measured overconsolidation ratio, OCR, on the block samples. These data have been grouped into two ranges of sensitivity of S_t smaller or larger than 15, which has a systematic impact on the excess pore pressure and $N_{\Delta u}$. This is seen more clearly in figure 6 which shows $N_{\Delta u}$ directly against sensitivity for different ranges of OCR. Figure 7 shows that $N_{\Delta u}$ also to some extent depend on the plasticity index, I_p . As discussed in Section 2 of this paper I_p is a parameter that can be misleading for clays with high sensitivity. Figure 7 also suggest that the plasticity index is a secondary parameter for the sensitive clays. On basis of a detailed study of the combined impact of OCR, S_t and I_p on the results, it is proposed typical average correlations accounting for their combined effects as follows:

For low sensitive clays ($S_t < 15$)
 $N_{Au} = 6.9 - 4.0 \log OCR + 0.07(I_p)$ I_p in % (7a)

For high sensitive clays ($S_t > 15$)
 $N_{Au} = 9.8 - 4.5 \log OCR$ (7b)

These correlations are illustrated in fig.5 for an average I_p -value of 22.4% for low-sensitive clays. Typical curves based on eq's 7a) and 7b) are also shown in Figs. 6 and 7 for ranges of OCR values, and using an overall average $I_p = 22.4$ for $S_t < 15$. The exact average OCR value corresponding to the different ranges in the data base are as follows:

Range OCR	Average OCR
1-2	1.57
2-4	2.92
>4	4.90

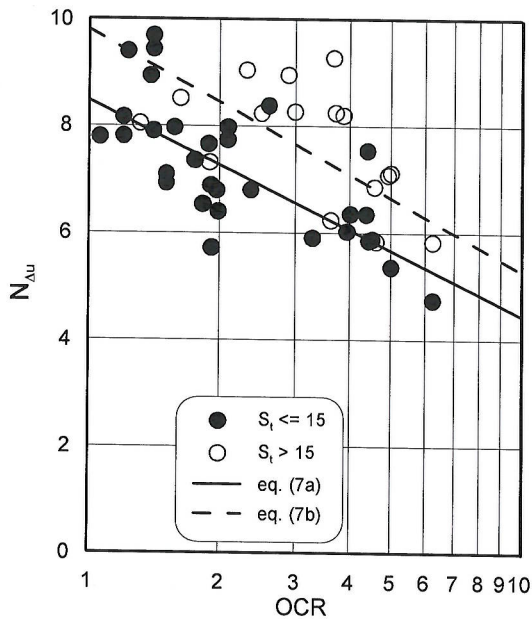


Figure 5. Relationship between N_{Au} and OCR

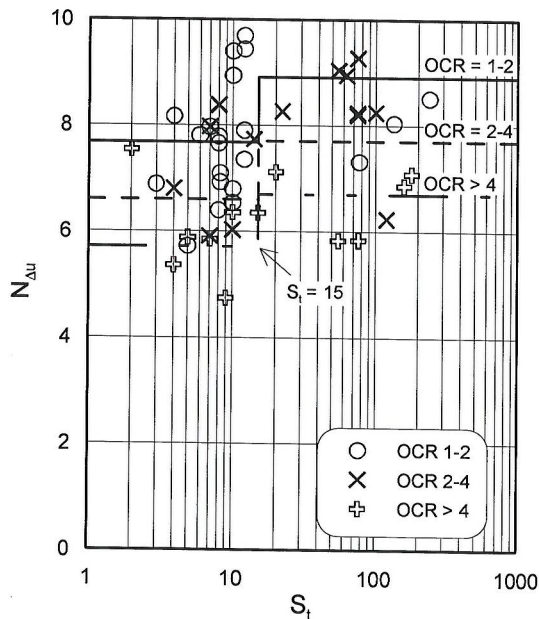


Figure 6. Influence of sensitivity on N_{Au}

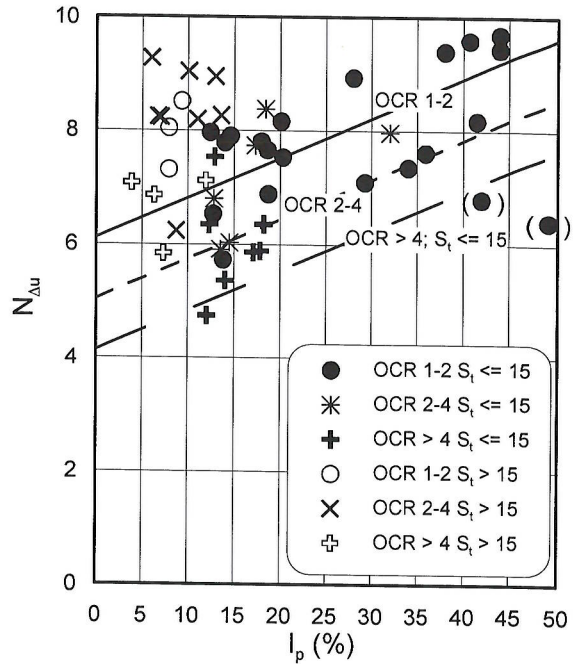


Figure 7. Influence of plasticity index on N_{Au}

Assessment of scatter in the data suggests that there is a variation in strength of about $\pm 10-15\%$ when the correlations above are applied. Some of this variation is believed to be equipment and procedure related, and can depend on the cone penetrometer used and workmanship as discussed in section 3.2 above. Some of the scatter in the correlations may also be due to changes in design and improved accuracy of the cones used over this 20 year time period.

A special comment is made to the two points put in bracket in Fig.7. These represent the Bothkennar UK site. Hight et al. (2003) have suggested that the plasticity index as measured by standard test procedures could be much too high, because it has high organic content. These points were therefore given no weight when the effect of I_p was assessed. Finally, it is also quite possible that other and more subtle soil parameters in reality influence the results and contributes to some of the scatter. This could for instance be the detailed stress-strain relation for the clay, including the large strain post-peak behaviour, and the anisotropic nature of the undrained shear strength. Even for the block samples there may also be some scatter due to disturbance effects, but this is believed to be less than $\pm 5\%$.

It is a bit unfortunate that the cone factor N_{Au} depends of the overconsolidation ratio, which requires good sample quality to determine precisely. The dependency is however, not so strong. A fair estimate of OCR based on geologic history can be made in some cases. An alternative is to first tentatively estimate OCR, then use the first estimated N_{Au} and calculated s_{uc} value to estimate a new OCR on basis of Figure 3, and use that OCR as new basis for assessing a revised N_{Au} and undrained shear strength. One or two iterations may be needed to define the final value. The first estimate of OCR can also be made on basis of the CPTU correlations described later in the paper.

Figures 8, 9 and 10 show similar relationships between the cone factor N_{kt} , OCR, S_t and I_p . It is readily observed that these relationships show far more scatter than the N_{Au} relationships in Figs. 5 to 7. This could either be due to less accuracy of the sensors measuring cone resistance, or that the cone resistance even more than the pore pressure depends on other and more subtle soil parameters than OCR, S_t and I_p . Tentative best fit correlations are as follows:

For low sensitive clays ($S_t < 15$)
 $N_{kt} = 7.8 + 2.5 \log OCR + 0.082 I_p$ (8a)

For high sensitive clays ($S_t > 15$)
 $N_{kt} = 8.5 + 2.5 \log OCR$ (8b)

Figures 8-10 also show typical correlation functions according to eq's 8a) and 8b). The variation in calculated undrained strength based on these correlations typically lie around $\pm 15\%$ for the high sensitive clays and $\pm 30\%$ for the low sensitive clays.

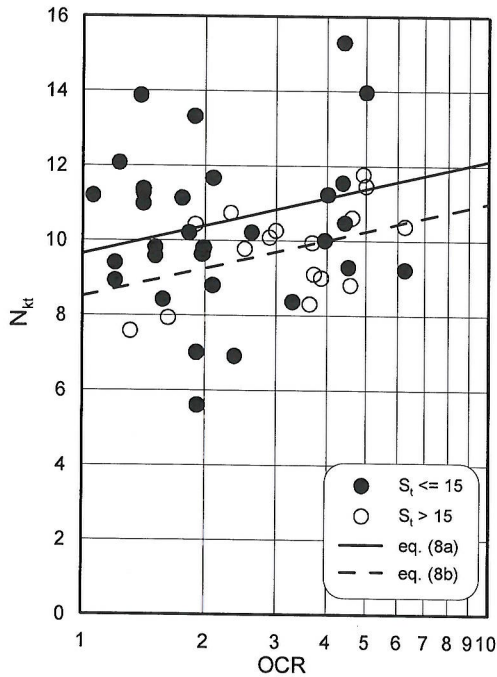


Figure 8. Relationship between N_{kt} and OCR

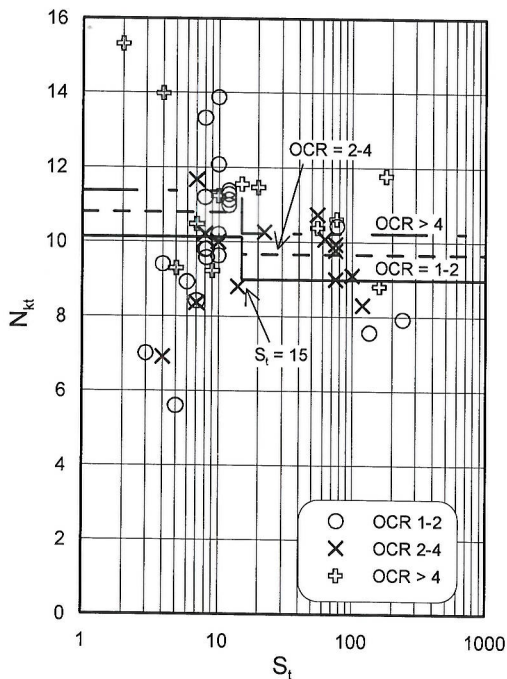


Figure 9. Influence of sensitivity on N_{kt}

Figure 11 compares shear strengths calculated from a series of 35 different CPTU-tests carried out in the Oslo harbour basin in a clay deposit that in geologic terms should be essentially normally consolidated. The CPTU tests cover an area of about 100 by 250 m. The water depth is typically 8-10 m, and the clay is rather homogenous with a water content in the range 35-45 %, generally decreasing with depth. The strengths were computed on basis of equations 7a) and 8a) accounting for a decrease in plasticity index from about 25% in the top to 15 % in the bottom and taking OCR=1.3 and constant with depth. Figure 11 confirms the larger scatter in strength from N_{kt} than from N_{Au} that was also suggested by Table 2, with a variation of typically $\pm 20\%$ and $\pm 10\%$ respectively. It may however, be noted that the absolute variation is close to constant with depth. Another interesting observation that can be made from figure 11 is that the undrained shear strengths, s_{uc} , based on N_{Au} increase essentially linearly with depth, as was expected for this normally consolidated deposit. The s_{uc} values based on N_{kt} does not show the same linear trend and is higher than based N_{Au} in the top, but then fall off with depth relative to the N_{Au} strength profile. This suggests a depth influence on N_{kt} . Figure 12 compares the strength ratios directly. Herein is also included a depth correction factor I_z applied to the strength arrived at from N_{kt} to try to match the strength from N_{Au} . I_z is defined by the expression:

$$(S_{uc})_{Nkt} = I_z (S_{uc})_{N_{Au}} \quad (9)$$

$$I_z = (1 - a(z - z_{ref})/z)^b \text{ with } z_{ref} = 16\text{m, } a = 0.45, b = 0.75 \text{ as best fit}$$

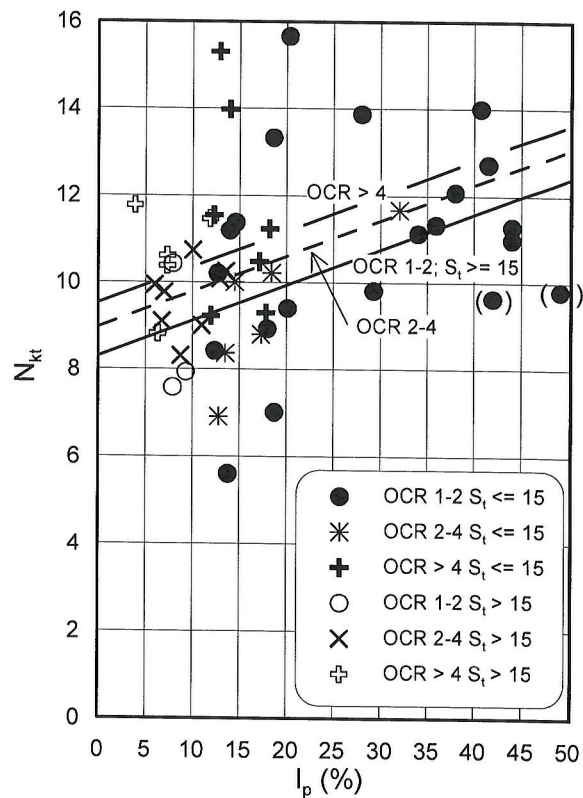


Figure 10. Influence of plasticity index on N_{kt}

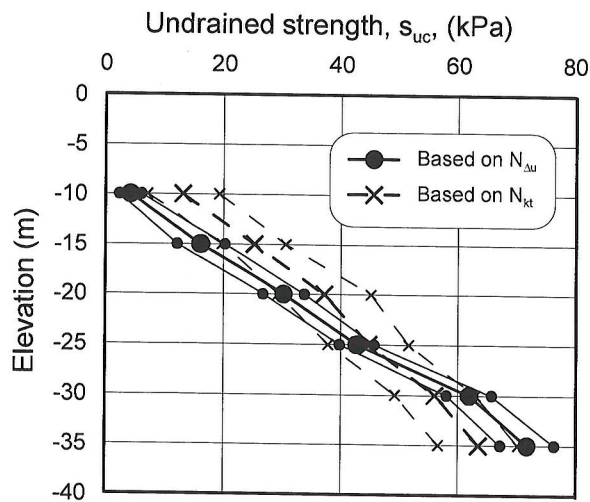


Figure 11. Comparison between strengths from cone resistance and pore pressure in Bjørvika, Oslo harbour

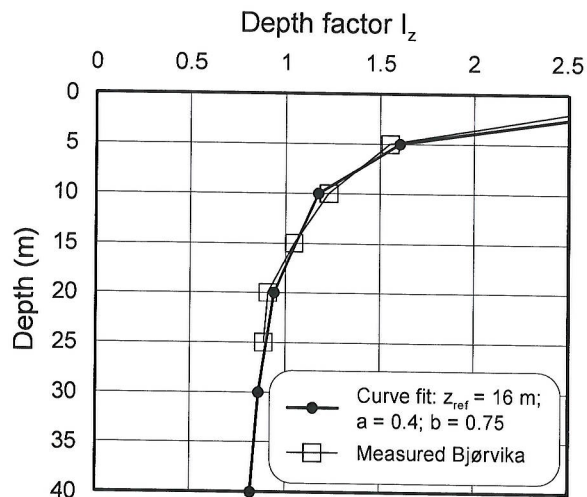


Figure 12. Depth factor on I_z suggested by data from Bjørvika in

The block sampling data presented in this paper has not made it possible to sort out if this is a general depth effect, and if the expression (9) is representative for other clay profiles or other cone penetrometer types. Further comparative and statistical studies at different sites and with different cone penetrometers are needed to get a better grasp on this potential depth influence.

The cone factor N_{ke} contains both corrected cone resistance and excess pore pressure, equation (4). Figure 13 shows that this cone factor gives very large scatter when plotted against OCR. Figure 14 shows on the other hand that N_{ke} is better related to the pore pressure factor B_q . The advantage of this correlation is that it does not require any independent estimate of OCR. It has not been possible to identify any significant dependency of this correlation on plasticity index of the clay, but it depends somewhat on sensitivity. The typical average lines in Figure 14 are represented by the following equations:

$$\text{For low sensitive clays } (S_t < 15) \\ N_{ke} = 11.5 - 9.05B_q \quad \text{with } N_{ke}=2.0 \text{ as a lower limit} \quad (10a)$$

$$\text{For high sensitive clays } (S_t > 15) \\ N_{ke} = 12.5 - 11.0B_q \quad \text{with } N_{ke}=2.0 \text{ as a lower limit} \quad (10b)$$

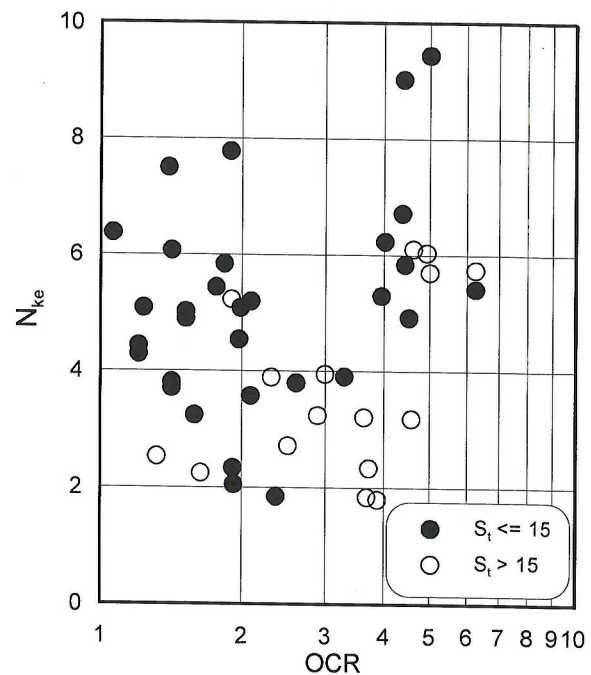


Figure 13. Relationship N_{ke} and OCR

These correlations should be used with caution for values of B_q less than about 0.6, as there is little data in that range, and the data also suggest a non-linear trend for low B_q values. It may also be noted that the variation in N_{ke} around the average line is about ± 1.0 at all levels of B_q . This means as an illustration, that the variation in strength increase from $\pm 15\%$ at $B_q = 0.6$ to $\pm 33\%$ at $B_q = 0.9$. This variation or uncertainty in calculated strength is larger than when using the pore pressure response alone, but is generally better than when using the cone resistance alone when B_q is less than about 0.7-0.8.

In engineering practice the authors recommend that all three cone factor correlations (based $N_{\Delta u}$, N_{kt} , and N_{ke}) are used to determine the undrained strength, but that most weight is given to strengths arrived at from $N_{\Delta u}$. A comparison between these strengths may also help to reveal apparent inconsistencies or problems with the individual CPTU tests. For instance will low s_{uc} values based on $N_{\Delta u}$, compared to the other two often give an indication of poor saturation of the piezometer system.

It is also important to bear in mind that the undrained strength determined on high quality block samples can be considerably larger than on samples taken with conventional piston sampling, and that the block samples also show far more pronounced strain softening beyond peak than poorer quality samples. A designer must keep that in mind when using the strengths derived from the CPTU correlations proposed herein.

If the correlations are to be applied to distinctly different clays from the mostly Norwegian marine clays covered in this study, it is recommended to verify the applicability of the proposed correlations by similar block sampling and testing as described herein. The cone factors have also to some extent been found to depend on the cone penetrometer used (e.g. Table 2 and NGI,2002), which may also warrant some independent verification of the applicability of the correlations. Even for large and important projects in Norway it is the authors' recommendation to carry out block sampling and verify the applicability of the correlations for specific CPTU equipment used. Good example of this, and the significant positive impact on the economy of projects of obtaining reliable undrained design strengths, are given by examples presented by Karlsrud (1999) and Jensen (2001). These examples showed that the undrained strengths could be upgraded by 20-30% as a result of block sampling

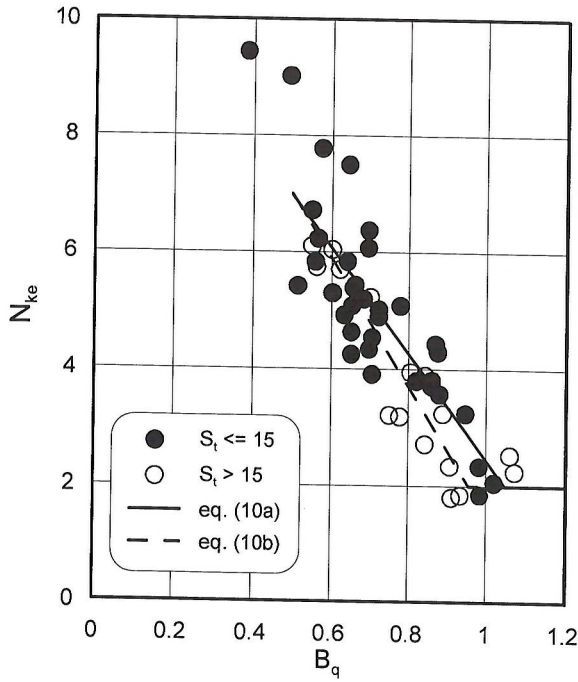


Figure 14. Relationship N_{ke} and B_q

combined with CPTU testing, which led to very substantial cost savings for the projects in question.

3.4 Correlations for overconsolidation ratio, OCR

Figure 15 shows that there is a correlation between the cone factor B_q (eq. 5) and OCR, but the scatter is fairly large, which also agrees with data presented in Fig. 5.14 of Lunne et al. (1997b). A similar and slightly better correlation was found between the normalised excess pore pressure $(u_2 - u_0)/\sigma'_{v0}$ and OCR, Figure 16, but the best correlation was found between the cone factor Q_t (eq. (6)) and OCR, Figure 17. The typical average value of OCR according to Fig. 17 corresponds to:

$$\text{OCR} = (Q_t/3)^{1.20} \quad (11a)$$

$$\text{OCR} = (Q_t/2)^{1.11} \quad (11b)$$

Even use of Figure 17 will give significant uncertainty in estimated OCR, and relatively speaking much larger than for the correlations between CPTU results and the undrained shear strength. One reason for that may be the inherent variability in the actual relation between in-situ undrained strength and OCR, as shown by Figure 3. As for the undrained shear strength it is recommended to use all correlations on specific projects.

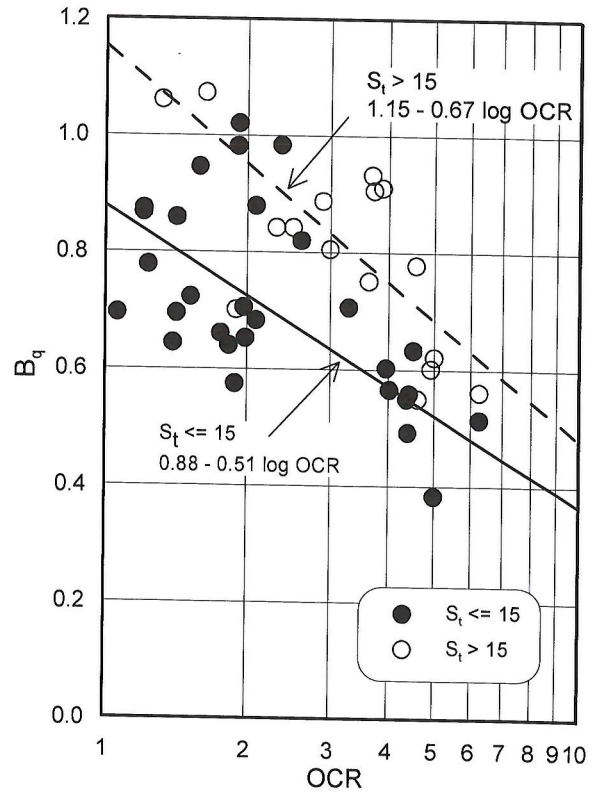


Figure 15. Relationship B_q and OCR

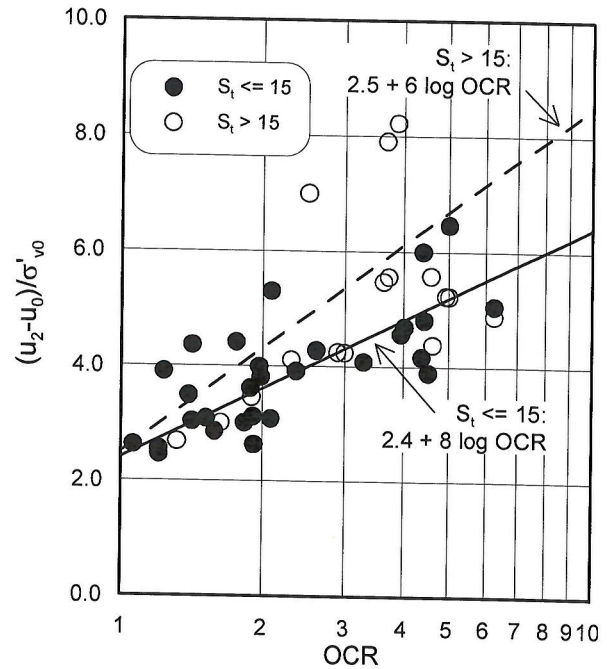


Figure 16. Relationship normalised excess pore pressure $(u_2 - u_0)/\sigma'_{v0}$ and OCR

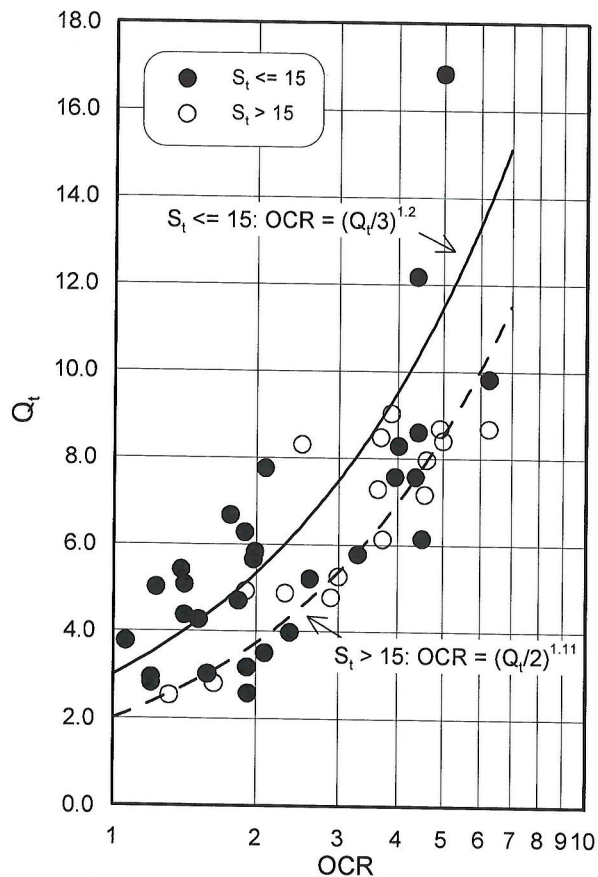


Figure 17. Relationship Q_t and OCR

4 CONCLUSIONS

The correlations presented herein between various cone resistance factors and the true in-situ undrained triaxial compression strength of samples consolidated anisotropically to in-situ effective stresses prior to shearing, s_{uc} , show that the pore pressure factor gives the most consistent correlations, and is recommended as the best factor for determination of s_{uc} . The cone factor N_{Au} depends however on the overconsolidation ratio, OCR, the sensitivity, S_t , and the plasticity index, I_p , of the clay. The reliability of the strength arrived at lie around $\pm 10\%$, provided of course that the CPTU equipment and procedures used determines the pore pressure in a reliable manner. For most cones on the market today, this should not be a problem, but it requires good follow up and checking of zero readings and calibration factors.

The cone resistance factor N_{kt} , give in general poorer correlations against undrained strength than the pore pressure response. This may partly be an equipment problem but possibly also reflect that the cone resistance depends on more subtle soil parameters like for instance the stress-strain relation up to and beyond peak. The data from Oslo harbour (Figures 11 and 12) also indicate that there may be a depth influence on N_{kt} which should be investigated further.

The effective cone factor N_{ke} , combining both cone resistance and pore pressure response, lies somewhere in between the N_{Au} and N_{kt} factors when it comes to variability. However, for values of B_q larger than 0.7-0.8 the variability in N_{ke} becomes rather large. It is recommended to also use this and the N_{ke} correlations to verify the undrained strengths arrived at from N_{Au} .

A designer must keep that in mind when using the strengths derived from the proposed CPTU correlations herein, that the undrained strengths represent the peak undrained triaxial compression strength on high quality samples.

The data suggest that the best estimate of overconsolidation ratio can be made from the normalized cone resistance factor Q_t , but the correlation is not nearly as good as for predicting the undrained strength.

It should finally be noted that the correlations herein have been developed from a data base mainly containing results for Norwegian marine clays, and mainly using the cone penetrometer by ENVI. If applied to distinctly different clays and/or using different CPTU equipment it is encouraged to verify the applicability of the proposed correlations by similar comparisons between results of block sampling and CPTU results as described herein. Even for large and important projects in Norway it is the authors recommendation to verify the applicability of the correlations in such a manner.

It can finally be mentioned that it is NGI's and the authors' intention to regularly update the database, also including data that in the future may become available through others.

5 ACKNOWLEDGEMENTS

A large number of colleagues at NGI have contributed to the work presented herein. A special thanks go to NGI's crews involved in the CPTU testing and block sampling, and the staff in NGI's laboratory, who with their professional skills have ensured the good quality of the data presented in this paper.

Thanks also goes to the Norwegian Research Council who have provided funding for this specific study, and to clients of NGI that have financed some of the site investigations and laboratory testing though their construction projects, and allowed NGI to include the data in this study.

6 REFERENCES

- Andresen, A. and Kolstad, P. 1979. The NGI 54 mm samplers for undisturbed sampling of clays and representative sampling of coarser materials. Int. Symp. On Soil Sampling, Singapore 1979. Proc., pp. 13-21.
- Becker, D.E., Crooks, J.H.A., Been, K. and Jefferies, M.G. 1987. Work as a criterion for determining in situ and yield stresses in clay. *Canadian Geotechnical Journal*, Volume 24, p. 549, 1987.
- Bjerrum, L. 1972. Embankments on soft ground, state-of-the-art report, Proceedings of the Specialty Conference on the Performance of Earth and Earth-Supported Structures, Lafayette, Indiana, Vol. 2, pp. 1-54.
- Burland, J.B. 1990. On the compressibility and shear strength of natural clays. Rankine lecture, *Geotechnique*, Vol. 40, No. 3, pp. 329-378.
- Casagrande, A. (1936). The determination of the pre-consolidation load and its practical significance Proceedings of the First International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Volume III, Discussion D-34, p. 60. Boston, June 22 to 26, 1936.
- Elmgren, K. 1995. Slot-type pore pressure CPT-u filters. Behaviour of different filling media. CPT '95, Linköping. Proc., Vol. 2, pp. 9-12. (Also: SGF Report 3:95.)
- Hight, D., Paul, M.A., Barras, B.F., Powell, J.J.M., Nash, P.R., Smith, P.R., Jardine, R.J. and Edwards, D.H. 2003. The characterisation of the Bothkennar clay. Proc. Workshop on Characterisation and Engineering Properties of Natural Soils, Singapore, Dec. 2003, Vol. 1, pp. 543-598.
- ISSMGE International Society of Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (1999) International Reference Test Procedure for the Cone Penetration Test (CPT) and the Cone Penetration Test with Pore Pressure (CPTU). Report of the ISSMGE Technical Committee 16 on Ground Property Characterisation from In-situ Testing. Proceedings of the Twelfth European Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Amsterdam, Edited by Barends et al., Vol. 3, pp. 2195-2222. Balkema.
- Jensen, T.G. 2001. CPTU combined with block sampling resulted in cost saving solutions at Nykirke railway link. Young Geot. Eng. Conf., Bulgaria 2001.

- Karlsrud, K. 1991. Sammenstilling av noen erfaringer med prøvetaking og effekt av prøveforstyrrelse i norske marine leirer. NGI report 521500-6.
- Karlsrud, K. 1995. Blokkprøvetaking i kombinasjon med CPTU gir nye muligheter. Fjellsprengningsteknikk - Bergmekanikk/ Geoteknikk 1994, Geoteknikkdagen 1995, Oslo. (Also: NGI Report 521674-1.)
- Karlsrud, K. 1999. General aspects of transportation infrastructure. Key-note lecture 12th ECSMFE 199, Amstardam, Proc. Vol.1, pp.17-30.
- Karlsrud, K., Lunne, T., Brattlien, K. 1996. Improved CPTU interpretations based on block samples. Nordic Geotechnical Conference, 12. Reykjavik 1996. Vol. 1, pp. 195-201. Also publ. in: Norwegian Geotechnical Institute, Oslo, Publication, 202.
- Kenney, T.C. 1967. The influence of mineral composition on the residual strength of natural soils. Proc. Geotech. Conf. Oslo, 1967. Also Publ. NGI Publ. No. 76.
- Lacasse, L., Berre, T. and Lefebvre, G. 1985. Block sampling of sensitive clays. Int. Conf. on Soil Mech. And Found. Eng. 1985. Proc. Vol. 2, pp. 887- 892. Also publ. in: Norwegian Geotechnical Institute, Oslo, Publication, 163, 1986.
- Ladd, C.C., Foott, R., Ishihara, K., Schlosser, F. and Poulos, H.G. 1977. "Stress-deformation and strength characteristics". State-of-the-art report. Proceedings of the 9th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Tokyo, 2, 421-94.
- Lefebvre, G. and C. Poulin 1979. A new method of sampling in sensitive clay. *Canadian Geotechnical Journal*, Vol. 16, pp. 226-233.
- Leroueil, S., Samson, L. and Bozozuk, M. 1983. Laboratory and field determinations on preconsolidation pressure at Gloucester. *Canadian Geotechnical Journal*, Vol. 20, No. 3.
- Lunne, T. 2002. Engineering properties of lean Lierstranda clay. Proceedings International Symposium on Coastal Geotechnical Engineering in Practice. Yokohama, Japan 2000, Vol. 2, pp. 177-186.
- Lunne, T., Christophersen H.P, Tjelta T.I. 1985. Engineering use of piezocone data in North Sea clays. International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, 11, San Francisco, Cal. 1985. Proceedings, Vol. 2, pp. 907-912.
- Lunne, T., Eidsmoen t., Gillespie D. and Howland J.D. 1986. Laboratory and Field evaluation of cone penetrometers. Proceedings of In Situ '86. GT. Div. ASCE. June 1986., pp. 714-729.
- Lunne, T., Lacasse, S. and Rad N.S. 1989. "SPT, CPT, pressuremeter testing and recent developments on in situ testing of soils". General Report. International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, 12. Rio de Janeiro 1989. Proceedings, Vol. 4.
- Lunne, T.; Berre, T.; Strandvik, S. 1997a. Sample disturbance effects in soft low plastic Norwegian clay. International Symposium on Recent Developments in Soil and Pavement Mechanics. Rio de Janeiro 1997. Proceedings, pp. 81-102. Also publ in: Norwegian Geotechnical Institute, Oslo. Publication 204.
- Lunne, T.; Robertson, P.K.; Powell, J.J.M. 1997b. *Cone penetration testing in geotechnical practice*. London, Spon Press. 312p.
- Mayne, P.W. 1991. "Determination of OCR in clays by piezocone tests using cavity expansion and critical state concepts". *Soils and Foundations*, 31(2), 65-76.
- Norwegian Geotechnical Institute 2002. Quality of CPTU. Statistical analyses of CPTU data from Onsøy. NGI Report No. 20001099-2, dated 5 September 2002.
- Norwegian Geotechnical Institute 2004 SIP8- Offshore Geohazards-Correction methods for oedometer tests, theory and verification. NGI Report 20021023-11 (in printing).
- Roy, M., Tremblay, M., Tavenas, F. and La Rochelle, P. 1980. "Induced pore pressures in static penetration tests in sensitive clay". Proceedings of the 33rd Canadian Geotechnical Conference, Calgary, Preprint Volume, 11.3.1 to 11.3.13.



MULTICONSULT
Totalleverandør av rådgivningstjenester

CPTU i Multiconsult

Statens vegvesen Region Sør – Multiconsult BVT

Oslo 26.04.2010



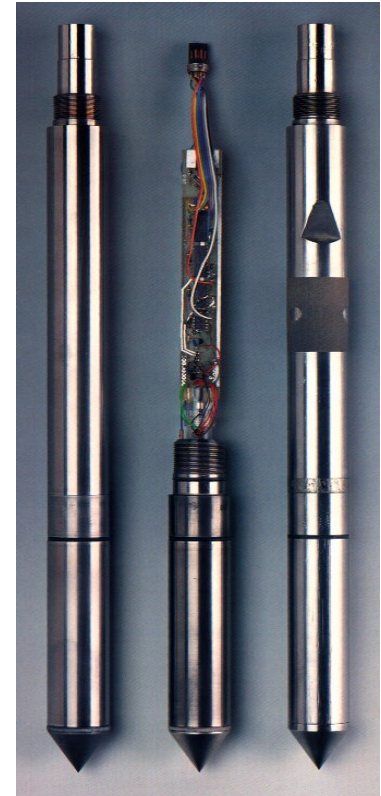
Rolf Sandven
MULTICONSULT TRONDHEIM



CPTU i Multiconsult

Innhold – presentasjon

- **CPTU i Multiconsult**
 - ✓ Utstyr
 - ✓ Brukerstøtte
- **Planlegging av grunnundersøkelsen**
 - ✓ Muligheter og begrensninger
 - ✓ Strategi for bruk av CPTU
- **Rammebetingelser for utførelse av CPTU**
 - ✓ Standardisering
 - ✓ Krav til utstyr og gjennomføring
 - ✓ Målenøyaktighet
 - ✓ Kommunikasjon saksbehandler – borleder
- **Gjennomføring av undersøkelsen**
 - ✓ Montering og vedlikehold
 - ✓ Viktige momenter i feltprosedyren
- **Tolkning av CPTU resultater**
 - ✓ Kontroll av profiler
 - ✓ Tolkede parametre med eksempler
 - ✓ Bruk av software
 - ✓ Dokumentasjon av nøyaktighet og kvalitetsklasse
- **Anvendelse av CPTU data i praksis**



CPTU i Multiconsult

Utstyr
Brukerstøtte

CPTU i Multiconsult

Utstyr og personell

✓ 12 CPTU systemer

- ✓ Geotech Nova, Geotech Classic og ENVITech Memocone MkII standard 10 cm² trykksonder
- ✓ Geotech Felt PC, Geotech Geoprinter, ENVITech D-MON datainnsamlingsystemer
- ✓ 1, 2, 2,5 og 5 tonn lastkapasitet
- ✓ CPTU opereres med hydrauliske borrhjeler eller fra borebåter (Frøy Bergen, Borebas Tromsø)

✓ 21 borledere/borlederassistenter

- ✓ Fordelt på 8 regionskontorer
- ✓ De aller fleste borledere har gjennomført Grunnboringskolen (Statens Vegvesen, NGF)

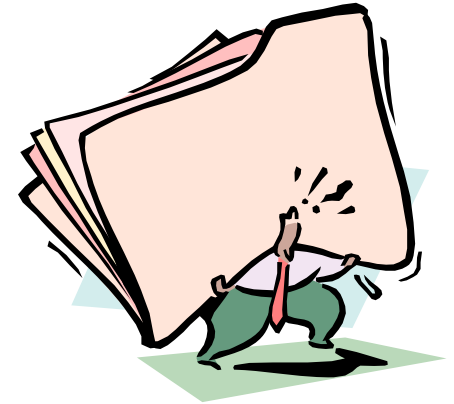
✓ Ca.75 saksbehandlere

- ✓ Fordelt på 12 distriktskontorer

CPTU i Multiconsult

Brukerstøtte

- **Interne kurs og seminarer**
 - ✓ Saksbehandlere
 - ✓ Borledere
- **Interne brukermanualer**
 - ✓ Manualer for teknisk utstyr, utførelse i felt, samt presentasjon og tolkning
 - ✓ Manualer for regneark CPTU EXTRA, INTRO, SIGMA
- **Sjekklister for utførelse av CPTU**
 - ✓ Valg og klargjøring av utstyr
 - ✓ Utførelse i felt
 - ✓ Kontroll, presentasjon og tolkning
- **NGF Melding 5, rev. 3, 2010**
 - ✓ Tilsvares norsk oversetting av kommende standard
 - ✓ Publiseres i mai 2010
- **Statens Vegvesens håndbøker**
- **EN ISO 22476-1 Piezocone testing**
 - ✓ Forventes ferdig ultimo 2010
 - ✓ Norsk standard for CPTU NS-EN ISO 22476-1

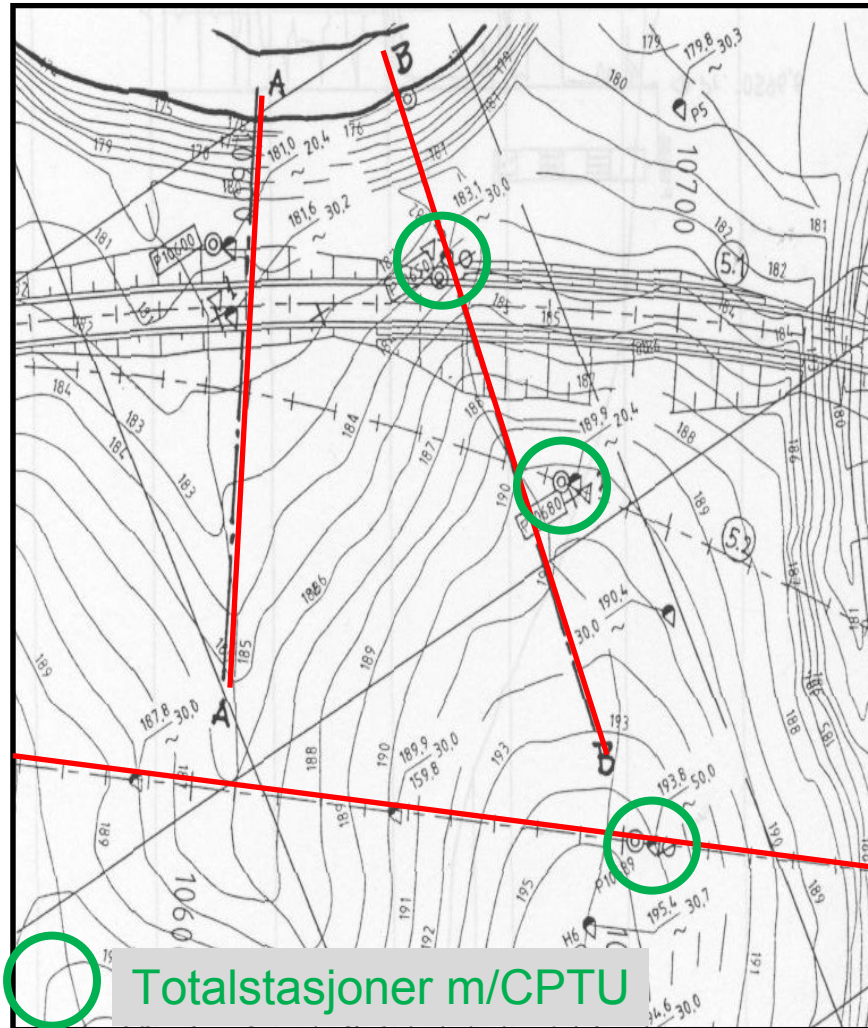


Planlegging av grunnundersøkelsen

Muligheter og begrensninger
Strategi for bruk av CPTU

CPTU i Multiconsult

Planlegging av grunnundersøkelsen



Prinsipper for plassering og omfang av CPTU og andre boringer

- Plassering av borpunkter i tverr- og lengdeprofiler
- Innledende (enkle) sonderinger for grov kartlegging av forholdene
 - ✓ Kontrollsonderinger i forkant av CPTU er som regel nødvendig!
- CPTU benyttes for mer detaljert kartlegging
 - ✓ Lokalisering av resterende prøvetakinger og in situ målinger
- Overlapp mellom CPTU og andre metoder i samme borpunkt (totalstasjon)
 - ✓ Muliggjør sammenligning og kontroll av tolkninger, lokale korrelasjoner
 - ✓ Sammenhenger kan overføres til andre borpunkt

Rammebetingelser for utførelse av CPTU

Standardisering

Krav til utstyr og gjennomføring

Målenøyaktighet

Dokumentasjon av nøyaktighet og Anvendelsesklasse

CPTU i Multiconsult

Ny internasjonal standard for CPTU

Anvendelsesklasser

Nøyaktighetskrav

- Valg av Anvendelsesklasse skal reflektere foreliggende grunnforhold og ønsket bruk av CPTU data (tolkning)
- Krav relateres til samlet nøyaktighet av målingene
- Krav relateres til måleverdi
- **Klasse 1:** Nøyaktighet skal dokumenteres oppnådd:
 - ✓ Kalibreringssertifikat
 - ✓ Dokumentasjon av målenøyaktighet
 - ✓ Rapport med usikkerhetsvurdering

Klasse	Størrelse	Akseptabel nøyaktighet (største av to verdier)
1	Spissmotstand Sidefriksjon Poretrykk Helning	35 kPa eller 5 % 5 kPa eller 10 % 10 kPa eller 2 % 2°
2	Spissmotstand Sidefriksjon Poretrykk Helning	100 kPa eller 5 % 15 kPa eller 15 % 25 kPa eller 3 % 2°
3	Spissmotstand Sidefriksjon Poretrykk Helning	200 kPa eller 5 % 25 kPa eller 15 % 50 kPa eller 5 % 5°
4	Spissmotstand Sidefriksjon	500 kPa eller 5 % 50 kPa eller 20 %

CPTU i Multiconsult

Usikkerheter i CPTU - målinger

Måletekniske feilkilder

- Kalibreringsfeil
 - ✓ Utdatert kalibrering
 - ✓ Kalibreringsfeil på grunn av skader eller overbelastning
- Feil montering av sonde, eks. pakninger og forseglingsringer
- Avvik i sondegeometri
- Mangelfull metting av poretrykksmåler
- Temperatureffekter
 - ✓ Prøvingsmiljø: temperaturgradienter luft – borhull med nullpunktsdrift
 - ✓ Transiente effekter ved penetrering
- Overføring av laster på grunn av mangelfull rengjøring av spalter og pakninger
- Skjevheter i og helning av stangsystem
- Feil i datainnsamlingsystem
 - Avvik i målere – oppløsningsproblematikk
 - Feil i øvrige elektroniske komponenter og målekort
 - Dataoverføring – tap av nøyaktighet

CPTU i Multiconsult

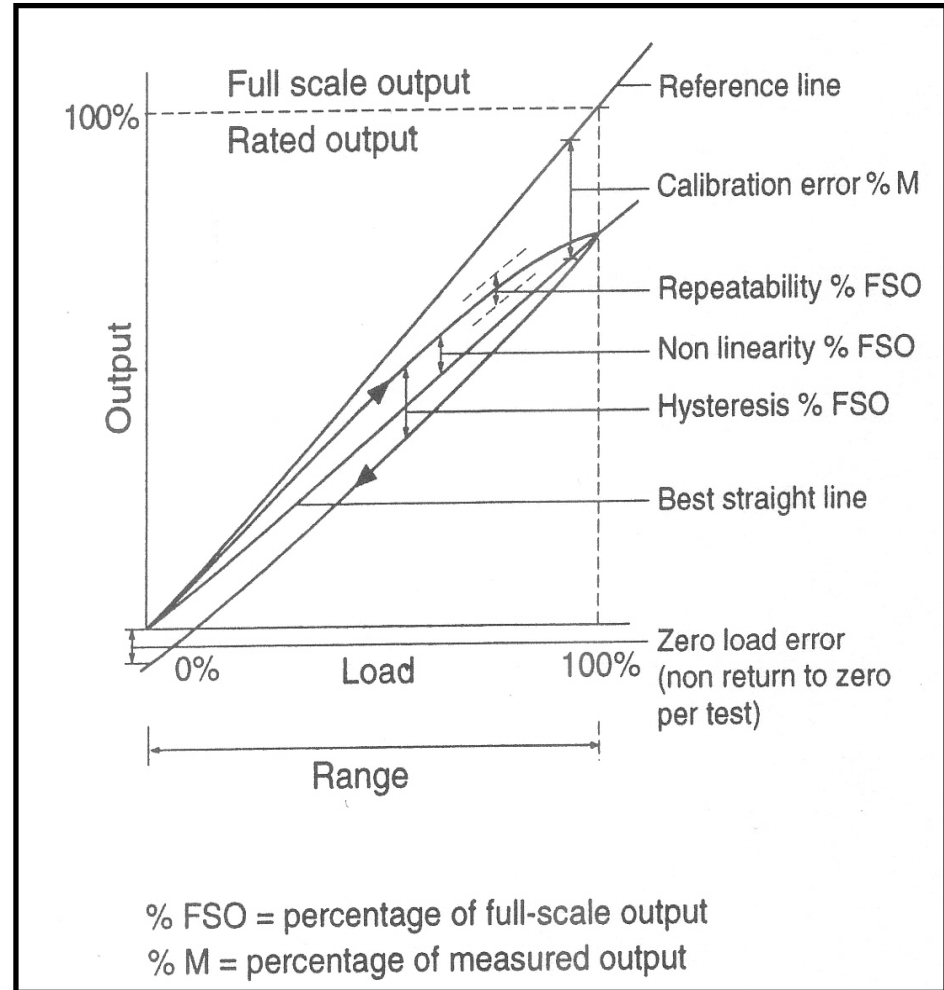
Nøyaktighet av elektroniske målere

Nøyaktighet definert av:

- Oppløsning
- Ikke-linearitet
- Repeterbarhet
- Hysterese
- Nullpunktsavvik
- Kalibreringsfeil

Lunne et al (1997):

”En måler skal være både presis og nøyaktig”



Gjennomføring av undersøkelsen

Montering og vedlikehold

Viktige momenter i feltprosedyren

CPTU i Multiconsult

Utførelse i felt

- **Viktige momenter**
 - **Montering av sonde**
 - **Metting av poretrykksmåler**
 - ✓ Mettingsprosedyre
 - ✓ Valg av mettingsmedium
 - ✓ Vedlikehold og kontroll av metting
 - **Temperaturstabilisering av sonden**
 - ✓ Stabilisering før nullpunktavlesning og etter nedsetting i borhull
 - **Nullpunktavlesning før sondering**
 - ✓ Temperaturstabil, ubelastet sonde
 - ✓ Ventetid for utligning av poretrykk
 - **Innstilling av riktig penetrasjonshastighet (2,0 cm/sek)**
 - **Nullpunktavlesning etter sondering**
 - ✓ Temperaturstabil, ubelastet sonde
 - ✓ Ventetid for utligning av poretrykk
 - ✓ Friksjonshylse må kunne rotere fritt



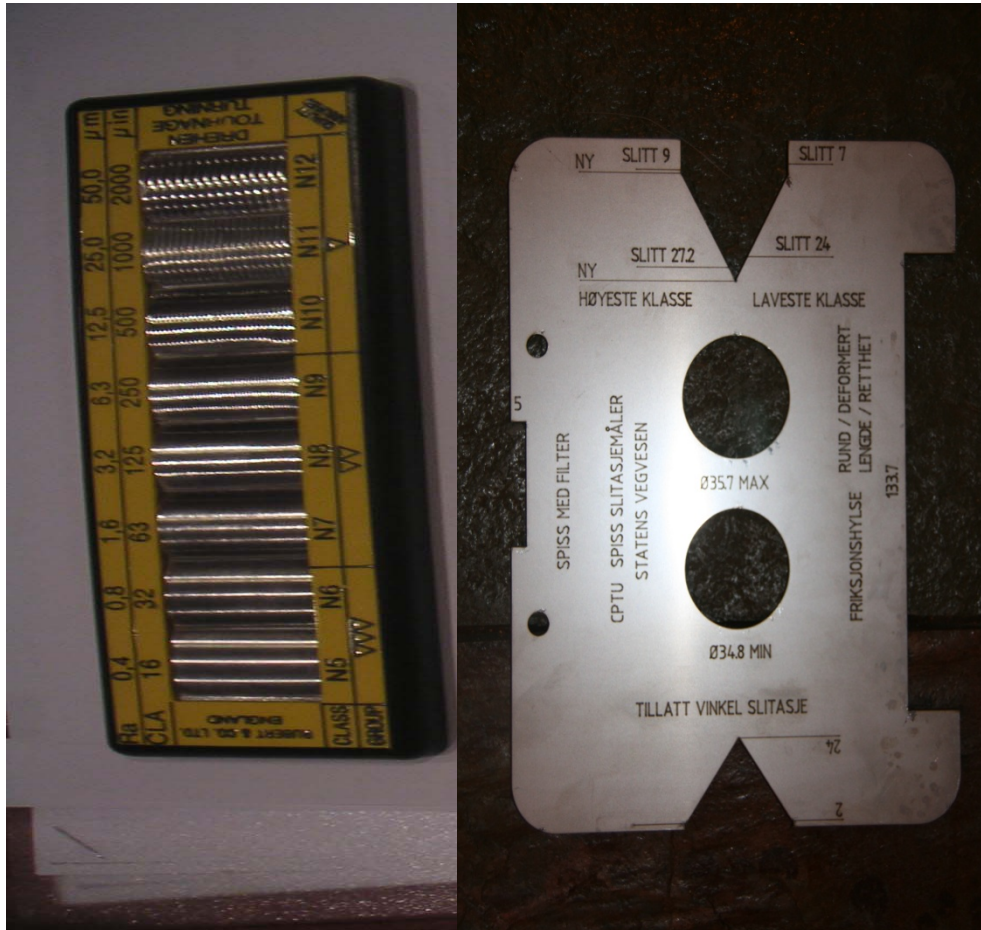
CPTU – forberedelser, kalibrering og kontroll

