

Fylke Nord-Trøndelag	Kommune Stjørdal	Sted Værnes	UTM NR 955 381
Byggherre			
Oppdragsgiver Luftfartsverket			
Oppdrag formidlet av Seksjonsleder O. Munkeby			
Oppdragsreferanse Bestillingsbrev datert 16.11.1989.			
Antall sider 12	Antall bilag 13	Tegn.nr. 101-113	Antall tillegg 3

Prosjekt-tittel

LUFTFARTSVERKET

GK10087

Trondheim Lufthavn - Værnes.

Rapport-tittel

Terminalutvidelse - jernbanetunnel.

Grunnundersøkelse.

Datarapport.

Oppdrag nr.

0.7667 Rapport nr. 1

30.11.1989

Dok.nr.

UB.101771-000

Rev:.....

Overingeniør  
EINAR LYCHE

Saksbehandler  
ODD MUSUM

Sammendrag

Grunnen består av lagdelt sand, med tynne lag av grov sand og fin siltig/middels sand.

Vanninnholdet er i størrelse 20 - 35%. Det er observert varierende, tynne humuslag helt ned til dypeste prøve.

Grunnens setningsegenskaper ved påføring av tilleggslast, er bestemt både med feltkompressometer og i ødometer. Feltkompressometeret gir generelt høyere modultall, dvs. mindre setninger enn ødometeret. Over ca. 5 m og under ca. 12 m dybde er modultallet beregnet fra feltkompressometeret svært høyt, antakelig pga. lokale grovere lag.

Generelt er kompressibiliteten liten.

Grunnvannstanden varierer fra kote +2,90 i det sørligste punktet til kote +3,50 i det nord-østligste punktet. Dette samsvarer bra med tidligere målinger.

## INNHold

1. INNLEDNING
2. UTFØRTE UNDERSØKELSER
3. FELTKOMPRESSOMETERFORSØK
4. GRUNNFORHOLD
5. REFERANSER

## BILAG

1. Oversiktskart
2. Situasjonsplan
3. - 6. Profil
7. Borprofil
8. - 9. Ødometerforsøk
10. - 11. Kornfordeling
12. Feltkompressometer, last mot deformasjon
13. Setningsparameter, modultall mot dybde.

## TILLEGG

- I Markundersøkelser
- II Laboratorieundersøkelser
- III Spesielle undersøkelser

## 1. INNLEDNING

**Oppdrag** KUMMENEJE har på oppdrag fra Luftfartsverket utført grunnundersøkelser i forbindelse med påtenkt terminalutvidelse ved Trondheim Lufthavn - Værnes.

Undersøkelsen har til formål å fremskaffe data-grunnlag for geotekniske vurderinger og beregninger i forbindelse med:

- Oppfylling av terminalområdet omkring NSB - Nordlandsbanen, mellom nåværende hovedrullebane og vegbru for E6 ca. 450 m lengre syd.
- Fundamentering/etablering av en ny ca. 200 m lang jernbanetunnel på samme strekning.

**Undersøkelser** De nå utførte undersøkelser supplerer tidligere undersøkelser, utført i 1957 i forbindelse med jernbanens kryssing av nåværende hovedrullebane på Værnes.

Suppleringen gjelder i hovedsak oppdatering - utvidelse av oversikt over grunnvannspeilets variasjon i området, og fremskaffing av parametre for setningsanalyser.

**Rapportens innhold** Denne rapport er en datarapport fra de geotekniske undersøkelsene.

Resultat av vurderinger, analyser og beregninger for prosjektet finnes presentert i rapport O.7667 nr. 3.

## 2. UTFØRTE UNDERSØKELSER

### 2.1 Markarbeid

Tidsrom            Undersøkelsene er utført i november 1989.

Type boring      Det er utført:  
og plassering

- Dreietrykkssondering i 3 punkter.
- Prøvetaking (uforstyrrede Ø 54 mm prøver) i ett punkt.
- Feltkompressometerforsøk i ett punkt.
- Grunnvannstandsmåling i 5 punkter.

Plassering av punktene er vist i situasjonsplanen i bilag 2. I profil i bilag 3 er plasseringen referert med x-koordinat og avstand fra CL av jernbanespor.

Boreddybder      Sonderingene er avsluttet i løsmasser, i dybder fra 21 m til 31 m under terreng.

Prøvetakingen er ført til 22 m dybde.

Dypeste nivå for feltkompressometerforsøket er 14 m.

Plassering av piezometer, med filternivå, er gitt sammen med måleresultat i tabell 1 side 11.

Nærmere beskrivelse av markarbeidene er gitt i tillegg I.

Oppmåling        Borpunktene er målt inn med teodolitt og elektronisk avstandsmåler, på grunnlag av fastmerke nr. 83 og et punkt satt ut av I-Consult A/S.

Koordinater og høyder for disse punktene er:

Punkt	x	y	h
Nr. 83	607 938.45	9767.05	+8.31
I-Consult A/S	607 850.00	9800.00	-

Tidligere undersøkelser Fra NGI's grunnundersøkelse O.362.2-II, 1957, er plasseringen av punkt 2, 8, 9, 10, 11, 12 og 13 vist i situasjonsplanen i bilag 2. Resultatet fra trykksonderingen i punkt 8 - 13, og prøvetakingene og vannstandsmålingene i punkt 8 og 10 er vist i profil 4 i bilag 6.

Plasseringen av 2 punkter fra NSB's undersøkelse, G.k.2464, 1957, ved bru for E6 over jernbanen, er også vist på situasjonsplanen i bilag 2. Resultatene fra 2 dreiesonderinger og én prøvetaking er vist i profil 4 i bilag 6.

## 2.2 Laboratoriearbeid

Rutineundersøkelser De opptatte prøvene er rutineundersøkt i KUMMENEJE's laboratorium i Trondheim.

Resultatet fra laboratorieundersøkelsene er vist i borprofil i bilag 7.

Spesialforsøk Av spesialforsøk er det utført 5 ødometerforsøk, 8 kornfordelingsanalyser og 3 glødetapsanalyser.

Modulkurver fra ødometerforsøkene er vist i bilag 8 og 9.

Kornfordelingskurvene er vist i bilag 10 og 11. Glødetap er angitt i borprofilet, bilag 7. Nærmere beskrivelse av laboratorieundersøkelsen er gitt i tillegg II.

### 3. FELTKOMPRESSOMETERFORSØK

Generelt	Feltkompressometeret er utviklet ved Institutt for Geoteknikk og Fundamenteringslære ved NTH, for in-situ bestemmelse av setningsparametre i sandige og siltige materialer.
Forsøks- prinsipp	<p>I prinsipp blir forsøket utført som et plate-belastningsforsøk med måling av deformasjon for påført last. Lasten blir påført i trinn og for hvert lasttrinn blir det målt tid-setningsforhold. Hvert lasttrinn står på til deformasjonen er avsluttet.</p> <p>I feltkompressometeret er belastningsplaten utformet som en skrueplate, slik at platen kan skrues ned til den dybden en ønsker å foreta forsøket. Kompressometeret består av skrueplate og jekk som skrues ned ved hjelp av et ytterrør som er festet til jekken. Når kompressometeret er skrudd ned til ønsket nivå, festes ytterrøret til en forankring på overflaten, og gir mothold for jekken under forsøket. Kraft til jekken blir påført med nitrogen fra trykkflaske, som overføres til oljetrykk i en oljeslange gjennom et indre rør som er koblet til skruplata.</p> <p>Under forsøket blir deformasjoner av skruplata målt som bevegelse av det indre røret i forhold til terrengoverflata.</p> <p>Nærmere beskrivelse av forsøksprosedyre er gitt i ref./1/.</p>
Tolknings- prinsipp	Tolkningen av forsøkene er basert på en teoretisk løsning for setninger av en sirkulær plate plassert i vilkårlig dybde under terrengnivå, ref./2/.

Følgende formel er utledet:

$$\delta = \frac{S}{m} \cdot \frac{p_n' B}{p_a}$$

der:  $p_n'$  =  $p - p_o'$  = netto last på plata  
 $p_o'$  = effektivt overlagringstrykk.  
 $B$  = platediameter = 160 mm  
 $p_a$  = referansetrykk = 100 kPa  
 $S$  = dimensjonsløst setningstall  
 $m$  = modultall.

Setningstallet,  $S$ , kan utledes for de forskjellige jordarter med sin karakteristiske spenningseksponent. I ref./2/ er  $S$  vist i diagram som funksjon av  $p_o'$  og  $p_n'$ .

Fra disse data kan modultallet beregnes.

$$m = S \frac{p_n' B}{p_a \delta}$$

Utførte  
målinger

Forsøkene med feltkompressometeret er utført i punkt X607 840-20 m Ø, med forsøk i tilsammen 9 nivåer ned til 14 m dybde. Pga. fast grunn var det umulig å skru platen videre ned. Oversikt over forsøksnivåene er vist sammen med resultatene i tabell i bilag 14.

I hvert forsøksnivå er det påført 5 lasttrinn, med netto tilleggslast på  $p_n' = 52$  kPa, 105 kPa, 209 kPa, 314 kPa og 419 kPa. Trinntiden er ca. 15 min. for hvert trinn, avhengig av om konsolideringen var avsluttet.

Til resultatene skal anmerkes:

Skruplateforsøket i 2 m dybde er antakelig feil. Plata sto fast og utstyret måtte trekkes opp. Forsøket i 3 m dybde er antakelig påvirket av humuslag.

