

MELDING NR. 5, UTGITT 1982

Rev. nr. 1, 1994

Rev. nr. 2, 2000

Rev. nr. 3, 2010

VEILEDNING FOR UTFØRELSE AV TRYKKSONDERING



NORSK GEOTEKNISK FORENING
Norwegian Geotechnical Society

Emneord:
Trykksondering
Utstyr
Metode
Kalibrering
Sondering

Klassifikasjon
UDK 624.131.3
IGC A08
C03

ISBN 82-546-0165-8
ISSN 0333-4996

NGFs MELDINGER

Arbeider utført av komitéer og utvalg i Norsk Geoteknisk Forening (NGF), utgis som NGF-meldinger. Vi ønsker at disse publikasjonene skal bidra til at faget styrkes også utenfor foreningens medlemsrekker. Kommentarer til Meldingens innhold rettes til NGFs sekretær.

Meldingen kan lastes fritt ned i pdf-format fra foreningens hjemmeside <http://www.ngf.no>.

NGF's styre

FORORD

Første utgave av Norsk Geoteknisk Forening's Melding nr. 5 om Trykksondering (CPT) kom så tidlig som i 1982. På grunn av utviklingen med måling av poretrykk i tillegg til spissmotstand og sidefriksjon (CPTU), tok Grunnundersøkelseskomiteen initiativet til at det skulle utarbeides en revidert veiledning (Revisjon nr. 1) for utførelse av CPT og CPTU høsten 1993. Denne revisjonen ble utgitt i 1994.

Teknisk komité nr. 16 (nå 102) i den internasjonale geotekniske forening (ISSMGE) utga i 1999 en ny International Reference Test Procedure (IRTP) for trykksondering med poretrykksmåling. Dette dokument inneholder en rekke nye bestemmelser som NGF's feltkomité mente burde innføres også i det norske geotekniske miljøet. Revisjon nr. 2 ble da utarbeidet og utgitt, i hovedsak som en direkte oversettelse av den ovennevnte IRTP. Revisjon nr. 3, som nå foreligger, er en ytterligere forbedring av meldingen med grunnlag i ny internasjonal standard for CPT og CPTU. Denne er utarbeidet i et samarbeid mellom CEN og ISO og har tittelen EN-ISO-22476-1 Geotechnical investigation and testing - Field testing - Part 1: Electrical cone and piezocone penetration tests. Både standarden og denne reviderte meldingen inneholder blant annet skjerpede krav til målenøyaktighet, basert på inndeling i Anvendelsesklasser.

Veiledningen beskriver utstyr og utførelse av trykksondering med friksjonsmåling (CPT) og trykksondering med poretrykksmåling (CPTU). Veiledningen inkluderer også prosedyrer for presentasjon av trykksonderingsresultater, men inneholder ikke prosedyrer for tolking av resultatene. Det henvises her blant annet til litteraturreferansene i denne meldingen.

Komitémedlemmer: M.G. Bæverfjord, T. Døssland, A. Eknes, K. Hagberg, A. Handberg, J. Jønland, Ø. Nerland, O. E. Rundmo, R. Sandven

Utgiver og forhandler: Norsk Geoteknisk Forening
Postboks 3930 Ullevål Stadion
0806 Oslo

SYNOPSIS

The Cone Penetration Test (CPT) consists of pushing a cone penetrometer using a series of push rods into the soil at a constant rate of penetration. During penetration measurements of cone resistance and sleeve friction are recorded. The piezocone penetration test (CPTU) also includes the measurement of pore pressures at or close to the core. The test results may be used for interpretation of stratification, classification of soil type and evaluation of engineering soil parameters. This report presents the recommended guidelines for test equipment, field procedures and presentation of test results. In addition recommendations for required accuracy, calibration routines and maintenance procedures are outlined.

This document is based on the International Reference Test Procedure (IRTP) issued by Technical Committee No. 16 (Soil Characterization by In Situ Tests) of ISSMGE (International Society for Soil Mechanics and Geotechnical Engineering in 1999 and the international standard EN-ISO-22476-1 Geotechnical investigation and testing - Field testing - Part 1: Electrical cone and piezocone penetration tests.

INNHALDSFORTEGNELSE

1. INNLEDNING	1
2. DEFINISJONER	2
2.1 Trykksonderingsforsøk	2
2.2 Trykksonde	2
2.3 Konisk element	3
2.4 Friksjonshylse	3
2.5 Filterelement	3
2.6 Målesystem	3
2.7 Trykksonderingsstenger	3
2.8 Nedpressingsutstyr	3
2.9 Nedtrengingsdybde og –lengde	4
2.10 Friksjonsreduksjonsring	4
2.11 Spissmotstand, q_c	4
2.12 Lokal sidefriksjon, f_s	5
2.13 Poretrykk, u	5
2.14 Poreovertrykk, Δu	5
2.15 Netto arealforhold, a	6
2.16 Korrigert spissmotstand, q_t	6
2.17 Ukorrigert friksjonsforhold, R_{ft}	6
2.18 Poretrykksforhold, B_q	7
2.19 Nullavlesning, referanseavlesning og nullpunktsforskyvning	7
2.20 Nøyaktighet, presisjon og oppløsning	7
2.21 Dissipasjonsforsøk	8
3. METODIKK	8
4. UTSTYR	10
4.1 Trykksondens geometri	10
4.2 Konisk element	10
4.3 Friksjonshylse	12
4.4 Filterelement	13
4.5 Fuger og tetninger	15
4.6 Sonderingsstenger	15
4.7 Målesystem	15
4.7.1 Målere for spissmotstand og sidefriksjon	16
4.7.2 Poretrykksmålere	16
4.7.3 Helningsmåler	16
4.7.4 Målesystem for nedtrengingslengde	16
4.8 Nedpressingsutstyr	16
5. PROSEDYRER	17
5.1 Valg av trykksonde	17
5.2 Valg av utstyr og prosedyrer i henhold til ønsket Anvendelsesklasse	17
5.3 Posisjon og nivå av nedpressingsutstyret	19
5.4 Forberedelse av trykksonden	20
5.5 Nedpressing av trykksonden	21
5.6 Bruk av friksjonsreduksjonsring	22
5.7 Loggeintervall	22
5.8 Registrering av nedtrengingsdybde	22
5.9 Dissipasjonsforsøk	22
5.10 Avslutning av trykksonderingen	23

6. FORSØKSRESULTATER	24
6.1 Målte parametre	24
6.2 Korreksjon av måledata for poretrykkseffekter	24
7. FORSØKSRESULTATER	26
7.1 Generelt	26
7.2 Generell presentasjon av forsøksresultater	26
7.3 Valg av akseskalering	27
7.4 Rapportering av forsøksresultater	28
7.5 Dokumentasjon av målenøyaktighet og Anvendelsesklasse	30
8. REFERANSER	30
APPENDIX A1:	INNHold I SAMLET DOKUMENTASJONSRAPPORT
	Sjekkliste for vurdering av gjennomføring, målenøyaktighet og Anvendelsesklasse
APPENDIX A2:	VEDLIKEHOLD OG FUNKSJONSKONTROLL
APPENDIX A3:	KALIBRERING AV SONDEN
APPENDIX A4:	KORREKSJON AV NEDTRENGINGSDYBDE

1. INNLEDNING

To typer elektriske trykksonderingsforsøk er behandlet:

1. Trykksondering som inkluderer måling av spissmotstand og sidefriksjon (Cone Penetration Test, CPT).
2. Trykksondering med tilleggsmåling av poretrykk (Cone Penetration Test with Pore Pressure (U) Measurement, CPTU).

Merk: Denne veiledningen kan også benyttes for CPT/CPTU uten måling av sidefriksjon.

CPT blir utført med en sylindrisk trykksonde med et konisk element, eller kon, som presses ned i jorda med konstant nedtrengingshastighet. Mens sonden presses ned i grunnen måles kreftene på spissen og på friksjonshylsen.

CPTU blir utført som CPT, men med måling av poretrykk på ett eller flere steder på trykksondens overflate i tillegg.

Merk: Vanligvis blir målingene utført med elektronisk datalogging, med en målefrekvens som skal sikre detaljert informasjon om grunnforholdene.

Resultatene fra et trykksonderingsforsøk kan bli brukt til å vurdere:

- Lagdeling
- Jordart
- Jordens lagringsbetingelser og in situ spenningsforhold
- Mekaniske jordparametre
 - Fasthetsegenskaper
 - Deformasjons- og konsolideringsegenskaper

Merk: Resultatene fra trykksonderingsforsøk kan også benyttes direkte, for eksempel til dimensjonering av pelefundamenter og komprimeringskontroll (se for eksempel Lunne m.fl., 1997).

Trykksonderingsforsøk med poretrykksmåling (CPTU) gir en mer pålitelig bestemmelse av lagdeling og jordtype enn vanlig CPT. I tillegg gir CPTU et bedre grunnlag for tolkning av mekaniske egenskaper. Hensikten med denne veiledningen er å etablere definisjoner og krav til utstyr og prosedyrer. Dette vil medføre at brukere vil benytte samme prosedyrer nasjonalt. Veiledningen er basert på:

- "International Reference Test Procedure" (IRTP) som ble utarbeidet av Technical Committee 16 (nå 102), Site Characterization by In Situ Tests, som er tilknyttet den internasjonale geotekniske foreningen International Society of Soil Mechanics and Geotechnical Engineering" (ISSMGE).
- Ny internasjonal standard for CPT og CPTU utarbeidet av CEN og ISO, EN-ISO 22476-1 Geotechnical investigation and testing - Field testing - Part 1: Electrical cone and piezocone penetration tests.
- Retningslinjene i dette dokument er også i overensstemmelse med Eurocode 7, del 2.

Dette dokumentet er ikke en nasjonal standard, men et norskspråklig dokument som er i tråd med den internasjonale standarden. Slik sett er veiledningen et referansedokument for god nasjonal praktisering av CPTU.

Merk: Det er tillatt å fravike kravene i denne veiledningen hvis det kan dokumenteres at avviket i resultatene ikke er betydelig i forhold til resultater oppnådd med utstyr og prosedyrer som følger kravene.

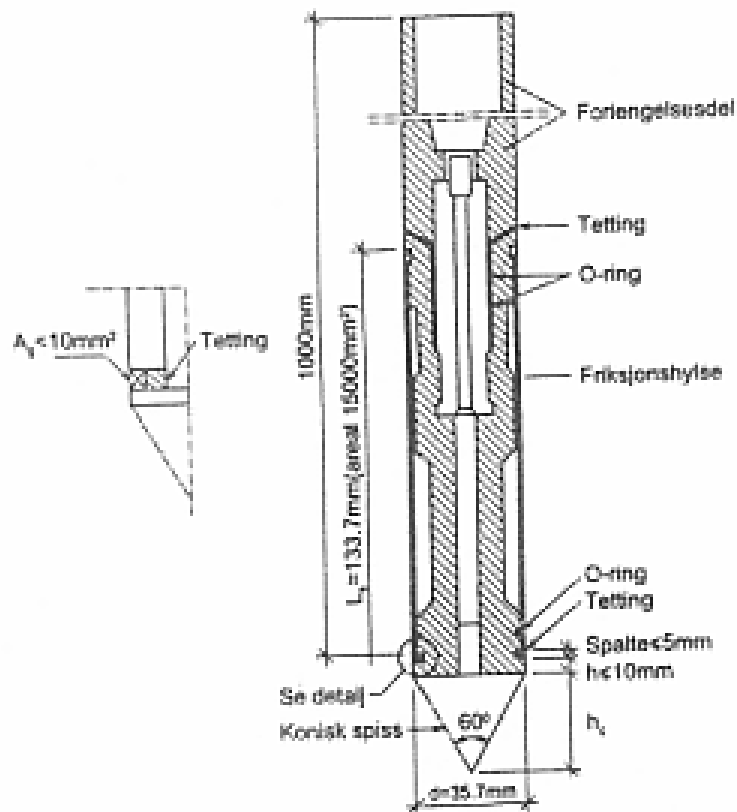
2. DEFINISJONER

2.1 Trykksonderingsforsøk

Nedpressing av en trykksonde i grunnen med konstant nedpressingshastighet. Sonden er festet på enden av en rekke sylindriske trykksonderingsstenger.

