

Svenska Geotekniska Föreningen
Swedish Geotechnical Society

SGF Notat 1:2009

JÄMFÖRANDE SONDERINGAR

Jb-totalsondering, CPT och Hejarsondering



SGF:s Fältkommitté

Linköping 2009

Förord

Svenska Geotekniska Föreningen (SGF) är en allsidigt sammansatt ideell förening, där de flesta yrkesverksamma geotekniker och företag i branschen är representerade, inklusive beställare av geotekniska utredningar. Föreningens mål är att främja utvecklingen av geoteknik med grundläggningsteknik och miljögeoteknik i ett nationellt och internationellt perspektiv.

Fältkommittén inom SGF har som mål att främja dels utveckling av metoder, dels klarlägga enhetlighet och god kvalitet på fältundersökningar samt att sprida kunskap och stå för erfarenhetsåterföring och god arbetsmiljö inom området geotekniska fältundersökningar och mätningar. Ett av målen under senare år har varit att implementera Jb-totalsondering i Sverige och under 2006 togs en metodbeskrivning fram i fältkommitténs regi av Gunnar Nilsson, WSP.

Detta projekt är nästa steg i implementeringen, att på ett systematiskt sätt jämföra resultaten från Jb-totalsondering med de från främst CPT-sondering, men även från hejarsondering. Arbetet har genomförts av Gunnar Nilsson, WSP, (projektledare) och Hjördis Löfroth, SGI, från SGF's fältkommitté samt Gunnar Westberg och Karl-Gustav Joelsson, SGI. Fältundersökningarna har genomförts av Kjell Hidsjö, FmGeo AB och Björn Möller, FmGeo AB har ansvarat för och skrivit delen om kalibrering (avsnitt 5.2). Projektet har till största delen finansierats av SGF men även av Statens geotekniska institut (SGI).

Synpunkter på rapporten har erhållits av Rolf Larsson, SGI, Ulf Bergdahl, SGI och Björn Möller, FmGeo, AB.

Svenska Geotekniska Föreningen
Fältkommittén

Linköping och Stockholm i december 2008
Projektgruppen genom

Gunnar Nilsson och Hjördis Löfroth

Innehållsförteckning,

1	<u>SAMMANFATTNING</u>	3
2	<u>SYFTE</u>	5
3	<u>BAKGRUND</u>	6
4	<u>JB-TOTALSONDERING</u>	7
5	<u>INLEDANDE ARBETEN</u>	10
5.1	LOKALISERING AV PROVNINGSLOKALER	10
5.2	KALIBRERING AV UTRUSTNING	10
5.2.1	ALLMÄNT	10
5.2.2	UTRUSTNING OCH UTFÖRANDE	10
5.2.3	RESULTAT OCH SLUTSATSER	11
6	<u>METODIK VID FÄLTFÖRSÖK</u>	13
6.1	METODIK FÖR GENOMFÖRANDET	13
7	<u>FÄLTFÖRSÖK KOLBYTTEMON</u>	14
7.1	UNDERSÖKNINGSPLATS OCH GEOLOGI	14
7.2	TIDIGARE UTFÖRDA UNDERSÖKNINGAR OCH UTREDNINGAR	14
7.3	BESKRIVNING OCH RESULTAT AV FÄLTFÖRSÖKEN	16
7.3.1	ALLMÄNT	16
7.3.2	JB-TOTALSONDERING	17
7.3.3	CPT-SONDERING	18
7.3.4	HEJARSONDERING	19
7.3.5	KOMMENTARER TILL SONDERINGSRESULTATET	19
8	<u>FÄLTFÖRSÖK MASMO, VID ALBYSÖN</u>	21
8.1	UNDERSÖKNINGSPLATS OCH GEOLOGI	21
8.2	TIDIGARE UTFÖRDA UNDERSÖKNINGAR OCH UTREDNINGAR	21
8.3	BESKRIVNING OCH RESULTAT AV FÄLTFÖRSÖKEN	23
8.3.1	ALLMÄNT	23
8.3.2	JB-TOTALSONDERING	24
8.3.3	CPT-SONDERING	25

