

SVENSKA
GEOTEKNISKA
FÖRENINGEN

REKOMMENDERAD
STANDARD FÖR
CPT-SONDERING

SVENSKA GEOTEKNISKA FÖRENINGEN
SWEDISH GEOTECHNICAL SOCIETY



SGF Rapport 1:93

Rekommenderad standard
för CPT-Sondering

Fastställd av styrelsen för
Svenska Geotekniska Föreningen
1992-06-15

SGF Rapport	Svenska Geotekniska Föreningen 581 93 Linköping
Beställning	Statens geotekniska institut Biblioteket Tel. 013-20 18 04 Fax. 013-20 19 09 E-post: info@swedgeo.se
ISSN	1103-7237
ISRN	SGF-R--93/1--SE
Redigering	SGL, Avd för information och marknad
Upplaga	Tilltryck 400 ex
Tryckeri	Roland Offset AB, Linköping, nov 1999

Innehåll

1.	Försöksprincip	4
2.	Sonderingsklasser	5
3.	Befintliga standarder och rekommendationer	7
4.	Definitioner	8
5.	Utrustning	11
6.	Försöksutförande	16
7.	Mätnoggrannhet	18
8.	Kontroller	19
9.	Kalibrering	22
10.	Redovisning	24

1. Försöksprincip

CPT-sondering består i att en cylindrisk sond med tvärsnittsarean $1\ 000\ \text{mm}^2$ och en konisk spets med spetsvinkeln 60° drivs ned i jorden med en konstant hastighet av $20\ \text{mm/s}$. Därvid mäts neddrivningsmotståndet mot sondspetsen, mantelfriktionen mot den cylindriska ytan strax ovanför spetsen samt, vid samtidig portrycksmätning, det porvattentryck som genereras vid spetsen under neddrivningen. Mätningen sker elektriskt och avläsningsfrekvensen skall vara så tät att en detaljerad bild över mätvärdenas variation med djupet erhålls.

Huvudsyftet med försöket är som regel att erhålla en god bild av lagerföljder och variationer i jordens egenskaper såväl i plan som mot djupet. Vid tillfälliga stopp i neddrivningen kan även utjämningsförloppen för de genererade porövertrecken studeras för bedömning av jordens dräneringsegenskaper. I mer permeabla jordar och skikt, där utjämnningen går snabbt, kan dessutom värden på rådande porvattentryck i jorden erhållas.

2 **Sonderingsklasser**

CPT-sonderingar indelas i följande klasser

Klass 1. Beteckning: CPT1.

- Mätning av spetstryck friktion och eventuellt portryck.
- Normal utrustning: 5-20 tons sond med portrycksmätare.
- Toleranser på sonden enligt internationell rekommenderad standard.
- Mätnoggrannhet: se Kapitel 7 - MÄTNOGGRANNHET.
- Användningsområde: All typ av jord. I finkornig jord dock endast i de fall som lagerföljden förhindrar användning av högre klass.
- Möjlig utvärdering: Lagerföljd och egenskaper i friktionsjord och mellanjord. Lagerföljd och egenskaper i fast kohesionsjord kan utvärderas under förutsättning att portrycksmätning ske under sonderingen.
- Begränsningar: Om möjligt bör en högre sonderingsklass användas i mellanjord och kohesionsjord. Vid stora vattendjup rekommenderas att sonderingen utförs med portrycksmätning.

Klass 2. Beteckning: CPT2.

- Mätning av spetstryck, friktion och portryck.
- Normal utrustning: 5-tons sond med portrycksmätning.
- Snävare toleranser på sonden än internationell rekommenderad standard.
- Mätnoggrannhet: se Kapitel 7 - MÄTNOGGRANNHET.
- Användningsområde: All typ av jord. I fast lagrad sand är dock nedträngningsförmågan begränsad. I lös och medelfast finkornig jord bör sonderingen utföras enligt klass CPT3 om lagerföljden så medger.
- Möjlig utvärdering: Lagerföljd och egenskaper i all typ av jord. Noggrannheten är dock begränsad i lös och medelfast finkornig jord.
- Begränsning: Begränsad nedträngningsförmåga i mycket fast lagrad friktionsjord.

Klass 3. Beteckning: CPT3.

- Mätning av spetstryck, friktion och portryck.
- Normal utrustning: Specialkalibrerad 5-tons sond med portrycksmätning eller motsvarande sonder med lägre mätområden.

- Snävare toleranser på sonden än internationell rekommenderad standard, och anpassade för sondering i kohesionsjord.
- Mätnoggrannhet: se Kapitel 7 - MÄTNOGGRANNHET.
- Användningsområde: All typ av jord. I sand och annan fast jord är dock nedträngningsförmågan begränsad. I de fall lastbegränsning och noggrannhet ej kan uppfyllas på grund av jordlagerföljden används lägre sonderingsklass.
- Möjlig utvärdering: Lagerföljd och egenskaper i all typ av jord, dock främst lös och medelfast finkornig jord.
- Begränsning: Begränsad nedträngningsförmåga i fast jord och vid inslag av grövre partiklar.

3. Befintliga standarder och rekommendationer

Förutom föreliggande rekommenderade standard finns den internationella geotekniska föreningens rekommendationer (ISSFME:s Reference Test Procedures). Den senare behandlar bland annat spetstrycksondering. Den tidigare av SGF rekommenderade standarden för spetstrycksondering från 1979 utgår och ersätts av föreliggande standard för CPT-sondering. Den internationella rekommendationen gäller främst CPT-sondering utan portrycksmätning, (sonderingsklass CPT1), som på svenska tidigare också kallats spetstrycksondering TrS.

