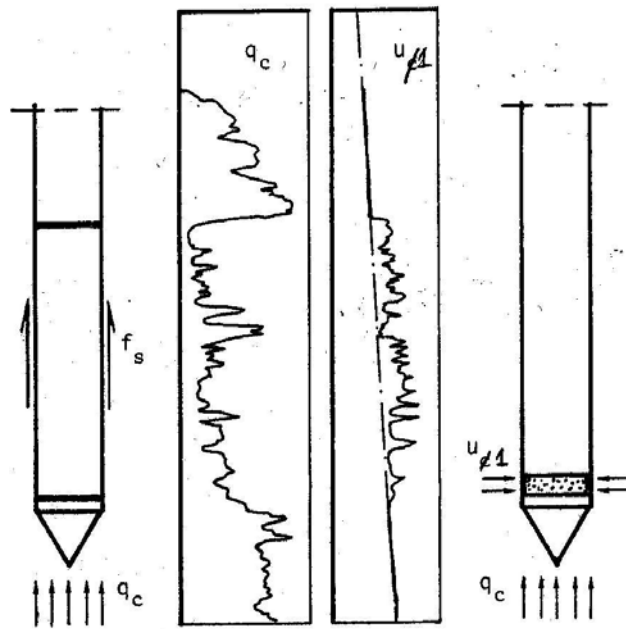


MELDING NR. 5, UTGITT 1982

Rev. nr. 1, 1994

Rev. nr. 2, 2000

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. Interesserte kan også bestille eksemplarer gjennom sekretæren.

NGF's styre

FORORD

Norsk Geoteknisk Forening tok høsten 1993 initiativet til at det skulle utarbeides en revidert veiledning for utførelse av trykksondering. Første utgave av veiledningen om trykksondering, melding nr. 5 i NGIs serie av veiledninger, kom så tidlig som i 1982. På grunn av utviklingen med utstrakt bruk av poretrykksmåling i tillegg til spissmotstand og sidefriksjon ble det utgitt en revisjon nr 1 i 1994.

Teknisk komité nr. 16 i den internasjonale geotekniske forening (ISSMGE) utga i 1999 en ny IRTP (International Reference Test Procedure) for trykksondering med poretrykksmåling (CPTU). Dette dokument inneholder en rekke nye aspekter som det var enighet om i NGFs feltkomité bør komme fram i det geotekniske miljø også i Norge. Denne revisjonen nr. 2 er mer eller mindre en direkte oversettelse av den ovennevnte IRTP.

Veiledningen beskriver både ordinær trykksondering med friksjonsmåling (CPT) og trykksondering med poretrykksmåling (CPTU). Veiledningen inneholder ikke prosedyrer for tolking og bearbeiding av trykksonderingsresultatene. Det henvises her til litteraturreferanser gitt til sist i denne veiledningen.

Komitémedlemmer: L.O. Bogen, W. Holm, O. Lefstad, T. Lunne, A. Robsrud, R. Sandven, K. Hagberg, A. Handberg

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 more or less a direct translation of 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 issued in 1999).

INNHOLDSFORTEGNELSE

1.	INNLEDNING	1
2.	DEFINISJONER	2
2.1	TRYKKSONDERINGSFORSØK	2
2.2	TRYKKSONDE	2
2.3	KON.....	3
2.4	FRIKSJONSHYLSE.....	3
2.5	FILTERELEMENT	3
2.6	MÅLESYSTEM	3
2.7	TRYKKSONDERINGSSTENGER	3
2.8	NEDPRESSINGSUTSTYR	3
2.9	PENETRASJONSDYBDE OG LENGDE	4
2.10	FRIKSJONSREDUKSJON.....	4
2.11	SPISSMOTSTAND, Q_c	4
2.12	LOKAL SIDEFRIKSJON, F_s	5
2.13	PORETRYKK, U	5
2.14	POREOVERTRYKK, ΔU	6
2.15	NETTO AREALFORHOLD, A	6
2.16	KORRIGERT SPISSMOTSTAND, Q_T	6
2.17	FRIKSJONSFORHOLD, R_f	6
2.18	PORETRYKKSFORHOLDET, B_Q	6
2.19	NULLAVLESNING, REFERANSEAVLESNING OG NULLPUNKTSFORSKYVNING	7
2.20	NØYAKTIGHET, PRESSION OG OPPLØSELIGHET	7
2.21	DISSIPASJONSFORSØK.....	7
3.	METODIKK	7
4.	UTSTYR	8
4.1	TRYKKSONDENS GEOMETRI.....	8
4.2	KONISK ELEMENT	8
4.3	FRIKSJONSHYLSE.....	10
4.4	FILTERELEMENT	11
4.5	FUGER OG TETNINGER	12
4.6	SONDERINGSSTENGER	12
4.7	MÅLESYSTEM	13
4.8	NEDPRESSINGSUTSTYR	14
5.	PROSEDYRER	14
5.1	VALG AV TRYKKSONDE	14
5.2	VALG AV UTSTYR OG PROSEDYRER I HENHOLD TIL ØNSKET NØYAKTIGHETSKLASSE	14
5.3	POSISJON OG NIVÅ AV NEDPRESSINGSUTSTYRET	16
5.4	FORBEREDELSE AV TRYKKSONDEN.....	16
5.5	PENETRASJON AV TRYKKSONDEN.....	18
5.6	BRUK AV FRIKSJONSREDUKSJONSRING	18
5.7	LOGGEINTERVALL	18
5.8	REGISTRERING AV PENETRASJONSDYBDE.....	18
5.9	DISSIPASJONSFORSØK.....	18
5.10	AVSLUTNING AV TRYKKSONDERINGEN	19
6.	RAPPORTERING AV FORSØKSRESULTATER	214
6.1	GENERELL RAPPORTERING OG PRESENTASJON AV FORSØKSRESULTATER	21
6.2	VALG AV AKSESKALERING.....	22
6.3	PRESENTASJON AV FORSØKSRESULTATER	23
7.	REFERANSER	23

1. INNLEDNING

To typer trykksonder er tatt i betraktning:

1. Elektrisk trykksonde (CPT) som inkluderer måling av spissmotstand og sidefriksjon.
2. "Piezoconeforsøk" (CPTU) som er et trykksonderingsforsøk med tilleggsmåling av poretrykk.

Note: Denne veiledning kan også benyttes for CPT/CPTU uten måling av sidefriksjon.

Et *CPT* forsøk blir utført med et sylindrisk penetrometer med et konisk element, eller kon, som penetreres inn i jorda med en konstant penetrasjonshastighet. Mens sonden penetreres måles kreftene på konen og på friksjonshylsen.