Montering av sonde



CPTU – forberedelser, kalibrering og kontroll

Montering av sonde

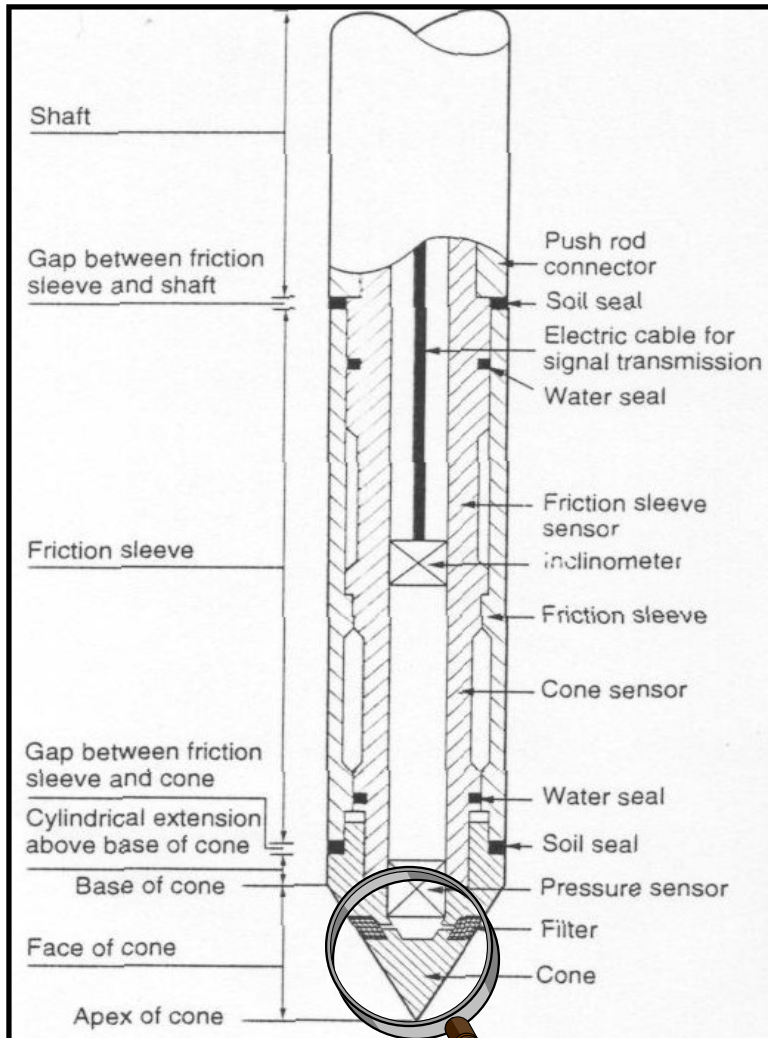


Inspiser for slitasje

Ruhet
Geometri
Mal for slitasjemåling SVV

CPTU i Multiconsult

Metting av poretrykksmåler



Porøse filter

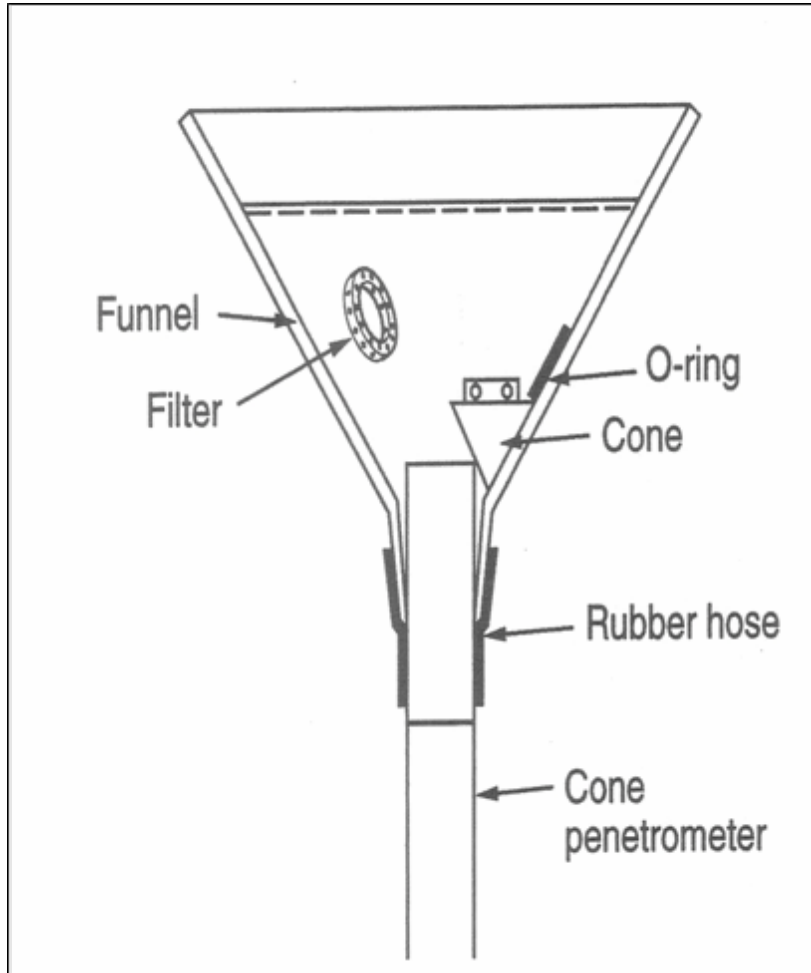
- **Forutsetning:** Både filter, kanaler og trykkammer må mettes med luftfri væske
- Aktuelle mettemetoder i Multiconsult
 - ✓ Neddykket montering i trakt
 - ✓ Bruk av forhåndsmettede filtre
 - ✓ Vakuumering av sonde
- Bruk av gummihud for vedlikehold av metting over GV
- Bruk av mindre viskøse væsker (parafin, silikon, glyserin)

Spaltefilter

- **Forutsetning:** Åpent system med smal spalte (0,3 mm) og kanaler forbundet med et trykkammer.
- Spalte og kanaler mettes med silikonfett, gelatin eller tilsvarende
- Trykkammer mettes med luftfritt vann eller frostvæske (vinter)

CPTU i Multiconsult

Metting av poretrykksmåler



Metting ved montering i trakt

- Trakt med tetting benyttes
- Luffri væske benyttes for metting, f.eks. vann, glyserin eller rensset parafin
- Konisk spiss, pakninger og filter monteres neddykket og skrues til.
- Filter bør mettes i forkant (best: vakuumeksikator i laboratoriet)
- Sonden holdes neddykket til gummihud er montert over filteret.
- **Konklusjon:** Enkel og rask metode, vanligvis tilstrekkelig for akseptabel metting



frostvæske

sondespiss

filter

CPTU i Multiconsult

Metting av poretrykksmåler



Forhåndsmettede filtre

- Kommersielt tilgjengelige
- Forhåndsmettede filtre av sintret bronse, mettet med en blanding av glyserin og gel
- Usikker oppførsel ved sterk kulde, kan blandes ut med vann for bedre frostegenskaper?
- Viser meget god evne til opprettholdelse av mettingen ved penetrasjon av faste lag
- Rensing og ny metning etter bruk er mulig





Metting med gelatin



Metting med ENVI-fett

CPTU i Multiconsult

Prosedyrer for nullpunktsavlesning

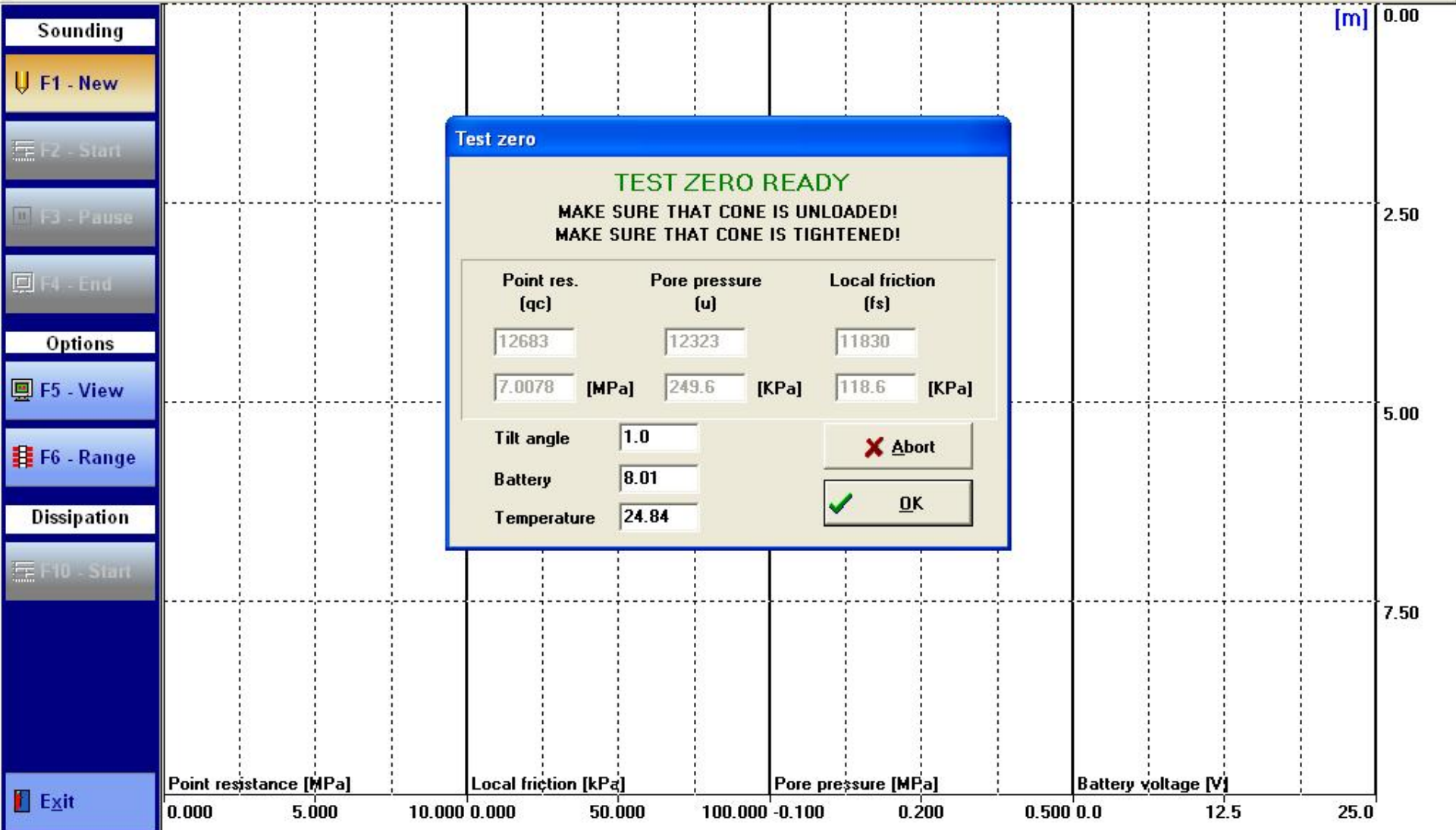


Viktige momenter

- **Unngå temperaturgradienter i sonden**
 - ✓ Sonden bør oppbevares temperaturstabil ved ca. 5-7 °C
 - ✓ Nullpunktavlesning foretas for temperaturstabil og ubelastet sonde
 - ✓ Sonden må temperaturstabiliseres i borhullet ved mistanke om temperaturavvik
 - ✓ Nullpunktstabilitet kan kontrolleres på nyere datasystemer
- **Ventetid innføres etter montering og opptrekk før nullpunkt registreres**
 - ✓ Utligning av poretrykk/poresug
 - ✓ Spaltene ved friksjonshylsen må rengjøres slik at hylsen kan rotere fritt

Tilt angle	<input type="text" value="0.0"/>	Speed	<input type="text" value="0.0"/>	Battery	<input type="text"/>	temp.	<input type="text"/>
Depth	<input type="text" value="0.000"/>	qc	<input type="text" value="0.0"/>	fs	<input type="text" value="0.0"/>	u	<input type="text" value="0.0"/>
EC	<input type="text"/>						

CPT Status CPT-SOUNDING VER. #M232 Signal OK



TEST ZERO READY

MAKE SURE THAT CONE IS UNLOADED!
MAKE SURE THAT CONE IS TIGHTENED!

Point res. (qc)	Pore pressure (u)	Local friction (fs)
<input type="text" value="12683"/>	<input type="text" value="12323"/>	<input type="text" value="11830"/>
<input type="text" value="7.0078"/> [MPa]	<input type="text" value="249.6"/> [KPa]	<input type="text" value="118.6"/> [KPa]

Tilt angle	<input type="text" value="1.0"/>	<input type="button" value="X Abort"/> <input checked="" type="button" value="OK"/>
Battery	<input type="text" value="8.01"/>	
Temperature	<input type="text" value="24.84"/>	

Adjustment check

Cone name: 4200 Serial No: 4200

QC -> Date

FS -> Date

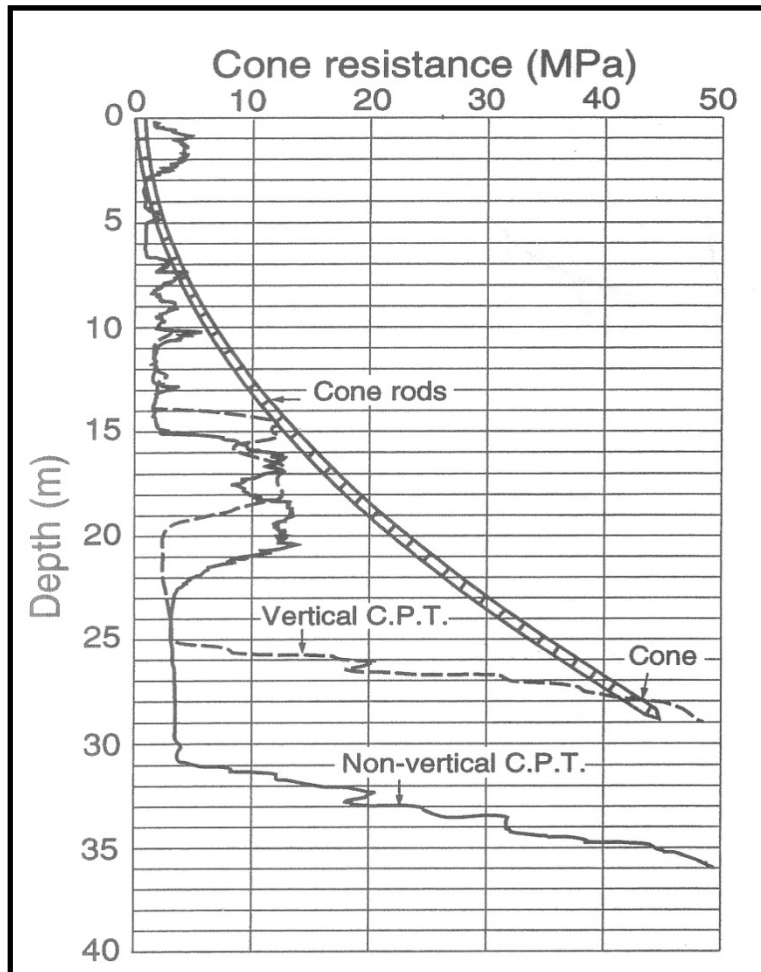
U -> Date

Control Chart Print Preview

Cone Serial No: Cone name:

CPTU i Multiconsult

Kontroll av stanghelning



CPTU i Multiconsult

Dokumentasjon av målenøyaktighet

- **Sondens egenskaper**
 - ✓ Kapasiteter og måleområde
 - ✓ Spesifikasjoner for målere (måleoppløsning, signal-til-støy forhold)
- **Kalibreringssertifikat**
 - ✓ Kalibreringsintervaller i henhold til standard
 - ✓ Temperaturinnflytelse
- **Nullpunktsverdier før og etter forsøk**
- **Dokumentasjon av forsøksprosedyrer**
 - ✓ Metting av poretrykksmåler
 - ✓ Prosedyrer for nullavlesning før og etter undersøkelsen
 - ✓ Kontroll av helning
 - ✓ Kontroll av penetrasjonsrate
- **Vurdering av oppnådd profil**

Tolkning av CPTU resultater

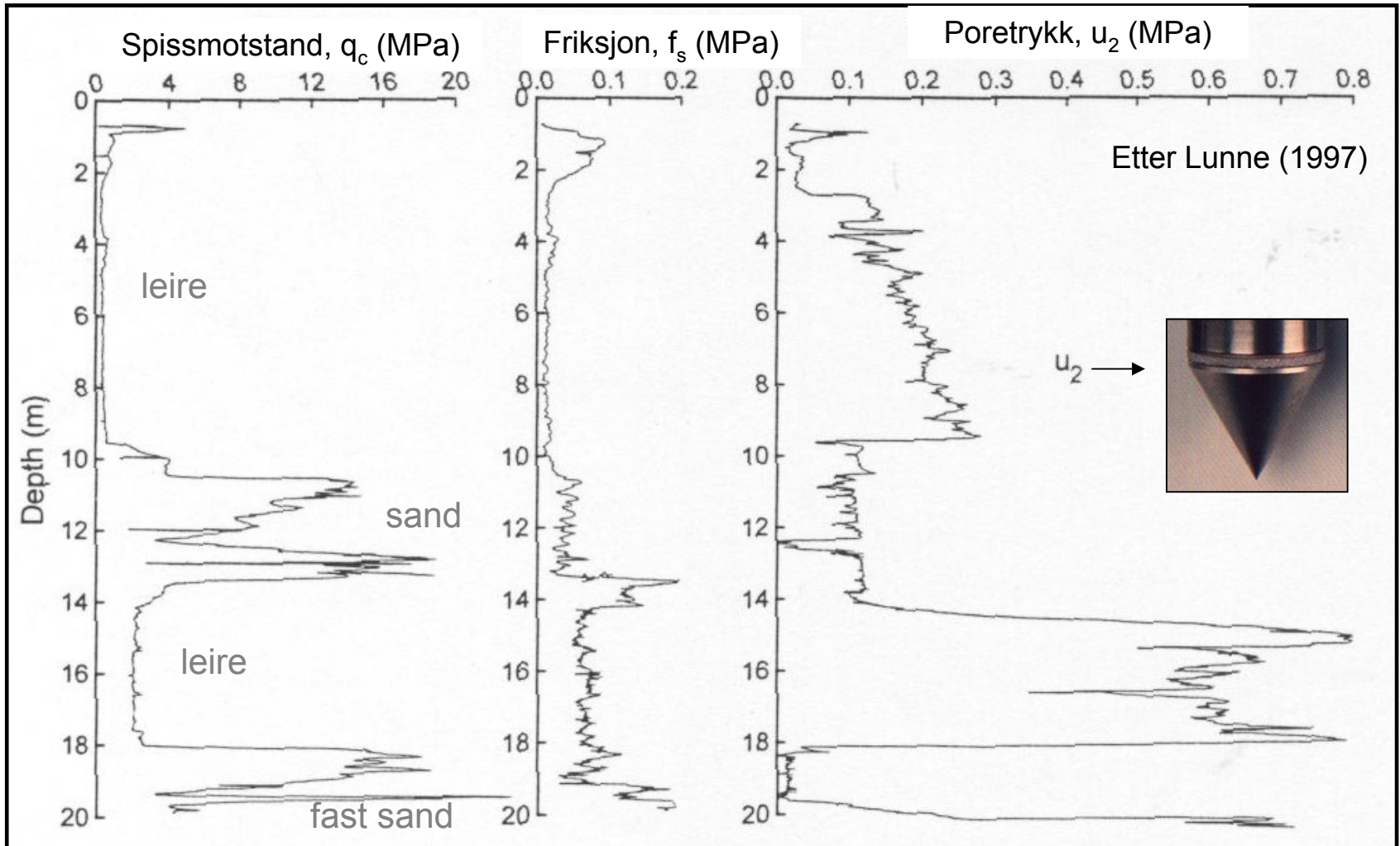
Kontroll av profiler

Tolkede parametre med eksempler

Bruk av software

CPTU i Multiconsult

Kontroll av oppnådde data

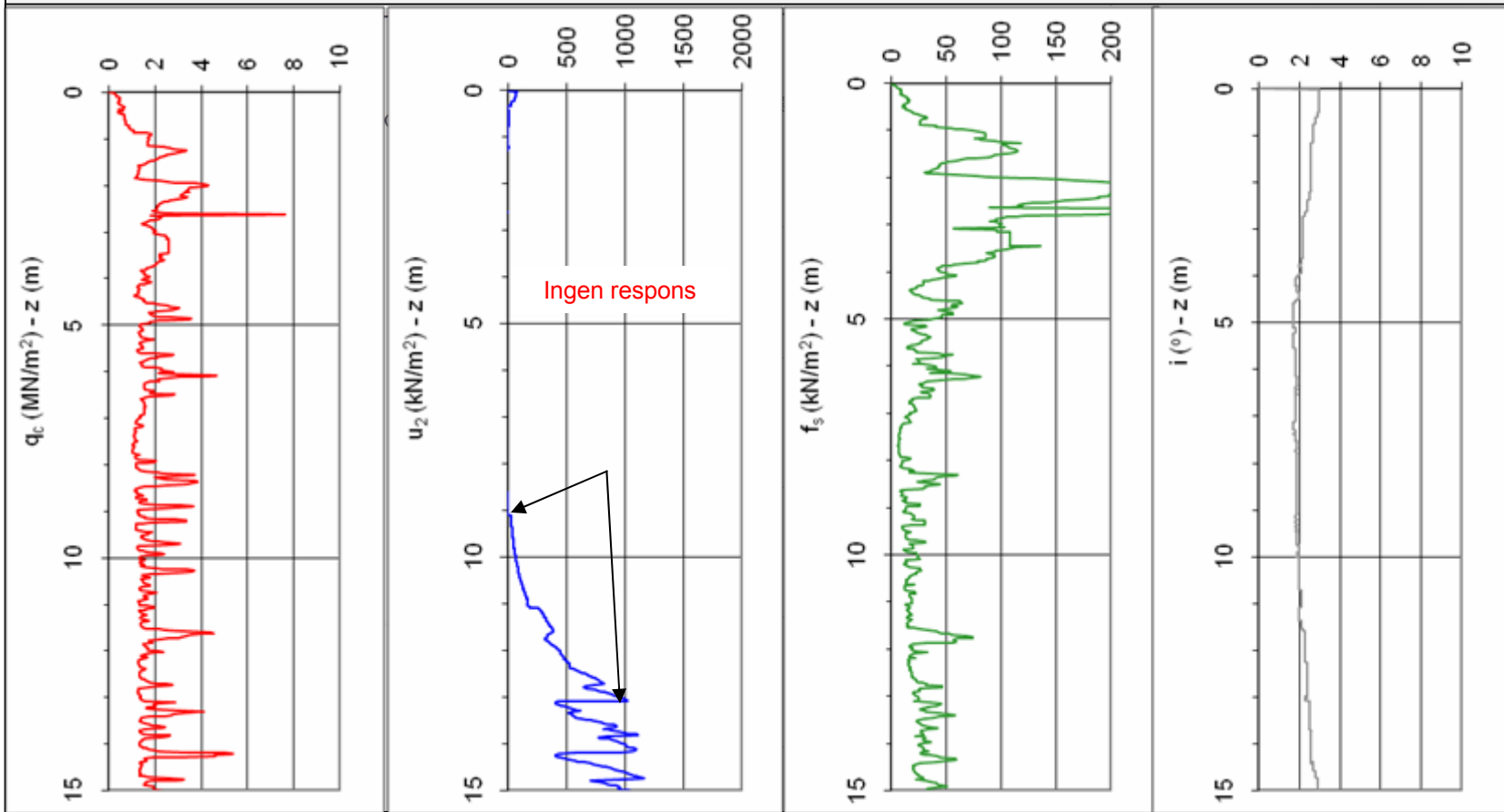


Presentasjon av CPTU resultater

CPTU i Multiconsult

Kontroll av oppnådde data

Eksempel på effekt av dårlig mettet poretrykkmåler

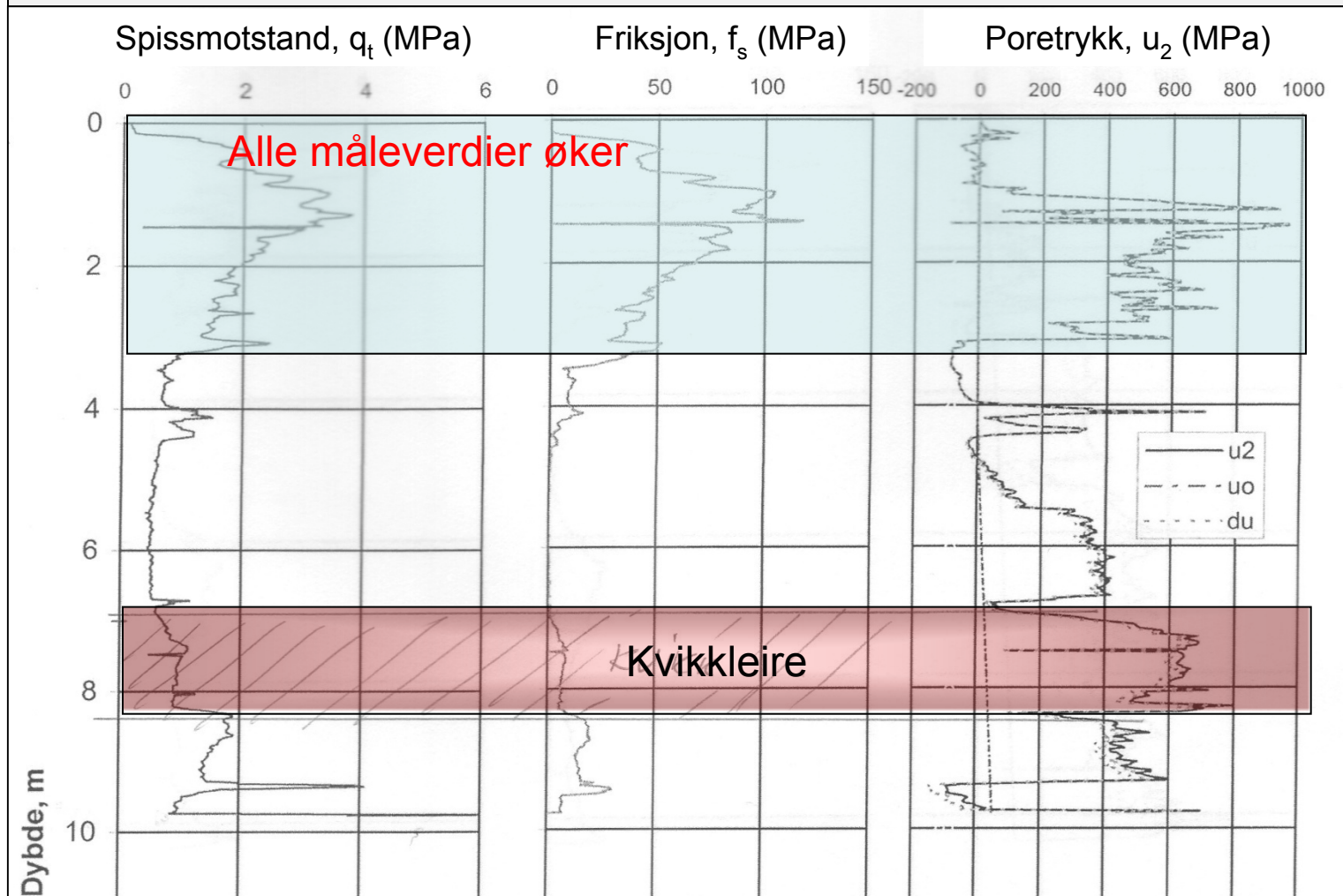


"Bananprofil" for u₂

CPTU i Multiconsult

Kontroll av oppnådde data

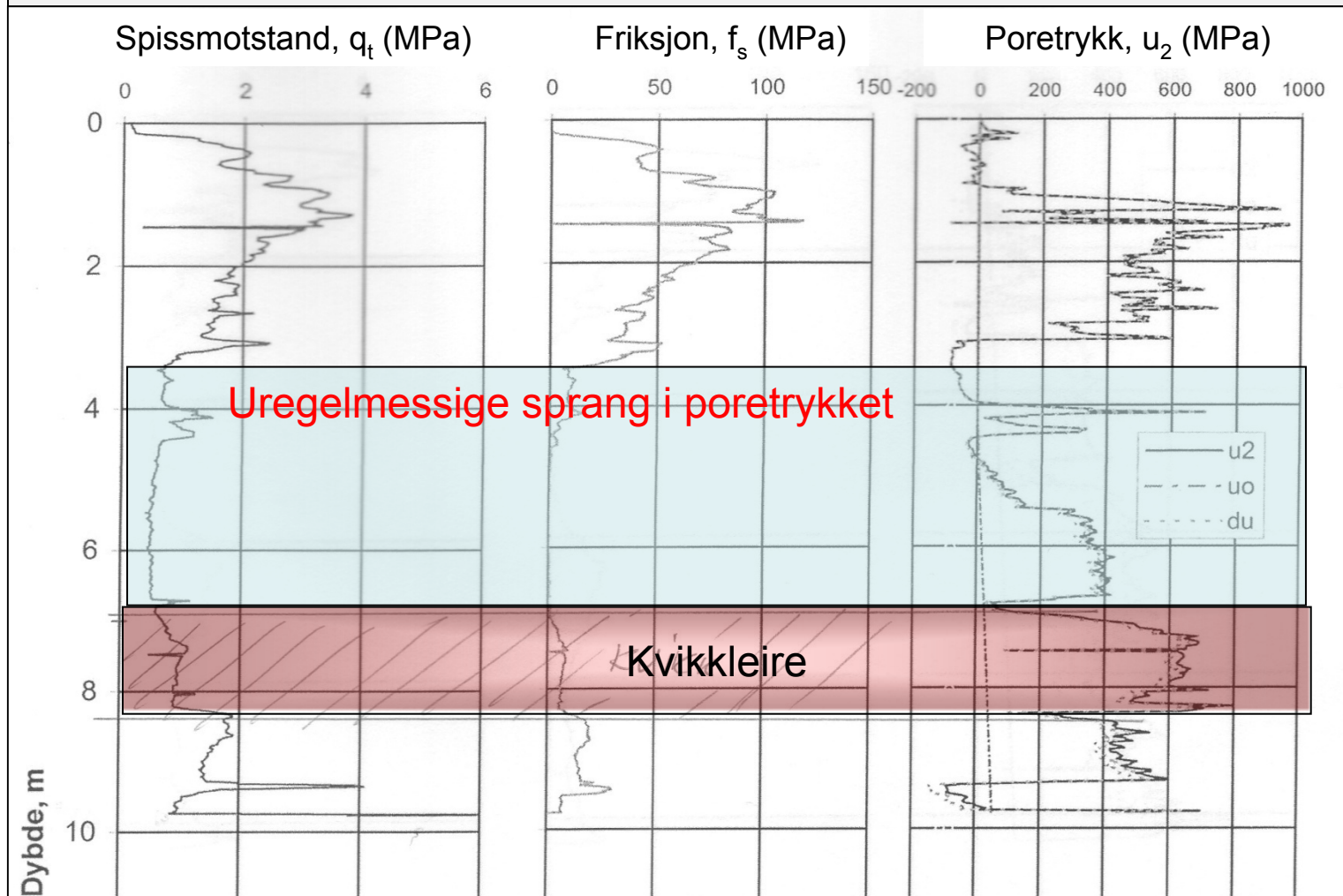
Avvik mellom q- og u - profilene



CPTU i Multiconsult

Kontroll av oppnådde data

Avvik mellom q- og u - profilene



CPTU i Multiconsult

Kontroll av oppnådde data

- **Inspeksjon av sonde/filter/stenger/pakninger for skader/slitasje etter opptrekk**
- **Nullpunktskontroll**
 - ✓ Kontroll av nullpunkt for ubelastet, temperaturstabilisert sonde før sondering
 - ✓ Kontroll av nullpunkt for ubelastet, temperaturstabilisert sonde etter sondering
- **Gjennomgang av borlogg – kommentarer fra borleder**
- **Kontroll av sonderingsprofil**
 - ✓ Metningskontroll: Respons på små og store endringer i sonderingsprofil (laggrenser, tekstur)
 - ✓ Samsvar mellom spissmotstand, friksjon og poretrykk
 - ✓ Kontroll mot forventede verdier i aktuell jordart
- **Dokumentasjon av målenøyaktighet - usikkerhetsrapport ved CPTU i Klasse 1**

CPTU i Multiconsult

Generelt om tolkning

Utførelse

- Målingene foregår under riktige effektivspenningsforhold
- Måledata registreres i kontinuerlig bruddsituasjon ved høye tøyninger og tøyningshastigheter
- Måledata (q_c , f_s) må korrigeres for poretrykkseffekter før bruk i klassifisering og tolkning

Tolkning av data

- **Tolkede data er usikre fordi:**
 - ✓ Teoretiske tolkningsmetoder for parametre bygger på forenklinger og usikre randbetingelser
 - ✓ Empiriske tolkningsmetoder anvender inkonsistente referansedata eller er ikke representative for de lokale forhold
- **Tolkede data bør suppleres med prøvetaking og laboratorieundersøkelser, også med tanke på riktig identifisering av jordart**

CPTU i Multiconsult

Tolkning av parametre

Tolkningsmetoder basert på teoretiske eller empiriske metoder:

- Teoretiske løsninger søker å beskrive oppførselen for jorden i kontinuerlig bruddtilstand, basert på velkjente prinsipper og modeller (analogi: bæreevne for enkeltpel)
- Empiriske metoder benytter korrelasjoner mellom CPTU målinger og referansedata fra andre felt- eller laboratorieundersøkelser

Eks.: Bestemmelse av udrenert skjærstyrke fra CPTU-data:

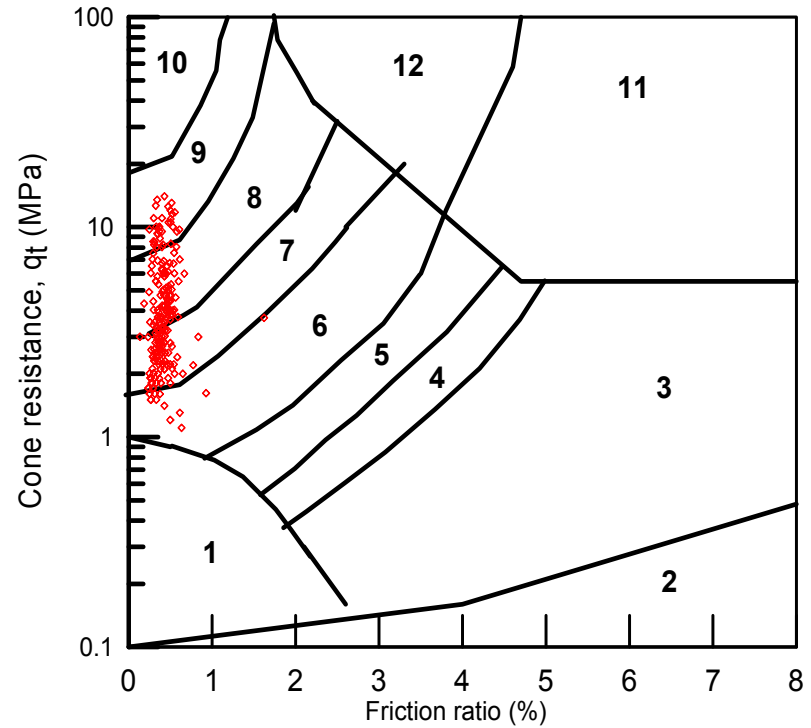
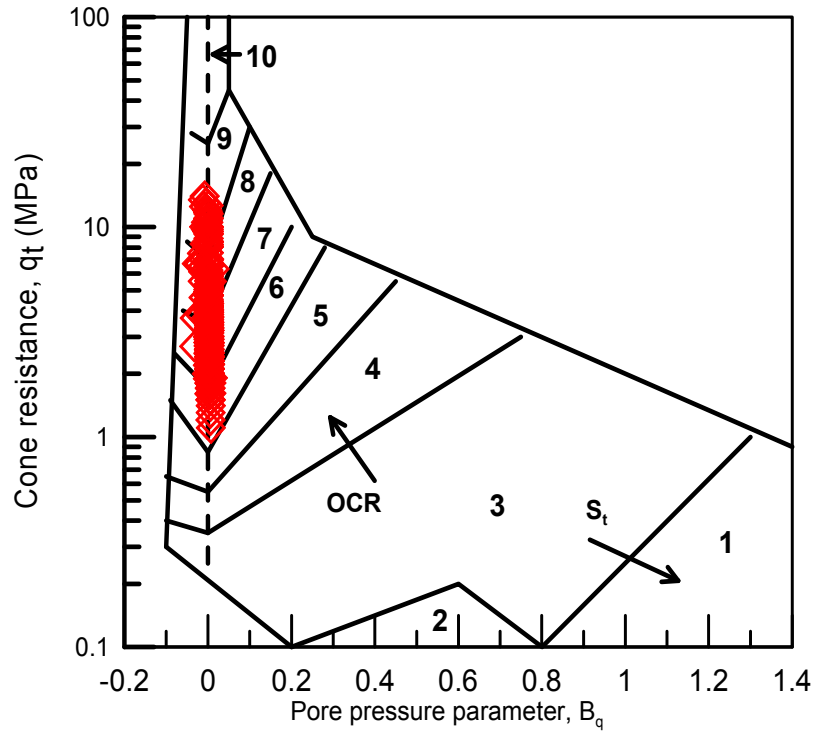
$$N_{\text{lokal}} = q_n / s_{u\text{lab/felt}}$$

$$s_{u\text{CPTU}} = q_n / N_{\text{lokal}}$$

- **Klassifisering og identifisering**
 - ✓ Lagdeling og jordart
- **De mest aktuelle parametrene:**
 - ✓ **Udrenert skjærstyrke, s_u**
 - ✓ Valgte konfaktorer N_{kt} , $N_{\Delta u}$, N_{ke}
 - ✓ Karlsruhe et al (1996, 2005)
 - ✓ Friksjonsvinkel, ϕ
 - ✓ Prekonsolideringsspenning, σ_c'
 - ✓ Deformasjonsmoduler, M , G
- **Dissipasjonstester i utvalgte nivåer - poretryksreduksjon mot tid:**
 - ✓ Konsolideringskoeffisient, c
 - ✓ Permeabilitetskoeffisient, k
- **Andre parametre:**
 - ✓ Sensitivitet S_t (leire)
 - ✓ Relativ densitet, D_r (sand)

CPTU i Multiconsult

Jordartsklassifisering fra CPTU - data



Zones / Soil behaviour type (From Robertson et al., 1986)

- | | | |
|---------------------------|------------------------------|------------------------------|
| 1. Sensitive fine grained | 5. Clayey silt to silty clay | 9. Sand |
| 2. Organic material | 6. Sandy silt to clayey silt | 10. Gravelly sand to sand |
| 3. Clay | 7. Silty sand to sandy silt | 11. Very stiff fine grained* |
| 4. Silty clay to clay | 8. Sand to silty sand | 12. Sand to clayey sand* |
- *Overconsolidated or cemented

Klassifiseringsdiagram for CPTU (Robertson m.fl. 1986)

CPTU i Multiconsult

Korrelasjoner basert på blokkprøveresultater

Tolkning fra poretrykksforhold B_q

NGI korrelasjoner (Karlsrud et al (1996))

Basert på CAUc treaksialforsøk på blokkprøver av høy kvalitet

$$s_u = (q_t - \sigma_{v0}) / N_{kt}$$

$$s_u = \Delta u / N_{\Delta u}$$

$$N_{kt} = f(B_q = \Delta u / q_n)$$

$$N_{\Delta u} = f(B_q = \Delta u / q_n)$$

Kurvetilpasning (Kirkebø, (2005))

$$N_{kt} = 19 - 12.5 \cdot B_q$$

$$N_{\Delta u} = 1.0 + 9.0 \cdot B_q$$

$$N_{ke} = 16 - 14.5 \cdot B_q$$

CPTU i Multiconsult

Korrelasjoner basert på blokkprøveresultater

Tolkning fra S_t , OCR og I_p

NGI korrelasjoner (Karlsruh et al (2005))

Basert på CAUc treaksialforsøk på blokkprøver av høy kvalitet (større spredning i egenskaper)

$$s_u = (q_t - \sigma_{v0}) / N_{kt}$$

$$s_u = \Delta u / N_{\Delta u}$$

$$N_{kt} = f(S_t, \text{OCR}, I_p)$$

$$N_{\Delta u} = f(S_t, \text{OCR}, I_p)$$

$S_t < 15$:

$$N_{kt} = 7.8 + 2.5 \cdot \log \text{OCR} + 0.082 \cdot I_p$$

$$N_{ke} = 11.5 - 9.05 \cdot B_q$$

$$N_{\Delta u} = 6.9 - 4.0 \cdot \log \text{OCR} + 0.07 \cdot I_p$$

$S_t > 15$:

$$N_{kt} = 8.5 + 2.5 \cdot \log \text{OCR}$$

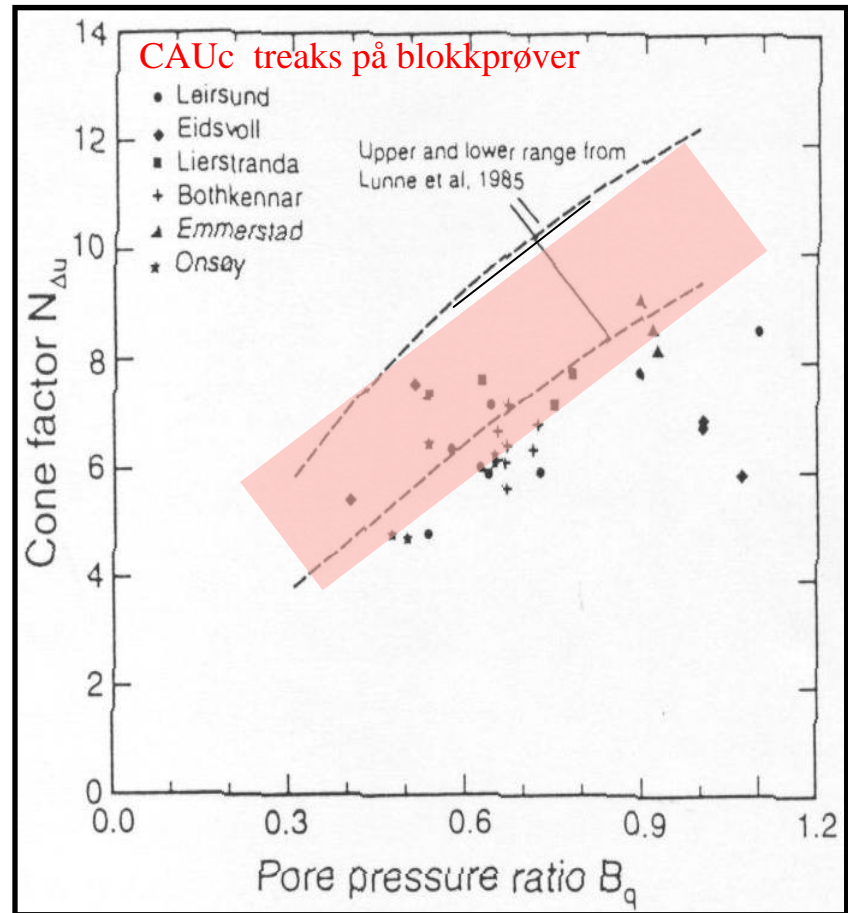
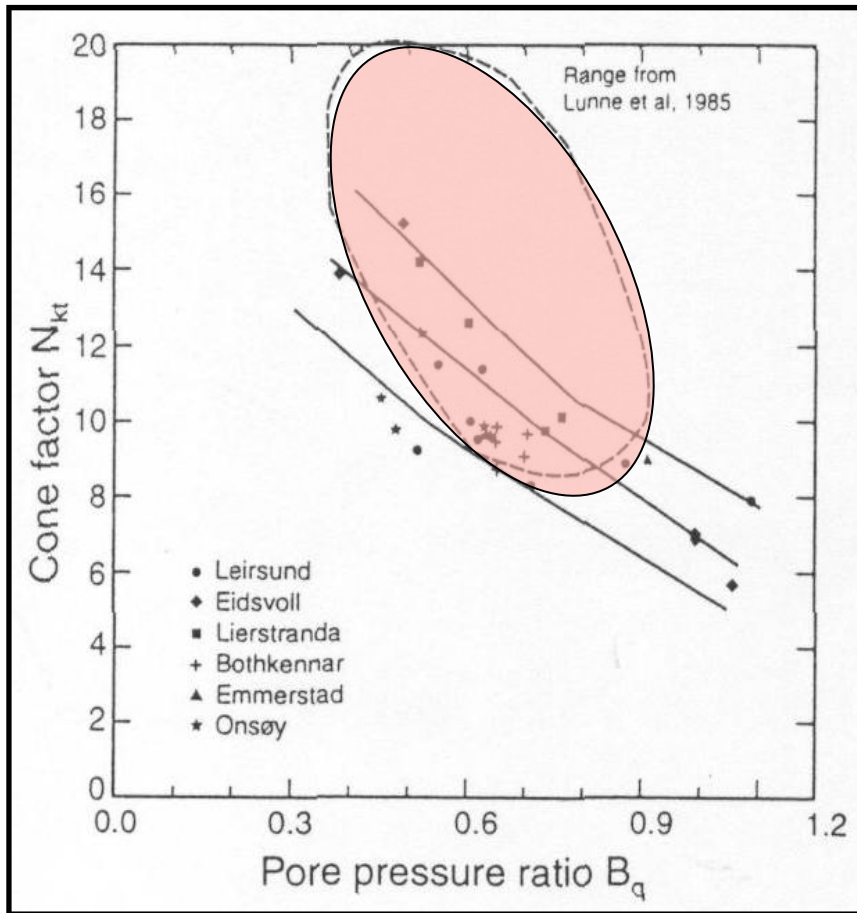
$$N_{ke} = 12.5 - 11.0 \cdot B_q$$

$$N_{\Delta u} = 9.8 - 4.5 \cdot \log \text{OCR}$$

CPTU i Multiconsult

Korrelasjoner basert på blokkprøveresultater

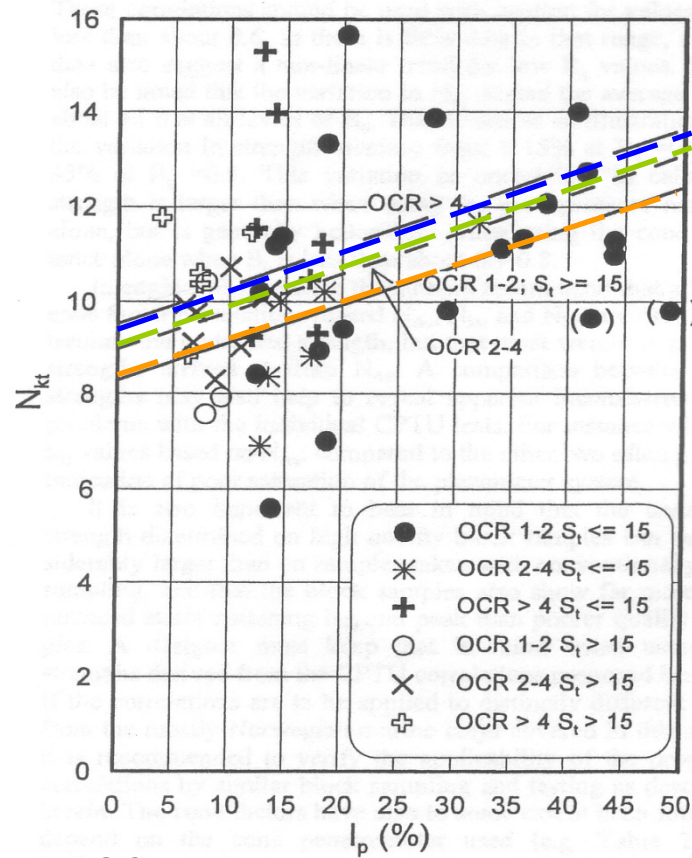
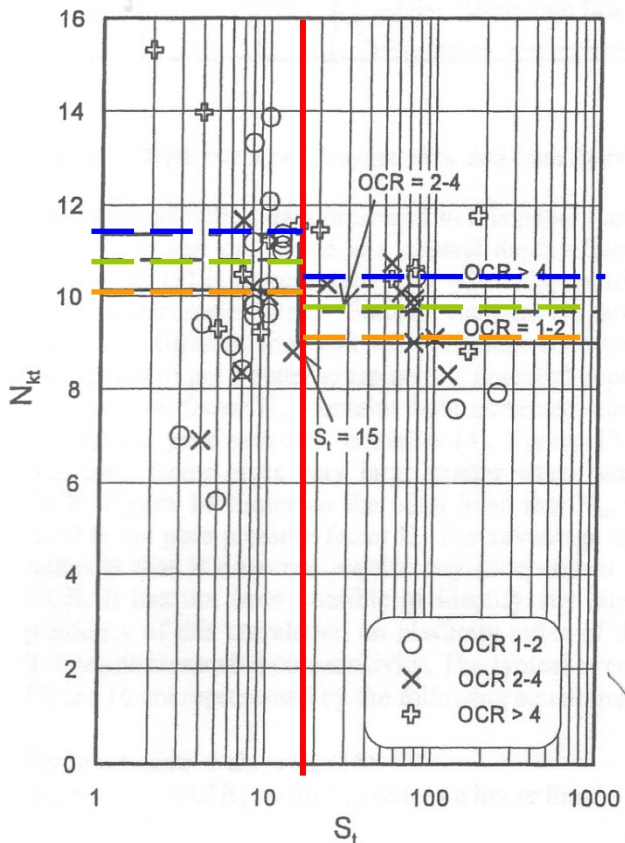
Spredning i datagrunnlag – B_q korrelasjoner



CPTU i Multiconsult

Korrelasjoner basert på blokkprøveresultater

Spredning i datagrunnlag – S_t , OCR, I_p korrelasjoner



$$S_t < 15: N_{kt} = 7.8 + 2.5 \cdot \log OCR + 0.082 \cdot I_p$$

$$S_t > 15: N_{kt} = 8.5 + 2.5 \cdot \log OCR$$

(Karlsrud et al (2005))



CPTU i Multiconsult

Software for tolkning i Multiconsult

Tolkning basert på MS Excel regneark med varierende innhold og funksjoner

- **CPTU INTRO** – for nybegynneren
 - ✓ Generell presentasjon og klassifisering
 - ✓ Tolkning av de viktigste parametre
- **CPTU EXTRA** – for den avanserte
 - ✓ Generell presentasjon og klassifisering
 - ✓ Tolkning av viktige og spesielle parametre
 - ✓ Flere variasjoner ved tolkning av enkeltparametre
- **CPTU SIGMA** – for samleren
 - ✓ Generell presentasjon og klassifisering av flere profiler
 - ✓ Summasjonstolkning av viktige parametre
- **Regnearkene inkluderer dokumentasjonsark for målenøyaktighet**

Oppsummering

Multiconsults erfaringer

CPTU i Multiconsult

Multiconsult erfaringer med CPTU - siktemål

Betingelser for utførelse av CPTU:

- Valg av Anvendelsesklasse krever forhåndsvurdering av grunnforholdene (pilotsondering)
- Kompetente borable
- God kommunikasjon mellom saksbehandler og feltingeniør ved bestilling og boring nødvendig
- Utførelse av undersøkelsen etter anbefalte prosedyrer, sjekklister nødvendige
- God dokumentasjon av utstyrsdata, feltprosedyrer, nøyaktighet og tolkningsgrunnlag
 - Varierende erfaring
 - Lang tid mellom hver utførelse

CPTU i Multiconsult

Multiconsults erfaringer med CPTU

Oppsummering – muligheter:

- Metoden gir svært god kartlegging av grunnforholdene (laggrenser, jordart, grunnvann)
- Fordelaktig å benytte i jordlag der prøveforstyrrelsen kan være betydelig eller prøvetaking er umulig (eks.: sand, bløt/sensitiv leire)
- Kombinasjon av profilering (lagdeling, jordart) og tolkning av egenskaper har stort potensial, men krever gode måledata
- CPTU kan rasjonalisere grunnundersøkelsen, mye informasjon i en boring
 - Bruk av totalstasjoner
 - Omfang av prøvetaking/andre in situ undersøkelser kan reduseres (men ikke elimineres!)
 - Optimal lokalisering av spesialforsøk (in situ måling/prøvetaking)

CPTU i Multiconsult

Multiconsults erfaringer med CPTU - begrensninger

Oppsummering – usikkerheter og begrensninger:

- Valg av utstyr tilpasset grunnforholdene kan være en utfordring
 - ✓ Rigg med standard utrustning (oftest 5 tonns sonde)
 - ✓ Lagdelt jord med bløte og faste lag
 - ✓ Behov for hulltaking i faste lag
- Mange faktorer påvirker måleresultatene
- Variasjon i borleder- og saksbehandlerkompetanse
 - Manglende erfaring
 - Lang tid mellom hver gang CPTU utføres/tolkes
- Usikkerhet i tolkningsmetoder
 - Teoretiske metoder basert på forenklete forutsetninger
 - Spredning i empirisk datagrunnlag
- Metoden egner seg dårlig i jordarter med stort steininnhold



Spørsmål og diskusjon?