I rekommendationen för sonderingsutrustningen är det främst själva sonden, som utgör den 1 m långa nederdelen där mätningarna utförs, som har standardiserade mått och toleranser. För övriga delar av utrustningen gäller funktionskrav.

4. Definitioner

Konstruktionen av en CPT-sond som är vanligt förekommande i Sverige, visas schematiskt i Fig. 1.

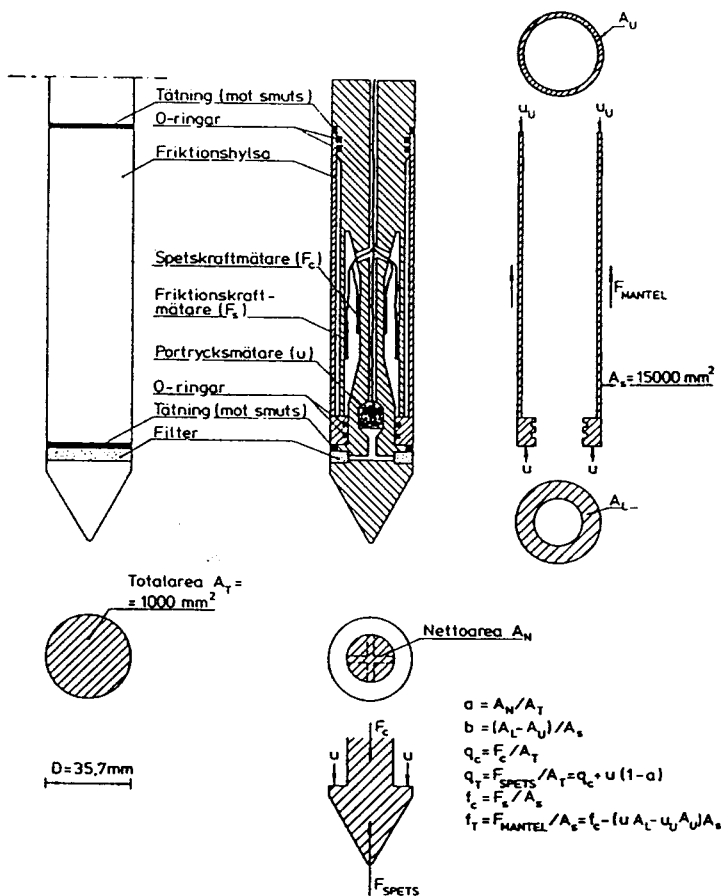


Fig. 1. Schematisk konstruktion och mätprincip för en CPT-sond.

Jämviktsportrycket u_0

Jämviktsportrycket u_0 motsvarar rådande porvattenttryck i jorden som återinträder efter full portrycksutjämning vid stopp i sonderingen.

Genererat portryck Δu

Genererat portryck Δu är den portrycksförändring som uppstår på grund av sonderingen. Det genererade portrycket kan vara positivt eller negativt beroende på jordens egenskaper och är dessutom starkt beroende av filtrets placering.

Registrerat portryck u

Registrerat portryck u är det portryck som uppmäts under sonderingen, ($u = u_0 + \Delta u$). Beteckningen u används endast för portryck uppmätta med normal filterplacering ovanför den koniska spetsen.

Spetsareafaktorn a

Areafaktorn a används för korrektion av mätvärdet för spetsstryck

$$a = A_N / A_T \approx (A_T - A_L) / A_T$$

Mantelsareafaktorn b

Areafaktorn b används för korrektion av mätvärdet för mantelfriktion

$$b = (A_L - A_U) / A_S$$

Spetsmotstånd q_T (alt. q_c)

Med spetsmotstånd avses den kraft per ytenhet som erhålls genom att dividera den totala axialkraften mot sondspetsen med spetsens tvärsnittsarea (1 000 mm²).

$$q_c = \frac{F_T}{A_T}$$

$$q_T = q_c + u \cdot (1 - a)$$

I specialfallet då porvattentrycket $u \approx 0$ eller är försumbart blir $q_c \approx q_T$. Spetsmotståndet anges i MPa eller kPa.

Lokal mantelfriktion f_T (alt. f_s).

Den lokala mantelfriktionen erhålls genom att dividera den totala friktionskraften mot friktionshylsan med hylsans mantelyta (15 000 mm²).

$$f_s = \frac{F_S}{A_S}$$

$$f_T = f_s - [u \cdot b + 0,3 \cdot \Delta u \left(\frac{1-a}{15} - b \right)]$$

I specialfallet då porvattentrycket $u \approx 0$ eller är försumbart blir $f_s \approx f_T$. Den lokala mantelfriktionen f_T uttrycks i kPa eller MPa.

Friktionskvot R_f

Friktionskvoten R_f definieras som kvoten mellan lokal mantelfriktion och spetsmotstånd på aktuell nivå

$$R_f = \frac{f_T}{q_T} \cdot 100 \text{ , \%}$$

Alternativt används friktionsindex $I_f = q_T / f_T$.

Portryckskvot DPPR

Portryckskvoten DPPR definieras som kvoten mellan genererat portryck och spetsmotstånd på aktuell nivå

$$DPPR = \frac{\Delta u}{q_T}$$

Alternativt används $B_q = \Delta u / (q_T - \sigma_{vo})$.