8.3.4	HEJARSONDERING	26
9	<u>UTVÄRDERING OCH ANALYS AV RESULTATEN</u>	27
9.1	JÄMFÖRELSE AV RESULTAT FRÅN CPT-SONDERING OCH JB-TOTALSONDERING	27
9.2	MATCHNING AV SONDERINGSKURVORNA FÖR CPT OCH JB-TOTALSONDERING	28
9.3	JÄMFÖRELSE MED HEJARSONDERINGSRESULTAT	30
9.4	VARIATIONSKOEFFICIENTEN - JÄMFÖRELSE AV SPRIDNING	31
9.5	FÖRHÅLLANDE MELLAN SPETSTRYCK CPT OCH JB-TOT FÖR BÅDA TESTOMRÅDENA	32
9.6	FRIKTION LÄNGS SONDESTÅNGEN VID JB-TOTALSONDERING	36
10	<u>DISKUSSION</u>	38
11	<u>SLUTSATSER OCH REKOMMENDATIONER</u>	39
12	<u>FORTSATT ARBETE</u>	40
13	<u>REFERENSER</u>	41

Vidare analyser av medelvärdet per halvmeter sonderingsdjup för de båda försökslokalerna tillsammans visar på ett samband mellan normaliserat nettospetstryck från CPT-sondering och normaliserat nettospetstryck från Jb-totalsondering. Resultaten från de båda försöksplatserna tillsammans ger ett normaliserat nettospetstryck från CPT-sondering som är 1,96 gånger det normaliserade nettospetstrycket från Jb-totalsondering, dvs.

$$\left(\frac{q_{T-CPT} - \sigma_{v0}}{\sigma'_{v0}} \right) = 1,96 \cdot \left(\frac{q_{Jbtot} - \sigma_{v0}}{\sigma'_{v0}} \right) \quad (\text{Ekvation 3})$$

där

q_{T-CPT} = nettospetstryck från CPT-sondering

q_{Jbtot} = beräknat spetstryck från Jb-totalsondering

σ_{v0} = vertikal totalspänning

σ'_{v0} = vertikal effektivspänning

Samstämmigheten mellan de båda försöksplatserna är god och signifikansen i resultaten är relativt hög, vilket tyder på att det finns ett samband mellan det normaliserade spetstrycket från de båda metoderna i den undersökta jordarten, sand. Det skall dock påpekas att resultat från fler försökslokaler behövs innan några säkra slutsatser kan dras.

Eftersom man vid hejarsondering inte registrerar en kraft utan antal slag/0,2 m har inte något direkt spetstryck kunnat räknas ut. Det har därför varit svårt att göra en jämförelse mellan hejarsondering och CPT-sondering. För att ändå kunna göra en jämförelse har ett antagande ("transformation") gjorts att ett slag/0,2 m motsvarar ett specifikt värde som ger en god matchning av resultaten från Kolbytte-mon. Används samma "transformation" (samma specifika värde) för Masmo fås en mycket dålig korrelation under 6 m djup.

Vid undersökningstillfället provades även ett tillvägagångssätt att försöka uppskatta mantelfriktionen mot sondstången genom att först dra upp sondstången 0,5 m samtidigt som sondstången roterades med 25 rpm, och den genomsnittliga dragkraften mättes. Därefter trycktes stånden ned igen 0,5 m (rotation 25 rpm) och tryckkraften avlästes. Det visade sig dock ge stora variationer i uppmätt drag- respektive tryckkraft. Man kan konstatera att när man drar upp kronan så finns en tendens att man får ett jordmotstånd genom att borrkronan som är större än sondstången, skjuter upp en kil av jord framför sig. När man sedan trycker ned sonden igen är det väsentligt att hålet står om man skall få ett relevant resultat.