Synspunkter forberedte diskusjonspunkter

CPTU i Multiconsult

Før undersøkelsen starter

Forberedt innledning – diskusjon

- **Valg av styrkeprofil**
 - ✓ Sammenligning med laboratoriedata anbefales
 - ✓ 15 % reduksjon av tolket styrke når korrelasjoner med styrkedata fra blokkprøver benyttes
 - ✓ Korrelasjoner er basert på aktiv skjærstyrke
- **Manglende samsvar mellom spissmotstands- og poretrykksbasert tolkning**
 - ✓ Poretrykksbasert tolkning bør benyttes i bløte leirer
 - ✓ Spredning i korrelasjonsgrunnlaget
 - ✓ Måletekniske feilkilder
- **Oppdatering av erfaringsgrunnlaget**
 - ✓ Høykvalitet prøver må legges til grunn
 - ✓ Konsistente styrkeforsøk må benyttes (CAUa)
 - ✓ Behov for utvidelse av databasen (e.g. silt, kvikkleire)
- **Når kan vi ikke stole på CPTU?**
 - ✓ Kontrollkriterier ikke innfridd
 - ✓ Problemer i enkelte jordarter (silt, kvikkleire)

Diskusjonspunkter utførelse

CPTU i Multiconsult

Ny internasjonal standard for CPTU

EN-ISO 22476-1

Electrical cone and piezocone penetration testing

Anvendelsesklasser

- Innført i nye retningslinjer og standarder
- Valg av Anvendelsesklasse skal reflektere foreliggende grunnforhold og ønsket bruk av CPTU data (profilering, tolkning)

Klasse	Test type	Anbefalte grunnforhold
1	TE2: q_c , f_s , u Inklinometer	Bløte jordarter. Lagdelte forhold med skiftende lag bør unngås. Kun CPTU utføres. Tolkning av parametre.
2	TE2: q_c , f_s , u TE1: q_c , f_s Inklinometer	Lagdelte jordarter med bløte og faste masser. Tolkning i faste masser, indikativ tolkning i bløte masser.
3	TE2: q_c , f_s , u TE1: q_c , f_s Inklinometer	Lagdelte jordarter med bløte og faste masser. Jordartsprofilering. Tolkning i meget faste masser, indikativ tolkning i faste masser.
4	TE1: q_c , f_s	Lagdelte jordarter med bløte og faste masser. Indikativ profilering i alle masser. Ingen parametertolkning.

CPTU i Multiconsult

Før undersøkelsen starter

Betingelser for valg av utstyr

Vurdering av ønsket målenøyaktighet med valg av:

- **Anvendelsesklasse (1-4) etter EN/ISO 22476-1**
- **Forsøksutstyr**
 - ✓ Sondetype
 - ✓ Nedpressingsutstyr
 - ✓ Eventuell friksjonsreduksjon/spyling
- **Måleområde**
 - ✓ Lastkapasitet for sondespiss, trykkapasitet for poretrykksmåler
 - ✓ Dybdebestemmelse med vurdering av nødvendig forankringskapasitet
- **Spesielle forhold**
 - ✓ Behov for forboring (krever innledende sondering)
 - ✓ Penetrasjon av faste lag (krever innledende sondering)
 - ✓ Boring fra flåte/båt

CPTU i Multiconsult

Før undersøkelsen starter

Betingelser for utstyrskvalitet

- **Rengjøring og jevnlig vedlikehold av sonde er svært viktig**
 - ✓ Pakninger
 - ✓ O-ringer, X-ringer
 - ✓ Konisk spiss og friksjonshylse
- **Sonden skal ha geometri i henhold til standardkrav og toleranser**
- **Konisk del og friksjonshylse må inspiseres for slitasje**
- **Sonderingsstenger må være rette (spesielt første stang), påvirker helning av stangsystemet**
- **Kalibrering og tidligere bruk må sjekkes**

CPTU i Multiconsult

Generelle krav til utførelse

Betingelser for utførelse

- **Bestilling av CPTU krever forhåndsvurdering av grunnforholdene (pilotsondering)**
 - ✓ Metoden kan ikke benyttes ved steinrik grunn eller for påvisning av berg/fast lag
- **God kommunikasjon mellom saksbehandler og feltingeniør ved bestilling og boring absolutt nødvendig**
- **Overlapping mellom CPTU og prøvetaking/andre metoder i viktige borpunkt – grunnlag for lokal tilpasning og sammenligning av data**
- **Utførelse av undersøkelsen etter anbefalte prosedyrer (standarder)**
- **God dokumentasjon av utstyrsdata, feltprosedyrer, datanøyaktighet og tolkningsgrunnlag**

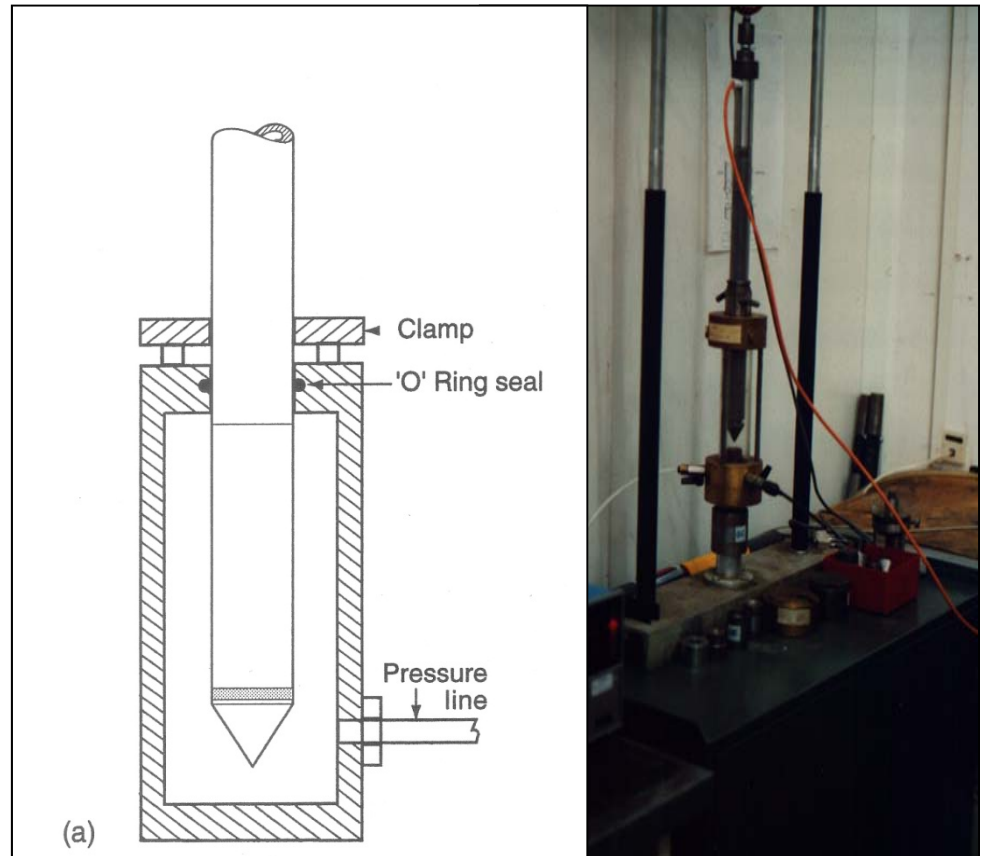
CPTU i Multiconsult

Før undersøkelsen starter

Krav til kalibrering:

- Sonden må kalibreres jevnlig, anbefalte prosedyrer gitt av bl.a. ISSMGE, CEN:
 - minst hver 6. måned ved kontinuerlig bruk
 - ved utførte ca. 3000 sonderingsmeter
 - etter sondering under vanskelige forhold, ved overbelastning eller belastning nær maksimum kapasitet
 - påvirkes av nullpunktshistorie, logging mulig

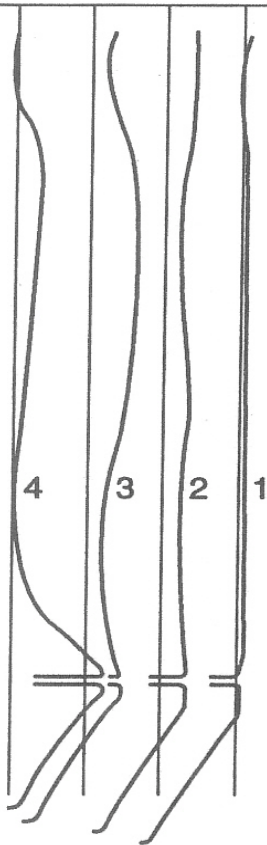
Kalibreringskammer



CPTU i Multiconsult

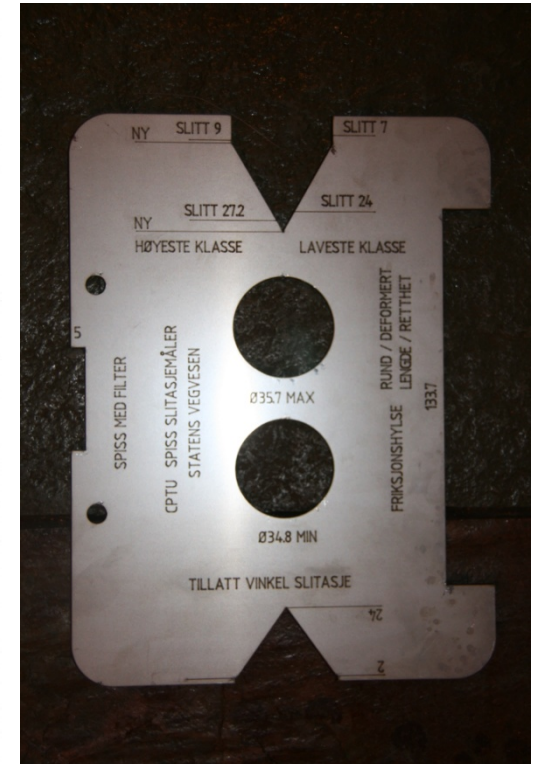
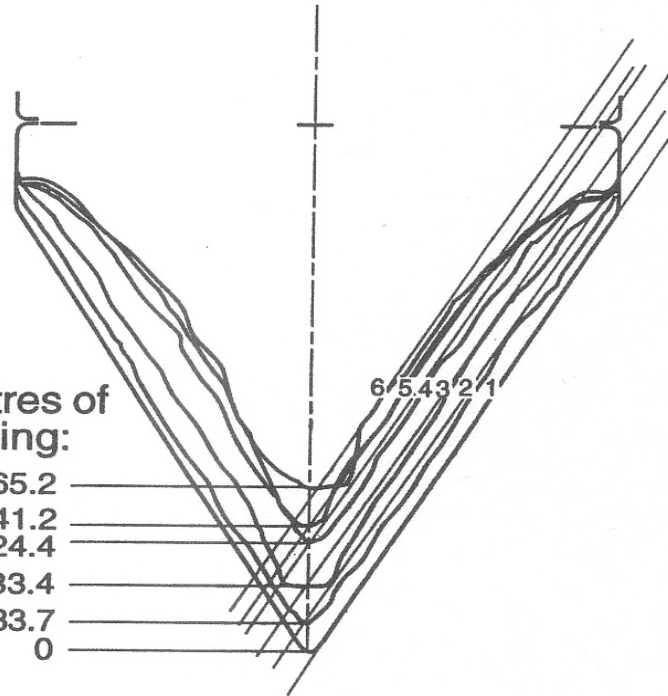
Endring av sondegeometri på grunn av slitasje

35.0 35.2 35.4 35.6 mm



Metres of testing:

1565.2
1241.2
1024.4
583.4
233.7
0



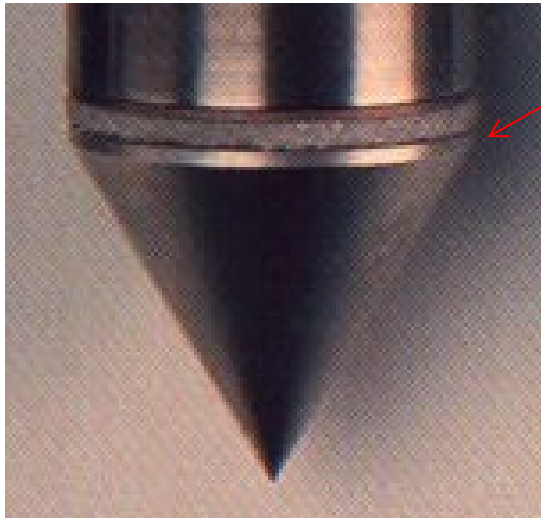
Slitasjemal SVV

CPTU – forberedelser, kalibrering og kontroll



Montering av sonde – X-ring

- O-ring med x-format spor som plasseres mellom friksjonshylse og filter
- Brukes sammen med støtteskive
- Skal tette spalten mellom friksjonshylse og filteret slik at ikke jord trenger inn
- X-ringen kan trekkes ut av spalten hvis:
 - ✓ Ringen er slakk/skadet eller feilmontert
 - ✓ Det er stor slitasje eller skade på konisk spiss, for eksempel ved bruk av rørtang
 - ✓ Konisk spiss ikke skrues tilstrekkelig til
 - ✓ Støtteskiven snus feil veg (vil gi et lite gap mellom filter og hylse)
- Konsekvenser av manglende X-ring:
 - ✓ Kan påvirke korreksjon av poretrykkets innvirkning på spissmotstand
 - ✓ Kan føre til tetting av filter ved at masse trenger inn i spalten og videre inn i filteret
 - ✓ Kan gi feil poretrykksmåling



CPTU – utstyr og feltprosedyrer



CPTU i Multiconsult

Anvendte mettemetoder



Vakuumering

- Filter mettes i vakuumkammer (eksikator i laboratorium) i forkant.
- Lagres og transporteres til borested i lufttette bokser, neddykket i metningsmediet
- Sondespiss, eventuelt komplett montert sonde med filter, mettes i trykkammer i felt
- Vakuumeringen pågår til luftbobler fra sonden ikke lenger kan observeres
- Metning må vedlikeholdes etter vakuumering, neddykket montering av gummihud.
- **Konklusjon:** Krever spesielt utstyr og noe mer forberedelsestid enn andre metoder (ca. 20 min). Meget gode erfaringer.



Kondom

CPTU i Multiconsult

Anvendte mettemetoder



Bruk av spaltefilter

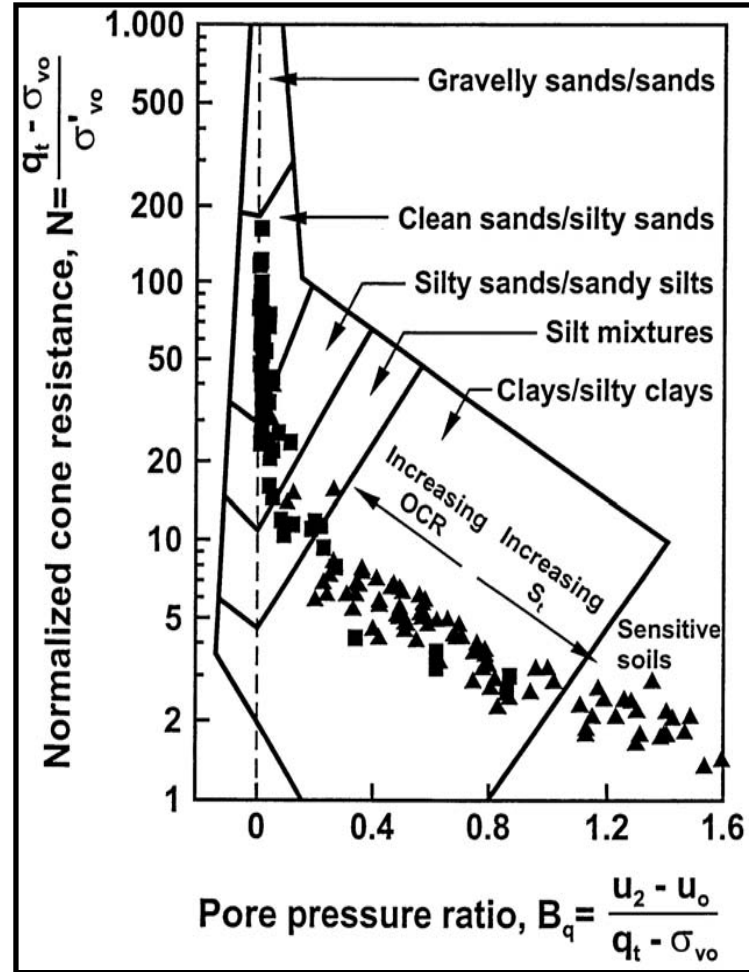
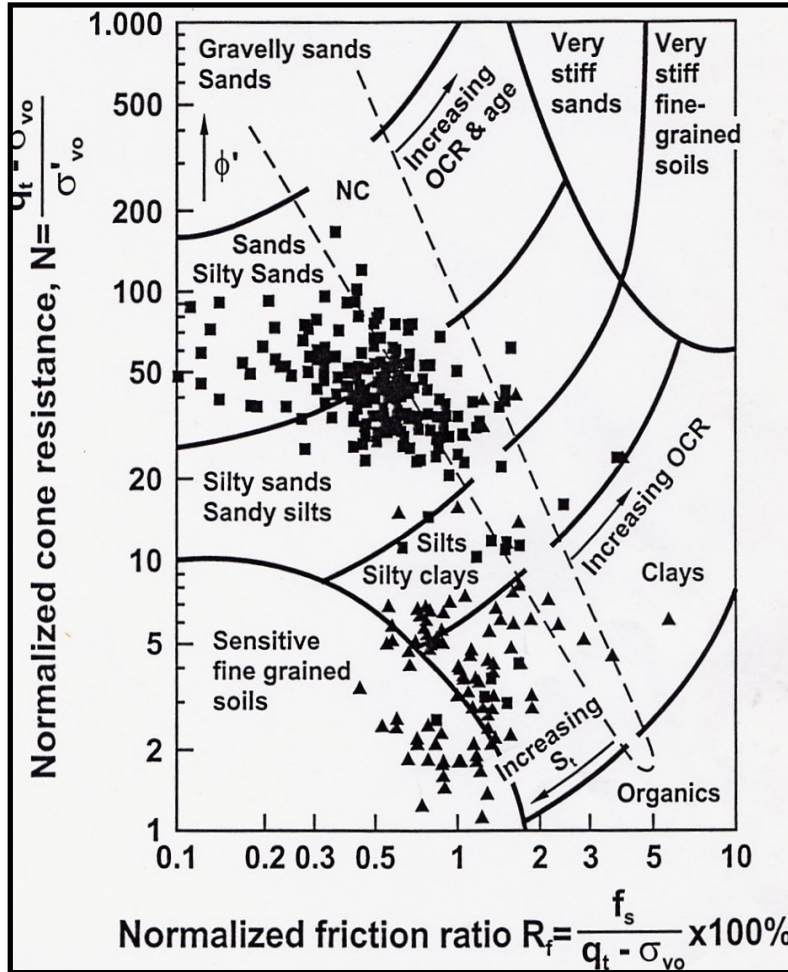
- Porøst filter erstattes av 0,3 mm åpen spalte fylt med stiv, men fleksibel masse
- Silikonfett, grease, koking i gelatin benyttes for å mette spiss + kanaler
- Trykkammer mettes med (frost)væske i separat prosedyre
- Enklere å holde mettet enn porøst filter
- Ved bruk av stivere masse reduseres utsugingsrisiko i faste lag, men respons på poretrykkssendringer blir dårligere
- **Konklusjon:** Enkel og rask metode, stort sett gode erfaringer. Fordel ved sondering i faste, dilatante masser



Diskusjonspunkter tolkning

CPTU i Multiconsult

Jordartsklassifisering fra CPTU - data



Klassifiseringsdiagram for CPTU (Robertson m.fl. 1990)

CPTU i Multiconsult

Tolkning av udrenert skjærstyrke

Grunnleggende formelverk

Original løsning:

$$s_u = (q_c - \sigma_{v0}) / N_k$$

Oppdatert med korrigeret q:

$$s_u = (q_t - \sigma_{v0}) / N_{kt}$$

Effektivspenningsbasert:

$$\begin{aligned} s_u &= q_e / N_{ke} \\ &= (q_t - u_2) / N_{ke} \end{aligned}$$

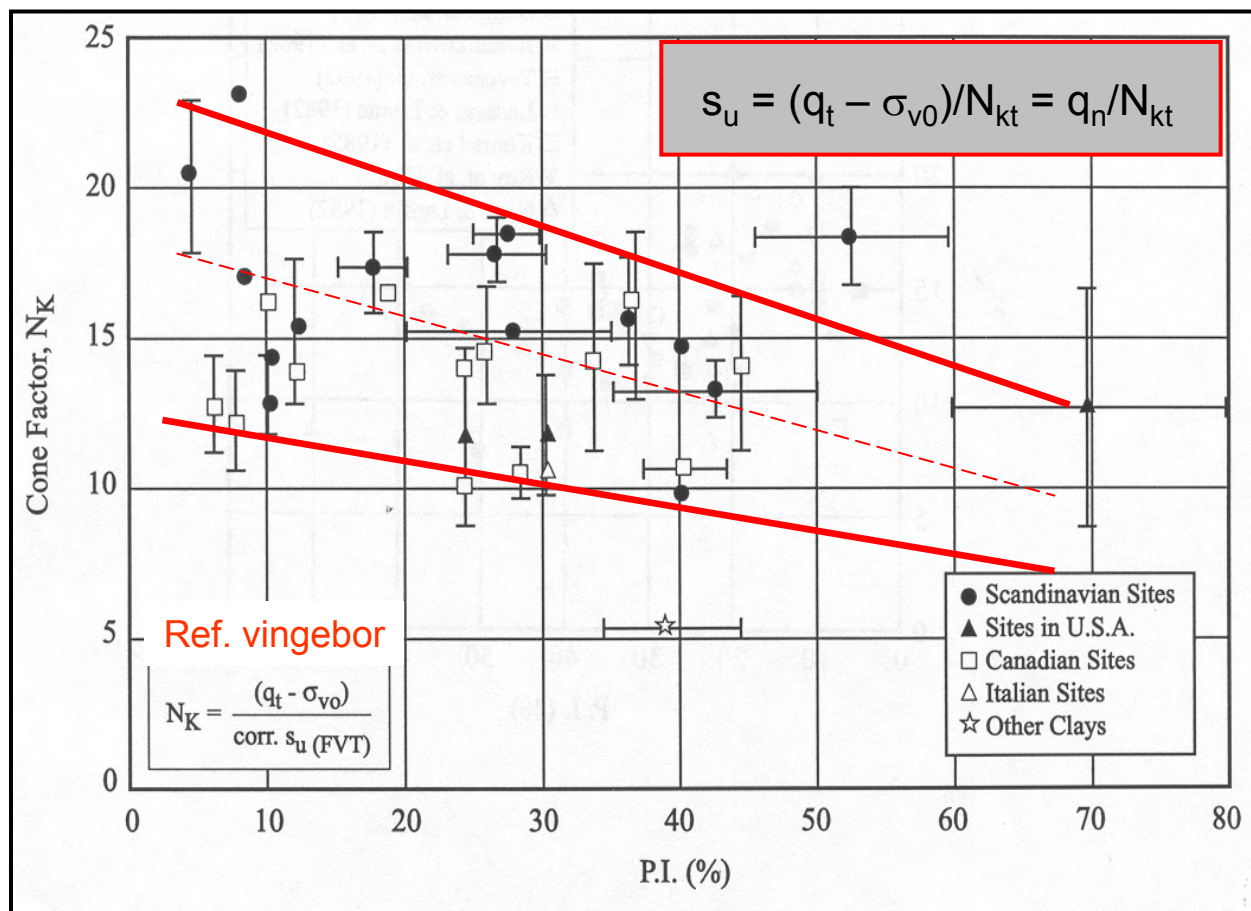
Poretrykksbasert:

$$\begin{aligned} s_u &= \Delta u / N_{\Delta u} \\ &= (u_2 - u_0) / N_{\Delta u} \end{aligned}$$

Både teoretiske og empiriske verdier for N_{kt} , N_{ke} og $N_{\Delta u}$ finnes

CPTU i Multiconsult

Empirisk konfaktor N_{kt} fra litteraturen



$N_{kt}/N_c \sim 2$
what a mess!?!?

De Groot & Sandven
 (2005)

- Data fra Jamiolkowski et al. (1982)

CPTU i Multiconsult

Tolkning av udrenert skjærstyrke – spissmotstandsbasert

Udrenert bæreevneteori,
totalspenning

$$s_u = q_n / N$$

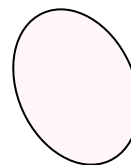
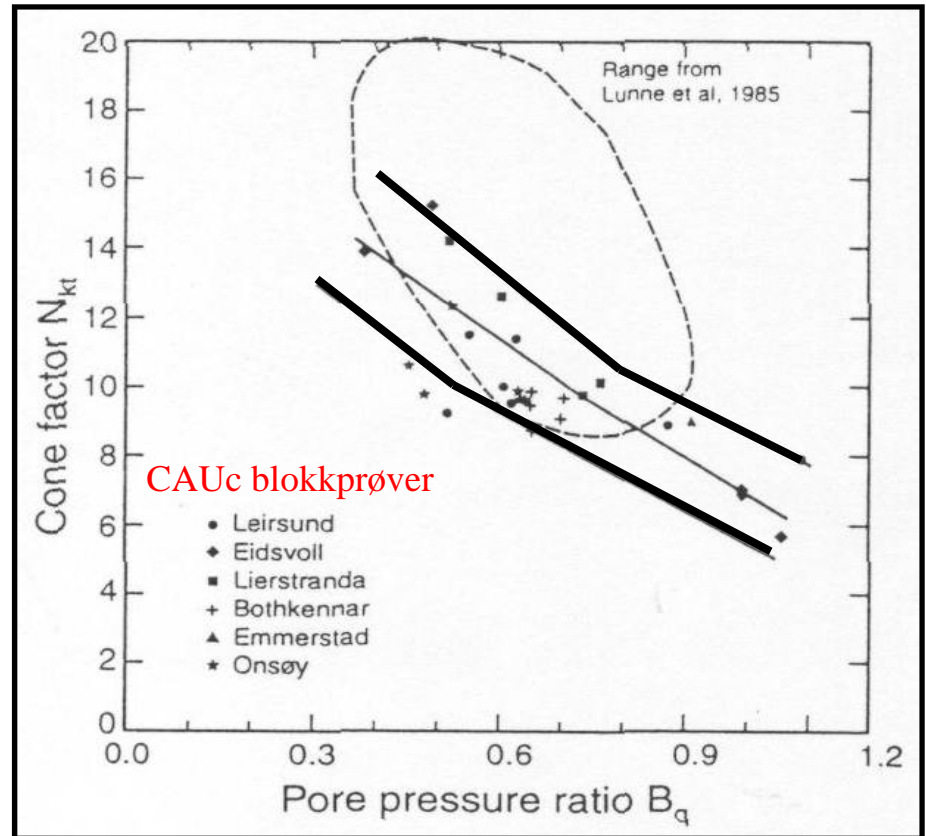
$$q_n = q_t - \sigma_{vo} \text{ (netto spissmotstand)}$$

N_c teori: 6 – 11

N_{kt} blokkprøver: 7 - 14

N_{kt} tidl. erfaring: 10 – 20

Anbefales i middels-fast
leire



Lunne et al, 1985

Nordsjødata, varierende referanse s_u

CPTU i Multiconsult

Tolkning av udrenert skjærstyrke – poretrykksbasert

Udrenert ekspanderende
hulromsteori, totalspenning

$$s_u = \Delta u_2 / N_{\Delta u}$$

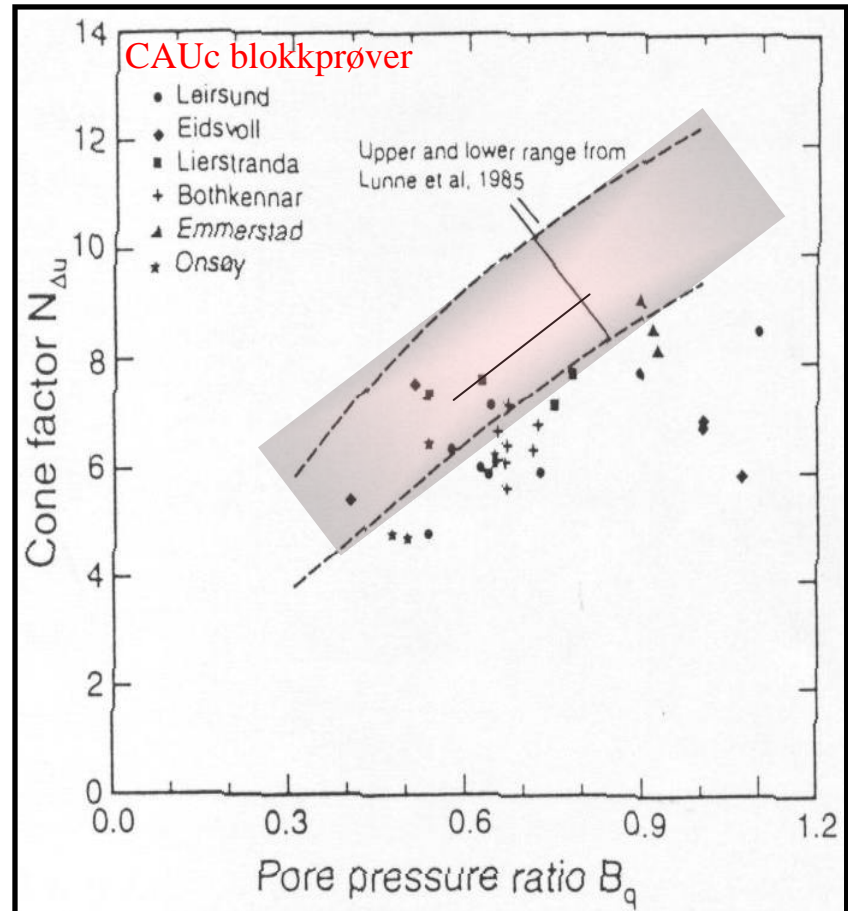
$$u_2 - u_0 = \Delta u_2 \text{ (poreovertrykk)}$$

$N_{\Delta u}$ teori: 5 – 10

$N_{\Delta u}$ blokkprøver: 5 - 9

$N_{\Delta u}$ tidl. erfaring: 5 – 11

Anbefales i bløt-middels leire

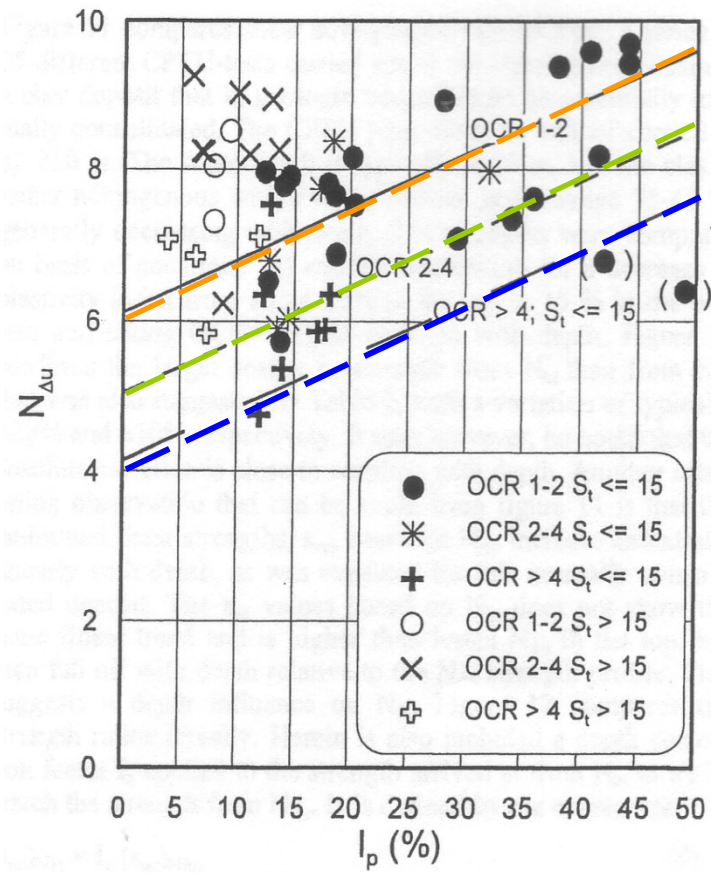
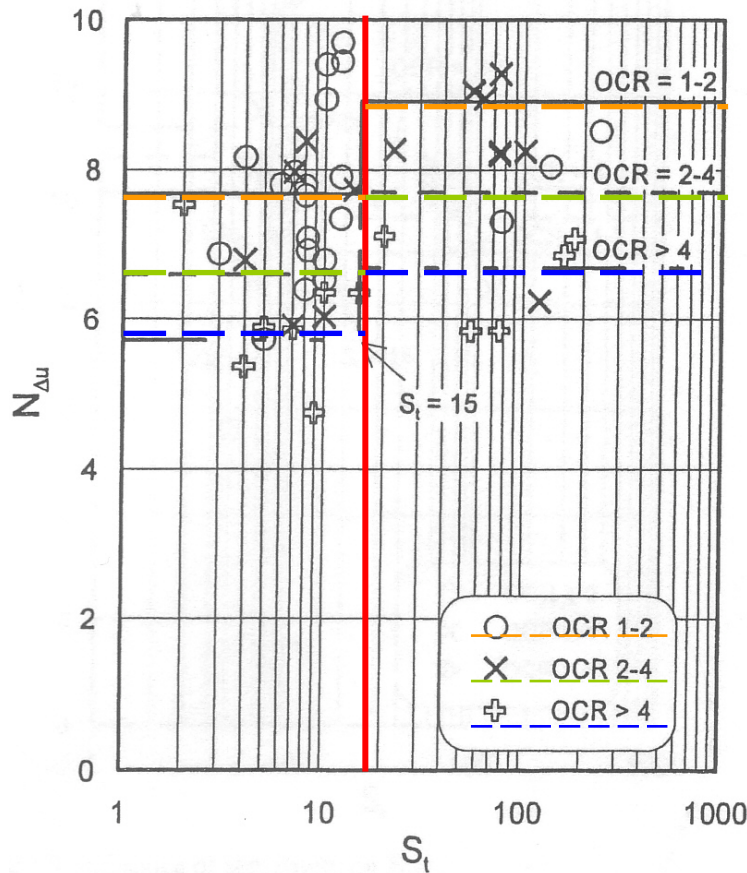


Lunne et al, 1985
Nordsjødata,
varierende referanse s_u

CPTU i Multiconsult

Korrelasjoner basert på blokkprøveresultater

NGI korrelasjoner (Karlsrud et al (2006))

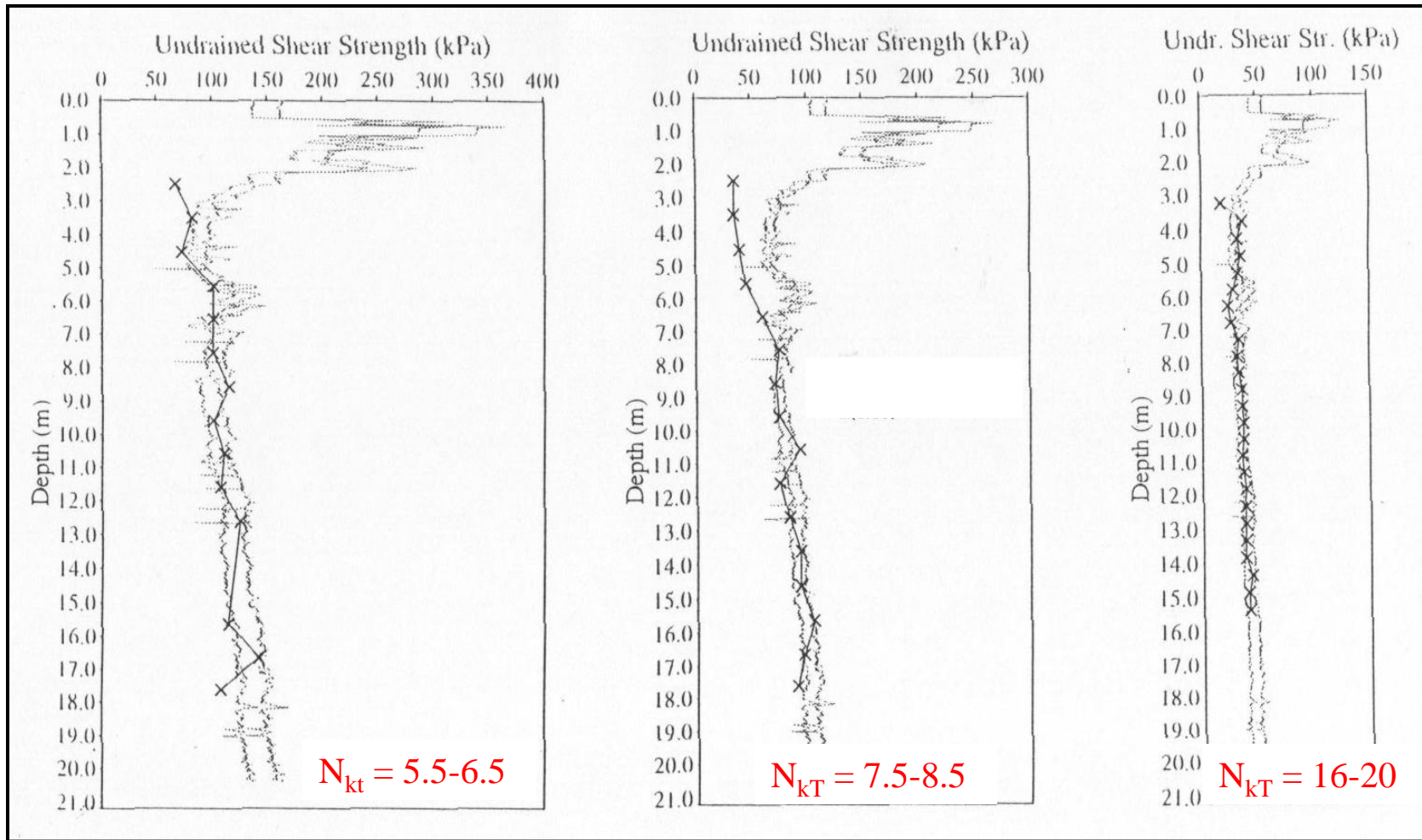


$$S_t < 15: N_{\Delta u} = 6.9 - 4.0 \cdot \log OCR + 0.07 \cdot I_p$$

$$S_t > 15: N_{\Delta u} = 9.8 - 4.5 \cdot \log OCR$$

CPTU i Multiconsult

Tolkning av s_u i middels OC leire



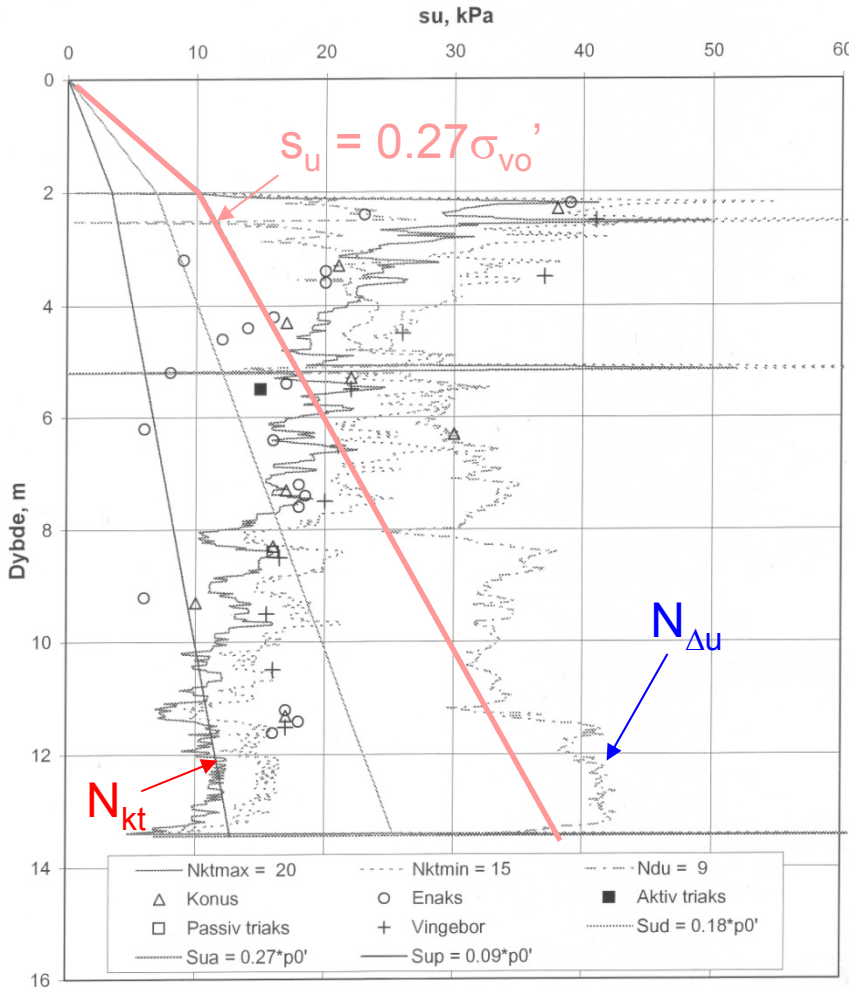
$$s_u = 0.25(\sigma_{coedo}')_u$$

s_u fra CIUC treaks

s_{uv} fra vingebor

CPTU i Multiconsult

Eksempel RV 165 Slemmestadvegen



Tradisjonell tolkning

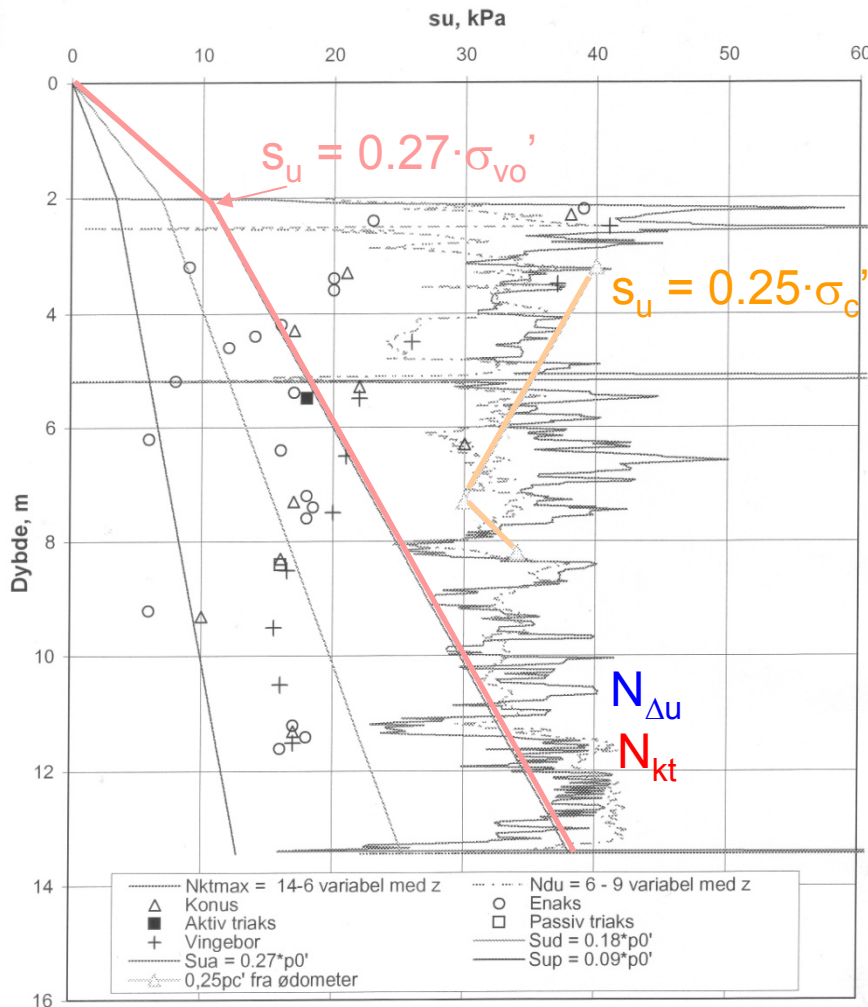
$$N_{\Delta u} = 9$$

$$N_{kt} = 15 - 20$$

- Styling med $\alpha \cdot \sigma_{v0}'$ – linjer
- Sammenligning med rutinedata
- Sammenligning med treksdata (aktiv styrke)

CPTU i Multiconsult

Eksempel RV 165 Slemmestadvegen



Tilpasset tolkning

Variabel $N_{\Delta u} = 6 - 9 f(B_q)$

Variabel $N_{kt} = 14 - 6 f(B_q)$

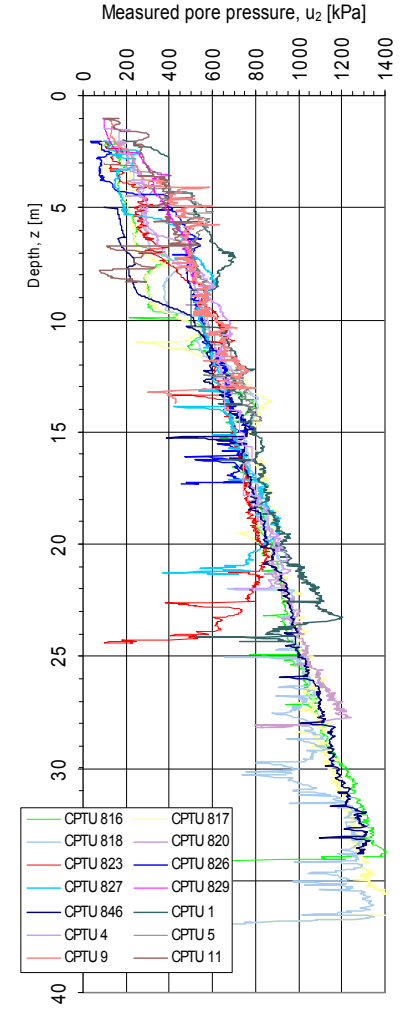
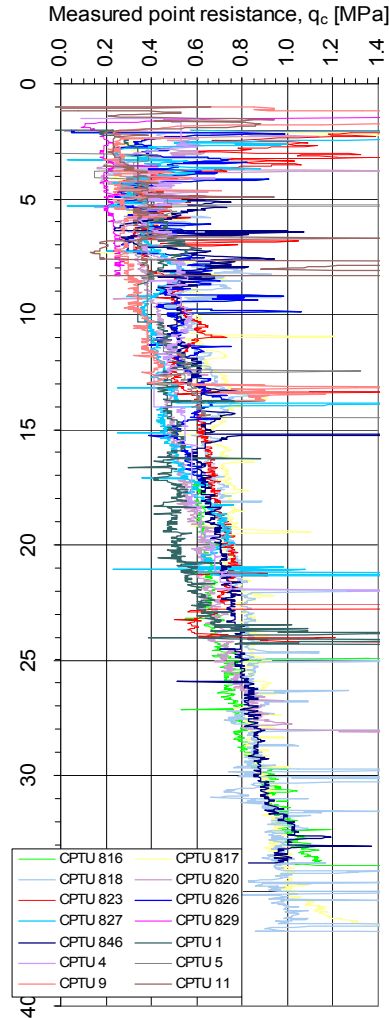
- Styring med $\alpha \cdot \sigma_c'$ – linje
- Sammenligning med treaksdata (aktiv styrke)
- Sammenligning med rutinedata
- Styring med $\alpha \cdot \sigma_{vo}'$ – linjer

CPTU i Multiconsult

Bruk av CPTU i praksis

CPTU-resultater E6 Øst

- Generell lagdeling i området
- Identifikasjon av jordart, spesielt forekomst av kvikkleire
- Bestemmelse av styrke- og deformasjonsparametre
- Sammenligning mot laboratoriemålte resultater på høykvalitet prøver



CPTU i Multiconsult

Bruk av CPTU i praksis

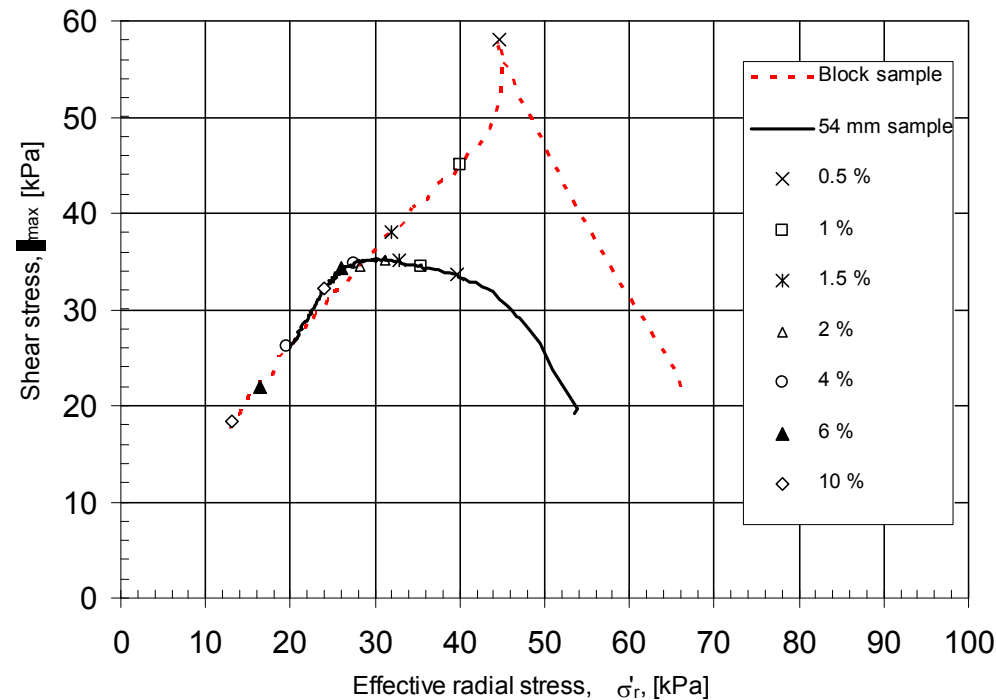
Tolkning av skjærstyrke

- CAUC treaksialforsøk på ø250 mm blokkprøver
- Poretrykksbasert tolkning av skjærstyrke fra CPTU:

$$s_u^C = \Delta u / N_{\Delta u}$$

- Lokale korrelasjoner utviklet mellom laboratoriemålt og tolket CPTU skjærstyrke
- Bruk av disse sammenhengene for bestemmelse av skjærstyrke i alle jordlag

Parallel CAUC test on 54 mm & block sample



CPTU i Multiconsult

Bruk av CPTU i praksis

Erfaringer

- **Kombinert bruk av høykvalitet prøvetaking og CPTU gir mer pålitelig parameterbestemmelse**
- **CPTU tolkning basert på målt poretrykk best egnet i bløt homogen leire (krever mett system)**
- **Utvikling av lokale sammenhenger mellom CPTU data og laboratoriemålt styrke**
 - ✓ Krever høykvalitetsprøver og forsøk
- **Høyeste anvendelsesklasse krever samspill og god kommunikasjon mellom saksbehandler og feltpersonell**
 - ✓ Dokumentasjon av nøyaktighet påkrevet

CPTU i Multiconsult

Spissmotstand i NC-leirer

- Teoretisk spissmotstand i leire:

$$q_t = N_c s_u + \gamma z$$

- Udrenert skjærstyrke i NC -leire:

$$s_u = \alpha(\gamma' z + a)$$

$$\alpha = 0.22 - 0.25$$

a = attraksjon (kan negl.)

