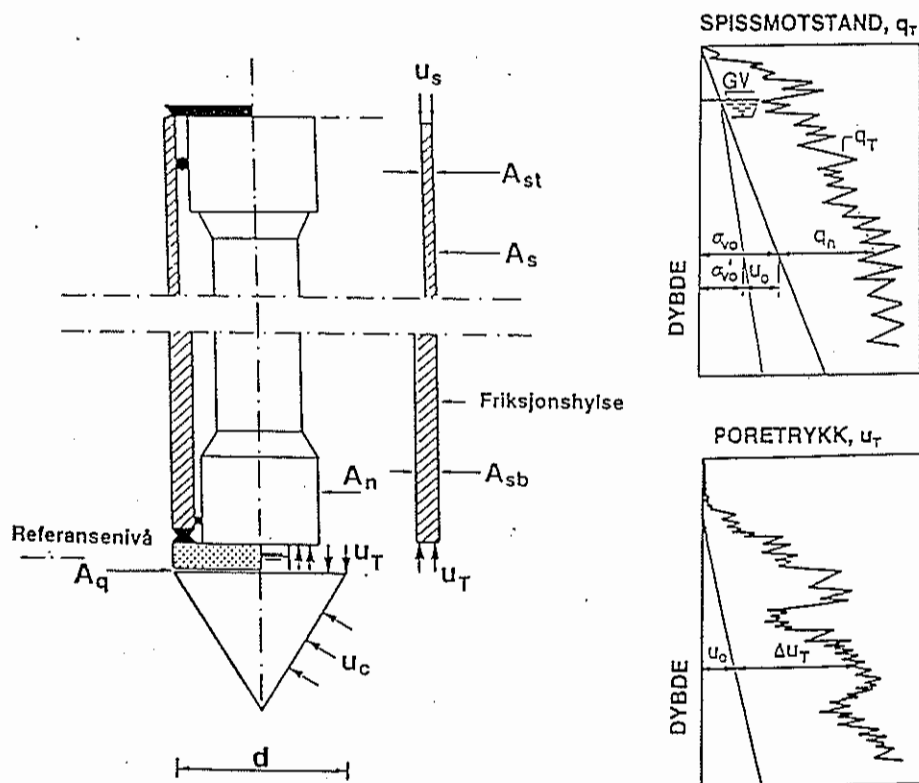


# Intern rapport nr. 1624

Trykksondering (CPT). Tolkning av forsøk.  
Erfaringer. Inlegg på kurs i grunnboring,  
mai 1993.



September 1993

# Intern rapport nr. 1624

## Trykksondering (CPT). Tolkning av forsøk. Erfaringer. Innlegg på kurs i grunnboring, mai 1993.

### Sammendrag

Trykksondering blir i økende grad tatt i bruk i Statens vegvesen. Det eksisterer en rekke tolkningsmetoder og det kommer stadig nye. I denne rapporten er det gjort en anbefaling av metoder for tolkning av geotekniske parametre fra trykksondering.

Det er vist en rekke eksempler på tolking av trykksondering.

Det er også vist en metode for direkte bestemmelse av bæreevne for peler ut i fra spissmotstanden fra trykksondering.

Mulighetene med trykksondering er mange, men det er viktig å ha klart for seg at det er først og fremst en sonderingsmetode, og ikke et hovedalternativ for bestemmelse av jordartsparemetre.

Emneord: *Trykksondering, tolkning, jordartsparemetre, jordartsklassifisering.*

Seksjon: 47-Geoteknisk  
Saksbehandler: Jan Vaslestad  
Dato: September 1993

/HF

---

Statens vegvesen, Vegdirektoratet

Veglaboratoriet  
Postboks 8142 Dep, 0033 OSLO  
Telefon: 22 63 99 00 Telefax: 22 46 74 21

## **I N N H O L D :**

### **1. INNLEDNING**

### **2. UTSTYR OG FORSØKSPROSEDYRE**

### **3. TOLKNING AV MÅLTE VERDIER FRA CPT**

#### **3.1 GENERELT**

#### **3.2 TOLKNING AV PARAMETRE**

##### **3.2.1 Udrenert skjærstyrke**

##### **3.2.2 Effektivspenningsparametre**

##### **3.2.3 Deformasjonsparametre**

##### **3.2.4 Sensitivitet**

##### **3.2.5 Horisontaltrykk in-situ**

##### **3.2.6 Konsolideringskoeffisient**

##### **3.2.7 Jordartsklassifisering**

#### **3.3 Bestemmelse av bæreevne for peler**

### **4. ERFARING FRA BRUK AV CPT**

#### **4.1 E6 HELL-VÆRNES**

#### **4.2 E6 FAUSKE**

### **REFERANSER OG LITTERATUR**

Vedlegg 1: LCPC-metoden for bestemmelse av bæreevne for peler



## 1. INNLEDNING

Trykksondering (CPT) blir i økende grad tatt i bruk i Statens vegvesen.

Det eksisterer en stor mengde tolkningsmetoder for CPT, og det kommer stadig nye. Det er derfor et stort behov for å kunne velge mellom de ulike tolkningsmetodene i litteraturen. På oppdrag fra bl.a. Veglaboratoriet har NGI utarbeidet en manual for tolkning av CPT-forsøk, NGI (1992). Denne skal være et praktisk redskap for brukere av CPT.

Det er gjort et forsøk på en anbefaling av metoder for tolkning av CPT. Kun de mest relevante metodene fra litteraturen er gjengitt. Manualen skal bygges opp slik at den enkelt skal kunne oppdateres.

De andre oppdragsgiverne til manualen er Statoil, Norsk Hydro, Norwegian Contractors og Mærsk Olie og Gas.

Manualen er utarbeidet på engelsk, men det foreligger også en norsk oversettelse av hoveddelene i rapporten.

I kapitlet om tolkning er det gjengitt noen av de metodene som er angitt i manualen.

Bruk av trykksondering er tidligere omtalt i to interne kurs for Statens vegvesen, Fredriksen (1991) og Oset (1989).

## 2. UTSTYR OG FORSØKSPROSEDYRER

I Statens vegvesen er det tatt i bruk CPT-utstyr fra 2 ulike leverandører, ENVI og Geotech.

Den såkalte Menocone fra ENVI brukes også av NGI. Begge sondene har 60° spiss og tverrsnitt 10 cm<sup>2</sup> (Europeisk standard). Poretrykket måles 5 mm bak konen og friksjonshylsen har et areal på 150 cm<sup>2</sup>.

Veglaboratoriet anskaffet CPT-utstyr fra ENVI i 1988.

Utstyret er basert på sonde med elektronisk registrering av spissmotstand, poretrykk og sidefriksjon. Dataene lagres i sonden under nedpressing og overføres til registreringsenheten (Geoprinter) etter hver sondering.

Videre kan dataene overføres til en bærbar lagringsenhet (Geostack) som kan kobles til en datamaskin for overføring og opptegning av resultatene. Opptegningen kan skje enten med tegneprogrammet Geoplot eller med et PC-program.

Utstyret er stasjonert ved Veglaboratoriet og vil bli fraktet ut og montert på borrhullene i fylkene i tilknytning til hvert enkelt prosjekt.

Utstyr fra Geotech er kjøpt inn av fylkene Finnmark og Hordaland.

De størrelsene som det er vanlig å måle ved trykksondering er:

- spissmotstand  $q_c$
- totalporetrykk  $u_T$
- sidefriksjon  $f_s$

Spissen på en trykksonde må være adskilt fra resten av stangsystemet. Det poretrykket som utvikles ved nedpressing vil således kunne gi en aksjon/reaksjon i fugen, slik det er vist i fig. 1.