2 SYFTE

Mål för fältkommitténs arbete är att främja utveckling av metoder, verka för enhetlighet och god kvalitet på fältundersökningar samt att sprida kunskap och stå för erfarenhetsåterföring och god arbetsmiljö inom området geotekniska fältundersökningar och mätningar.

Området geotekniska fältundersökningar, miljötekniska markundersökningar och mätningar spänner över ett stort område där fältkommitténs verksamhetsområde kan definieras av följande punkter:

- Traditionella undersökningsmetoder
- In situ-metoder
- Geohydrologiska metoder
- Kontrollmetoder
- Geofysiska metoder med geoteknisk tillämpning
- Metoder för mätningar, kontroll och uppföljning samt datainsamling

Ett av målen under senare år har varit att implementera Jb-totalsondering i Sverige och under 2006 togs i fältkommitténs regi en metodbeskrivning fram för sonderingsmetodik. Detta projekt är ett nästa steg, att på ett systematiskt sätt jämföra resultatet från Jb-totalsondering med främst CPT-sondering men också hejarsondering (HfA).

Projektets syfte är att med sonderingar i två olika lokaler i Sverige med huvudsakligen sandjord jämföra Jb-totalsondering, CPT-sondering och hejarsondering för att undersöka om det finns ett samband mellan resultaten från de olika sonderingsmetoderna. Jämförelsen är begränsad till att gälla sandjord.

Den mest noggranna och informativa sonderingsmetoden i löst avlagrade jordar är idag CPT-sondering. Denna har dock begränsad nedträngningsförmåga i jordar med större fraktioner än sand, vilket också begränsar dess användning i skandinavisk geologi samt i urbana områden. I de fall där CPT-sondering är otillräcklig eller inte ger för objektet relevant information genom hela jordlagerföljden kan Jb-totalsondering vara ett komplement. För närvarande saknas dock underlag för att bedöma friktionsjordars fasthet genom Jb-totalsondering vid den statiska vridtryckfasen. Här skulle CPT-sondering kunna vara ett utmärkt ”kalibreringsinstrument” för att ta fram ett sådant underlag genom jämförande sondering.

Liksom hejar- och viktsondering registreras inte jordmotståndet vid Jb-totalsondering i sondspetsen eller strax intill utan vid bormaskinen. Den konstanta rotationen gör att stor del av de vertikala friktionskrafterna försvinner vid matning av stängerna, men när stängerna blir inspända mot t ex block och sten påverkas resultatet av friktionskrafter mot sondstången i väsentlig grad. Ett sätt att bedöma friktionen mot stängerna kan vara att t.ex. med jämna intervall dra upp stängerna med hastigheten 20 mm/s och med konstant rotation och mäta den uppåtriktade dragkraften. Detta tillvägagångssätt har provats i projektet.

3 BAKGRUND

I och med att man började använda sig av instrumenterade borrhandsvagnar vid geotekniska undersökningar gavs nya möjligheter att på ett bättre sätt kunna registrera jordmotstånd vid sondering. Detta utnyttjas till fullo idag vid CPT-sondering i finkorniga jordar och sandjordar. Då jorden innehåller lager med grus och grövre material har man i praktiken fått förlita sig till de mer traditionella sonderingsmetoderna, vikt- och hejarsondering, som genomförda med moderna borrhandsvagnar kan tyckas aviga och tidsödande.

Vikt- och hejarsondering, standardiserades i Sverige under första halvan av 1900-talet och togs fram med den tidens förutsättningar och behov även om en viss modifiering genomfördes under 60- och 70-talet. När borrhandsvagnarna började bli vanligt förekommande i början av 1980-talet samtidigt som personatorer och loggerutrustning blev allmänt tillgängligt, förde man i Sverige och Finland helt enkelt över de traditionella manuella metoderna på moderna och instrumenterade borrhandsvagnar. I Norge tog utvecklingen däremot en annan riktning där man tog fram nya sonderingsmetoder, dreietrycksondering och norsk totalsondering, som var mer anpassade till modern mätteknik. Dessa sonderingsmetoder blev i Norge snart helt dominerande.