2.2 Trykksonde

En trykksonde består av et konisk element (kon), en friksjonshylse, målere og et målesystem, samt en overgang mellom sonden og sonderingsstengene. Fig. 2.1 viser et eksempel på snitt gjennom en trykksonde.



Figur 2.1 Eksempel på snitt gjennom en trykksonde.

En trykksonde inneholder interne lastceller for måling av kraft mot den koniske delen (spissmotstand), friksjonskraft mot friksjonshylsen (sidefriksjon) og, for en trykksonde med poretrykksmåling, poretrykket på ett eller flere steder langs sondens overflate. En helningsmåler (inklinometer) kan inkluderes for måling av sondens helning. Dette kreves ved utførelse i Anvendelsesklasse 1, 2 og 3 av i alt 4 Anvendelsesklasser gitt i tabell 5.1.

Merk: Andre målere kan også inkluderes i en trykksonde, for eksempel elektrisk motstandsmåler, termometer, geofoner og miljøtekniske målere.

2.3 Konisk element

Det koniske elementet har en spissvinkel på 60° og utgjør nedre del av trykksonden. Når trykksonden presses ned i grunnen blir spissmotstanden overført gjennom konen til lastcellen.

Merk: I denne veiledningen blir det antatt at konen er meget stiv slik at dens relative deformasjon under belastning er svært liten sammenlignet med andre deler av trykksonden.

2.4 Friksjonshylse

Friksjonshylsen er den delen av trykksonden der sidefriksjonen blir målt.

2.5 Filterelement

Filterelementet er et porøst element montert på trykksonden for å kunne måle overføring av poretrykket til poretrykksmåleren, uten at den korrekte geometri for trykksonden forandres.

2.6 Målesystem

Målesystemet inkluderer alle målere og tilhørende deler som blir brukt til å overføre og/eller lagre elektriske signaler som opptrer i trykksonderingsforsøket. Målesystemet består normalt av målere for måling av kraft (spissmotstand, friksjon), trykk (poretrykk) og dybde.

2.7 Trykksonderingsstenger

Trykksonderingsstenger er en serie med stenger med lik diameter som skal kunne overføre trykk- og strekkrefter til trykksonden.

Merk: Trykksonderingsstengene kan også inkludere og/eller beskytte deler av målesystemet. Ved akustisk overføring av måleresultater blir stengene også benyttet til transport av signaler til en mottakerenhet på overflaten.

2.8 Nedpressingsutstyr

Nedpressingsutstyret blir brukt til å presse trykksonden med sonderingsstenger vertikalt ned i grunnen med konstant nedtrengingshastighet.

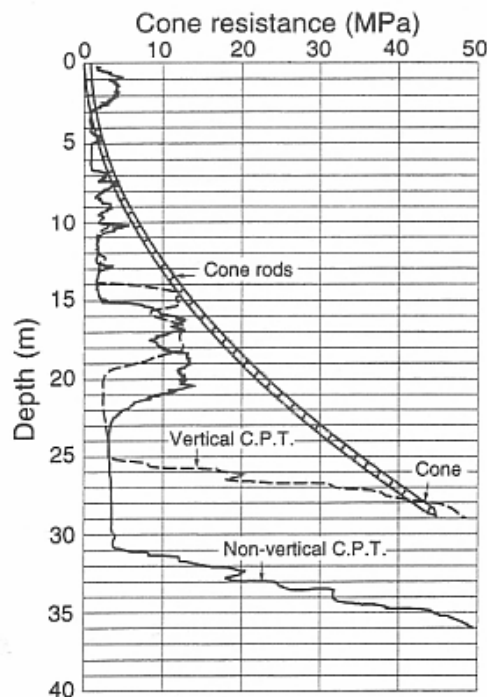
Merk: Nødvendig reaksjonskraft for nedpressingsutstyret kan skaffes til veie ved dødvekt og/eller bruk av jordankre.

2.9 Nedtrengingsdybde og -lengde

Nedtrengingsdybde: Dybden på basen av konisk del relativt til et fast horisontalt plan (fig. 2.2)

Nedtrengingslengde: Summen av trykksonderingsstengenes og trykksondens lengde, redusert med høyden av den koniske delen, relativt til et fast horisontalt plan (fig. 2.2).

Merk: Det faste horisontale plan er vanligvis det samme som det horisontale plan gjennom terrengnivå på forsøksstedet.



Figur 2.2 Nedtrengingslengde og nedtrengingsdybde.

2.10 Friksjonsreduksjonsring

En friksjonsreduksjonsring består vanligvis av en lokal og symmetrisk utvidelse av diameteren på en trykksonderingsstang. Hensikten er å redusere friksjonen langs trykksonderingsstengene.

2.11 Spissmotstand, q_c

Den målte spissmotstanden, q_c , finnes ved å dividere den målte kraften på konen, Q_c , med tverrsnittsarealet, A_c :

$$q_c = Q_c/A_c$$

2.12 Lokal sidefriksjon, f_s

Den målte sidefriksjonen, f_s , finnes ved å dividere målt totalkraft som virker på friksjonshylsen, F_s , med hylsens overflateareal, A_s :

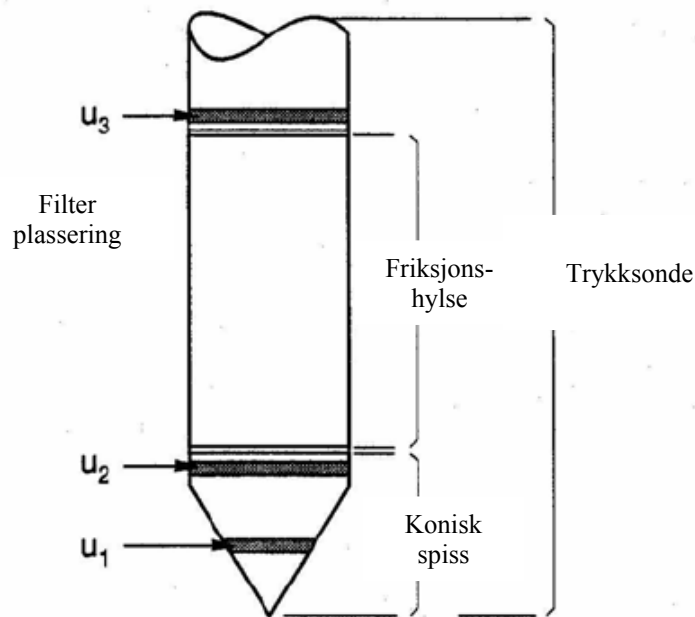
$$f_s = F_s/A_s$$

2.13 Poretrykk, u

Poretrykket u ved sondering er det poretrykk som måles mens trykksonden presses ned i grunnen med foreskrevet hastighet. Poretrykket kan måles på ett eller flere steder på trykksondens overflate som vist på fig. 2.3. Følgende benevnelse blir benyttet:

- u_1 : poretrykk målt på konens overflate
- u_2 : poretrykk målt umiddelbart bak den koniske delen
- u_3 : poretrykk målt umiddelbart bak friksjonshylsen

Merk: Det målte poretrykk varierer med jordtype, in situ poretrykk og filterplassering på sondens overflate. Poretrykket består av det opprinnelige in situ poretrykket og tilleggsporetrykket forårsaket ved nedtrenging av sonden i grunnen.



Figur 2.3 Identifisering av målte poretrykk.

2.14 Poreovertrykk, Δu

Poreovertrykket er $\Delta u = u - u_0$, hvor u_0 er in situ poretrykk i grunnen i konens nivå før nedpressingen starter.

Merk: Δu_1 , Δu_2 eller Δu_3 skal benyttes etter hvor på trykksonden poretrykket er målt, se figur 2.3.

2.15 Netto arealforhold, a

Netto arealforhold er tverrsnittsarealet for lastcellen, det vil si arealet av stammen til trykksonden rett over konen på det stedet hvor poretrykket måles, delt på det nominelle tverrsnittsarealet av konen.

Merk: Se kap. 6.2 og fig. 6.1 for detaljer.

2.16 Netto arealforhold, b

Netto arealforhold b er tverrsnittsarealet for friksjonshylsen på undersiden og oversiden av hylsen, delt på det nominelle overflatearealet av hylsen.

Merk: Se kap. 6.2 og fig. 6.1 for detaljer.

2.17 Korrigert spissmotstand, q_t

Den korrigerte spissmotstand, q_t , er den målte spissmotstand, q_c , korrigert for poretrykkseffekter ved bruk av formelen:

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

Merk: Kap.6.2 gir mer detaljer om denne korreksjonen.

2.18 Korrigert sidefriksjon, f_t

Den korrigerte sidefriksjonen er den målte sidefriksjonen, f_s , korrigert for poretrykkseffekter ved bruk av formelen:

$$f_t = f_s - (u_2 A_{sb} - u_3 A_{st}) / A_s$$

Merk: Kap.6.2 og fig. 6.1 gir mer detaljer om denne korreksjonen.

Merk: Korreksjonen krever at poretrykket over friksjonshylsen u_3 er målt eller estimert. Dette er ikke vanlig og ukorrigert sidefriksjon aksepteres derfor benyttet.

2.19 Ukorrigert friksjonsforhold, R_{ft}

Forholdet mellom den lokale sidefriksjon og spissmotstanden i %, begge verdier målt i samme dybde.

Merk: I noen tilfeller blir den inverse verdien av friksjonsforholdet; friksjonsindeksen RI benyttes. Når det er mulig skal den korrigerte spissmotstand, q_t , og den korrigerte sidefriksjonen, f_t , benyttes til å beregne et korrigert friksjonsforhold R_f .

2.20 Poretrykksforhold, B_q

Poretrykksforholdet B_q er definert som:

$$B_q = \Delta u_2 / (q_t - \sigma_{v0})$$

Her er σ_{v0} total vertikalspenning i grunnen i trykksondens nivå før nedpressingen begynner.

2.21 Nullavlesning, referanseavlesning og nullpunktsforskyvning

Nullavlesning: Måleverdi for et målesystem når måleren er ubelastet; dvs. den størrelsen som skal måles har en verdi på null mens strømkilden som behøves for å operere målesystemet er koblet inn.

Referanseavlesning: Avlesning av en måler like før trykksonden skal presses ned i grunnen.

Merk: Ved undersøkelser til sjøs bør dette gjøres når trykksonden er like over sjøbunnen. I tillegg bør det hvis mulig tas en referanseavlesning på overflaten etter rensing av friksjonshylsen.

Nullpunktsforskyvning: Den absolutte forskjellen i nullpunktsverdi eller referanseavlesning av et målesystem ved start og avslutning av et trykksonderingsforsøk.

2.22 Nøyaktighet, presisjon og oppløsning

Nøyaktighet: Målingsnærhet til den sanne verdi av den mengde som blir målt. Det er den totale nøyaktigheten av målesystemet 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 standardavvik som indikerer spredningen.

Merk: Hvis en lastcelle 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 som derfor vil være unøyaktige. Presisjon eller repeterbarhet er altså ikke en garanti for nøyaktighet.

Den ønskede situasjon vil være å ha en måler som både er nøyaktig og presis. Dette er en forutsetning for å oppnå nøyaktige og presise avlesninger i felten hvor det er viktig å notere all informasjon slik som temperatur, slitasje etc. i løpet av feltmålingene som kan influere på det endelige resultat.

Oppløsningen til et målesystem er den minste størrelse av en forandring i en måleverdi som kan måles nøyaktig. Den vil både influere nøyaktighet og presisjon av en måling.

2.23 Dissipasjonsforsøk

I et dissipasjonsforsøk framkommer poretrykksforandringen ved å måle verdier av poretrykket som en funksjon av tiden i en pause i nedpressingen.

2.24 Ruhetsforhold, R_a

Gjennomsnittlig avvik mellom et plan gjennom sondens virkelige overflate og et midlere referanseplan langs sondens overflate.

2.25 Helning, i

Avvik mellom trykksondens akse og vertikalaksen.

2.26 Poretrykk ved tiden t , u_t

Poretrykk ved tiden t i et dissipasjonsforsøk. Opprinnelig poretrykk ved tiden $t=0$ benevnes u_i .