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

Note: Vanligvis blir målingene utført med elektronisk overførings- og datalogging, med en målefrekvens som kan sikre detaljert informasjon om grunnforholdene.

Resultatene fra et trykksonderingsforsøk kan bli brukt til å evaluere:

- lagdeling
- jordart
- jordens lagringsbetingelser og in situ spenningsforhold
- mekaniske jordparametre
 - . styrkeegenskaper
 - . deformasjon og konsolideringsegenskaper

Note: Resultatene fra trykksonderingsforsøk kan også benyttes direkte til dimensjonering, for eksempel pelefundamenter, komprimeringskontroll (se for eksempel Lunne et al., 1997).

Trykksonderingsforsøk med poretrykksmåling (CPTU) gir en mer pålitelig bestemmelse av lagdeling og jordtype enn et vanlig CPT forsøk. I tillegg gir et CPTU forsøk et bedre grunnlag for interpretasjon med hensyn til mekaniske jordparametre. Hensikten med denne veiledning er å etablere definisjoner og krav til utstyr og prosedyrer. Dette vil medføre at brukere vil benytte samme metoder internasjonalt. Denne veiledning er mer eller mindre en direkte oversettelse av en "International Reference Test Procedure" (IRTP) som ble utarbeidet av Technical Committee No. 16, Site Characterization by In Situ Tests, under den internasjonale forening, International Society of Soil Mechanics and Geotechnical Engineering" – ISSMGE.

Dette er ikke en standard, men et sett anbefalinger for god praksis. Disse anbefalingene er ment å være grunnlaget for framtidige anstrengelser for nasjonal/internasjonalt standardisering. Retningslinjene i dette dokument er også i overensstemmelse med Eurocodes.

Note: Det er tillatt å avvike kravene i denne veiledning hvis det kan dokumenteres at avvikene i resultatene ikke er betydelig i forhold til resultater oppnådd med utstyr og prosedyrer som følger kravene i denne veiledning.

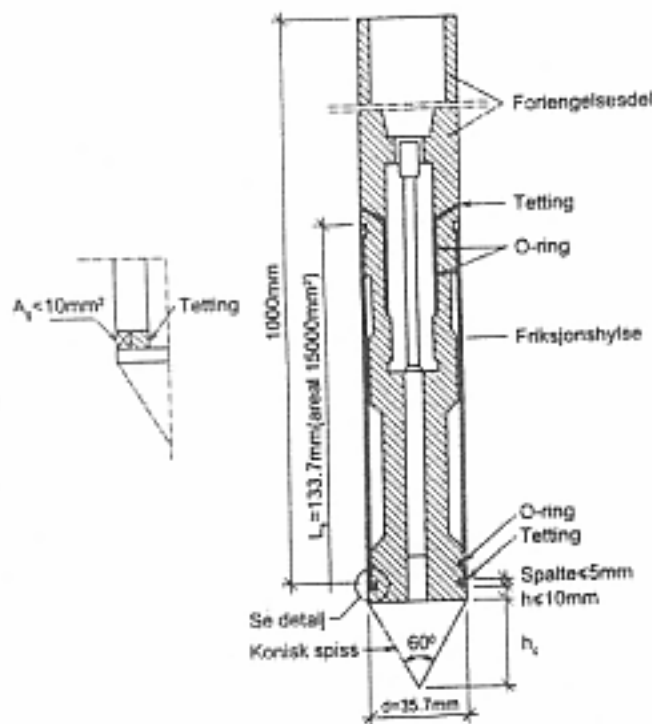
2. DEFINISJONER

2.1 Trykksonderingsforsøk

Penetrasjon av en trykksonde på enden av en serie med sylindriske trykksonderingsstenger ned i grunnen med en konstant hastighet.

2.2 Trykksonde

En trykksonde består av et konisk element (kon), friksjonshylse og sensorer med målesystem, samt en overgang til sonderingsstenger. Fig. 2.1 viser som eksempel et snitt gjennom en trykksonde.



Figur 2.1 Snitt gjennom en trykksonde, eksempel

En trykksonde inneholder interne lastceller for måling av kraften mot den koniske del (spissmotstand), sidefriksjonen mot friksjonshylsen (sidefriksjon) og, for en trykksonde med poretrykkmåling, poretrykket på ett eller flere steder langs sondens overflate. Et internt

inklinometer er inkludert for måling av penetrometerets helning: Dette kreves for å tilfredsstille kravene i Nøyaktighetsklasse 1, 2 og 3 som gitt i tabell 5.1.

Note: Andre sensorer kan også inkluderes i en trykksonde.

2.3 Kon

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

Note: I denne veiledning blir det antatt at konen er 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 en trykksonde hvor sidefriksjonen blir målt.

2.5 Filterelement

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

2.6 Målesystem

Målesystemet inkluderer alle sensorer og tilhørende deler som blir brukt for å overføre og/eller lagre elektriske signaler som blir generert i løpet av trykksonderingsforsøket. Målesystemet består normalt av komponenter for måling av kraft (spissmotstand, friksjon), trykk (poretrykk) og dyp.

2.7 Trykksonderingsstenger

Trykksonderingsstenger er en serie med stenger for å kunne overføre trykk- og strekkrefter til trykksonden.

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

2.8 Nedpressingsutstyr

Nedpressingsutstyret blir brukt til å penetrere trykksonde og sonderingsstenger vertikalt ned i grunnen med konstant penetrasjonshastighet.

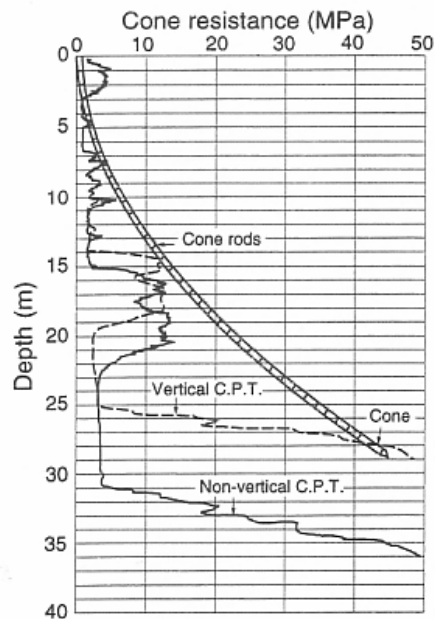
Note: Nødvendig reaksjonskraft for nedpressingsutstyret kan skaffes til veie ved dødvekt og/eller ved bruk av jordskruer.