I början av 1990-talet instrumenterades borrhandsvagnarna i Sverige för jord- och bergsondering (MWD, Measure While Drilling). Metodbeskrivning upprättades och Jb-sondering indelades i 3 klasser där klass Jb1 endast mäter borrhandsvagnstid, och då ofta manuellt. Klass Jb2 är helt instrumenterad och mäter förutom borrhandsvagnstid, matningskraft, rotationshastighet, hammartryck och tryck på vridmotorn. Klass Jb3 mäter även spolmedietryck och spolmedieflöde. Klass Jb2 blev snabbt en generell metod medan Jb3 används mer sällan varför endast ett mindre antal borrhandsvagnar är utrustade med de kompletterande registreringsutrustningarna.

Under samma period ökade omfattningen av CPT-sondering i Sverige. CPT är den sonderingsmetod, som ger mest information om jorden. Den har dock begränsad nedträngningsförmåga i jordar och jordlager med grövre jord än sand, vilket ger en begränsad användning i många geologiska formationer.

Att bestämma jordlagerförhållanden i områden med t ex åsmaterial, fyllningar eller andra jordar med lager av varierande fasthet och fraktioner mot djupet är en ofta omständlig och tidsödande procedur om man skall förlita sig på vikt- och hejarsondering, som egentligen är anpassade för manuell hantering. I början av 2000-talet började man i Stockholmsområdet regelbundet använda sig av totalsondering. I de första objekten hämtades sonderingsmetodikerna direkt från norsk totalsondering med undantag av mätning av spolmediaflöde och tryck (jfr Jb3). Utrustning och registrering var, förutom borrhandsvagnen, som var försedd med backventil, identisk med Jb2-sondering. Det man tillförde var ett statiskt vrid/tryckskede med konstant rotationshastighet och konstant sjunkhastighet.

För att få en bättre kontroll över sonderingsförloppet samt få en noggrannare registrering av jordmotståndet sänktes sjunkhastigheten till 20 mm/s (jfr den norska 50 mm/s). I projekt där totalsonderingar genomfördes gjordes även kompletterande CPT-sonderingar. De registrerade kurvorna för spetstrycket vid CPT-sondering i de lösa jordarna var till formen närmast identiska med totalsonderingens (dock inte storleken). Detta visade att det finns en potential att utveckla metoden och att man borde kunna utvärdera friktionsjordars fasthet, på motsvarande sätt som man idag gör vid utvärdering av vikt- och hejarsondering.

Det finns stora rationaliseringsvinster om man vid en och samma sondering kan utvärdera hela jordlagerföljden och registrera bergnivån samt få en indikation om bergets kvalitet. Dagens sonderingsmetoder har alla olika typer av sondstänger för de olika metoderna. Det vore en stort framsteg om man kunde reducera antalet typer av sondstänger, som man måste ta med sig till undersökningsplatsen. Jb-totalsondering ger potentiellt möjligheter att endast använda sig av två typer av sondstänger, CPT –stänger och geostänger för Jb-sondering, för att täcka in huvuddelen av de geotekniska sonderingsbehoven. I en framtid kan det t.o.m. räcka med endast en typ av sondstång.

4 JB-TOTALSONDERING

Jb-totalsondering är uppdelad i en statisk del (vridtrycksondering) och en dynamisk del (hammarborrning). Krav i metodbeskrivning är att man använder sig av en 57 mm stiftborrkrona med backventil och $\phi 44$ mm geostänger, se Figur 2. Som spolmedel kan man nyttja vatten eller tryckluft. Vatten är att föredra eftersom tryckluft har en begränsad verkningsgrad såväl då man skall trycka ut jordpluggen i kronan som bildas under vridtryckskedet som vid spolning då hammarborrning genomförs.

Vid Jb-totalsondering har Jb-2 sondering tillförts ett kontrollerat statiskt vridtryckskede för att registrera jordmotståndet genom att man trycker ned sondstången med konstant rotationshastighet, 25 rpm, och konstant sjunkhastighet, 20 mm/s (samma sjunkhastighet som för CPT) varvid matningskraften registreras.