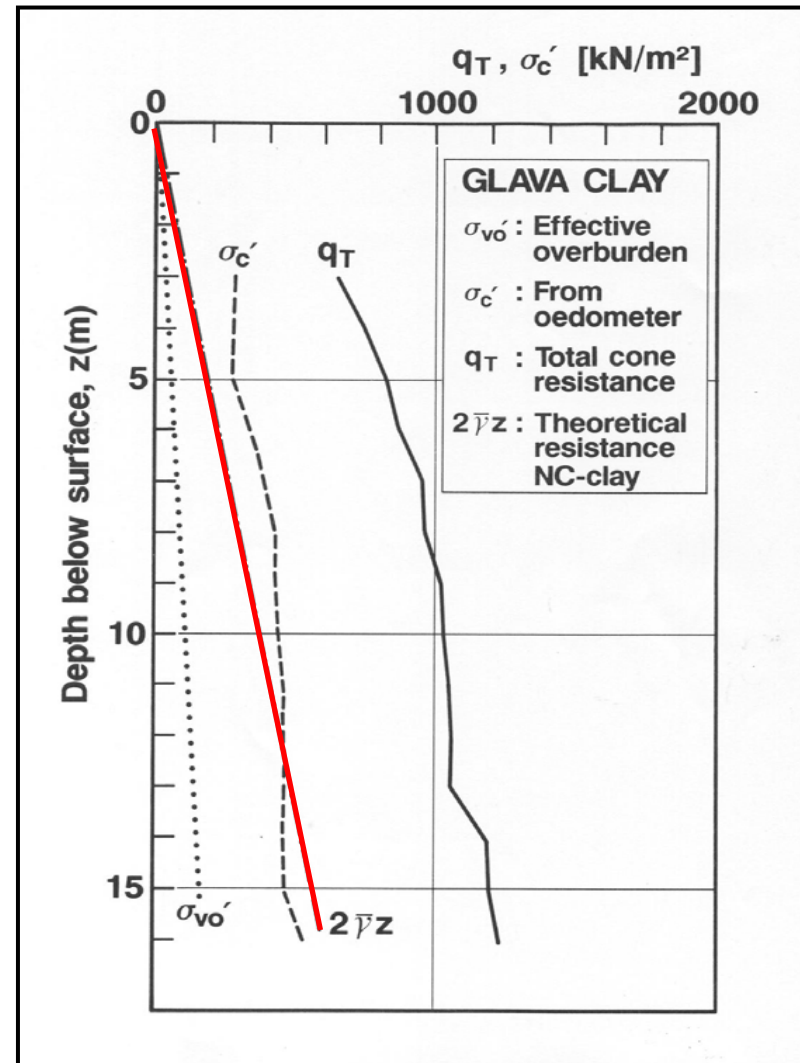
- Kombinasjon gir:

$$q_t = K_c \gamma z$$

$$K_c = [(N_c \alpha \gamma' / \gamma) + 1] \sim 2$$

$$q_t \sim 2\gamma z: \text{NC - leire}$$

$$q_t > 2\gamma z: \text{OC - leire}$$



CPTU i Multiconsult

Bestemmelse av prekonsolideringsspenning

- Spissmotstand i leire:

$$q_t = N_c s_u + \gamma z$$

- Udrenert skjærstyrke i NC -leire:

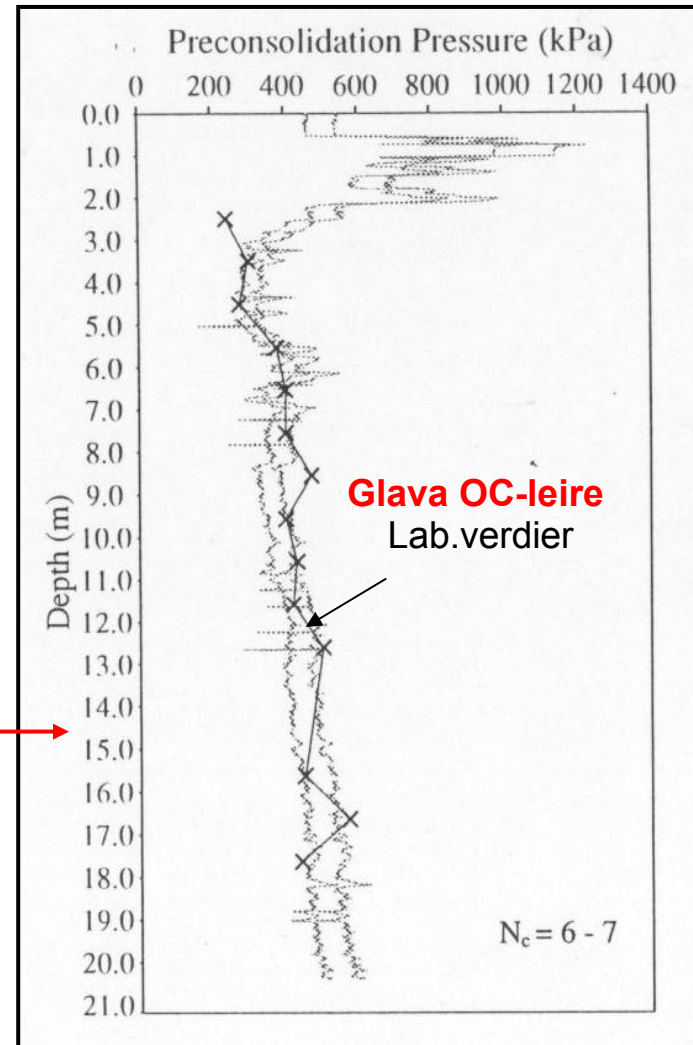
$$s_u = \alpha(\sigma_c' + a)$$

$$\alpha = 0.22 - 0.25$$

- Kombinasjon gir:

$$\sigma_c' = (q_n / N_c \alpha) - a$$

$$N_c \alpha \sim 1.5 - 2.25$$



CPTU i Multiconsult

Erfaringsbasert tolkning av deformasjonsmodul

Erfaringsbasert tilpasning til tangentmoduler fra ødometerforsøk

Prekonsolideringsområdet, leire:

$$M_i = m_i \cdot q_n$$

$$m_i = 10 \pm 5$$

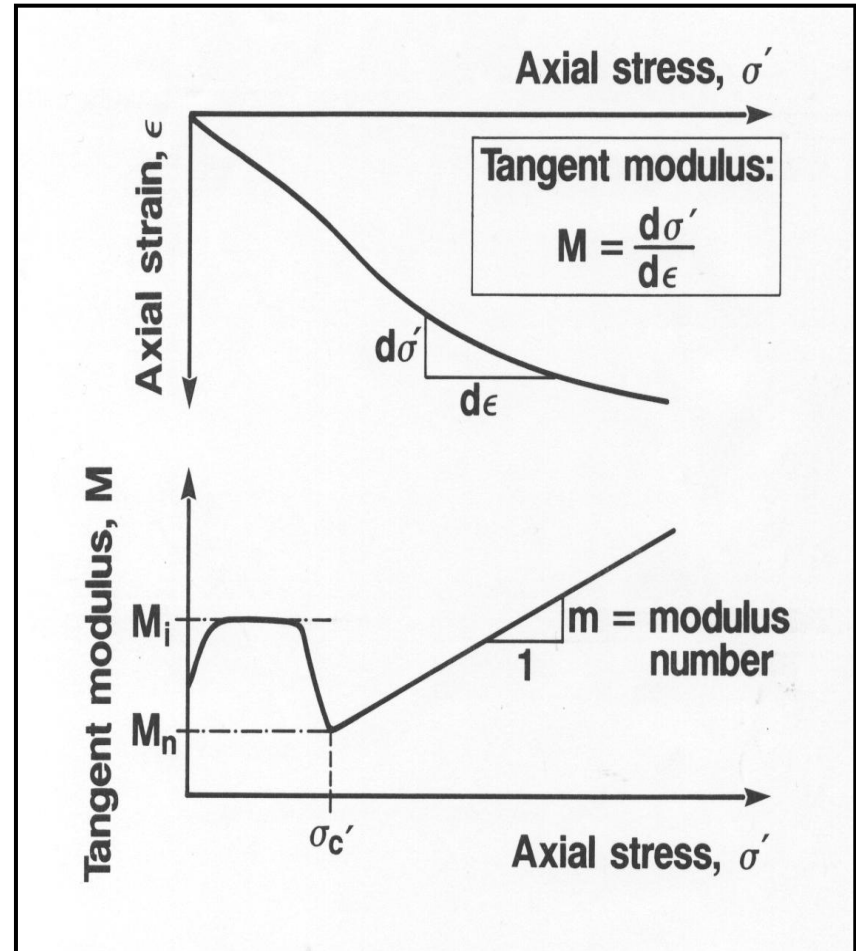
$$\sigma < \sigma_c'$$

Jomfruspenningsområdet, leire:

$$M_n = m_n \cdot q_n$$

$$m_n = 6 \pm 2$$

$$\sigma \sim \sigma_c'$$



F05.1 Prosedyre for CPTU

Teknisk utstyr. Spesifikasjoner, kalibrering og klargjøring

0



TEKNISK PROSEDYRE Feltundersøkelser

F.05.1 CPTU TEKNISK UTSTYR Spesifikasjoner, kalibrering og klargjøring

Prosedyren benyttes sammen med

SJEKKLISTE F.05.1 CPTU TEKNISK UTSTYR

Utarbeidet av: Rolf Sandven

Referansegruppe: Dag Inge Nordtvedt, Steinar Birkedal, Terje Plassen, Arne Stordal, Leif Olav Bogen

Revisjonsdato: 15.04.2009

Prosjektansvarlig: Rolf Sandven

Prosedyre for CPTU – Multiconsult

Teknisk utstyr – spesifikasjoner, kalibrering og klargjøring

Denne prosedyre gjelder som beste praksis ved utførelse av CPTU i Multiconsult. Benyttes sammen med tilhørende sjekklister.

Innholdsfortegnelse	side
Forord	3
1. Prinsipp	5
2. Utstyr	8
2.1 Trykksonde	8
2.2 Konisk spiss	8
2.3 Friksjonshylse	8
2.4 System for måling av poretrykk	8
2.5 Trykksonderingsstenger	8
2.6 Bruk av smøremiddel og friksjonsreduksjonsring	8
2.7 Nedpressingsutstyr	8
2.8 Dataregistrering	8
2.9 Valg av trykksonderingsutstyr	8
3. Klargjøring av trykksonderingsutstyr	13
4. Kalibrering av målere	18
5. Vedlikeholdsrutiner	18
6. Valg av trykksonderingsutstyr	18
7. Litteraturliste	18
Vedlegg	

Forord

Prosedyrebeskrivelsen inneholder spesifikasjoner og krav til trykksonderingsutstyr, samt valg av utstyr tilpasset Anvendelsesklasse. Prosedyren beskriver også Multiconsult's beste praksis hva angår kalibrering, klargjøring og vedlikehold av utstyret for at dette til enhver tid skal være i god stand.

Prosedyren gjelder for samtlige av Multiconsult's enheter og inngår i det samlede kvalitetssikringssystem for felt- og laboratorieundersøkelser. Hensikten er blant annet å sikre lik og riktig utførelse av CPTU i alle enheter.

For trykksondering med poretrykksmåling inngår i tillegg tilsvarende prosedyrebeskrivelser for utførelse i felt, presentasjon, tolkning og kontroll av måledata. Til alle prosedyrene er det utviklet tilhørende sjekklister som inngår i prosjektdokumentasjonen i det enkelte oppdrag.

Prosedyren er bygget på ny internasjonal standard for CPTU (CEN-ISO 22476-1), og vil også være tilpasset revidert NGF melding nr. 5 Trykksondering med poretrykksmåling.

F05.1 Prosedyre for CPTU

Teknisk utstyr. Spesifikasjoner, kalibrering og klargjøring

1. PRINSIPP

Trykksondering kan inndeles i to hovedtyper:

I. Trykksondering (CPT, Cone Penetration Test)

II. Trykksondering med poretrykksmåling (CPTU, Cone Penetration Test U (poretrykk))

Trykksondering (CPT) utføres ved at en sylindrisk sonde med konisk spiss presses ned i grunnen med konstant penetrasjonshastighet 20 mm/s. Under nedpressingen måles kraften mot den koniske spissen og sidefriksjonen mot en friksjonshylse på den sylindriske delen. Målingene skjer ved elektronisk eller akustisk signaloverføring og datalagring, med en målehyppighet som sikrer tilstrekkelig detaljert informasjon om grunnforholdene. Ved trykksondering med poretrykksmåling (CPTU) måles også poretrykket, i tillegg til spissmotstand og sidefriksjon.

Resultater fra en trykksondering kan i prinsippet brukes til å bedømme:

- lagdeling
- jordart
- jordartens lagringsbetingelser
- jordartens mekaniske egenskaper
 - styrkeegenskaper
 - deformasjons- og konsolideringsegenskaper

Trykksondering er egnet i jordartene, leire, silt og sand. Metoden er mindre godt egnet i grus og grovere jordarter fordi nedpressingsmotstanden vil bli for stor og utstyret lett vil bli skadet.

Kommentar: Trykksondering med poretrykksmåling (CPTU) gir sikrere bestemmelse av lagdeling og jordartstype enn trykksondering uten poretrykksmåling (CPT) og gir generelt bedre grunnlag for å bedømme jordartens mekaniske egenskaper. I Norge er CPTU mest benyttet.

2. UTSTYR

Det finnes to typer trykksonderingssystemer i bruk i Multiconsult:

- Memocone fra ENVI. Forhandles i Norge av Geonor.
- Geotech trykksonden fra Geotech. Forhandles i Norge av GeoSafe.

2.1 Trykksonden

En trykksonde består av et konisk element (kon), friksjonshylse og sensorer med målesystem, samt en overgang til sonderingsstenger. Alle delene i en trykksonde skal ligge i samme akse. Figur 2.1 viser et snitt gjennom en trykksonde.

Sonden er instrumentert med temperaturkompenserte strekkklapper for måling av kraften mot den koniske del (spissmotstand) og sidefriksjonen mot friksjonshylsen (sidefriksjon). For en trykksonde med poretrykksmåling måles poretrykket på ett eller flere steder langs sondens overflate ved hjelp av et system bestående av et filter/en spalte, et væskefylt trykkammer og en trykkmåler. Et inklinometer er inkludert i noen sonder for måling av penetrometerets helning: Dette kreves for å tilfredsstille kravene i Anvendelsesklasse 1, 2 og 3 som gitt i Tabell 2.1. Andre sensorer kan også inkluderes.

Hver sonde har spesifikke arealforhold som må benyttes ved korreksjon av målt spissmotstand og friksjon. Dette skyldes at tverrsnittsarealet av trykksondens stamme er forskjellig fra konens areal på det stedet der poretrykket måles. Dette medfører at poretrykket, som virker i spalten, påfører sonden en ubalansert kraft som gir for lav registrert spissmotstand. Det samme forhold gjør seg gjeldende for arealet på undersiden og oversiden av friksjonshylsen, der også poretrykkene vil være forskjellige. Arealforholdet for spissmotstandskorreksjon (a) og sidefriksjonskorreksjon (b) oppgis av utstyrsprodusent og kontrolleres også i kalibreringen.

F05.1 Prosedyre for CPTU

Teknisk utstyr. Spesifikasjoner, kalibrering og klargjøring

Egne notater:



TEKNISK PROSEDYRE Feltundersøkelser

F.05.2 CPTU KLARGJØRING OG UTFØRELSE I FELT

Utarbeidet av: Rolf Sandven

Referansegruppe: Dag Inge Nordtvedt, Steinar Birkedal, Terje Plassen, Arne Stordal, Leif Olav Bogen

Revisjonsdato: 28.04.2009

Prosjektansvarlig: Rolf Sandven

Utførelse og klargjøring i felt

Prosedyre for CPTU – Multiconsult

Klargjøring og utførelse i felt – oppsummering av beste praksis

1. **Valg av Anvendelsesklasse**
 - 1.1 Vurder foreliggende informasjon om grunnforhold i samarbeid med saksbehandler
 - 1.2 Vurder krav til kvalitet i prosjektet
 - 1.3 Bestem Anvendelsesklasse 1-4 i samsvar med NS-EN-22476-1 (NGF Melding 5)
2. **Valg av utstyr**
 - 2.1 Velg måleområde (kapasitet) for trykksonde i henhold til pkt. 1
 - 2.2 Kontroller kalibreringsskjema for valgt trykksonde
 - 2.3 Inspiser sonden for slitasje, korrosjon og geometrikrav i henhold til NS-EN-22476-1 (NGF Melding 5). Bruk SVV's kontrollmal.
 - 2.4 Kontroller pakninger og o-ringer i spalten over og under friksjonshylsen
 - 2.5 Kontroller sonderingsstenger for retthet
3. **Fastleggelse av sonderingsdybde med vurdering av forankringskapasitet og friksjonsreduksjon**
 - 3.1 Vurder undersøkelsesdybde og nedtrengningskapasitet
 - 3.2 Vurder behov for forankring
 - 3.3 Vurder behov for friksjonsreduksjon med bruk av ring eller spyling
4. **Klargjøring av borpunkt**
 - 4.1 Plasser nytt borpunkt i tilstrekkelig avstand fra nabopunkter (> 2 m)
 - 4.2 Utfør pilotsondering for vurdering av bergdybde/steininnhold/faste lag
 - 4.3 Vurder beliggenhet av grunnvannstanden – peiling i borhull
 - 4.4 Vurder behov for forboring/penetrasjon av faste lag. Generelt anbefales å forbore gjennom tørrskorpe og ned til grunnvannet hvis dette er praktisk mulig 1-3 m forboringsdybde.
5. **Klargjøring av borerigg**
 - 5.1 Innstill penetrasjonshastighet for borhode til 1,20 m pr. min
 - 5.2 Installer jordankre for forankring ved behov
 - 5.3 Kontroller at antall stangmetre er tilstrekkelig i henhold til pkt. 3
6. **Klargjøring av trykksonde**
 - 6.1 Monter batteripakke
 - 6.2 Klargjør utstyr for metting av poretrykksmåler
 - 6.3 Legg inn data for aktuell sonde i datalogger (hvis ikke utført fra før)
 - 6.4 Sjekk lengde og tilstand av eventuelle overgangsstykker (avvikende diameter).
Minimum 500 mm distansehylse kreves etter NS-EN-22476-1.
7. **Metting av målesystem for poretrykk – porøst filter**
 - 7.1 Porøst filter skal være rensset, mettet og transportert til felt neddykket i metningsmediet i lufttette bokser
 - 7.2 Monter metningstrakt på sonde og fyll opp med metningsvæsken (helst luftfri)
 - 7.3 Legg den koniske spissen, pakninger og det mettede filteret ned i metningsmediet uten at dette eksponeres for luft
 - 7.4 Monter pakninger, o-ringer, filter og konisk spiss på sonden og skru spissen til. Tre på gummihud som dekker filteret hvis det brukes lettflytende væske (vann, frostvæske og lignende).
 - 7.5 I spesielle tilfeller kan vakuumering av sonden i felt benyttes (krever spesielt utstyr)
 - 7.6 Hvis det benyttes tyktflytende væske (glyserin, parafin eller tilsvarende) skal også filtrene

Utførelse og klargjøring i felt

vakuumeres i minst 24 timer og mettes før de tas ut i felt. Tykttflytende væske anbefales hvis sonde med porøse filtre benyttes ved penetrasjon av faste lag (tørrskorpe, fast sand og lignende.)

7.7 Montering skjer som i pkt. 7.3 og 7.4. Også for tykttflytende væsker anbefales bruk av gummihud til sonden er kommet under grunnvannstanden.

8. Metting av målesystem for poretrykk – spaltefilter

8.1 Det skal kun benyttes spesielt fett anbefalt og levert av ENVI for metting av spiss, spalte og nedre poretrykkskammer i spissen.

8.2 For metting av øvre poretrykkskammer i sonden benyttes luftfri frostvæske eller glyserin.

8.3 Fettet må ikke være for stivt ved mettingen og bør oppbevares temperaturkontrollert.

Fettet skal presses inn i spalten ved hjelp av en fettpresse til alle hulrom er mettet og overflødig fett kommer til syne i spalten. Overflødig fett tørkes bort.

Innpressing direkte fra tube aksepteres ikke.

8.4 Metting av spiss kan også gjøres ved utkoking av spissen i gelatin med påfølgende kjøling.

8.5 Monter spissen på sonden ved å skru den forsiktig på plass. Merk at det kan settes opp trykk i poretrykkskammeret hvis spissen skrues for hurtig og for hardt til.

8.6 La sonden hvile i ca. 5 minutter etter montering av spissen slik at eventuelt trykk etter montering gis anledning til å dissipere før nullpunktavlesning tas.

9. Avlesing av nullpunkt før penetrasjon

9.1 Oppbevar montert sonde i et temperaturkontrollert vannbad med bakketemperatur (5-7°C) for å unngå store temperaturgradienter i sonden før nullpunktavlesing.

9.2 Nullpunktet leses av med sonden temperaturstabilisert og ubelastet.

9.2 På nyere registreringsenheter kan det foretas flere avlesninger (referanseverdier), for eksempel med sonden plassert ubelastet og temperaturstabil i borhullet. Nullpunktverdiene kan også overvåkes for å se om de er stabile før avlesing tas.

10. Nedpressing av sonden

10.1 Nedpressing av sonden foretas med konstant nedpressingshastighet 1,2 m/min. Kontroller penetrasjonshastigheten.

10.2 Kontroller helning av stangsystemet for å sjekke at avvik fra vertikalaksen ikke blir for stort

10.3 Noter eventuelle hendelser i borlogg eller registrer disse automatisk (nyere dataloggere).

11. Utførelse av dissipasjonstest

11.1 I spesielle tilfeller kan det utføres dissipasjonstest ved at penetrasjonen stoppes og poretrykksutjevningen registreres. Lås stengene slik at spissmotstanden opprettholdes mest mulig.

11.2 Varighet av dissipasjonen avtales med saksbehandler, ventetid bør sikre minst 50% dissipasjon av opprinnelig poreovertrykk

11.3 Det anbefales i alle tilfeller å ta en kontrollerende dissipasjonstest ved avslutning av sonderingen for å kunne bedømme jordartens dresegenskaper, uten at en gjennomfører en full dissipasjonstest. Ventetid 5-10 minutter anbefales.

12. Avlesing av nullpunkt etter penetrasjon

12.1 Ved opptrekk i leire kan det oppstå sug i poretrykkammeret som vil påvirke nullpunktavlesningen. Vent derfor i ca. 5 minutter etter opptrekk før nullpunkt tas (la sonden ligge i temperaturkontrollert vannbad i ventetiden).

12.2 Fjern leire og jord fra spaltene over og under fiksjonshylsen slik at hylsen løper fritt før nullavlesing foretas.

13. Prosedyre etter opptrekk – kontroll av måledata

13.1 Kontroller nullpunktverdier før og etter sondering på rådatafilen og sjekk om avviket er tolererbart (max. 5 % avvik).

Utførelse og klargjøring i felt

13.2 Kontroller sonderingsprofilet og se at måleverdiene harmonerer. Vurder spesielt poretrykksrespons i starten av profilet og ved endringer i grunnforholdene.

Prosedyre for CPTU – Multiconsult Klargjøring og utførelse i felt

Denne prosedyre gjelder som beste praksis ved utførelse av CPTU i Multiconsult. Benyttes sammen med tilhørende sjekklister.

Innholdsfortegnelse	side
Kortversjon Utførelse i felt – beste praksis	3
Forord	3
1. Prinsipp	3
2. Terminologi og definisjoner	4
2.1 Målestørrelser	4
2.2 Nullavlesning, referanseavlesning og nullpunktsforskyvning	5
2.3 Nøyaktighet, presisjon og oppløselighet	5
3. Valg av utstyr, anvendelsesklasse og undersøkelsesstrategi	6
4. Forundersøkelser	8
4.1 Klargjøring av borpunkt	8
4.2 Forboring	9
4.3 Klargjøring av borerigg	9
5. Utførelse av sonderingen	9
5.1 Klargjøring av trykksonde	9
5.2 Metting av sonde med porøst filter	10
5.3 Metting av sonde med spaltefilter	13
5.4 Avlesning av nullpunkt	14
5.5 Nedpressingsmetode	16
5.6 Observasjoner under sondering	16
5.7 Prosedyre etter opptrekk	17
6. Spesielle prosedyrer	17
6.1 Dissipasjonstest	17
7. Litteraturliste	17
Vedlegg	19
Eksempler på sonderingsresultater	

Utførelse og klargjøring i felt

Forord

Prosedyrebeskrivelsen inneholder spesifikasjoner og krav til utførelse av trykksonderingsforsøk, samt kontroll av utførte målinger. Prosedyren beskriver Multiconsult's beste praksis hva angår utførelse av CPTU etter ny CEN/ISO-standard.

Prosedyren gjelder for samtlige av Multiconsult's enheter og inngår i det samlede kvalitetssikringssystem for felt- og laboratorieundersøkelser. Hensikten er blant annet å sikre lik og riktig utførelse av CPTU.

For trykksondering med poretrykksmåling er det utarbeidet tilsvarende prosedyrebeskrivelser for spesifikasjoner og krav til utstyr, samt presentasjon, tolkning og kontroll av måldata. Til alle prosedyrene er det utviklet tilhørende sjekklister som inngår i prosjektdokumentasjonen i det enkelte oppdrag.

Prosedyren er bygget på ny internasjonal standard for CPTU (CEN-ISO 22476-1), og vil også være tilpasset revidert NGF melding nr. 5 Trykksondering med poretrykksmåling.

1. Prinsipp

Trykksondering kan inndeles i to hovedtyper:

1. Trykksondering (CPT, Cone Penetration Test)

2. Trykksondering med poretrykksmåling (CPTU, Cone Penetration Test U (poretrykk))

Trykksondering (CPT) utføres ved at en sylindrisk sonde med konisk spiss presses ned i grunnen med konstant penetrasjonshastighet 20 mm/s. Under nedpressingen måles kraften mot den koniske spissen og sidefriksjonen mot en friksjonshylse på den sylindriske delen.

Ved trykksondering med poretrykksmåling (CPTU) måles også poretrykket, i tillegg til spissmotstand og sidefriksjon. Målingene skjer ved elektronisk eller akustisk signaloverføring og datalagring, med en målehyppighet som sikrer tilstrekkelig detaljert informasjon om grunnforholdene.

Resultater fra en trykksondering kan i prinsippet brukes til å bedømme:

- lagdeling
- jordart
- jordartens lagringsbetingelser
- jordartens mekaniske egenskaper
 - * styrkeegenskaper
 - * deformasjons- og konsolideringsegenskaper

Trykksondering er egnet i jordartene leire, silt og sand. Metoden er mindre egnet i grus og grovere jordarter fordi nedpressingsmotstanden vil bli for stor, og utstyret blir lett skadet ved møte med stein i grunnen.

Merk: Trykksondering med poretrykksmåling (CPTU) gir sikrere bestemmelse av lagdeling og jordartstype enn trykksondering uten poretrykksmåling (CPT) og gir generelt bedre grunnlag for å bedømme jordartens mekaniske egenskaper. I Norge er trykksondering med poretrykksmåling mest benyttet.

2. Terminologi og definisjoner

2.1 Målestørrelser

Trykksonderingsforsøk

Utførelse og klargjøring i felt

Penetrasjon av en trykksonde med tilhørende stangsystem ned i grunnen med konstant penetrasjonshastighet.

Penetrasjonsdybde

Dybden på basen av konisk spiss, relativt til et fast horisontalt plan.

Penetrasjonslengde

Summen av trykksonderingsstengenes og trykksondens lengde, redusert med høyden av den koniske spissen, relativt til et fast horisontalt plan.

Merk: Det faste horisontalplan er vanligvis det samme som det horisontale plan gjennom terrengnivået i borhullet.

Spissmotstand, q_c

Den målte spissmotstand, q_c , finnes ved å dividere den målte kraften på konen, Q_c , med tverrsnittsarealet, A_c :

$$q_c = Q_c/A_c$$

Lokal sidefriksjon, f_s

Den målte sidefriksjon, f_s , finnes ved å dividere total målt kraft som virker på friksjonshylsen, F_s , med hylsens overflateareal, A_s :

$$f_s = F_s/A_s$$

Poretrykk, u

Poretrykk u , ved sondering er det poretrykk som måles mens trykksonden presses ned i grunnen med foreskrevet konstant hastighet. Poretrykket kan måles på ett eller flere steder på trykksondens overflate. Følgende benevning blir benyttet:

- u_1 : poretrykk målt på konisk spiss
- u_2 : poretrykk målt umiddelbart bak den koniske spissen (referansenivå)
- u_3 : poretrykk målt umiddelbart bak friksjonshylsen

Merk: Det målte poretrykket varierer med jordtype, in situ poretrykk og filterets plassering langs sondens overflate. Poretrykket består av det opprinnelige in situ poretrykk og tilleggsporetrykket (poreovertrykket) forårsaket av trykksondens penetrasjon i grunnen.

Poreovertrykk, Δu

Poreovertrykket er $\Delta u = u - u_0$, hvor u_0 er in situ poretrykk i grunnen i konens nivå før penetrasjonen starter. Dette trykket kan også ha negativ verdi.

Merk: Δu_1 , Δu_2 eller Δu_3 skal benyttes etter hvor på trykksonden poretrykket er målt, se figur 2.3.

2.2 Nullavlesning, referanseavlesning og nullpunktsforskyvning

Nullavlesning

Nullavlesningen er den måleverdi som avleses når måleren er ubelastet. Den størrelsen som skal måles har da en verdi på null, mens strømkilden som behøves for å operere målesystemet er koblet inn.

Referanseavlesning

Utførelse og klargjøring i felt

Dette er avlesningsverdien av en måler like før trykksonden skal penetrere ned i grunnen. Ved undersøkelser til sjøs gjelder dette når trykksonden er rett over sjøbunnen (ca. 1 m).

Merk: For Multiconsult's sonder gjøres nullpunktkontrollen på overflaten ved landjords-undersøkelser. Ved sjøundersøkelser bør det tas nullpunktsavlesning når sonden står like under vannoverflaten og i tillegg utføres en referanseavlesning like over sjøbunnen. Merk at det ofte forekommer tynne mudlag med liten penetrasjonsmotstand i den øverste sonen av sjøbunnen. Referanseavlesningen må foretas før sonden når dette laget. På denne måten kan vanndybden logges med CPTU-sonden, samtidig som det tas nullavlesninger med temperaturstabilisert og mettet sonde. Nødvendige justeringer utover dette må gjøres ved prosessering av data.

Nullpunktsforskyvning

Nullpunktsforskyvning er den absolutte forskjellen i nullpunktverdi/referanseavlesning av et målesystem ved start og avslutning av et trykksonderingsforsøk, etter opptrekk av stangsystem og sonde..

Nullpunktavvik før og etter sondering bør ikke overskride $\pm 5\%$, regnet av nullpunktverdi før sondering.

2.3 Nøyaktighet, presisjon og oppløselighet

I feltmålinger er det viktig å notere all informasjon om forsøksmiljøet slik som temperatur, slitasje etc. som kan influere på nøyaktigheten av målingene. Begreper som er knyttet til nøyaktighetsbestemmelsen er forklart nedenfor.

Nøyaktighet

Defineres som nærhet av målingene til den sanne verdi av den egenskap som blir målt. Det er nøyaktigheten i det totale målesystem som er viktig, ikke de individuelle faktorene.

Presisjon

Nærheten av hvert sett av målinger til hverandre. Presisjon er det samme som repeterbarhet og kan bli uttrykt som en verdi med standard avvik som indikerer spredningen.

Merk: Hvis en målecelle for eksempel viser en repeterbar, men ikke lineær kalibrering så vil bruk av en lineær tilpasning gi tap av nøyaktighet, men resultatene vil fortsatt være repeterbare og presise. Tap av nøyaktighet vil være knyttet til forskjellen mellom den virkelige og den tilpassede kalibreringskurve. Bruk av en unøyaktig kalibrering kan således resultere i repeterbare (presise) resultater som vil ha en systematisk feil og derav unøyaktige. **Presisjon eller repeterbarhet er altså ikke en garanti for nøyaktighet.**

Oppløseligheten til et målesystem er den minste forandring i en måleverdi som måleren kan registrere. Oppløseligheten vil influere på en målert nøyaktighet og presisjon. Hvis en velger en høykapasitet sonde vil denne kunne måle over et stort måleområde, men oppløseligheten, og dermed nøyaktigheten, vil være dårlig.

3. Valg av utstyr, anvendelsesklasse og undersøkelsesstrategi

Følgende referanseforhold må bestemmes ved valg av utstyr for trykksonderingsforsøk:

- Type trykksonderingsforsøk TE1-TE2, etter tabell 3.2*
- Anvendelsesklasse 1-4 etter CEN/ISO 22576-1, med referanse til tabell 3.3*
- Ønsket penetrasjonslengde (penetrasjonsdybde)*
- Terrengnivå hvor trykksonderingen utføres med referanse til datum (ved innmåling)
- Posisjon av trykksonderingsforsøket i forhold til et fast referansepunkt (ved innmåling)

Utførelse og klargjøring i felt

f) Hvis relevant: Dybde og varighet av et dissipasjonsforsøk*

*) I samarbeid med saksbehandler

Merk: Den ønskede penetrasjonslengde eller penetrasjonsdybde vil avhenge av grunnforholdene, den tillatte penetrasjonskraft, tillatte krefter på sonderingsstengene og evt. anvendelse av og måleområdet for trykksonden.

Merk: I et dissipasjonsforsøk framkommer poretrykksforandringen ved å måle verdier av poretrykket som en funksjon av tiden etter stopp i penetrasjonen. Trykksondens dybde blir da fastholdt. Ønsket dyp og minste varighet av et dissipasjonsforsøk vil avhenge av grunnforholdene og hensikten med målingene. Maksimum varighet er også en vanlig felles referanse for å unngå uforholdsmessig lange avbrekk i sonderingen.

Tabell 3.1 Valg av sonde og måleområde tilpasset jordart.

Kapasitet sonde (t)	Max spissmotstand q (MPa)	Typiske måleverdier Leire	Typiske måleverdier Sand
1	10	q (MPa): 0,1 - 3	q (MPa): 2 - 20
2	20	f (kPa): 0 - 400	f (kPa): 400 – 1000
5	50	u (kPa): 100 - 1500	u (kPa): 0 - 300

Merk: Det bør benyttes 1 tonns sonde eller lavere ved sondering i bløte, homogene forhold. Ved lagdelte forhold bør det benyttes sonder med større kapasitet (2-5 tonns) for å unngå overbelastning ved passering av grove, faste lag. Det er også mulig å nedkalibrere en 5 tonns sonde til lavere måleområde. Den vil da fremdeles kunne måle i fastere lag uten å bli overbelastet, men målingene i det faste laget vil være mindre nøyaktige enn ved ordinær bruk av 5 tonns sonde.

Måling av spissmotstand, penetrasjonslengde, sidefriksjon og/eller poretrykk, samt helningen av trykksonden relativt til vertikalaksen, skal tilfredsstillende nøyaktighetskravene i tabell 3.3 for den gjeldende Anvendelsesklassen. Utstyret som trengs for å utføre trykksonderingen skal fylle kravene gitt i Multiconsult Teknisk prosedyre 5.01. Teknisk utstyr.

4. Forundersøkelser

4.1 Klargjøring av borpunkt

Kartlegging av tidligere boringer i området må utføres slik at nye sonderinger ikke kommer i konflikt med disse. **Det skal alltid utføres en pilotboring i nærheten av trykksonderingspunktet før trykksonderingen utføres for å få en innledende beskrivelse av grunnforholdene og en vurdering av om CPTU kan benyttes.** Dreietrykksondering eller totalsondering anbefales.

Dersom det ikke er utført tidligere undersøkelser i området, må resultatene av pilotsonderingen formidles til saksbehandler for endelig avklaring av forholdene over. Nedpressingsutstyret må posisjoneres i en avstand på minst 1 m eller minst 20 ganger borehullsdiameteren fra nærmeste borhull, slik at resultatene ikke påvirkes fra nærliggende boringer.

Utførelse og klargjøring i felt

Det er en fordel å kjenne grunnvannsnivået og poretrykket i et eller flere nivåer i dybden. Sikker bestemmelse av grunnvannstand og poretrykk øker sikkerheten ved tolkning av CPTU resultatene.

Utførelse og klargjøring i felt

Tabell 3.2 Typer trykksonderingsforsøk etter ny europeisk standard (CEN/ISO 22476-1).

Anvendelses klasse	Test type	Anbefalte grunnforhold
1	TE2: q_c, f_s, u Inklinometer	Bløte jordarter. Lagdelte forhold med skiftende lag bør unngås. Kun CPTU utføres. Tolkning av parametre.
2	TE2: q_c, f_s, u TE1: q_c, f_s Inklinometer	Lagdelte jordarter med bløte og faste masser. Tolkning i faste masser. Indikativ tolkning i bløte masser.
3	TE2: q_c, f_s, u TE1: q_c, f_s Inklinometer	Lagdelte jordarter med bløte og faste masser. Jordartsprofilering. Tolkning i meget faste masser Indikativ tolkning i faste masser.
4	TE1: q_c, f_s	Lagdelte jordarter med bløte og faste masser. Indikativ profilering i alle masser. Ingen parametertolkning.

Tabell 3.3. Nøyaktighetsklasser etter ny europeisk standard (CEN/ISO 22476-1).

Anvendelses klasse	Egenskap	Akseptabel nøyaktighet (største av to verdier)
1	Spissmotstand Sidefriksjon Poretrykk Helning	35 kPa eller 5 % (20 kPa) 5 kPa eller 10 % (2 kPa) 10 kPa eller 2 % (1 kPa) 2°
2	Spissmotstand Sidefriksjon Poretrykk Helning	100 kPa eller 5 % 15 kPa eller 15 % 25 kPa eller 3 % 2°
3	Spissmotstand Sidefriksjon Poretrykk Helning	200 kPa eller 5 % 25 kPa eller 15 % 50 kPa eller 5 % 5°
4	Spissmotstand Sidefriksjon Poretrykk Helning	500 kPa eller 5 % 50 kPa eller 20 % N/A N/A

Utførelse og klargjøring i felt

Merk. Den tillatte minimum nøyaktighet av den målte parameter er den største av de to forhold som er gitt. Den relative eller prosentvise nøyaktighet gjelder for selve måleverdien og ikke for måleområdet eller målekapasiteten.

Merk: Anvendelsesklasse 1 er ment for homogene grunnforhold uten særlig lagdeling og relativt bløte jordarter. Resultatene vil bli benyttet til presis bestemmelse av lagdeling og jordart, samt tolkning av jordartens mekaniske egenskaper. Klasse 2 kan passe best for lagdelte forhold med fastere leire og sand. For klassene 3 og 4 bør resultatene bare benyttes for lagdeling og jordtype, eventuelt med orienterende parameterbestemmelse i stiv eller fast jord.

Merk: Ved ekstreme lufttemperaturer bør trykksonden oppbevares slik at dens temperatur er i området 0 - 25 °C.

Merk: For forsøk i Anvendelsesklasse 1 (se tabell 3.3.) bør trykksondens målere bør ha en temperaturfølsomhet bedre enn (se kalibreringsskjema):

20 kPa/°C	for spissmotstand
0,1 kPa/°C	for sidefriksjon
0,05-0,1 kPa/°C	for poretrykk (måleområde 1-2 MPa)

Disse stabilitetskravene gjelder for trykksonden med en lastkapasitet på 5 tonn. For trykksonden med andre kapasiteter, kan de kravene som er listet ovenfor bli justert proporsjonalt med hensyn til effekten på nøyaktigheten av den målte verdi.

Merk: For alle klassene skal temperaturfølsomheten være en integrert del av kravene til målenøyaktighet gitt i tabell 3.3.

Forhold som er viktige å få registrert er:

- Valg av utstyr og måleområde
- Aktuell sonderingsdybde
- Mektighet av tørrskorpe
- Innslag av faste eller steinrike lag
- Steininnhold
- Grunnvannstand
- Dybde til fjell

4.2 Forboring

Det anbefales å forbore gjennom tørrskorpe, grove og/eller steinrike lag, om nødvendig i kombinasjon med casing for å unngå kollaps av borhullet. Dersom data fra trykksondering er ønskelig i tørrskorpelaget bør dette utføres i en separat sondering, eventuelt med kraftigere sonde.

I noen tilfeller kan forboring utføres ved å ramme en pilotstang med diameter 45-50 mm gjennom faste lag for å etablere et pilothull slik at penetrasjonsmotstanden reduseres.

Ved trykksondering i leire benyttes vanligvis forboring gjennom tørrskorpelaget, ned til en eventuell grunnvannstand. Det forborede borhullet skal fylles med vann hvis poretrykket skal måles ved et

Utførelse og klargjøring i felt

vannmettet system. Hvis grunnvannstanden ligger dypt, bør målesystemet mettes med glyserin eller tilsvarende væske, eventuelt at det benyttes spiss med spaltefilter.

4.3 Klargjøring av borerigg

Kontroll av nedpressingshastigheten skal utføres før hver ny trykksondering. **Nedpressingshastigheten skal være 20 mm/sek \pm 5%, dvs. 1,2 m/min.** Boreriggen må kunne holde jevn nedpressingshastighet selv med store variasjoner i sonderingsmotstand.

Merk: Kontroll av nedpressingshastigheten utføres enklest ved at en lengde på 1,2 m merkes nøyaktig på tårnet, på stempelstengene for løfting av borhodet eller på innsatt borstang. Borhodet kjøres fra øverste merke til nederste merke på 60 sekunder. Tillatt avvik i medgått tid er \pm 1 sekund.

Nedpressingsutstyret skal påføre krefter på sonderingsstengene slik at akselen til nedpressingskraften er så nær vertikal som mulig. Akselen til trykksonden skal tilsvare belastningsakselen ved starten på forsøket.

Vertikaliteten for tårn og stenger innstilles så nøyaktig som mulig før trykksonderingen settes i gang. Det er ikke spesifisert krav til maksimalt avvik fra vertikalaksen, utover at det skal måles med bedre nøyaktighet enn 2°.

5. Utførelse av sonderingen

5.1 Klargjøring av trykksonde

Multiconsult benytter to hovedtyper sonder: Geotech Classic/Nova og ENVI Memocone II. Begge sondetyper kan benyttes med spaltefilter og porøse filter gjennom utskiftbare spisser, se figur 5.1.

Uansett prinsipp skal målesystemet for poretrykk være mettet under hele forsøket. Begge sondetyper benytter nå akustisk signaloverføring gjennom stengene, og har i tillegg datalagring i sonden. Data som lagres i sonden er noe mer nøyaktige enn de som overføres gjennom stengene på grunn av signalprosesseringen. Eldre ENVI-sonder har ikke signaloverføringsmuligheter og registreringene vises ikke i sanntid på overflaten under sonderingen. Eldre Geotech-sonder har på sin side ikke datalagring i sonden.

Geotech-sonde

Monter mikrofonen, og tast in nødvendig startinformasjon for boringen (sonde nr., kalibreringsdata, forsøksnummer, posisjon m.m.).



Figur 5.1 Spiss med porøst filter (t.v.) og spaltefilter (t.h.).

ENVI sonde

Monter batteripakke og sjekk at lysindikator på sonden lyser grønt. Ved nyere sonder må i tillegg mikrofon monteres. Nødvendig startinformasjon for boringen registreres (sonde nr., kalibreringsdata, forsøksnummer, posisjon m.m.).

Utførelse og klargjøring i felt

5.2 Metting av sonde med porøst filter

Metningsmedium

Vanligvis benyttes væsker som luftfritt vann eller frostvæske ved testing i mettet jord under grunnvannstanden. Dette krever at en forborer forbi tørrskorpen eller andre faste topplag slik at sonderingen starter fra like under grunnvannstanden. Sondespissen (filteret) forsegles med et kondom slik at metningsmediet ikke drenerer ut fra filteret ved nedsetting til grunnvannstanden. Borhullet fylles i tillegg med vann, se figur 5.2.

Det er viktig at sonden forblir mettet selv om trykksonden penetrerer et umettet eller dilaterende lag (tørrskorpe, fast sand, sterkt OC leire der det oppstår sug i porene), eller der det er ønskelig å sondere gjennom tørrskorpen. **I slike tilfeller kan det være fordelaktig å mette sonden med en mer tyktflytende væske enn vann, for eksempel rensed parafin, glyserin eller lignende.** Disse væskene har større molekyler og er mindre viskøse enn vann. De vil derfor ha større motstand mot drenering og utsuging fra filteret. Sonderingen kan da i prinsippet utføres fra overflaten, eller med beskjedne forboringer. **Ved slike forhold vil det generelt være gunstig med bruk av sonde med spaltefilter og metting med fett.**



Figur 5.2. Sonde med kondom for å hindre tap av metningsvæske (t.v.). Vannfylling av borhull (t.h.)

Porøse filtre

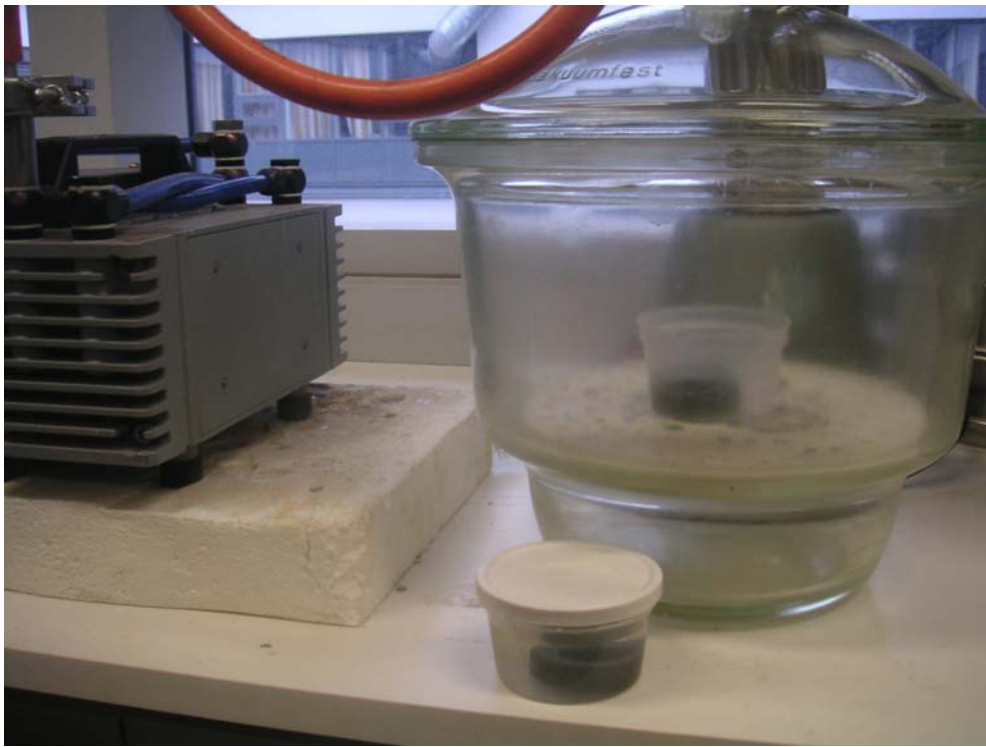
Porøse filtre er vanligvis produsert fra behandlede (sintring) eller ubehandlede metaller, keramer, plaster eller karborundum. Geotech-sonder har vanligvis filtre av sintret bronse, mens ENVI benytter herdet stål.

Forskjellige fenomener kan forårsake filtretetting og sviktende måling av poretrykket:

- **Clogging** (partikkelsetting av filter) kan forekomme i OC-leirer ved bruk av filter av ubehandlet stål. Fenomenet er sjelden ved bruk av keramiske filtre og filtre av herdet metall.
- **Smearing** (slitasjetetting)/knusing kan forekomme ved sondering i meget faste, sandige materialer og er vanligst for bløte, ubehandlede metalliske filtre. Knusing av keramiske filtre kan forekomme ved høy sonderingsmotstand.

Filtrene bør kokes eller renses i ultralydbad i 15 min. Filteret bør deretter avkjøles i vann før det lagres i metningsmediet i en lufttettbeholder, se figur 5. 3. Et større volum med avluftet vann bør også gjøres klart. Dette vannet er nødvendig ved montering av sonden før bruk. Koking av filtre kan skade noen filtermaterialer (for eksempel plastfiltre laget av HDPE).

Utførelse og klargjøring i felt



Figur 5.3. Vakuumering og metting av porøse filter.

Hvis glyserin eller parafin benyttes, plasseres tørre filter rett i væsken og blir utsatt for vakuum i ca 24 timer. Et større volum av væske bør behandles likt og lagres i et forseglet kar. Målekammeret blir vanligvis mettet med samme væske som blir benyttet for filteret (se Metteprosedyrer).

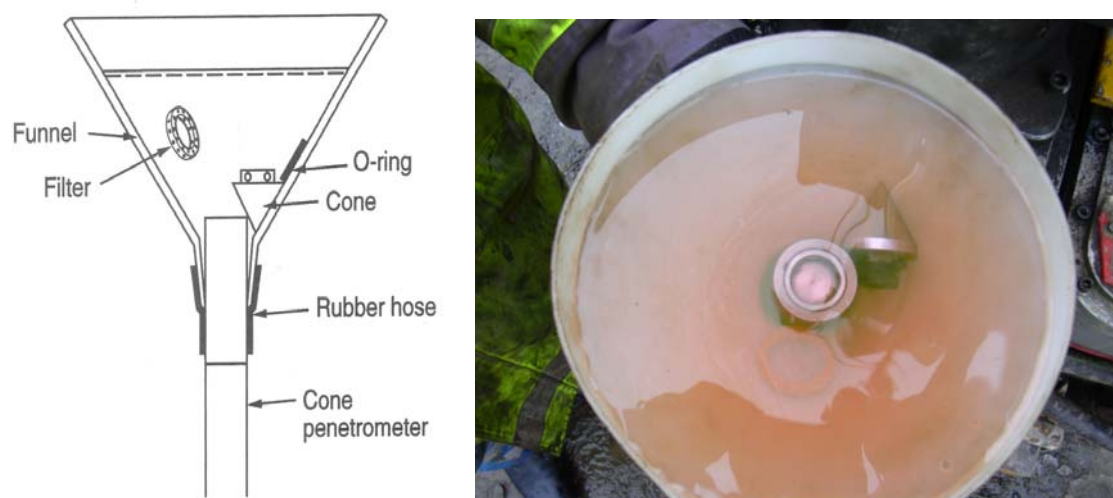
Mettede filter må oppbevares neddykket i metningsmediet og transporteres til felt i lufttette bokser. Dette hindrer at metningsvæsken tørker eller drenerer ut av filteret under transport. Ved montering overføres de neddykket til metningstrakten uten at de er i kontakt med luft.

Anbefalt metteprosedyre

Flere alternative metteprosedyrer er aktuelle. Den mest praktiske metoden er beskrevet nedenfor og er anbefalt prosedyre i Multiconsult, se figur 5.4.

Trykksonden uten filter og konisk spiss vendes opp/ned, og det tres en passe stor traktformet plastflaske over sondestangen. Tettingen nederst kan for eksempel gjøres ved hjelp av en sykkelslangebit eller en gummipakning, se prinsippskissen i figur 5.4. Trakten fylles med metningsmediet i henhold til anbefalingene over. Spissen og filteret legges deretter i den væskefylte trakten. Pass på å få bort luftbobler fra gjengene og andre hulrom i sonde og konisk spiss. Montering av filteret og spissen utføres så med sonden neddykket i metningsvæsken. Etter at filteret er montert trekkes et kondom over sondespissen; dette brister når trykksonden kommer i kontakt med jord. På denne måten opprettholdes mettingen av sonden til den kommer under grunnvannstanden.

Utførelse og klargjøring i felt



Figur 5.4. Neddykket montering og metting av trykksonde i felt.

Ved spesielle krav til god metning kan metting av sonden gjøres i en vakuumcelle i felt. Til dette kreves en vakuumbrett trykkbeholder, luftslanger og en vakuumpumpe. Vakuumbrett påføres til det ikke lenger kommer luftbobler ut fra sonden eller fra filteret (ca 15-30 min). Den endelige montering av filter og forsegling gjøres deretter med sonden neddykket i metningsvæsken.

Etter montering bør tilpasningen av filteret sjekkes. Høyden på filteret bør være stor nok til at filteret ikke er løst, men samtidig liten nok til at det kan roteres med fingertuppene. Derved unngår man tilleggsspenninger i fugene rundt filteret og eventuell påvirkning av målingene.