2.27 Dissipasjonsgrad, U

Poreovertrykk Δu ved et gitt tidspunkt t subtrahert fra det opprinnelige poreovertrykk i dette nivået $\Delta u_i = u_i - u_o$, dividert med opprinnelig poreovertrykk i dette nivået, Δu_i .

2.28 Total overlagring, σ_{vo}

Vertikalspenning som følge av jordlagenes samlede vekt med referanse til et nivå ved trykksondens base.

3. METODIKK

Følgende referanseforhold må bestemmes:

- a) Type trykksonderingsforsøk etter tabell 5.1.

Merk: Filterposisjon u_1 , u_2 eller u_3 må bestemmes.

- b) Anvendelsesklasse med referanse til tabell 5.2.
c) Den ønskede nedtrengingslengde eller nedtrengingsdybde.

Merk: Den ønskede nedtrengingslengde eller nedtrengingsdybde vil avhenge av jordforholdene, den tillatte nedpressingskraft, måleområdet for trykksonden, tillatte krefter på sonderingsstengene og anvendelse av resultatene.

- d) Terrengnivå hvor trykksonderingen utføres, med referanse til datum (for eksempel NGO)
e) Posisjon av trykksonderingsforsøket i forhold til et fast referansepunkt (for eksempel UTM-koordinater)

- f) Hvis relevant: Metode brukt for å fylle igjen hullet i jorda etter utførelse av trykksonderingsforsøket
- g) Hvis relevant: Dybde(r) og varighet av et dissipasjonsforsøk.

Merk: Hvis grunnens drenasje- og/eller konsolideringsegenskaper skal bestemmes, kan et eller flere dissipasjonsforsøk utføres på forutbestemte dybder i jordprofilen. I et dissipasjonsforsøk oppnås en poretrykksutjevning ved å måle verdier av poretrykket som funksjon av tid. I finkornig jord med lav permeabilitet brukes poretrykkskurven (mot tid) til å tolke konsolideringskoeffisienten, c . I en godt drenerende jordart kan et dissipasjonsforsøk også bli brukt til bestemmelse av in situ poretrykk u_0 .

Merk: Ønsket dybde og minste varighet av et dissipasjonsforsøk vil avhenge av grunnforholdene og hensikten med målingene. Maksimum varighet er også en vanlig referanse for å unngå uforholdsmessig lange avbrekk i sonderingen.

Bestemmelsen av spissmotstand, nedtrengingslengde, sidefriksjon og/eller poretrykk, samt helningen av trykksonden relativt til vertikalaksen skal tilfredsstillende bestemmelser i kap.5. Anvendelsesklassen skal være i henhold til tabell 5.2 med hensyn på ønsket dybde og maksimum tillatt helning av trykksonden relativt til vertikalaksen. Nødvendig utstyr for å utføre trykksonderingen skal fylle kravene gitt i kapittel 5.

Tabell 3.1. Viktige symboler og forkortelser.

Symbol	Navn	Enhet
A_c	Projisert areal av sonden	mm^2
A_n	Areal av lastcelle eller stamme	mm^2
A_s	Areal av friksjonshylse	mm^2
A_{sb}	Areal nedre endeflate av friksjonshylse	mm^2
A_{st}	Areal øvre endeflate av friksjonshylse	mm^2
a	Netto arealforhold, spissmotstandskorreksjon	-
b	Netto arealforhold, sidefriksjonskorreksjon	-
B_q	Poretrykksforhold	-
C_{inc}	Korreksjonsfaktor for stanghelning relativt til vertikalaksen	-
d_{cone}	Diameteren for konen ved en bestemt høyde	mm
d_c	Diameteren av konens sylindriske del	mm
d_{fil}	Diameteren av filteret	mm
$\Delta u_{1,2,3}$	Poreovertrykk ved filterplassering 1, 2, 3	MPa
F_s	Målt kraft på friksjonshylsen	kN
f_s	Målt sidefriksjon	MPa
f_t	Korrigert sidefriksjon	MPa
h_c	Høyde av kon, konisk del	mm
h_e	Høyde av kon, sylindrisk del	mm
h_s	Høyde av friksjonshylse	mm
L	Nedtrengingslengde	m
Q_c	Målt kraft på kon	kN
q_c	Målt spissmotstand	MPa
q_n	Netto spissmotstand	MPa

q_t	Korrigert spissmotstand	MPa
R_a	Midlere overflateruhet	μm
R_f	Friksjonsforhold	%
R_{ft}	Korrigert friksjonsforhold	%
t	Tid	Sek
t_{50}	Tid for 50 % poretrykksdissipasjon i dissipasjonsforsøk	Sek
U	Dissipasjonsgrad, normalisert poretrykk	-
u_i	Poretrykk ved start dissipasjonsforsøk ($t=0$)	MPa
u_t	Poretrykk ved tid t i dissipasjonsforsøk	MPa
u_o	Initielt in situ poretrykk	MPa
u_1	Poretrykk på konisk del	MPa
u_2	Poretrykk i spalten mellom kon og friksjonshylse	MPa
u_3	Poretrykk over friksjonshylse	MPa
z	Dybde	m
α	Vinkel mellom vertikalaksen og trykksonden, i° (en-akset helningsmåler)	$^\circ$
$\alpha_{x,y}$	Vinkel mellom vertikalakse og projeksjonen av sonden på et fiksert vertikalplan, i° (to-akset helningsmåler)	$^\circ$
β	Vinkel mellom vertikalakse og projeksjonen av sonden på et vertikalplan som står normalt på planet med vinkel α , i° (to-akset helningsmåler)	$^\circ$
σ_{v0}	Totalt vertikalt overlagingstrykk	MPa

4. UTSTYR

4.1 Trykksondens geometri

Alle delene i en trykksonde skal ligge i samme akse.

Merk: Trykksonden bør ha en høy verdi for arealforholdet a (nær 1) for å gjøre arealkorrekasjonen minst mulig. Videre bør friksjonshylsens øverste endeareal fortrinnsvis være lik det nederste endearealet.

4.2 Konisk element

Dette består av en konisk del og en sylindrisk forlengelse. Konen skal ha en nominell åpningsvinkel (apex) på 60° . Tverrsnittsarealet av konen skal nominelt være 1000 mm^2 , dette tilsvarer en diameter på 35,7 mm.

Merk: Sonder med diameter mellom 25 mm ($A_c = 500 \text{ mm}^2$) og 50 mm ($A_c = 2000 \text{ mm}^2$) er tillatt for spesielle formål, uten bruk av korreksjonsfaktorer. Anbefalt geometri og toleransekrav bør justeres proporsjonalt med diameteren.

Diameteren av den sylindriske del skal være innenfor de toleransekrav som er gitt i figur 4.1:

$$35,3 \text{ mm} \leq d_c \leq 36,0 \text{ mm}$$

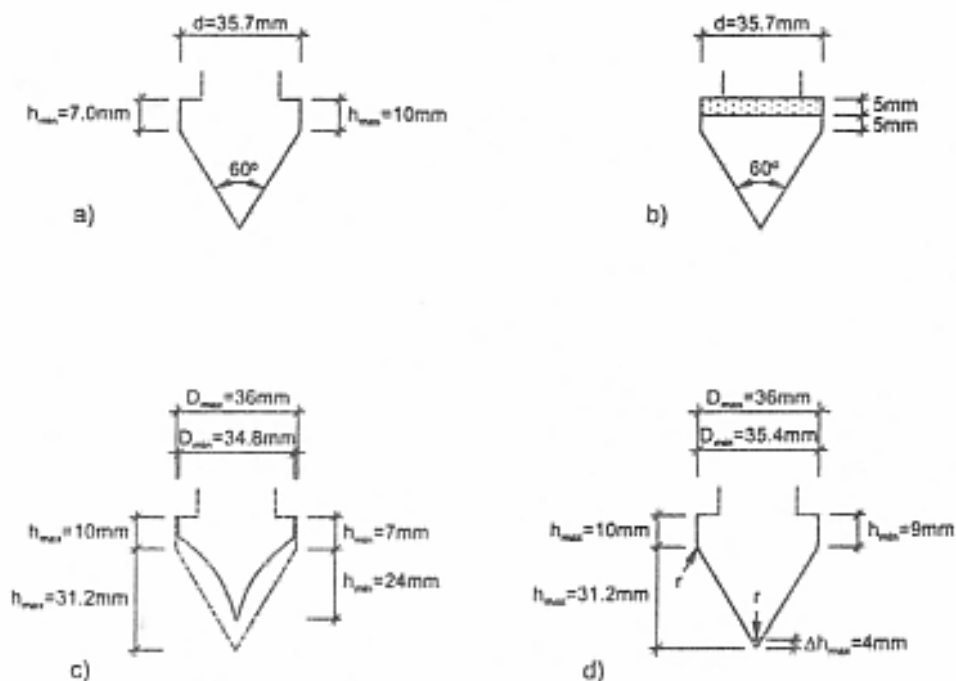
Lengden av den sylindriske del skal være innenfor følgende toleransekrav:

$$7,0 \text{ mm} \leq h_e \leq 10 \text{ mm}$$

Høyden på konisk del skal være innenfor følgende toleransekrav:

$$24,0 \text{ mm} \leq h_c \leq 31,2 \text{ mm}$$

Merk: Hvis et filter med posisjon u_2 er inkludert kan selve filterelementet være noe større enn ståldimensjonene gitt ovenfor. Se også kap.4.3 og 4.4.



Figur 4.1 Toleransekrav for en trykksonde.

Overflaten på spissen bør være glatt.

Merk: Overflateruheten, R_a , er definert som gjennomsnittlig avvik mellom den virkelige overflate av sonden og et middels referanseplan plassert langs overflaten av sonden.

Konen skal ikke lenger brukes hvis den er asymmetrisk slitt, selv om den ellers oppfyller toleransekravene.

4.3 Friksjonshylse

Friksjonshylsen skal være plassert rett over den koniske delen. Maksimal avstand på grunn av spalten og forseglingen skal være 5,0 mm.

Det nominelle overflatearealet skal være 15 000 mm². Definisjonsskisse er vist i figur 4.2.

Merk: Friksjonshylser med ytre diameter mellom 25 mm og 50 mm er tillatt for spesielle formål i forbindelse med sonder med tilsvarende diameter. For diametre i dette område er det ikke nødvendig å korrigere målte friksjonsverdier. Anbefalt geometri og toleranser bør justeres proporsjonalt med diameteren på øvre ende av konen. Det foretrukne forholdet mellom lengden på friksjonshylsen og diameter på øvre ende av konen er 3,75, men verdier mellom 3 og 5 er tillatt.

Merk: Slitasje av konen kan påvirke målt sidefriksjon. Denne effekten bør tas med i betraktning ved vurdering av nøyaktigheten av friksjonsmålingene.