2.9 Penetrasjonsdybde og lengde

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

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

Note: Det faste horisontale plan er vanligvis det samme som det horisontale plan gjennom terrengnivå på testlokasjonen.



Figur 2.2 Penetrasjonslengde og penetrasjonsdybde

2.10 Friksjonsreduksjon

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

2.11 Spissmotstand, q_c

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

$$q_c = Q_c/A_c$$

2.12 Lokal sidefriksjon, f_s

Den målte sidefriksjon, f_s , finnes ved å dividere total målt kraft som virker på friksjonshylsen, F_s , med hylsens overflateareal, A_s :

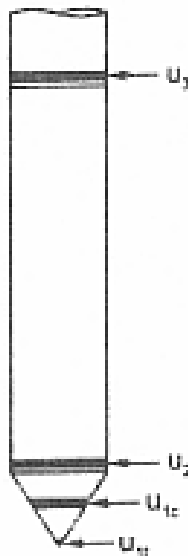
$$f_s = F_s/A_s$$

2.13 Poretrykk, u

Poretrykk, 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 benevning blir benyttet:

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

Note: Det målte poretrykk varierer med jordtype, in situ poretrykk og filterplassering langs sondens overflate. Poretrykket består av det opprinnelige in situ poretrykk og tilleggsporetrykket forårsaket av penetrasjon av trykksonden ned 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 penetrasjonen starter.

Note: 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, eller stammen til trykksonden rett over konen, på det stedet hvor poretrykket måles, delt på det nominelle tverrsnittsarealet på konen.

Note: Se avsnitt 5.10 og fig. 5.1 for detaljer.

2.16 Korrigert spissmotstand, q_t

Den korrigerte spissmotstand, q_t , er den målte spissmotstand, q_c , korrigert for poretrykks-effekter ifølge formelen:

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

Note: Avsnitt 5.10 gir mer detaljer om denne korreksjon.

2.17 Friksjonsforhold, R_f

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

Note: I noen tilfelle blir den inverse verdien av friksjonsforholdet; friksjonsindeksen, benyttes. Når det er mulig skal den korrigerte spissmotstand, q_t , benyttes til å beregne R_f .

2.18 Poretrykksforholdet, B_q

Poretrykksforholdet B_q er definert som:

$$B_q = \Delta u_2 / (q_2 - \sigma_{v0})$$

Hvor σ_{v0} er total vertikalspenning i grunnen i trykksondens nivå, før penetrasjonen begynner.

2.19 Nullavlesning, referanseavlesning og nullpunktsforskyvning

Nullavlesning: Måleverdi for et målesystem når måleren er ubelastet; dvs. den parameteren 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 penetrere ned i grunnen. Ved undersøkelser til sjøs gjelder dette når trykksonden er rett over sjøbunnen.

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

2.20 Nøyaktighet, presisjon og oppløselighet

Nøyaktighet defineres som målingsnærhet til den sanne verdi av den mengde som blir målt. Det er nøyaktigheten av det totale målesystem som er viktig, ikke de individuelle faktorene.

Presisjon er nærheten av hvert sett av målinger til hverandre. Presisjon er det samme som repeterbarhet og kan bli uttrykt som en verdi med et standard avvik som indikerer spredningen.

Note: 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 vil være unøyaktige. Presisjon eller repeterbarhet er altså ikke en garanti for nøyaktighet. Den ønskede situasjon vil være å ha en måler som 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. Oppløseligheten til et målesystem er den minste størrelse av en forandring i en måleverdi som den kan oppdage. Den vil influere på en målings nøyaktighet og presisjon.

2.21 Dissipasjonsforsøk

I et dissipasjonsforsøk framkommer poretrykksforandringen ved å måle verdier av poretrykket som en funksjon av tiden i en pause i penetrasjonen. Trykksondens posisjon i grunnen blir da fastholdt.

3. METODIKK

Følgende referanseforhold må bestemmes:

- a) Type trykksonderingsforsøk, etter tabell 5.1.

Note: Filterelementposisjon u_1 , u_2 eller u_3 må bestemmes.

- b) nøyaktighetsklasse, med referanse til tabell 5.2.
- c) den ønske penetrasjonslengde eller penetrasjonsdyp

Note: Den ønskede penetrasjonslengde eller penetrasjonsdybde vil avhenge av jordforholdene, den tillatte penetrasjonskraft, tillatte krefter på sonderingsstengene og evt. anvendelse av og måleområdet for trykksonden.

- d) terrengnivå hvor trykksonderingen utføres med referanse til datum
- e) posisjon av trykksonderingsforsøket i forhold til et fast referansepunkt
- f) hvis relevant metode brukt for å fylle igjen hullet i jorda etter utførelse av trykksonderingsforsøket
- g) hvis relevant, dybde og varighet av et dissipasjonsforsøk.

Note: Ønsket dyp og minste varighet av et dissipasjonsforsøk vil avhenge av grunnforholdene og hensikten med målingene. En maksimum varighet er også en vanlig felles referanse for å unngå uforholdsmessig lange avbrekk i sonderingen.

Note: Hvis grunnens drenerings- og/eller konsolideringsegenskaper skal bestemmes, kan dissipasjonsforsøk utføres på forutbestemte dyp i jordprofilen. I et dissipasjonsforsøk oppnås en poretrykkutjevning ved å måle verdier av poretrykket som en funksjon av tid. I kohesjonsjord med lav permeabilitet brukes poretrykkskurven (mot tid) til å evaluere konsolideringskoeffisienten, c . I en godt drenerende jordart kan et dissipasjonsforsøk også bli brukt til å evaluere in situ poretrykk u_0 .

Bestemmelsen av spissmotstanden, penetrasjonslengde, sidefriksjon og/eller poretrykk, samt helningen av trykksonden relativt til vertikalaksen skal tilfredsstillende bestemmes i kapittel 5. Nøyaktighetsklassen skal være i henhold til Tabell 5.2 med hensyn på ønsket dyp og maksimum tillatt helning av trykksonden relativt til vertikalaksen. Utstyret som trengs for å utføre trykksonderingen skal fylle kravene gitt i kapittel 5.

4. UTSTYR

4.1 Trykksondens geometri

Alle delene i en trykksonde skal ligge i samme akse.

Note: Dimensjonering av en trykksonden bør ha som mål å ha en høy verdi av arealforholdet a . Videre bør friksjonshylsas øverste endeareal fortrinnsvis være lik eller bare litt større enn nederste endeareal.

4.2 Konisk element

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

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

Diameteren av den sylindriske del skal være innenfor de toleransekrav som er gitt i fig. 4.1.