Då hinder påträffas, t ex sten, block o.d., eller då jordmotståndet blir så stort att sjunkhastigheten avstannar, kopplas spolning och slag till, vilket gör det möjligt att hammarborra sig igenom hindret. Hammarborrningsskedet utförs på samma sätt som vid Jb-2 sondering. Därefter kan det statiska vridtryckskedet återupptas för att registrera jordmotståndet. Ett exempel på redovisning visas i figur 3 och 4.

SGF's fältkommitté har valt att kalla metoden för Jb-totalsondering. Dels för att markera att metoden är en vidareutveckling av jordbergsondering, men också för att det finns skillnader mellan denna metodbeskrivning och den norska. En förutsättning vid upprättande av metodbeskrivningen har varit att man skall kunna genomföra Jb-totalsondering med samma typ av sonderings- och registreringsutrustning som vid jordbergsondering klass 2 (Jb-2). Undantaget är borrhönan, som är försedd med backventil.

De främsta skillnaderna jämfört med den norska metoden är att sjunkhastigheten vid det statiska vridtryckskedet har sänkts (från 50 mm/s till 20 mm/s) samt att inga krav på registrering av spolmedietryck finns vid hammarborrning. Motivet till sänkningen av sjunkhastigheten vid det statiska vridtryckskedet är att höja upplösningen och tydliggöra registreringen av jordmotståndet för att förbättra möjligheten till utvärdering av jordparametrar ur resultatet.

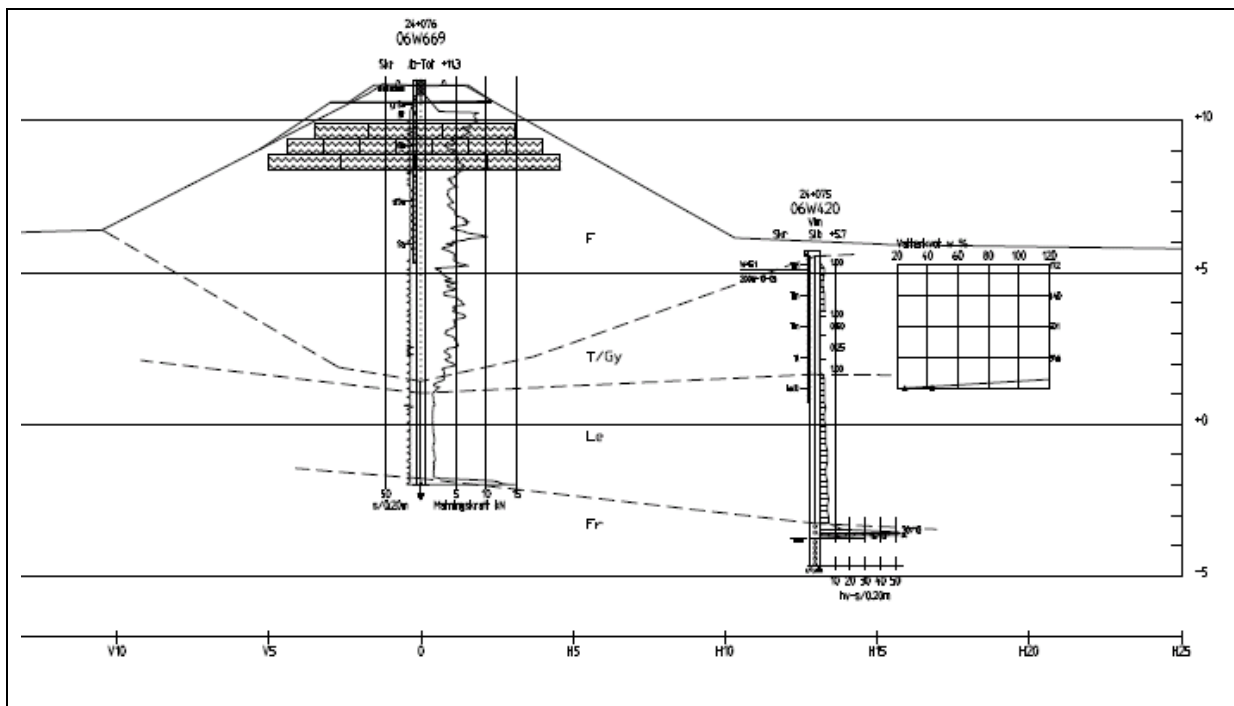
Nedan redovisas arbetsgången, som är hämtad från metodbeskrivningen SGF rapport 1:2006.