## 5. GRUNNFORHOLD

**Terreng**            Terrenget omkring jernbaneskjæringen i det undersøkte område er plant, med høyder fra +6,45 til +7,38 i borpunktene. Laveste punktet er vest for jernbanen.

Jernbanelinjen er i skjæringa senket til kote +1,16 topp skinne ved tunnelportalen i nordre ende av området, og skjæringsbredde for jernbanen er ca. 20 m i toppen (ved nåværende terreng).

Ifølge kart stiger terrenget til ca. kote +10,0 sydligst i området, på østsiden av jernbanen mot E6.

**Løsmasser**        Sonderingsmotstanden er generelt stor i øverste ca. 2,5 - 3,0 m i alle punktene.

I punkt X607 680 - 20 m Ø er det lav mostand fra 4 - 12 m dybde under terreng, men er deretter jevnt stigende.

I punkt X607 760 - 20 m Ø er motstanden i gjennomsnitt jevnt økende fra 3 m dybde, men resultatet viser svært varierende og ujevn motstand som indikerer utpreget lagdeling, med varierende grove og finere lag.

I punkt X607 840 - 20 m Ø er motstanden mer jevnt økende fra ca. 3 m dybde, med unntak av et lag fra 18 - 21 m dybde.

Prøvetakingen i punkt X607 840 - 20 m Ø viser at grunnen i hovedtrekk består av sand til ca. 22 m dybde.

I dybde 1 - 2 m, 6 - 8 m og 17 - 18 m er det



grov sand. Ellers i profilet er massen lagdelt med tynne lag av fin siltig og middels sand. Øverste 3 m er antatt oppfylt masse.

Vanninnholdet er i størrelse 20 - 35% for materialet under grunnvannstanden.

Det er observert humuslag i enkelte prøver, helt ned til dypeste prøve. Glødetapsforsøk på prøver i dybde 2 - 3 m, 3 - 4 m og 4 - 5 m, viser humusinnhold på henholdsvis 0,81%, 1,7% og 0,96%.

For mer detaljert beskrivelse av prøvene henvises til borprofilet i bilag 7.

Beskrivelsen av prøvene fra grunnundersøkelsene i 1957 viser tilsvarende grunnforhold i de øvre lag. (De tidligere undersøkelsene ble ikke ført så dypt som nå.)

#### Fjell

Fjell er ikke påvist i noen av borpunktene, og må forventes å ligge heller dypt i det undersøkte området.

#### Grunnvannstand

Grunnvannstanden er målt 3 ganger etter plassering av målerne. Alle målingene har vist stabil grunnvannstand.

Innflytelse av tidevannet på målingen er ikke undersøkt.

Resultatet av målingen utført hittil er vist i tabell 1 side 10.

#### Setningsparametre

Setningsparametre i løsmassene er målt med feltkompressometeret og ved ødometerforsøk.

Last - deformasjonskurvene fra kompressometer-

forsøkene er opptegnet samlet i bilag 12.

For hvert forsøk er modultallet beregnet for netto tilleggslast på  $p_n = 80$  kPa, som omtrent tilsvarer last fra planlagt ca. 3 - 4 m oppfylling på området. Resultatene er vist i tabell 2 side 10 og i diagram i bilag 13.

Resultatet fra ødometerforsøkene er også inntegnet i bilag 13.

Resultatene fra feltkompressometeret viser at det er høye modultall over ca. 5 m dybde. Over 8 m er det ikke utført ødometerforsøk pga. grov masse.

I de mer finsandige lagene, der laboratorie- og feltforsøkene er sammenlignet, er resultatene i samme størrelsesorden, men noe høyere for feltforsøket.

Fra 12 m dybde øker modultallet fra kompressometeret sterkt, antakelig pga. lokale grovere lag. Resultatet i 12 m dybde avviker derfor en del fra ødometerforsøket i dybde 11.35 m. Ødometerresultatet i 12.65 m dybde er antakelig forstyrret og er derfor ikke tatt med i diagrammet.

Som data for setningsberegning, både for fundamenter og ved oppfylling, vil vi foreslå benyttet følgende:

- $m = 200$  i dybde 0 - 5 m,
- $m = 100$  i dybde 5 - 12 m og
- $m = 200$  dypere enn 12 m (minst til 30 m dybde kfr. sonderingen).

Nedre grense for konsolideringskoeffisienten, er i størrelse  $C_v = 70 - 150 \text{ m}^2/\text{år}$  for de aktuelle tilleggslastningene. Pga. små totale deforma-

sjoner i ødometeret, er  $C_v$  vanskelig å tolke og varierer mye fra lasttrinn til lasttrinn.

Punkt	Terreng	Spiss	G.V.
607 680 - 20 m Ø	+7,38	+1,88	+2,90
607 760 - 20 m Ø	+7,19	+2,69	+3,26
607 840 - 20 m Ø	+7,32	+2,82	+3,37
607 835 - 60 m Ø	+7,32	+2,82	+3,50
607 840 - 40 m V	+6,45	+1,95	+3,20

Tabell 1. Måling av grunnvannstand, November 1989:

Dybde (m)	$p_o$ (kPa)	modultall for $p_n = 80$ kPa
2	40	11 520
3	60	58
4	70	480
5	80	369
6	90	132
8	110	174
10	130	130
12	150	384
14	170	711

Tabell 2. Resultat fra feltkompressometerforsøk

## 5. REFERANSER

- /1/:            Institutt for geoteknikk og fundamenterings-  
                 lære - NTH. Brukerveiledning for feltkom-  
                 pressometeret, sept. 1973.
- /2/:            Institutt for geoteknikk og fundamenterings-  
                 lære - NTH. Feltkompressometeret - prinsipper  
                 og praktisk anvendelse. Kursdagene ved NTH 1973.



**Kummeneje**

Rådgivende ingeniører i  
Geoteknikk og Ingeniørgeologi

LUFTFARTSVERKET  
TRONDHEIM LUFTHAVN - VÆRNES  
Terminalutvidelse/ Jernbanetunnel