5. Utrustning

Sondens geometri

Sondens yttre delar består av en konisk spets, filter, friktionshylsa och förlängningsdel. Friktionshylsan och förlängningsdelen skall ha en sammanlagd längd av minst 1 000 mm, Fig. 2. Utefter denna längd skall diametern vara konstant inom angivna toleranser.

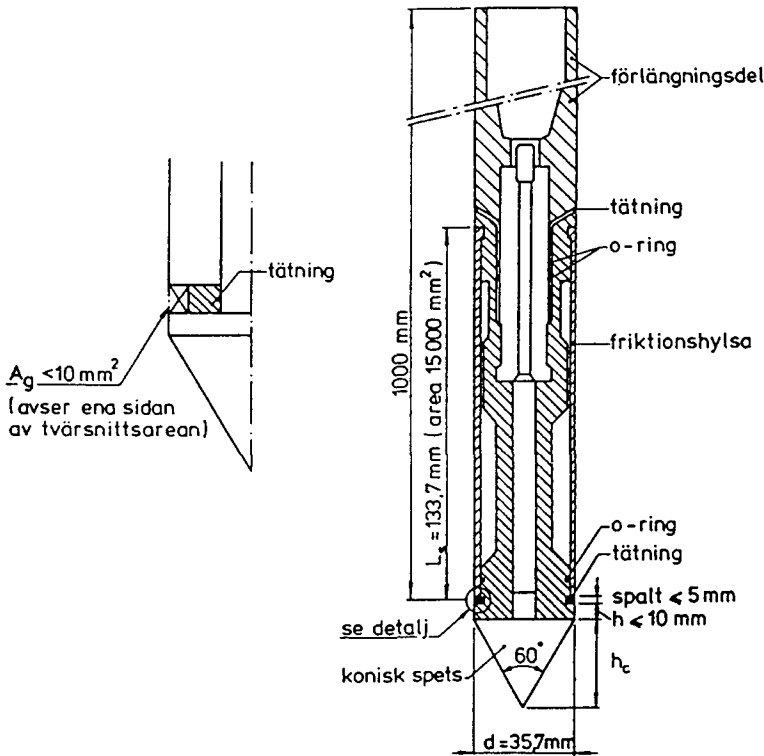


Fig.2. Måttspecifikationer för en CPT-sond enligt ISSFME:s och SGF:s rekommendationer. (I sonderingsklass CPT1 får A_g vara max $10,0 \text{ mm}^2$; i sonderingsklasser CPT2 och CPT3 får A_g vara max $0,5 \text{ mm}^2$).

Konisk spets

Spetsen består av en konisk del och en cylindrisk förlängning, Fig. 3. Spetsvinkeln skall vara 60° . Den cylindriska delen, (inklusive filter), skall vara 10 mm.

CPT-sonder med portrycksmätning skall ha spetsar med en cylindrisk förlängning av 5 mm och ett filter placerat direkt ovanför denna, dvs inom 5 till 10 mm över spetsens koniska del.

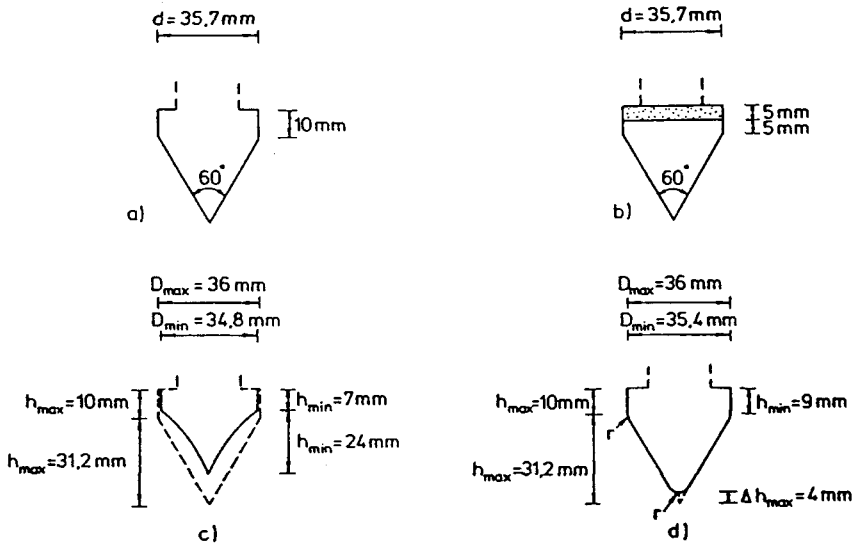


Fig.3. Utformning av sondspetsar och toleranser vid tillverkning och förslitning.

- utformning av sondspets för sondering utan portrycksmätning
- utformning av sondspets för sondering med portrycksmätning och normal filterplacering
- tillverknings- och förslitningstoleranser för sondspets för sondering enligt sonderingsklass CPT1. (ISSFME:s rekommendation)
- tillverknings- och förslitningstoleranser för sondspets för sondering med portrycksmätning enligt sonderingsklasserna CPT2 och CPT3. (SGF:s rekommendation)

Spetsens tvärsnittsarea skall vara $1\,000 \text{ mm}^2$, vilket motsvarar en diameter av $35,7 \text{ mm}$ vid den cylindriska förlängningen, och en höjd av $30,9 \text{ mm}$.