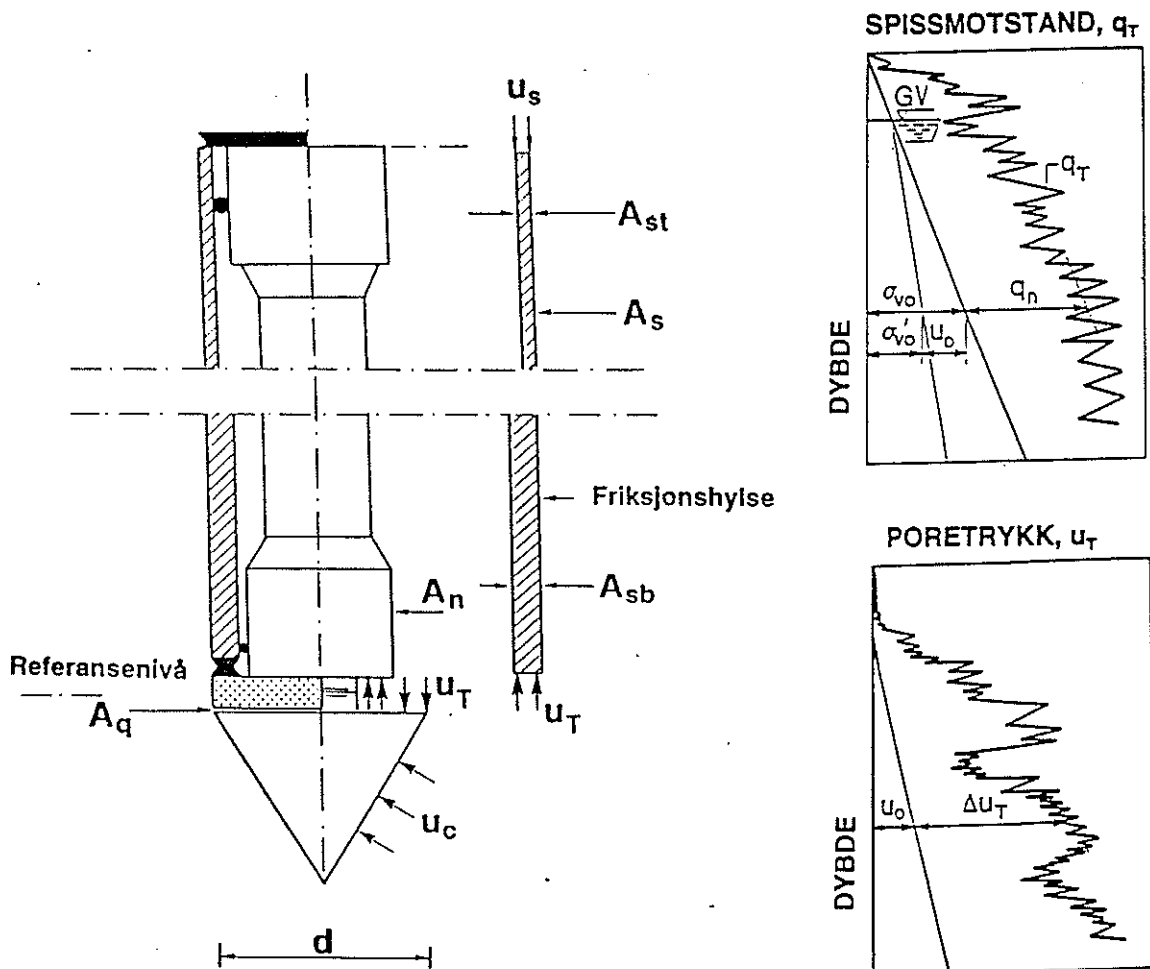


Fig. 1. Innflytelse av poretrykk på måling av spissmotstand

Registrert spissmotstand,  $q_c$ , må derfor korrigeres med grunnlag i det tverrsnittsforhold som er gitt for den aktuelle spissen. Korrigerede verdier for

spissmotstanden blir da følgende:

$$q_T = q_c + (1 - \alpha) u_T$$

der:

$q_T$  = korrigert spissmotstand

$u_T$  = totalt poretrykk like bak den koniske delen

$\alpha = A_n/A_q =$  arealforhold ( $< 1$ )

Denne korreksjonen er viktig i finkornige masser som leire og silt, der det utviklede poretrykk er stort i forhold til spissmotstanden.

Arealforholdet  $\alpha = 0,7$  for ENVI-sonden, og  $\alpha = 0,58$  for Geotech-sonden.

For å få god kvalitet på CPT-resultatene er det viktig å utføre en regelmessig kalibrering.

Kalibrering av sensorer skal gjøres med regelmessige intervaller, minst hver 3. måned ifølge ISSMFE. Ved spesielt viktige prosjekter bør kalibrering gjøres før og etter feltarbeidet.

Ifølge ISSMFE skal avviket på utstyret være maksimalt 5% av målt verdi. Den svenske geotekniske forening (SGF) har foreslått å skjerpe disse kravene til maks 2% av målt verdi.

SGF har også foreslått en inndeling i 3 klasser med forskjellig toleranse for tillatt avvik, se tabell 1.

Klasse	Spissmotstand (kPa)	Poretrykk (kPa)	Sidefriksjon (kPa)
CPT1	100	10	10
CPT2	40	5	4
CPT3	20	1	2

Tabell 1: Tillatt avvik for CPT-målinger i.h.t. SGF

Klasse 1 brukes for grunnforhold med stor spissmotstand, og klasse 2 og 3 for bløtere masser.

Temperatur-effekten må også kontrolleres. Følgende stabilitet er foreslått, Larsson (1992):

Spissmotstand                    2,0 kPa/°C

Sidefriksjon                      0,1 kPa/°C

Poretrykk 0,05 - 0,1 kPa/°C

### 3. TOLKNING AV MÅLTE VERDIER FRA CPT

#### 3.1 GENERELT

Trykksondering medfører en rekke komplekse mekanismer som vanskeliggjør en enkel og fullstendig tolkningsmetodikk. Sandven (1990) påpeker følgende faktorer:

- Spennings- og poretrykksfordelingen rundt sonden ved nedpressing er ukjent.
- Kontinuerlig nedpressing medfører kontinuerlig bruddsituasjon med store 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.

Analytisk baserte tolkningsmetoder kan derfor ikke forventes å være eksakte, selvom de tar hensyn til de viktigste elementene i penetrasjonsmekanismen.

Mulighetene med CPT er mange, men det er viktig å ha klart for seg at det er først og fremst en sonderingsmetode, og ikke et hovedalternativ for bestemmelse av jordartsparemetre.

#### 3.2 TOLKNING AV PARAMETRE

##### 3.2.1 Udrenert skjærstyrke

Den mest brukte metoden for bestemmelse av udrenert skjærstyrke i leire er følgende:

$$s_u = (q_r - \sigma_{v_o})/N$$

der:

$q_r$  = korrigert spissmotstand

$\sigma_{v_o}$  = in situ vertikalt overlagingstrykk

$N$  = bæreevnefaktor

Størrelsen på  $N$  er basert på empirikk, der resultater fra treaksialforsøk og vingebor har vært benyttet som referanseverdier.



Følgende størrelse anbefales for N:

$$N = 15 + 5$$

Den relativt store spredningen på N gjør det vanskelig å basere seg på en tolkning av  $s_u$  basert på kun CPT.

Spesielt i overkonsoliderte leirer er en bestemmelse av  $s_u$  basert på CPT usikker.

Udrenert skjærstyrke kan også bestemmes ut fra teorier om ekspanderende hulrom.

Følgende enkle uttrykk brukes for bestemmelse av  $s_u$  basert på poreovertrykket  $\Delta u_T$  som utvikles ved nedspresing av sonden:

$$s_u = \frac{\Delta u_T}{N_{\Delta u}}$$

der  $\Delta u_T$  = poreovertrykk

$N_{\Delta u}$  = bæreevnefaktoren

Bæreevnefaktoren  $N_{\Delta u}$  varierer fra 5 - 9 i bløte normalkonsoliderte leirer.

I bløte normalkonsoliderte leirer er ofte poreovertrykket opptil 90% eller mer av målt spissmotstand. Bruk av poreovertrykket  $\Delta u_T$  kan gi bedre resultater i slike jordarter.

I manualen fra NGI blir det foreslått å bruke lokale korrelasjoner for bestemmelse av  $s_u$ , siden  $s_u$  er avhengig av referanseforsøket som det blir korrelert imot.

### 3.2.2 Effektivspenningsparametre

Tolkning av friksjon  $\tan\phi$  fra trykksondering baseres på en metode utviklet ved NTH, Sandven (1990).

Kun hovedtrekkene i metoden er gjengitt i det følgende.

Netto spissmotstand kan uttrykkes på følgende måte:

$$q_n = N_m \cdot (\sigma'_{v_0} + a)$$

På grunnlag av de målte verdier for spissmotstand og poretrykk, bestemmes de dimensjonsløse parametrene  $N_m$  (spissmotstandstall) og  $B_q$  (poretrykksforhold), og  $\tan\phi$  bestemmes direkte fra diagram, se fig. 2.