Friksjonshylsens diameter skal være lik diameteren på konen med et toleransekrav på:

$$d_c \leq d_2 < d_c + 0,35 \text{ mm}$$

og:

$$d_2 < 36,1 \text{ mm}$$

Lengden av den sylindriske delen skal være innenfor toleransekravet:

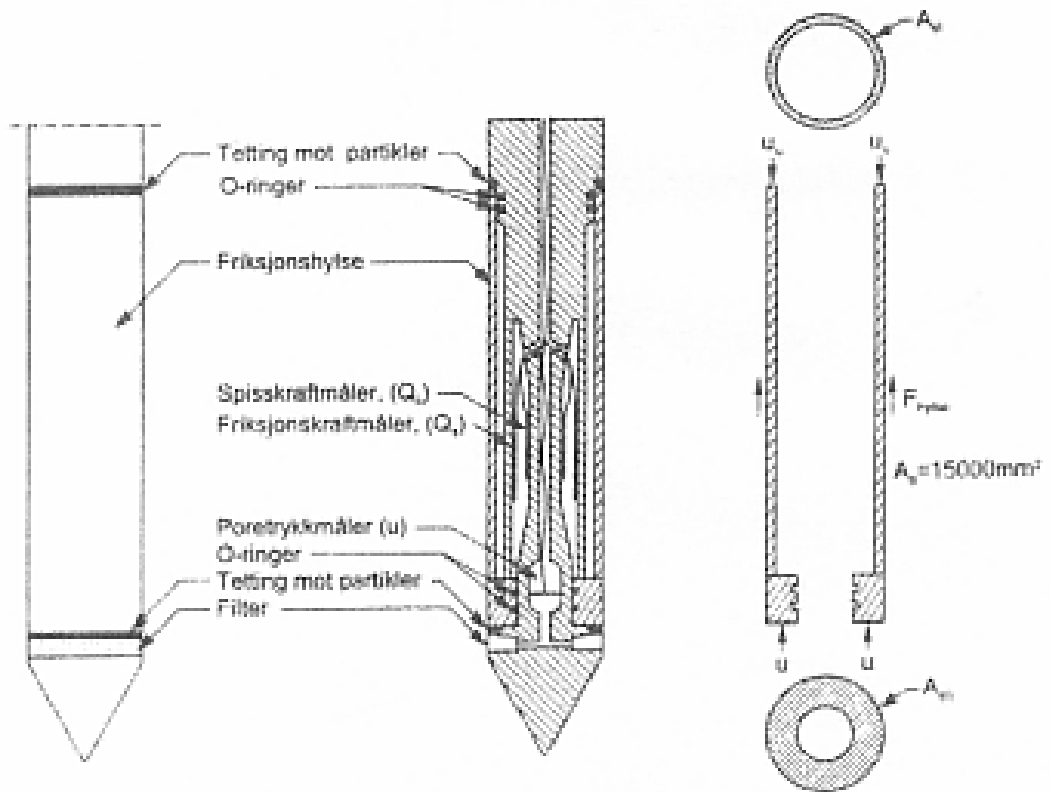
$$132,5 \text{ mm} < l_s \leq 135,0 \text{ mm}$$

Friksjonshylsen skal ha en overflateruhet på 0,40 µm ± 0,25 µm, målt i lengderetningen.

Merk: Med overflateruhet menes gjennomsnittlig ruhet R_a bestemt ved hjelp av et overflateprofil i henhold til ISO 8503 (1988) eller tilsvarende. Gjennomsnittlig ruhet er en middelvei av de absolutte avstander for det aktuelle profil i senterlinja og gjelder for en spesifisert testlengde, typisk i området 2 mm til 4 mm, avhengig av den standard som blir benyttet. Hensikten med kravet om overflateruhet er å forhindre bruken av en ekstremt glatt eller en ekstremt ru friksjonshylse. Stål, inkludert herdet stål, blir slitt ved bruk, spesielt i sand, og friksjonshylsen utvikler derfor sin egen ruhet. Det er viktig at ruheten ved tillaging av sonden er nær den ruheten som blir utviklet ved bruk. Det antas at kravet til overflateruhet vanligvis oppfylles for vanlige typer stål som blir benyttet av produsentene og for vanlige grunnforhold.

Bruken av parameteren R_a kan være brukbar for geotekniske anvendelser, men bruk av parameteren R_y er sannsynligvis mer relevant. Overflateruheten R_y er avstanden mellom høyeste topp og dypeste bunn innenfor en bestemt lengde, tatt som maksimum av en serie med bestemte lengder innenfor en testlengde.

Videre forskning er nødvendig for å definere relevante parametre for effekter av geometri på nøyaktighet av friksjonsavlesninger.



Figur 4.2 Geometri og toleransekrav for friksjonshylsen.

4.4 Filterelement

En filterposisjon på eller like bak den sylindriske forlengelsen av konen anbefales, men andre filterposisjoner kan aksepteres, se figur 2.2.

Merk: Filterposisjoner i tillegg til den anbefalte kan gi verdifull informasjon om grunnforholdene.

Poretrykk u_2 :

Filteret skal være plassert på eller like bak den sylindriske delen av konen. Filterets diameter skal tilsvare diameteren på konen og friksjonshylsen, med toleransekrav 0 til +0,2 mm. Filterdiameteren kan være større, men aldri mindre enn diameteren på konen. Filteret skal ikke ha større diameter enn friksjonshylsen:

$$d_2 - 0,2 \text{ mm} \leq d_{\text{fil}} \leq d_2$$

$$d_c \leq d_{\text{fil}} \leq d_c + 0,2 \text{ mm}$$

Merk: Følgende relasjon gjelder:

$$d_{\text{friksjonshylse}} \geq d_{\text{filter}} \geq d_{\text{kon}}$$

Merk: Denne filterposisjonen gir de mest konsistente resultater for klassifisering og tolkningsformål.

Merk: For korleksjon av spissmotstand for poretrykkseffekt er den beste posisjon for filteret i åpningen mellom konen og friksjonshylsen. En posisjon i den sylindriske del av konen anbefales imidlertid for lettere å oppnå og vedlikeholde metningen av poretrykkssystemet.

Poretrykk, u_1 :

Diameteren på filteret skal tilsvare diameteren på konen med et toleransekrav på 0 til – 0,5 mm. Formen på filteret må tilpasses formen på den koniske delen, dvs. diameteren på filteret skal være lik, men ikke større enn diameteren på konen i filterets posisjon.

Merk: Det anbefales å plassere filteret innenfor den midlere tredjedel av den koniske delen.

Poretrykk, u_3 :

Diameteren på filteret skal tilsvare diameteren på friksjonshylsen med toleransekrav 0 til –0,2 mm, dvs. diameteren på filteret kan være lik, men ikke større enn diameteren av friksjonshylsen.

$$d_2 \leq d_{\text{fil}} \leq d_2 + 0,2 \text{ mm}$$

Filteret skal være mettet ved starten av forsøket.

Merk: Det anbefales å plassere filteret rett over spalten mellom friksjonshylsen og skaftet på trykksonden.

Merk: Det er viktig at filteret forblir mettet selv om trykksonden passerer et umettet eller et dilaterende lag.

Merk: Porøse filter bør ha en porestørrelse på mellom 2 og 20 μm , tilsvarende en permeabilitet mellom 10^{-4} og 10^{-5} m/s. Filtermaterialer som har en tendens til å bli tettet av fine partikler bør ikke benyttes.

Merk: Følgende typer materialer har blitt brukt med god erfaring i normalkonsolidert leire: sintret, herdet stål eller bronse, karborundum, keramikk, porøs PVC og HDPE.

Merk: Når det gjelder valg av væske, metting av poretrykksmålesystemet, og bruk av spaltefilter henvises til kap.5.4.

Trykksonden skal være konstruert på en slik måte at det er lett å skifte filteret og at væskekommeret er lett å mette, se kap.5.3.

4.5 Fuger og tetninger

Fuger mellom de forskjellige deler av trykksonden skal ikke være større enn 5 mm. Fugene skal være beskyttet med en forsegling slik at jordpartikler ikke kan trenge inn i sonden.

Merk: Forseglingen må lett kunne deformeres relativt til lastcellen og andre elementer i trykksonden, slik at ingen vesentlige krefter kan overføres gjennom fugen.

4.6 Sonderingsstenger

Sonderingsstengene skal ha den samme diameter som trykksonden over minst 400 mm, målt fra sylindrisk del for sonder med tverrsnittsareal 1 000 mm². For sonder med andre dimensjoner skal denne avstanden skaleres lineært i forhold til diameteren.

For Anvendelsesklasse 4 skal stengenes retthet kontrolleres jevnlig etter prosedyrer gitt i Appendix A2. Før bruk skal rettheten kontrolleres visuelt.

Friksjonen langs sonderingsstengene kan reduseres ved hjelp av en friksjonsreduksjonsring med større diameter enn stengene. Friksjonen kan også reduseres ved hjelp av smøring, for eksempel med injisering av boreslam eller vann under forsøket. Injeksjonspunktet skal være plassert minst 400 mm over sondens base for sonder med areal 1 000 mm².

For sonder med andre dimensjoner skal denne avstanden skaleres lineært i forhold til diameteren.

Merk: Rettheten av sonderingsstengene kan sjekkes ved å holde stangen vertikalt og rotere den. Hvis stangen ser ut til å pendle ("wobbling"), så er rettheten ikke akseptabel.

Merk: Over terrengnivå bør stengene styres av ruller, en casing eller lignende for å redusere faren for utknekning. Trykksonderingsstengene kan også styres med et foringsrør i vann eller bløte sedimenter slik at risiko for utknekning reduseres.

Merk: Trykksonderingsstengene bør velges ut fra den ønskede nedpressingskraft og den signaloverføringsmetode som er valgt.

4.7 Målesystem

Oppløsningen av målesystemet skal være bedre enn en tredjedel av nøyaktigheten som gjelder for den ønskede Anvendelsesklasse gitt i tabell 5.2.

Merk: En elektrisk kabel kan brukes for å overføre signaler fra sensorene til en avlesningsenhet i terrengnivå, alternativt kan akustisk signaloverføring gjennom sonderingsstengene eller elektronisk overføring til en minneenhet i trykksonden benyttes.

4.7.1 Målere for spissmotstand og sidefriksjon

Lastcellen skal være kompensert for mulig eksentrisk virkning av aksielle krefter. Måleenheten for sidefriksjonen skal være konstruert på en slik måte at den måler friksjonen langs hylsen, og ikke jordtrykket mot den.

Merk: Vanligvis benyttes lastceller med strekkklapper for måling av spissmotstand og sidefriksjon.

4.7.2 Poretrykksmåler

Måleren skal vise minimal deformasjon ved belastning. Måleren kommuniserer via et væskekompartiment med et porøst filter eller en smal spalte på overflaten av trykksonden.

Merk: Poretrykksmåleren er vanligvis en trykkmåler av membrantypen.

Merk: Dette systemet måler poretrykket i den omkringliggende jorda under nedpressing.

4.7.3 Helningsmåler

Helningsmåleren bør ha et måleområde på minst $\pm 15^\circ$ i forhold til vertikalaksen.

4.7.4 Målesystem for nedtrengingslengde

Målesystemet skal inkludere en dybdemåler for måling av nedtrengingslengde.

Om nødvendig skal målesystemet også inneholde en prosedyre for korreksjon av målingene hvis bevegelser av stengene oppover relativt til dybdemåleren forekommer, for eksempel på grunn av en reduksjon av kraften på sonderingsstengene.

4.8 Nedpressingsutstyr

Utstyret skal være i stand til å presse trykksonden ned i grunnen med en standard nedtrengingshastighet på $20 \text{ mm/s} \pm 5 \text{ mm/s}$. Det skal være belastet eller forankret på en slik måte at det begrenser bevegelser relativt til terrengnivå mens nedpressingen foregår. Nedpressingsutstyret bør ha en slaglengde på minst 1000 mm. Andre slaglengder kan tillates under spesielle forhold.

Merk: Ramming eller rotasjon av sonderingsstengene skal ikke forekomme under måling.

5. PROSEDYRER

5.1 Valg av trykksonde

Trykksonden skal velges slik at den fyller kravene til et trykksonderingsforsøk etter tabell 5.1.

Tabell 5.1 *Typen trykksonderingsforsøk.*

Type trykksonderingsforsøk	Målte parametre
TE1	Spissmotstand og sidefriksjon
TE2	Spissmotstand, sidefriksjon og poretrykk

Merk: Trykksonderingsforsøk med måling av poretrykk på mer enn ett sted langs sonden er variasjoner av type TE2.

5.2 Valg av utstyr og prosedyrer i henhold til ønsket Anvendelsesklasse

Utstyr og prosedyrer for et trykksonderingsforsøk skal velges ut fra ønsket Anvendelsesklasse i tabell 5.2.

Anvendelsesklassene er definert som følger:

Anvendelsesklasse 1 benyttes for bløte til meget bløte avsetninger. Klasse 1 forsøk er normalt ikke tilpasset lagdelte avsetninger med både bløte og faste lag, selv om forboring gjennom de fastere lagene kan være en løsning. Forsøk i denne klassen skal bare gjennomføres med poretrykksmåling (CPTU).

Anvendelsesklasse 2 benyttes for nøyaktige forsøk i blandede, lagdelte profiler med både bløte og faste lag. Resultatene benyttes i første rekke til profilering og identifisering av jordart. Tolkning av materialegenskaper er mulig, men bare for estimerer i de bløte lagene. Anvendt sondetype bestemmes fra prosjektkravene.