OVERSIKTSKART

Kartblad : STJØRDAL 1621 I  
UTM-ref. : NR 956 379

MALESTOKK

1 : 50000

TEGNET/KONTR

SW/

DATO  
21.11.89

OPPDRA

7667

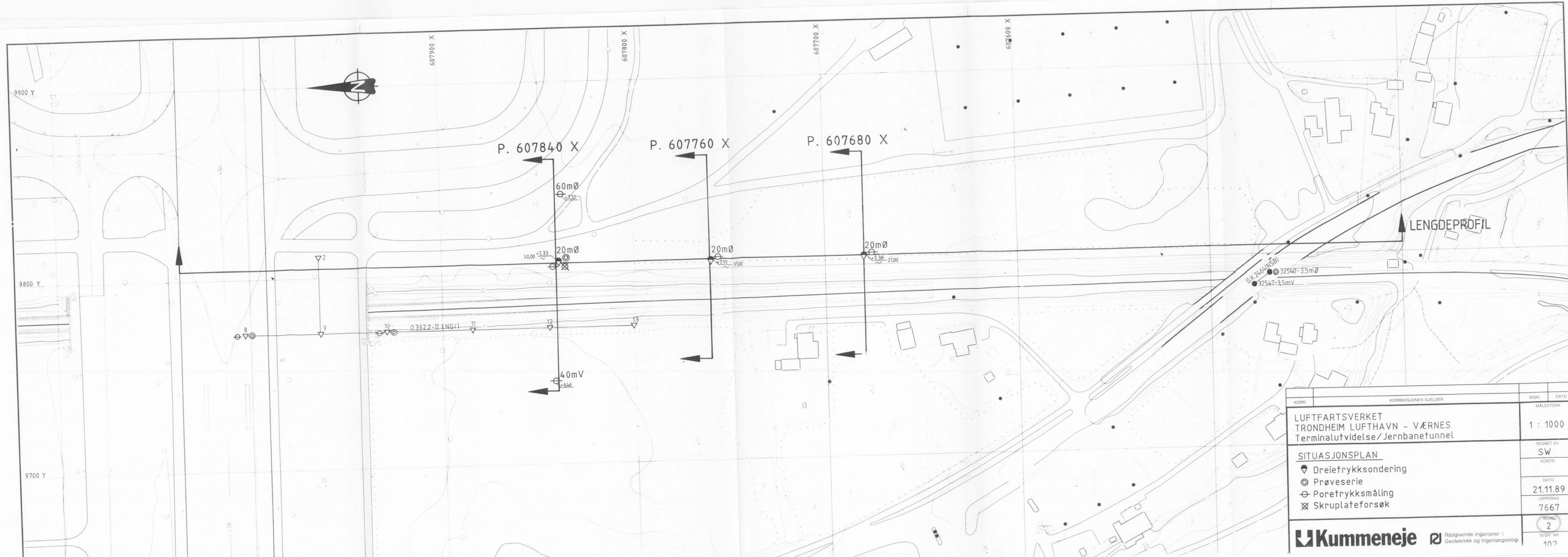
BILAG

1

TEGN. NR

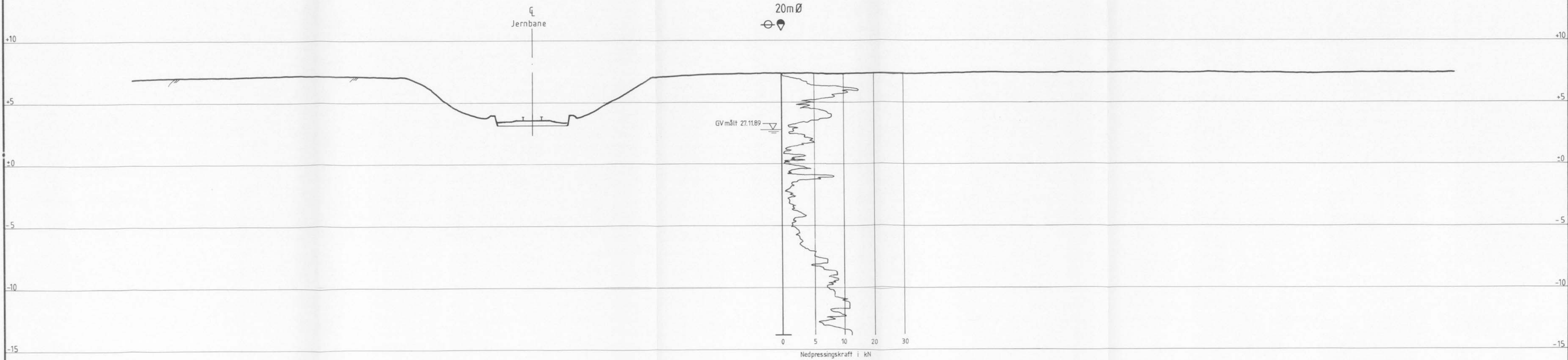
101





KORR	KORREKSJONEN GJELDER	SIGN	DATO
LUFTFARTSVERKET TRONDHEIM LUFTHAVN - VÆRNES Terminalutvidelse/ Jernbanetunnel		MALESTOKK	1 : 1000
SITUASJONSPLAN		TEGNET AV SW	KONTR
● Dreietrykksondering		DATO	21.11.89
◎ Prøveserie		OPDRAG	7667
⊖ Poretrykksmåling		BILAG	2
⊗ Skruplateforsøk		TEGN NR	107
Kummeneje Rådgivende ingeniører i Geoteknikk og Ingeniørgeologi			

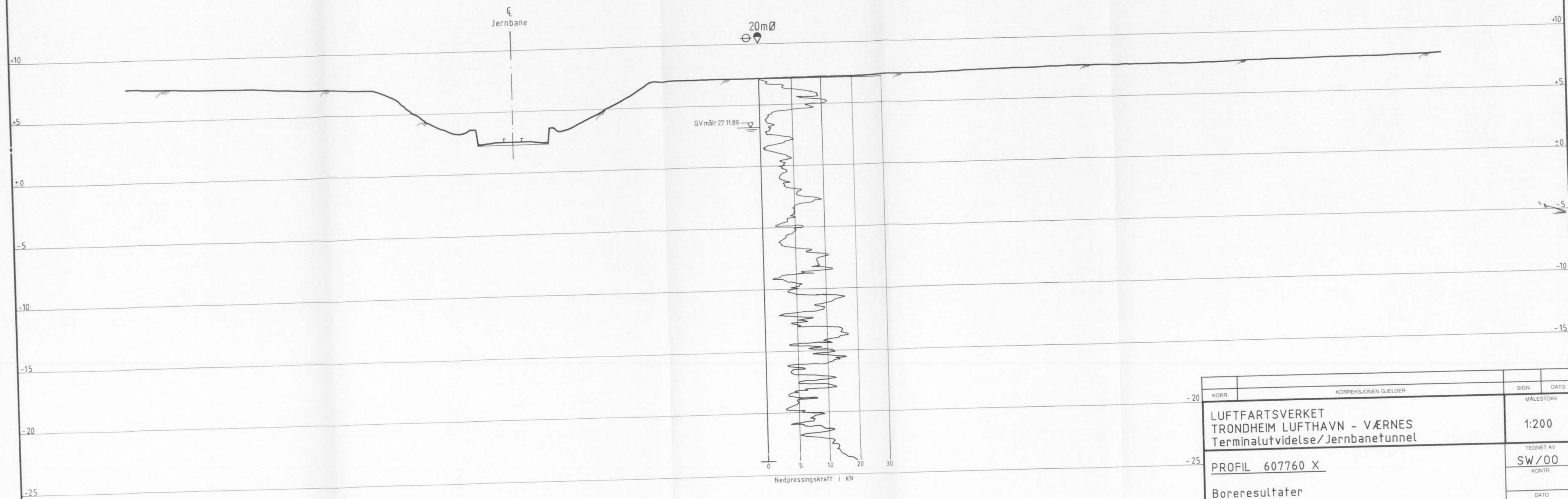
PROFIL 607680 X



KORR.	KORREKSJONEN GJELDER	SIGN.	DATO
LUFTFARTSVERKET TRONDHEIM LUFTHAVN - VÆRNES Terminalutvidelse/Jernbanetunnel		MÅLESTOKK	1:200
PROFIL 607680 X		TEGNET AV	SW/00
Boreresultater		KONTR.	
		DATO	24.11.89
		OPPDRAK	7667
Kummeneje		BILAG	3
Rådgivende ingeniører i Geoteknikk og Ingeniørgeologi		TEGN. NR.	103



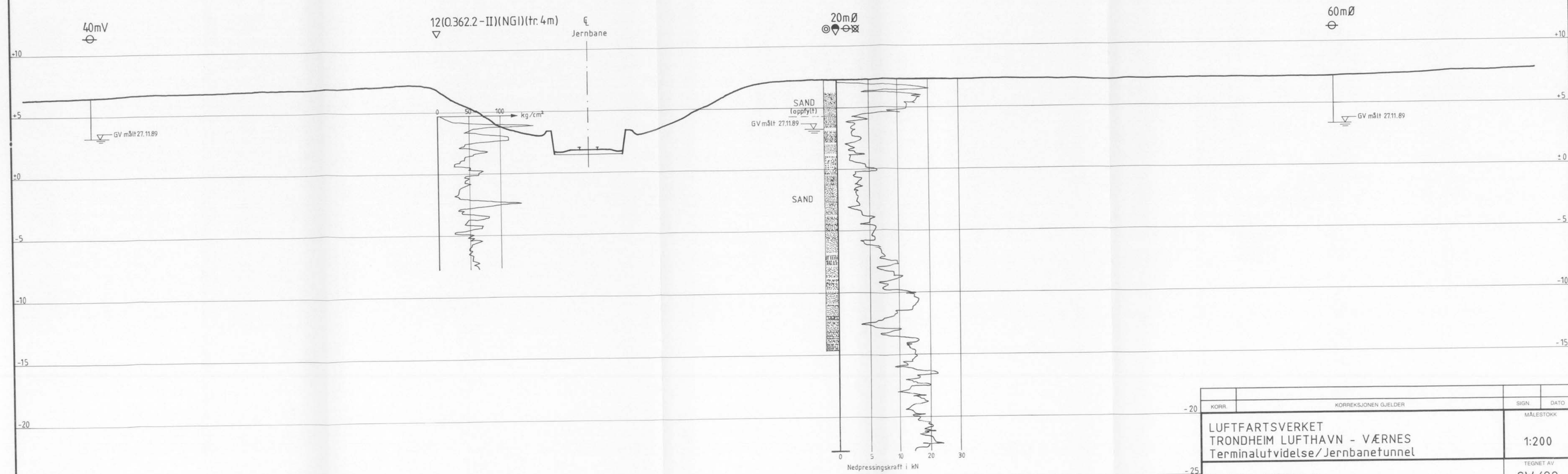
PROFIL 607760 X



KORR	KORREKSJONEN GJELDER	SIGN.	DATO
-20	KORR		
LUFTFARTSVERKET TRONDHEIM LUFTHAVN - VÆRNES Terminalutvidelse/Jernbanetunnel		MÅLESTOKK 1:200	
PROFIL 607760 X		TEGNET AV SW/00	
Boreresultater		KONTR.	
		DATO 27.11.89	
		OPPDRA 7667	
		BILAG 4	
Kummeneje		Rådgivende ingeniører i Geoteknikk og Ingeniørgeologi	
		TEGN. NR. 104	



PROFIL 607840 X

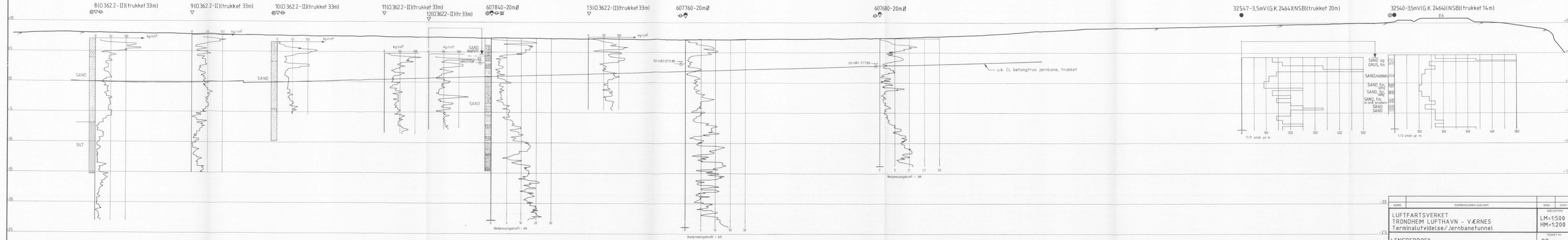




KORR.	KORREKSJONEN GJELDER	SIGN.	DATO
LUFTFARTSVERKET TRONDHEIM LUFTHAVN - VÆRNES Terminalutvidelse/Jernbanetunnel		MALESTOKK 1:200	
PROFIL 607840 X		TEGNET AV SW/00	
Boreresultater		KONTR.	
		DATO 27.11.89	
		OPPDRAK 7667	
		BILAG 5	
		TEGN. NR. 105	