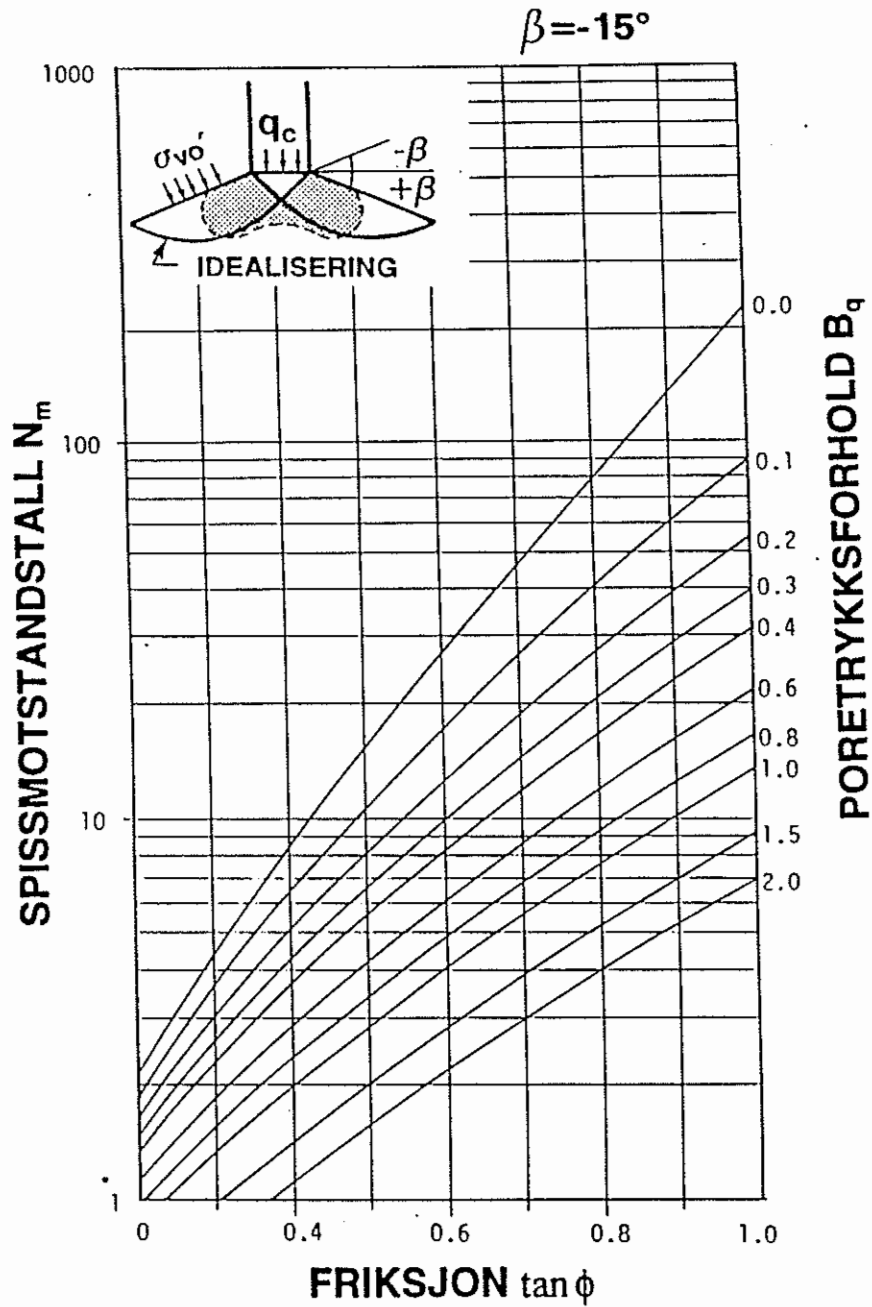


Fig. 2. Tolkingsprosedyre for bestemmelse av  $\tan\phi$  basert på spissmotstandstall  $N_m$  og poretrykksforhold  $B_q$ .

Tolkningen er basert på antatte verdier for jordens attraksjon  $a$  og plastifiseringsvinkel  $\beta$  i idealisert bruddfigur, se fig. 2.

Begge disse parametrene er jordartsavhengig, og erfaringsverdier i en rekke type jord er gitt i tabell 1.

Jordart	a (kPa)	$\beta$ ( $^{\circ}$ )
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
SILT, fast, overkonsolidert	10 - 20	-10 - -20
SILT, løs, normalkonsolidert	5 - 10	+10 - 0
SAND, fast, sementert	5 - 15	-15 - -40
SAND, løs	0 - 5	+10 - -10

Tabell 1. Verdier for attraksjon  $a$  og plastifiseringsvinkel  $\beta$  basert på erfaring.

I manualen fra NGI er denne metoden anbefalt.

For spesielt viktige prosjekter er det anbefalt å bruke en annen metode i tillegg til denne metoden. Dette er en metode fra Keaveny og Mitchell (1986). En trinnvis gjennomgang av denne metoden er gitt av Sandven (1990).

### 3.2.3 Deformasjonsparametre

For å gjøre overslag over setninger trengs deformasjonsparametre etter Janbu's modulkonsept, se fig. 3.

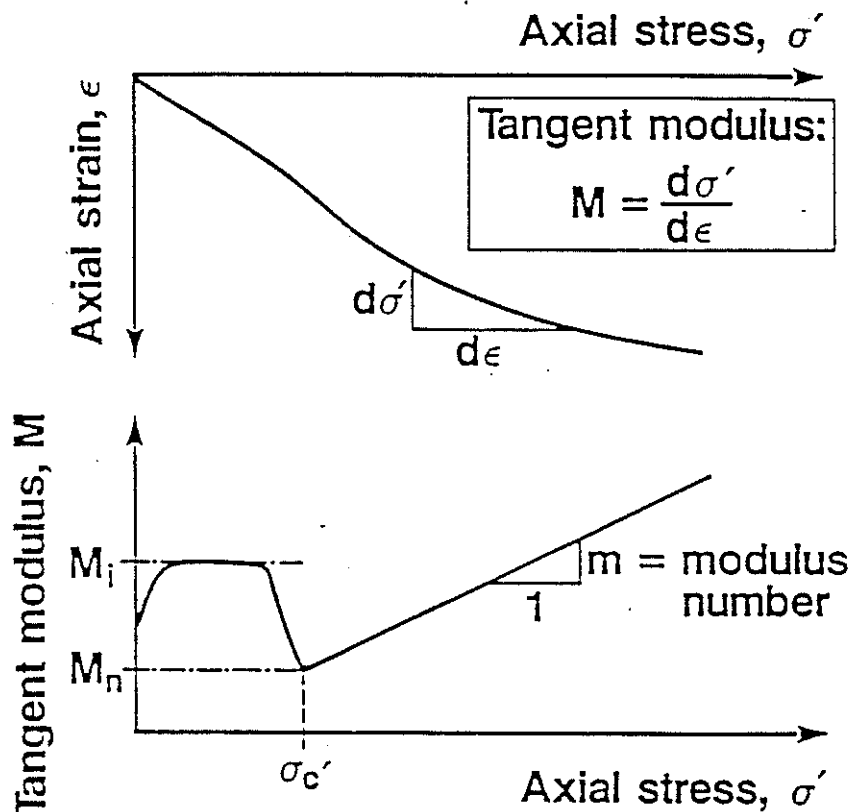


Fig. 3. Deformasjonsparametre etter Janbu's modulkonsept

Denne metoden er hentet fra Senneset, Sandven og Janbu (1989).

Størrelsen på modulen i forkonsolideringsområdet kan bestemmes ut fra netto spissmotstand:

$$M_i = m_i q_n \quad ; \quad q_n = q_T - \sigma_{v0}$$

Størrelsen på  $m_i$  ligger i området 5 - 15 for de fleste leirer.

Modulen ved forkonsolideringstrykket bestemmes på samme måte:

$$M_n = m_n q_n$$

$m_n$  ligger i området 4 - 8 for leire.

Forkonsolideringstrykket kan vurderes ut fra uttrykket:

$$\sigma'_c + a = \frac{q'_T + a}{N_{qc}} \quad ; \quad q'_T = q_T - u_T$$

$N_{qc}$  bestemmes av diagrammet i fig. 4.

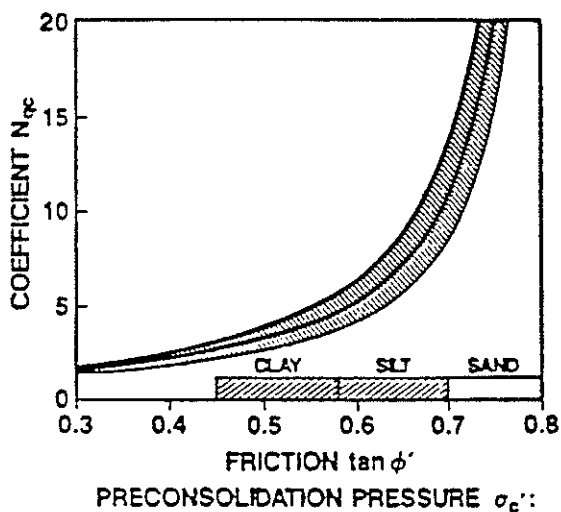


Fig. 4. Bestemmelse av forkonsolideringstrykket

I manualen fra NGI er følgende metode anbefalt for å finne overkonsolideringsgraden (OCR).

Metoden er basert på en database med uforstyrrede prøver av høy kvalitet, se fig. 5.