Ytråheten längs spetsen skall vara max 1 µm, vilket motsvarar vad som normalt skapas av jordens friktion mot spetsen.

I sonderingsklassen CPT1 tillåts en förslitning av spetsen så att höjden av den koniska delen kan minska med upp till 7,2 mm och förlängningsdelen med 3 mm.

I sonderingsklasserna CPT2 och CPT3 tillåts att den cylindriska delen får vara maximalt 1 mm lägre än för en ny spets. En maximal förslitning av yttersta spetsen av 4 mm kan tillåtas, under förutsättning att den är symmetrisk, men ingen påtaglig formförändring därutöver.

Diametern för spetsens cylindriska del skall vara inom 35,7 mm + 0,3 mm/ - 0,9 mm vid sonderingsklassen CPT1 och inom 35,7 ± 0,3 mm vid sondering inom sonderingsklasserna CPT2 och CPT3.

Filter

Filtrets diameter skall vara lika med spetsens diameter. Den kan vara något större men aldrig mindre.

$$d_{\text{FILTER}} = d_{\text{SPETS}} \begin{cases} +0,2 \\ -0 \end{cases} , \text{ mm}$$

Filtret skall uppfylla detta krav också efter sonderingen.

Porösa filter skall vara finporiga och inkompressibla samt ha en god nötningsbeständighet. Filter av sintrat rostfritt stål eller brons med en porstorlek av 2 – 20 µm rekommenderas. Även keramiska filter och filter av porös plast kan användas.

Andra typer av filter, t.ex. spält, måste verifieras så att de ger samma resultat (inom noggrannhetskraven) som ovan beskrivna filter.

Friktionshylsa

Friktionshylsan skall ha en mantelyta av 15 000 mm² ± 2 %, vilket ger en längd av cirka 133,7 mm. Den skall vara placerad direkt ovanför spetsen (och eventuellt filter). Maximalt avstånd på grund av spalter och tätningar är 5 mm.

Ytråheten r skall vara inom gränserna 0,25 µm < r < 0,75 µm

Friktionshylsans diameter skall vara lika med eller aningen större än diametern för underliggande delar. Vid normal filterplacering mellan spets och friktionshylsa kan det genererade portrycket påverkas av friktionshylsans diameter och i detta fall skall följande kriterier gälla

$$d_{\text{FRIKTIONSHYLSA}} \geq d_{\text{FILTER}} \geq d_{\text{SPETS}}$$

$$d_{\text{FRIKTIONSHYLSA}} = d_{\text{SPETS}} \left\{ \begin{array}{l} + 0,2 \\ - 0 \end{array} \right. , \text{ mm}$$

För CPT-sondering utan portrycksmätning gäller

$$d_{\text{FRIKTIONSHYLSA}} = d_{\text{SPETS}} \left\{ \begin{array}{l} + 0,35 \\ - 0 \end{array} \right. , \text{ mm}$$

Förlängningsdel

Förlängningsdelen skall ha samma diameter som friktionshylsan med en tolerans av + 0 mm/- 0,3 mm.

Spalter och tätningar

Spalter mellan sondens olika delar får inte vara högre än 5 mm. Tätningar i spalter skall vara så utformade att de hindrar jordpartiklar att tränga in. Tätningarna måste vara så kompressibla i förhållande till mätelelementen, att inga signifikanta krafter kan överföras. Den del av en spalts tvärsnittsarea som inte upptas av tätningen får vid sondering utan portrycksmätning inte överstiga 10 mm². Vid sondering med portrycksmätning och med normal placering av filtret får motsvarande area inte överstiga 0,5 mm².

Sondstänger

Sondstängerna väljs med hänsyn till erforderlig neddrivningskraft och signalöverföringssystemet för mätdata. Skarvarna skall vara lika styva som stängerna och stängerna skall vara raka. För de nedersta 5 metrarna får den maximala utböjningen på mitten av en 1 m lång stång vara 0,5 mm i förhållande till en rät linje genom ändpunkterna. Motsvarande mått för sondstänger högre upp är 1 mm. Samma krav på rakhets som för stängerna gäller också för skarvarna.

Mätutrustning

Krafter och tryck skall mätas med lämpliga givare och signalerna skall överföras med ändamålsenlig metod till registrerande mätinstrument och datainsamlingsenheter. Portrycksmätning skall ske med tryckgivare med mycket liten egendeformation. Registreringsförfaranden där mätdata kan granskas under hela sonderingsförloppet rekommenderas.

Neddrivningsutrustning

Neddrivningsutrustningen skall ha en slaglängd av minst en meter. Den skall pressa ned sonden och stängerna med en konstant hastighet av 20 mm/s. Anordningen skall vara belastad eller förankrad så att den inte rör sig relativt jorden under neddrivningen och kan ge erforderlig neddrivningskraft. Slag eller rotation får inte användas.

Hylsa för reduktion av stångfriktion

För att reducera det totala neddrivningsmotståndet kan en lokal förtjockning av sondstången appliceras längst ned på den första sondstången eller på övergångsstycket mellan CPT-sonden och sondstångerna. En sådan friktionseliminators får endast appliceras ovanför den 1 000 mm långa delen av sonden bestående av friktionshylsan och förlängningsrör som har standardiserat tvärsnitt.