Det bør benyttes nytt filter for hvert forsøk. Brukte filter kan gjenbrukes hvis de ikke er skadet, men må kokes eller renses i ultralydbad før nytt forsøk.

Merk: Ved metting og montering av gummihuden vil det kunne settes opp poretrykk, slik at poretrykksmåleren viser verdier forskjellig fra 0.

Merk: Ved metting og montering av gummihuden vil det kunne settes opp et lite poretrykk, slik at poretrykksmåleren viser verdier forskjellig fra 0.

5.3 Metting av sonde med spaltefilter

Bruk av spaltefilter reduserer nødvendig tid for rigging og preparering av trykksonden. I tillegg vil denne type poretrykksystem opprettholde mettingen ved penetrasjon over grunnvannstanden og gjennom umettede og dilatante soner i jorden.

Spissen består av et konisk element, en spaltering og to O-ringer for forsegling. Før metting må spissen og spaltingen presses sammen. Poretrykket måles ved trykkforplantning gjennom en 0,3 mm bred spalte plassert like bak den koniske delen (beskrivelse av for eksempel Larsson, 1995), se figur 5. 1. Denne spalten bryter i prinsippet sammenhengen mellom jordpartiklene slik at det er trykket i vannfasen som måles. Spalten kommuniserer med trykk-kammeret via en kanal i sondestammen. Det porøse filteret mellom jord/vann og trykk-kammer blir derved overflødig.

Selve trykk-kammeret, som er i direkte kontakt med trykkmåleren, mettes vanligvis med luftfritt vann, frostvæske eller oljeprodukter, mens trykk-kanal og spaltes mettes med gelatin, fett eller tilsvarende

Utførelse og klargjøring i felt

medium. Både gelatin og fett er velegnet for feltbruk under de fleste forhold. En må imidlertid påse at fett ikke inneholder luftbobler, noe som kan gi dårlig respons på poretrykkssendringer ved penetrasjon.

Det bemerkes at fett vil ha noe temperaturavhengige egenskaper. Ved lave temperaturer blir mediet stivt og dette kan gi dårlig trykk-forplantning og respons på hurtige poretrykkssendringer. Ved for høye temperaturer kan mediet bli mer tyntflytende og risikoen for utsuging og drenasje av mediet øker. ENVI anbefaler å benytte fett med egenskaper tilsvarende ARIENS Moly no.1 (molycote-fett), sammen med hydraulikkolje i kammeret, noe som ga best resultat med hensyn på hystereseeffekter i tester. Dette fett har også meget gode temperaturegenskaper og holder seg mykt også ved lave temperaturer. For vanlige nøyaktighetsområder vil bruk av fettpresse og vanlig bensinstasjonfett (STATOIL LK 62, BP LT 2) være tilstrekkelig.



Figur 5.5. Montering av spiss med spaltefilter etter metting med fett. Bildet til venstre viser uheldig innpressingsprosedyre som ble mye benyttet tidligere.

Ved bruk av fett presses dette direkte inn i kanalene ved hjelp av en fettpresse eller tilsvarende, helt til fett kommer ut av alle spaltene i ringen. Overflødig fett tørkes bort slik at det er en glatt jevn flate i spalten. Det anbefales ikke å presse inn fett direkte fra tube, som vist i figur 5.5 (t.v.), da dette gir økt risiko for innblanding av luft.

Etter metting av spissen monteres denne på sonden på følgende måte:

- Fyll hullrommet i nedre del av sonden med frostvæske/luftfritt vann og se til at det ikke er luftbobler i kammeret. Luftbobler i gjengeføringer spiller mindre rolle da disse ikke virker aktivt i trykkforplantningen.
- Monter spissen inn i kammeret. Hold spissen litt på skrå slik at eventuelle luftbobler skal kunne evakuere.
- Skru til spissen lett. Sett på to O-ringer bak spissen og en ring i andre enden av friksjonshylsen. Merk at det kan være et lite trykk i kammeret etter montering. **Vent derfor i ca. 5 minutter etter montering før nullpunktsavlesning foretas.**

Metning av spaltefiltere ved utkoking med Gelatin sikrer en helt lik og fullstendig metning, men denne metteprosedyren krever noe mer tid. Spissen legges i kokende Gelatin som størkner ved avkjøling slik at alle hulrom fylles med et homogent, luftfritt medium. Denne mettemetoden gir vanligvis noe bedre resultat enn fettinnpressing, og anbefales benytte ved spesielle krav til målenøyaktighet.

5.4 Avlesning av nullpunkt

Nullavlesning for spissmotstand og penetrasjonsdybde, eventuelt også sidefriksjon, poretrykk og helning relativt til vertikalaksen skal registreres.

Utførelse og klargjøring i felt

Temperaturstabilisering

Moderne trykksonder er temperaturkompenserte, lineære og stabile i temperaturområdet 0 – 25°C. I prinsippet er det derfor ikke av betydning hvilken temperatur sonden har når nullpunktene avleses. Sondene er imidlertid følsomme for temperaturgradienter som kan oppstå under klargjøring og penetrering. Det er pr. i dag ikke mulig å kompensere for effekten av temperaturendringer, og disse kan påvirke målingene betydelig inntil sonden stabiliseres (øverste 5-10 m). **Ved avlesning av nullpunkt for målerne må derfor trykksonden både være ubelastet og temperaturstabilisert til bakketemperatur (5-7°C).** Andre elektroniske komponenter i datainnsamlingssystemet bør også være temperaturstabiliserte.



Figur 5.6. Oppbevaring av sonde i temperaturkontrollert vannbad.

Temperaturgradienter kan oppstå når sonden senkes ned i grunnen hvis lufttemperaturen er forskjellig fra bakketemperaturen, eller at sonden har vært direkte eksponert for varme (sollys) eller frost. Det er derfor viktig at trykksonden gis anledning til å tilpasse seg temperaturen i grunnen før sonderingen starter (5–10 minutter). For å redusere denne ventetiden anbefales det å plassere sonden i et temperaturkontrollert vannbad med bakketemperatur (5-7°C) under klargjøringen, se figur 5.6. Alternativt kan den settes ubelastet i et forboret borhull 1-2 meter under bakken før nullpunktet avleses.

Merk: Med nyere registreringsenheter er det også mulig å la sonden stå ubelastet i borhullet i ca. 5 min før nullpunktavlesning foretas, samt at det er mulig å overvåke nullpunktverdiene på displayet. Verdiene skal være stabile når nullpunktavlesning foretas. Alle nullpunktverdiene blir også lagret i egen logg, slik at eventuelle avvik over tid kan avdekkes. Loggen kan eventuelt benyttes til vurdering av kalibreringsbehov.

Utførelse og klargjøring i felt



Figur 5.7. Avlesning av nullpunkt, Geotech sonde (t.v.) med eldre registreringsutstyr. Vertikalitetssjekk før sondering (t.h.).

Merk: Ved montering og metting av spiss med spaltefilter kan det settes opp et trykk i kammeret på grunn av sammenpressing av fett/gelatinen. Dette trykket må gis tid til å drenere ut (ca. 5 min), slik at ikke poretryksmåleren er belastet når nullavlesning foretas.

Nullpunktavlesning skal i tillegg utføres etter opptrekk av sonden for å kontrollere at ikke nullpunktene har endret seg i løpet av sonderingen. Flere forhold kan påvirke nullpunktene for sonden, dels midlertidige, dels permanente:

- **Skader.** Mekaniske skader eller overbelastning av sonden kan gi permanent null-punktsendring. Sondene må re-kalibreres, repareres og i verste fall kasseres.
- **Sug.** Ved opptrekk av stangsystemet etter endt penetrasjon kan det, spesielt i leire, oppstå sug under sonden. Dette suget vil påvirke poretrykks- og spissmotstandsmålingene og gi nullpunktsavvik i forhold til før-tilstanden. **Det anbefales derfor å vente i ca. 5 min etter opptrekk for at suget skal drenere ut, spesielt ved bruk av spaltefilter.**

Merk: Det er en enkel oppgave å bygge om registreringsenheten til å logge verdier også ved opptrekk. På denne måten for en dokumentert belastningen på sonden og ventetiden kan reduseres.

- **Rengjøring friksjonshylse.** Ved sondering i leire vil det legge seg omrørt leire i spalter og tettinger på begge sider av friksjonshylsen. Dette kan gi en innspenning på sonden og avvik på nullpunktsavlesningen for friksjonsmåleren. Spaltene må derfor rengjøres og hylsen må kunne roteres fritt før nullpunkt avlesning foretas.

Retningslinjene for CPTU angir ikke detaljerte regler for akseptable nullpunktsavvik, men det anbefales at avvikene bør være mindre enn 5 % ved sondering i leire, i hvert fall i de beste anvendelsesklassene.

Målinger på sjøen.

Referansemålinger for undersjøiske trykksonderinger tilsvarer nullpunktavlesning utført umiddelbart over sjøbunnsnivå (ca. 1 m). Merk at sonden ikke må stå i mud-laget på topp sjøbunn ved avlesning av nullverdiene. Nullpunktavlesning bør i tillegg tas på overflaten, samt med sonden i posisjon like under vannflaten, etter at den er blitt temperaturstabil. Sjødybden kan da logges ved nedfiring til nivå for referansemålingen. Sjødybden bør i tillegg logges med andre metoder før trykksonderingen utføres.

Utførelse og klargjøring i felt

5.5 Nedpressingsmetode

Etter nedfiring i borhullet med temperaturstabilisering og nullpunktsavlesning/-kontroll kan selve sonderingen starte. Loggefunksjonen på registreringsenhet (PC/Geologg/Geoprinter) startes og profilene vises på skjermen.

Før sondering må bortårnet vertikalstilles, se figur 5.7, og eventuell forankring må være etablert. Vertikaliteten av bortårnet og generell retthet av stangsystemet kontrolleres ved start, men helningsavviket for borstrengen kontrolleres også underveis i sonderingen ved å følge med på displayet for helningsmåler/inklinometer i sonden.

Nedpressingen kan utføres som kontinuerlig eller diskontinuerlig nedpressing. Ved kontinuerlig nedpressing presses trykksonden ned i grunnen uten reduksjon i nedpressingshastigheten. Kortere stopp i nedpressingen på grunn av stangskjøting eller taksifte for nedpressingsutstyr aksepteres ved landjordsundersøkelser, men ikke i marine undersøkelser.

Ved diskontinuerlig nedpressing kan nedpressingen stoppes helt i lengre tid, for eksempel for utførelse av dissipasjonsforsøk (poretrykksutjevning).

5.6 Observasjoner under sondering

I forsøket presses trykksonden ned i grunnen med konstant penetrasjonshastighet 20 ± 5 mm/sek. Penetrasjonsraten skal kontrolleres og avvik fra standardisert verdi skal noteres.

Under sonderingen bør det gjøres følgende kontroller:

- **Størrelsen på spissmotstanden kontrolleres i forhold til tilgjengelig kapasitet.** Hvis spissmotstand eller sum av spissmotstand og friksjon (totalkraft) plutselig øker, kan man ha truffet en stein eller fjell, og det er fare for at kapasiteten overskrides, eventuelt at sonden ødelegges eller mistes.
- **Poretrykksresponsen må vurderes, spesielt i start av sonderingen og ved laggrenser.** Etter passering av faste lag (fast sand, tørrskorpe, topplag) kan mettemediet være sugd ut av filter og poretrykkskammer og gi dårlig metning. Ved dårlig poretrykksrespons i antatt leire (lav spissmotstand), kan det være aktuelt å stoppe sonderingen en tid etter at en har passert fastere lag slik st systemet mettes opp av poretrykket. Erfaringsmessig bør poretrykket tilsvare ca. 8 – 10 høydemeter vannsøyle for at denne metteeffekten skal være effektiv. På grunne dyp, for eksempel under et tørrskorpelag på 2-3 m har dette mindre effekt.
- **Alle viktige observasjoner og registreringer for øvrig må føres i borelogg og oversendes saksbehandler.**

Se vedlagte eksempelsamling for vurderingsgrunnlag.

5.7 Prosedyre etter opptrekk

Det skal foretas null-avlesning av samtlige målere etter opptrekking, med sonden ubelastet i friluft, se kap.5.4 for detaljer.

Etter at sondering og nullpunktavlesning er avsluttet, rengjøres sonden, inspiseres for slitasje, skader og defekter. Pakninger og O-ringer smøres inn med vaselin fett, eksikator fett eller tilsvarende (ikke silikonprodukter). Filteret rengjøres og legges tilbake i beholder for koking og gjenbruk, eventuelt kastes hvis det har skader.

Borboka sammen med loggedata leveres saksbehandler så raskt som mulig, helst umiddelbart etter at sonderingen er avsluttet. **Loggedata oversendes saksbehandler elektronisk for kvalitetssjekk. Respons fra saksbehandler må foreligge før borestedet forlates, i tilfelle forsøket må kjøres på nytt!**

Utførelse og klargjøring i felt

6. Spesielle prosedyrer

6.1 Dissipasjonstest

Hvis en ønsker å vurdere jordartens drems- og/eller konsolideringsegenskaper kan det utføres dissipasjonsforsøk på utvalgte nivå i avsetningen. I et dissipasjonsforsøk registreres reduksjonen av poreovertrykk over tid, etter først å ha stoppet den kontinuerlige nedpressingen av sonden.

I finkornige jordarter med lav permeabilitet kan poretrykkets dissipasjonsforløp benyttes til å vurdere konsoliderings- og dremssegenskapene for materialet. I slike masser bør poretrykksutjevningen være minst 30 min. (egentlig til 50 % av poretrykket ved stopp sondering) for å gi gode nok data til tolkning av konsoliderings- og dremssegenskapene. I grovere, godt drenerende jordarter går poretrykksutjevningen fort og kan benyttes til å estimere in situ poretrykk.

Det kan være hensiktsmessig å avslutte sonderingen med et kortvarig dissipasjonsforsøk (max.15 minutter) for å få orienterende informasjon om drems- og poretrykksforholdene.

Merk: Ved dissipasjonsforsøket er det spesielt viktig å ta hyppige avlesninger i begynnelsen av dissipasjonsforløpet. Følgende måleintervall er anbefalt:

0 - 1 min	2 avlesninger pr sekund
1 - 10 min	1 avlesning pr sekund
10 - 100 min	1 avlesning pr. 2 sekund
> 100 min	1 avlesning pr. 5 sekund

Merk: Varigheten av dissipasjonsforsøket bør minst tilsvare tiden for 50 % poretrykksdissipasjon ($t_{50} \rightarrow u_t = u_o + 0.5\Delta u_i$), siden t_{50} er tidsnivået som benyttes i de fleste tolkningsmetoder for bestemmelse av konsolideringskoeffisienten c .

Merk: Sonderingsstengene må låses under dissipasjonsforsøket slik at det ikke oppstår avlastning av sondespissen. Dette kan kontrolleres ved også å måle spissmotstanden q_c som bør være nær konstant (noe reduksjon oppstår på grunn av kryp).

7. Litteratur

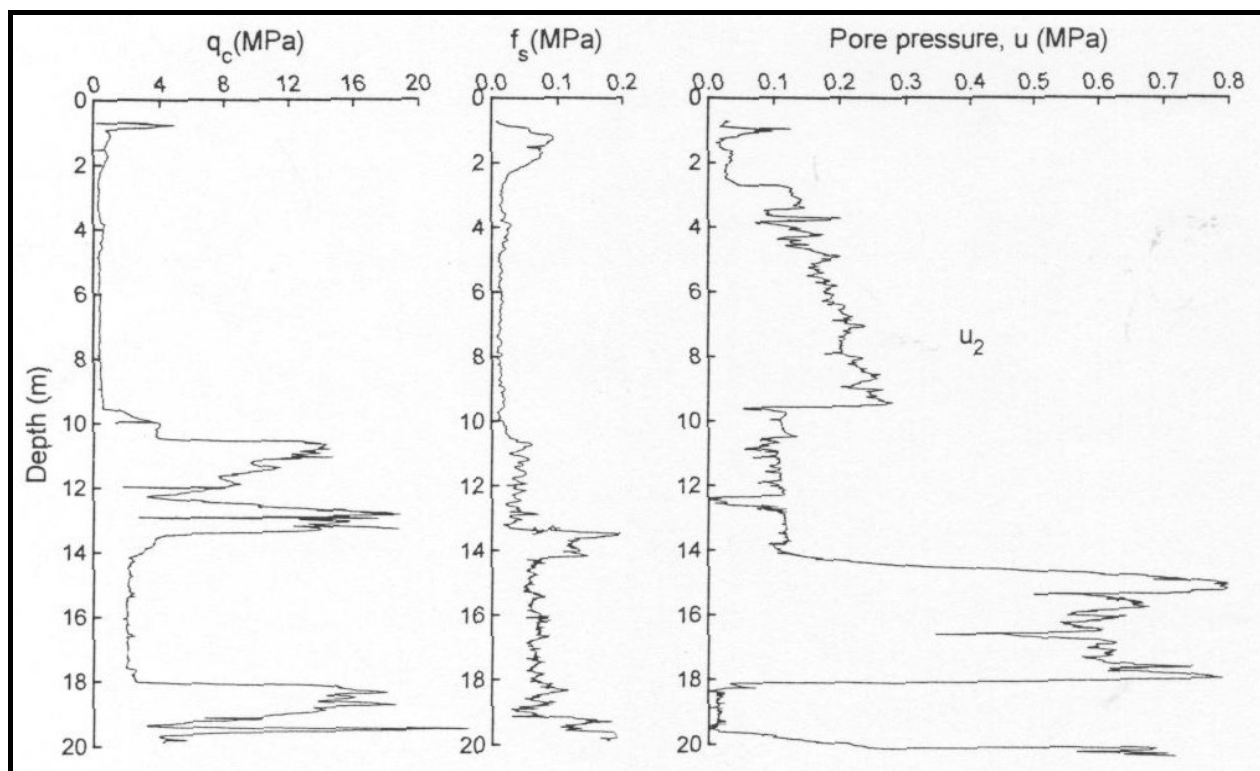
1. Norsk Geoteknisk Forening (NGF). (2009)
Melding nr. 5. Trykksondering med poretrykksmåling.
(Foreløpig revisjon, ikke utgitt)
2. CEN ISO 22476 – 1. (2009)
Electrical cone penetration test.
International standard (foreløpig, ventes klar i 2009)
3. Lunne, T., Robertson, P.K. and Powell, J. (1995)
CPT in Geotechnical Practice)

Egne notater:

VEDLEGG

EKSEMPLER PÅ CPTU PROFILER

Utførelse og klargjøring i felt

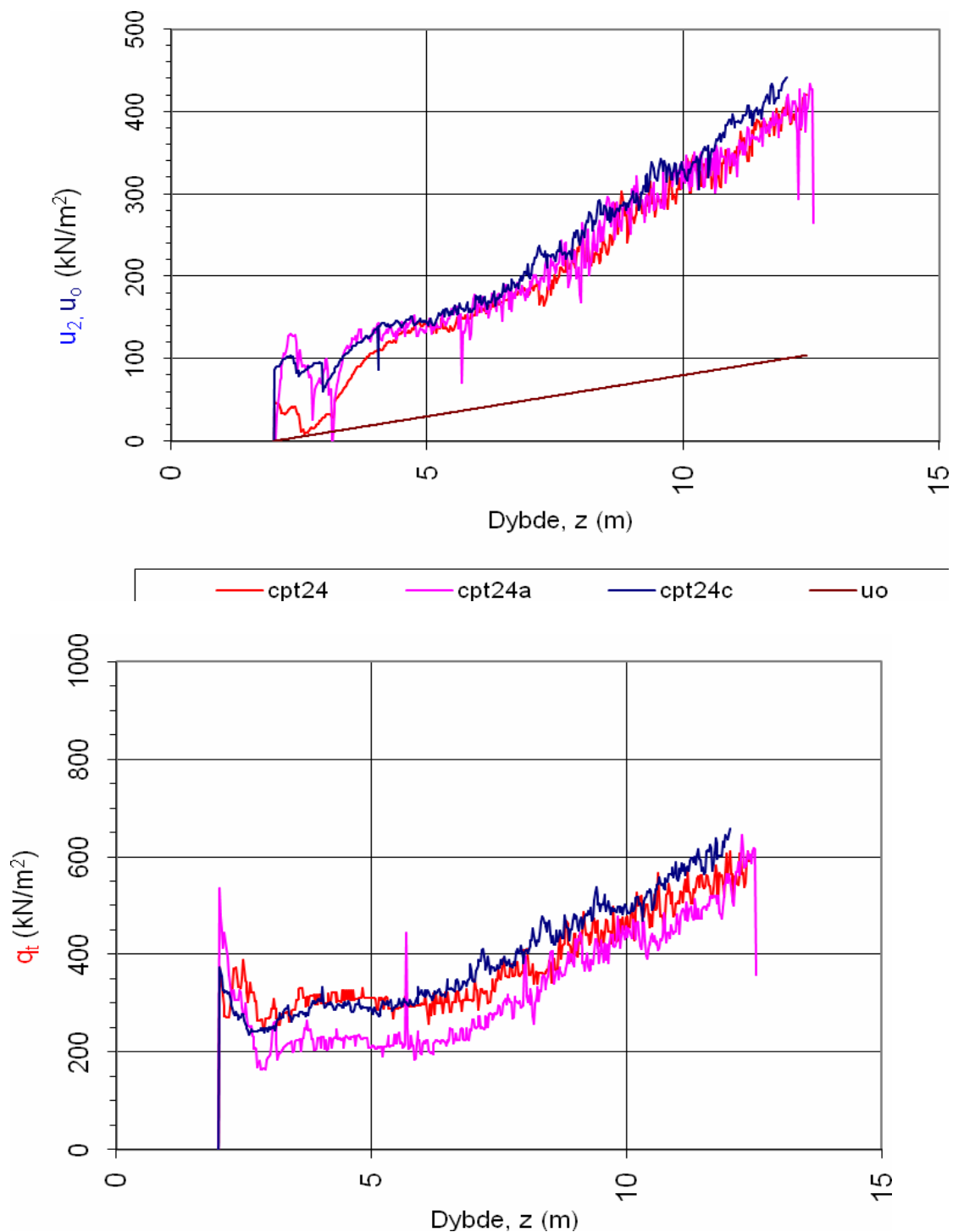


Klassisk eksempel på CPTU resultater i lagdelte masser.

Vurdering: Eksemplet viser forventet utvikling av CPTU registreringene i lagdelt jord. I lag med bløt leire er spissmotstanden liten og variasjonene små. Dette faller sammen med oppbygging av poretrykk i den lite permeable leira. I sandlagene er penetrasjonsmotstanden betydelig større, mens sandens gode dreansegenskaper medfører ubetydelig poretrykksoppbygging i tillegg til det hydrostatiske vanntrykket. Merk at utslagene for friksjonen er betydelig mindre, og at forskjellen i sidefriksjon mellom sand og leire ikke trenger å være stor.

En god regel: Økende spissmotstand samsvarer som regel med avtagende poretrykk og vice versa. Sonderingsprofil som viser avvik i forhold til denne enkle regelen må vurderes kritisk!

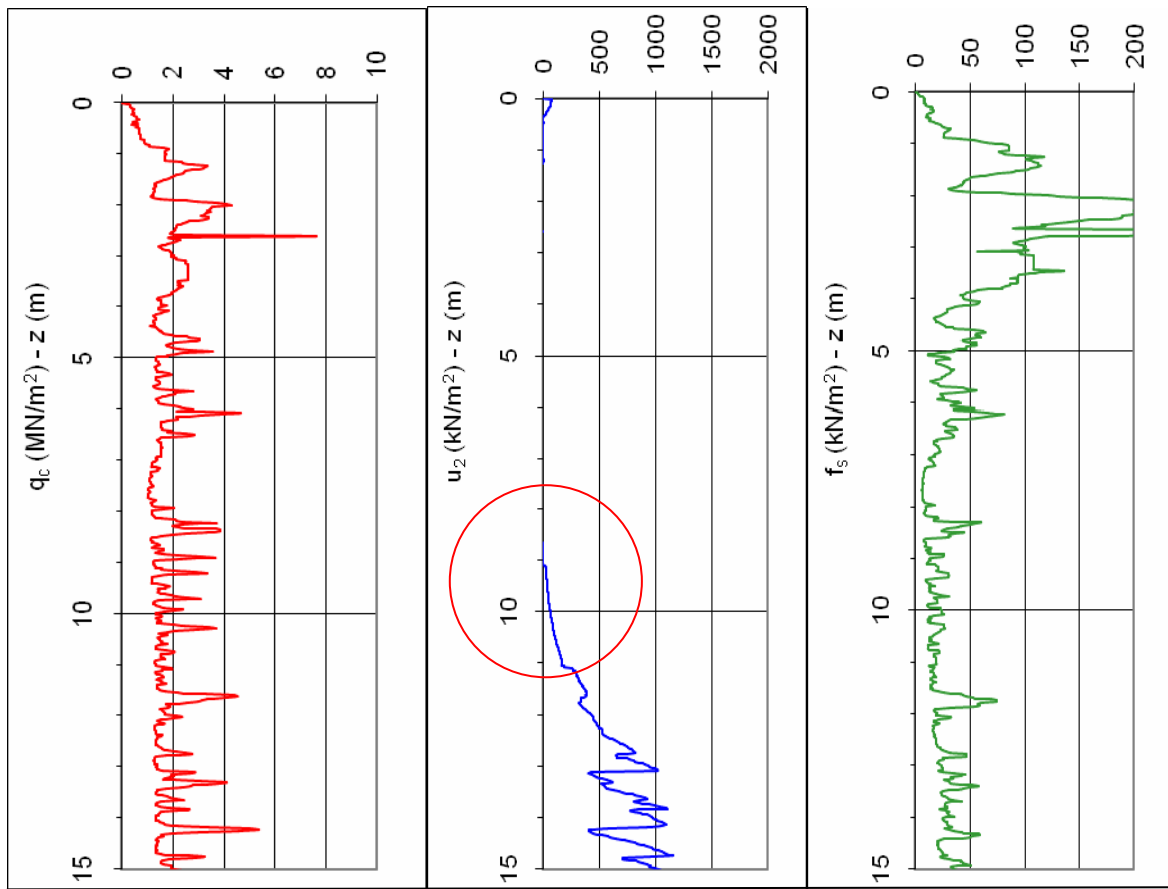
Utførelse og klargjøring i felt

**Eksempel på CPTU resultater i kvikkleire, Kattmarka, Namsos. Geotech Classic sonde med filter, mettet med frostvæske og bruk av trakt.**

Vurdering: Alle tre profilene viser meget god filtermetting med spontan reaksjon på selv små skiftinger i grunnforholdene. Profil cpt 24 c er utført med 1 tonn sonde og viser antatt mer nøyaktige verdier for spissmotstanden. Merk at variasjonene i spissmotstand mellom de tre profilene tilsvarer omtrent maksimal oppløsning for en 5 tonn sonde (ca. 100 kPa).

Demonstrerer viktigheten av riktig sondevalg ved ekstremt bløte grunnforhold.

Utførelse og klargjøring i felt

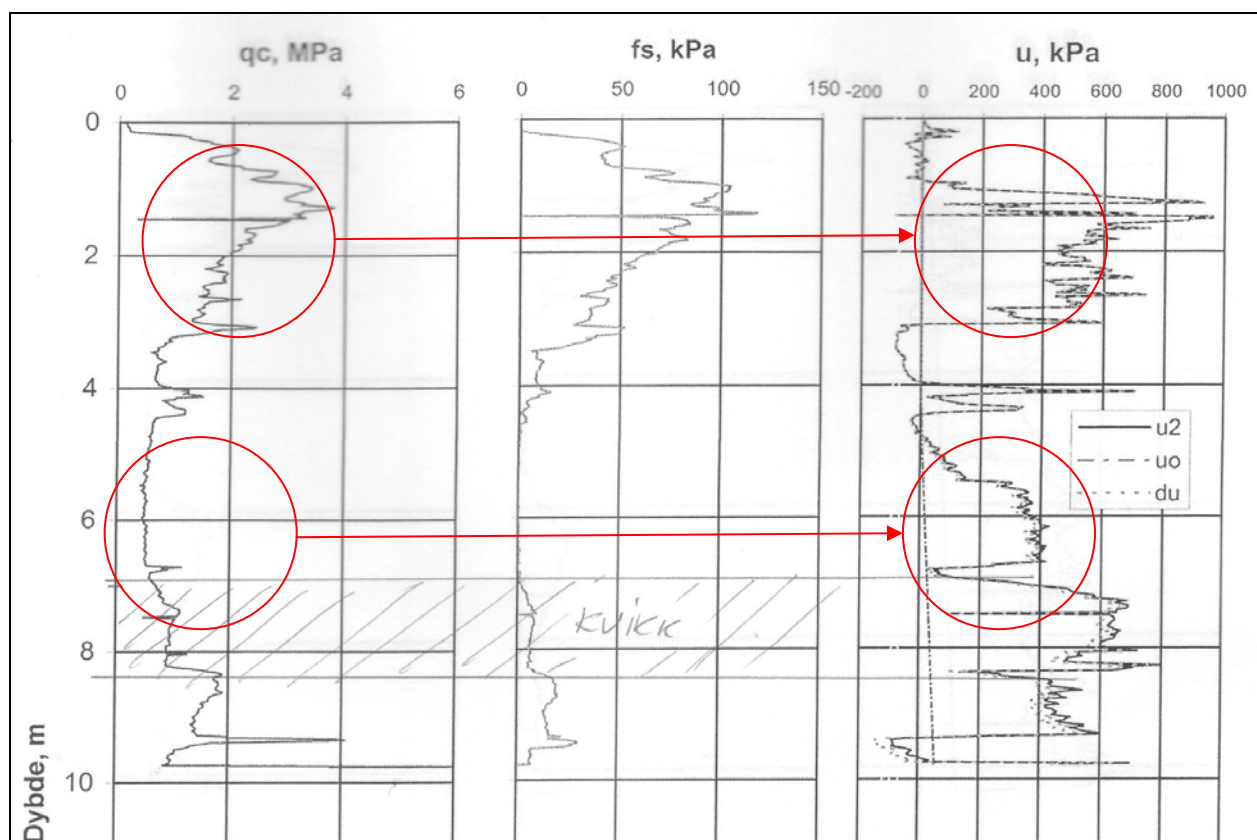


Eksempel på CPTU resultater i lagdelt jord. Geotech Classic sonde med filter, mettet med frostvæske og bruk av trakt.

Vurdering: Profilet viser svært variable masser med til dels grove lag i toppen. Her er metningsmediet mistet og poretryksresponsen fraværende de øverste 10 metrene. Deretter sørger trykket i porevannet for at sonden mettes på nytt, og poretryksresponsen er tilfredsstillende fra ca 13 m.

Her burde sonden vært mettet med glyserin, parafin eller tilsvarende, eventuelt at det ble benyttet sonde med spaltefilter.

Utførelse og klargjøring i felt



Eksempel på uforståelige CPTU resultater i lagdelt jord. ENVI Memocone med spaltefilter.

Vurdering: Profilet viser et profil med manglende samsvar mellom spissmotstands- og poretryksregistreringer. Både spissmotstand og poretrykk øker parallelt i enkeltsoner, i andre soner øker poretrykket uten at det registreres endringer i spissmotstand.

Mulig årsak: Inntrengning av jord i spalten slik at det måles jordtrykk i stedet for poretrykk.

Her burde sonderingen blitt forkastet og utført på nytt! I stedet ble det produsert ytterligere 8 profiler av samme tvilsomme kvalitet!

MULTICONSULT



**TEKNISK PROSEDYRE
Feltundersøkelser**

**F.05.III CPTU
PRESENTASJON OG TOLKNING AV RESULTATER**

Utarbeidet av:
Revisjonsdato:
Ansvarlig:

Prosedyre for CPTU – Multiconsult Presentasjon og tolkning av resultater

Denne prosedyre gjelder som beste praksis ved presentasjon og tolkning av CPTU i Multiconsult.

Innholdsfortegnelse	side
1. Bakgrunn	5
2. Terminologi	5
2.1 Registrerte data	5
2.2 Avledede verdier	5
3. Behov for grunnlagsdata	8
4. Behandling og presentasjon av CPTU data	13
4.1 Korleksjon og presentasjon av måledata	14
4.1.1 Spissmotstand q	14
4.1.2 Sidefriksjon f	15
4.1.3 Poretrykk u	15
4.2 Avledede parametre	16
4.2.1 Identifikasjon av jordart	16
4.3 Presentasjon av målte og avledede data	18
5. Referansedata	18
6. Identifisering av jordart og laggrenser	18
7. Tolkning av parametre i leire	20
7.1 Udrenert skjærstyrke (s_u)	22
7.1.1 Metode basert på spissmotstand q_t	22
7.1.2 Metode basert på poreovertrykk D_u	22
7.1.3 Metode basert på effektiv spissmotstand q_t	24
7.1.4 Tolkning av s_u – modell	24
7.2 Sensitivitet (S_t) og omrørt skjærstyrke (s_r)	25
7.3 Spenningshistorie og prekonsolideringsspenning	25
7.4 Friksjonsvinkel (f)	27
7.5 Ødometermodul i leire (M)	28
7.5.1 Tilpasning til modulforløp fra ødometerforsøk	30
7.6 Skjærmodul i leire (G_{max})	31
7.7 Plott for parametertolkning i leire	32
8. Tolkning av parametre i sand	33

Presentasjon og tolkning av resultater

8.1 Relativ densitet (D_r)	33
8.2 Friksjonsvinkel (ϕ)	34
8.3 Ødometermodul for sand og silt (M_s)	34
8.4 Skjærmodul sand (G)	35
8.5 Plott for parametertolkning i sand	36
9. Valg av designverdier	37
10. Kvalitetskontroll av CPTU data	37
10.1 Kontroll av poretryksrepons	37
10.2 Kontroll av temperaturpåvirkning	38
10.3 Kontroll av nullpunktsdrift	38
11. Bibliografi	40

Presentasjon og tolkning av resultater

1. Bakgrunn

Trykksondering (Cone Penetration Testing with Pore pressure measurement, CPTU) er idag den mest anvendte in-situ undersøkelsesmetode som gir bakgrunn for tolking av lagdeling og jordartsparemetere med rimelig grad av sikkerhet.

Trykksondering består i nedpressing av en kon med spissareal på 10 cm^2 (diameter 36 mm), og spissvinkel på 60 grader. Konen presses ned med konstant hastighet på 2 cm/s, og spissmotstand, poretrykk og sidefriksjon registreres kontinuerlig. Resultatene gir grunnlag for tolking av nær sagt alle tenkelige parametere både for styrke og deformasjon, med større eller mindre troverdighet.

Metoden benyttes nå i utstrakt grad i MULTICONSULT og er mest anvendelige i bløte til middels faste jordarter. Ved faste jordarter, dvs overkonsolidert leire eller fast sand vil nedtrengningen bli begrenset dels på grunn av begrenset matekraft på riggene, og dels på grunn av spissenes kapasitetsbegrensning på 5 tonn.

Retningslinjer for utførelse og vurdering av resultater er gitt i NGF melding nr. 5, (1994). Denne vurderingen inneholder imidlertid ikke detaljert anvisninger for tolkning. Resultatgrunnlaget med alternative tolkninger er derfor utdypet i det etterfølgende.

I dette notatet er også gitt en kort beskrivelse med referanser for de tolkningsmetoder som er inkludert i regnearkløsningen, vist nedenfor:

Leire

- Udrenert skjærstyrke, s_u
 - metoder basert på korrigert spissmotstand, q_t
 - metoder basert på målt/beregnet poreovertrykk Δu_2
 - metoder basert på målt/beregnet effektiv spissmotstand, $q_t' = q_t - u_2$
 - s_u – modell basert på nåværende (σ_{vo}') og tidligere (σ_c') overlagingstrykk
- Sensitivitet, S_t og omrørt skjærstyrke, s_r
- Spenningshistorie
 - Prekonsolideringsforhold, OCR
 - Prekonsolideringsspenning, σ_c'
- Friksjonsvinkel, ϕ
- Deformasjonsmoduler, M_{nc} , M_{oc}
- Skjærmodul, G_{max}

Sand

- Relativ densitet, D_r
- Friksjonsvinkel, ϕ
- Deformasjonsmodul, M_s , M_d
- Skjærmodul, G_{max}

I brukerveiledningen er det i tillegg gitt eksempler på kvalitetskontroll av måledata, spesielt hva angår vurdering av poretrykkregistreringene.

Multiconsult har utviklet et nytt regnearksystem for bearbeiding, tolkning og presentasjon av måledata fra CPTU. Regnearksystemet kalles *CPTU* og er utviklet i tre versjoner (**INTRO** for enkel tolkning av de viktigste parametre, **EXTRA** for utvidet tolkning av parametre og **SIGMA** for presentasjon av summasjonsplott for måledata og viktige parametre). Alle versjonene presenterer vanlige plott av måledata, identifikasjon av jordarter samt mekaniske parametre for leire og sand. Regnearket er

Presentasjon og tolkning av resultater

harmonisert med bestemmelser og krav til ny NS ISO standard 22476 "Geotechnical investigation and testing – Field testing – Part 1: Electrical cone and piezocone penetration tests.

Deler av grunnlaget for det nye regnearket er utviklet av siv.ing. Arne Stordal (2005-2006), som igjen benytter et konsept utviklet av siv.ing. Liv Hamre, Multiconsult Oslo (1996-1998).

2. Terminologi

2.1 Registrerte data

Som måles tradisjonelt følgende parametre:

spissmotstand,	q_c
poretrykk,	u
sidefriksjon,	f_s

Selve spissen og målesystemet for en CPT kon er imidlertid slik utformet at poretrykket også virker på baksiden av spissen ([se fig 7-1](#)), og avlaster følgelig målt motstand. Virkelig motstand er dermed noe større enn den målte, og vi har følgende relasjon:

$$q_T = q_c + u \times (1 - \alpha)$$

der:

q_T er total motstand
 α er arealforholdet for den spesifikke konen.

I tillegg defineres netto motstand som:

$$q_{net} = q_T - p_o$$

der:

p_o er totalt overlagingstrykk.

Videre defineres poreovertrykket som:

$$\Delta u = u - u_o,$$

der

u_o er hydrostatisk vanntrykk fra grunnvannstanden

og poretrykksforholdet:

$$Bq = \Delta u / q_{net}$$

Endelig defineres friksjonsforholdet:

$$R_f = f_s / q_T.$$

Trykksonden presses kontinuerlig og vertikalt ned i grunnen med konstant penetrasjonshastighet 20 mm/sek. For disse betingelser måles følgende størrelser regelmessig (oftest pr. 2,5 cm):

Presentasjon og tolkning av resultater

<u>Målt spissmotstand:</u>	q_c	(MPa)
<u>Målt poretrykk:</u>	u	(kPa)
<u>Målt sidefriksjon:</u>	f_s	(kPa)
<u>Inklinasjon (helningsvinkel):</u>	i	(°)

Poretrykkets verdi avhenger hvor det blir målt på sonden, og benevnes u₁ (spiss), u₂ (bak konisk element; referanselokasjon) og u₃ (bak friksjonshylse). For samtlige av Multiconsult's sonder måles poretrykket like bak den koniske delen,): u = u₂.

2.2 Avledede verdier

For videre bearbeiding og tolkning av måldata kreves generell informasjon om følgende parametre:

In situ eller målt poretrykk: $\mathbf{u}_o = \gamma_w \cdot \mathbf{z}_{GV}$ (kPa) (1)
(z_{GV} er dybde fra grunnvannstand)

Totalt overlagingstrykk: $\sigma_{vo} = \gamma \cdot \mathbf{z}$ (kPa) (2)

Effektivt overlagingstrykk: $\sigma_{vo}' = \sigma_{vo} - \mathbf{u}_o$ (kPa) (3)

Basert på målte verdier og informasjonen over kan følgende avledede relasjoner innføres:

Netto spissmotstand: $\mathbf{q}_n = \mathbf{q}_t - \sigma_{vo}$ (MPa) (4)

q_t = spissmotstand korrigert for poretrykkseffekter (se Kap.5 for prosedyre) (MPa)

Poreovertrykk: $\Delta \mathbf{u}_2 = \mathbf{u} - \mathbf{u}_o$ (kPa) (5)

Spissmotstandstall: $\mathbf{N}_m = \mathbf{q}_n / (\sigma_{vo}' + a)$ (-) (6)

(a = attraksjon; antas eller bestemmes i treaksialforsøk)

Poretrykksforhold: $\mathbf{B}_q = \Delta \mathbf{u}_2 / \mathbf{q}_n$ (-) (7)

Friksjonsforhold: $\mathbf{R}_f = \mathbf{f}_s / \mathbf{q}_c \cdot 100 \%$ (%) (8)

Målingene som utføres i en CPTU gir grunnlag for å etablere avledede relasjoner og størrelser, som blant annet benyttes ved klassifisering og identifisering av jordarter, samt tolkning av parametre. De vanligste avledede relasjoner og deres definisjoner er gitt nedenfor:

<i>Poreovertrykk:</i>	$\Delta u_2 = (u_2 - u_o)$
<i>Netto spissmotstand:</i>	$q_n = q_t - \sigma_{vo}$
<i>Spissmotstandstall:</i>	$N_m = q_n / (\sigma_{vo}' + a)$
<i>Friksjonsforhold:</i>	$R_f = f_s / q_t \cdot 100\%$ (korrigert friksjon f _t bør benyttes hvis tilgjengelig)
<i>Poretrykksforhold:</i>	$B_q = \Delta u_2 / q_n$

Presentasjon og tolkning av resultater

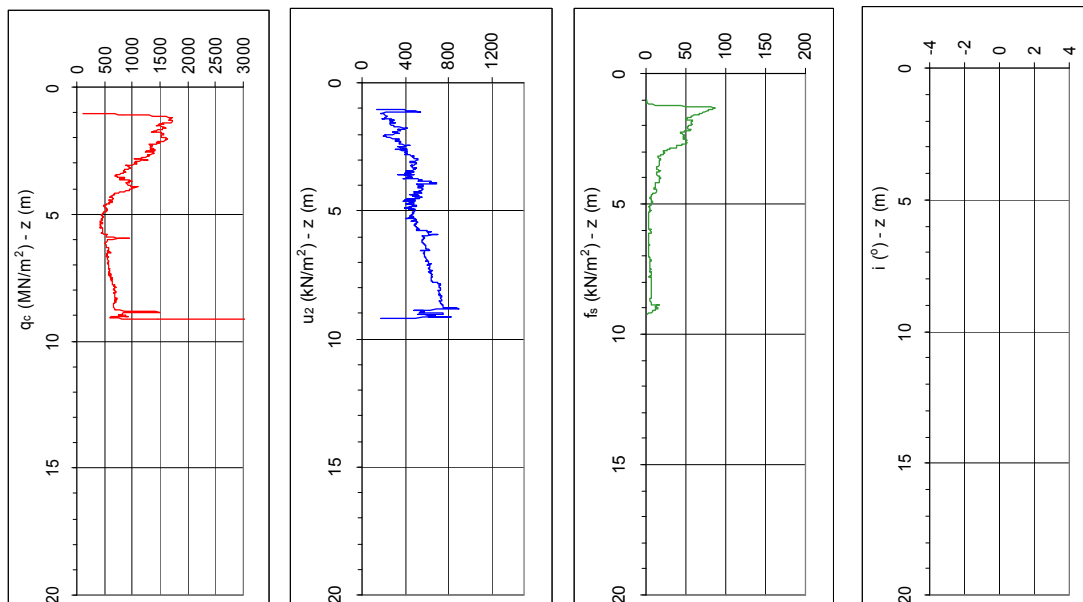
Avledede parametre blir presentert i eget plott, og blir også benyttet som grunnlag for identifikasjon av jordarter fra målingene.

Tabell 8. Definisjon av avledede parametre i CPTU **EXTRA**.

Spissmotstandstall	Poretrykksforhold	Friksjonsforhold
$N_m = q_n / (\sigma_{vo}' + a)$	$B_q = \Delta u_{2c} / q_n$	$R_f = f_s \cdot 100\% / q_t$
(-)	(-)	(%)

3. Behov for grunnlagsdata

Tolkning av CPTU krever informasjon om en rekke tolkningsvariable som dels gis inn, dels beregnes fra eller tilpasses til øvrig tilgjengelig informasjon. I tillegg kreves prosjektidentitet og kvalitetsbedømmelse av sonderingen, for eksempel kalibreringsdata og prosedyrevalg, som etter gjeldende retningslinjer også skal inngå i rapporteringen. I tolkningen er det også vanlig å sammenligne tolkede verdier fra CPTU med referansedata fra andre in situ eller laboratorieforsøk.



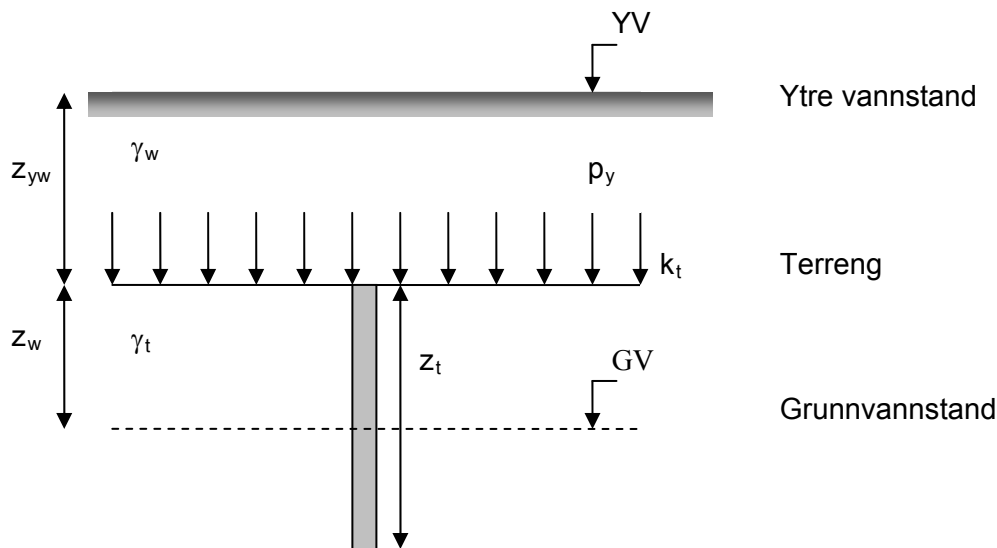
Figur 1. Typiske registreringer i CPTU (spissmotstand q_c , poretrykk u_2 , friksjon f_s , helning i).

Anvendelsesklasse: Sonderingens kvalitet og tilhørende nøyaktighetskrav styres av grunnforhold, utstyrvalg og nøyaktighetskrav og deles i 4 klasser der Anvendelsesklasse 1 er den beste. De beste klassene 1/(2) skal benyttes når CPTU data skal anvendes til tolkning av parametre. Anvendelsesklasse avgjøres av saksbehandler/feltingeniør, om nødvendig i samråd med oppdragsgiver. Klassifiseringen kan om nødvendig revideres fra det forutsatte hvis utførelsen har gitt dårligere resultater enn forventet (eks.: 1 / 2).

Dybde til GV, z_w : Dybde til grunnvannstand oppgis for bestemmelse av initielt poretrykk u_0 .

Ytre vanndybde, z_{yw} : Ytre vanndybde (overhøyde i forhold til terreng) oppgis for bestemmelse av bidrag til totalt overlagingstrykk σ_{vo} .

Presentasjon og tolkning av resultater



Figur 2. Prinsipiell forklaring av input data for overlaging og grunnvannsforhold.

Ytre overlaging, p_y : Ytre overlaging (eks. terrenglast) oppgis for bestemmelse av totalt (σ_{vo}) og effektivt overlagingstrykk (σ'_{vo}).

Dybdekorreksjon ved forboring, z_{kor} : Ved forboring kan det være nødvendig å korrigere dybdemåling hvis denne ikke er relatert til terrengoverflaten. Dette må gjøres hvis dybdemålingen for eksempel starter på 0,00 i bunn av borhullet.

Dybde til topp borhull, z_t : Denne tilsvarer dybden til topp borhull og benyttes ved beregning av korrekt overlagingstrykk i nivå med toppen av borhullet.

Overlaging topp borhull, σ'_{t} : Dette tilsvarer beregnet overlagingstrykk (totalt σ_{vo} og effektivt σ'_{vo}) i nivå med toppen av borhullet.

Attraksjon, a : Attraksjonen a benyttes ved bestemmelse av materialets effektive skjærstyrke og inngår i en rekke beregningsformler for bestemmelse av total og effektiv skjærstyrke i regnearket. For enkelte spesielle beregninger kan attraksjonen leses inn lokalt og også varieres med dybden. For beregninger der attraksjonen har mindre betydning innleses en konstant verdi fra **Inndata**.

Korrigert poretrykk, u_{2c} : Målt poretrykksverdi u_2 må korrigeres for verdi ved nullpunktsetting. Hvis måleren viser en annen verdi enn 0 ved åpning til atmosfære, må denne verdi subtraheres fra måleverdien. Ved CPTU-målinger utført av Multiconsult viser poretrykksmåleren 100 kPa ved nullstilling i atmosfære, og denne verdien må trekkes fra målt verdi.

Justert poretrykk, $u_n = u_{2c} \cdot k$: Hvis poretrykket et annet sted på sonden enn i målenivå (u_2) ønskes estimert, må målt poretrykk korrigeres ved bruk av en empirisk korreksjonsfaktor k . Verdier for korreksjonsfaktoren k er i hovedsak avhengig av faktisk posisjon på sonden (uttrykt ved u_n), spenningshistorie m.m. og kan finnes i støttekommentar og ellers i litteraturreferansene.

Reell dybde, $z (=z_s + z_f)$: Dette tilsvarer virkelig dybde under terreng. Hvis dybderegistreringen begynner på 0,00 i bunn av borhullet må forboringsdybde z_f legges til målt dybde z_s . Hvis dybdemåleren nulles på terrengoverflaten er dette ikke nødvendig ettersom måleren da automatisk registrerer riktig dybde ($z = z_s$).

Presentasjon og tolkning av resultater

Tyngdetetthet, γ : Verdi for tyngdetettheten γ legges inn i **Profildata** og kan varieres med dybde. Verdien for tyngdetettheten i inntil 5 lag legges inn sammen med dybde til underkant av laget.

Netto spissmotstand, q_n ($= q_t - \sigma_{vo}$): Netto spissmotstand er målt, korrigert spissmotstand q_t fratrukket totalt overlagingstrykk σ_{vo} . Denne gir et uttrykk for penetrasjonsmotstand som er upåvirket av økende spenningsnivå med dybden.

In situ poretrykk, u_o : Det naturlige poretrykksnivået i grunnen. Vanligvis antas hydrostatisk ($\gamma_w \cdot z$) poretrykksfordeling, hvis ikke målinger eller annen informasjon tilsier avvik fra denne.

Poreovertrykk, Δu ($= u_2 - u_o$): Poretrykk forårsaket av sondepenetrasjonen, utover det naturlige poretrykksnivået i grunnen.

4. Behandling og presentasjon av CPTU data

4.1 Korreksjon og presentasjon av måledata

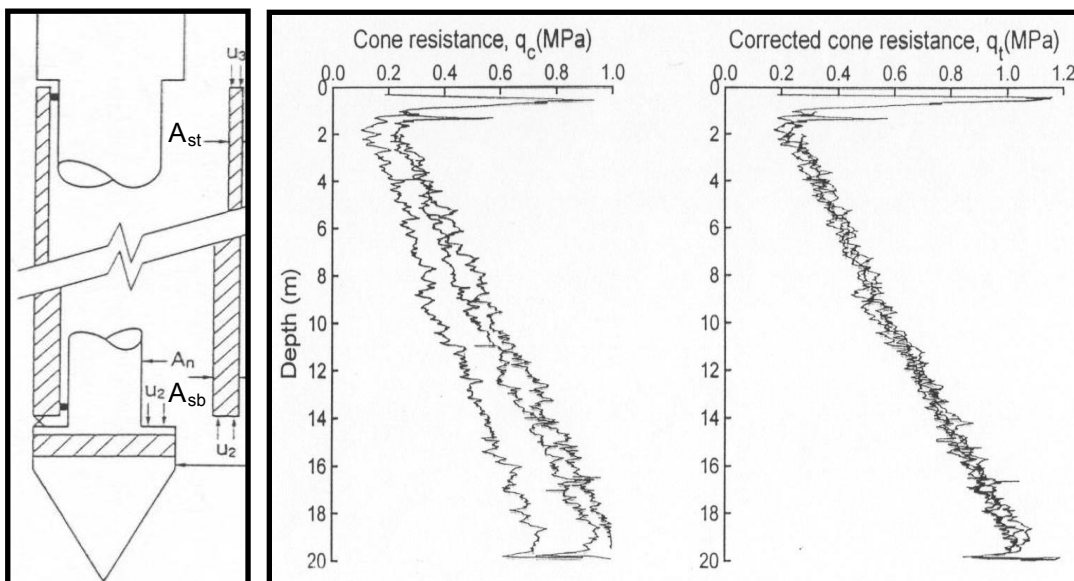
4.1.1 Spissmotstand q

Målt spissmotstand q_c er for liten i forhold til den reelle motstanden mot sondespissen. Årsaken til dette er at poretrykket bak den koniske delen (u_2) virker i spalten mellom den koniske spissen og sondestammen. Arealene på over- og undersiden i denne spalten er ikke like store og dette resulterer i en ubalansert kraft når $u_2 \neq 0$. Korreksjonen er viktigst ved sondering i leire og silt.