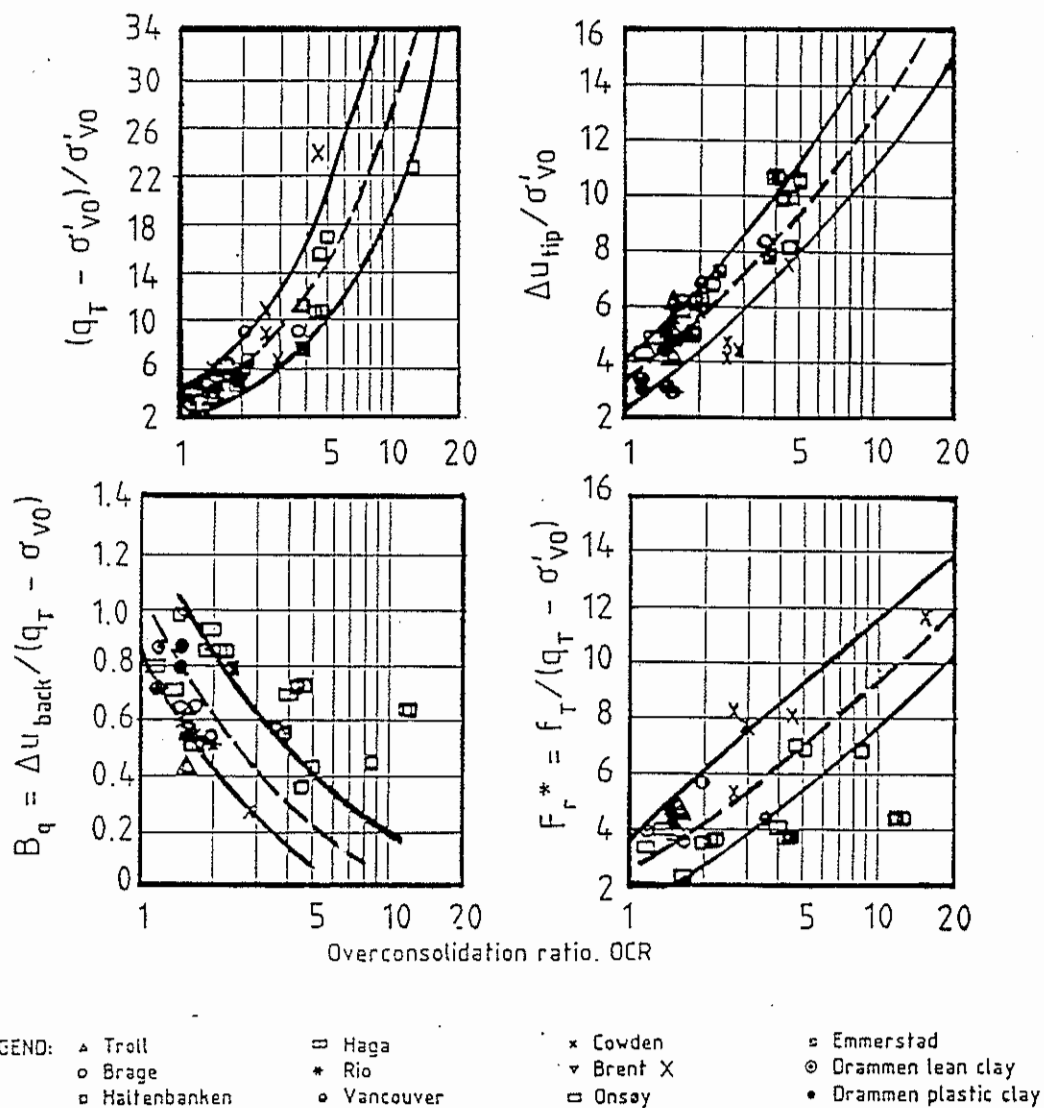


Fig. 5. Korrelasjonen mellom overkonsolideringsgraden OCR og parametre fra CPT, etter Lunne et.al. (1989)

Det anbefales å bruke en middelværdi fra diagrammene. Det er anbefalt at korrelasjonene bør oppdateres lokalt.

### 3.2.4 Sensitivitet

Sensitiviteten kan anslås fra CPT-målinger hvor sidefriksjonen  $f_s$  er målt.

Sensitiviteten i prosent kan finnes av uttrykket:

$$S_T = N_s / R_T$$

hvor  $N_s$  = konstant

$$R_T = \frac{f_s}{q_T} = \text{friksjonsforholdet}$$

$N_s$  er funnet å variere mellom 5 og 10, og det er anbefalt en middelvei på  $N_s = 7,5$ .

Vingeboret er en bedre og sikrere metode til å bestemme sensitiviteten, og denne metoden brukes kun når vingebormålinger ikke foreligger.

### 3.2.5 Horisontaltrykk in-situ

Det finnes pr. idag ingen pålitelig metode for å bestemme in-situ horisontaltrykk eller jordtrykkskoeffisienten  $K_0$ .

For å gjøre et overslag kan følgende metode brukes når sidefriksjonen  $f_s$  er målt, og overkonsolideringsgraden OCR er anslått.

Når disse parametrene er kjent, kan  $K_0$  finnes fra fig. 6.

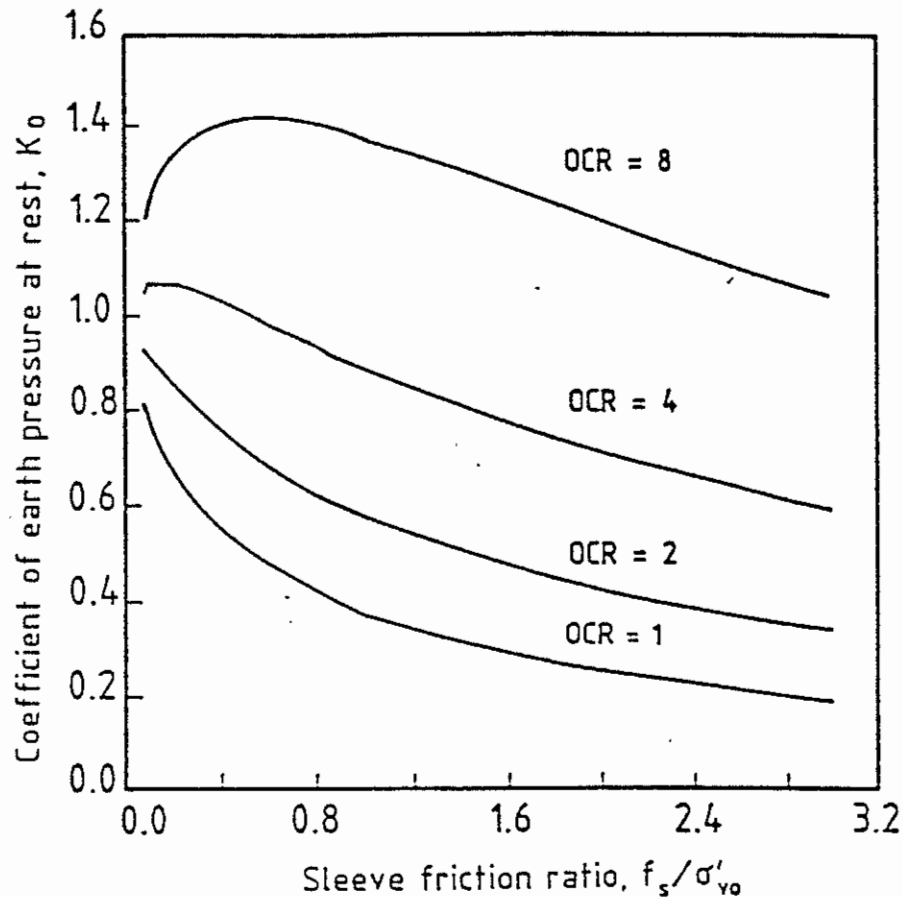


Fig. 6.  $K_0$  som funksjon av sidefriksjon og overkonsolideringsgrad OCR, etter Masood (1990).

### 3.2.6 Konsolideringskoeffisient

For å vurdere tidsforløpet for setningene, må en vite størrelsen på konsolideringskoeffisienten.

For å bestemme denne verdien i en gitt dybde, må det utføres en såkalt dissipasjonstest. Det vil si at en lar CPT-sonden stå rolig for registrering av poretrykk over tid.

Dissipasjonstest skal alltid utføres i finkornige jordarter.

En relativt omfattende prosedyre for å finne konsolideringskoeffisienten er anbefalt i manualen fra NGI.

### 3.2.7 Jordartsklassifisering

Det er utviklet en rekke klassifiseringsdiagrammer basert på registrering fra trykksoneering.

I fig. 7 er det gitt et diagram basert på spissmotstand og poretrykksforholdet  $B_q$  som er definert på figuren.