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

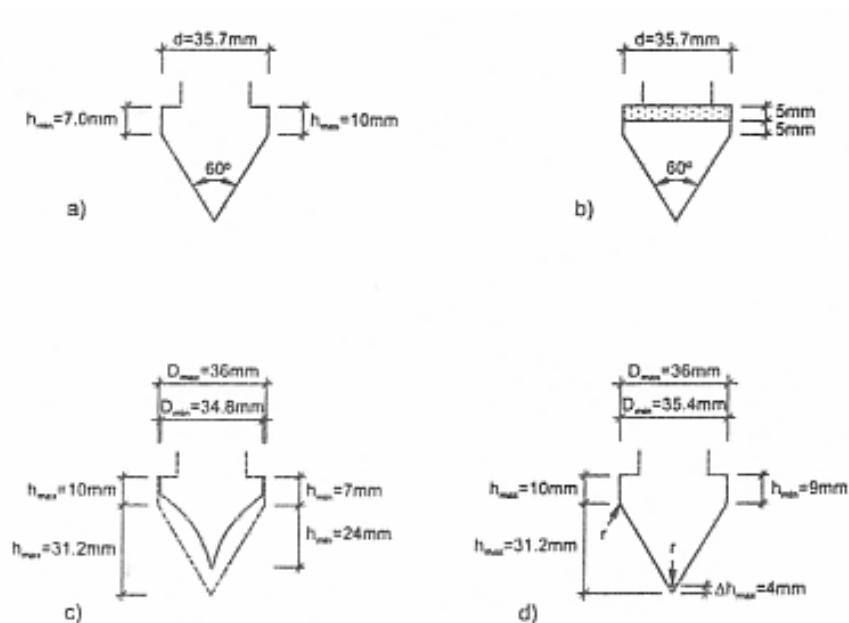
Lengden av den sylindriske del skal være innenfor følgende toleransekrav:

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

Høyden på konisk del skal være innenfor følgende toleransekrav:

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

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



Figur 4.1 Toleransekrav for bruk av trykksonde.

Overflaten på spissen bør være glatt.

Note: Overflateruheten, R_a , bør typisk være mindre enn $5 \mu\text{m}$. Denne er definert som gjennomsnitt avvik mellom den virkelige overflate av sonden og et middels referanseplan plassert langs overflaten av sonden. Se også Note i avsnitt 4.3.

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

4.3 Friksjonshylse

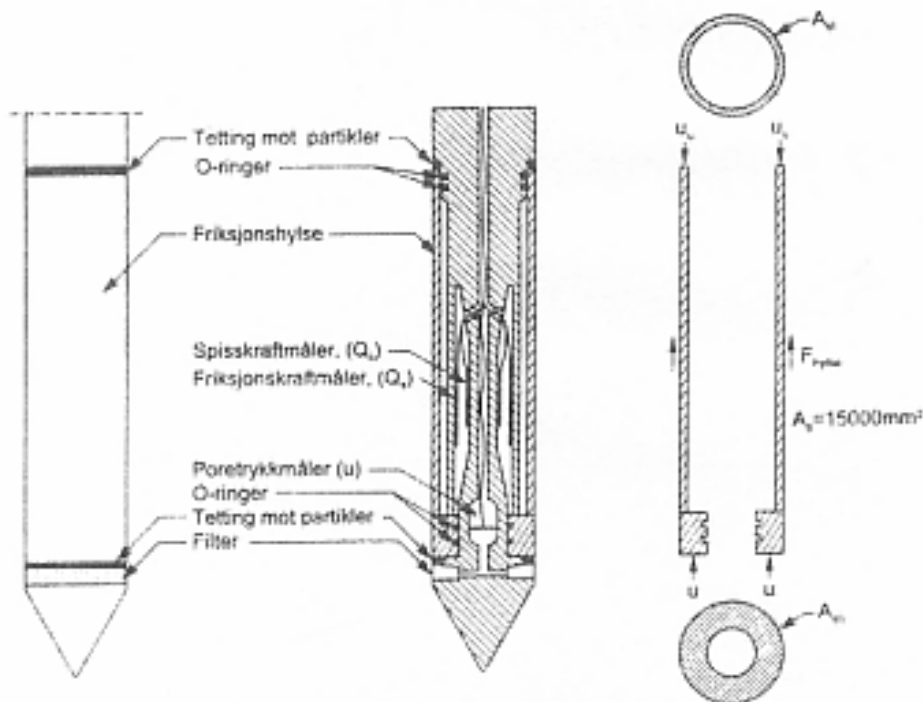
Friksjonshylsen skal være plassert rett over den koniske delen. Maksimal avstand på grunn av spalten og forseglingen skal være 5,0 mm.

Det nominelle overflatearealet skal være $15\,000\text{ mm}^2$. Toleransekravene er vist i figur 4.2.

Note: Friksjonshylser med ytre diameter mellom 25 mm og 50 mm er tillatt for spesielle formål i forbindelse med koner med tilsvarende diameter. For diametre i dette område er det ikke nødvendig å korrigere målte friksjonsverdier. anbefalt geometri og toleranser bør justeres proporsjonalt med diameter 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 3,5 og 4 er tillatt.

Note: Slitasje av konen påvirker målt sidefriksjon. Denne effekten bør tas med i betraktning vedrørende nøyaktigheten av friksjonsmålingene.

Friksjonshylsens diameter skal være lik diameteren på konen med et toleransekrav på 0 til +0,35 mm.



Figur 4.2 Geometri og toleransekrav for friksjonshylsen

Friksjonshylsen skal ha en overflateruhet på $0,4 \mu\text{m} \pm 0,25 \mu\text{m}$, målt i lengderetningen.

Note: Med overflateruhet menes gjennomsnittlig ruhet R_a bestemt ved hjelp av et 0 overflateprofil i henhold til ISO8503 (1988) eller tilsvarende. Gjennomsnittlig ruhet er aritmetisk middel av de absolutte avstander for den 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 grov friksjonshylse. Stål, inkludert herdet stål, blir slitt ved penetrering, spesielt i sand, og friksjonshylsen utvikler sin egen ruhet ved bruk. Det er derfor viktig at ruheten ved fabrikasjon nærmer seg ruheten som blir utviklet ved bruk. Det antas at kravet til overflateruhet vanligvis oppfylles for vanlige typer stål som blir benyttet av produsentene av trykksonder 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 innen en testlengde. Videre forskning er nødvendig for å definere relevante parametre for effekter av geometri på nøyaktighet av friksjonsavlesninger.

4.4 Filterelement

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

Note: 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.