Total spissmotstand q_t korrigert for denne poretrykkseffekten kan skrives:

$$q_t = q_c + u_2 \cdot (1 - \alpha) \quad (9)$$

Faktoren α er et sondeavhengig arealforhold $\alpha = A_n/A_q$, for forklaring se Figur 3. De sonder som benyttes av Multiconsult har arealforhold 0.65 (ENVI-sonde med spaltefilter) og 0.58-0.61 (Geotech-sonde med porøst filterelement).



Figur 3. Korreksjon av spissmotstand q_c – definisjon av netto arealforhold $\alpha = A_n/A_q$.

Presentasjon og tolkning av resultater

4.1.2 Sidefriksjon f_s

Tilsvarende som for målt spissmotstand q_c bør også målt sidefriksjon f_s korrigeres for poretrykkets innflytelse, se Figur 3. For at denne korreksjonen skal kunne gjøres helt korrekt må poretrykket bak friksjonshylsen u_3 i prinsippet også være kjent, noe som ikke er tilfelle ved bruk av vanlige trykksonder. Poretrykket må da antas fra empiriske data i følgende uttrykk:

$$f_t = f_s - (u_2 \cdot A_{sb} - u_3 \cdot A_{st}) / A_s \quad (10)$$

Her er A_s ytre areal av friksjonshylsen. Hvis friksjonshylsens tverrsnitt er uforandret over lengden gjelder $A_{sb} = A_{st}$, slik at:

$$f_t = f_s - (u_2 - u_3)A_{sb}/A_s = f_s - (u_2 - u_3)\beta \quad (11)$$

der:

$$\text{arealforhold } \beta = A_{sb}/A_s$$

Spesifikke β - verdier for Multiconsult's sonder er gitt i Tabell 4.

Både nasjonale og internasjonale retningslinjer aksepterer at målt (ukorrigert) friksjon f_s benyttes ved presentasjon og i tolkningssammenheng.

4.1.3 Poretrykk u

Poretrykket skal vanligvis ikke korrigeres hvis det viser 0 i forhold til atmosfæriske betingelser. I sonderinger utført av Multiconsult begynner vanligvis måledatene for poretrykk på 100 kPa (1 atm) i ubelastet tilstand, slik at verdien må reduseres til 0 i alle presentasjoner og beregninger.

For øvrig kan det anvendes empiriske, jordartsavhengige tilpasninger for å relatere poretrykkene langs sondens overflate, $u_{n=1,3} = k \cdot u_2$, der verdi for k kan finnes fra [oversikten nedenfor](#).

5. Referansedata

6. Identifisering av jordart og laggrenser

Bestemmelsen av jordart fra CPTU data baseres dels på målte verdier og dels på dimensjonsløse forhold avledet av måleverdiene. Flere aktuelle digrammer er i bruk, men de er alle empiriske og kan gi overraskelser i bruk. Det er derfor viktig å presisere at klassifiseringen baserer seg på materialoppførselen i CPTU sammenheng, og ikke nødvendigvis trenger å beskrive materialets reelle sammensetning.

Laggrenser

Identifikasjon av jordart

Litt om mulighetene

Vanlige måleverdier i ulike jordarter

De utvalgte diagrammer for jordartsidentifisering er foreslått av Robertson & Campanella (1986), og er mye benyttet internasjonalt. Diagrammene er basert på korrigert spissmotstand, q_t (vertikalakse), poretrykksforhold B_q eller friksjonsforhold R_f (horisontalakse). Diagrammet kan dekke negative verdier for poretrykket (sug i massene), og slike materialer vil falle innenfor rutene 9-12 i diagrammet. En svakhet ved diagrammet er at det ikke benyttes dimensjonsløs spissmotstand (spissmotstandstall) langs vertikalaksen, og klassifiseringen påvirkes derfor noe av hvilket dybdenivå målingene er utført på.

Presentasjon og tolkning av resultater

Det finnes mange alternative diagrammer for tolking av materialtype. De beste er basert på klassifisering der informasjon om poretrykk, friksjon og spissmotstand benyttes samtidig. [Mer her](#)

7. Tolkning av parametre i leire

Trykksondering representerer en rekke kompliserende faktorer som vanskeliggjør tolkningen:

- Spennings- og poretrykksfordelingen rundt sonden ved nedpressingen varierer og er i prinsippet ukjent.
- Kontinuerlig nedpressing medfører kontinuerlig bruddsituasjon med store tøyninger og tøyningshastigheter.
- Utstrekning og form av bruddsonen (plastifisert sone) rundt sonden er ukjent og varierer med materialtype.
- Sondegeometrien er kompleks og kan lokalt føre til store spennings- og poretrykksgradienter

Det er likevel utviklet en rekke tolkningsmetoder både nasjonalt og internasjonalt for bestemmelse av materialparametre fra trykksondering. I grove trekk kan disse grupperes i empiriske/halv-empiriske og teoretiske metoder. Det vil føre for langt å gi en detaljert oversikt over alle aktuelle metoder her, og det henvises derfor til litteraturen for nærmere presentasjon og vurdering av forskjellige tolkningsmetoder, f.eks. Lunne m.fl. (1997).

• Udrenert skjærstyrke, s_u

- metoder basert på korrigert spissmotstand, q_t
 - o metode med valgt verdi for tolkningsvariabel (N_{kt})
 - o metode med korrelert verdi for tolkningsvariabel (N_{kt} mot B_q)
 - o metode med korrelert verdi for tolkningsvariabel (N_{kt} mot S_t , OCR og I_p)
- metoder basert på målt/beregnet poreovertrykk Δu_2
 - o metode med valgt verdi for tolkningsvariabel ($N_{\Delta u}$)
 - o metode med korrelert verdi for tolkningsvariabel ($N_{\Delta u}$ mot B_q)
 - o metode med korrelert verdi for tolkningsvariabel ($N_{\Delta u}$ mot S_t , OCR og I_p)
- metoder basert på målt/beregnet effektiv spissmotstand, $q_t' = q_t - u_2$
 - o metode med valgt verdi for tolkningsvariabel (N_{ke})
 - o metode med korrelert verdi for tolkningsvariabel (N_{ke} mot B_q)
 - o metode med korrelert verdi for tolkningsvariabel (N_{ke} mot S_t , OCR og I_p)
- korrelerte verdier av tolkningsfaktorene N_{kt} , $N_{\Delta u}$ og N_{ke} bestemmes også som funksjon av dybde z som en del av tolkningen.

• Sensitivitet, S_t og omrørt skjærstyrke, s_r

- metoder basert på målt sidefriksjon eller avledet verdi
 - o empirisk metode basert på beregnet friksjonsforhold R_f
 - o metode med bruk av tolket udrenert skjærstyrke s_u og målt sidefriksjon f_s (f_t)
 - o målt sidefriksjon f_s (f_t) antas ekvivalent med materialets omrørte skjærstyrke s_r

• Prekonsolidering

- vurdering av spenningshistorie (prekonsolidering)
 - o metode for beregning av teoretisk spissmotstand for NC-leire q_{inc} , sammenligning med korrigert spissmotstand q_t
- bestemmelse av prekonsolideringsspenning, σ_c'

Presentasjon og tolkning av resultater

- metode for bestemmelse av prekonsolideringsspenning basert på korrigert spissmotstand, q_t
 - metode med korrelert verdi for tolkningsvariabel (N_{kt} mot B_q)
- metode for bestemmelse av prekonsolideringsspenning basert på poreovertrykk, Δu_2
 - metode med korrelert verdi for tolkningsvariabel ($N_{\Delta u}$ mot B_q)
- **Effektive skjærstyrkeegenskaper**
 - bestemmelse av friksjon, $\tan\phi$ og friksjonsvinkel, ϕ
- **Deformasjonegenskaper**
 - bestemmelse av deformasjonsmodul i overkonsolidert spenningsområde $\sigma' < \sigma'_c$, M_{oc} .
 - bestemmelse av deformasjonsmodul i overkonsolidert spenningsområde, $\sigma' \sim \sigma'_c$, M_{nc}
 - bestemmelse av deformasjonsmodul i design spenningsområde, $\sigma' = \sigma'_{vo} + \Delta\sigma'/2$, M_d
 - bestemmelse av ødometer-korrelert deformasjonsmodul fra CPTU, M_{odo}
 - bestemmelse av skjærmodul ved lave tøyingsnivå, G_{max}

7.1 Udrenert skjærstyrke (s_u)

Bestemmelse av udrenert skjærstyrke er aktuelt i leirer og fin silt og kan i regnearket finnes både fra en spissmotstands- og en poretrykksbasert tilnærming. Tolkede verdier relaterer i prinsippet til den aktive skjærstyrken s_{uA} .

7.1.1 Metode basert på spissmotstand q_t

Denne relasjonen kan generelt skrives på formen:

$$s_u = (q_t - \sigma_{vo})/N = q_n/N \quad (12)$$

der:

- q_t = korrigert spissmotstand
- σ_{vo} = in situ vertikalt overlagingstrykk
- N = bæreevnfaktor/konfaktor

Verdier for faktoren N kan etableres både empirisk og teoretisk. Ved bruk av enkel bæreevneteori på totalspenningsbasis vil faktoren $N = N_c$ variere mellom 6 – 11, avhengig av omfanget av den plastifiserte sone rundt spissen. Andre teoretiske tolkningsprinsipper gir N_c - verdier i samme størrelsesorden.

Vanligvis bestemmes imidlertid s_u ved hjelp av empirisk baserte verdier for $N = N_{kt}$, der resultater fra f.eks. treaksialforsøk og vingebor har vært benyttet som referanseverdier ved vurdering av bæreevnfaktorens størrelse. **Ved en slik empirisk betraktning synes $N_{kt} = 15 \pm 5$ å være et mer passende variasjonsområde for bæreevnfaktoren, men man skal her ikke underslå at resultatgrunlaget viser stor spredning.**

Senere tids bruk av blokkprøvetaking med bedre prøve kvalitet har gitt grunnlag for forbedrede empiriske relasjoner mellom s_u og konfaktoren N_{kt} (eks. Karlsrud m.fl. (1996, 2006)). Her er referansestyrken $s_{u\text{ref}}$ basert på anisotrop konsoliderte treaksialforsøk (CAUc) på blokkprøver med høy kvalitet. Det oppnås da betydelig mindre spredning av data, samt bedre samsvar mellom teoretiske og empiriske verdier for N_{kt} .

Følgende prosedyrer for bestemmelse av tolkningsfaktoren N_{kt} er aktuelle:

1. Valgt verdi, basert på spissmotstand: $s_u = q_n/N$

Presentasjon og tolkning av resultater

Teoretisk variasjonsområde: $N = N_c = 9 \pm 3$

2. Empirisk middelvariasjon i B_q , se Figur 6:

$$N = N_{kt} = C_1 - C_2 \cdot B_q \quad (13)$$

Variasjon av tallfaktorene C_1 og C_2 i tolkningen.

3. Empirisk middelvariasjon i OCR, S_t og I_p :

$$N = N_{kt} = D_1 + D_2 \cdot \log OCR + D_3 \cdot I_p \quad (S_t < 15, S_t > 15) \quad (14)$$

De variable korrelasjonsfaktorene ($C_1, C_2; D_1 - D_2$) er oppgitt i tabellen nedenfor.

7.1.2 Metode basert på poreovertrykk Δu

Ved bruk av teorien om ekspanderende hulrom, kan man komme frem til følgende enkle uttrykk for bestemmelse av udrenert skjærstyrke, basert på det poreovertrykket som utvikles i jorden ved nedpressing av sonden:

$$s_u = \Delta u_2 / N_{\Delta u} = (u_2 - u_o) / N_{\Delta u} \quad (15)$$

der:

Δu_2 = poreovertrykk i referansenivå like bak konisk del ($u_2 - u_o$)

$N_{\Delta u}$ = bæreevnefaktor, poretrykksbasert

Tilsvarende uttrykk basert på bæreevneteorien med $N_{\Delta u} = B_q \cdot N_c$, der B_q refererer til poretrykket u_2 .

Styrkeparametere i leire

Basert på bæreevneformel har man:

$$S_u = (q_T - p_o) / N_{kT} = q_{net} / N_{kT}$$

der:

N_{kT} er bæreevnefaktor for kon,

Typisk størrelse for bæreevnefaktor N_{kT} , er 12 til 18.

Skjærstyrken er også funnet at er proporsjonal med poreovertrykket, u_2 , og man kan dermed etablere følgende formel:

$$S_u = \Delta u / N_{\Delta u},$$

der

$N_{\Delta u}$ er «bæreevnefaktor for poreovertrykk», ofte i størrelsesorden 6 til 10.

I Lunne m fl. (1985) er det gitt ytterligere detaljer og presisering av definisjoner når det gjelder tolking av udrenert skjærstyrke i leire basert på CPT.

Sandven m.fl. (1988) gir også anvisninger for tolking av drenert friksjonsvinkel i leire basert på drenerte bæreevne formler sammen med resultater fra CPT.

Typiske verdier for B_q i bløte, normalkonsoliderte leirer er 0,8 - 1,0, slik at vanlig variasjonsområde for

Presentasjon og tolkning av resultater

$N_{\Delta u} = 5 - 9$ i slike jordarter. I stivere, overkonsoliderte leirer varierer B_q vanlig mellom 0,4 og 0,7, med $N_{\Delta u} = 4 - 6$ som vanlige verdier. Bæreevnefaktoren $N_{\Delta u}$ varierer derfor teoretisk innenfor området 4 - 10, med et erfaringsmessig tyngdepunkt mellom 6 - 8.

Det kan ofte være en viss dybdevariasjon på grunn av varierende poretrykksrespons nedover i profilet. Også her er det nylig oppnådd forbedringer i korrelasjonene på grunn av forbedret prøve kvalitet og mer konsistente referanseforsøk.

Følgende prosedyrer for bestemmelse av tolkningsfaktoren $N_{\Delta u}$ er aktuelle:

1. Valgt verdi, basert på poreovertrykk: $s_u = \Delta u_2 / N_{\Delta u}$

Teoretisk variasjonsområde: $N_{\Delta u} = 6-10$

2. Empirisk middelvariasjon i B_q , se Figur 6:

$$N_{\Delta u} = C_3 + C_4 \cdot B_q \quad (16)$$

Variasjon av tallfaktorene C_3 og C_4 .

3. Empirisk middelvariasjon i OCR, S_t og I_p :

$$N_{\Delta u} = D_4 - D_5 \cdot \log OCR + D_6 \cdot I_p \quad (S_t > 15, S_t < 15) \quad (17)$$

Faktorene I_p og S_t hentes fra laboratoriedata, OCR fra CPTU tolkning eller laboratoriedata

De variable korrelasjonsfaktorene ($C_3, C_4; D_4 - D_6$) er oppgitt i tabellen nedenfor.

7.1.3 Metode basert på effektiv spissmotstand q_t'

Ved bruk av bæreevneteorien kan man også benytte effektiv spissmotstand for bestemmelse av udrenert skjærstyrke, basert på differensen mellom spissmotstand (korrigert) og det målte totale poretrykket i jorden ved nedpressing av sonden:

$$s_u = (q_t - u_2) / N_{ke} = q_t' / N_{ke} \quad (18)$$

der:

N_{ke} = bæreevnefaktor

Vanlig variasjonsområde for $N_{ke} = 9 \pm 3$ i norske leirer. Det er grunn til å påpeke at det i bløte leirer er liten forskjell i verdiene for q_t og u_2 . Innflytelsen av målefeil o.l. kan da gjøre tolkningen unøyaktig, og metoden anbefales ikke benyttet under slike forhold.

Følgende prosedyrer for bestemmelse av tolkningsfaktoren N_{ke} er aktuelle:

1. Valgt verdi, basert på effektiv spissmotstand: $s_u = q_t' / N_{ke}, q_t' = q_t - u_2$

Teoretisk variasjonsområde: $N_{ke} = 9 \pm 3$

2. Empirisk middelvariasjon i B_q :

$$N_{ke} = C_5 - C_6 \cdot B_q \quad (19)$$

Variasjon av tallfaktorene C_5 og C_6 .

3. Empirisk middelvariasjon i OCR, S_t og I_p :

$$N_{ke} = D_7 - D_8 \cdot B_q \quad (S_t > 15, S_t < 15) \quad (20)$$

Faktorene I_p og S_t hentes fra laboratoriedata, OCR fra CPTU tolkning eller laboratoriedata

De variable korrelasjonsfaktorene ($C_5, C_6; D_7 - D_8$) er oppgitt i tabellen nedenfor.

Presentasjon og tolkning av resultater

Ved sondering i bløte leirer vil vanligvis spissmotstanden q_t være liten mens pore(over)trykket vil være stort. I denne situasjonen vil da feilkilder som effekt av korreksjoner, nullpunktsdrift etc. kunne representere en forholdsvis stor prosentvis målefeil på spissmotstanden, mens det vil være motsatt for poretrykket. Det anbefales derfor å legge vekt på poretrykksbasert tolkning i bløte og sensitive jordarter, forutsatt at målt poretrykk oppfyller kvalitetskravene til metning. Kvalitetssjekk av poretrykksprofilene, blant annet basert på kriterier beskrevet i Vedlegg 3 i denne veiledningen anbefales.

7.1.4 Tolkning av s_u - modell

Som grunnlag for vurdering av tolket udrenert skjærstyrke, er det lagt inn grenselinjer fra ulike geologiske modeller:

- Normalkonsolidert skjærstyrke: $s_{unc} = \alpha_u \cdot (\sigma_{vo}' + a)$ (21)

Basert på eksisterende gjennomsnittlig effektivt overlagingstrykk σ_{vo}'

$$\alpha_u = (1 - K_o')/2 = \sin\phi/2 \quad (22)$$

- Overkonsolidert skjærstyrke: $s_{uoc} = \alpha_c (\sigma_c' + a)$ (23)

Basert på eksisterende prekonsolideringstrykk σ_c'

$$\alpha_c = (1 - K_o')/2 = \sin\phi/2 \quad (24)$$

1. Tolket fra σ_c' – funksjon for profil basert på ødometerforsøk
2. Tolket fra enkeltverdier av σ_c' fra ødometerforsøk

SHANSEP konsept for s_u -modell

Ved normalkonsoliderte forhold er det da naturlig at tolket s_u fra CPTU grupperer seg rundt NC-linjen ($\sim 0,25\sigma_{vo}'$), mens det forventes tilsvarende samling av verdiene rundt OC – linjen ved overkonsoliderte spenningsforhold.

CPTU gir en styrkeverdi ved tolkning som refererer til en kontinuerlig aktiv (kompresiv) bruddsituasjon med høye tøyninger og tøyningshastighet. Tolkede verdier beskriver derfor den ultimate materialstyrken basert på materialets spesifikke egenskaper og geologiske forhistorie. Normalt vil derfor CPTU-styrke være noe i overkant av skjærstyrken bestemt ved aktive treaksialforsøk, konsolidert til dagens effektive overlagingstrykk σ_{vo}' . Tolket skjærstyrke fra CPTU samsvarer som regel godt med geologisk styrkelinje for overkonsoliderte materialer $s_{uoc} \sim \alpha \cdot \sigma_c'$. For CPTU – korrelasjoner basert på blokkprøveresultater (f.eks. Karlsrud m.fl. 1996, 2005) anbefales en reduksjon av tolket styrke i kvikkleirer/sensitive materialer på grunn av sprøbruddsoppførsel. For overkonsoliderte materialer må også den tidsavhengige effekt av svelling vurderes.

7.2 Sensitivitet (S_t) og omrørt skjærstyrke (s_r)

Bestemmelse av sensitivitet fra CPTU data baserer seg i prinsippet på at sidefriksjonen representerer leirens omrørte skjærstyrke s_r . To mulige tolkningsmetoder er lansert:

Empirisk tolkningsmetode etter Rad & Lunne (1986):

$$S_t = N_s / R_f (\%) \quad (25)$$

der:

$$N_s = \text{skjærtall} = 7,5 \pm 2,5$$

$$R_f = \text{friksjonsforhold} = f_s / q_t (\%)$$

Omrørt skjærstyrke $s_r =$ sidefriksjon f_s , med s_u tolket fra CPTU eller bestemt ved annen metode (Quiros & Young (1988)):

$$S_t = s_{umiddel} / f_s \quad (26)$$

Presentasjon og tolkning av resultater

Erfaringene med antagelsen om $s_r = f_s$ er noe blandet. I mange tilfeller (lav-sensitive, siltige leirer), trenger ikke leiren være fullstendig omrørt etter første gangs passasje av sonden. I slike tilfeller vil f_s være for høy i forhold til reell omrørt tilstand, dvs. sensitiviteten S_t blir for lav. I forskning er det påvist at flere sykluser med heving og ny penetrasjon av sonden gir bedre bestemmelse av omrørt skjærstyrke, men dette er en lite egnet prosedyre i vanlig praksis.

I tillegg er friksjonsmålingen påvirket av poretrykksfordelingen langs sonden, og korreksjonen som utføres er ofte noe unøyaktig på grunn av manglende poretrykksmåling på begge sider av friksjonshylsen.

7.3 Spenningshistorie og prekonsolideringsspenning

Ved tolkning og vurdering av CPTU – resultater er det også mulig å vurdere om materialet er normal- (NC) eller overkonsolidert (OC). For å bedømme dette kan spissmotstanden i en normalkonsolidert leire bestemmes fra følgende (Sandven (1990)):

$$q_t = N_c \cdot s_u + \sigma_{vo} \tag{27}$$

Udrenert skjærstyrke s_u for en NC-leire kan tilsvarende formuleres:

$$s_u = \alpha_u \cdot (\sigma_{vo}' + a) \tag{28}$$

der:

$$\alpha_u \approx \sin\phi/2 \approx 0,22 - 0,30$$

a = attraksjon

σ_{vo}' = effektiv overlagingsspenning

Ved å kombinere de to ligningene oppnås følgende uttrykk:

$$q_{inc} = K_c \cdot \gamma \cdot z \tag{29}$$

der:

K_c = tolkningsfaktor = $(N_c \cdot \alpha \cdot \gamma' / \gamma + 1)$, der verdien varierer mellom 1,5 og 2,5.

Hvis teoretisk spissmotstand q_{inc} er i samme størrelseorden som målt, korrigert spissmotstandsverdi q_t , er materialet sannsynligvis normalkonsolidert. Er målt spissmotstand høyere enn teoretisk verdi indikerer dette at materialet er overkonsolidert. Man bør være oppmerksom på at forholdet mellom målt og teoretisk spissmotstand ikke nødvendigvis er lineært. Forholdet mellom de to størrelsene representerer således ikke direkte materialets prekonsolideringsforhold $OCR = \sigma_c' / \sigma_{vo}'$.

Som utgangspunkt for tolkning av prekonsolideringstrykket σ_c' benyttes spissmotstands- og poretrykksbasert modell i Lign.30a og 30b (Sandven (1990)):

$$\text{Spissmotstandsbasert : } s_u = q_n / N_{kt} \tag{30a}$$

$$\text{Poretrykksbasert : } s_u = \Delta u_2 / N_{\Delta u} \tag{30b}$$

Udrenert skjærstyrke for en overkonsolidert leire kan tilnærmes som i Lign. 28:

$$s_u = \alpha \cdot (\sigma_c' + a) \tag{31}$$

der:

$$\alpha_c \approx \sin\phi/2 \approx 0,22 - 0,30$$

Presentasjon og tolkning av resultater

σ_c' = materialets prekonsolideringsspenning

Kombineres (31) med (30a og 30b) fås følgende uttrykk for prekonsolideringsspenningen:

Spissmotstandsbasert: $\sigma_c' = (q_n/N_{kt} \cdot \alpha) - a \cdot \alpha$ (32a)

Poretrykksbasert : $\sigma_c' = (\Delta u_2/N_{\Delta u} \cdot \alpha) - a \cdot \alpha$ (32b)

Lign.32a og 32b representerer altså en enkel sammenheng mellom udrenert skjærstyrke og prekonsolideringstrykk for en leire. Med $\alpha = 0.22 - 0.30$, $N_{kt} = 6 - 10$ og $N_{\Delta u} = 5 - 9$, ligger vanlige verdier for faktorene $N_{kt} \cdot \alpha$ og $N_{\Delta u} \cdot \alpha$ mellom 1.5 og 2.5.

Tolkningsmetoden kan anvendes i svakt til middels overkonsoliderte leirer. I leirer med sterkere overkonsolidering vil ikke den udrenerte skjærstyrke være et relevant styrkemål, og grunnlaget for anvendelsen av tolkningsmetoden vil svikte, spesielt for poretrykksbasert tolkning.

Spenningshistorien $OCR = \sigma_c' / \sigma_{vo}'$ fremstilles som funksjon av dybde, basert på tolket σ_c' fra CPTU samt beregnet effektivt overlagingstrykk fra CPTU data (både spissmotstands- og poretrykksbasert modell). Tolkede verdier kan sammenlignes med laboratoriebestemte verdier basert på σ_c' fra ødometerforsøk som funksjon basert på enkeltdata eller som enkeltverdier.

7.4 Friksjonsvinkel (ϕ)

Tolkning av friksjon $\tan\phi$ fra trykksonderingsresultater er basert på udrenert bæreevneanalyse på effektivspenningsbasis. Ved bruk av denne metoden kan det vises at netto spissmotstand $q_n = q_t - \sigma_{vo}'$ kan uttrykkes på følgende måte (Senneset m.fl. (1982)):

$q_n = N_m \cdot (\sigma_{vo}' + a)$ (33)

der:

N_m = spissmotstandstall = $((N_q - 1) / (1 + N_u \cdot B_q))$

N_q = bæreevnefaktor = $(\tan^2(45 + \phi/2))^{(\pi - 2\beta) \cdot \tan\phi}$

N_u = bæreevnefaktor ($\sim 6 \cdot \tan\phi \cdot (1 + \tan\phi)$)

β = plastifiseringsvinkel i idealisert bruddsone

B_q = poretrykksforhold = $\Delta u / q_n$

σ_{vo}' = effektivt overlagingstrykk

a = attraksjon

Tolkingen er basert på antatte verdier for jordens attraksjon og plastifiseringsvinkel β i idealisert bruddfigur. Begge disse tolkningsparametrene er jordartsavhengige, og erfaringsverdier i ulike typer jord er gitt i Tabell 11 (Sandven (1990)).

Tabell 11. Erfaringsbaserte verdier for attraksjon a og plastifiseringsvinkel β .

Jordart	Attraksjon a (kPa)	Plastifiseringsvinkel β (o)
LEIRE , sterkt overkonsolidert, lite sensitiv	30 – 50	-30 - -40
LEIRE , Overkonsolidert	20 – 30	-20 - -30
LEIRE , svakt overkonsolidert, middels sensitiv	10 – 20	-10 - -20
LEIRE , Sensitiv	5 – 15	+10 - -10

Presentasjon og tolkning av resultater

SILT , overkonsolidert, fast lagret	10 – 20	-10 - -20
SILT , normalkonsolidert, løst lagret	5 – 10	-10 – 0
SAND , Fast, sementert	5 – 15	-15 - -40
SAND , Løs	0 – 5	+10 - -10

På grunnlag av de målte verdier for spissmotstand og poretrykk bestemmes de dimensjonsløse parametrene N_m (spissmotstandstall) og B_q (poretrykksforhold), og $\tan\phi$ kan bestemmes fra diagram (manuell prosedyre) eller ved numerisk iterasjon. Plastifiseringsvinkelen kan gis inn med erfaringsverdi som funksjon av ϕ (i radianer), dvs. plastifiseringsvinkel $\beta = 2/3 - \phi$. Formelen er foreløpig og krever nærmere validering fra praktisk bruk.

7.5 Ødometermodul i leire (M)

Ved hjelp av enkle semi-empiriske relasjoner kan jordartens deformasjonsegenskaper estimeres fra trykksonderingsresultatene. Selv om jordens stivhet må sies å ha en viss innvirkning på spissmotstanden, bør man være klar over de grunnleggende forskjeller i spennings-tøyningstilstanden mellom CPTU, der jorden rundt sonden er i konstant bruddtilstand, og hviletrykktilstanden med lateraltøyningsbegrensning som kjennetegner ødometerforsøket. Med dette som utgangspunkt må de foreslåtte tolkningsmetoder benyttes med forsiktighet, også fordi de kan gi misvisende verdier hvis de benyttes utenfor det empiriske grunnlag de er bestemt for. I visse tilfeller kan de likevel være nyttige, for eksempel der det er vanskelig å få tatt opp uforstyrrede prøver av leire/silt, eller der det ikke er kjørt ødometerforsøk på grunn av ressursmangel.

For norske leirer og fin silt kan deformasjonsmodul i prekonsolidert spenningsområde $\sigma' < \sigma'_c$, M_{oc} , estimeres fra følgende uttrykk:

$$M_{oc} = m_i \cdot q_n \tag{34}$$

- der:
- m_i = in situ modultall, leire = 10 ± 5
 - q_n = netto spissmotstand

Denne modulverdien tilsvarer den tilnærmet konstante modulverdi som observeres i det prekonsoliderte spenningsområdet i et ødometerforsøk.

Et tilsvarende uttrykk kan benyttes for å estimere modulverdien ved prekonsolideringsspenningen σ'_c :

$$M_{oc} = m_i \cdot q_n \tag{35}$$

- der:
- m_n = in situ modultall, leire 6 ± 2 .

Tolkede verdier fra CPTU kan her sammenlignes med modulverdien ved $\sigma' = \sigma'_c$, der materialet ofte viser en strukturkollaps ved passering av prekonsolideringsspenningen og en tilhørende depresjon i modulkurven.

Tabell 13. Eksempler på modultilpasning i ulike leirtyper fra uttrykket $M_d = m_d \cdot q_n$.

Spissmotstandsverdi q_c	In situ modultall Designverdi m_d	Jordart	Kommentarer
------------------------------	---	---------	-------------

Presentasjon og tolkning av resultater

(MPa)	(-)		
< 0.7	3 – 8	Lavplastisk leire	
0.7 – 2.0	2 – 5	Lavplastisk leire	
> 2.0	1 – 2.5	Lavplastisk leire	
> 2.0	3 – 6	Lavplastisk leire	
> 2.0	1 – 3	Lavplastisk leire	
> 2.0	2 – 6	Høyplastisk silt og leire	
< 1.2	2 – 8	Organisk silt	
< 0.7	1.5 – 4	Torv og organisk leire	w = 50 – 100%
< 0.7	1 – 1.5	Torv og organisk leire	w = 100 – 200%
< 0.7	0.4 - 1	Torv og organisk leire	w > 200%

Kulhawy and Mayne (1990) foreslo følgende uttrykk for deformasjonsmodulen i designområde for leire (dvs. $\sigma_{vo}' + \Delta\sigma'/2$):

$$M_d = 8,25 \cdot q_n \tag{36}$$

Metoden bygger på en rekke norske og utenlandske leirer og ser ut til å være et godt alternativ til formlene over for direkte bestemmelse av representativ modulverdi for design- spenningsområdet. Denne metoden er også inkludert i regnearket.

For øvrig er det utført en omfattende studie av Mitchell & Gardner (1975) som sammenfatter relasjonen mellom modul M_{design} og netto spissmotstand q_n . Det er ikke noe i veien for å benytte resultatene fra dette studiet og sette inn verdier fra uttrykkene i Tabell 13. Merk at de empiriske relasjonene er basert på ukorrigert spissmotstand, ettersom de er formulert før slike korreksjoner ble vanlige. De rapporterte verdiene for modultallet m_d er derfor sannsynligvis noe høye sammenlignet med korrelasjoner basert på korrigert spissmotstand.

7.6 Skjærmodul i leire (G_{max})

Også jordartens skjærmodul $G_{max} = \Delta\tau_{max}/\Delta\gamma$ kan estimeres ved hjelp av enkle semi-empiriske relasjoner mellom CPTU data og referansemålinger i felt eller laboratorium. Skjærmodulen G_{max} er imidlertid en parameter som forholdsvis sjelden bestemmes i felt- og laboratorieforsøk på landjorden, men den forventes å bli mer aktuell fremover på grunn av nye designregler for jordskjelv og andre dynamiske belastninger på konstruksjoner. Maksimal skjærmodul G_{max} (også benevnt G_o) refererer til et skjærtøyningsnivå $\sim \gamma < 10^{-3}$ %.

Selv om jordens skjærstivhet kan forventes å ha en viss innvirkning på spissmotstanden, bør man være klar over de grunnleggende forskjeller i spennings- og tøyningstilstand mellom CPTU, der jorden rundt sonden er i konstant bruddtilstand, og lavtøyningstilstanden som kjennetegner vanlige G_{max} – forsøk i laboratoriet (for eksempel bender element, resonanssøyle). Seismisk CPTU (SCPTU), der G_{max} måles in situ er også en meget aktuell metode for bestemmelse av skjærmodul i lavtøyningsområdet

Med dette som utgangspunkt må de foreslåtte tolkningsmetoder benyttes med forsiktighet idet de kan gi misvisende verdier hvis de benyttes utenfor det empiriske grunnlag de er bestemt for. I visse tilfeller kan de likevel være nyttige, for eksempel der det er vanskelig å få tatt opp uforstyrrede prøver eller der det ikke er kjørt spesialforsøk i laboratoriet.

I regnearket benyttes en anerkjent metode for bestemmelse av G_{max} , og denne danner også grunnlag for en lineær tilpasning i leire.

Presentasjon og tolkning av resultater

1. Empirisk bestemmelse av in situ skjærmodul G_{max} basert på registrert spissmotstand q_t og initielt poretrykk e_o (Mayne & Rix, 1993).

Metoden er foreslått av Mayne & Rix (1993) for leire og krever kjennskap til initielt in situ poretrykk e_o , foruten korrigert spissmotstand q_t . Empiriske faktorer funnet gjennom korrelasjoner med andre felt- og laboratoriemetoder definerer størrelsen av G_{max} :

$$G_{max} = 99,5 \cdot \sigma_a^{0,305} \cdot (q_t^{0,695} / e_o^{1,130}) \quad (39)$$

der:

σ_a = referansespenning = 100 kPa

e_o = in situ poretrykk

Metodens sterke avhengighet av poretrykket e_o gjør imidlertid metoden lite egnet hvis denne størrelsen ikke er kjent.

2. In situ skjærmodul G_{max} basert på lineær tilpasning til Mayne & Rix metode (1993)

Det generelle moduluttrykket er å betrakte som en tilpasning til metoden foreslått av Mayne & Rix og kan skrives:

$$G_{max} = \alpha \cdot g(\gamma' \cdot z + a) \quad (40)$$

Variasjonsområdet for skjærstivhetstallet g i leire kan være 1000 ± 300 , mens variasjonsområde for eksponenten α tilsvarende kan være $0,30 \pm 0,10$. Verdier utenfor de angitte variasjonsområder kan forekomme.

For OC – leirer, der spenningsnivået styres av tidligere spenningstilstand, bør det benyttes g -verdier i de øvre deler av variasjonsområdet.

8. Tolking i sand

8.1 Relativ densitet (D_r)

I regnearket er det lagt inn tolking av relativ densitet (lagringstetthet) D_r . Dette er en parameter som historisk er benyttet i empirisk tolking av blant annet sandens friksjonsvinkel ϕ , i tillegg til bedømmelse av generelle lagringsbetingelser for materialet. Relativ lagringstetthet D_r påvirkes av sandens mineralogi, kornform o.a. Den er derfor ikke en funksjon av sandens overlaging og målte spissmotstand alene. En tolkningsmetode basert på en spesiell sandtype kan derfor gi vesentlige avvik når den anvendes på en annen type sand.

Korrelasjonene som er inkludert i dette regnearket er etablert av Baldi m.fl. (1986) og er basert på undersøkelser av målt oppførsel av Ticino sand i kalibreringskammer. I slike forsøk er det mulig å kontrollere innbyggings- og spenningsbetingelser for sanden, men oppførselen kan bli noe påvirket av randbetingelsene i kammeret.

Den empiriske relasjonen foreslått av Baldi m.fl. kan på generell form skrives:

$$D_r = [1/C_2] \cdot [\ln(q_c)/C_o \cdot (\sigma')^{C_1}] \cdot 100 \quad (41)$$

der:

$$D_r = \text{relativ porøsitet (lagringstetthet)} = (e_{max} - e) / (e_{max} - e_{min})$$

Presentasjon og tolkning av resultater

q_c = målt spissmotstand

C_0 , C_1 og C_2 = jordartskonstanter avhengig av materialtype

σ' = effektivspenning, enten midlere in situ spenning σ'_{mean} eller vertikalt overlagingstrykk, σ_{vo} .

En variant av dette uttrykket ble foreslått av NGI (1999):

$$D_r = 0,4 \cdot \ln(q_t / 22 \cdot \sigma_{vo}' \cdot \sigma_a)^{0,5} \quad (42)$$

der:

q_t = korrigert spissmotstand

σ_a = referansespenning = 100 kPa (1 atm)

Baldi m.fl (1986) foreslo følgende verdier for tolkningsfaktorene C_0 , C_1 og C_2 for henholdsvis NC- og OC sand:

Tabell 15. Verdier for tolkningsvariable C_0 , C_1 og C_2 fra forsøk i konsolideringskammer.

Tolkningsfaktorer	Baldi m fl (1986)	Baldi m fl (1986)
	NC sand	OC sand
C_0 (-)	157	181
C_1 (-)	0,55	0,55
C_2 (-)	2,41	2,61

Lign. 45 er mye benyttet i Norge og ligger blant annet til grunn for bestemmelse av relativ lagringstetthet D_r , og derav bestemmelse av pelekapasitet i sand i NGF Peleveiledningen (2005).

8.2 Friksjonsvinkel (ϕ)

Bæreevneløsning

Tolkning og presentasjon av data tilsvarer i prinsippet den for leire. Ved tolkning i sand er det vanlig å anta attraksjon $a = 0$, og poretrykksresponsen er som regel så lav at $B_q \sim 0$. Tolkningen tar ikke hensyn til sug i massene (dvs. $B_q < 0$), og i slike lag settes poretrykksresponsen $\Delta u = B_q = 0$. Den foreslåtte korrelasjonen mellom plastifiseringsvinkel β og friksjonen ϕ ($\beta = 2/3 - \phi$ (rad)) er gjennom erfaring noe bedre dokumentert for sand enn for leire.

Bruk av relativ lagring D_r

Friksjonsvinkel i sand tolkes normalt via tolking av relativ lagringsfasthet, D_r , og videre til friksjonsvinkel der materialets gradering blir tatt hensyn til.

Lunne og Cristophersen (1983) gir en god oppsummering av fremgangsmåten ved tolking av friksjonsvinkler i sand.

[Figur 7-4](#) og [figur 7-5](#) viser henholdsvis grunnlagskurvene for tolking av relativ densitet D_r ut

Presentasjon og tolkning av resultater

ifra spissmotstand og effektivt overlagingstrykk i aktuell dybde, og sammenhengen mellom friksjonsvinkel og relativ lagringsfasthet for forskjellige korngraderinger. Figur 7.4 gir dessuten formelen for beregning av D_r når q_c og p_o' er gitt. Nyere data har imidlertid ført til modifikasjon av konstantene i denne formelen og følgende formel etter Baldi (1986) er nå mest benyttet for bestemmelse av D_r :

$$D_r = 100 \cdot (1/2.93) \cdot \ln (q_c / (205 \cdot (\sigma_m')^{0.51})),$$

der:

σ_m' er midlere effektivspenning i aktuell dybde.

8.3 Ødometermodul sand (M_s)

Ved hjelp av enkle semi-empiriske relasjoner kan jordartens deformasjonsegenskaper estimeres fra trykksonderingsresultatene. Selv om jordens stivhet må sies å ha en viss innvirkning på spissmotstanden, bør man være klar over de grunnleggende forskjeller mellom trykksondering, der jorden rundt sonden er i konstant bruddtilstand, og hviletrykkstilstanden som kjennetegner vanlige deformasjonsforsøk i ødometeret. Med dette som utgangspunkt må de foreslåtte tolkningsmetoder benyttes med forsiktighet idet de kan gi misvisende verdier hvis de benyttes utenfor det empiriske grunnlag de er bestemt for. I visse tilfeller kan de likevel være nyttige, for eksempel der det er vanskelig å få tatt opp uforstyrrede prøver eller der det ikke er kjørt ødometerforsøk.

I sand og grovere siltmasser er det i følge Janbu's generelle modulsystematisering (Janbu (1963)) en kvadratrot-tilpasning av moduluttrykket mest relevant, og følgende uttrykk kan benyttes ved tolkningen:

$$M = m_s \cdot \sqrt{q_a} \cdot q_n \tag{43}$$

der:

- m_s = modultall, sand = 30 ± 10
- q_a = referansespennning = 100 kPa

Modulverdien er representativ for designspenningsområdet $\sigma' = \sigma_{vo}' + \Delta\sigma'/2$.

Stordal (2006) foreslår følgende uttrykk for bestemmelse/tilpasning av deformasjonsmodulen i grovere masser:

$$M_s = m_p \cdot (\sigma_{vo}' \cdot \sigma_a)^a \tag{44}$$

Tolkningsmodellen er beregnet for sand og silt med følgende anbefalte verdier for in situ modultall $m_p = 150 \pm 50$. Metoden angir representative modulverdier for in situ spenningsnivået $\sim \sigma_{vo}'$.

Eslaamizad & Robertson (1996) har foreslått en metode for bestemmelse av deformasjonsmodul i sand, basert på forsøk i kalibreringskammer. Det er utviklet korrelasjoner for sand med forskjellig spenningshistorie som kan formuleres med følgende uttrykk:

$$M_s = k_M \cdot \sigma_a \cdot (\sigma_{vo}' / \sigma_a)^n \tag{45}$$

Metoden bygger på Janbu's modulkonsept (Janbu (1963)) og er basert på to tolkningsfaktorer k_M (ekvivalent med Janbu's modultall m) og n (spenningsekspONENT).

Spenningseksponenten n velges slik:

Presentasjon og tolkning av resultater

$n = 0,2$ for NC sand
 $n = 0,128$ for OC sand

Modultallet k_M hentes fra diagram med spenningsforholdet q_c/σ_a og overkonsolideringsforholdet OCR som styringsparametre, se Figur 7.

Metoden har den fordel at kjennskap til relativ densitet D_r (eller porettall e_o) ikke er påkrevet.

Tolking av moduler

Tolking av deformasjonsmoduler kan utføres både for sand og leire. Mest vanlig er imidlertid tolkingen i sand, og Lunne og Christophersen (1983) gir følgende formel for modulen:

$$M_o = 2.17 \cdot q_c + 16.6$$

Datagrunnlaget for denne kurven er gitt i Figur 7.6.

Sandven m fl. (1988) angir også alternativ tolkning for moduler i leire.

8.4 Skjærmodul sand (G)

Også jordartens skjærmodul $G_{max} = \Delta\tau_{max}/\Delta\gamma$ kan estimeres ved hjelp av enkle semi-empiriske relasjoner mellom CPTU data og referansemålinger i felt eller laboratorium. Skjærmodulen G_{max} er en parameter som forholdsvis sjelden bestemmes i felt- og laboratorieforsøk på landjorden, men den forventes å bli mer aktuell på grunn av nye designregler for jordskjelv og andre dynamiske belastninger på konstruksjoner. Maksimal skjærmodul G_{max} (eller G_o) refererer til et skjærtøyingsnivå $\sim \gamma < 10^{-3}$ %.

Selv om jordens skjærstivhet kan forventes å ha en viss innvirkning på spissmotstanden, bør man være klar over de grunnleggende forskjeller i spennings- og tøyningstilstand mellom CPTU, der jorden rundt sonden er i konstant bruddtilstand, og lavtøyningstilstanden som kjennetegner vanlige G_{max} – forsøk i laboratoriet (bender element, resonanssøyle). Seismisk CPTU (SCPTU), der G_{max} måles in situ er også en meget aktuell metode for bestemmelse av skjærmodul i lavtøyingsområdet.

Med dette som utgangspunkt må de foreslåtte tolkningsmetoder benyttes med forsiktighet, også fordi de kan gi misvisende verdier hvis de benyttes utenfor det empiriske grunnlag de er bestemt for. I sand kan de likevel være spesielt nyttige, ettersom det er vanskelig å få tatt opp uforstyrrede prøver for spesialforsøk i laboratoriet.

I regnearket benyttes en anerkjent metode for bestemmelse av G_{max} , og denne danner også grunnlag for en parabolisk tilpasning i sand.

1. Empirisk bestemmelse av in situ skjærmodul G_{max} basert på registrert spissmotstand q_t (Rix & Stokoe, 1992).

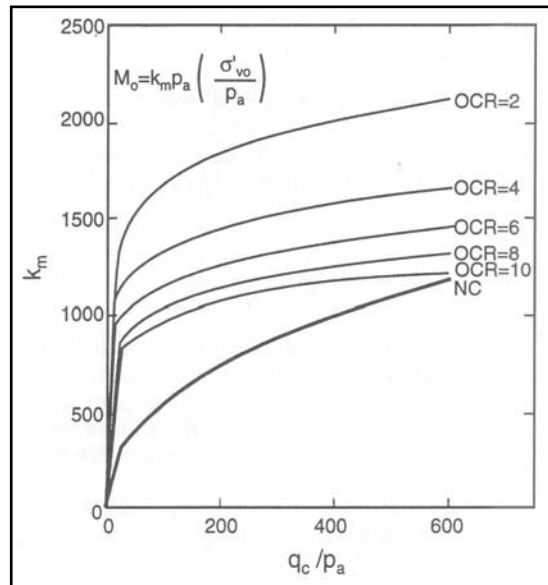
Metoden er foreslått av Rix & Stokoe (1992) for sand og krever kjennskap til in situ effektivt overlagringstrykk σ_{vo}' , foruten korrigert spissmotstand q_t . Empiriske faktorer funnet gjennom korrelasjoner med andre felt- og laboratoriemetoder definerer størrelsen av G_{max} :

$$G_{max} = 1634 \cdot q_c \cdot (q_c / \sqrt{\sigma_{vo}'})^{-0.75} \quad (46)$$

der:

$$\sigma_a = \text{referansespenning} = 100 \text{ kPa}$$

Metoden angir maksimal skjærmodul G_{max} for lave tøyninger ($\gamma < 10^{-3}$ %). Erfaringer med metoden viser at spredningen i resultater er stor for lave verdier av $q_c/\sqrt{\sigma_{vo}'}$.



Figur 7. Bestemmelse av modultall k_M som funksjon av dimensjonsløst spissmotstandsforhold q_c/σ_a og prekonsolideringsforhold OCR.

2. In situ skjærmodul G_{max} basert på parabolisk tilpasning til Rix & Stokoe metode (1992)

Det generelle moduluttrykket er å betrakte som en tilpasning til metoden foreslått av Rix & Stokoe og kan skrives:

$$G_{max} = g(\sigma_{vo}' + a)^n \tag{47}$$

Verdier for skjærstivhetstallet g og eksponenten n varierer som følger:

Skjærstivhetstall: $g = 4000 \pm 2000$
 Spenningsekspont: $n = 0,5 \pm 0,2$ for sandige materialer

Skjærstivhetstallet g er avhengig av tidligere spenningsnivå, samt spesifikke egenskaper for sanden som kornform, mineralogi, vanninnhold m.m.

9. Kvalitetskontroll av felldata

Ved tolkning av CPTU data er det viktig å benytte data av tilstrekkelig høy kvalitet for det formål som angis. Dette reguleres til krav om nøyaktighet av målingene i de forskjellige kvalitetsklasser (i ny CEN-standard brukes *Anvendelsesklasser*) undersøkelsen er kategorisert i. Dette forhold bør dokumenteres og kontrolleres i forbindelse med planlegging og utførelse av sonderingen, med etterkontroll før selve tolkningen gjennomføres, se Tabell 16.

Ved trykksondering med poretrykksmåling er det spesielt følgende forhold som påvirker målingene:

- Ufullstendig eller mistet metning av system for poretrykksmåling
- Temperaturpåvirkning og nullpunktsdrift som påvirker overgangen mellom målt størrelse og ingeniørverdi
- Kalibreringsfeil på grunn av slitasjepåvirkning eller overbelastning

Presentasjon og tolkning av resultater

Alle disse forhold er mulig å kontrollere i etterkant, selv om man selvsagt har begrenset mulighet til å korrigere for uønskede effekter.

9.1 Kontroll av poretrykksrepons

Poretrykksregistreringen må selvfølgelig være tilfredsstillende for å oppnå en riktig klassifisering av jordarten med bakgrunn i målingene, samt å oppnå en adekvat korreksjon av dataene for poretrykkseffekter. For tolkning av parametre er det spesielt viktig ved anvendelse av poretrykksbasert formel for s_u -bestemmelse. Metoden basert på poretrykk vil være den beste og mest nøyaktige ved tolkning i bløte og sensitive leirer, forutsatt at måleverdien er korrekt.

For å støtte kvalitetskontrollen av poretrykksregistreringen er det i Vedlegg 3 gitt en rekke eksempler på kvalitetskontroll av poretrykksregistrering, hentet fra reelle CPTU profiler. Eksempelene viser følgende faktorer for poretrykksvurdering:

- Effekt av manglende metning av poretrykk-kammer/filter
- Effekt av plutselig nullpunktsdrift/skalaskifte
- Effekt av metningstap ved passasje av faste (dilaterende) lag
- Effekt av påvirkning fra spissmotstand/ytre last på metningsmediet (spaltefilter)

9.2 Kontroll av temperaturpåvirkning

Hvis det oppstår temperaturgradienter i sonden i forbindelse med nedsetting/penetrasjon kan målerne vise feilaktige verdier inntil sonden igjen blir temperaturstabilisert. Dette problemet kan oppstå hvis sonderingen starter umiddelbart etter at sonden er plassert i borehullet og hvis nullavlesning er tatt ved en annen temperatur enn grunnens temperatur (5-7 °C). Måleverdiene kan da fluktuere og gi avvik fra forventet oppførsel i de øverste metrene, inntil temperaturgradientene utjevnes.

Det samme kan skje ved overgang fra faste friksjonsmasser til bløtere lag i grunnen. På grunn av friksjonen genereres varme ved passasje av de faste massene, og målerne påvirkes ved overgangen til bløtere lag. I prinsippet kan dette korrigeres for hvis sondens temperatur logges kontinuerlig (krever temperaturmåler i sonden), og det foreligger en kalibreringskurve for temperaturens påvirkning på målerne.

9.3 Kontroll av nullpunktsdrift

Vanligvis avleses målerens nullpunkt i forkant av sonderingen. Trykksonden skal da være ubelastet, temperaturstabilisert og helst ha en temperatur nær grunnens temperatur for å unngå for store temperaturgradienter ved nedsetting av sonden i borehullet.

Litt mer om årsaker.

Etter fullført sondering skal det tas en ny nullpunktsavlesning som ikke skal vise vesentlige avvik (> 5 %) i forhold til startverdiene. Hvis dette ikke er tilfelle må sonderingen forkastes, eventuelt at avlesningene korrigeres i henhold til avvikende nullpunktsverdier.

Årsakene til nullpunktsdrift kan være temperaturpåvirkning, overbelastning eller at sonden er belastet mens målingene foretas.