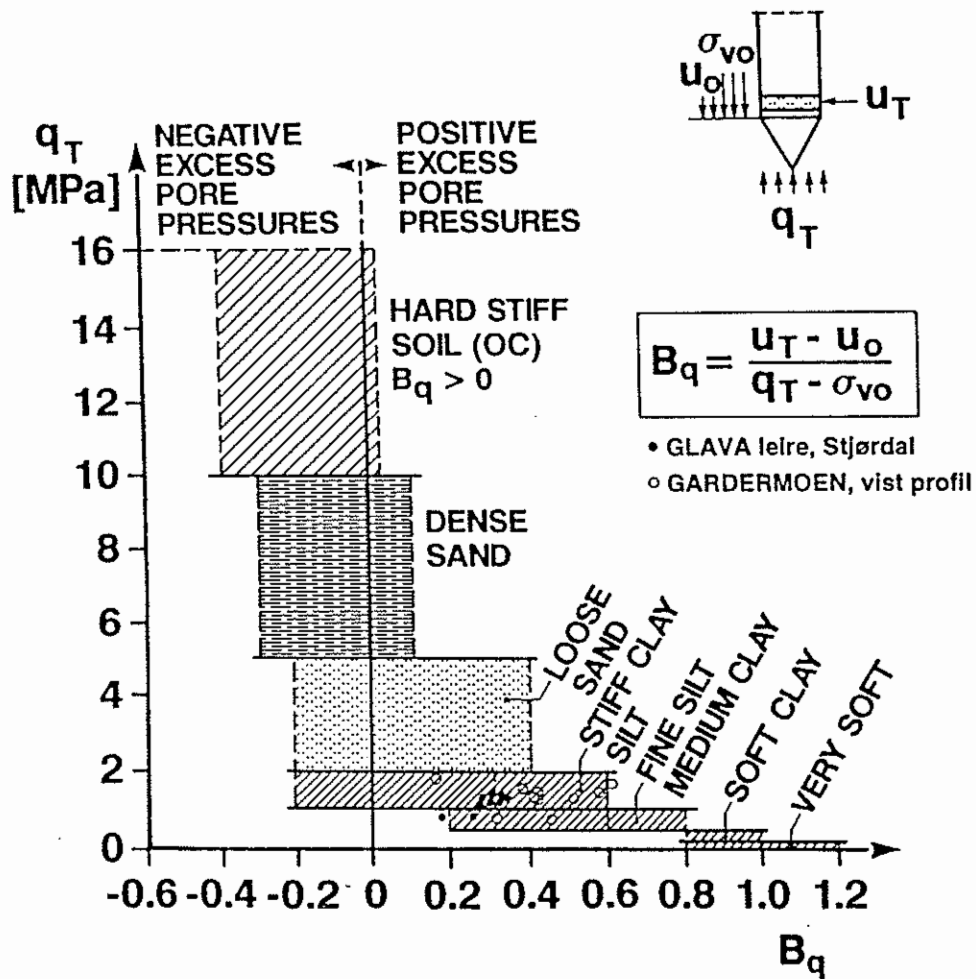


Fig. 7. Diagram for jordartsklassifisering, etter Senneset, Sandven og Janbu (1989)



### 3.3 BESTEMMELSE AV BÆREEVNE FOR PELER

Det finnes metoder ved tolkning av CPT hvor en bruker resultatene fra CPT direkte, uten å gå veien om tolkning av jordparametre.

En rekke slike metoder er omtalt i CPT-manualen fra NGI.

Den såkalte LCPC-metoden for bestemmelse av bæreevnen for peler omtales her, Bustamente og Gianceselli (1982).

Denne metoden er basert på analyse av 197 prøvebelastninger, og har i mange tilfeller gitt meget gode resultater sammenlignet med andre metoder, Robertson et.al. (1988), Sharp et.al. (1988) og Briaud (1988).

Metoden er basert kun på bruk av  $q_c$ .

Sidefriksjonen finnes av uttrykket

$$f_p = \frac{q_c}{\alpha}$$

der  $q_c$  = målt spissmotstand (korrigert)

$\alpha$  = friksjonskoeffisient

Friksjonskoeffisienten  $\alpha$  finnes av tabell (se vedlegg 1). Maksimumsverdi av sidefriksjonen  $f_p$  er også gitt for forskjellige peletyper.

Spissmotstanden finnes av uttrykket:

$$q_p = k_c \cdot q_{c_a}$$

der  $k_c$  = bæreevnefaktor

$q_{c_a}$  = midlere ekvivalent spissmotstand ved enden av pelen

Bæreevnefaktoren  $k_c$  finnes fra tabell (se vedlegg 1).

Midlere ekvivalent spissmotstand finnes i en avstand 1,5 x diameter av pelen under og over pelespiss som vist i figuren i vedlegg 1.

## 4. ERFARING FRA BRUK AV CPT

### 4.1 E6 HELL-VÆRNES

I forbindelse med prosjektering av flere bruer på ny E6 Hell-Værnes ble det utført trykksonderinger.

Det er utført omfattende grunnundersøkelser i området,

og resultater fra treaksial- og ødometerforsøk er sammenlignet med resultater fra trykksonderingene, Engebakken (1991). I tolkningen er det brukt de prosedyrene som er anbefalt i kapittel 3.2 Tolkning av parametre.

CPT-forsøkene er utført med utstyret fra ENVI.

### Hellstranda bru

Løsmassene består av finsand/silt ned til kote -25, deretter er det leire. Grunnvannstand ligger i terrengnivå.

Det er antatt attraksjon  $a = 5$  kPa ned til kote -25, og  $a = 10$  kPa fra kote -25.

Resultater fra tolkning er vist på fig. 8.

Friksjon  $\tan\phi$  og modulen  $M$  er tegnet opp, og sammenlignet med resultater fra treaksial- og ødometerforsøk. I leirlaget er det også tolket udrenert skjærstyrke,  $s_u$ .

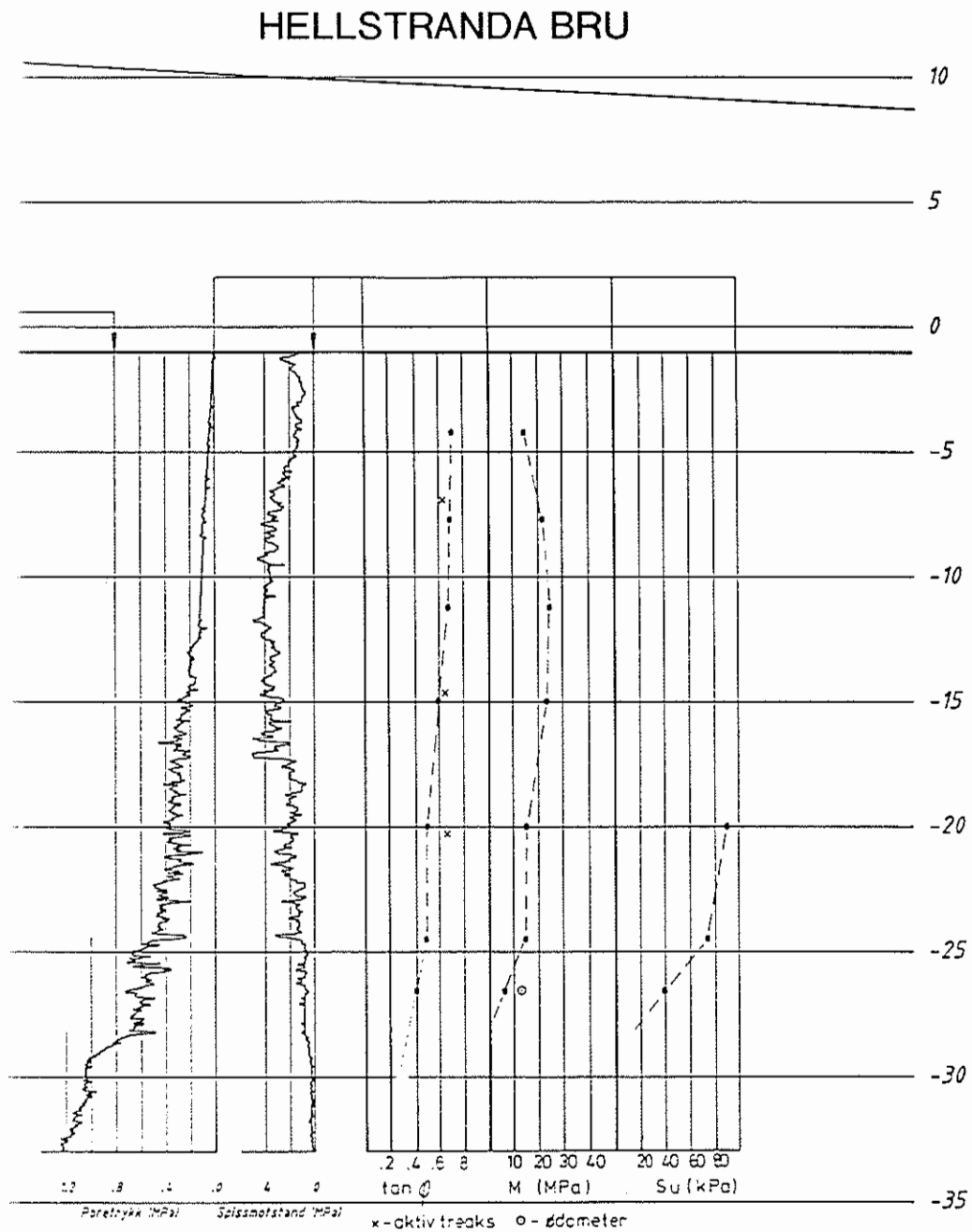


Fig. 8. Hellstranda bru. Profiler fra trykksondering med styrke og deformasjonsparametre.