## LENGDEPROFIL

◀ NORD

SØR →



20	KORR	KORREKSJONEN GJELDER	SIGN.	DATO
	LUFTFARTSVERKET TRONDHEIM LUFTHAVN - VÆRNES Terminalutvidelse / Jernbanetunnel		MÅLESTOKK LM=1:500 HM=1:200	
25	LENGDEPROFIL Boreresultater		TEGNET AV 00 KONTR. DATO 29.11.89 OPPDRAG 7667 BILAG 6 TEGN. NR. 106	
	 <b>Kummeneje</b>  Rådgivende ingeniører i Geoteknikk og Ingeniørgeologi			



Dybde, m	Jordart	Sign	Lab nr	Vanninnhold (w) i %				$\gamma$ kN/m <sup>3</sup>	Udrenert skjærstyrke ( $s_u$ ) i kN/m <sup>2</sup>					St
				20	40	60	80		10	20	30	40	50	
5	SAND, grusig, humush.		01					Ogl K						
	(oppfylt) humush.		02					Ogl						
	humuslag		03					Ogl K	17,1					
	m.store partier av finsand og silt		04					K	18,8					
	humuslag		05						19,6 (19,5)					
10	middels, m.grovsandlag		06					K	19,8					
	grov, mellomsandig		07						20,9 (18,4)					
	fin, siltig, humusflekker		08					Ø	19,1 (18,7)	(Ø)				
	middels, finsandig, humusfl.		09					Ø K	20,0 (19,1)					
	SAND, fin, siltig, siltpartier		10						18,9 (18,4)					
15	middels fin humuslag		11					K Ø	19,5 (18,1)					
	middels, m.humuslag		12					Ø	19,2 (18,1)					
	fin, m.humuslag		13						20,2					
	middels-grov		14						19,5 (19,7)	(Ø)				
	fin, m.siltige partier		15					K	20,1 (18,6)					
20	middels fin, m.siltlag		16						20,6 (19,0)	(Ø)				
	middels fin		17						20,2					
	grov, mellomsandig		18					K Ø	20,0 (18,6)					
	middels, m.finsandlag humuslag		19						21,2 (19,0)	(Ø)				
	fin mellomsandlag humuslag		20						20,3					
	middels, m.finsand og siltpartier humuslag		21						19,8 (17,7)	(Ø)				

Enkelt trykkforsøk:  $\sigma_1 - \sigma_3$  (strek angir def.% v/brudd)    Konusforsøk - Omrørt/Uforstyrret:  $\nabla / \nabla$   
 Penetrometerforsøk:  $\square$     Konsistensgrenser:  $W_p \rightarrow W_L$     Andre forsøk:  
 T = Treksialforsøk    Ø = Ødometerforsøk    K = Kornfordeling    Ogl = Organisk materiale v/glødetap

**Kummeneje**

Rådgivende ingeniører i  
Geoteknikk og Ingeniørgeologi

LUFTFARTSVERKET  
TRONDHEIM LUFTHAVN - VÆRNES  
Terminalutvidelse/Jernbanetunnel

BORPROFIL HULL: 607840X  
20m Ø

Terr.høyde: +7,33    Prøve Ø: 54mm

DATO  
11/89

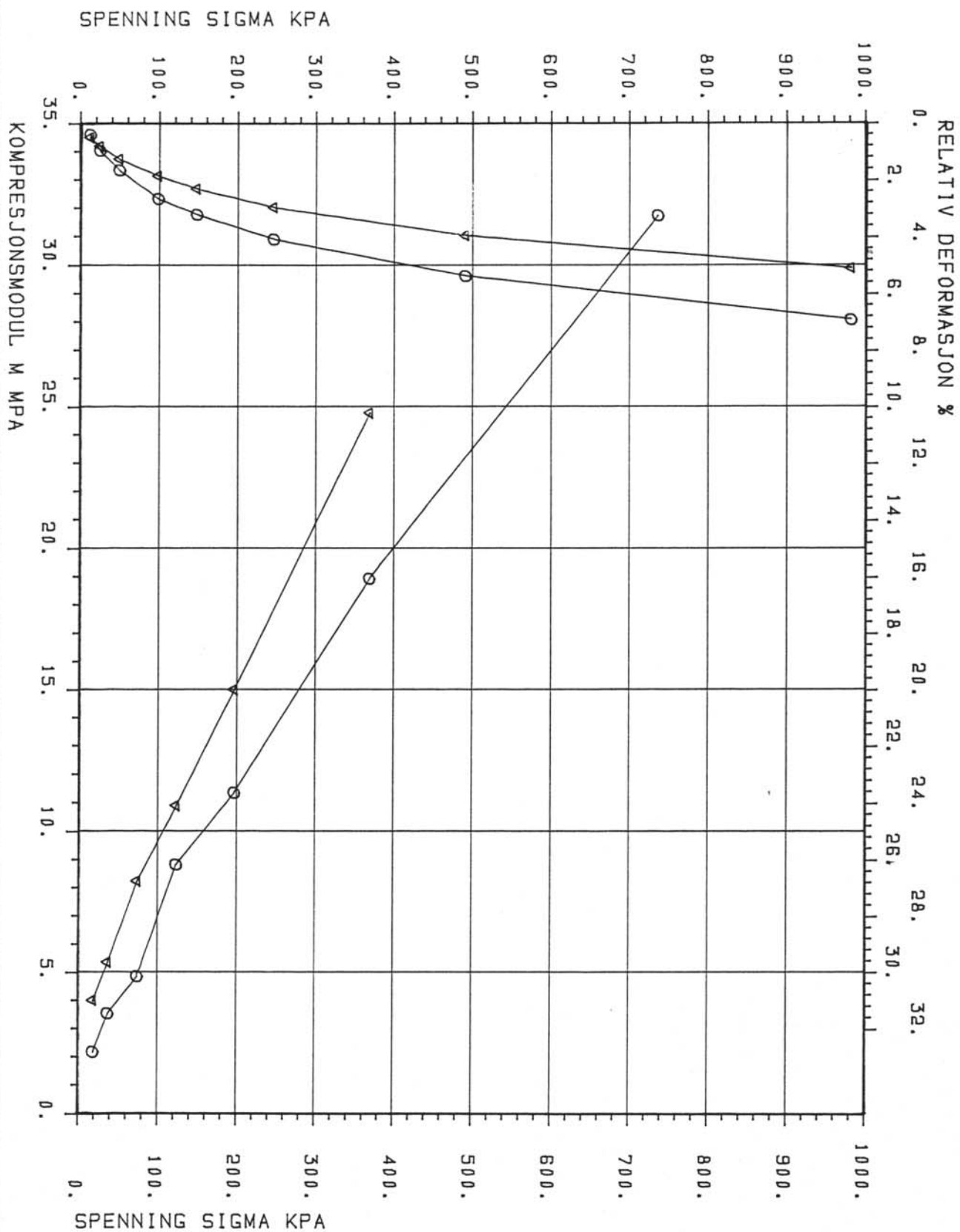
TEGNET AV  
K.St./SW

KONTR

OPPDRAG  
7667

BILAG  
7

TEGN. NR.  
107



○ LAB. 08 HULL X607840 D=8.50m SAND, fin

△ LAB. 09 HULL X607840 D=9.65m SAND, fin-siltig

**Kummeneje**

Rådgivende ingeniører i  
Geoteknikk og Ingeniørgeologi

LUFTFARTSVERKET  
TRONDHEIM LUFTHAVN - VÆRNES  
Terminalutvidelse/Jernbanetunnel

ØDOMETERFORSØK

MÅLESTOKK

—

TEGNET AV  
K.St.