Presentasjon og tolkning av resultater

Tabell 16. Kontrollrutiner og sjekklister for vurdering av måledata

Kontrollrutine	Sjekkpunkter
Type sonde	Produsent, kapasitet, type, standard
Geometri og spesifikasjoner	Geometri, areal, aksepterte toleranser <i>NB! Eventuelle avvik noteres</i>
Filter	Filtertype, filtermateriale, metteprosedyre <i>NB! Tilpasset forventede grunnforhold</i>
Kalibrering av sonde	Kontroller siste kalibreringsrapport, sammenlign med krav til kalibreringsprosedyrer i standard
Arealforhold spiss α Arealforhold friksjonshylse β	α benyttes til korreksjon av målt spissmotstand q_c β benyttes til korreksjon av målt spissmotstand f_s <i>NB! Oppgis i kalibreringsrapport</i> <i>NB! Viktig i leire</i>
Effektivt overlagringstrykk σ_{vo}'	Estimert eller bestemt fra densitets- og poretrykksmåling
Nullavlesning	Sjekk nullpunktets verdi før og etter sondering <i>NB! Ved store avvik forkastes test, sjekk i forhold til krav i Anvendelsesklasse</i> <i>NB! Resultater kan eventuelt korrigeres i forhold til Nullpunkttsdrift</i>
Prosedyre for nullpunktsetting	Posisjon: bakkenivå, bunn borehull, sjøbunn <i>NB! Indikasjoner temperaturpåvirkning</i>
Forboring	Sjekk forboringsdybde og evt. avstivning <i>NB! Forboring gjennom tørrskorpe ofte nødvendig!</i>
Kontroll av poretrykksrespons	Vurder poretrykksmåling: Respons i start av profil (0 – 10 m) Respons på endring ved laggrenser Samvurdering med registrert spissmotstand/friksjon Poretrykkets størrelse fra erfaringsdata
Målefrekvens data	Vanligvis 1 logging per sekund, dvs per 2 cm <i>NB! Krav iht valgt Anvendelsesklasse</i>
Dissipasjonsforsøk	Nivå for dissipasjonstest Kontroller dissipasjonsgrad ($U > 50\%$) Kontroller låsing av stenger

10. Bibliografi

- Baldi, G., Bellotti, R., Ghionna, V., Jamiolkowski, M. & Pasqualini, E. (1986). *Interpretation of CPTs and CPTUs; 2nd part: drained penetration of sands*. Proceedings, 4th International Geotechnical Seminar, Singapore.
- Eslamizaad, S. & Robertson, P.K. (1996). *Cone penetration test to evaluate bearing capacity of foundations in sand*. Proceedings, 49th Canadian Geotechnical Conference, St. John's.

Presentasjon og tolkning av resultater

3. Hamre, L. (1996-1998)

CPTU-beskrivelse.

Regneark for tolkning av CPTU data. Multiconsult, Oslo.

4. Janbu, N. (1963)

Soil compressibility as determined by oedometer and triaxial tests.

Proceedings, III ECSMFE, Wiesbaden.

5. Karlsrud, K., Lunne, T. & Brattlien, K. (1996).

Improved CPTU correlations based on block samples.

Proceedings, NGM 1996, Reykjavik.

6. Karlsrud, K. et al, (2005).

CPTU correlations for clays.

Proceedings, ICSMGE, Osaka.

7. Kulhawy, F.H. and Mayne, P.W. (1990)

Manual on estimating soil properties for foundation design.

Electric Power Research Institute, EPRI, August, 1990.

8. Lunne, T. & Christophersen, H.P. (1983).

Interpretation of cone penetrometer data for offshore sands.

Proceedings, Offshore Technology Conference, Texas.

9. Lunne, T, Robertson, P.K. & Powell, J.J.M. (1997).

CPT in Geotechnical Practice.

Blackie Academic & Professional.

10. Mayne, P.W. & Rix, J. G. (1993).

G_{max} - q_c relationships for clays.

Geotechnical Testing Journal, ASTM, 16 (1).

11. Mitchell, J.K. & Gardner, W.S. (1975)

In situ measurement of volume change characteristics.

Proceedings, ASCE Specialty Conference on In Situ measurements of Soil Properties, Raleigh, North Carolina.

12. Norsk Geoteknisk Forening (2005).

Peleveiledningen.

Den Norske Pelekomite, revisjon 2005.

13. Norsk Geoteknisk Forening (1995).

NGF, melding nr. 5. Trykksondering med poretrykksmåling (under revisjon).

Grunnundersøkelseskomiteen.

14. NS ISO (2005)

Forslag til CEN Standard for CPTU: "22476 Geotechnical investigation and testing – Field testing – Part 1: Electrical cone and piezocone penetration tests. Preliminary version for queries."

Standard Norge.

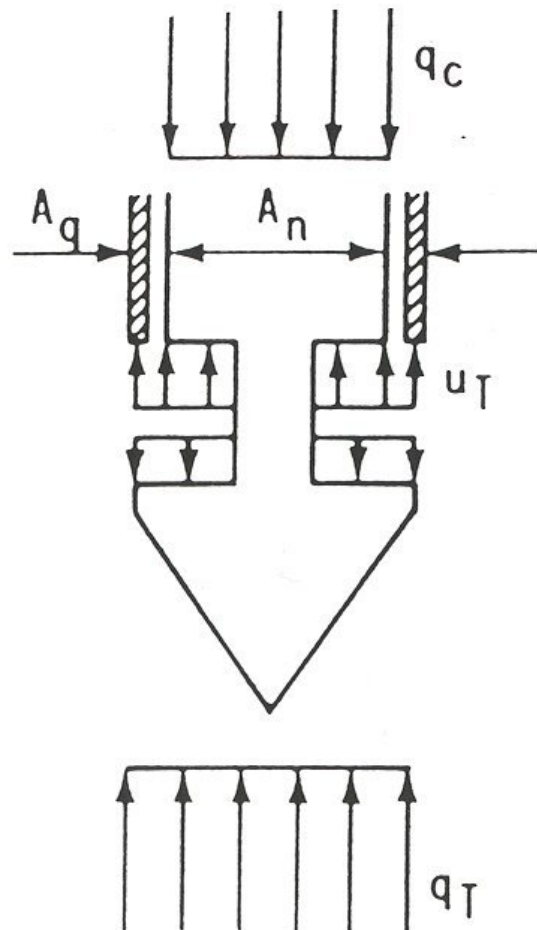
15. Quiros, G.W. & Young, A.G. (1988).

Comparison of field vane, CPT and laboratory strength data at Santa Barbara Channel site. ASTM Special technical publication, STP 1014.

Presentasjon og tolkning av resultater

16. Rix, G.J. & Stokoe, K.H. (1992).
Correlation of initial tangent modulus and cone resistance.
Proceedings, International Symposium on Calibration Chamber Testing, Potsdam, New York.
17. Sandven, R. (1990).
Strength and deformation properties of fine grained soils obtained from piezocone tests.
PhD avhandling 1990:3, NTH Trondheim.
18. Stordal, A. (2006).
CPT-presentasjon.
Regneark for tolkning av CPTU data. Multiconsult Bergen.
19. Stordal, A. (2006).
Personlig kommunikasjon.
20. Senneset, K., Sandven, R. & Janbu, N. (1989).
The evaluation of soil parameters from piezocone tests.
Transportation Research Record, no.1235.
21. Senneset, K., Janbu, N. & Svanø, G. (1982).
Strength and deformation parameters from cone penetration tests.
Proceedings, ESOPT 2, Amsterdam.

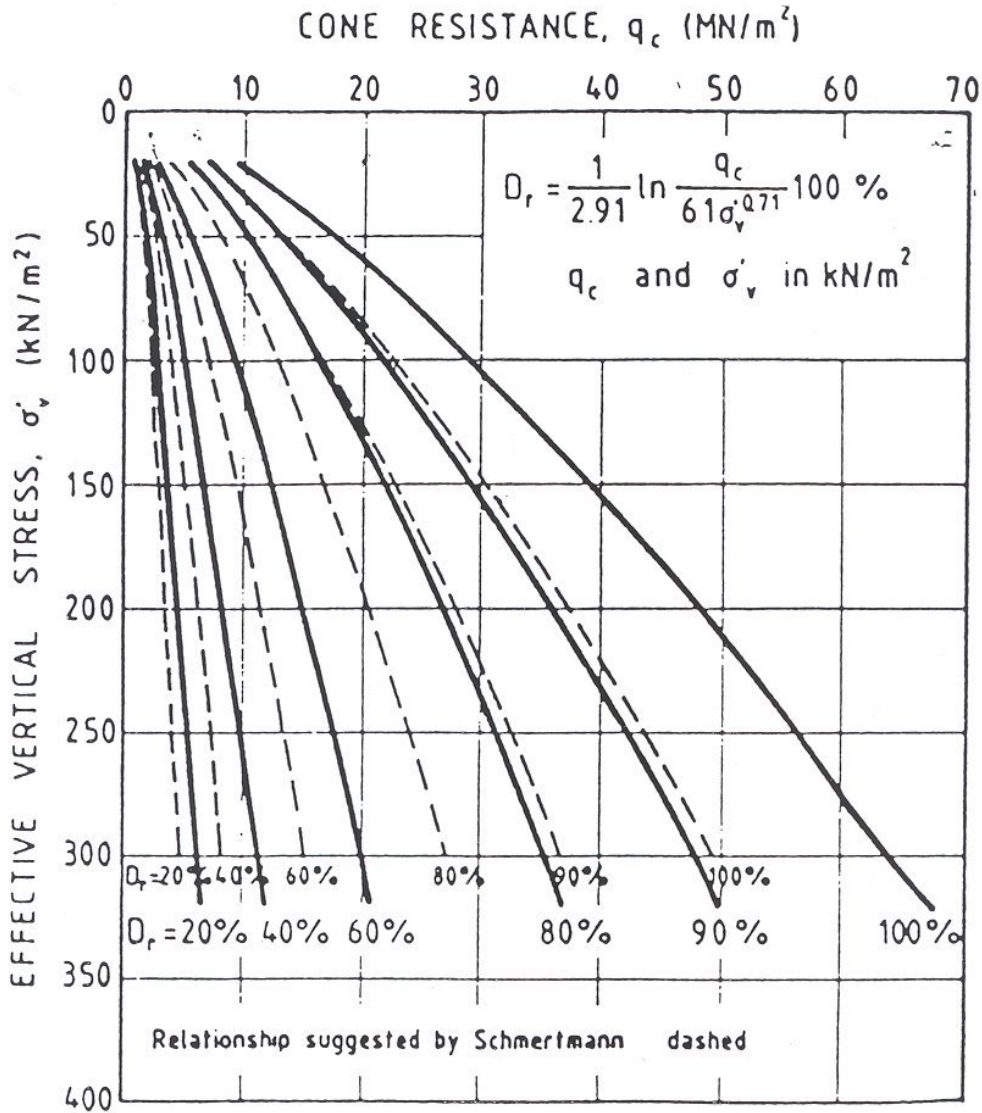
Fig. 7-1 Poretrykkskorreksjon av spissmotstand



Correction of CPTU measurements for pore pressure effects.

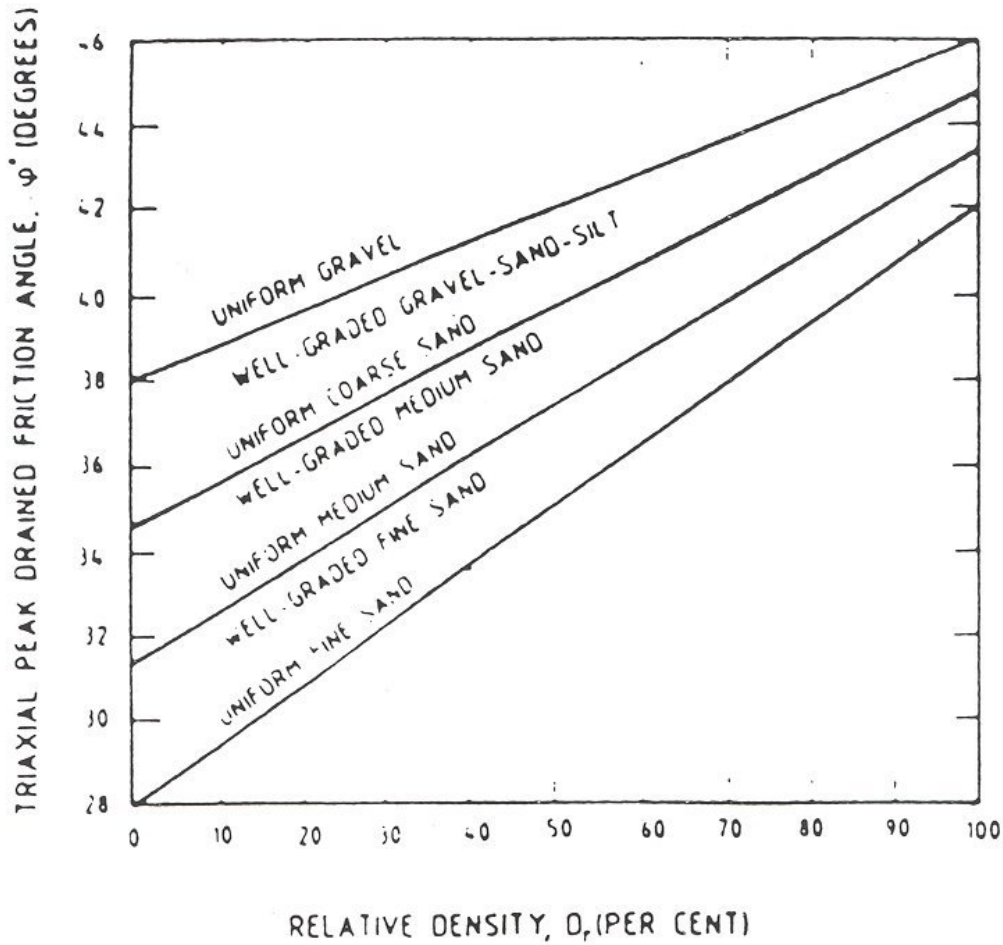
$$q_T = q_c + (1 - \alpha) \cdot u$$

Fig. 7-4 Tolking av D_r fra q_c etter Lunne m.fl.



Recommended relationship between cone resistance q_c and relative density D_r for fine-medium quartz sand

Fig. 7-5 Tolking av friksjonsvinkel basert på D_r ihht. Schmertmann



Relationship between friction angle ϕ' and relative density D_r

Fig. 7-6 Tolking av initialmodul i sand ihht. Lunne og Christophersen

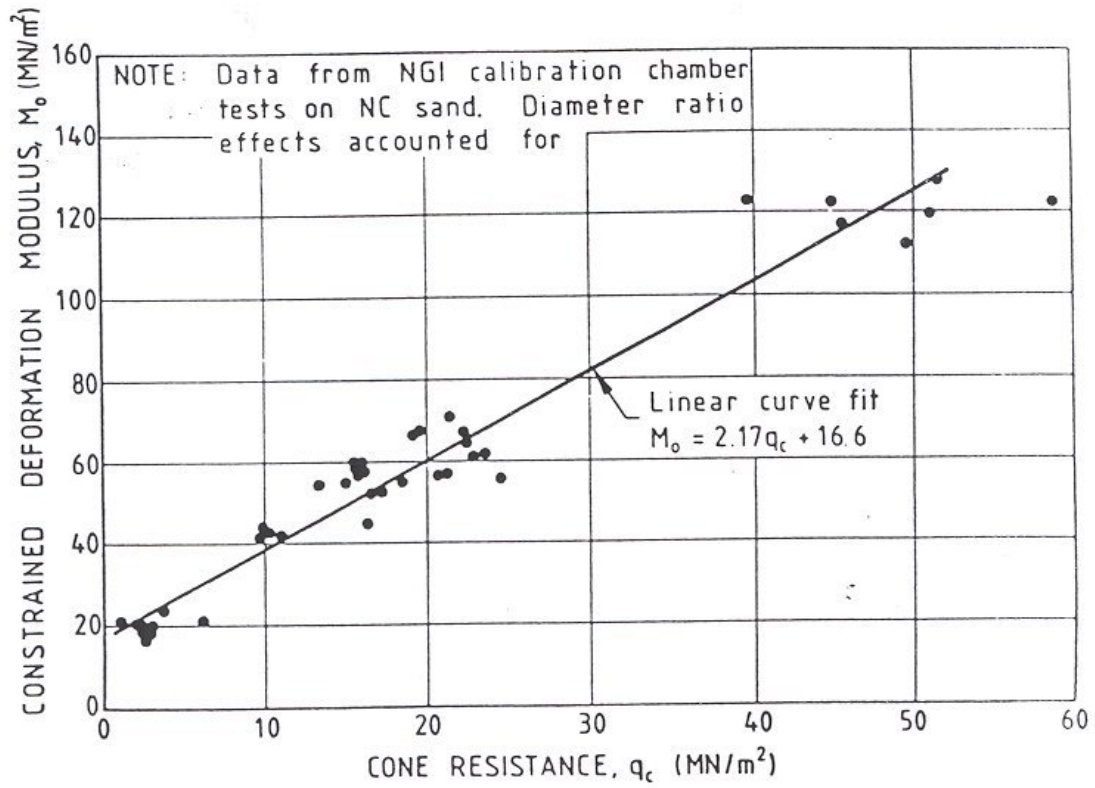
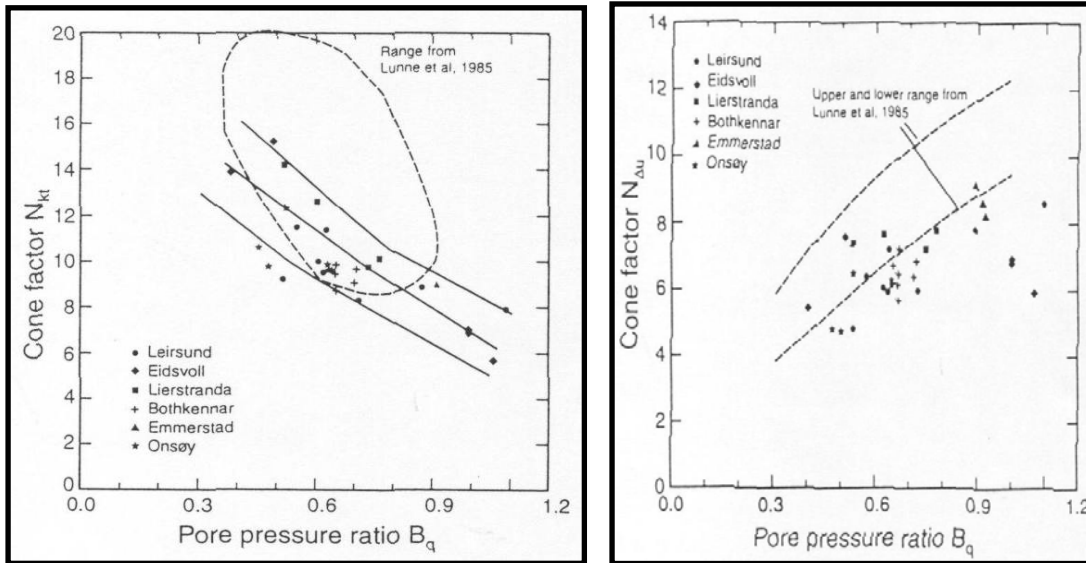


Fig. 7-14 Sammenstilling av forbedrede korrelasjoner mellom N_{kt} , $N_{\Delta u}$ og B_q (Karlsrud et al (1996)).



Figur 6.

Vedlegg 1

Eksempler på kvalitetskontroll av poretrykksmåling

Innhold:

Eksempel 1: Manglende respons i profilets øverste del (0 – 10 m)

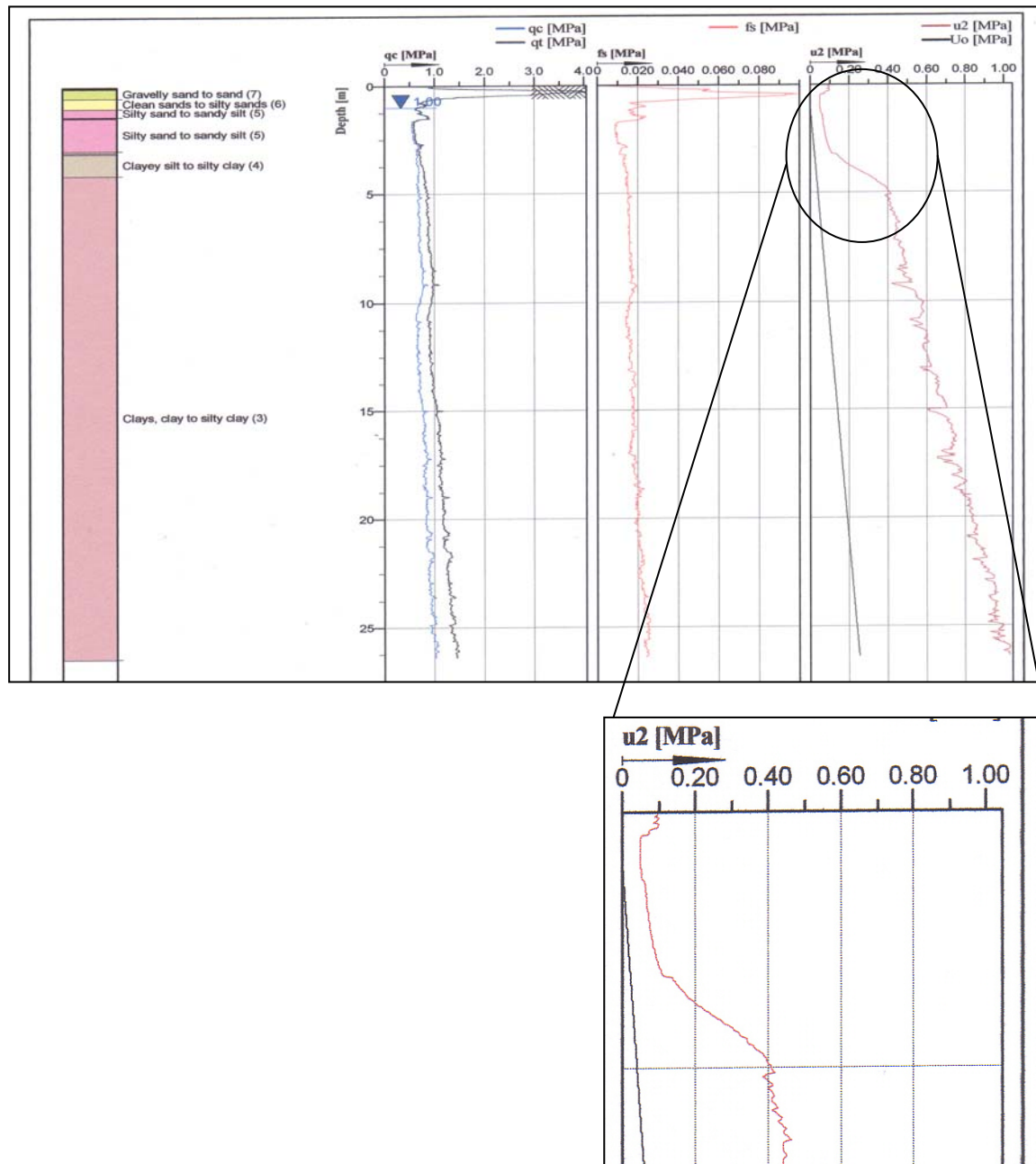
Eksempel 2: Manglende påvisning av tynne lag med avvikende sammensetning

Eksempel 3: Plutselig endring i poretrykksverdi uten samsvar i øvrige registreringer

Eksempel 4: Plutselig endring i poretrykksverdi uten samsvar i øvrige registreringer

Eksempel 5: Tap av metningsmediet ved passering av tørrskorpe/faste lag

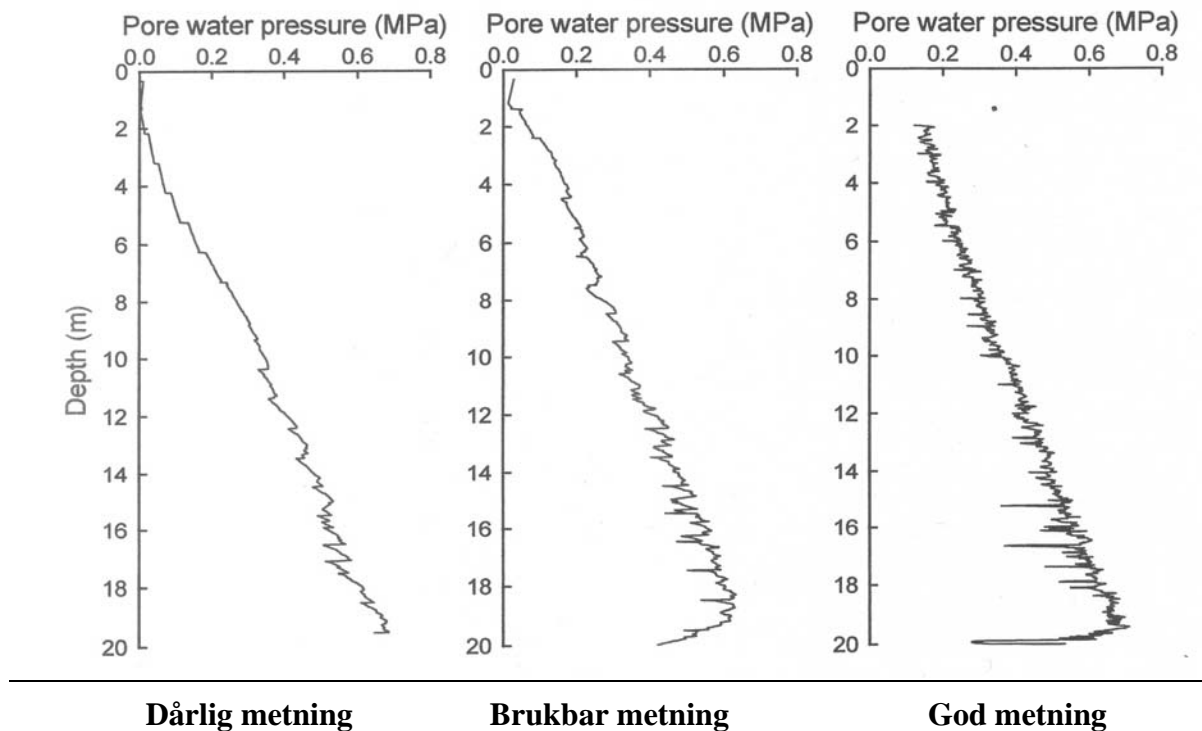
Eksempel 1: Manglende respons i profilets øverste del (0 – 10 m)



Kommentar:

Profilen viser et klassisk eksempel på manglende metning der luft har vært tilstede i filter/trykkammer. Dette forsinker poretrykksresponsen og gir et typisk "banan"-formet u -profil de øverste sonderingsmetrene. Etter hvert som poretrykket øker med dybden oppnås en naturlig metning av systemet, og ved dybder større enn ca. 10 m (ca. 100 kPa ved GV i terrenget) vil en som regel oppnå full metning av systemet.

Eksempel 2: Manglende påvisning av tynne lag med avvikende sammensetning

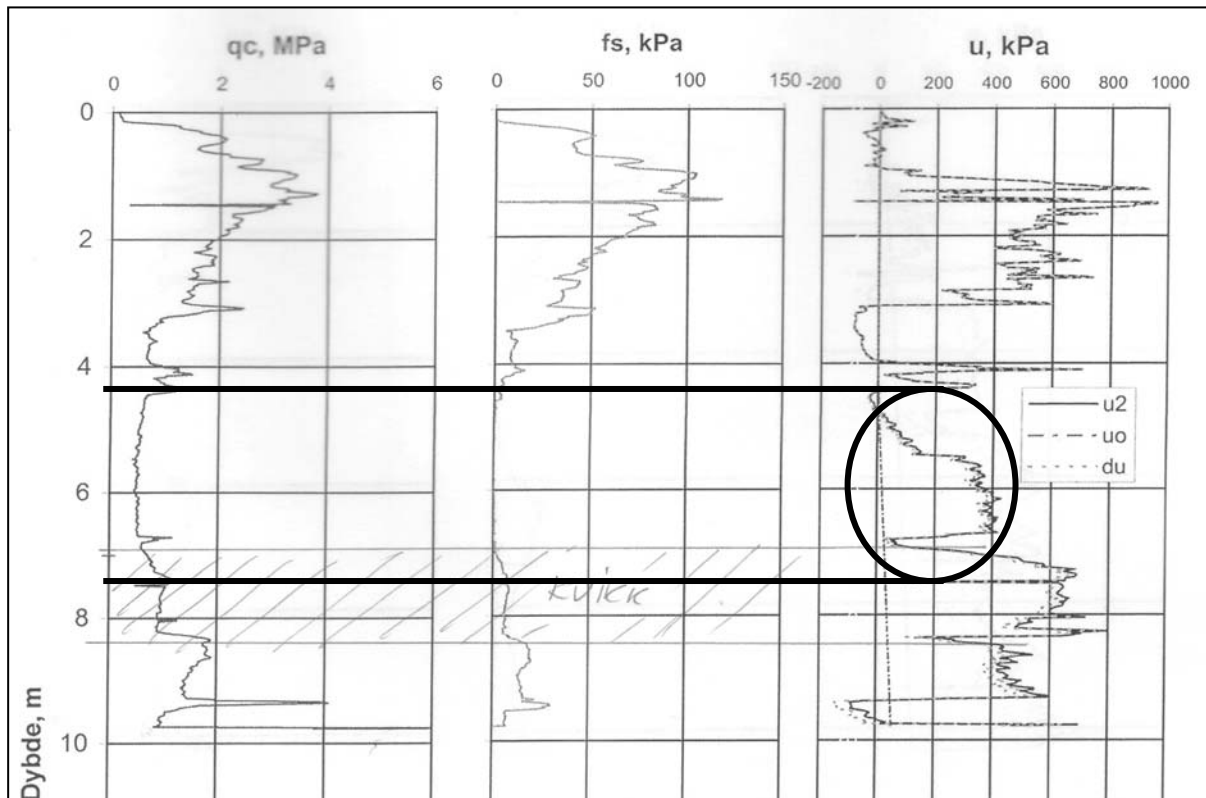


Kommentar:

De tre profilene viser hvilken effekt metningen har på metodens evne til påvisning av mikro-lagdeling og små variasjoner i jordartens komposisjon. Dette er spesielt viktig ved siltige, lagdelte leirer og i siltavsetninger, der full metning er nødvendig for å oppnå en sikker kartlegging av variasjonene i jordartens sammensetning.

Profilen til venstre, som er målt med en dårlig mettet sonde, gir tilnærmet glatt strek og påviser ikke variasjonene i siltinnhold før ca. 10 m er passert. Profilet helt til høyre er oppnådd med en fullstendig mettet sonde og gir som et resultat av dette klar bestemmelse av den spesielle mikro-lagdelingen.

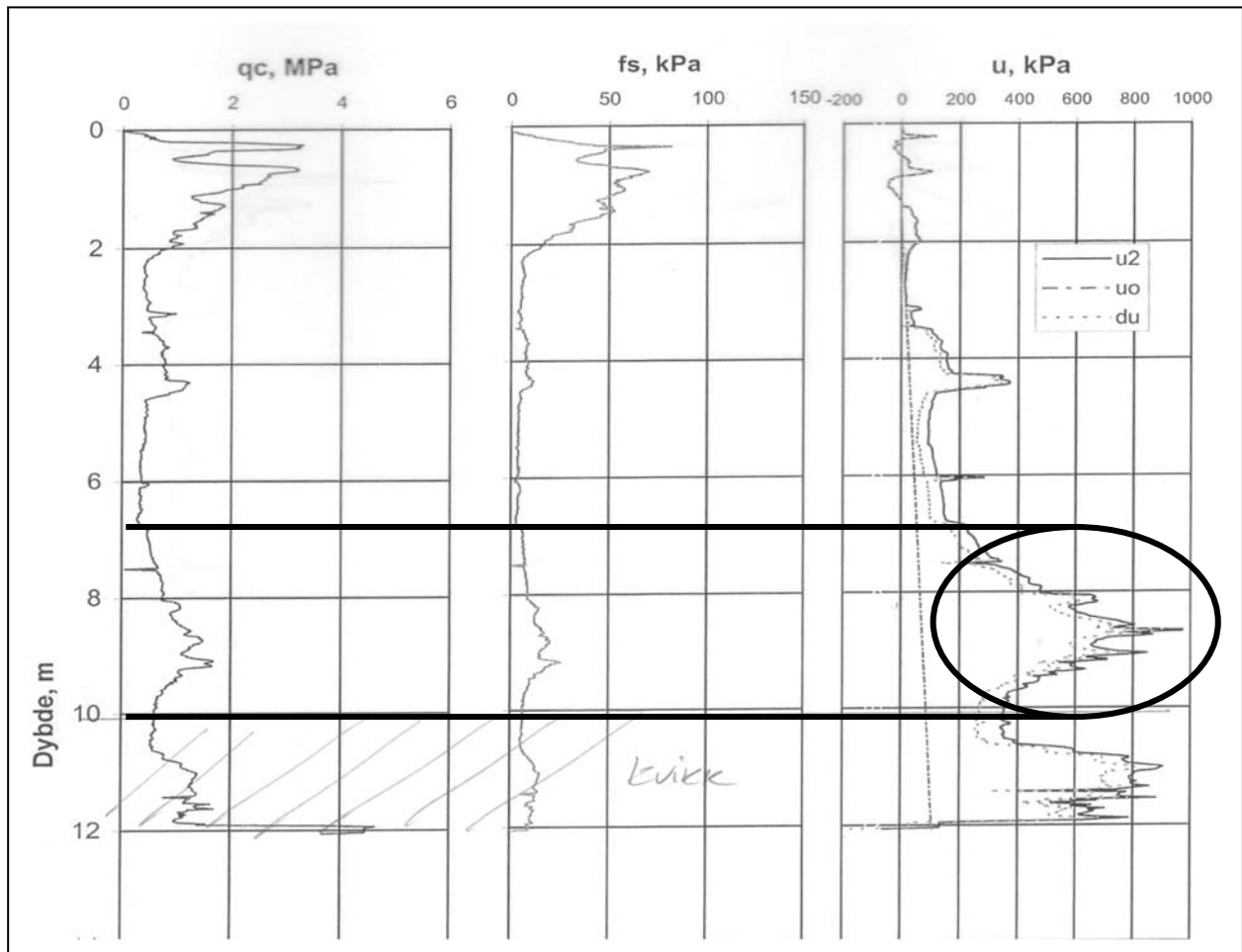
Eksempel 3: Plutselig endring i poretrykksverdi uten samsvar i øvrige registreringer



Kommentar:

Eksemplet over viser en svært spesiell poretrykksoppbygging med plutselig økning, uten at dette synes å være motivert av endringer i jordartens egenskaper (q og f uforandret). Årsaken til dette er ikke helt klar i dette tilfelle, men kan være en ettervirkning av utsuging av metningsmediet i overliggende lag, nullpunktsendringer, temperatureffekter mm.

Eksempel 4: Samtidig økning i spissmotstand og poretrykk

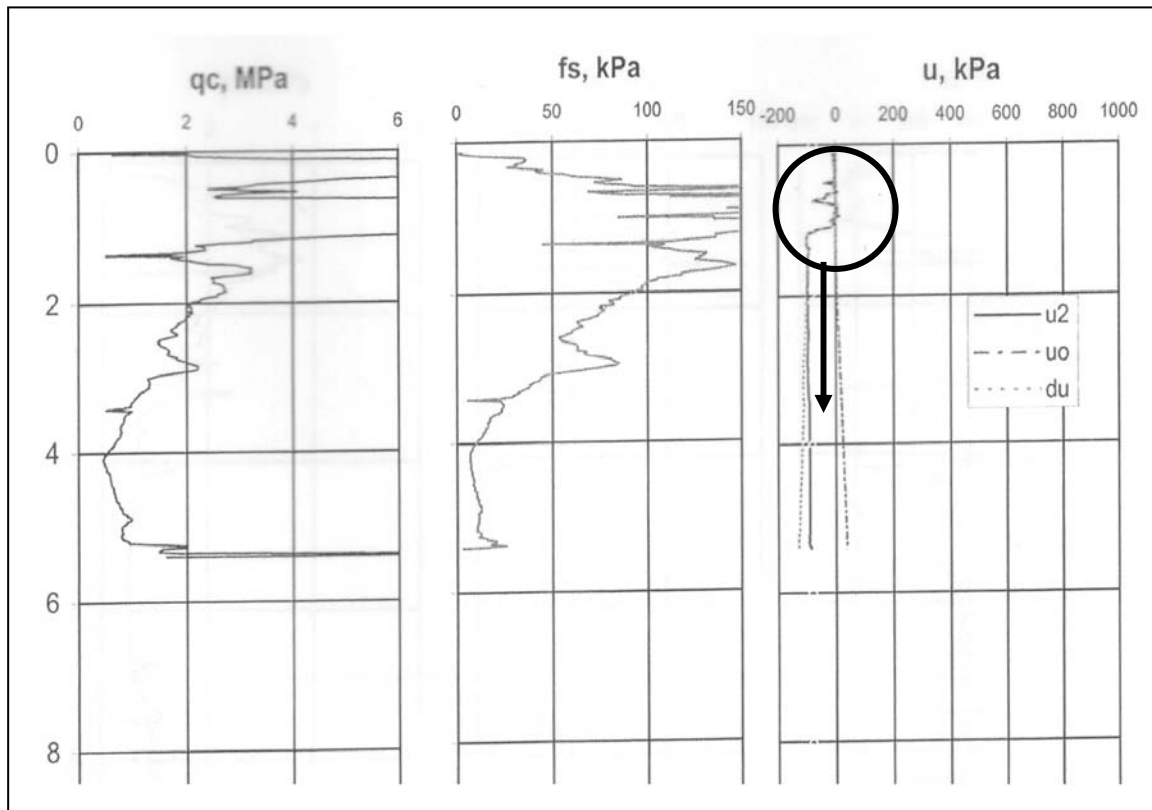


Kommentar:

Vanligvis vil en ved sondering i lagdelte masser ha karakteristiske forløp ved passering av laggrenser. Soner med høy spissmotstand, der jordartens sonderingsmotstand øker på grunn av økende stivhet/styrke, ledsages av redusert poretrykk. I slike soner vil enten dreneegenskapene være bedre, samt at dilatanseffekter i den skjærinduserte delen av poretrykkene vil føre til lavere poreovertrykk. Eksemplet over viser en mistenkelig høy poretrykksoppbygging i en sone der spissmotstanden blir mer enn fordoblet, noe som indikerer feil i poretrykksmålingen. I dette tilfellet kan igjen årsaken være en forsinket poretrykksrespons på grunn av dårlig metning, der metning av kammeret først inntreter etter at spissen har penetrert ca. 8 – 10 m ned i grunnen (jfr. ”banan”-formen på profilet). Imidlertid viser formen på profilet under dette nivå en fortsatt mistenkelig oppførsel.

Et annet og mer konseptuelt problem med denne type filter (spaltefilter) kan være at spissmotstanden (jordtrykket) påvirker trykket i filterspalten som er fylt med gelatin/fett, slik at dette øker når spissen penetrerer i fastere masser.

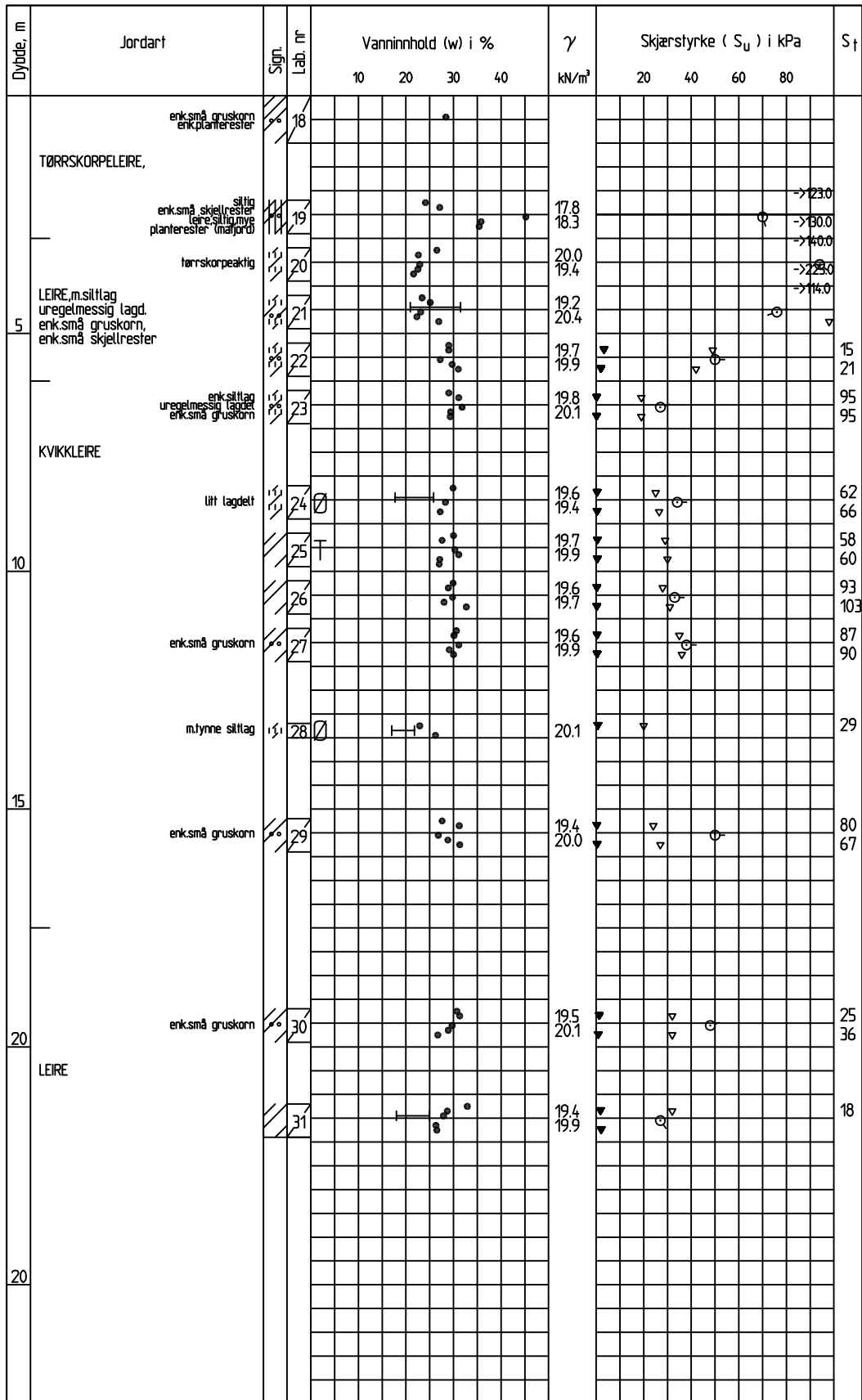
Eksempel 5: Tap av metningsmediet ved passering av tørrskorpe/faste lag



Kommentar:

Ved de fleste undersøkelser i leire vil det være hensiktsmessig å forbore gjennom tørrskorpen og ned til bløtere masser/grunnvannstanden. Dette vil forhindre at måleområdet overskrides og at sonden overbelastes, samtidig som man får en sikrere opprettholdelse av metningen (ved porøse filter vedlikeholdes metningen ved bruk av vannfylt kondom over filteret).

I eksemplet over er det benyttet spaltefilter med gelatin, men selv dette mediet blir tydelig sugd ut av spalten og metningen ødelegges med ødelagt poretrykksregistrering som resultat. Det anbefales derfor å forbore forbi tørrskorpelaget slik at denne type metningsproblem reduseres, med mindre det er forholdene i topplaget en ønsker å kartlegge.

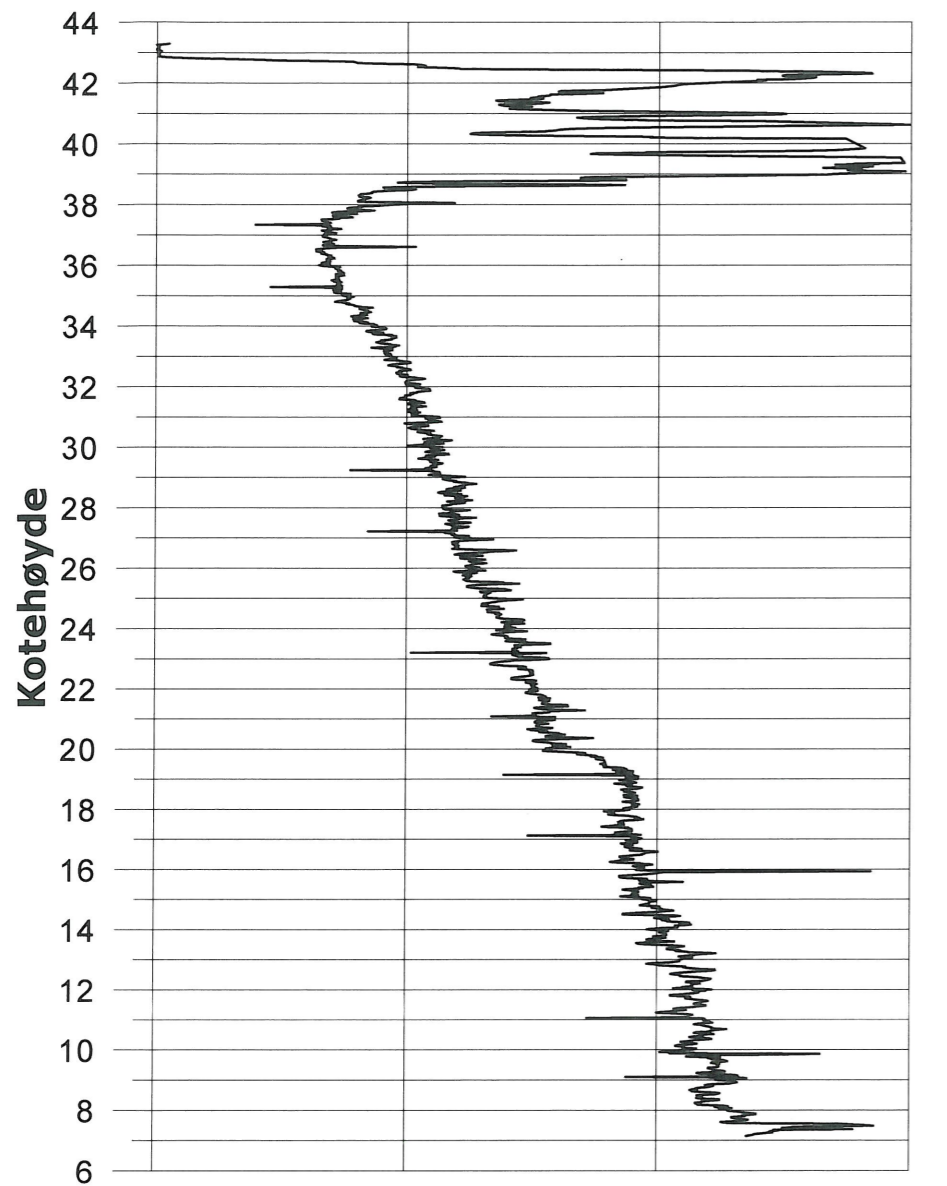


Enkelt trykkforsøk :		(strek angir def.% v/brudd)		Konusforsøk - Omrørt/uforstyrret :	
Penetrometerforsøk		Konsistensgrense w_p w_L		Andre forsøk:	
T= Treksialforsøk		Ø= Ødometerforsøk		K= Kornfordeling	
Oppdrag nr. 6090893	Målestokk: 1:100	Status:			
TK Eiendom og GH Eiendom Kvikkleiresone 194 Hoeggen					
BORPROFIL HULL NR.: 7					
TERRENGHØYDE: +43.3 PRØVETYPE: 54mm / skovl					
22.03.10	BVN	Tegning nr. 129			
Rev.	Dato	Tekst		Rev.	

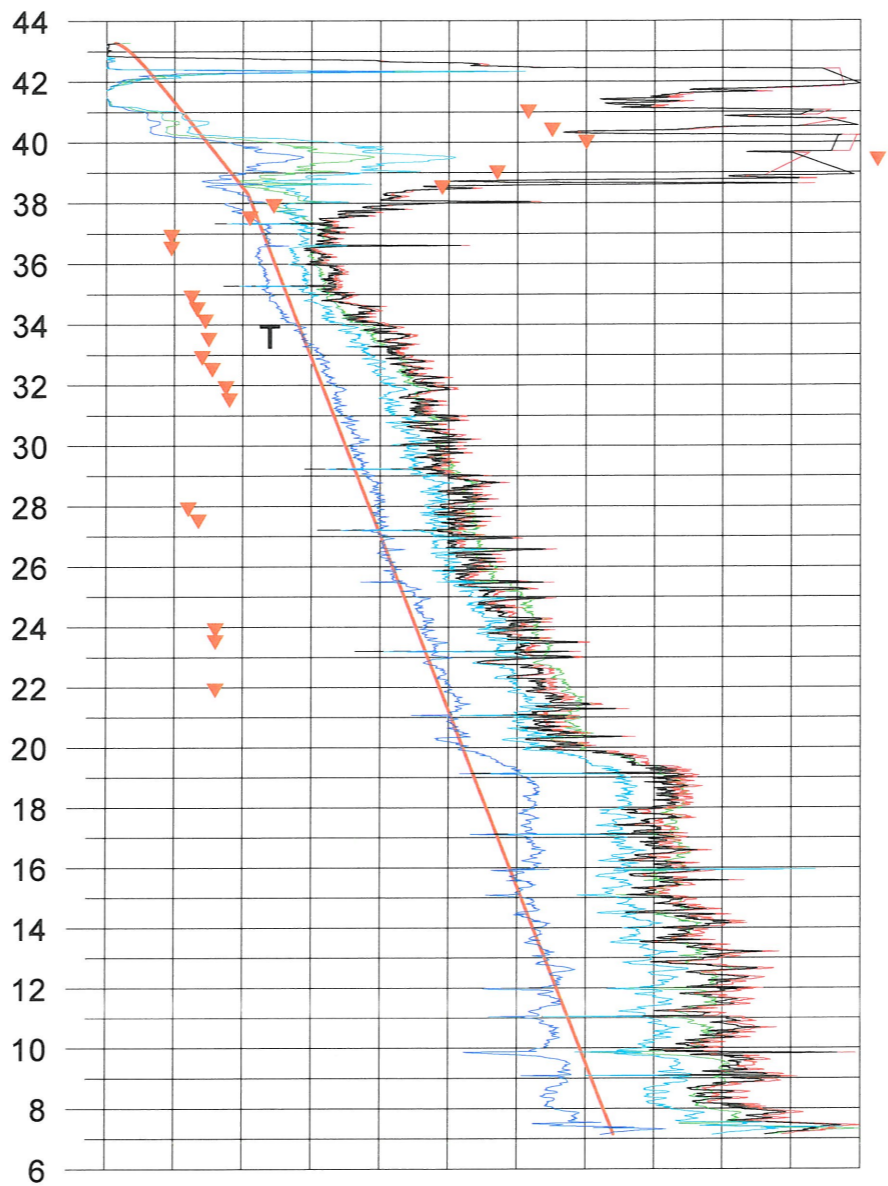


P.B. 7493 Mellomila 79
N-7018 Trondheim
TLF: 73 84 10 00 - FAX: 73 84 10 60
www.ramboll.no

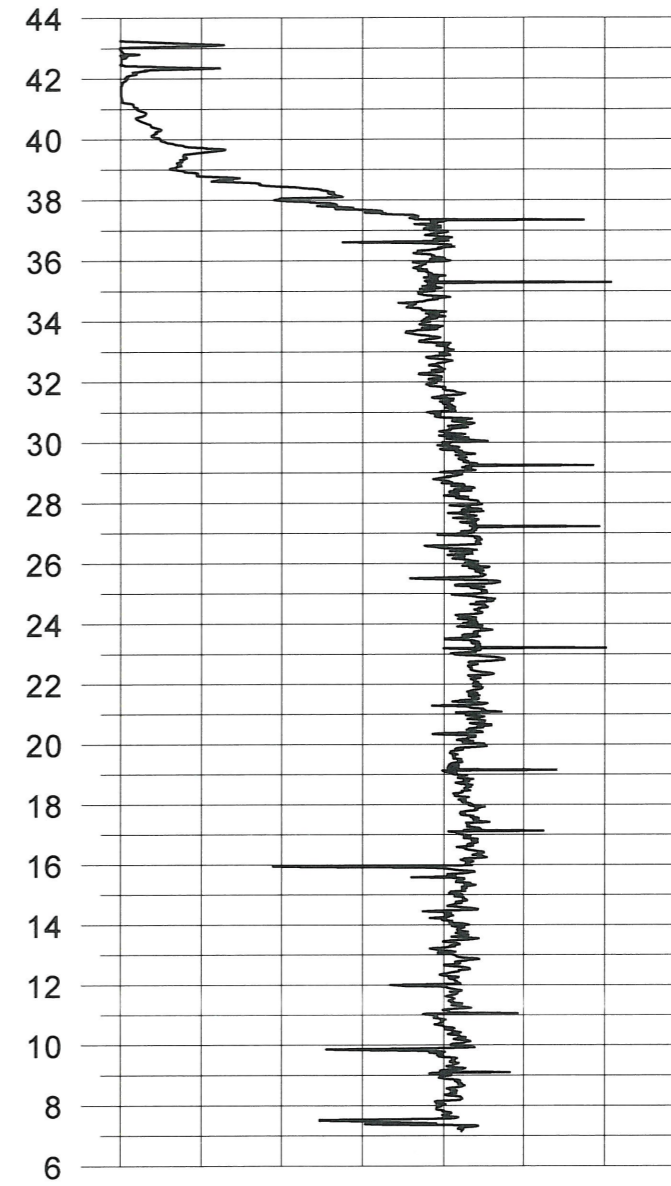
Spissmotstand, q_t [kPa]



Udrenert skjærstyrke, S_{uA} [kPa]



Poretrykksparameter, B_q [-]



0 1000 2000 3000

0 20 40 60 80 100 120 140 160 180 200 220

0 0.2 0.4 0.6 0.8 1 1.2 1.4

- $N_{\Delta u} = 6.9 - 4.0 \cdot \log OCR + 0.07 \cdot I_p$: $st < 15$
- $N_{kt} = 8.5 + 2.5 \cdot \log OCR$: $st > 15$
- $N_{\Delta u} = 9.8 - 4.5 \cdot \log OCR$: $st > 15$
- $N_{kt} = 7.8 + 2.5 \cdot \log OCR + 0.082 \cdot I_p$: $st < 15$
- $N_{\Delta u} = 4.5 + 4 \cdot B_q$
- **Shansep**
- - - **Design**
- ▼ ▼ ▼ **Rutinedata, S_uD**
- T T T **Treaksialforsøk**

TERRENGKOTE: +43.3 GV: +38.3

Tidligere terreng: +52.0

SHANSEP: $\alpha = 0.36$ $\beta = 0.65$

OPPDRAG NR. 6090893	MÅLESTOKK 1:250	BLAD NR. -	AV -
------------------------	--------------------	---------------	---------

TEGNING NR.