#### Stjørdalselva bru

Løsmassene består hovedsakelig av sand/silt.

Grunnvannstand ligger i terrengnivå. Det er antatt attraksjon  $a = 5$  kPa. Resultater fra tolkning er vist på fig. 9.

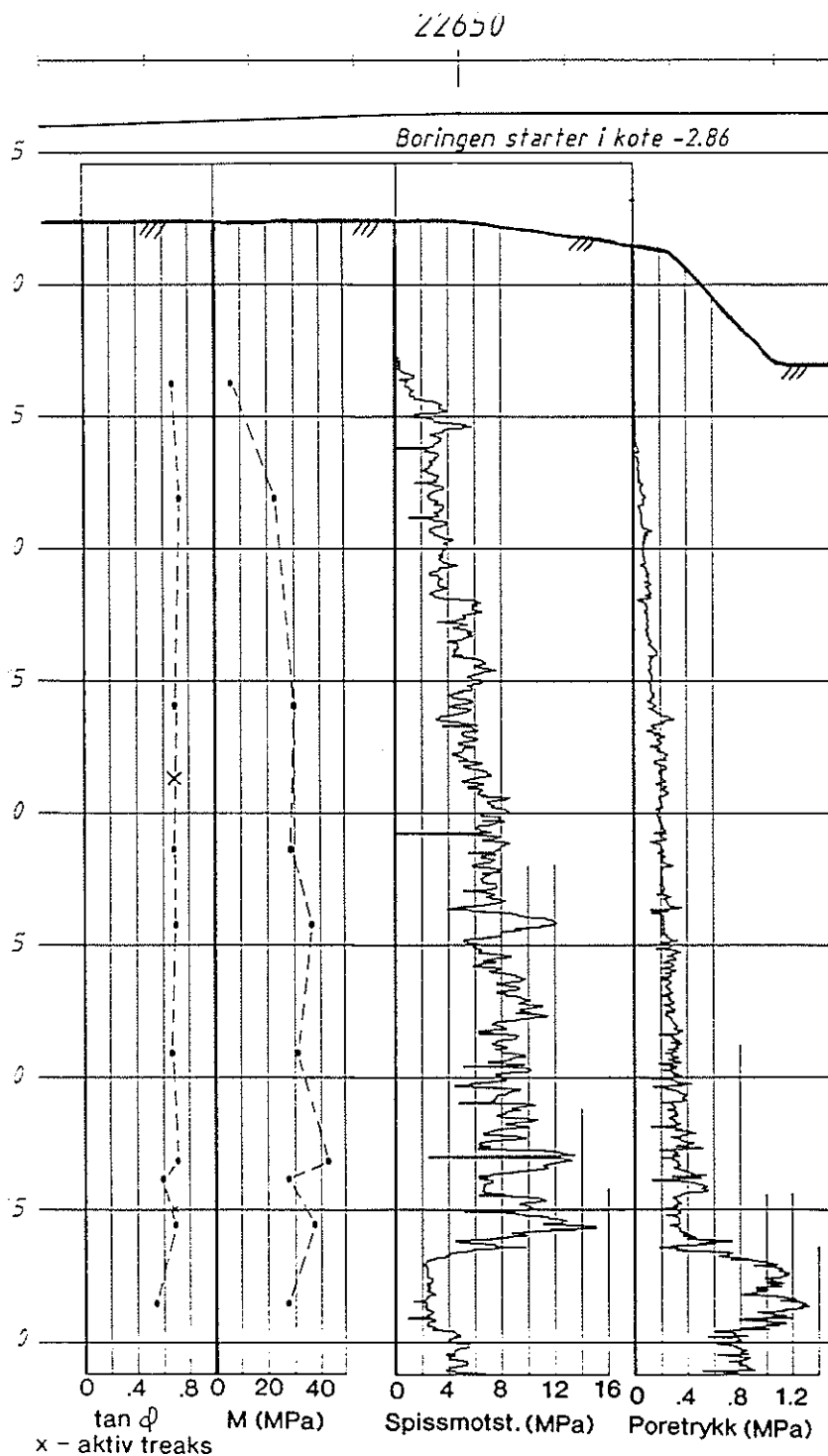


Fig. 9. Stjørdalselva bru. Tolkning av trykksondering

Det er god overensstemmelse med aktiv treaks i tolkning av  $\tan\phi$ .

#### Sandfærhus bru

Løsmassene består av finsand/silt ned til kote -27, deretter leirig silt. Grunnvannstand ligger 5 m under terreng, og antatt attraksjon er 5 kPa.

Resultatene fra tolkning er vist på fig. 10.

## SANDFÆRHUS BRU

250

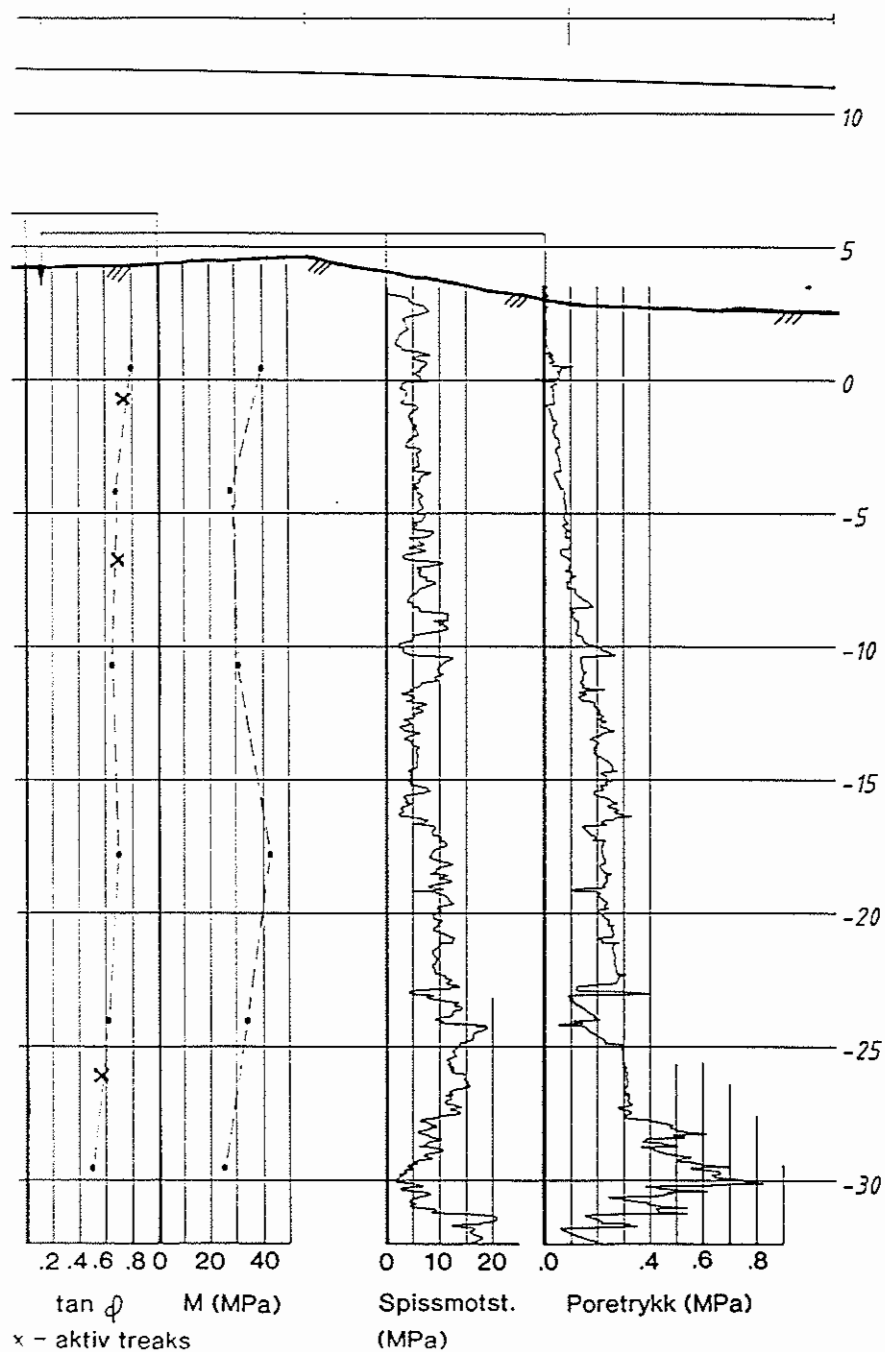


Fig. 10. Sandfærhus bru. Resultater fra tolkning av trykksøndering

Kryssing med jernbane, pr. 1870

Løsmasser består av silt/finsand ned til kote -6, deretter siltig leire. Grunnvannstand i terreng, og antatt attraksjon  $a = 0$  ned til kote -6 og  $a = 5$  kPa fra kote -6.

Resultatene fra tolkning er vist på fig. 11.