6 Försöksutförande

Förborrning

Vid sondering i lös jord bör förborrning genom hela torrskorpan utföras. Det förborrade hålet vattenfylls alltid om portrycksmätning skall utföras. Vid behov kan foderrör användas, dels för att hålla det förborrade hålet öppet, dels för att hålla det vattenfyllt.

Fyllningar med inslag av grövre material förborras alltid.

I en del fall kan förborrningen utföras genom prylning med en massiv dummysond med en diameter av cirka 45-50 mm som trycks genom de fastare lagren.

Vertikalitet

Neddrivningsutrustningen skall riktas in så vertikalt som möjligt. Avvikelsen från lodlinjen skall inte vara större än 2 %. Sondstängernas axel skall sammanfalla med neddrivningsutrustningens tryckriktning.

Styrning av stänger

Över markytan och i vatten skall sondstängerna vid behov förses med styrrullar, foderrör eller dylikt så att de inte knäcker ut.

Neddrivningshastigheten

Neddrivningshastigheten skall vara 20 mm/s \pm 10 %. Utförs sonderingen utan portrycksregistrering kan neddrivningshastigheten vara inom 20 mm/s \pm 25 %.

Uppehåll i sonderingen görs endast för skarvning av sondstänger och omtagning av grepp. Om längre stopp för studier av det genererade portryckets utjämning med tiden planeras, rekommenderas att en kontinuerlig sondering med så få och korta stopp som möjligt först utförs och att längre portrycksutjämningsstudier utförs i efterföljande kompletterande sonderingar. Detta gäller dock inte korta stopp i permeabla lager med mycket snabb portrycksutjämning.

Avläsningsintervall

Avläsningsintervallen för de olika parametrarna kan variera och väljas med hänsyn till vilka jordvolymmer som influerar de olika mätvärdena. Typiska

avläsningsintervall för spetskraft och friktion är varje 50 mm. Avläsningarna av dessa värden kan göras tätare och medelvärdesbildas för djupintervall om 50 mm innan de lagras.

För porttrycksmätningar bör en avläsningsfrekvens av varje 20 mm ske och varje 10 mm eftersträvas.

Djupregistrering

Sondspetsens verkliga nivå skall kunna bestämmas med en noggrannhet av $\pm 0,1$ m relativt markytan eller annat fast referenssystem. Detta krav erfordrar en manuell kontroll av verkligt sonderingsdjup och att registrerat djup vid behov justeras härtill. Upplösningen i den elektriska djupregistreringen skall dock vara minst 0,01 m.

7. Mätnoggrannhet

Om alla tänkbara felkällor summeras (inre friktionsförluster, fel hos mätutrustning, excentrisk belastning av spets och friktionshylsa, temperatureffekter m.m.) skall noggrannheten vara bättre än

2 % av det typiska mätvärdet (medelvärdet) för något av de jordlager^{*)} som skall klassificeras och för vilket egenskaper skall uttolkas;

1 % av mätvärdet för uppmätt porttryck.

För de olika sonderingsklasserna gäller dock att en onoggrannhet i mätvärdet angivna i Tabell 1 generellt kan accepteras.

Tabell 1. Tillåten onoggrannhet i olika sonderingsklasser.

Sonderingsklass	Spetstryck	Friktion	Portryck
CPT1	100 kPa	10 kPa	10 kPa
CPT2	40 kPa	4 kPa	5 kPa
CPT3	20 kPa	2 kPa	1 kPa

Denna noggrannhet måste verifieras genom regelbunden kalibrering.

Temperaturberoende

Alla mätvärdesgivare och övrig elektronik skall vara temperaturstabila. Vid handhavandet skall tillses att temperaturförändringar i sonden minimeras. Den stabilitet som krävs för nollpunktsförskjutningar är

2,0 kPa/°C för spetstryck
0,1 kPa/°C för mantelfriktion
0,05-0,1 kPa/°C för portryck (beroende på givarens mätområde som normalt är 10-20 Bar).

Denna stabilitet, som avser 5-tons sonder, skall kontrolleras. För sonder med högre mätområden tillåts en proportionell ökning i temperaturkänsligheten.

^{*)} I homogen jord avses här djupintervall om en meter.

8 Kontroller

Sondstängernas raket

Innan sonderingen utförs kontrolleras raketten hos främst de nedersta fem stängerna. Kontrollen görs före varje sondering och speciell uppmärksamhet bör iakttas efter sonderingar i lös jord med stopp mot berg eller annan fast botten, speciellt om denna är lutande, och i jord med innehåll av sten eller andra grövre partiklar.

Slitage

Spetsens och friktionshylsans slitage och ytråhet, samt att kriterierna för relationerna mellan spetsens, filtrets och friktionshylsans diametrar uppfylls, kontrolleras före varje sondering. De mycket strängare kraven vid sondering med portrycksmätning i finjord än vid enbart spetstrycksondering i sand måste observeras.

Tätningar

Kvaliteten på tätningarna mellan sondens olika delar skall kontrolleras före varje sondering. Eventuella jordpartiklar som trängt in i spalter och tätningar avlägsnas. Ingen påtaglig förslitning av tätningarna kan accepteras i de högre sonderingsklasserna.

Avstånd till närliggande sonderingar och borrhål

Avståndet till närliggande sonderingar bör vara större än 2 m.