Note: Følgende relasjon gjelder:

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

Note: Denne filterposisjon gir mest konsistente resultater for klassifisering og interpreteringsformål.

Note: For korreksjon av spissmotstand for poretrykkseffekt er den beste posisjon for filteret i åpningen mellom konen og friksjonshylsen. Men en posisjon i den sylindriske del av konen anbefales med hensyn til å oppnå og vedlikeholde metning av poretrykksystemet.

Poretrykk, u_1 :

Diameteren på filteret skal tilsvare diameteren på konen med et toleransekrav på 0 til – 0,2 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.

Note: Det anbefales å plassere filteret innen 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 skal være lik, men ikke større enn diameteren på friksjonshylsen.

Note: Det anbefales å plassere filteret rett over fugen mellom friksjonshylsen og skaftet på trykksonden.

Filteret skal være mettet ved starten av forsøket.

Note: Det er viktig at filteret forblir mettet selv om trykksonden penetrerer et umettet lag.

Note: Porøse filter bør ha en porestørrelse 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.

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

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

Note: Når det gjelder valg av væske, formetting av poretrykksmålesystemet, og bruk av spaltefilter, se avsnitt 5.4.

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 jordforsegling slik at jordpartikler ikke kan trenge inn i sonden.

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

4.6 Sonderingsstenger

Avviket fra en rett linje gjennom endene av en 1 m lang sonderingsstang skal være innenfor tillatte grenser. En sjekk av stengenes retthet 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.

Note: Kravene ovenfor gjelder for 1 m lange stenger. Hvis andre lengder benyttes for andre formål bør kravene justeres deretter.

Note: 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.

Note: Friksjon langs en sonderingsstang kan reduseres med en lokal økning i stangdiameter (friksjonsreduksjonsring). Friksjonen kan også reduseres ved å smøre sonderingsstengene, for eksempel ved å injisere boreslam under penetrering.

Note: Over terrengnivå bør strengere styres av ruller, en casing eller lignende for å risikere faren for utknekning. Trykksonderingsstengene kan også bli styrt med en casing i vann eller bløte sedimenter, slik at risiko for utknekning reduseres.

Note: Trykksonderingsstengene bør velges ut fra den ønskede penetrasjonskraft og den signaloverføringsmetode som er valgt.

4.7 Målesystem

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

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

Sensorer 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.

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

Poretrykksmålere

Målerne skal vise minimal deformasjon ved belastning. Sensoren kommuniserer med et porøst filter på overflaten av trykksonden via et væskekompartiment.

Note: Poretrykksmåleren er vanligvis en trykkmåler av membrantypen.

Note: Dette systemet måler poretrykket i den omgivende jorda under penetrering.

Helningsmåler

Helningsmåleren bør ha et måleområde på minst 20° i forhold til vertikalaksen.

Målesystem for penetrasjonslengde

Målesystemet skal inkludere en dybdesensor for måling av penetrasjonslengde.

Note: Om nødvendig skal målesystemet for penetrasjon også inneholde en prosedyre for korleksjon av målingene hvis bevegelser oppover av stengene forekommer relativt til dybdesensoren pga. en minskning i kraften på sonderingsstengene.

4.8 Nedpressingsutstyr

Utstyret skal være i stand til å penetrere trykksonden med en standard hastighet på 20 mm/s ± 5 mm/s, og det skal være belastet eller forankret på en slik måte at det begrenser bevegelser relativt til terrengnivå mens penetrasjonen foregår.

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

Note: Nedpressingsutstyret bør ha en slaglengde på minst 1000 mm. Andre slaglengder kan tillates under spesielle forhold.

5. PROSEDYRER

5.1 Valg av trykksonde

Velg en trykksonde for å fylle kravene til et trykksonderingsforsøk etter tabell 5.1.

Tabell 5.1 Typer trykksonderingsforsøk

Type trykksonderingsforsøk	Målte parametre
A	Spissmotstand
B	Spissmotstand og sidefriksjon
C	Spissmotstand og poretrykk
D	Spissmotstand, sidefriksjon og poretrykk

Note: Trykksonderingsforsøk med måling av poretrykk på mer enn ett sted er variasjoner av C eller D

5.2 Valg av utstyr og prosedyrer i henhold til ønsket nøyaktighetsklasse

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

Når alle mulige feilkilder blir lagt sammen skal nøyaktigheten av målingene være bedre enn de største av verdiene gitt i tabell 5.2.

Note: Feilene kan inkludere intern friksjon, feil i datainnsamlingen, eksentrisk last og temperatureffekter.

Tabell 5.2 Nøyaktighetsklasser

Forsøks-klasse	Målestørrelse	Tillatt unøyaktighet i målinger	Maksimum avstand mellom målinger
1	Spissmotstand Sidefriksjon Poretrykk Helning Penetrasjonslengde	50 kPa eller 3% 10 kPa eller 10% 5 kPa eller 2% 2° 0.1 m eller 1%	20 mm
2	Spissmotstand Sidefriksjon Poretrykk Helning Penetrasjonslengde	200 kPa eller 3% 25 kPa eller 15% 25 kPa eller 3% 2° 0.2 m eller 2%	20 mm
3	Spissmotstand Sidefriksjon Poretrykk Helning Penetrasjonslengde	400 kPa eller 5% 50 kPa eller 15% 50 kPa eller 5% 5° 0.2 m eller 2%	50 mm
4	Spissmotstand Sidefriksjon Penetrasjonslengde	500 kPa eller 5% 50 kPa eller 20% 0.1 m eller 1%	100 mm

Comment [PCN1]: should be penetration depth, also for classes 2 and 3

Comment [PCN2]: should be penetration depth, also for classes 2 and 3

Comment [PCN3]: should be penetration depth, also for classes 2 and 3

Comment [PCN4]: should be penetration depth, also for classes 2 and 3

Note: Den tillatte minimum nøyaktighet av den målte parameter er den største av de to som er gitt. Den relative eller prosentvise nøyaktighet gjelder for selve måleverdien og ikke for måleområdet eller målekapasiteten.

Note: Se Appendix A3 for beregning av penetrasjonsdyp fra penetrasjonslengde og målt helning.

Note: Klasse 1 er ment for tilfeller der resultatene vil bli brukt for presis evaluering av lagdeling og jordtype, samt parameterbestemmelse av mekaniske egenskaper. For klassene 3 og 4 bør resultatene bare benyttes for lagdeling og jordtype, eventuelt parameterbestemmelse i stiv eller fast jord. Klasse 2 kan passe best for stiv leire og sand.

Note: 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.