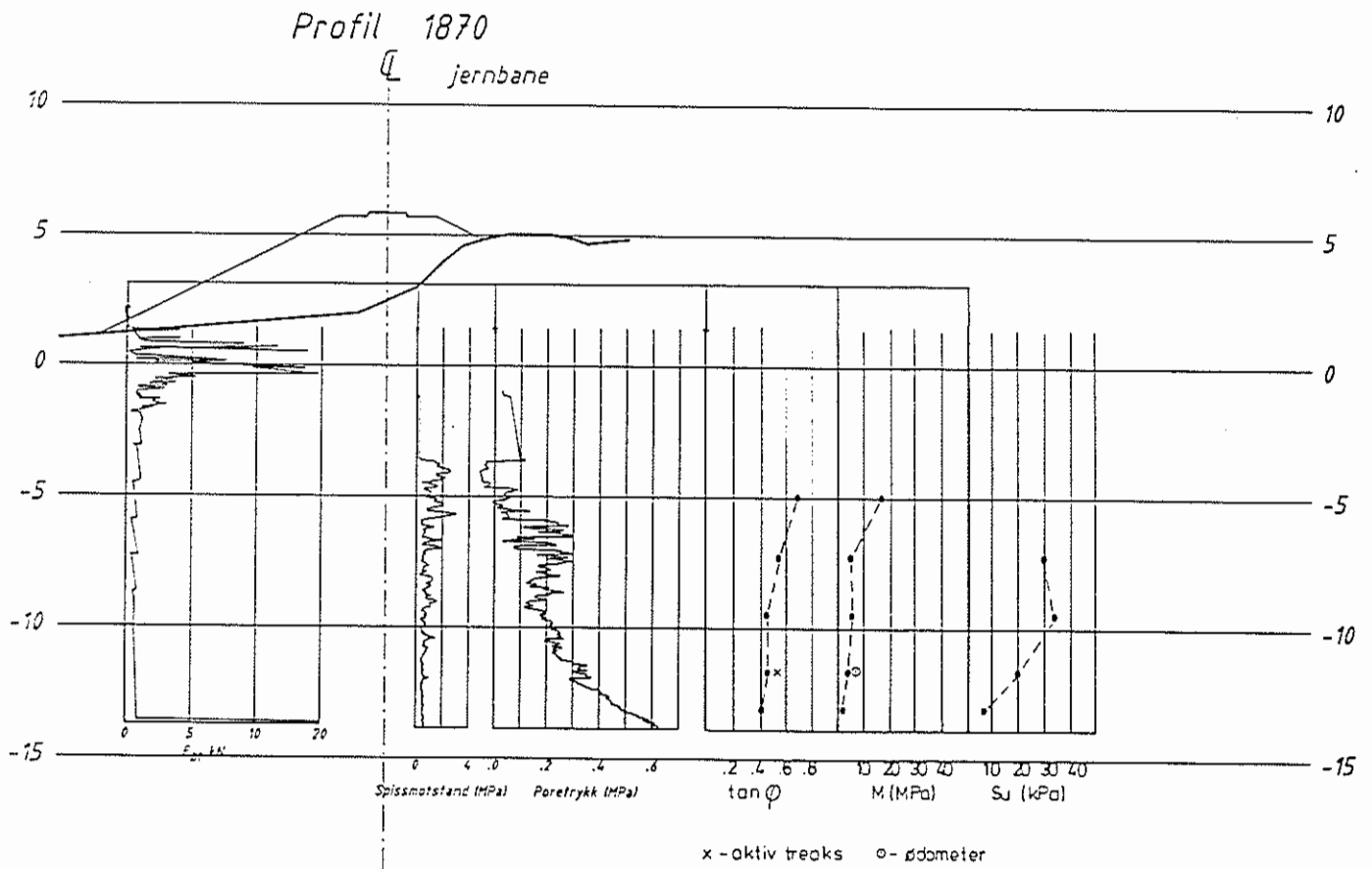


Fig. 11. E6 Hell Værnes, pr. 1870.  
Tolkning av trykksondering

#### 4.2 E6 FAUSKE

I forbindelse med bru for å føre jernbanen over E6 i Fauske nord, er det utført trykksondering.

Undersøkelsene er rapportert av Sleipnes (1993).

Det er utført 2 trykksonderinger til henholdsvis 58 og 65 m dybde.

Resultat av den ene trykksonderingen er vist i fig. 12.

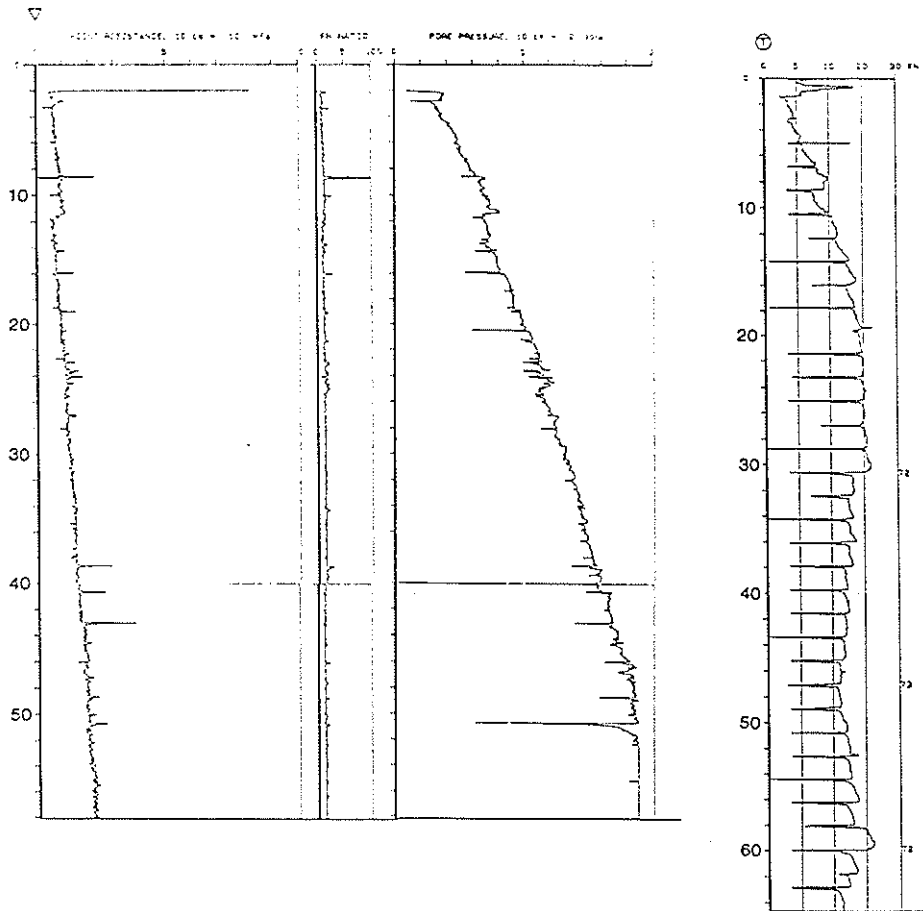


Fig. 12. E6 Fauske nord. Trykksondring til 58 m dybde

Tolkning av trykksondringen er utført av Frode Oset, Veglaboratoriet, og resultatet er vist i fig. 13.

Dybde -m-	VERDIER FRA CPT		TOLKING AV CPT					
	$q_c$ -kPa-	$U_c$ -kPa-	$q_t$ -kPa-	$N_m$ -kPa- ( $a=10$ kPa)	$B_q$	$\text{tg}\phi$ ( $\beta = 0$ )	$S_u$ -kPa-	$M_n$ -kPa-
5	750	340	852	9.3	0.40	0.70	47	4500
10	950	580	1124	6.3	0.53	0.65	58	5500
15	750	680	954	2.6	0.83	0.55	41	3900
25	1100	1010	1403	2.2	0.85	0.50	56	5400
35	1450	1340	1852	2.0	0.87	0.45	72	6900
45	1700	1630	2189	1.7	0.92	0.40	81	7700

Følgende formelgrunnlag er benyttet:

$$q_t = q_c + (1 - \alpha)U_c \quad N_m = \frac{q_c - \sigma_{vo}}{\sigma_{vo} + a}$$

Envi:  $\alpha = 0.7$

$$B_q = \frac{U_c - U_0}{q_t - \sigma_{vo}} \quad S_u = \frac{q_t - \sigma_{vo}}{16}$$

$$M_n = 6(q_t - \sigma_{vo})$$

Fig. 13. Tolkning av CPT-boring E6 Fauske

Formelgrunnlaget som er brukt i tolkningen er vist nederst i figuren.

Tolkning av udrenert skjærstyrke  $s_u$  gir høyere verdier enn det som ble registrert ved vingeboing. Trykksonderingen ga også en bekreftelse på økende udrenert skjærstyrke med dybden.



## REFERANSER OG LITTERATUR

Briaud, J. L. (1988).