DATO  
28.11.89

OPPDRA

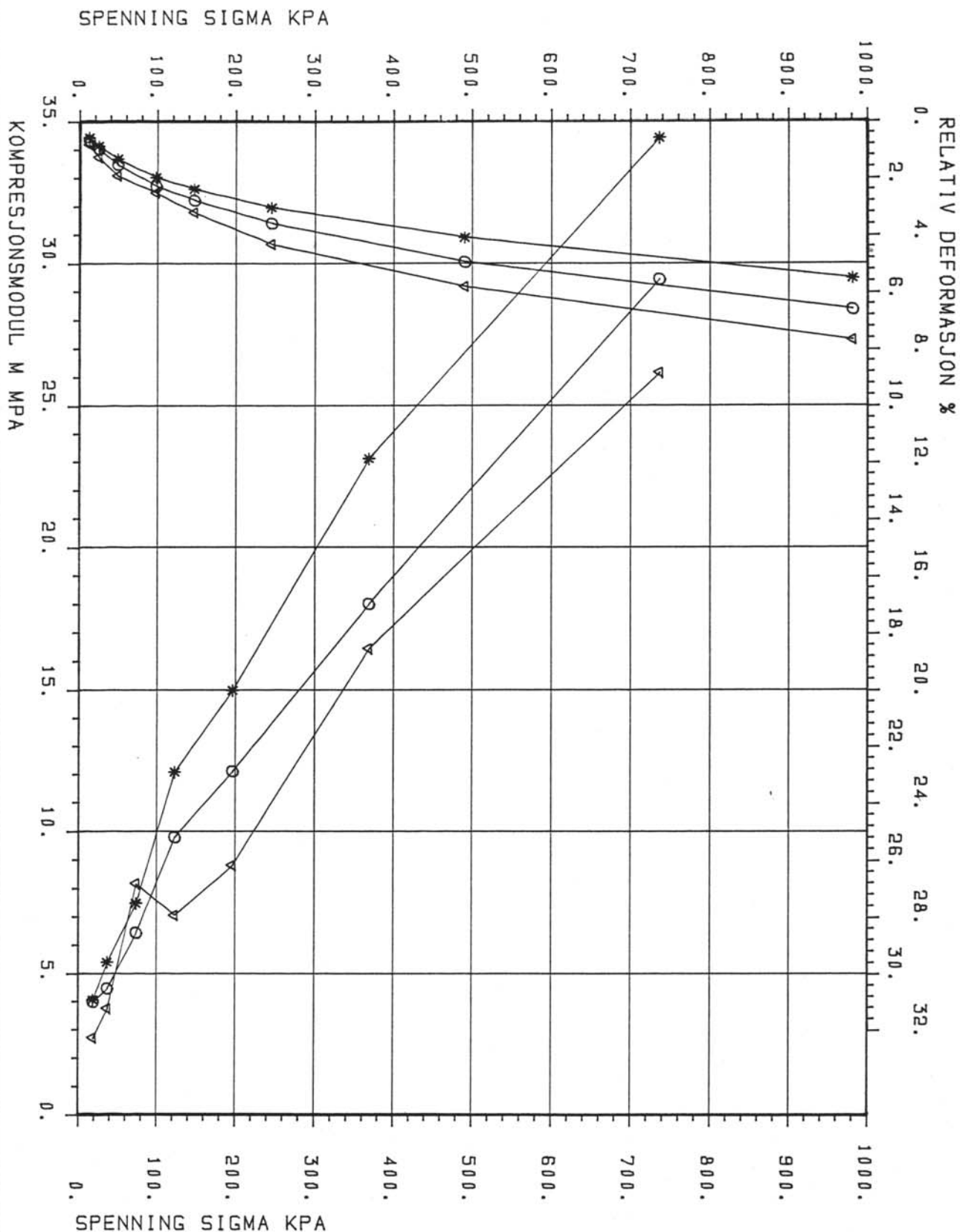
7667

BILAG

8

TEGN. NR

108



- LAB. 11 HULL X607840 D=11.35m SAND, fin  
 ▽ LAB. 12 HULL X607840 D=12.65m SAND, fin  
 \* LAB. 18 HULL X607840 D=18.60m SAND, fin

**Kummeneje**

Rådgivende ingeniører i  
Geoteknikk og Ingeniørgeologi

LUFTFARTSVERKET  
TRONDHEIM LUFTHAVN - VÆRNES  
Terminalutvidelse/Jernbanetunnel

ØDOMETERFORSØK

MÅLESTOKK

—

TEGNET AV

K.St.

DATO

28.11.89

OPPDRA

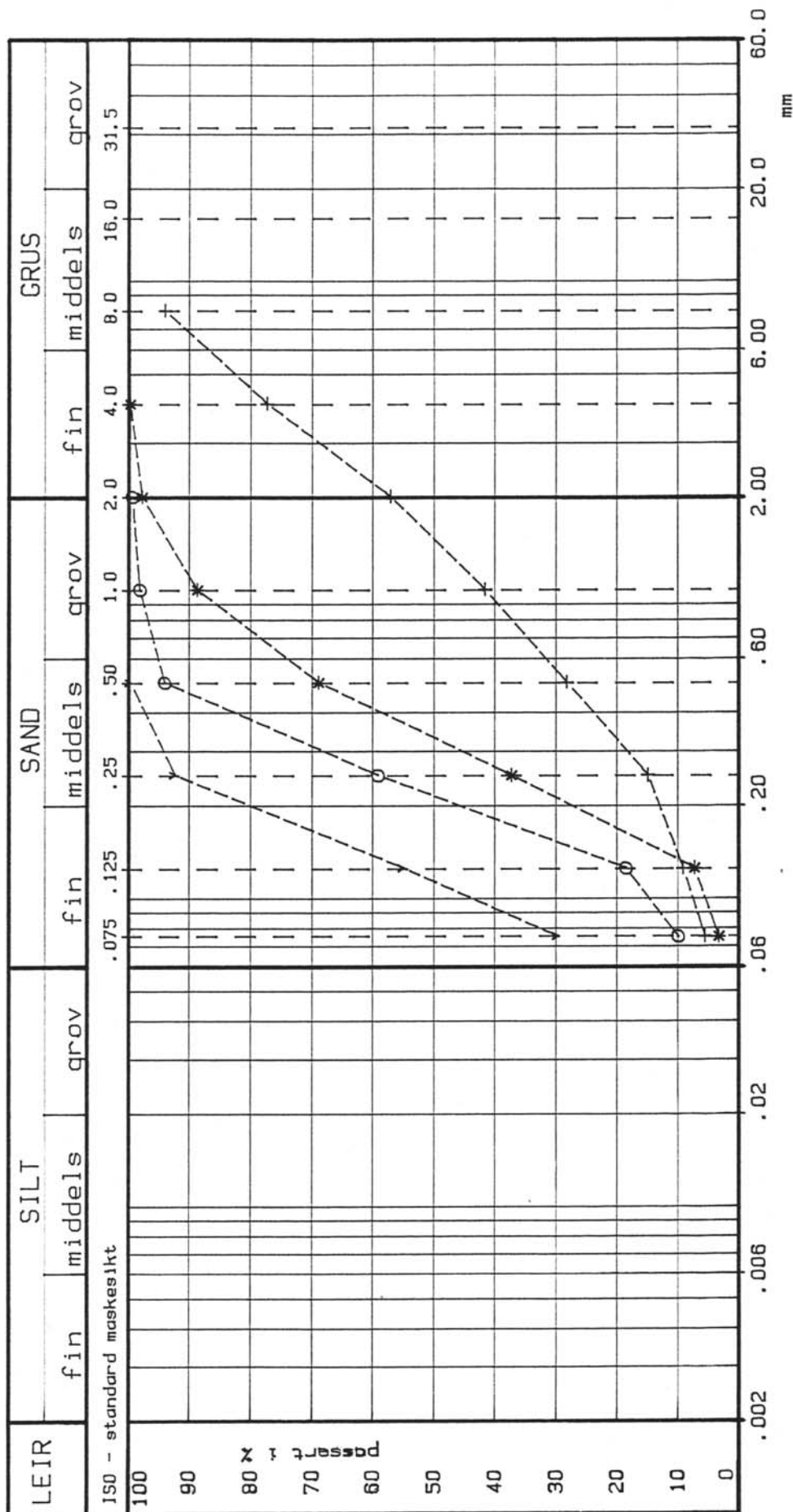
7667

BILAG

9

TEGN NR

109



**Kummeneje**

**R** Rådgivende ingeniører i  
Geoteknikk og Ingeniørgeologi

LUFTFARTSVERKET  
TRONDHEIM LUFTHAVN - VÆRNES  
Terminalutvidelse/Jernbanetunnel

KORNFORDELING

MALESTOKK

—

OPPDRA

7667

TEGNET AV

K.St.