Anvendelsesklasse 3 benyttes for forsøk i blandede, lagdelte profiler med både bløte og faste lag. Resultatene benyttes i første rekke til profilering og identifisering av jordart. Tolkning av materialegenskaper er mulig for meget faste og stive jordarter eller lag. For fast leire, fast silt og sand kan materialegenskaper også estimeres. Anvendt sondetype bestemmes fra prosjektkravene.

Anvendelsesklasse 4 benyttes for orienterende profilering og jordartsidentifikasjon i blandede, lagdelte profiler med både bløte og faste lag. Tolkning av materialegenskaper er ikke mulig. Forsøk kan utføres med sondetype TE1 og helningsmåling kan utelates.

Merk: Den oppnådde nedtrengingslengden eller nedtrengingsdybden avhenger av grunnforholdene, den tillatte penetrasjonskraften, nedpressingskapasitet på stengene og bruk av friksjonsreduksjon og/eller foringsrør, samt målekapasitet for sonden.

Merk: Hvis en ønsker å vurdere jordartens drems- og/eller konsolideringsegenskaper kan det utføres dissipasjonsforsøk på utvalgte dybder 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 konsolideringskoeffisienten c . I grovere, godt drenerende jordarten kan et dissipasjonsforsøk benyttes til å bestemme in situ poretrykk.

Merk: For å kunne vurdere kvalitet av målte parameter skal nullpunktsdriften bestemmes direkte fra måleverdiene eller fra referanseavlesninger etter utført CPT eller CPTU forsøk. Disse skal sammenlignes med verdiene før sondering, før servicesjekk og etter siste kalibrering av sonden.

Når alle mulige feilkilder blir lagt sammen skal nøyaktigheten av målingene være bedre enn den største av verdiene gitt i tabell 5.2. Den relative eller prosentvise nøyaktighet gjelder for selve måleverdien og ikke for måleområdet eller målekapasiteten. Strengere krav kan stilles i spesielt bløte jordarter. Nøyaktighetsvurderingene skal inkludere intern friksjon, målefeil i datainnsamling, eksentriske belastninger, temperatureffekter (vedvarende og forbigående) og dimensjonsfeil.

Metrologisk dokumentasjon relevant for et trykksonderingsforsøk skal være i henhold til ISO 10012-1.

Tabell 5.2. Anvendelsesklasser for CPT og CPTU.

Anvendelses-klasse	Forsøks-type	Målestørrelse	Tillatt minimums-nøyaktighet ^a	Maksimum avstand mellom målinger	Bruk	
					Profil ^b	Tolkning ^c
1	TE2	Spissmotstand Sidefriksjon Poretrykk Helning Nedtrengingslengde ^e	35 kPa eller 5% 5 kPa eller 10% 10 kPa eller 2% 2° 0.1 m eller 1%	20 mm	A	GH
2	TE1 TE2	Spissmotstand Sidefriksjon Poretrykk ^d Helning Nedtrengingslengde	100 kPa eller 5% 15 kPa eller 15% 25 kPa eller 3% 2° 0.1 m eller 1%	20 mm	A B C D	GH* GH GH GH
3	TE1 TE2	Spissmotstand Sidefriksjon Poretrykk ^d Helning Nedtrengingslengde	200 kPa eller 5% 25 kPa eller 15% 50 kPa eller 5% 5° 0.2 m eller 2%	50 mm	A B C D	G GH* GH GH
4	TE1	Spissmotstand Sidefriksjon Nedtrengingslengde	500 kPa eller 5% 50 kPa eller 20% 0.2 m eller 2%	50 mm	A B C D	G* G* G* G*

- A Homogen jord med meget bløt til fast leire og silt (typisk $q_c < 3$ MPa)
 B Lagdelt jord med bløt til fast leire (typisk $q_c \leq 3$ MPa) og middels fast sand (typisk $5 \text{ MPa} \leq q_c < 10$ MPa)
 C Lagdelt jord med fast leire (typisk $1,5 \text{ MPa} \leq q_c < 3$ MPa) og meget fast sand (typisk $q_c > 20$ MPa)
 D Meget fast til hard leire (typically $q_c \geq 3$ MPa) og meget fast, grov jord ($q_c \geq 20$ MPa)

- a Når alle mulige feilkilder blir lagt sammen skal nøyaktigheten av målingene være bedre enn den største av verdiene. Den relative eller prosentvise nøyaktighet gjelder for selve måleverdien og ikke for måleområdet eller målekapasiteten.
- b Tegnforklaring i henhold til NS-EN ISO 14688-2:
- c G Profilering og jordartsidentifikasjon med lavt usikkerhetsnivå
 G* Orienterende profilerings og jordartsidentifikasjon med høyt usikkerhetsnivå
 H Tolkning av designparametre med lavt usikkerhetsnivå
 H* Orienterende tolkning av designparametre med høyt usikkerhetsnivå
- d Poretrykk kan bare måles med type TE2 trykksonde
- e I Anvendelsesklasse 1 skal nedtrengingslengden kontrolleres med uavhengig metode for hver 5. m.

Merk: Se Appendix A4 for beregning av nedtrengingsdybde fra nedtrengingslengde og målt helning.

Merk: Ved ekstreme lufttemperatur bør trykksonden oppbevares slik at dens temperatur er i området 0 - 25°C. Under sondering bør nullavlesningene tas når trykksonden har en temperatur som er så nær bakkens temperatur som mulig. Andre elektroniske komponenter i datainnsamlingsystemet bør også være temperaturstabilisert.

Merk: For forsøk i Anvendelsesklasse 1 (se tabell 5.2.) bør trykksondens målere ha en temperaturfølsomhet bedre enn:

20 kPa/°C	for spissmotstand
0,1 kPa/°C	for sidefriksjon
0,05-0,1 kPa/°C	for poretrykk (måleområde 1-2 MPa)

Disse kravene gjelder for en trykksonde med lastkapasitet på 5 tonn. For trykksonder med andre kapasiteter kan kravene ovenfor justeres proporsjonalt med hensyn til effekten på nøyaktigheten av den målte verdi.

For alle klassene skal temperaturfølsomheten være en integrert del av nøyaktighetskravene.

5.3 Posisjon og nivå av nedpressingsutstyret

Avstand mellom nytt og tidligere borhull må være tilstrekkelig for å unngå påvirkningseffekter. Nedpressingsutstyret må posisjoneres i en avstand på 2 m eller minst 20 ganger borhulldiameteren til et tidligere borhull er vanligvis tilstrekkelig. Noen boreteknikker som for eksempel boring med bruk av luft vil kreve større innbyrdes avstander. Utgravninger i nærheten av borhullet bør unngås.

Nedpressingsutstyret skal påføre krefter på sonderingsstengene slik at akse til nedpressingskraften er så nær vertikal som mulig. Avvik fra vertikalaksen bør være mindre enn 2°. Akse til trykksonden skal tilsvare belastningsaksen ved starten av forsøket.

5.4 Forberedelse av trykksonden

Det virkelige tverrsnittsarealet ved konens øvre ende og det virkelige overflatearealet av friksjonshylsen skal måles og noteres i henhold til krav i Anvendelsesklasse gitt i tabell 5.2.

For trykksonder med måling av poretrykk skal filteret og andre deler av poretrykkssystemet være mettet med en væske før nedpressingen starter. Tilstrekkelige tiltak for å opprettholde mettingen underveis i forsøket skal gjennomføres.

Vanligvis benyttes avluftet, destillert vann ved testing i mettet jord. Når trykksonderingsforsøk utføres i umettet jord, tørrskorpe eller dilaterende jord, for eksempel i fast sand, bør filteret mettes med glyserin eller lignende væske.

Etter at filteret er montert er det god praksis å dekke filteret med en gummihud; denne vil briste når trykksonden kommer i kontakt med jorda. Ved metting og montering av gummihuden over poretrykksfilteret, vil trykksonden utsettes for små trykk, slik at målerne viser noe avvik fra null. Hvis man mener det er fare for partikkelsetting av filteret skal et nytt filter monteres for hvert forsøk.

Ved nedpressing gjennom grove og/eller steinrike lag kan det være nødvendig å forbore i deler av sonderingsprofilen. Forboring skal alltid benyttes i grove topplag, om nødvendig i kombinasjon med foringsrør for å unngå kollaps av borhullet.

I bløt, løs jord benyttes vanligvis forboring gjennom tørrskorpelaget, ned til en eventuell grunnvannstand. Det forborede borhullet bør fylles med vann hvis poretrykket skal måles ved et vannmettet system. Hvis grunnvannstanden ligger dypt, bør målesystemet mettes med glyserin eller tilsvarende væske.

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 nedpressingsmotstanden reduseres.

Nullavlesning for spissmotstand og nedtrengingsdybde, eventuelt også sidefriksjon, poretrykk og helning relativt til vertikalaksen skal registreres. Ved avlesning må trykksonden være ubelastet og temperaturstabilisert til bakketemperatur (5 - 7 °C).

Se tabell 5.2 for krav til målenøyaktighet og Appendix A2 for kalibreringsprosedyrer.

Merk: Når avluftet vann brukes bør filtrene kokes i 15 min. Filteret bør deretter avkjøles i vann før det lagres i metningsmediet i et forseglet kar. Et større volum med avluftet vann bør også gjøres klart. Dette vannet er nødvendig ved montering av sonden før bruk. Koking av filtre vil muligens ikke være akseptabelt for noen filtertyper, for eksempel HDPE.

Hvis glyserin eller silikonolje benyttes, plasseres de tørre filtrene rett i væsken og blir utsatt for vakuum i ca 24 timer. Et større volum av væske bør behandles på samme måte og lagres i et forseglet kar. Målekammeret blir vanligvis mettet med samme væske som blir benyttet for filteret. Dette kan oppnås ved å injisere væske inn i kammeret eller ved å behandle den demonterte sonden i et vakuumkar. Vakuum bør opprettholdes til det ikke

kommer flere luftbobler fra sonden (ca. 15-30 min). Den endelige montering av filter og forsegling bør gjøres med trykksonden 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 lite nok til at det kan roteres med fingertuppene. På denne måten oppstår det ikke tilleggsspenninger i fugene rundt filteret og eventuell påvirkning av målingene reduseres.

Merk: *Spaltefilter*

I dette systemet måles poretrykket ved hjelp av en åpen, 0,3 mm spalte plassert like bak den koniske delen (for eksempel Larsson, 1995). Det porøse filteret mellom jord og trykk-kammer blir derved overflødig. Spalten kommuniserer med trykk-kammeret via flere kanaler. Selve trykk-kammeret blir mettet med luftfritt vann eller frostvæske, mens kanalene mettes med gelatin, silikonfett eller et tilsvarende medium. Både gelatin og silikonfett er velegnet for feltbruk. Hvis silikonfett benyttes kan fett presses direkte inn i kanalene ved hjelp av en fettpresse eller tilsvarende. En må påse at fett ikke inneholder luftbobler, noe som kan gi dårlig metting av kanalene. Dette problemet unngås ved bruk av gelatin, men denne metteprosedyren krever til gjengjeld mer tid for utførelse ettersom spissen må legges i kokende gelatin og deretter avkjøles.

Bruk av spaltefilter reduserer nødvendig tid for rigging og preparering av trykksonden. I tillegg vil denne type poretrykksystem opprettholde mettingen ved nedpressing over grunnvannstanden og gjennom umettede soner i jorden (for eksempel gjennom tørrskorpen).

Merk: Når trykksonden senkes ned i grunnen, kan det oppstå små temperaturgradienter i sonden hvis lufttemperaturen er forskjellig fra bakketemperaturen. Disse temperaturgradientene vil påvirke målingene, og det er derfor viktig at trykksonden gis anledning til å tilpasse seg temperaturen i grunnen før en starter nedpressing av sonden. Vanligvis vil de største gradientene oppstå etter 2 - 3 minutter, mens full temperaturstabilisering vil være oppnådd etter 10 - 15 minutter.