Kalibrering

Kalibrering av mätsystemet skall utföras mellan varje större sonderingsprojekt och regelbundet under längre sonderingsprogram, minst var tredje månad. Enklare funktionskontroller skall dessutom utföras på plats. Under hela projektet kontrolleras givarnas noll-signaler före och efter varje sondering och dessa skall förbli stabila. Spetstrycket kan enkelt kontrolleras med en tryckdosa eller genom att spetsen belastas med en känd vikt. Känsligare portrycksgivare kan kontrolleras genom att sonden sänks ned i ett vattenfyllt hål, t. ex. vid förborring genom torrskorpan.

Nedpressningsutrustning

Nedpressningsutrustningens vertikalitet kontrolleras vid varje flyttning och uppsättning. Eventuella säkerhetsanordningar för maximal last skall vara kalibrerade. Nedpressningshastigheten kontrolleras under varje sondering.

Vätskemätning av filter och behandling av vätskor

Porösa filter vätskemätas på laboratorium. Skall sonderingen utföras i jord där negativa portryck kan befaras, t.ex. fast lagrad sand och silt eller överkonsoliderad lera, i icke vattenmättad jord eller utan förborring genom torrskorpan, väljs glycerin. Vid övrig sondering kan vatten användas som alternativ.

Vid användning av glycerin läggs de torra filtren ned i vätskan och behandlas med högvakuum under ett par timmars tid. Också en större mängd glycerin behandlas på samma sätt. Filter och vätskor förvaras sedan i lufttäta behållare.

Vid användning av vatten kokas filtren i minst 15 minuter. Filter och kokvatten får svalna under tättslutande lock och förvaras sedan i väl fyllda lufttäta behållare. Dessutom avluftas en större vattenmängd med hjälp av t.ex. vattensug. Också detta vatten förvaras i tättslutande behållare.

Vid användning av spaltfilter, krävs också en noggrann vätskemätning. Glycerin eller andra betydligt mer trögflyttande vätskor kan användas. Även i detta fall rekommenderas vätskemätning av tryckkanaler med vakuumbehandlade vätskor.

Filterhöjd

Efter att sonden vätskemätats och de olika delarna skruvats ihop kontrolleras filtrets passning. Dess höjd skall vara sådan att filtret inte glappar samtidigt som det lätt kan roteras med fingertopparna. Denna kontroll tillförsäkrar att inga onödiga spalter existerar samtidigt som inga inspänningskrafter som kan påverka mätvärdena skapats.

Erforderliga kontroller och kalibreringar i samband med ett sonderingsprojekt sammanfattas i Tabell 2.

Tabell 2. Kontrollschema för ett sonderingsprojekt med CPT-sondering.

Kontroll	Tidpunkt				
	Start av projekt	Under projekt	Start av sondering	Efter sondering	Var 3:e månad
Vertikalitet hos nedpressningsutrustning			●		
Nedpressningshastighet			●		
Säkerhetsfunktioner	●				●
Sondstänger	●		●		
Slitage och passning	●		●	●	
Tätningar	●		●		
Filterpassning	●		●		
Nollpunktsförskjutning		●	●	●	
Kalibrering (detaljerad)	●				●
Funktionskontroll	●				

Detta schema skall användas tillsammans med tillverkarens handledning för den speciella utrustningen för att uppnå en god kvalitetskontroll.

9. Kalibrering

Varje ny sond måste genomgå en noggrann kalibrering av areafaktorer, inverkan av inre friktion och eventuella interferenseffekter. Dessa värden är sondspecifika, men de kan ändras om spetsar med annan geometrisk utformning används. De måste därför kalibreras för varje typ av spets som skall användas och måste omkalibreras vid minsta förändring av sondens konstruktion.

Kalibrering av spetstryck och mantelfriktion utförs genom att spetsen respektive friktionshylsan belastas axiellt och stegvis. Vid belastningen av friktionshylsan ersätts spetsen med en adapter som är så konstruerad, att axialkrafterna överförs till friktionshylsans undre ändyta. Kalibreringarna utförs separat, men samtidigt kontrolleras de båda andra mätgivarna så att de inte påverkas av den pålagda lasten. Kalibreringen utförs för olika mätområden och speciellt med hänsyn till de mätområden som kan bli aktuella. Vid kalibrering av en ny sond utsätts de olika mätgivarna först för 15-20 lastcykler upp till fullt mätområde innan själva kalibreringen utförs.

Kalibrering av areafaktorer a och b måste göras i en speciell kalibreringskammare. Denna kammare är så utformad, att sondens nederdel kan föras in i kammaren och låsas och tätas ovanför friktionshylsan, Fig. 4. Sonden kan sedan utsättas för ett allsidigt tryck i kammaren. Detta sker stegvis och samtidigt avläses spetstryck-, mantelfriktion- och portrycksgivarna i sonden. På detta vis erhålls en kalibreringskurva för portrycksgivaren, areafaktorerna a och b samt värden på den inre friktionen i sonden, Fig. 5. Med en speciell registreringsutrustning kan även portrycksgivarens responstid för tryckstötter kontrolleras.

Senare kalibreringar av portrycksgivaren skall utföras t.ex. genom att en adapter till en tryckslang skruvas in i sondspetsens anslutningsgånga.

Kalibreringarna utförs med den elektronik och registreringsutrustning som senare skall användas i fält, så att hela systemet och dess felkällor kontrolleras. Som referenssystem används högpresisionsgivare som kontrolleras regelbundet.