Bilag 2



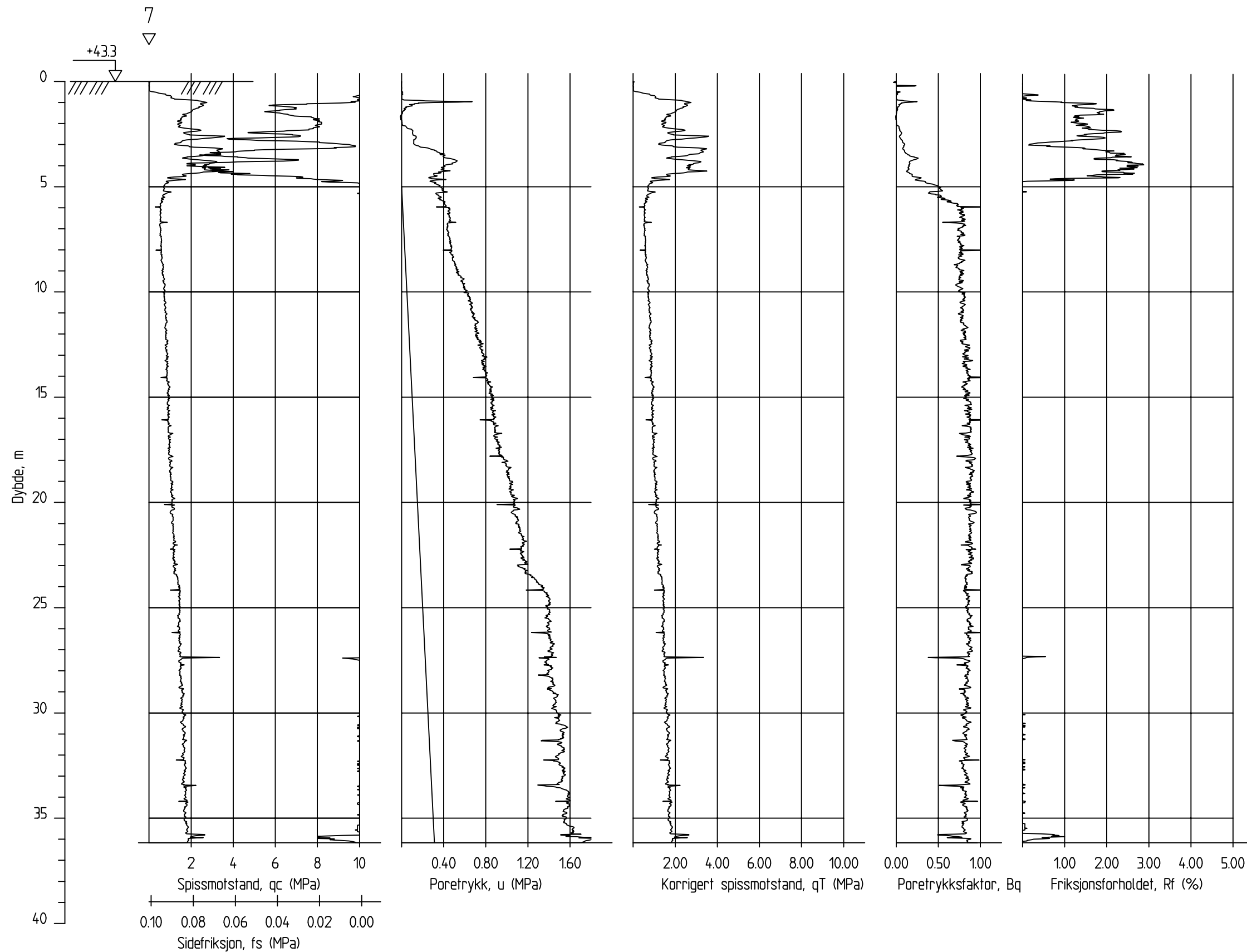
Ramboll Norge AS - Region Midt-Norge
P.B. 7493 Mellomila 79, N-7018 Trondheim
TLF: 73 84 10 00 - FAX: 73 84 10 60

OPPDRAG
Kvikkleiresone 194 Hoeggen

OPPDRAGSGIVER
TK Eiendom og GH Eiendom

INNHOOLD
Tolkning CPTU
Borhull 7

0	2010-04-07		SAS		
REV.	DATO	ENDRING	TEGN	KONTR	GODKJ
TEGNINGSSTATUS		Foreløpig			



REV.	DATO	ENDRING	TEGN	KONTR	GODKJ
	222.03.10				BVN
TEGningsstatus					



Rambøll Norge AS - Region Midt-Norge
P.B. 7493 Mellomila 79, N-7018 Trondheim
TLF: 73 84 10 00 - FAX: 73 84 10 60

OPPDRAG
Kvikkleiresone 194 Hoeggen
OPPDRAGSGIVER
TK Eiendom og GH Eiendom

INNHOOLD
BORERESULTATER
▽ Trykksonderinger(CPTU)

OPPDRAG NR. 6090893	MÅLESTOKK 1:200	BLAD NR.	AV
TEGNING NR. 125			REV.



CPT-SEMINAR SVV 26. april 2010

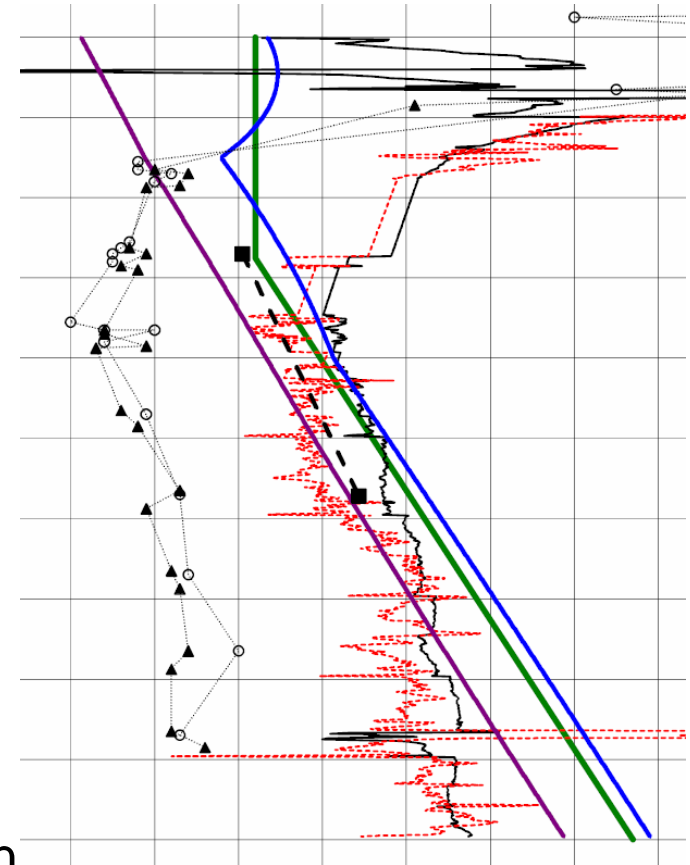
Innledning til diskusjon

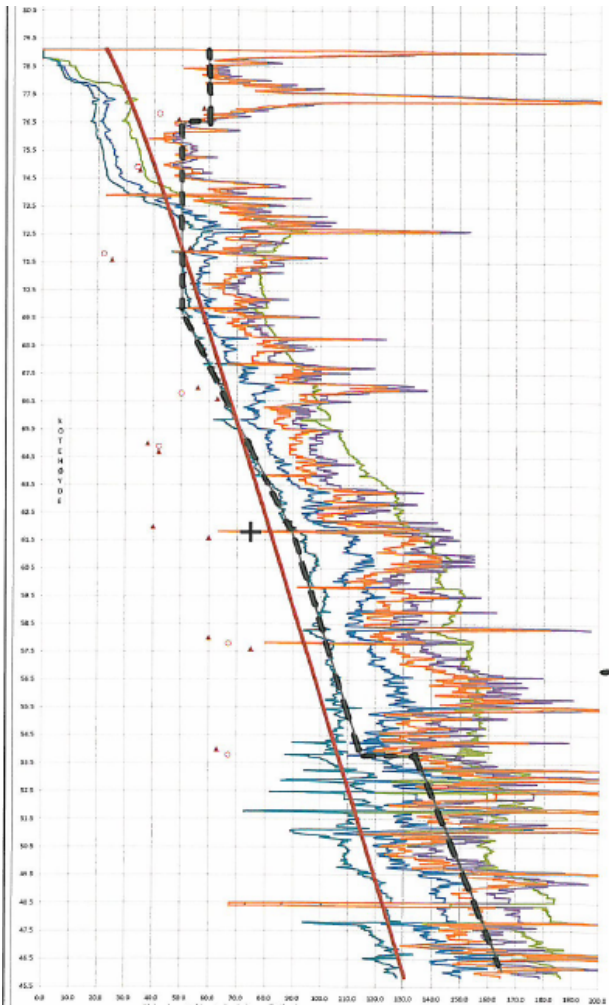
Arnfinn Emdal, NTNU



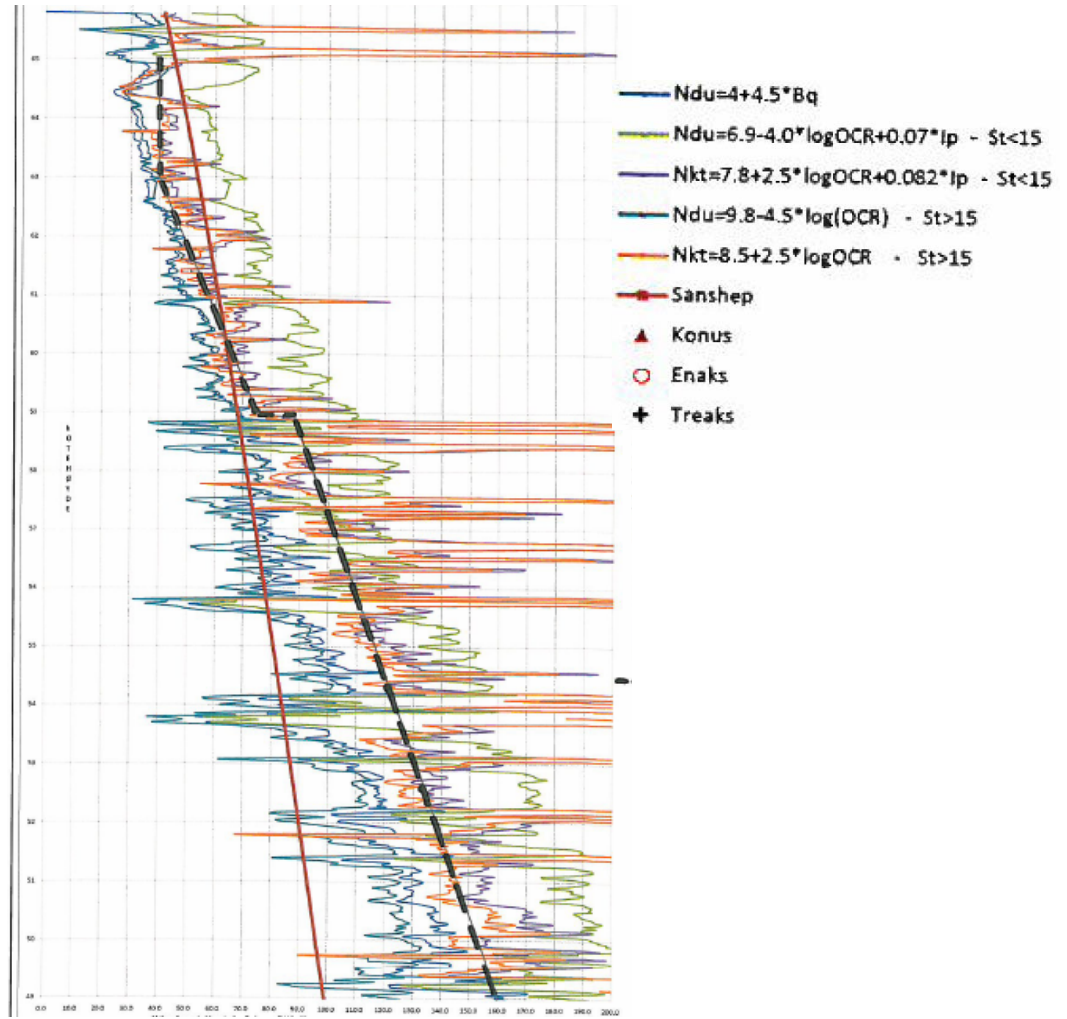
Hvordan gjøres CPT retningsgivende for valg av styrkeprofil?

- Hvor tungt skal CPT veie?
- Hvordan brukes treksresultater?
Er det feks rimelig å legge profilet høyere enn treksverdien?
- Er treksene på eksempelet til høyre (nesten) overflødig?
- Hvilke korrelasjoner brukes?
(Karlsrud, Lunne, Kort, Strandvik, 2005
CONRAD, Robertson...)
- Hvordan håndteres spredning i korrelasjonen?
- Avvik i dybden?





Hvorfor ligger design her i underkant av CPT-"skyen"



Hvorfor ligger design nå midt i CPT-"skyen"

For low sensitive clays ($S_t < 15$)
 $N_{kt} = 7.8 + 2.5 \log OCR + 0.082 I_p$ (8a)

For high sensitive clays ($S_t > 15$)
 $N_{kt} = 8.5 + 2.5 \log OCR$ (8b)

Figures 8-10 also show typical correlation functions according to eq's 8a) and 8b). The variation in calculated undrained strength based on these correlations typically lie around $\pm 15\%$ for the high sensitive clays and $\pm 30\%$ for the low sensitive clays.

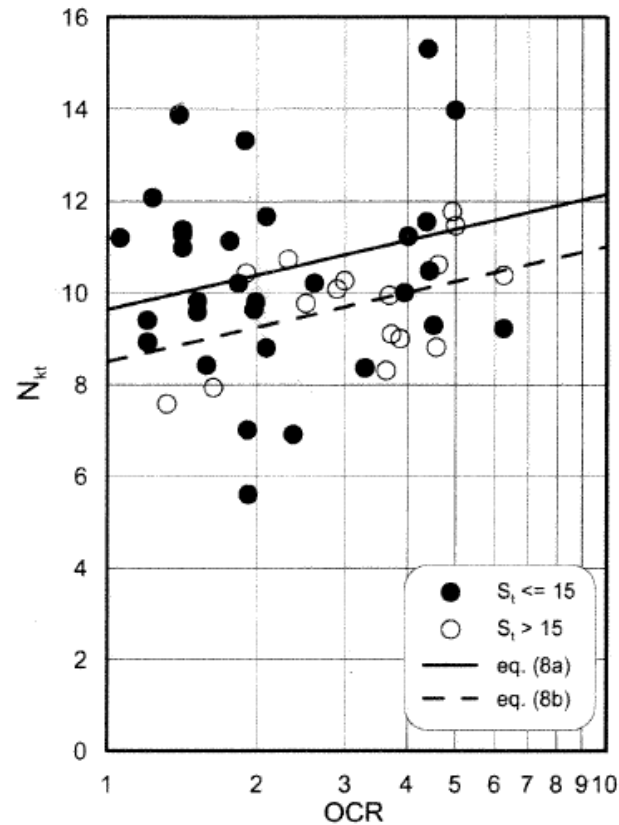


Figure 8. Relationship between N_{kt} and OCR

For low sensitive clays ($S_t < 15$)
 $N_{\Delta u} = 6.9 - 4.0 \log OCR + 0.07(I_p)$ I_p in % (7a)

For high sensitive clays ($S_t > 15$)
 $N_{\Delta u} = 9.8 - 4.5 \log OCR$ (7b)

These correlations are illustrated in fig.5 for an average I_p -value of 22.4% for low-sensitive clays. Typical curves based on eq's 7a) and 7b) are also shown in Figs. 6 and 7 for ranges of OCR values, and using an overall average $I_p = 22.4$ for $S_t < 15$. The exact average OCR value corresponding to the different ranges in the data base are as follows:

Range OCR	Average OCR
1-2	1.57
2-4	2.92
>4	4.90

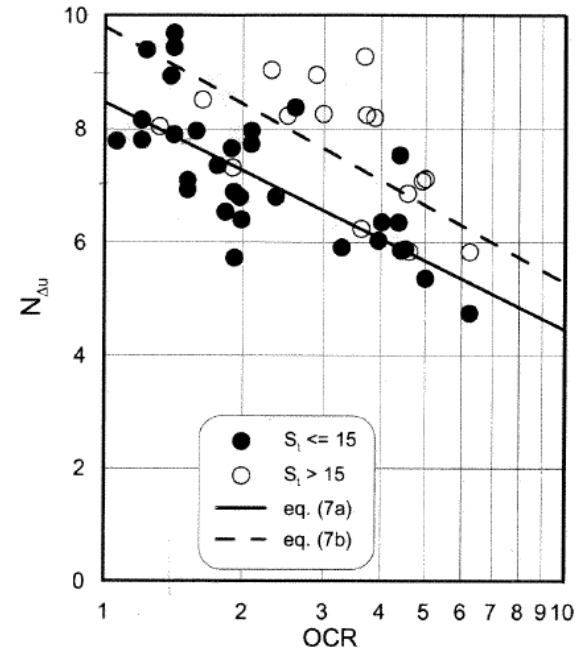


Figure 5. Relationship between $N_{\Delta u}$ and OCR

(Fra: Karlsrud, Lunne, Kort, Strandvik, Osaka 2005)

Hverdagstreaks?

- Har den verdi i denne sammenheng eller er feks 54 mm streaks i ferd med å bli et verktøy i "superindeks"-klassen?
- Er det meningsfylt å sette inn verdier fra prøver tatt med plastsylinder?
- Kort sagt... hvordan klargjøres i plott og oppsett hvilke treaskkvaliteter en korrelerer mot?

Hva gjøres når en med sine beste valg av NKT og NDU ikke får samsvar i for eksempel su-profil?

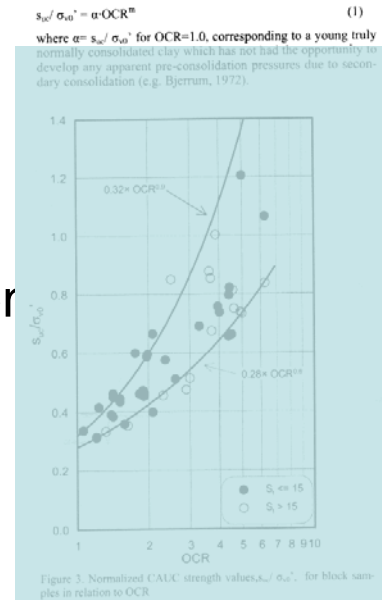
- Hva stoler man mest på u eller q_t ? (eller... målefeil eller spredning)
- Gjøres det en spesifikk vurdering mot egne treaksresultater ved at det etableres reviderte N-verdier for det aktuelle prosjektet?
- Eller.. benyttes CPT-su-ene stort sett uendret som "bakteppe" for vurderinger?
- Hvis ja... betyr dette at CPT-ene i realiteten blir sett bort fra?
- Hvis ja... er da CPT-ene bortkastet?

Erfaringsgrunnlag; Hva er premissene for å legge inn nye N-data?

- Hvilke erfaringsgrunnlag brukes?
- Hvordan bygges erfaringsgrunnlaget opp i de enkelte bedrifter?
- Bygges det opp et felles grunnlag?
- Hvilke krav bør stilles til prøver og kvalitetskontroll av data som skal legges inn? (blokkprøver, CPT-spisser...)

Når "kan vi absolutt ikke stole på CPT-en" og velger å bruke erfaringsdata i stedet?

- Erfaringsdata: α s_u -relasjoner, SHANSHEP, egne relasjoner
- Spissmotstand (stort sett måleteknisk pålitelig?)
- Poretrykk
 - dårlig metning, tørrsuging i dilatante lag, ufoklarlige er
- Når blir resultatene **for urimelig** i forhold til minste erfarte α ?



$$s_{uc} / \sigma_{v0}' = \alpha \cdot OCR^m \quad (1)$$

where $\alpha = s_{uc} / \sigma_{v0}'$ for $OCR=1.0$, corresponding to a young truly normally consolidated clay which has not had the opportunity to develop any apparent pre-consolidation pressures due to secondary consolidation (e.g. Bjerrum, 1972).

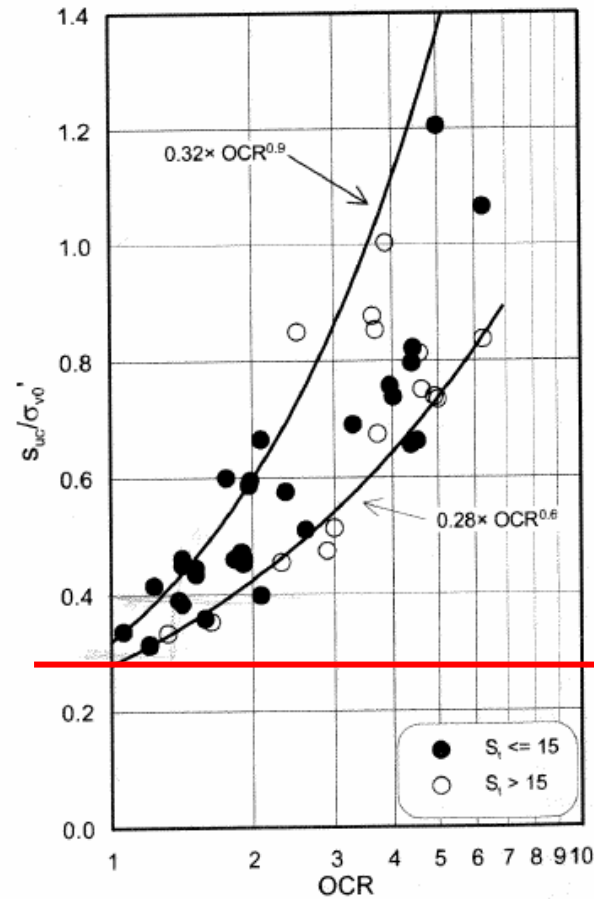
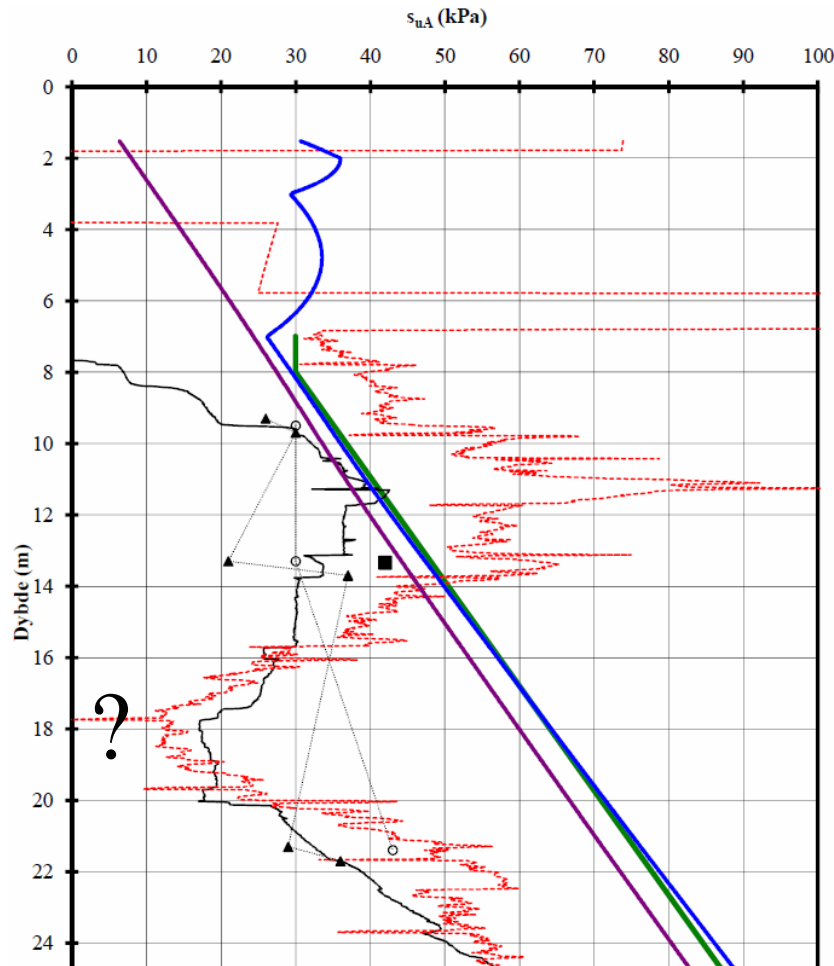


Figure 3. Normalized CAUC strength values, s_{uc} / σ_{v0}' , for block samples in relation to OCR

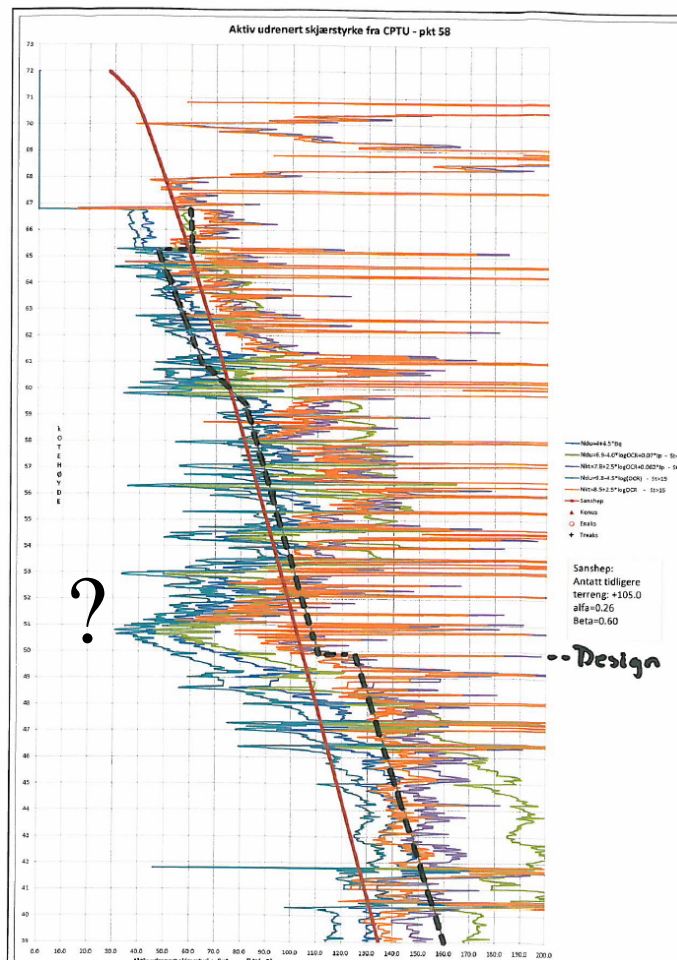
(Fra Karlsrud, Lunne, Kort, Strandvik)



? Hvorfor tar ikke dette designprofilet hensyn til reduksjon i CPT-suA?

- Fiolett linje : $0,28p_0'$
- Blå linje : SHANSHEP
- Grønn linje : Design
- Rød linje : Nkt-basert
- Svart linje : Ndu-basert

Er $0,28p_0'$ en absolutt nedre grense?
Andre erfaringer?

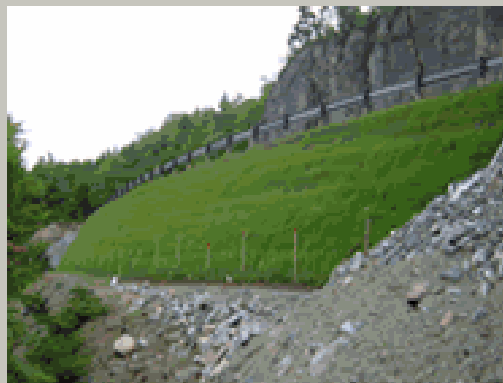


? Hvorfor tar ikke designprofilet hensyn til reduksjon i CPT-suA?

CPTU seminar 2010



**GEOSØR i samarbeid med Geoteknikk
og skredseksjonen på TMT i
Vegdirektoratet ønsker velkommen**



CPTU seminar 2010



CPTU.eu

CPT information board

■ CPT equipment

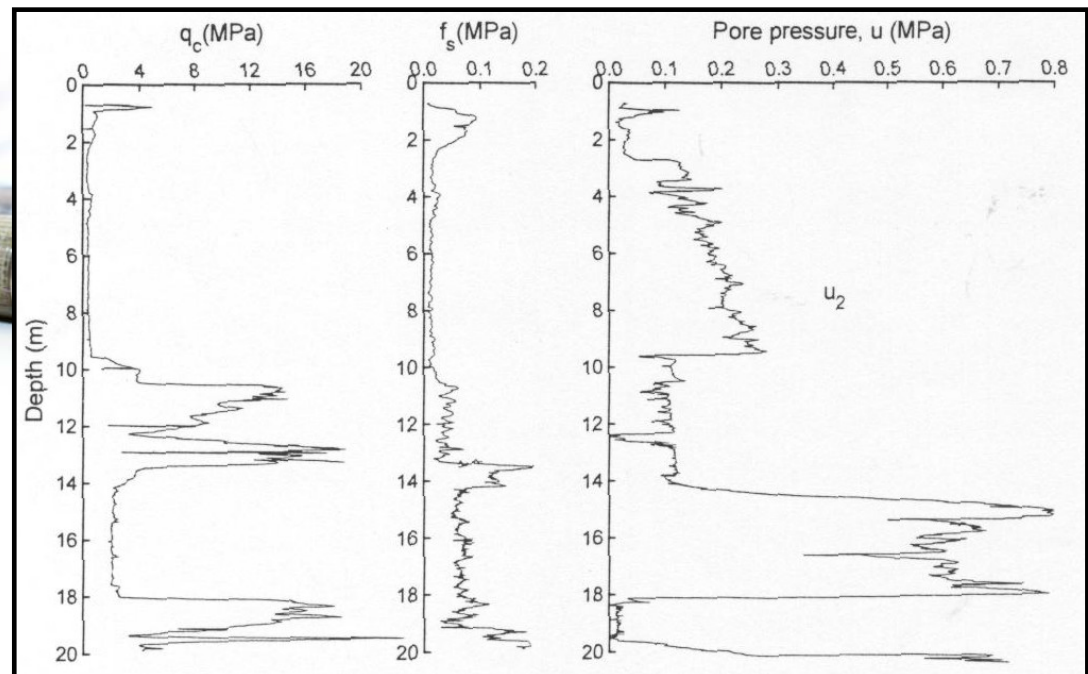
■ CPT software

■ Who is Who?

■ Contractors

■ Knowledge

■ Geotechnical Links



Statens vegvesen

CPTU seminar 2010



Med bakgrunn i noe ulik praksis og erfaringer ønsker vi en felles gjennomgang med erfaringsutveksling både internt i etaten og mellom våre samarbeidspartnere/ tjenesteleverandører

Mål: Et felles praksis for tolkning av CPTU

Velkommen :

- Masterstudenter
- Multiconsult, Rambøll, Norconsult , GeoVest-Haugland, SINTEF/NTNU og NGI
- Geoteknikere i SVV

Oppgaven:



Firmaets praksis knyttet til bruk av CPTU som et verktøy i forbindelse med geotekniske vurderinger og beregninger herunder alle ledd fra planlegging av grunnundersøkelsene, gjennomføring og tolkning av resultater.

Aktuelle stikkord kan være:

- programvare,
- metodikk,
- usikkerheter,
- feil og mangler,
- potensiale med metoden

Teknologirapport - CPTU



- Bidragene skriftlig
- Oppdatert rapport som kan heve fagmiljøet både når det gjelder utførelse, tolkning, bruk i dimensjonering og nyutvikling



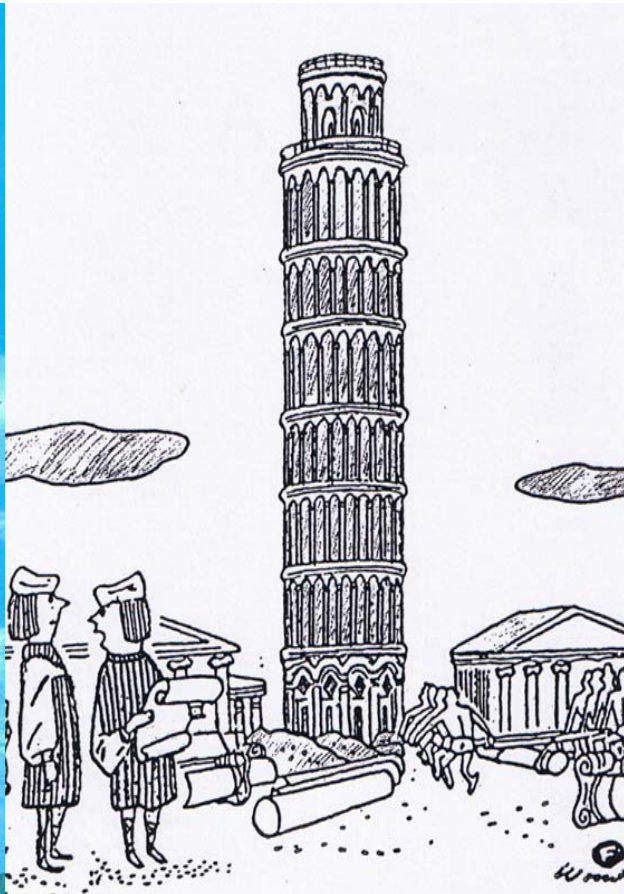
Konsekvens



RV 717 Sund - Bradden



Grunnundersøkelser: Man betaler for dem enten man utfører dem eller ikke..



"Jeg har sløffet grunnundersøkelen, men pytt, det går nok bra....."

Trønder-Avisa 9° Veervarsel for Nord-Trøndelag

NYHETER	SPORT	KULTUR	NÆRINGSLIV	MIN KOMMUNE	MENINGER	KUN
Forbruker	Politikk	Magasin	Valg 2009	Jakt		

Gjennomførte ikke grunnboring

Det slår faktabeskrivelsen til Statens vegvesen som ble lagt fram tirsdag fast.

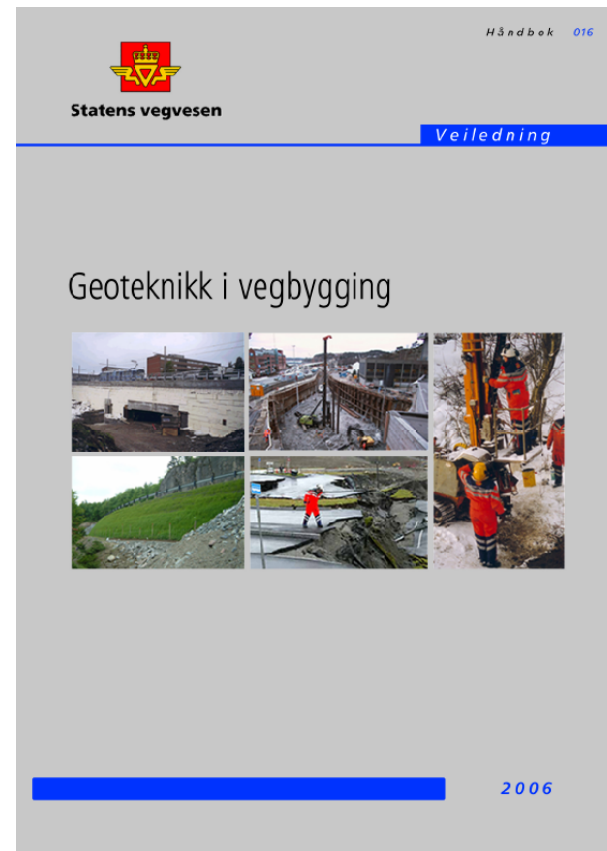
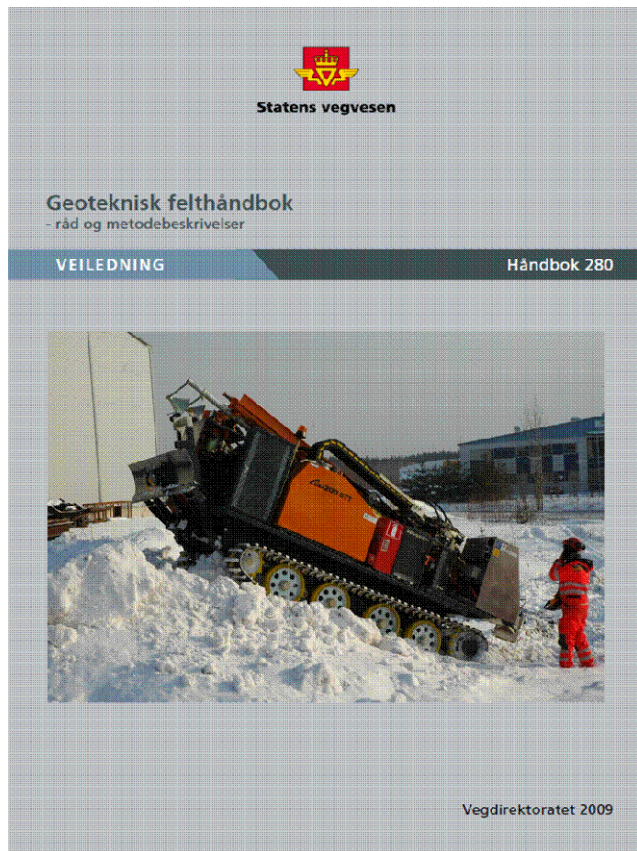


Feltlaboratorium



**Investerer også i en
blokkprøvetaker**

Retningslinjer..



PROGRAM FØRSTE ØKT



Møteleder: Bjørn K. Dolva, Region sør (før lunsj)/ Hermann Bruun, Vegdirektoratet (etter lunsj)

- 10:10 - 10:45 Statens vegvesen v/sjefingeniør Arild Sleipnes, Region nord
- 10:45 - 11:20 GeoVest-Haugland as v/siv.ing. Arne Åsmund Skotheim, GEOVEST-HAUGLAND AS
- 11:20 - 11:30 Pause
- 11:30 - 12:05 NGI v/teknisk direktør Kjell Karlsrud, Norges Geotekniske Institutt (NGI)
- 12:05 - 12:30 Grunnundersøkelser i Rissa, NTNU v/ studentene Kristoffer Kåsin og Rolf Aasland
- 12:30 - 13:00 Lunsj

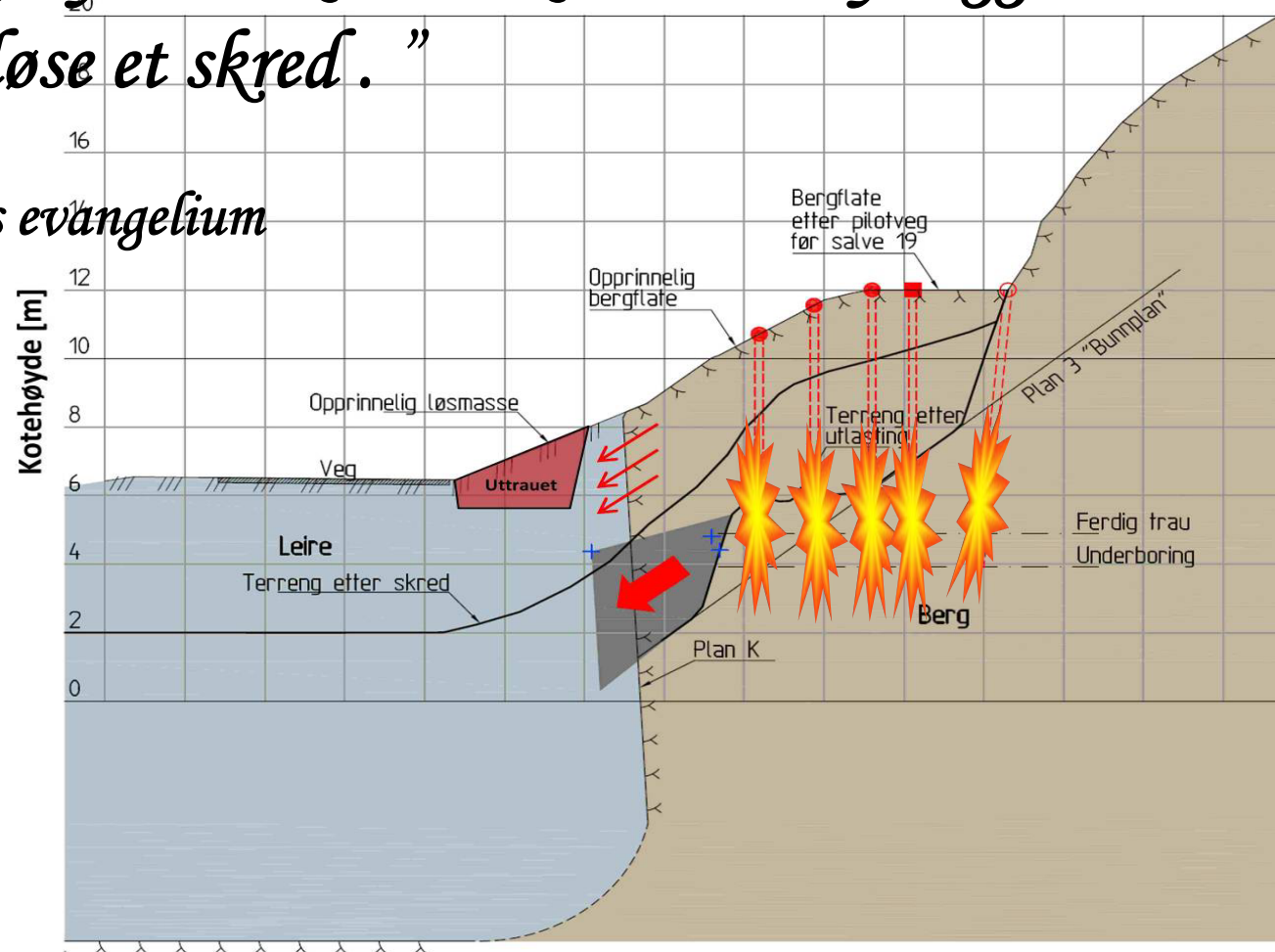


Kvikkleire – ingen liten bagatell



”En bagatell er aldri uvesentlig. En sommerfugls fjærlette vingeslag kan forårsake en orkan. Et snøfnugg i ubalanse kan utløse et skred.”

- Tom Egeland – Lucifers evangelium



Fra: Dolva Bjørn Kristoffer
Sendt: 15. april 2010 14:08
Til: Dahl Ragnhild (Vegdir); Tovik Bente
Kopi: Aabøe Roald; Bruun Hermann; Oset Frode; Aunaas Kristian; Sleipnes Arild V; 'arne.skotheim@geovest.no'; 'Kjell Karlsrud'; 'rolf.sandven@multiconsult.no'; 'kasin@stud.ntnu.no'; 'rolfande@stud.ntnu.no'; 'even.oiseth@ramboll.no'; 'arne.engen@norconsult.com'; 'Arnfinn Emdal'
Emne: CPTU-seminar mandag 26. april 2010 i Vegdirektoratet kl. 10:00 - 16:00
Viktighet: Høy

Hei Ragnhild !

Jeg viser til samtalen vår tidligere i dag.

Jeg har laget et revidert program med navn, og jeg har strukket programmet litt for å få en avsluttende diskusjon. Det har jeg fått innspill om at kan være nyttig.

Bente Tovik sender en påminnelse om dette på vegveven med utgangspunkt i denne eposten (programmet).

* Kjempefint om du oppdaterer deltakerlista med de eksterne bidragsyterne og sender informasjon om programmet til alle kursdeltakerne/bidragsyterne. Det er også flott at du organiserer en enkel lunsj - som både er næringsrik og rask å spise. Bestill også frukt til å ha i foredragssalen både før og etter lunsj. Ta gjerne og bestill noen kaffekanner som vi kan ha i møtesalen, da det erfaringsmessig er for dårlig kapasitet på kaffemaskinen.

* Roald tar seg av åpning av seminaret og innledning dagen - avklart

* Jeg håper at Hermann Bruun og jeg kan dele på å være møteledere (innpiskere) - avklart

* Arild Sleipnes er satt opp som første bidragsyter, og det regner jeg med er greit.

* Kristian Aunaas noterer refererer stikkordsmessig om bidragene fra NTNU-studentene og fra diskusjonene - avklart

* Arnfinn Emdal holder et forberedt innlegg til den avsluttende diskusjonen - avklart

* Frode påtar seg oppsummeringen - avklart

* Bidragene er lagt opp til ca. 30 min. presentasjon + 5 minutter spørsmål knyttet til presentasjon. Ytterligere skriftlig bakgrunnsmateriale er svært velkomment, og det vil kunne innarbeides i en felles teknologirapport fra seminaret.

* Avsluttende diskusjon (ca. 50 minutter) i lys av forberedt innlegg, og oppsparte spørsmål til de enkelte presentasjonene tidligere på dagen.

Programmet ser derfor slik ut pr. i dag:

Møteleder: Bjørn K. Dolva, Region sør (før lunsj)/ Hermann Bruun, Vegdirektoratet (etter lunsj)

- 10:00 - 10:10 Introduksjon v/avdelingsdirektør Roald Aabøe, TMT, Vegdirektoratet
- 10:10 - 10:45 Statens vegvesen v/sjefingeniør Arild Sleipnes, Region nord
- 10:45 - 11:20 GeoVest-Haugland as v/siv.ing. Arne Åsmund Skotheim, GEOVEST-HAUGLAND AS
- 11:20 - 11:30 Pause
- 11:30 - 12:05 NGI v/teknisk direktør Kjell Karlsrud, Norges Geotekniske Institutt (NGI)
- 12:05 - 12:30 Grunnundersøkelser i Rissa, NTNU v/ studentene Kristoffer Kåsin og Rolf Aasland
- 12:30 - 13:00 Lunsj
- 13:00 - 13:35 Multiconsult as v/senior geoteknisk rådgiver Rolf Sandven
- 13:35 - 14:10 Rambøll Norge as v/fagsjef geoteknikk Even Øiseth
- 14:10 - 14:20 Pause
- 14:20 - 14:55 Norconsult as v/seksjonsleder geoteknikk Arne Engen
- 14:55 - 15:45 Diskusjon vdr. prinsipper for hvordan man i geoteknisk prosjektering benytter CPT. Forberedt innledning v/amanuensis Arnfinn Emdal, NTNU, rundt stikkordene:
 - * Hvordan gjøres CPT retningsgivende for valg av styrkeprofil?
 - * Hva gjøres når en med sine beste valg av NKT og NDU ikke får samsvar i for eksempel su-profil?
 - * Hva er premisene for å legge retolkede N-faktorer inn i erfaringsgrunnlaget?
 - * Når "kan vi ikke stole på CPT" og velger å bruke erfaringsdata i stedet?
- 15:45 - 15:55 Oppsummering v/sjefingeniør Frode Oset,

Vegdirektoratet

Kurs/seminar beskrivelse (justert):

Statens vegvesen planlegger et seminar om bruk av CPTU i forbindelse med geotekniske vurderinger og beregninger. Med bakgrunn i noe ulik praksis og erfaringer ønsker vi en felles gjennomgang med erfaringsutveksling både internt i etaten og mellom våre samarbeidspartnere/tjenesteleverandører. Seminaret er et samarbeid mellom Region sør og Vegdirektoratet i Statens vegvesen og det er naturlig at vi inviterer de vi har rammeavtale med for levering av geotekniske tjenester.

Seminaret er berammet til **mandag 26. april 2010 kl. 10:00 – 16:00**, og programmet er under utarbeidelse. Det vil bli servert en enkel lunsj kl. 12:30 -13:00.

Arrangementet vil finne sted i **Vegdirektoratets lokaler i Brynsengfaret 6A, 0667 OSLO.**

Vi regner med at seminaret i hovedsak vil bli med deltagere fra Statens vegvesen, men dersom Dere ønsker ytterligere deltakelse fra Deres firma – tar dere kontakt for å avklare mulighetene for dette nærmere. Slik deltakelse vil i så fall bli på egen tid, og med en kostnad knyttet til servering av lunsj.

Vi inviterer alle tjenesteleverandørene knyttet til rammeavtalen med Region sør og Vegdirektoratet (Multiconsult as, Rambøll Norge as, Norconsult as, GeoVest-Haugland as, SINTEF/NTNU og NGI) om å holde ett forberedt innlegg hver om firmaets praksis knyttet til bruk av CPTU spesielt som et verktøy i forbindelse med geotekniske vurderinger og beregninger. Herunder alle ledd fra planlegging av grunnundersøkelsene, gjennomføring og tolkning av resultater. Aktuelle stikkord kan være: programvare, metodikk, usikkerheter, feil og mangler, potensiale med metoden etc. illustrert ved bruk i aktuelle oppdrag. Ta gjerne kontakt for mer utfyllende synspunkter og innspill.

Bidraget må være skriftlig – og vil være til intern distribusjon i Statens vegvesen iht. vår kontrakt. Vi regner i utgangspunktet med en fremføring på 30 minutter, og vi setter av ytterligere 5 minutter til spørsmål, og 50 minutter til en avsluttende felles diskusjon.

Eventuelle spørsmål kan rettes direkte til Bjørn K. Dolva, **tlf.:** 35581707 **mobil:** 91585057 **e-post:** bjorn-kristoffer.dolva@vegvesen.no, eventuelt til **Ragnhild Dahl tlf.:** 993 80 997/**e-post:** ragnhild.dahl@vegvesen.no i Vegdirektoratet - som er vår kurs og seminarkontakt i denne sammenheng.

Kontaktinformasjon for eksterne bidragsyttere:

Arne Åsmund Skotheim
GEOVEST-HAUGLAND AS
Grandfjæra 24, 6415 Molde
Tlf: 71 20 59 20, Fax: 71 20 59 30, www.geovest.no
Tlf. direkte: 71 20 59 22, Mobil: 922 10 511, arne.skotheim@geovest.no

for Norges Geotekniske Institutt (NGI)
Kjell Karlsrud
Teknisk Direktør
Postadresse: Postboks 3930 Ullevål Stadion, 0806 Oslo
Gateadresse: Sognsveien 72, 0855 Oslo
Tlf.: +47 22 02 30 11
Mobil: +47 905 09 808
Faks: +47 22 23 04 48
Web: www.ngi.no

rolf.sandven@multiconsult.no

NTNU-studentene
Kristoffer Kåsin kasin@stud.ntnu.no
Rolf Aasland rolfande@stud.ntnu.no

Even Øiseth
Sivilingeniør/Fagsjef geoteknikk
Divisjon Geo og miljø
D +47 73 84 10 93
M +47 900 91733
even.oiseth@ramboll.no
Rambøll
Mellomila 79
NO-7493 Trondheim
www.ramboll.no <<http://www.ramboll.no/>>

Arne Engen
Sivilingeniør, Seksjonsleder Geoteknikk
Dir: +47 67 57 11 47 | Mob: +47 45 40 11 47

arne.engen@norconsult.com
Norconsult AS, Postboks 626, 1303 Sandvika
Vestfjordgaten 4, 1338 Sandvika
Tel: +47 67 57 10 00 | Fax: +47 67 54 45 76
www.norconsult.no

[Arnfinn Emdal \[arnfinn.emdal@ntnu.no\]](mailto:arnfinn.emdal@ntnu.no)



Statens vegvesen

Statens vegvesen Vegdirektoratet
Postboks 8142 Dep
N - 0033 Oslo

Tlf. (+47 915) 02030
E-post: publvd@vegvesen.no

ISSN 1504-5005