"Evaluation of cone penetration tests methods using 98 pile load tests." Int. Symp. on Penetration Test, ISOPT-1, Proc., Vol. 2, pp. 687-697.

Bustamante, M. and Gianceselli, L. (1982).

"Pile bearing capacity prediction by means of static penetrometer CPT." II European Symposium on Penetration Testing, ESOPT II, Proc., Amsterdam, Vol. 2, pp. 493-500.

Engebakken, K. (1991)

E6 Hell-værnes. Datarapport for trykksonderinger. Rapport V-295A nr. 1, Veglaboratoriet.

Fredriksen F. (1991)

Tolking av resultater fra trykksondering (CPT). Regional samling, Molde 24. - 25. oktober 1991.

Gregersen, Odd (1991)

Trykksondering - praktiske erfaringer fra hovedflyplassundersøkelsen på Gardermoen. Geoteknikkdagen 1991.

Keaveny, J. M. and J. Mitchell (1986).

"Strength of fine-grained soils using the piezocone." ASCE Spec. Conf. IN SITU '86. Use of In Situ Tests in Geotechnical Engineering. Blackburg, Virginia, USA, pp. 668-685.

Larsson, R. og M. Mulabdic (1991).

"Piezocone Tests in Clay." Swedish Geotechnical Institute, Rep. No. 42.

Larsson, R. (1992).

"CPT-sondering. Spetstrycksondering med och utan porttrycksmätning. En in situ method for bestämning av lagerföljd och egenskaper i jord. Utförande och utvärdering." Statens Geotekniska Institut, SGI. Information Nr. 15

Lunne, T. S. Lacasse and N. S. Rad (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. Also NGI Publication No. 179.

Masood, T. (1990).

"Comparison of in situ methods to determine lateral earth pressure at rest in soils." Ph.D. thesis in preparation, University of California, Dept. of Civil Engineering, Berkeley, USA.

NGI (1992)

Piezocone interpretation manual.

Oset, F. (1989)

Trykksondering (CPT). Erfaringer og bruksområde. Kurs i grunnboring. Olavsgaard Hotell 8. 10. mai 1989.

Robertson, P. K., Campanella, R. G., Davies, M. P. and Sy, A. (1988).

"Axial capacity of driven piles in deltaic soils using CPT". Int. Symp. on Penetration Test, ISOPT-1, Proc., Vol. 2, pp. 9191-928.

Sandven, R. (1990)

Trykksondering med poretrykksmåling - mer enn bare sondering?

Norsk Jord- og Fjellteknisk Forbund, Fjellsprengningsteknikk, Bergmekanikk, Geoteknikk, Geoteknikkdagen, Oslo 1991.

Senneset, K., Sandven, R. og Janbu, N. (1989)

"Evaluation of soil parameters from piezocone tests." Artikkel til Transportation Research Board, National Research Council. "In situ testing of soil properties for transportation." Transportation Record 1235 Washington D.C. 1989.

Sharp, M. R., McVay, M. C. Townsendsdt, F. C. and Basnett, C. R. (1988).

"Evaluation of pile capacity from in situ tests". ASTM Special Publication.

Sleipnes, A. (1993)

E6-21: Finneidstraumen bru - Fauske nord. Rapport W-591B, Statens vegvesen, Nordland, Laboratoriet.

## VEDLEGG 1

LCPC-metoden for bestemmelse av bæreevne for peler  
(etter Bustamente og Gianselli, 1982)

Unit Skin Friction	Sand and Clay
$f_p$	$f_p = \frac{q_c}{\alpha}$ $\alpha = \text{friction coefficient}$
Unit End $q_p$	$q_p = k_c \cdot q_{ca}$ $q_{ca} = \text{equivalent cone resistance at level of pile tip}$ $k_c = \text{bearing capacity factor}$

Friksjonskoeffisient,  $\alpha$

Nature of Soil	$q_c$ (MPa)	Coefficients, $\alpha$				Maximum Limit of $f_p$ (MPa)					
		Category									
		I		II		I		II		III	
		A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
Soft clay and mud	<1	30	30	30	30	0.015	0.015	0.015	0.015	0.035	-
Moderately compact clay	1 to 5	40	80	40	80	0.035 (0.08)	0.035 (0.08)	0.035 (0.08)	0.035	0.08	$\geq 0.12$
Silt and loose sand	$\leq 5$	60	150	60	120	0.035	0.035	0.035	0.035	0.08	-
Compact to stiff clay and compact silt	>5	60	120	60	120	0.035 (0.08)	0.035 (0.08)	0.035 (0.08)	0.035	0.08	$\geq 0.20$
Soft chalk	$\leq 5$	100	120	100	120	0.035	0.035	0.035	0.035	0.08	-
Moderately compact sand and gravel	5 to 12	100	200	100	200	0.08 (0.12)	0.035 (0.08)	0.08 (0.12)	0.08	0.12	$\geq 0.20$
Weathered to fragmented chalk	>5	60	80	60	80	0.12 (0.15)	0.08 (0.12)	0.12 (0.15)	0.12	0.15	$\geq 0.20$
Compact to very compact sand and gravel	>12	150	300	150	200	0.12 (0.15)	0.08 (0.12)	0.12 (0.15)	0.12	0.15	$\geq 0.20$

CATEGORY:

IA - Plain bored piles  
 Mud bored piles  
 Hollow auger bored piles  
 Micropiles (grouted under low pressure)  
 Cast screwed piles  
 Piers  
 Barettes

IB - Cased bored piles  
 Driven cast piles

IIA - Driven precast piles  
 Prestressed tubular piles  
 Jacked concrete piles

IIIA - Driven grouted piles  
 Driven rammed piles

IIB - Driven metal piles  
 Jacked metal piles

IIIB - High pressure grouted piles  
 with diameter >250 mm  
 Micro piles grouted under high  
 pressure

Note:

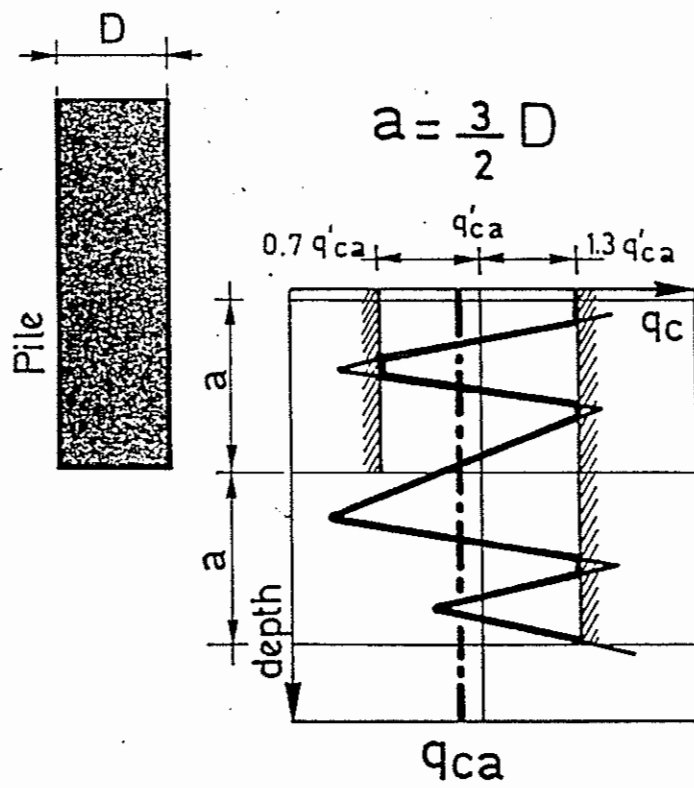
Max. limit unit skin friction,  $f_p$ :  
 bracket values apply to careful  
 execution and minimum disturbance  
 of soil due to construction.

Bæreevnefaktorer,  $k_c$

Nature of Soil	$q_c$ (MPa)	Factors $k_c$	
		Group I	Group II
Soft clay and mud	<1	0.4	0.5
Moderately compact clay	1 to 5	0.35	0.45
Silt and loose sand	≤5	0.4	0.5
Compact to stiff clay and compact silt	>5	0.45	0.55
Soft chalk	≤5	0.2	0.3
Moderately compact sand and gravel	5 to 12	0.4	0.5
Weathered to fragmented chalk	<5	0.2	0.4
Compact to very compact sand and gravel	<12	0.3	0.4

<p>Group I - Plain bored piles                      Mud bored piles                      Micro piles (grouted under low pressure)                      Cased bored piles                      Hollow auger bored piles                      Piers                      Barrettes</p> <p>Group II - Cast screwed piles                      Driven precast piles                      Prestressed tubular piles                      Driven cast piles                      Jacked metal piles                      Micropiles (small diameter piles grouted under high pressure with diameter &lt;250 mm)                      Driven grouted piles (low pressure grouting)                      Driven metal piles                      Driven rammed piles                      Jacked concrete piles                      High pressure grouted piles of large diameter</p>
--



Beregning av ekvivalent spissmotstand (etter Bustamente og Gianselli, 1982)