Sonderna skall också kalibreras för temperatureffekter. Detta sker t.ex. genom att sänka ned dem i vattenbad med olika temperaturer. De olika signalerna avläses sedan mot tiden tills dess att värdena stabiliserats. Ur resultaten utvärderas nollpunktsförskjutningen per $^{\circ}\text{C}$ och dessutom erhålls ett mått på hur lång tid som behövs för att stabilisera sonden nedsänkt i vatten.

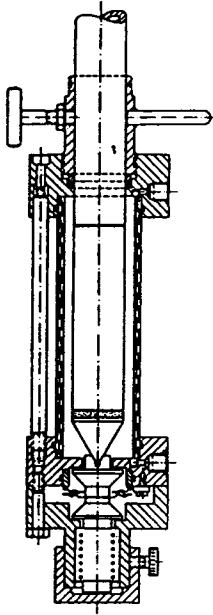


Fig.4. Kalibreringskammare för CPT-sonder.

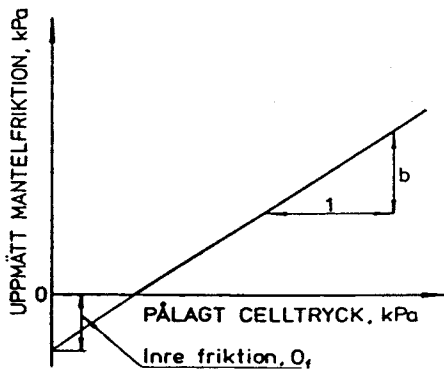
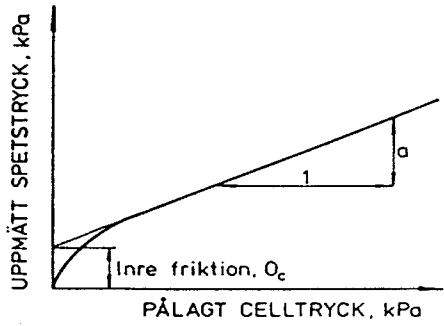
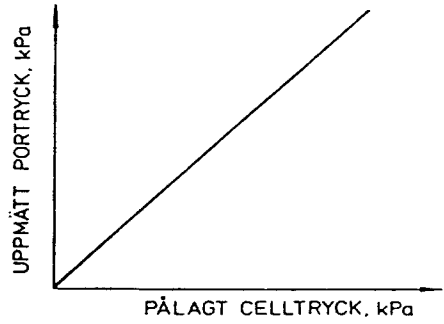


Fig.5. Resultat från kalibrering i kalibreringskammare.

10. Redovisning

Basparametrar och kompletterande parametrar för utvärdering;

De ur CPT-sonderingen erhållna basparametrarna är

- Spetsmotstånd, q_T
- Mantelfriktion, f_T
- Registrerat portryck, u

För tolkning av resultaten erfordras också basparametrarna

- Rådande portryck, u_o
- Rådande vertikalktryck, σ_{vo}

Det initiella portrycket uppskattas med hjälp av observationer av fri grundvattenyta samt utjämnade portryck mätta i permeabla skikt vid sonderingen. Saknas de senare värdena får kompletterande portrycksmätning utföras på ett antal nivåer.

Det initiella vertikalktrycket in-situ uppskattas med hjälp av jordens densitet. Denna uppskattning kan ofta göras interaktivt med ledning av ur sonderingsresultaten bedömd jordart och fasthet. I lera och organisk jord erfordras för en noggrannare utvärdering att prover tas för bestämning av flytgränsen, w_L . Ur dessa prover kan också densiteten bestämmas.

För tolkning av sonderingsresultaten används olika relationer mellan basparametrarna. För preliminär tolkning och jordartsbedömning används ofta parametrarna

- $\Delta u = u - u_o$
- Friktionskvot $R_f = (f_T / q_T) \cdot 100, \%$
- Portryckskvot $DPPR = (\Delta u / q_T)$ eller $B_q = \Delta u / (q_T - \sigma_{vo})$

Uppritning

Sonderingsresultaten uppritas som kurvor över basparametrarna q_T , f_T och u mot djupet. Okorrigerade värden på q_c respektive f_c får aldrig presenteras utan tydligt angivande av att detta är okorrigerade värden som inte kan användas för utvärdering, utom i de specialfall där inverkan av portrycken kan försummas, (d.v.s främst i sand).

Som stöd för en preliminär manuell bedömning och utvärdering redovisas också kurvor över u_0 , Δu , R_f och DPPR mot djupet.

Uppritning skall göras med följande skalor

Djup	1 m/cm
q_T	2 MPa/cm
f_T	50 kPa/cm
u	200 kPa/cm

En första uppritning i dessa skalor bör alltid göras för att ge en enhetlig bild av jordens relativa fasthet. I finkornig jord kan en detaljerad uppritning av samtliga parametrar göras i skalor som valts med ledning av de aktuella mätvärdena, Fig. 6. I denna senare uppritning redovisas också parametrarna u_0 , Δu , R_f och DPPR mot djupet. För de senare parametrarna väljs skalförhållandena

R_f	2 %/cm
DPPR	0,5/cm

I rapporteringen skall också anges

- Försöksplats
- Operatör
- Datum
- Sondhålets beteckning
- Sondhålets läge i plan och dess nivå
- Använd referensnivå
- Fria grundvattenytans läge
- Utförda portrycksobservationer