Merk: Referansemålinger for undersjøiske trykksonderinger tilsvarer vanligvis avlesninger utført umiddelbart over sjøbunnsnivå. I tillegg anbefales det hvis mulig å utføre referanseavlesning på overflaten etter rensing av friksjonshylsen.

5.5 Nedpressing av trykksonden

I forsøket presses trykksonden ned i grunnen med konstant nedtrengingshastighet 20 ± 5 mm/sek. Nedtrengingshastigheten skal kontrolleres og avvik fra standardisert verdi skal noteres.

Merk: Nedpressingen defineres som kontinuerlig, selv om penetrasjonen stoppes regelmessig for takskifte og montering av ny sonderingsstang. Noen nedpressingsrigger kan utføre ideell kontinuerlig nedpressing, noe som er en fordel, spesielt i lagdelte silt- og leiravsetninger.

Merk: Nedpressingen defineres som diskontinuerlig hvis det oppstår lengre avbrudd i penetrasjonen, som for eksempel ved dissipasjonsforsøk eller ved avbrudd i nedpressingen på grunn av mekaniske feil.

5.6 Bruk av friksjonsreduksjonsring

Bruk av friksjonsreduksjonsring kan tillates, se definisjon i kap.2. Trykksonden og eventuell forlengelsesstang skal ha samme diameter over en minimumslengde på 400 mm over konisk del før friksjonsreduksjonsringen monteres.

5.7 Loggeintervall

Loggeintervall for måleverdiene skal velges på bakgrunn av ønsket detaljeringsbehov og oppløsning i sonderingsprofilen, for eksempel behov for påvisning av tynne lag. Vanligvis benyttes samme avlesningsintervall for registrering av spissmotstand, sidefriksjon og poretrykk. Avlesning av målerne skal minst utføres for hver 20 mm i Anvendelsesklasse 1 og 2. Gjennomsnittsverdier over et 20 mm intervall kan benyttes, selv om det måles hyppigere. Et loggeintervall på 50 mm kan benyttes ved trykksonderinger i Anvendelsesklasse 3 og 4 (se kap.5.1).

5.8 Registrering av nedtrengingsdybde

Nøyaktig nivå for trykksondens basis (nedtrengingsdybden) skal kunne bestemmes med en nøyaktighet tilsvarende kravene i tabell 5.2, relativt til terrengnivå eller annet fastholdt referansesystem (ikke nedpressingsriggen). Oppløsningen for den elektroniske dybdemåleren skal være 0,01 m eller bedre.

I Anvendelsesklasse 1 skal nedtrengingslengden i tillegg registreres for minst hver 5. m ved hjelp av en annen måler enn dybdemåleren.

Nedpressingen skal avbrytes når en av de følgende forhold inntreffer:

- Ønsket nedtrengingslengde eller nedtrengingsdybde er nådd, se også NS-EN 1997-2, 4.2.1 (1).
- Helningen av sonden relativt til vertikalaksen overskrider tillatt måleområde eller 15°.
- Maksimal forankringskraft eller maksimalt måleområde for sonden er nådd.
- Mulig skade på utstyret kan også være en gyldig grunn til å avbryte forsøket. Opptredende helning vil kunne påvirke kapasiteten på systemet.

Merk: Parametrene som måles med stor helning på sonden kan avvike fra målinger med vertikal sonde. Appendix A3 gir retningslinjer for hvordan nedtrengingsdybden kan beregnes fra målt nedtrengingslengde og helningsmålinger.

Avvik fra standard prosedyre som kan påvirke dybdemålingene skal registreres.

5.9 Dissipasjonsforsøk

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 konsolideringskoeffisient c . I grovere, godt drenerende jordarten kan et dissipasjonsforøk benyttes til å bestemme in situ poretrykk.

Ved dissipasjonsforsøket er det spesielt viktig å ta hyppige avlesninger i begynnelsen av dissipasjonsforløpet. Loggeintervallene skal være på minst 1 Hz for det første minuttet av forsøket, men kan deretter halveres for hver logaritmisk syklus.

Merk: Følgende måleintervaller 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

Varigheten av dissipasjonsforsøket skal tilsvare minst tiden for 50 % poretrykksdissipasjon ($t_{50} \rightarrow u_t = u_o + 0.5\Delta u_i$), siden dette er konsolideringsnivået som benyttes i de fleste tolkningsmetoder for bestemmelse av c . Hvis u_o ikke er bestemt benyttes et forsiktig estimat av in situ poretrykk.

Det bør noteres om sonderingsstengene ble kontinuerlig belastet eller fiksert under dissipasjonsforsøket. Dette kan kontrolleres ved også å måle spissmotstanden q_c som bør være konstant.

Merk: Variasjon i spissmotstand i løpet av dissipasjonsforsøket er uunngåelig, og skyldes både materialoppførsel og teknisk utførelse av forsøket.

5.10 Avslutning av trykksonderingen

Det skal foretas null-avlesning av samtlige målere etter opptrekking med sonden ubelastet i friluft (landundersøkelser) eller ved sjøbunnen (sjøundersøkelser). Det kan være nødvendig å rengjøre sonden, spesielt spaltene ved friksjonshylsen, før avlesning foretas. Ved sjøundersøkelser må det da foretas en ny nullavlesning på overflaten. Nullpunktsforskyvningen skal være godt innenfor tillatt målenøyaktighet, i henhold til den Anvendelsesklassen en opererer i (se tabell 5.2).

Trykksonden skal inspiseres for skader eller betydelig slitasje.

Merk: Nullpunktsforskyvningen mellom avlesninger før sondering og etter opptrekk og rengjøring av sonden er et mål for korrekt funksjon for sonden. Verdien benyttes for å kontrollere at etterspurt nøyaktighet i tabell 5.2 er oppnådd. Dette er viktig for å oppnå god nøyaktighet i tolkning av parametre.

6. FORSØKSRESULTATER

6.1 Målte parametre

Følgende informasjon skal måles:

- f_s : målt sidefriksjon
- l : nedtrengingslengde
- q_c : målt spissmotstand
- R_{f} : målt friksjonsforhold
- u : poretrykk
- u_1 : poretrykk på konisk del
- u_2 : poretrykk i spalten mellom kon og friksjonshylse
- z : nedtrengingsdybde
- α : målt totalvinkel mellom vertikalaksen og trykksondens akse

6.2 Korreksjon av måledata for poretrykkseffekter

Registrerte verdier som ikke er representative på grunn av stans i nedpressingen skal korrigeres og eventuelt slettes fra profilet. Korrigering av målte data på grunn av nullpunktsforskyvning skal utføres hvis det er nødvendig i forhold til kravene i tabell 5.2.

Merk: Når sondespissen utsettes for et allsidig vanntrykk påvirker dette registreringene av spissmotstand og sidefriksjon. Dette skyldes at vanntrykket virker i spalten mellom den koniske del og friksjonshylsen, og i spalten over friksjonshylsen. På grunn av forskjeller i friksjonshylsens endeareal i topp og bunn av spalten kan det oppstå en ubalansert kraft som vist i Figur 6.1. Den ubalanserte kraften oppstår bare hvis endeareal og/eller poretrykk er forskjellig for øvre og nedre endeflate av friksjonshylsen.

Denne korreksjonen skal utføres når filteret er plassert på eller like bak den sylindriske forlengelsen av den koniske delen (u_2). Korreksjonen utføres ved å benytte følgende korreksjonsformel (for eksempel Campanella m.fl., 1982), se figur 6.1.

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

der:

q_t = korrigert spissmotstand

q_c = målt spissmotstand

u_2 = poretrykk på den sylindriske forlengelse av konisk del, forutsatt likt poretrykket i spalten mellom konisk del og friksjonshylsen

a = netto arealforhold = A_n/A_c

A_n = Areal av lastcelle eller stamme

A_c = Projisert areal av sonden

Merk: Det anbefales kun å benytte denne korreksjonen hvis poretrykket u_2 måles. En tilnærmet bestemmelse av korrigert spissmotstand q_t kan utføres basert på poretrykk målt i andre posisjoner på sonden (Lunne m.fl., 1997).

Merk: Netto arealforhold a varierer vanligvis mellom 0,3 og 0,9 for vanlig benyttede trykksonder. Arealforholdet kan ikke bestemmes ut i fra vanlige geometriske forhold alene, men må bestemmes ved målinger i trykkammer eller liknende.

Den målte sidefriksjonen er påvirket av en tilsvarende effekt av poretrykket. Siden det ikke er vanlig å måle poretrykket på oversiden av friksjonshylsen, er det mest aktuelt å benytte ukorrigert sidefriksjon f_s . En mulig korreksjonsmetode er likevel gitt nedenfor, se også Figur 6.1:

$$f_t = f_s - [(\pi d_2 t_2 u_2 + \pi d_3 t_3 u_3) / \pi d_c h_s]$$

eller

$$f_t = f_s - (u_2 A_{sb} - u_3 A_{st}) / A_s$$

der:

f_t = korrigert sidefriksjon

f_s = registrert sidefriksjon

u_2 = poretrykk på den sylindriske forlengelse av konisk del, forutsatt likt poretrykket i spalten mellom konisk del og friksjonshylsen

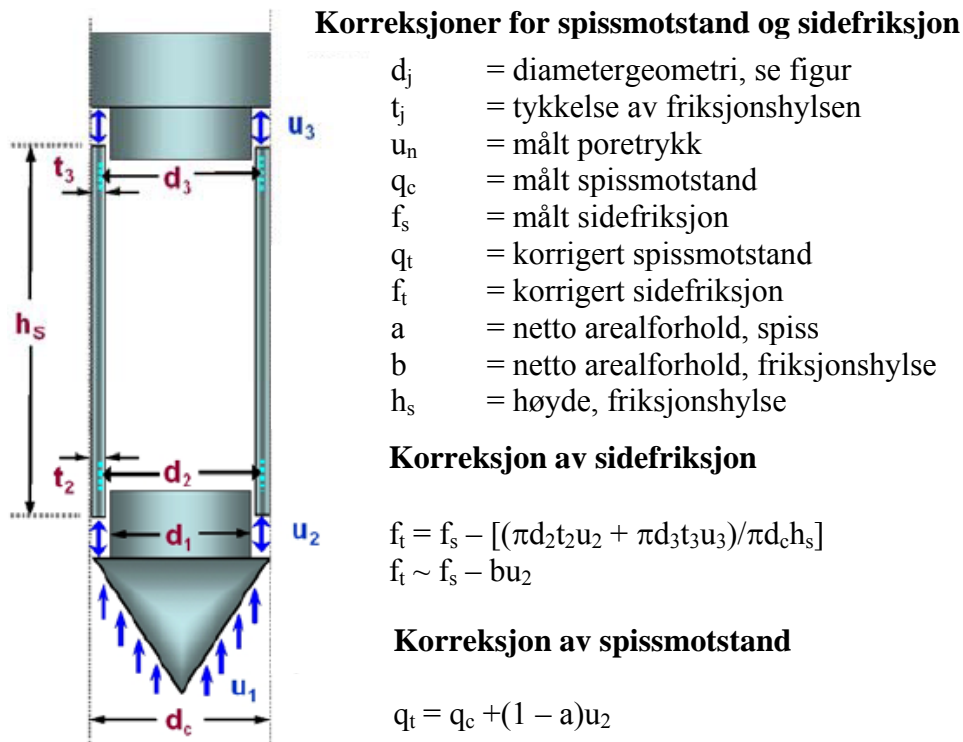
u_3 = poretrykk målt i fugen over friksjonshylsen

A_{sb} = areal av friksjonshylsens nedre endeflate

A_{st} = areal av friksjonshylsens øvre endeflate

A_s = areal av friksjonshylsen

Denne korreksjonen bør bare utføres hvis både u_2 og u_3 er målt.



Figur 6.1 Korreksjon av spissmotstand og sidefriksjon på grunn av ulike tverrsnittsarealer i sonden (etter Mayne (2007)).

Merk: Disse korreksjonene har størst innflytelse i finkornige jordarter der poretrykket ved nedpressing kan være betydelig. Det anbefales alltid å benytte korrigerte data for identifisering av jordarter og tolkning av parametre fra trykksonderingsresultatene.