Note: For klasse 1 forsøk (se tabell 5.2.) antas det at trykksondens målere bør 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 stabilitetskravene gjelder for trykksonden med en lastkapasitet på 5 tonn. For trykksonden med andre kapasiteter, kan de kravene som er listet ovenfor, bli justert proporsjonalt med hensyn til effekten på nøyaktigheten av den målte verdi.

Note: For alle klassene skal temperaturfølsomheten være en integrert del av CPT nøyaktighetsklassene gitt i tabell 5.2

Meteorologisk dokumentasjon gjeldende for et trykksonderingsforsøk skal være ifølge ISO10012-1; 1992 (E).

5.3 Posisjon og nivå av nedpressingsutstyret

Nedpressingsutstyret må posisjoneres i en avstand på minst 1 m fra forrige trykksonderingsforsøk, eller minst 20 ganger borehullsdiameteren til et tidligere borehull.

Note: Mindre avstander mellom forsøk kan påvirke resultatene.

Nedpressingsutstyret skal påføre krefter på sonderingsstengene slik at aksens nedpressningskraften er så nær vertikal som mulig. Avvik fra vertikalaksen skal være mindre enn 2°. Aksens til trykksonden skal tilsvare belastningsaksen ved starten på forsøket.

5.4 Forberedelse av trykksonden

Det virkelige tverrsnittsarealet ved konens øvre ende og det virkelige overflatearealet av friksjonshylsen skal måles og noteres slik det er krevet for å oppnå nøyaktighetsklassen gitt i Tabell 5.2.

For trykksonder med måling av poretrykk skal filteret og andre deler av poretrykkssystemet være mettet med en væske før penetrasjonen starter.

Note: 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. Dette gjør det lettere å vedlikeholde full metning under hele forsøket. 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 filtere kan muligens ikke være akseptabelt for noen filtertyper, for eksempel HDPE. Hvis glyserin eller silikonolje benyttes, plasseres de tørre filterne rett i væsken og blir utsatt for vakuum i ca 24 timer. Et større volum av væske bør behandles likt og lagres i et forseglet kar. Målekammeret blir vanligvis mettet med samme væske som blir benyttet for filteret. Dette kan oppnås ved å injisere væske inn i kammeret eller ved å behandle den demonterte sonden i et vakuumkar. Vakuum bør opprettholdes til ingen flere luftbobler kommer fra sonden (ca 15-30 min). Den endelige montering av filter og forsegling bør gjøres med penetrometeret 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. Dette unngår at de oppstår tilleggsspenninger i fugene rundt filteret og reduserer også evt. påvirkning av målingene. Etter at filteret er montert er det god praksis å dekke filteret med en gummimembran; denne vil gå i stykker når trykksonden kommer i kontakt med jorda. Andre alternativer er også mulige. Hvis man tror det er fare for tetting skal et nytt filter monteres for hvert forsøk.

Note: Ved metting og montering av gummihuden vil det kunne settes opp poretrykk, slik at poretrykksmåleren viser verdier forskjellig fra 0.

Note: *Spaltefilter*

I dette systemet måles poretrykket ved hjelp av en åpen, 0,3 mm spalte plassert like bak den koniske delen (e.g. Larsson, 1995). Det porøse filteret mellom jord og trykk-kammer blir derved overflødig. Spalten kommuniserer med trykk-kammeret via flere kanaler. Selve trykkammeret blir mettet med luftfritt vann eller frostvæske, mens kanalene mettes med gelatin, silikonfett eller 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.

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

Poretrykksendringer i det mettede systemet registreres ved en trykksensor, tilsvarende konvensjonelle trykksonder med porøst filter. Som for disse sondene må det stilles krav til et tilstrekkelig mettet målesystem, slik at det er mulig å måle riktig poretrykksrespons ved penetrering.

Note: *Forboring*

Ved penetrasjon 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 casing for å unngå kollaps av borchullet.

Comment [PCN5]: note until more is known about performance of CPTU in range of soil types

Comment [PCN6]: note

I bløt, løs jord benyttes vanligvis forboring gjennom tørrskorpelaget, ned til en eventuell grunnvannstand. Det forborede borhullet skal 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 penetrasjonsmotstanden reduseres.

Note: *Temperaturstabilisering*

Før selve forsøket skal det gjennomføres nullavlesning for alle målere. Ved avlesning må trykksonden være ubelastet og temperaturstabilisert til bakketemperatur (5 - 7 °C).

Ved metting og montering av gummimembranen over poretrykksfilteret, vil trykksonden utsettes for små trykk, slik at målerne viser noe avvik fra null. Når trykksonden senkes ned i grunnen, kan det også 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 penetrerer videre. Vanligvis vil de største gradientene oppstå etter 2 - 3 minutter, mens full temperaturstabilisering vil være oppnådd etter 10 - 15 minutter.

Se Tabell 5.2 for anbefalt målenøyaktighet og Appendix A2 for kalibreringsprosedyrer.

Nullavlesning for spissmotstand og penetrasjonsdybde, eventuelt også sidefriksjon, poretrykk og helning relativt til vertikalaksen skal registreres.

Note: Hvis mulig skal nullavlesning tas når sonden har temperatur tilsvarende bakketemperaturen

Note: Referansemålinger for undersjøiske trykksonderinger tilsvarer avlesninger utført umiddelbart over sjøbunnsnivå.

5.5 Penetrasjon av trykksonden

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

Comment [PCN7]: mentioned elsewhere

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

Note: Penetrasjonen defineres som diskontinuerlig hvis det oppstår lengre avbrudd i penetrasjonen, som for eksempel dissipasjonsforsøk eller ved penetrasjonsavbrudd ved mekanisk feil. (se Kapittel 4.10).

5.6 Bruk av friksjonsreduksjonsring

Bruk av friksjonsreduksjonsring (se definisjon i Kapittel 2) kan tillates. Trykksonden og eventuell forlengelsesstang skall ha samme diameter over en minimumslengde på 400 mm før friksjonsringen 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. Gjennomsnittsverdier over et 20 mm intervall kan benyttes, selv om det måles hyppigere. Et større loggeintervall kan benyttes ved trykksonderinger i klasse 3 og 4 (se 5.1).

5.8 Registrering av penetrasjonsdybde

Nøyaktig nivå for trykksondens basis (penetrasjonsdybden) skal kunne bestemmes med en nøyaktighet bedre enn ± 0.1 m, relativt til terrengnivå eller annet fiksert referansesystem (ikke nedpressingsriggen). Oppløseligheten for den elektroniske dybdemåleren skal være 0.01 m eller bedre.