- Förborrningsdjup
- Uppgifter om det förborrade materialet
- Vid sondering från schaktbotten skall också schaktdjup och det bortschaktade materialets natur anges.
- Utrustningens typ och fabrikat
- Sondspetsens nummer, filterplacering och mätområden
- Datum för kalibrering
- Areafaktorer
- Använd vätska och filtertyp i portrycksmätningssystemet
- Eventuella längre stopp i sonderingen för utförande av specialförsök (typ seismik eller portrycksutjämning)
- Alla observationer som operatören gjort under och efter sonderingen angående indikationer på förekomst av sten, ljud från stängerna, störningar som kan påverka resultatet, krökta stänger eller tappar, onormal förslitning av sonden eller signifikanta nollvärdesförskjutningar.
- Skillnader i nollvärdesavläsningarna före och efter sonderingen anges i kPa. Signifikanta skillnader i kalibreringarna före och efter den aktuella tidpunkten skall också anges samt avvikelser i djupregistrering.
- I den mån signifikanta nollvärdesförskjutningar uppstått skall anges hur detta hanterats vid databehandlingen.

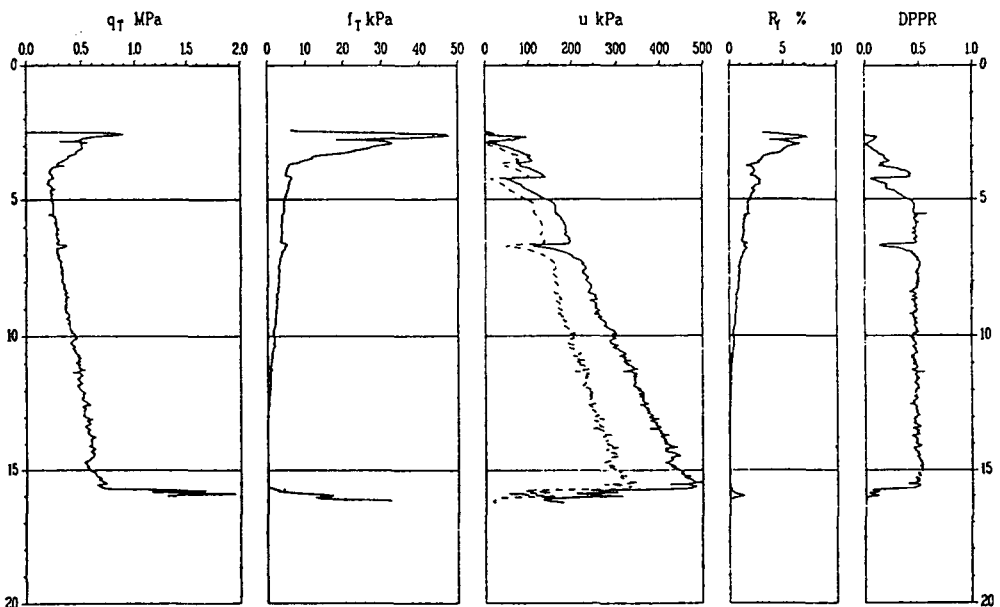


Fig.6. Uppritning av resultat från CPT-sondering.

SGF Rapport/Report

- 1:93 Rekommenderad standard för CPT-sondering.
- 1:93E Recommended Standard for Cone Penetration Tests.
- 2:93 Rekommenderad standard för vingförsök i fält.
- 2:93E Recommended Standard for Field Vane Shear Test.
- 1:95 Rekommenderad standard för dilatometerförsök.
- 1:95E Recommended Standard for Dilatometer Tests.
- 2:95 Några pionjärprofiler i svensk geoteknik.
SJ Geotekniska Kommission 1914-1922.
- 3:95 Proceedings of the International Symposium on
Cone Penetration Testing, CPT'95.
- 4:95 Kalk- och kalkcementpelare.
Vägledning för projektering, utförande och kontroll.
- 4:95E Lime and Lime Cement Columns.
Guide for Project Planning, Construction and Inspection.
- 1:96 Geoteknisk fälthandbok.
Allmänna råd och metodbeskrivningar.
- 1:99 Tätskikt i mark. Vägledning för beställare, projektörer
och entreprenörer.
- 2:99 Metodbeskrivning för Jord-bergsondering.
- 3:99 Metodbeskrivning för Viktsondering.

Svenska Geotekniska Föreningen (SGF) bildades 1950 och består av drygt 700 enskilda medlemmar, med minst två års praktisk erfarenhet av geoteknik. Dessutom ingår ca 30 korporativa medlemmar i form av institutioner, högskolor, myndigheter, konsult- och entreprenadföretag samt tillverkare inom det geotekniska området.

SGF har till ändamål att främja utvecklingen inom geoteknik med grundläggning med föredrag, diskussioner och kommittéarbeten samt att samarbeta med svenska, nordiska och övriga internationella organ med liknande inriktning.

Föreningen företräder i Sverige den internationella föreningen, the International Society of Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (ISSMGE). Varje enskild medlem i SGF är också medlem i den internationella föreningen.

I SGF:s Rapportserie utges föreningens metodbeskrivningar, monografier och dokumentation från konferenser och temadagar m.m.



SGF

SVENSKA GEOTEKNISKA FÖRENINGEN

581 93 Linköping Tel: 013-20 18 00 Fax: 013-20 19 09

Internet: www.sgf.net E-post: info@sgf.net