Korreksjon for helning på grunn av avvik mellom nedtrengingsdybde og nedtrengingslengde, skal også utføres tilsvarende den prosedyre som er beskrevet i Appendix A4. Korreksjonen skal gjennomføres for å tilfredsstillere de krav som er angitt i tabell 5.2.

Merk: Det kan være aktuelt å utføre andre korreksjoner for å tilfredsstillere nøyaktigheten angitt i de forskjellige Anvendelsesklassene, for eksempel korreksjoner på grunn av temperatureffekter, tverrsnittsareal for sonden, sammentrykning av sonderingsstengene og tilsvarende.

7. RAPPORTERING

7.1 Generelt

Feltrapporten fra feltarbeidene og datarapporten skal inneholde informasjon i henhold til kapittel 7.2.1 til 7.2.5, samt samlet sjekklister i Appendix A1. Informasjonen skal gjengis på en måte slik at 3. person kan forstå og kontrollere hva som er målt.

Hvis data fra forsøket skal være oversiktlige og tilgjengelige kan de ordnes i tabeller eller som standard arkivskjema. Presentasjon i digital form gjør tilgjengeligheten enklere.

7.2 Generell presentasjon av forsøksresultater

7.2.1 Generell informasjon	Feltrapport	Datarapport	Plott
1a. Referanse til denne veiledning		X	X
1b. Utførende firma		X	X
1c. Navn og signatur for utstyrsoperatør	X	X	
1d. Navn og signatur for feltingeniør	X	X	
1e. Dybde til grunnvannsnivå med tidspunkt	X	X	
1f. Forboringdybde	X	X	X
1g. Materialangivelse under forboring	X	X	
1h. Dybde og årsak for eventuelle stopp	X	X	
1i. Avslutningskriterier for slutt forsøk	X	X	
1j. Observasjoner i forsøket	X	X	
7.2.2 Lokalisering av forsøket	Feltrapport	Datarapport	Plott
2a. Identifisering av forsøket	X	X	X
2b. Kotenivå for utført forsøk		X	X
2c. Lokale eller generelle koordinater		X	X
2d. Referansesystem og toleranser		X	
2e. Referansenivå til kjent datum		X	X

7.2.3 Forsøksutstyr	Feltrapport	Datarapport	Plott
3a. Sondetype	x		x
3b. Geometri og dimensjoner for sonde	x		
3c. Filterplassering	x		x
3d. Netto arealforhold a, b	x		
3e. Type nedpressingsrigg, inkl. kapasitet og eventuelle ankersystemer	x		
3f. Produsent av trykksonde		x	
3g. Identifiseringsnummer sonde		x	
3h. Måleområde for målere		x	
3i. Dato for siste kalibrering		x	
7.2.4 Forsøksprosedyrer	Feltrapport	Datarapport	Plott
4a. Forsøkstype	x	x	
4b. Forsøksdato	x	x	x
4c. Starttidspunkt forsøk	x	x	
4d. Sluttidspunkt forsøk	x	x	
4e. Dybde for start nedpressing		x	x
4f. Metningsvæske i poretrykksystem	x	x	
7.2.5 Målte parametre	Feltrapport	Datarapport	Plott
5a. In situ poretrykk	x	x	
5b. Nullpunktsavlesning for målere før og etter forsøk	x	x	
5c. Korreksjoner utført under databehandlingen		x	
5d. Helning av trykksonden i forhold til vertikalaksen		x	

7.3 Valg av akseskalering

I grafisk presentasjon av forsøksresultater er følgende akseskalering anbefalt:

- Dybde: 1 cm = 1 m
- Spissmotstand q_c, q_t : 1 cm = 2 MPa
- Sidefriksjon f_s, f_t^* : 1 cm = 0,05 MPa = 50 kPa
- Poretrykk u : 1 cm = 0,2 MPa = 200 kPa
- Friksjonsforhold R_f, R_{ft} : 1 cm = 2,0 %
- Poretrykksforhold B_q : 1 cm = 0,5

Avvik fra denne skalering kan tillates hvis det i tillegg vises et plott med anbefalt skalering på aksene. En skaleringsenhet bør være 1 cm. Den anbefalte skalering kan for eksempel benyttes for generell presentasjon, mens spesielle deler av kurven kan presenteres i en annen målestokk for detaljerte studier. I leirer, og der forsøksresultatene skal benyttes til tolkning av materialparametre (Anvendelsesklasse 1 og 2, se tabell 5.2), kan det være spesielt viktig å benytte en forstørret skalering i presentasjon av resultatene.

Akseskalering for resultater fra dissipasjonsforsøk (spissmotstand q_c , poretrykk u og tid t) skal tilpasses de målte verdier.

Merk: En vanlig presentasjonsform er å benytte lineære akser for q_c og u og en logaritmisk akse for tiden t .

Merk: Korrigert friksjon skal bare plottes hvis u_2 og u_3 er målt.

7.4 Rapportering av forsøksresultater

Forsøksresultatene skal presenteres som kontinuerlige profiler av følgende måleresultater mot nedtrengingsdybde (Anvendelsesklasse 1 og 2) eller nedtrengingslengde (Anvendelsesklasse 3 og 4):

- Spissmotstand - dybde	q_c (MPa) - z (m)
- Sidefriksjon - dybde	f_s (MPa) - z (m)
- Totalt poretrykk, referanse - dybde	u_2 (MPa) - z (m)
- Andre poretrykk - dybde	u (MPa) - z (m)
	(plassering av filteret angis)

Dybde refererer til nedtrengingslengde, om nødvendig korrigert for helning av stangsystemet.

Presentasjon av forsøksresultater i Anvendelsesklasse 1 og 2 skal, hvis påkrevet, inkludere tabulerte data i henhold til generell rapportering i kap.7.1.

Merk: Tabulerte data skal presenteres med loggeintervall i henhold til tabell 5.2, og inneholde tid (sek), nedtrengingsdybde i 0,01 m, spissmotstand q_c i 0,01 MPa og, hvis tilgjengelig, sidefriksjon f_s i 0,1 kPa, friksjonsforhold R_f i 0,1 %, korrigert spissmotstand q_t i 0,01 MPa, samt helning av trykksonden i °.

I Anvendelsesklasse 1 skal korrigert spissmotstand (q_t) og sidefriksjon (f_t) plottes i tillegg til måleverdiene, og disse verdiene anbefales også benyttet i tolkning og bearbeiding av resultatene. Et unntak kan gjøres ved sondering i grove jordarter, der effekten av korreksjonene er neglisjerbar.

In situ poretrykk kan estimeres fra beliggenheten av grunnvannspeilet eller aller helst fra lokale poretrykksmålinger i flere nivåer under grunnvannsstanden. Det kan også bestemmes fra in situ dissipasjonsforsøk i grove, permeable lag. Profilet for totalt overlagingstrykk σ_{vo} kan bestemmes fra densitetsmålinger in situ, eller fra uforstyrrede prøver i laboratoriet. Hvis en ikke har tilstrekkelig informasjon om grunnforholdene, kan densiteten estimeres fra trykksonderingsresultatene ved hjelp av erfaringsbaserte klassifiseringsdiagrammer.

Videre bearbeiding av måledata kan baseres på følgende enkle relasjoner:

- Poreovertrykk	$\Delta u = u - u_0$
- Netto spissmotstand	$q_n = q_t - \sigma_{vo}$
- Friksjonsforhold	$R_f = (f_t/q_t) \cdot 100$ % eller $(f_s/q_t) \cdot 100$ % hvis f_t ikke kan bestemmes nøyaktig ved korreksjoner
- Poretrykksforhold	$B_q = (u_2 - u_0)/(q_t - \sigma_{vo}) = \Delta u_2/q_n$

- Normalisert poreovertrykk $U = (u_t - u_o) / (u_i - u_o)$, der u_t = poretrykk ved tiden t i et dissipasjonsforsøk og u_i = poretrykk ved start av dissipasjonsforsøket
- Spissmotstandstall $N_m = q_n / (\sigma_{vo}' + a)$ (a = attraksjon)

Ved bearbeiding av resultatene kreves i tillegg kjennskap til følgende størrelser:

- Opprinnelig in situ poretrykk - dybde u_o (kPa) - z (m)
- Totalt overlagingstrykk – dybde σ_{vo} (kPa) - z (m)

7.5 Dokumentasjon av målenøyaktighet og Anvendelsesklasse

For å kunne vurdere oppnådd Anvendelsesklasse i henhold til tabell 5.2 er det viktig å dokumentere oppnådd nøyaktighet av målingene. En rekke faktorer i utstyrvalg, planlegging og utførelse av testen påvirker målenøyaktigheten, som for eksempel:

- Sondens måleområde
- Kalibreringsnøyaktighet
- Temperaturpåvirkning
- Nullpunktsavvik
- Metting av poretrykksmåler
- Helningsavvik

Oversikten i Appendix A1 gir et eksempel på sjekklister for dokumentasjon av utførelse og nøyaktighet av målingene. Denne eller tilsvarende sjekklister anbefales vedlagt ved utførelse av CPTU slik at alle forhold som kan påvirke målenøyaktigheten dokumenteres. I tråd med dette bør det også gis en forklaring på hvorfor ønsket Anvendelsesklasse ikke ble oppnådd, noe som spesielt er viktig for Anvendelsesklassene 1 og 2.

8. REFERANSER

Campanella, R.G., Gillespie, D. & Robertson, P.K. (1982)
Pore pressure during cone penetration testing.
Proc. ESOPT II, Vol. II, s. 507-512.

EN-ISO-22476-1 (2006/2010)

Geotechnical investigation and testing - Field testing - Part 1: Electrical cone and piezocone penetration tests. Endelig utgave, planlagt utgitt 2010.

ISO (1988).

Preparation of steel substrates before application of paints and related products - Surface roughness characteristics of blast-clean steel substrates. ISO 8503 (1988).

ISO (1992)

Quality Assurance Requirements for Measuring Equipment - Part 1: Meteorological Confirmation System for Measuring Equipment, ISO 10012-1:1992(E).

ISSMGE Technical Committee on Penetration Testing (1999)
International Reference Test Procedure (IRTP) for the Cone Penetration Test (CPT) and the
Cone Penetration Test with pore pressure measurements (CPTU).

Larsson, R. (1995).
Use of a thin slot as filter in piezocone test.
CPT'95, Proceedings, Vol. 2, s. 35-40.

Lunne, T., Robertson, P. K. & Powell, J. J. M. (1997)
Cone Penetration in Geotechnical Practice.

Mayne, P.W. 2007. Cone penetration testing. A synthesis of highway practice.
NCHRP Synthesis 368. National Cooperative Research Program, Transportation
Research Board, Washington D.C., USA.

Norsk Geoteknisk Forening (NGF) (1982, Revisjon 1994, 2000)
Veiledning for utførelse av trykksondering.
NGF Melding Nr.5.

Svenska Geotekniska Föreningen (SGF) (1993)
Rekommenderad standard för CPT - sondering.
SGF, rapport 1:93.