BILAG

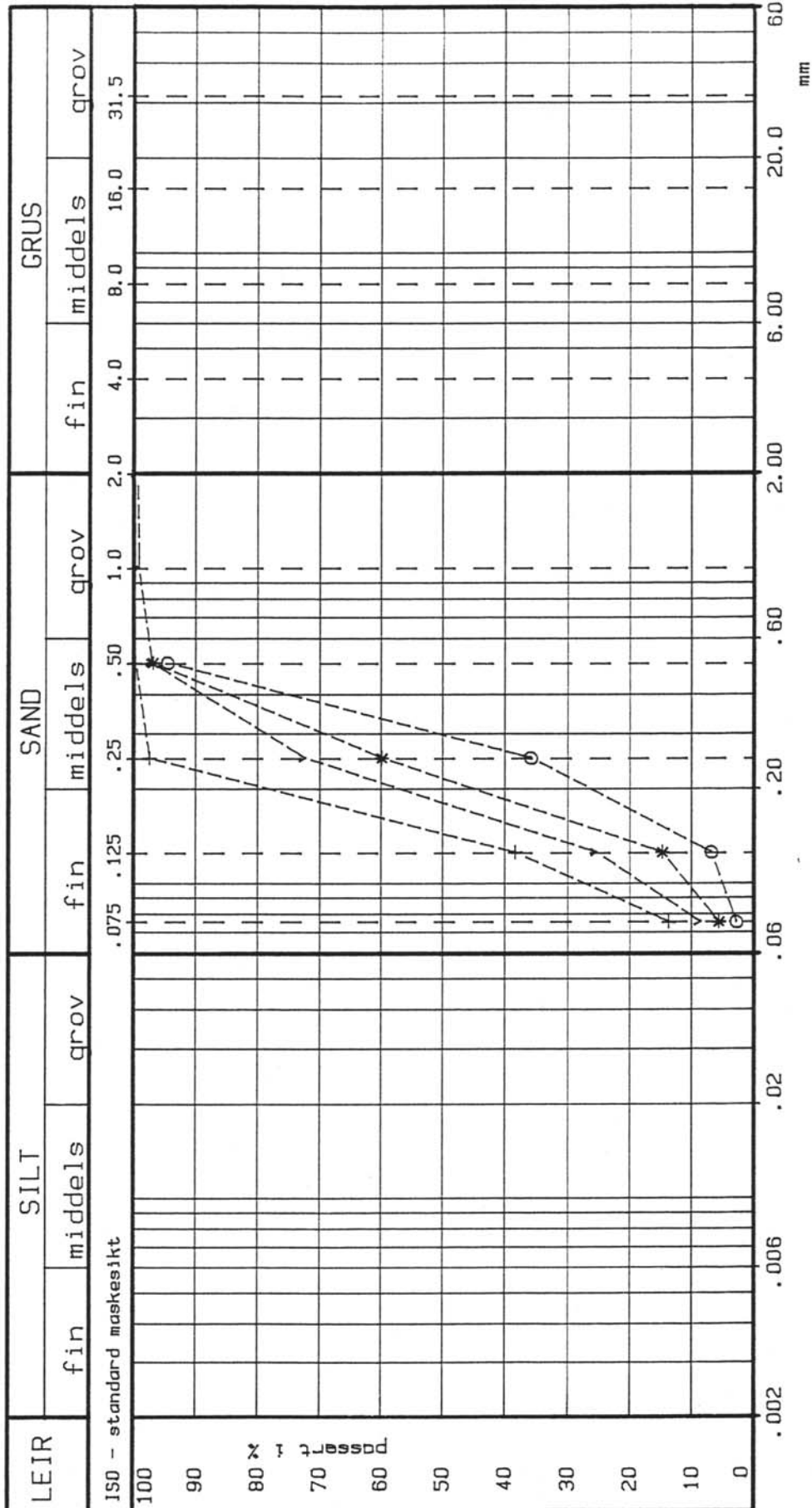
10

DATO

29.11.89

TEGN NR

110



SAND, siltig

SAND

SAND

SAND

dybde 9.35m

dybde 11.5m

dybde 15.45m

dybde 18.45m

09

lab.

lab.

lab.

lab.

X607840

X607840

X607840

X607840

hull

hull

hull

hull

+ > O \*

**Kummeneje**

Rådgivende ingeniører i  
Geoteknikk og Ingeniørgeologi

LUFTFARTSVERKET  
TRONDHEIM LUFTHAVN - VÆRNES  
Terminalutvidelse/Jernbanetunnel

KORNFORDELING

MALESTOKK

TEGNET AV

K.St.

DATO

29.11.89

OPPDRAG

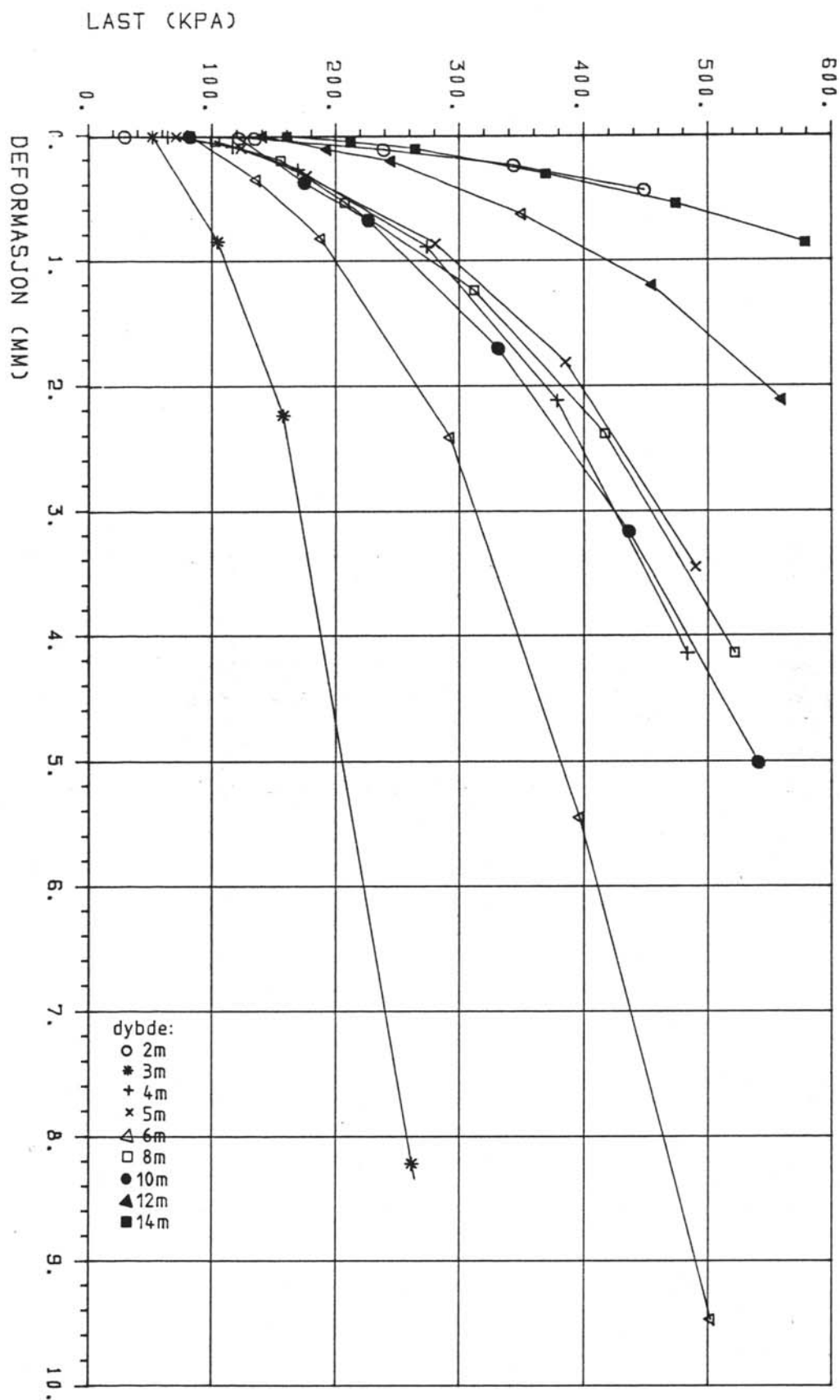
7667

BILAG

11

TEGN. NR

111



**Kummeneje**

Rådgivende ingeniører i  
Geoteknikk og Ingeniørgeologi

LUFTFARTSVERKET  
TRONDHEIM LUFTHAVN - VÆRNES  
Terminalutvidelse/Jernbanetunnel

Feltkompressometer  
Last mot deformasjon  
for alle forsøk

MÅLESTOKK

—

TEGNET/KONTR.

K.Eg.

DATO

29.11.89

OPPDRAG

7667

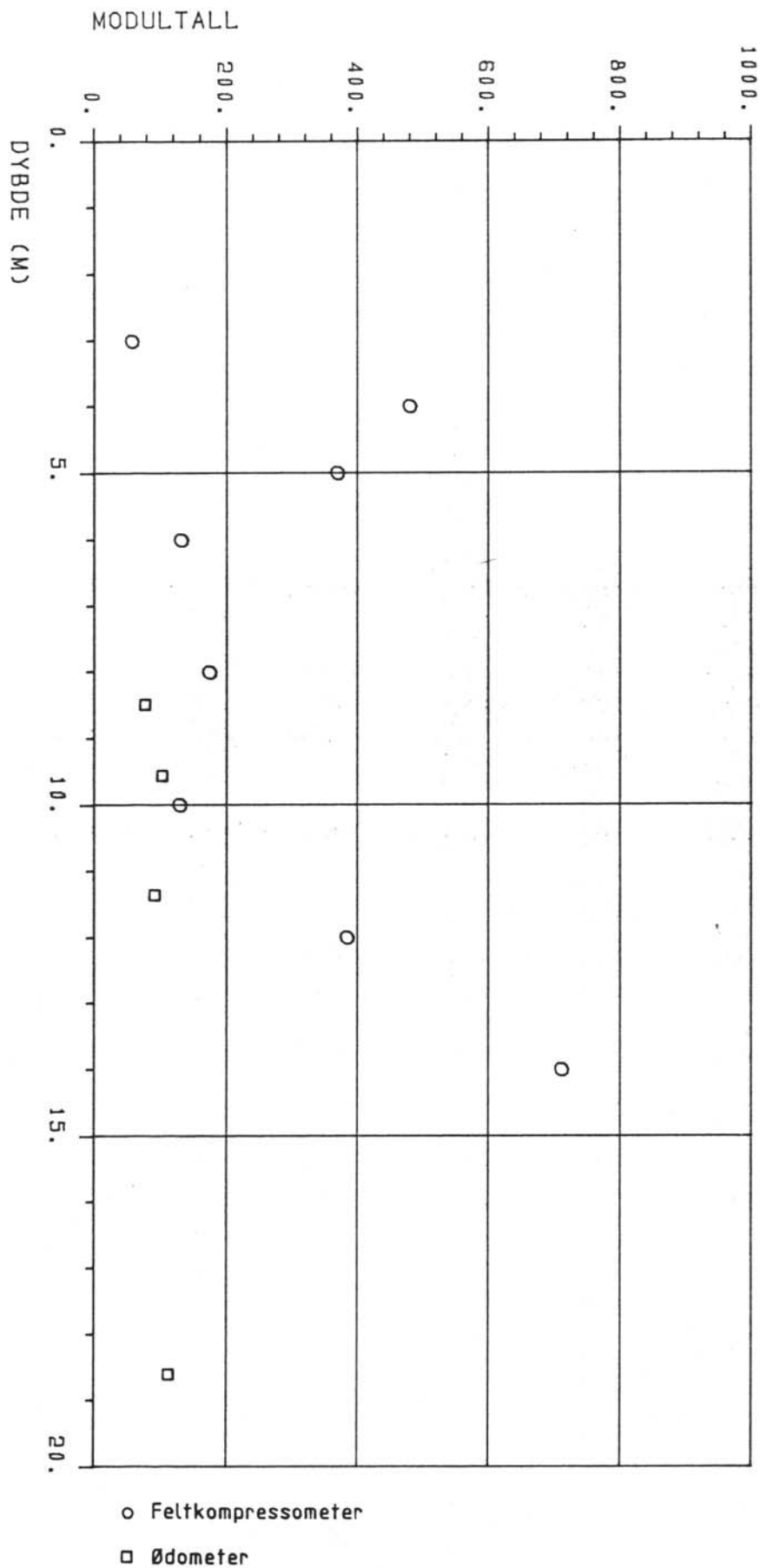
BILAG

12

TEGN. NR

112





**Kummeneje**

Rådgivende ingeniører i  
Geoteknikk og Ingeniørgeologi

LUFTFARTSVERKET  
TRONDHEIM LUFTHAVN - VÆRNES  
Terminalutvidelse/Jernbanetunnel

Feltkompressometer  
modultall mot dybde for  
 $p_n = 80 \text{ kPa}$

MÅLESTOKK

—

TEGNET/KONTR.