Comment [PCN8]: accuracy classes

Penetrasjonslengden skal også registreres minst for hver 5. m (Klasse 1), ved hjelp av en annen måler enn dybdemåleren.

5.9 Dissipasjonsforsøk

Hvis en ønsker å vurdere jordartens drens- 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.

Note: Følgende måleintervall er anbefalt:

0 - 1 min	2 avlesninger pr sekund
1 - 10 min	1 avlesning pr sekund
10 - 100 min	1 avlesning pr. 2 sekund
> 100 min	1 avlesning pr. 5 sekund

Note: Varigheten av dissipasjonsforsøket skal tilsvare minst tiden for 50 % poretrykkdissipasjon ($t_{50} \rightarrow u_t = u_o + 0.5\Delta u_i$), siden t_{50} er tidsnivået som benyttes i de fleste tolkningsmetoder for bestemmelse av c .

Note: 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. Variasjon i spissmotstand i løpet av dissipasjonsforsøket er imidlertid unngåelig, 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. Det kan være nødvendig å rengjøre sonden før avlesning foretas. Nullpunktsdrift skal være innenfor tillatt målenøyaktighet, i henhold til den nøyaktighetsklasse en opererer i (se Tabell 5.2).

Trykksonden skal inspiseres for skader eller betydelig slitasje.

5.11 Korrigering av måledata for poretrykkseffekter

Registrerte verdier som ikke er representative på grunn av stans i penetrasjonen skal korrigeres og eventuelt slettes fra profilet. Korrigering av målte data på grunn av nullpunktsdrift hvis nødvendig i forhold til kravene i Tabell 5.2.

Når sondespissen utsettes for et allsidig vanntrykk påvirker dette registreringene av spissmotstand og sidefriksjon. Dette skyldes at vanntrykket virker i fugen mellom den koniske del og friksjonshylsen, og i fugen over friksjonshylsen. På grunn av forskjellen i enderealer i topp og bunn av fugen vil det oppstå en ubalansert kraft som vist i Figur 5.1.

Denne korreksjonen skal utføres ved sondering med sondetype C og D i Tabell 5.1, og når filteret er plassert på eller like bak den sylindriske forlengelsen av den koniske delen (u_2). Korreksjonen utføres ved å benytte følgende korreksjonsformel (e.g. Campanella et al., 1982).

Spissmotstand:

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

der:

q_t = korrigert spissmotstand

q_c = registrert spissmotstand

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

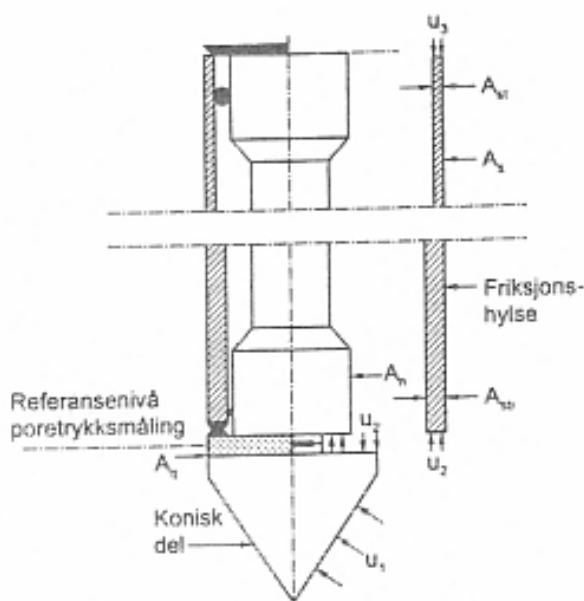
a = netto arealforhold = A_c/A_n

A_c = brutto projisert tverrsnittsareal for sonden

A_n = areal av lastcelle eller sondeskafet

Note: 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 et al, 1997).

Note: Netto arealforhold "a" varierer vanligvis mellom 0.3 og 0.9 for vanlig benyttede trykksonder. Arealforholdet kan ikke bestemmes utifra vanlige geometriske forhold alene, men må bestemmes ved målinger i trykkammer eller tilsvarende.



Figur 5.1 Korreksjon av spissmotstand og sidefriksjon på grunn av ulike tverrsnittsarealer i sondespiss.

Note: 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 5.1:

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

der:

f_t = korrigert sidefriksjon

f_s = registrert sidefriksjon

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

u_3 = poretrykk målt i fugen over friksjonshylsen

A_s = areal av friksjonshylsen

A_{sb} = tverrsnittsareal for nederste del av friksjonshylsen

A_{st} = tverrsnittsareal for øverste del av friksjonshylsen

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

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

Korreksjon for helning, dvs. avvik mellom penetrasjonsdybde og penetrasjonslengde, skal også utføres tilsvarende den prosedyre som er beskrevet i Appendix A2. Korreksjonen skal gjennomføres for å tilfredsstille de krav som er angitt i nøyaktighetsklassene 1, 2 og 3 i Tabell 5.2.

Note: Det kan være aktuelt å utføre andre korreksjoner for å tilfredsstille nøyaktigheten angitt i de forskjellige nøyaktighetsklassene, for eksempel korreksjoner pga temperatureffekter, tverrsnittsareal for sonden, sammentrykning av sonderingsstengene og tilsvarende.

6. RAPPORTERING AV FORSØKSRESULTATER

6.1 Generell rapportering og presentasjon av forsøksresultater

Følgende informasjon skal rapporteres i et trykksonderingsforsøk med poretrykksmåling (informasjon merket med * skal inkluderes på hvert plott fra forsøket) :

- Sondetype, produsent, geometri og dimensjoner, type (elektrisk, mekanisk, hydraulisk)
- Type nedpressingsutstyr, produsent og nedpressingskapasitet
- Henvisning til gjeldende standard eller retningslinjer
- CPT/CPTU lokasjon *
- Dato *
- Identifisering av testen *
- Koordinater og terrenghøyde for borhullet *
- Referansehøyde (h.o.h.)
- Dybde til grunnvannspeilet (hvis kjent)
- In situ poretrykksprofil (hvis kjent)
- Forboringsdybde, påvist materialtype
- Dybde for start penetrasjon
- Ved sjakting noteres sjaktedybde og påvist materialtype
- Bruk av forankring (antall og type)
- Sondeidentifikasjon, filterplassering, netto arealforhold og måleområde for målerne
- Dato for siste kalibrering
- Metningsmedium benyttet i målesystem for poretrykk
- Dybdenivå og mulige årsaker til stopp i penetrasjonen (for eksempel dissipasjonsforsøk)
- Observasjoner registrert i forsøket, for eksempel støy mot stenger fra stein, grus eller grove lag, utbøyning av stenger, unormal slitasje eller endringer i nullpunktverdi
- Forskjeller i nullpunktverdi før og etter testen
- Forskjeller i kalibreringsverdier før og etter testen, i tillegg til mulige avvik i dybdemåling.