APPENDIX A1 – INNHOLD I SAMLET DOKUMENTASJONSRAPPORT

Sjekkliste for vurdering av gjennomføring, målenøyaktighet og Anvendelsesklasse

Generell informasjon	
Referanse til denne veiledning eller EN-ISO 22476-1	
Ønsket Anvendelsesklasse	
Test type (TE1 eller TE2)	
Kundens navn	
Oppdragsidentifikasjon	
Oppdragssted	
Navn på firma som utfører undersøkelsen	
Navn på og signatur av borleder og operatør	
Navn på og signatur av ansvarlig ingeniør	
Dybde til grunnvannsstand	
Poretrykksinformasjon (fra piezometere)	
Forbøringsdybde	
Registrerte jordarter i forsøket	
Nedtrengingsdybde	
Nivå og årsak til stopp i nedpressingen	
Benyttet stoppkriterium (dybde, kraft, helning)	
Tilbakefyllingsmetode	
Observasjoner i forsøket (stein, lyd ved nedpressing, bøyde stenger, løft, unormal slitasje, nullpunktsavvik)	
Forsøksdata	
Forsøksidentifikasjon	
Kotenivå for trykksonderingsforsøk	
Lokale/generelle koordinater	
Referansesystem og toleranser	
Referansenivå for forsøket	
Forsøksutstyr	
Type trykksonde	
Geometri og dimensjoner for trykksonde	
Type nedpressingsutstyr, inklusive kapasitet og eventuell forankring	
Spesielle last- og forankringsarrangementer	
Produsent av trykksonde	
Identifikasjonsnummer for sonde	
Måleområde for alle målere	
Dato for siste kalibrering av sonden	
Ansvarlig for kalibreringen	
Filterlokalisering	
Filtertype: Spaltefilter/porøst filter, filterplassering og filtermateriale	
Netto arealforhold 1. Spissmotstand, a 2. Sidefriksjon, b	

Forsøksprosedyre	
Forsøksdato	
Starttidspunkt for testen	
Sluttidspunkt for testen	
Forsøkstid	
Start nedpressing i forhold til referansenivå	
Metningsmedium benyttet i poretrykkssystemet	
Mettemetode	
Lufttemperatur før og etter testing	
Forsøksresultater	
Målte data i henhold til kap.7.4	
Korrigerte data i henhold til kap.7.4	
Avledede parametre i henhold til kap.7.4	
Nullpunktverdier før og etter sondering for alle målere. (Rapporterte verdier i ingeniørenheter).	
Oppløsning/nøyaktighet for alle målere	
Temperaturfølsomhet for alle målere	
Utførte korreksjoner i databearbeiding	
In situ poretrykksmålinger (omfang og dybde)	
Helning av sonden i forhold til vertikalaksen	
Vurdering av poretrykksrespons	
Vurdering av måledata	
Konklusjon	
Avvik fra veiledning/standard	
Oppnådd Anvendelsesklasse	
Årsaker for avvik mellom ønsket og oppnådd Anvendelsesklasse	

APPENDIX A2 – VEDLIKEHOLD OG FUNKSJONSKONTROLL

A2.1 Generelt

Dette appendix inneholder en informativ veiledning om vedlikehold, kontroll og kalibrering av utstyret. Prosedyrene beskriver gode og praktisk gjennomførbare rutiner.

A2.2 Linearitet av sonderingsstenger

Før forsøket utføres skal lineariteten av sonderingsstengene kontrolleres. En grovkontroll av lineariteten kan utføres ved å rulle stengene på et plant underlag. Hvis det observeres avvik bør lineariteten kontrolleres mer nøyaktig i henhold til prosedyrene nedenfor.

Avviket fra en rett linje gjennom endene av en 1 m lang sonderingsstang skal være etter følgende kriterier:

- Hver av de 5 nederste sonderingsstengene skal ha et maksimalt avvik fra senterlinjen på 1 mm
- To sammenskrudde stenger av de 5 nederste skal ha et maksimalt avvik på 4 mm

De andre stengene skal ha et maksimalt avvik på 2 mm. To sammenskrudde stenger av de resterende skal ha et maksimalt avvik på 8 mm.

A2.3 Slitasje av sonden

Slitasje av den koniske del og friksjonshylsen skal kontrolleres regelmessig for å sikre at geometrien av sonden tilfredsstillende toleransene. En standard geometri mal for en ny og ubrukt sonde kan benyttes ved kontrollen.

A2.4 Spalter og forseglinger

Forseglinger og spalter mellom ulike sondedeler skal kontrolleres regelmessig. Forseglingene skal spesielt kontrolleres og rengjøres for jordpartikler som har trengt inn i forseglingen.

A2.5 Målesystem for poretrykk

Ved måling av poretrykk under nedpressing, skal det porøse filteret ha en permeabilitet som sikrer tilstrekkelig poretrykksrespons. Filteret skal oppbevares neddykket og mettet i metningsvæsken mellom hvert forsøk. Målesystemet for poretrykk skal være fullstendig mettet før nedpressing av sonden starter, og det må treffes tiltak slik at metningen opprettholdes ved sondering over grunnvannstanden eller andre mettede soner.

A2.6 Vedlikeholdsprosedyrer

Ved vedlikehold og kalibrering av utstyret kan Tabell A2.1 benyttes, sammen med sondeprodusentens utstyrsmanual.

Tabell A2.1 Kontrollskjema for vedlikehold.

Kontrollrutine	Start prosjekt	Start sondering	Slutt sondering	Hver 3.dje måned
Vertikalitet av nedpressingsrigg		X		
Nedtrengingshastighet		X		
Sikkerhetsfunksjoner	x			X
Sonderingsstenger	x	X		
Slitasje	x	X	x	
Spalter og forseglinger	x	X	x	
Filtertilpasning	x	X	x	
Nullpunktsavvik		X	x	
Kalibrering	x			x *
Funksjonskontroll	x			x

*) og ved bestemte intervaller ved langtids testing

APPENDIX A3: KALIBRERING AV SONDEN

A3.1 Generelle prosedyrer

En ny trykksonde skal kalibreres nøyaktig med hensyn på:

- Netto arealforhold som benyttes ved korreksjon av målt spissmotstand og sidefriksjon
- Innflytelse av indre friksjon
- Mulige påvirkningseffekter (elektrisk krysoverføring etc.)
- Midlertidige temperatureffekter

Kalibrering og kontrollverdier er spesifikke for hver sonde, og kan også vise variasjoner i løpet av brukstiden forårsaket av små funksjonsforandringer og geometriendringer for sonden. I slike tilfeller må det utføres ny kalibrering av sonden.

Kalibrering av målesystemet skal også utføres regelmessig, i henhold til anbefalingene nedenfor:

- Minst hver 6. måned hvis sonden er i kontinuerlig bruk
- En ny kalibrering skal utføres etter sondering under vanskelige forhold, der sonden belastes nær dens maksimale kapasitet.
- Hvis sonden er utstyrt med lagringsmulighet for nullpunktverdier, og disse bare viser små endringer over tid, kan lengre kalibreringsintervaller aksepteres

Kalibreringen skal utføres med det samme målesystemet som i feltbruk, inklusive kabler, slik at man kan kontrollere eventuelle feil i det totale trykksonderingssystemet.

I felten skal det utføres jevnlig funksjonskontroller av utstyret. Dette bør minst gjøres for hver oppstilling av utstyret, eventuelt daglig. Videre skal det gjennomføres en funksjonskontroll og eventuelt en ny kalibrering hvis operatøren frykter overbelastning av målerne i trykksonden.

Generelt skal kravene i ISO 10012-1:1992(E) Meteorologiske bestemmelser følges.

A3.2 Kalibrering av spissmotstand og sidefriksjon

Kalibrering av spissmotstand og sidefriksjon utføres ved at den koniske delen og friksjonshylsen lastes opp trinnvis og deretter avlastes aksielt. Ved pålasting på friksjonshylsen erstattes det koniske elementet med en spesielt tilpasset kalibreringsenhet. Denne enheten er tilpasset slik at den aksiale lasten overføres til det nedre tverrsnittsarealet på friksjonshylsen.

Kalibreringene utføres separat, men de øvrige målerne i sonden kontrolleres for å se at de ikke påvirkes av den påførte lasten. Kalibreringen utføres for varierte måleområder, med spesiell vekt på de måleverdier som forventes i den forestående testen.

Når en ny sonde kalibreres, skal målerne utsettes for 15-20 repeterte lastveksler opp til maksimum last før selve kalibreringen utføres.

A3.3 Kalibrering av poretrykk og netto arealforhold

Kalibrering av målesystemet for poretrykk skal utføres i et trykkammer. For poretrykkseffekter på målt spissmotstand og sidefriksjon, skal kalibrering av arealforholdene a og b utføres i et spesielt tilpasset trykkammer (se Figur A1), som er konstruert slik at nedre del av trykksonden kan monteres i kammeret og samtidig være forseglet over friksjonshylsen. Den innelukkede del av sonden blir så utsatt for et trinnvis økende omhyllingstrykk, og måleverdiene for spissmotstand, sidefriksjon og poretrykk registreres. På denne måten oppnås en kalibreringskurve for poretrykksmåleren, og arealforholdene kan bestemmes fra responskurvene for spissmotstand og sidefriksjon (se Kap. 6.2). Kalibreringskammeret for poretrykk er også velegnet for å kontrollere poretrykksmålerens respons på sykliske trykkvariasjoner.

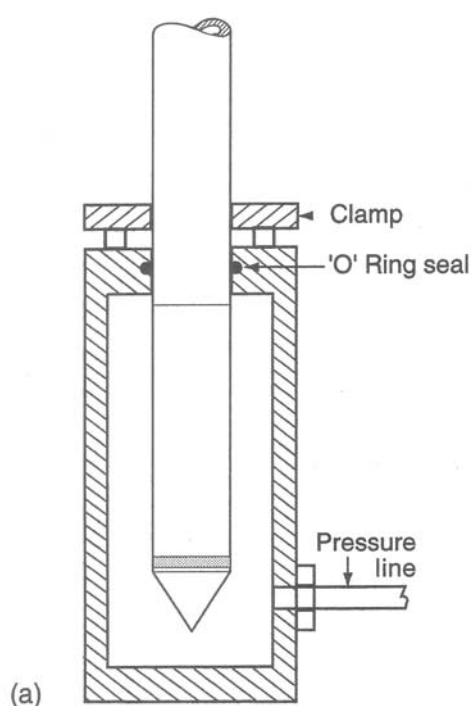


Fig. A1 Trykkammer for bestemmelse av arealforholdene a og b .

A3.4 Kalibrering for temperatureffekter

Trykksonden skal også kalibreres for temperatureffekter ved forskjellige temperaturnivåer, for eksempel ved å senke trykksonden ned i en vannbeholder med forskjellige temperaturer. Måleravlesningen registreres inntil måleverdien stabiliserer seg. Fra disse resultatene kan man oppnå et mål for hvor stort nullpunktsavvik en får pr $^{\circ}\text{C}$, og en får et inntrykk av hvor lang tid som er påkrevet for temperaturstabilisering av utstyret i felten. Dette er viktig informasjon for skikkelig forberedelse og preparering av utstyret før forsøket startes.

Prosedylene over gjelder bare for tilpasning til omgivelsestemperaturer, og ikke for midlertidige temperaturendringer i sonden.

A3.5 Kalibrering av dybdemåler

Dybdemåleren skal kalibreres minst hver 6. måned eller etter reparasjoner.

A3.6 Kalibrering av helningsmåler

Helningsmåleren i sonden skal kalibreres over måleområdet -20° - $+ 20^{\circ}$ i forhold til vertikalaksen i to ortogonale retninger. Kalibreringen skal gjennomføres i 5° intervaller. Fra kalibreringen oppnås et inntrykk av helningsmålerens linearitet.

APPENDIX A4: KORREKSJON AV NEDTRENGINGSDYBDE

A4.1 Beregning av korreksjonsfaktoren C_h og helningen relativt til vertikalaksen

I det følgende er gitt ligninger for bestemmelse av korreksjonsfaktoren C_h for innflytelse av helningen av stangsystemet relativt til vertikalaksen på en gitt testdybde.

a) For en-aksial helningsmåler

$$C_h = \cos\alpha$$

der:

C_h = korreksjonsfaktor for helning av trykksonden relativt til vertikalaksen

α = vinkelen mellom vertikalaksen og trykksonden, i °.

b) For bi-aksial helningsmåler:

$$C_h = (1 + \tan^2\alpha + \tan^2\beta)^{-0.5}$$

der:

α er vinkelen mellom vertikalaksen og projeksjonen av sonden på et fiksert vertikalplan, i °.

β er vinkelen mellom vertikalaksen og projeksjonen av sonden på et vertikalplan som står normalt på planet med vinkel α , i °.

Merk: Det kan være nødvendig med tilleggskorreksjoner av sonderingsdybden

Merk: Bestemmelsen av korreksjonsfaktoren for nedtrengingsdybden skal ta hensyn til en komplisert belastningssekvens. Tilleggsfaktorer inkluderer: bøyning og stukning av sonderingsstenger og -skjøter, vertikal bevegelse av terreng, samt vertikal bevegelse av dybdemåler relativt til terrengnivå. I noen situasjoner, som ved avbrudd i nedpressingen, er det mulig å korrigere for bøyning og stukning av sonderingsstengene ved å benytte en hivkompensator.