K.Eg.

DATO

29.11.89

OPPDRAK

7667

BILAG

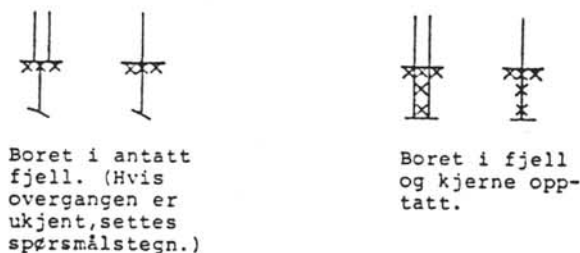
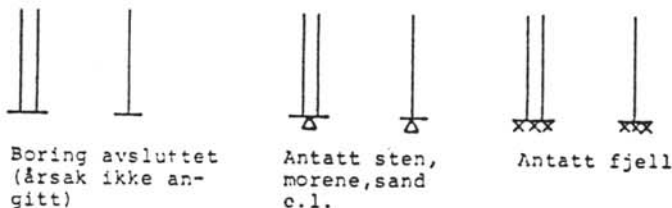
13

TEGN. NR.

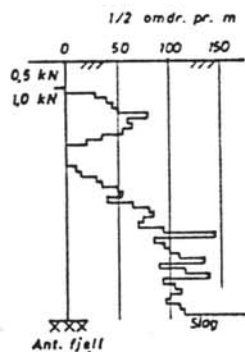
113

Sonderinger utføres for å få en orientering om grunnens relative fasthet, lagdeling og dybder til antatt fjell eller annen fast grunn.

AVSLUTNING AV BORING (GJELDER ALLE SONDERINGSTYPER).



● **Dreiesondering**  
utføres med 22 mm stålstenger med glatte skjøter påsatt en 200 mm lang spiss av firkantstål som er tilspisset i enden og vridd en omdreining. Boret belastes med inntil 1 kN og hvis det ikke synker for denne last, dreies det ned med motor eller for hånd. Antall halve omdreininger pr. 20 cm synkning noteres. Ved opp-tegninger vises antall halve omdreininger pr. meter synkning grafisk med dybden i borchullet og belastningen angis til venstre for borchullet.



○ **Enkel sondering**  
består av slagboring med lett fjellboremaskin eller spyleboring til fast grunn eller fjell. Ved slagboring med en spesiell spiss kan ned-synkingshastigheten registreres som funksjon av dybden som uttrykk for boremotstanden. Myrddybden bestemmes ved hjelp av en lett myr-dybdeprøvetaker som presses ned til antatt myrbunn hvor prøve tas for kontroll.

▼ **Ramsondering**  
utføres med 32 mm stålstenger med glatte skjøter og en normert spiss. Boret rammes ned i grunnen av et fall-lodd med vekt 0,635 kN og konstant fall-høyde 0,6 m. Mot-standen mot ned-ramming regis-treres ved antall slag pr. 20 cm synkning.



Rammemotstanden

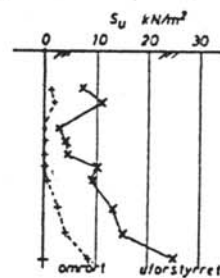
$Q_0 = \frac{\text{Loddvekt} \times \text{fallhøyde}}{\text{synkning pr. slag}}$  (kNm/m) angis i diagram som funksjon av dybden.

⊙ **Fjellkontrollboring**  
utføres med 32 mm stenger med muffeskjøter og hardmetallkrone nederst. Boret drives av en tung trykkluftdrevet borhammer under spyling med vann av høyt trykk. Når fjell er nådd, bores noe ned i fjellet, vanligvis ca. 3 meter, under registrering av borsynk for sikker på-visning.

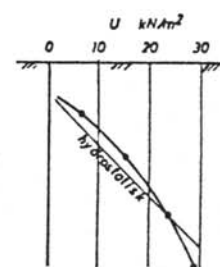
⊙ **Prøvetaking**  
utføres for undersøkelse i laboratoriet av grunnens geotekniske egenskaper. Uforstyrrede prøver tas opp med NGI's 54 mm stem-pelprøvetaker. Prøvene skjæres ut med tynnveggede stålsylindere med innvendig diameter 54 mm og lengde 80 cm (evt. 40 cm). Prøvene forsegles i begge ender for å hindre uttørring før de åpnes i laboratoriet.

Representative prøver tas med forskjellige typer støtbor- og ram-prøvetaker, ved sandpumpe i nedspylte eller nedrammede foringsrør, av opp-spylt materiale ved nedspyling av foringsrør og ved skovlboring i de øvre lag. Slike prøver tas hvor grunnen ikke egner seg for vanlig sylindrer-prøvetaker og hvor slike prøver tilfredsstiller formålet.

+ **Vingeboring**  
bestemmer udrenert skjærstyrke ( $s_u$ ) av leire direkte i marken (in situ). Måling utføres ved at et vingekor, som er presset ned i grunnen, dreies rundt med bestemt jevn hastighet til brudd i leira. Maksimalt dreiemoment gir grunnlag for å beregne leiras u-drenerte skjærstyrke, som også måles i om-rørt tilstand etter brudd.

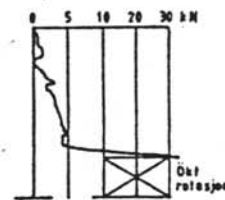


⊖ **Porevanntrykket**  
i grunnen måles med et piezometer. Dette består av et sylindrisk filter ned til ønsket dybde ved hjelp av rør. Vann-trykket ved filteret registreres enten hy-draulisk som stighøyden i en plastslange inne i røret (ved overtrykk påsettes manometer over terreng) eller elektro-nisk ved hjelp av en direkte trykkmåler innenfor filtret.



⊖ **Grunnvannstanden** observeres vanligvis direkte ved vannstand i borchullet.

⊖ **Dreietrykksondering**  
utføres med 36 mm glatte skjøtbare stålstenger påsatt en normert spiss. Borstangen trykkes ned med konstant hastighet 3 m/min. og konstant rotasjon 25 omdr./min. Sonderingsmotstanden registreres som den til en hver tid nødvendige nedpres-ningskraft for å holde nor-mert nedtrengningshastighet. Når motstanden øker slik at normert nedtrengningshastig-het ikke kan opprettholdes, økes rotasjonshastigheten. Dette anføres i diagrammet.



## LABORATORIEUNDERSEKELSER.

Ved åpning av prøven beskrives og klassifiseres jordarten. Videre kan bestemmes:

**Romvekt**  
( $\gamma$  i kN/m<sup>3</sup>) for hel sylinder og utskåret del.

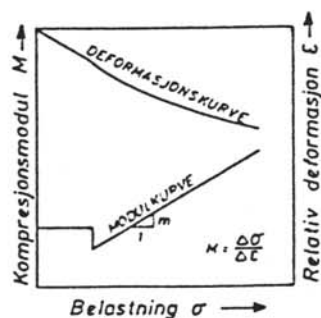
**Vanninnhold**  
(w i %) angitt i prosent av tørrvekt etter tørking ved 110 °C.

**Flytegrense**  
( $w_L$  i %) og **utvullingsgrense** ( $w_p$  i %) som angir henholdsvis høyeste og laveste vanninnhold for plastisk (formbart) område av leirmateriale. Differansen  $w_L - w_p$  benevnes **plastisitetssindeks**. Er det naturlige vanninnhold over flytegrensen, blir materialet flytende ved omrøring.

**Udrenert skjærstyrke**  
( $s_u$  i kN/m<sup>2</sup>) av leire ved hurtige enaksiale trykksøk på uforstyrrede prøver med tverrsnitt 3,6 x 3,6 cm<sup>2</sup> (evt. hel prøve) og høyde 10 cm. Skjærstyrken settes lik halve trykklastet. Dessuten måles skjærstyrken i uforstyrret og omrørt tilstand ved konusforsøk, hvor nedsynkningen av en konus med bestemt form og vekt registreres og skjærstyrken tas ut av en kalibreringstabell. Penetrometer, som også er en indirekte metode basert på innsynkning, brukes særlig på fast leire.