Comment [PCN9]: some of the items relate to quality management (to be transferred to a note or deleted)

Comment [PCN10]: not of interest

Comment [PCN11]: not of interest

Comment [PCN12]: what is intention of this document?

Comment [PCN13]: not part of this practice?

Comment [PCN14]: this is tricky: what if not recorded?

- Hvis avvikene er store skal det gis prosedyrer for hvordan resultatene skal evalueres.
- Stoppkriteriet som benyttes, for eksempel måldybde, maksimal nedpressingskraft etc.
- Korreksjoner benyttet ved behandling av måledata (for eksempel pga nullpunktsdrift).

I presentasjonen av trykksonderingsresultater skal informasjonen være lett tilgjengelig, for eksempel i tabeller eller standard arkivskjema.

6.2 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 : 1 cm = 2.0 %
- Poretrykksforhold B_q : 1 cm = 0.5

Note: Avvik fra denne skalering kan tillates hvis det i tillegg vises et plott med anbefalt skalering på aksene. 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 (Nøyaktighetsklasse 1 og 2, se Tabell 5.2), er det 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.

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

6.3 Presentasjon av forsøksresultater

Forsøksresultatene skal presenteres som kontinuerlige profiler av følgende måleresultater:

- 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 penetrert lengde (se også 5.1) korrigert om nødvendig for målt helning av stangsystemet.

Presentasjon av forsøksresultater i Forsøksklasse 1 og 2 skal, hvis påkrevet, inkludere tabulerte data i henhold til generell rapportering i kap.6.1. Tabulerte data skal presenteres med loggeintervall henhold til Tabell 5.2, og inneholde tid (sek), penetrasjonsdybde 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 $^\circ$.

Hvis relevant 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.

Note: Ved prosessering av resultatene kreves i tillegg kjennskap til følgende størrelser:

- In situ, initielt poretrykk - dybde	u_o (MPa) - z (m)
- Totalt overlagingstrykk - dybde	σ_{vo} (MPa) - z (m)
- Effektivt overlagingstrykk - dybde	$\sigma_{vo}' = \sigma_{vo} - u_o$

Note: In situ poretrykk kan estimeres fra beliggenheten av grunnvannsspeilet, 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.

Note: Videre prosessering av måledata kan baseres på følgende enkle relasjoner:

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

Comment [PCN15]: transfer to note

Note: Disse parametrene, eller andre avledede eller normaliserte forhold, kan benyttes til identifisering av lag og klassifisering av jordarter, og som inngangsverdier ved tolkning av mekaniske parametre for jordarten.

7. REFERANSER

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

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 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.

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

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

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

APPENDICES

APPENDIX A - VEDLIKEHOLD, FUNKSJONSKONTROLL OG KALIBRERING

Comment [PCN16]: this chapter should be a note to accuracy classes, except for reference to metrological confirmation system

A1 VEDLIKEHOLD OG FUNKSJONSKONTROLL (INFORMATIVT)

A1.1 Generelt

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

A1.2 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 i kap. 4.6.

A1.3 Slitasje av sonden

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

A1.4 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.

A1.5 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 penetrasjonen av sonden starter, og det må treffes tiltak slik at metningen opprettholdes ved sondering over grunnvannstanden eller andre mettede soner.

A1.6 Vedlikeholdsprosedyrer

Ved vedlikehold og kalibrering av utstyret kan Tabell A1.1 benyttes, sammen med sondeprodusentens utstyrsmanual.

Tabell A1.1 Kontrollskjema for vedlikehold og kalibrering

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

*) og ved bestemte intervaller ved langtids testing

A2 KALIBRERING AV SONDEN (INFORMATIVT)

A2.1 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 interferenseffekter (elektrisk krysoverføring etc.)
- transiente 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 nye kalibreringer av sonden.

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

- minst hver 3.dje måned hvis sonden er i kontinuerlig bruk eller etter ca. 100 sonderinger (ca. 3000 penetrasjonsmeter) ved lette sonderingsforhold
- en ny kalibrering skal utføres etter sondering under vanskelige forhold, der sonden belastes nær dens maksimale kapasitet.

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.

A2.2 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.

A2.3 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 inkrementelt 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. 5.10).

Kalibreringskammeret for poretrykk er også velegnet for å kontrollere poretrykksmålerens respons på sykliske trykkvariasjoner.

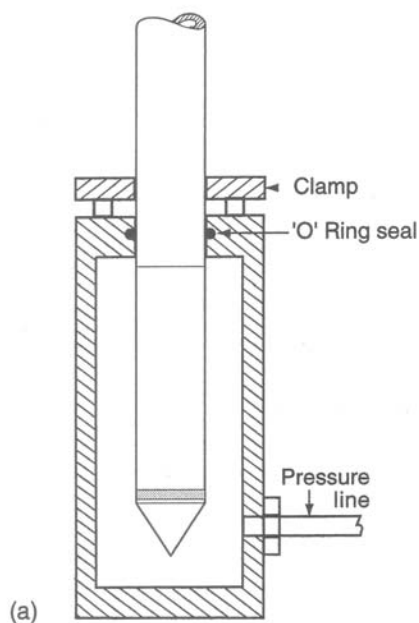


Fig. A1 Trykkammer for bestemmelse av arealforholdene a og b

A2.4 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 °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.

Prosedyrene over gjelder bare for tilpasning til omgivelsestemperaturer, og ikke for transiente temperaturendringer i sonden.

A2.5 Kalibrering av dybdemåler

Dybdemåleren skal kalibreres minst hver 3dje måned eller etter reparasjoner.

A3 KORREKSJON AV SONDERINGSDYBDE (INFORMATIVT)

Comment [PCN18]: this chapter is note to accuracy classes

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 korrekt testdybde.

a) for omni-aksiale inklinometer

$$C_h = \cos\alpha$$

der:

C_h = korreksjonsfaktor for helning av trykksonden relativt til vertikalaksen

α = vinkelen mellom vertikalaksen og trykksonden, i °.

b) for bi-aksiale inklinometer:

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

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 perpendikulært på planet med vinkel α , i °.

Note: Det kan være nødvendig med tilleggskorreksjoner av sonderingsdybden

Note: Bestemmelsen av korreksjonsfaktoren for penetrasjonsdybden 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 penetrasjonen, er det mulig å korrigere for bøyning og stukning av sonderingsstengene ved å benytte en hivkompensator.