**Sensitiviteten** (S)  
er forholdet mellom udrenert skjærstyrke av uforstyrret og omrørt materiale, bestemt på grunnlag av konusforsøk i laboratoriet. Med kvikkleire forstås en leire som i omrørt tilstand er flytende, omrørt skjærstyrke < 0,5 kN/m<sup>2</sup>.

**Kompressibilitet**  
av en jordart ved ødometerforsøk. En prøve med tverrsnitt 20 cm<sup>2</sup> og høyde 2 cm belastes trinnvis i et belastningsapparat med observasjon av sammentrykningen for hvert trinn som funksjon av tiden. Resultatet tegnes opp i en deformasjons- og modulkurve og gir grunnlag for setningsberegning.



**Humusinnhold**  
(relativt) ut fra fargeomslag i en natronlutopløsning.

En nøyaktigere metode er våt-oksydasjon med hydrogenperoksyd der humusinnholdet settes lik vekttapet (evt. glødetapet ved humusrike jordarter) og uttrykkes i vektprosent av tørt materiale.

**Saltinnhold**  
(g/l eller o/oo) i porevannet ved titrering med sølvnitrat-oppløsning og kaliumkromat som indikator.

**Kornfordeling**  
ved sikting av fraksjonene større enn 0,06 mm. For de finere partikler bestemmes den ekvivalente korndiameter ved hydrometeranalyse. En kjent mengde materialer slemmes opp i vann og romvekten av suspensjonen måles i en bestemt dybde som funksjon av tiden. Kornfordelingen kan så beregnes ut fra Stoke's lov om kulers sedimentasjonshastighet.

Fraksjonsbetegnelse	Leir	Silt	Sand	Grus	Stein	Blokk
Kornstørrelse mm	< 0,002	0,002-0,06	0,06-2	2-60	60-600	> 600

**Jordarten**  
benevnes i henhold til korngraderingen med substantiv for den dominerende, og adjektiv for medvirkende fraksjon. Jordarten angis som leire når leirinnholdet er over 15%. Morene er en usortert breavsetning som kan inneholde alle kornstørrelser fra leir til blokk.

**Organiske jordarter**  
klassifiseres etter opprinnelse og omdanningsgrad (torv, gytje, dy, matjord).

	Fjell		Silt		Torv
	Blokk		Leire		Trerester
	Stein		Fyllmasse		Skjell
	Grus		Matjord		Morenelcire
	Sand		Gytje, dy		Grusig morene

## Anmerkning

- T = tørrskorpe
- Leire: F = resedimenterte masser
- K = kvikkleire
- Ved blandingsjordarter kombineres signaturene.
- Morene vises med skyggelegging.
- For konkresjoner kan bokstavsymboler settes inn i materialsignaturen:
  - Ca = kalkkonkresjoner
  - Fe = jernkonkresjoner
  - AH = aurbelle

## SPESIELLE UNDERSØKELSER.

## SPESIELLE MARKUNDERSØKELSER.

## Feltkompressometer

benyttes for undersøkelse av grunnens kompressibilitet direkte i marken. I prinsippet består utstyret av en skrueplate med diameter 16 cm som kan skrus ned til ønsket dybde.

For hver valgt dybde utføres et belastningsforsøk ved hjelp av en jekk og sammenhengen mellom belastning og setning registreres.

Resultatene fremstilles som deformasjonskurver og derav kan beregnes modulertall ( $m$ ) som uttrykk for grunnens kompressibilitet og benyttes ved setningsberegning.

## Permeabilitetsmåling

in situ utføres ved infiltrasjonsforsøk eller prøvepumping. Infiltrasjonsforsøk kan for eksempel utføres ved hjelp av et piezometer som fylles opp med vann og synkehastigheten måles. Ved prøvepumping må vannstanden observeres i flere punkter i forskjellig avstand.

## Korrosjonssondering

utføres med en sonde av stål med isolert magnesiumspiss (NGI's type). Strømstyrke og motstand måles i forskjellige dybder i grunnen og derav kan beregnes en relativ depolarisasjonsgrad samt grunnens spesifikke motstand. Ut fra dette kan korrosjonshastigheten for stål vurderes.

## Feltkontroll av komprimeringsgrad.

Komprimeringsgraden for oppfylt materiale er forholdet mellom oppnådde tørr-romvekt  $\gamma_d$  ved feltkomprimering og maksimal tørr-romvekt  $\gamma_{d \max}$  bestemt ut fra standardiserte komprimeringsforsøk i laboratoriet.

## - Sandvolummeter- og vannvolummetermetoden.

I felten bestemmes  $\gamma_d$  ved å måle volumet av en utgravd prøve og å veie det utgravde materiale i fuktig og tørr tilstand. Volumet av prøven bestemmes ved å fylle det utgravde hull med en tørr sand med kjent romvekt, eller ved å forsegle hullet og fylle det opp med vann. Ut fra kjente data kan således vanninnhold og tørr-romvekt av det utgravde materialet bestemmes. Denne metode kan benyttes i relativt finkornig og ensgradert materiale.

## - Platebelastningsforsøk.

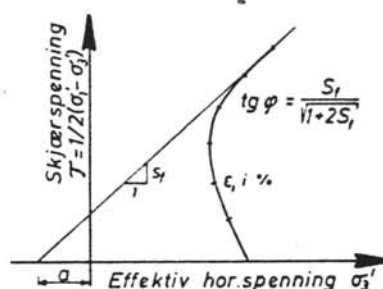
I grov og samfengt masse (grov grus, finsprengt stein o.lign.) gir sandvolummeter og vannvolummetermetoden tilfredsstillende nøyaktighet, og komprimeringen av slikt materiale undersøkes ved å bestemme oppfyllingens elastisitetsmodul ut fra platebelastningsforsøk.

En sirkulær plate med  $\phi = 30$  cm plasseres på den komprimerte grunnen og belastes trinnvis samtidig som nedbøyning av platen måles med spesielt måleutstyr. Samhørende verdier for belastning og nedbøyning avsettes i diagram og elastisitetsmodulen  $E$  beregnes. Den målte elastisitetsmodul sammenholdes med oppsatte krav til elastisitetsmodul ut fra aktuelle belastningsforhold, og forholdet mellom disse verdier betegnes komprimeringsgrad.

## SPESIELLE LABORATORIEUNDERSØKELSER.

## Skjærstyrkeparametrene,

friksjonsvinkel ( $\phi$ ) og attraksjon ( $a$  i  $\text{KN/m}^2$ , evt. kohesjon  $c = a \cdot \tan \phi$ ) bestemmes ved triaksialforsøk på små prøver i laboratoriet. En sylindrisk prøve konsolideres for et allsidig trykk og vertikabelastningen økes deretter til brudd. Under forsøket måles poretrykk, slik at effektive spenninger kan beregnes (totaltrykk minus poretrykk).



Forsøket fremstilles oftest som en vektor i et hovedspenningsdiagram.

## Permeabilitetskoeffisienten

( $k$  i  $\text{cm/s}$ ) er strømningshastigheten for vann gjennom materialet ved en hydraulisk gradient lik 1,0. I laboratoriet måles permeabiliteten ved direkte vanngjennomgangsforsøk på små prøver for konstant eller fallende potensial. Dette kan gjøres i triaksialapparat for finkornige prøver eller i større apparatur for mer grovkornige prøver.

## Maksimal tørr-romvekt og optimalt vanninnhold etter Proctor-metoden.

Ved komprimering av jordartsmateriale oppnåes tetteste lagring av mineralpartiklene, dvs. høyest tørr-romvekt, når vanninnholdet i materialet har en bestemt verdi under komprimeringsarbeidet. Materialets egenskaper som stabilitet øker, og kompressibiliteten avtar med økende lagringstetthet.

I laboratoriet bestemmes det optimale vanninnholdet ved å komprimere prøver av materialet med varierende vanninnhold etter en standardisert forskrift, Proctormetoden. De samvarende verdier for prøvenes vanninnhold og tørr-romvekt beregnes og plottes i et diagram med tørr-romvekt som funksjon av vanninnholdet. Den høyest oppnådde tørr-romvekt betegnes som  $\gamma_{d \max}$  og det tilhørende vanninnhold  $w_{opt}$ .

## CBR-forsøk.

For materialer som inngår i veg- og eller flyplassoverbygning, eller trafikkbelastet grunn forøvrig, kan dimensjonerende bæreevne semiempirisk bestemmes ut fra belastningsforsøk etter CBR-metoden (California Bearing Ratio).

Materialet som skal undersøkes komprimeres lagvis ved optimalt vanninnhold i en sylinder med volum ca. 2,3 l. Komprimeringsarbeidet tilsvarende Modifisert Proctor. Deretter settes sylindren med prøve i vannbad i 96 timer for fullstendig vannmetning. Etter vannmetning påføres prøven belastning ved at et stempel med areal 3  $\text{inch}^2$  med konstant bevegelsehastighet  $= 0,05$   $\text{inch pr. min.}$  presses ned i denne. Rundt stempelen på prøvens overflate er prøven belastet med blyringer med vekt som tilsvarende vekten av evt. overbygning. Stempelkraften ved 0,1" og 0,2" inntrykking av stempelen registreres og sammenlignes med verdier for tilsvarende inntrykking på et referansemateriale. Forholdet mellom den avleste kraft og referansekraften beregnes i prosent og betegnes CBR-verdi. Dersom CBR-verdien ved 0,2" er høyere enn ved 0,1" stempelinntrykking kan denne verdien rapporteres som materialets CBR-verdi hvis dette forhold bekreftes ut fra forsøk på 2 prøver.