Arbetsgång

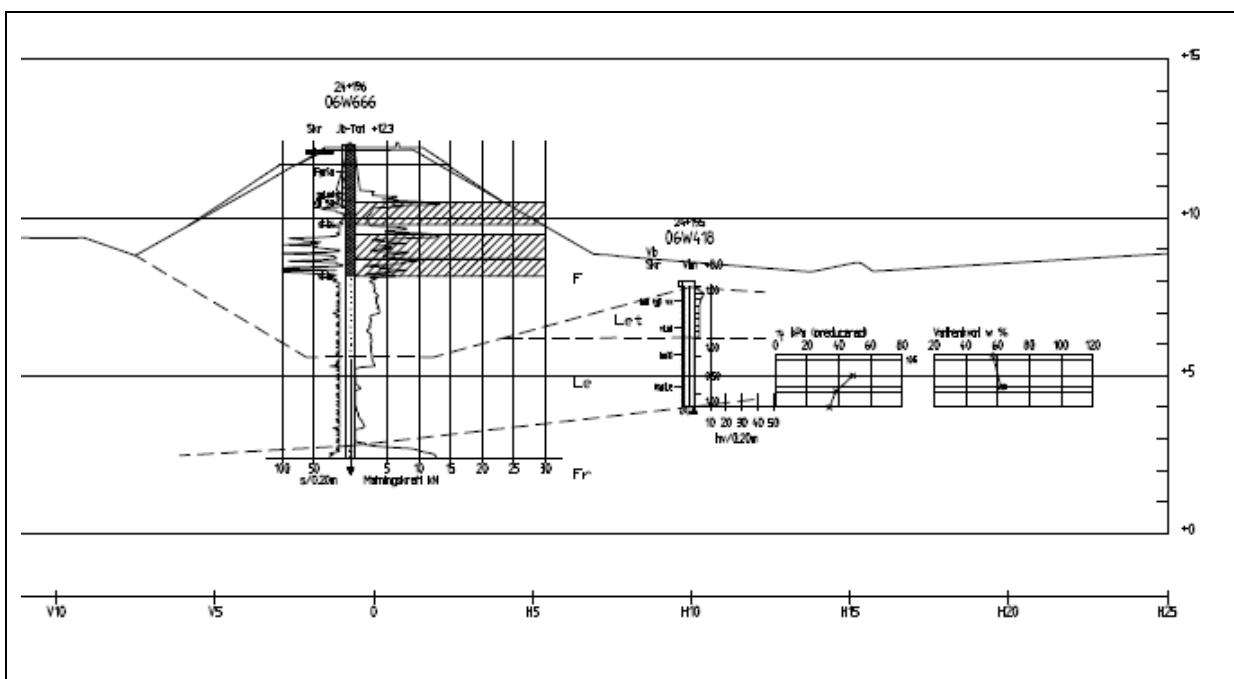
1. Den maximala tryckkraften (normalt 10-30 kN) som borrhigen kan uppnå vid sonderingspunkten anges i protokoll eller till datainsamlingssystem.
2. Förborring genomförs för de inledande 0,5 m för att få en god styrning vid sonderingen.
3. Den statiska vridtryckssonderingen påbörjas. Vridningen skall inledas omedelbart när tryckningen startas.
4. När sonderingsmotståndet blir för stort så att den konstanta sjunkhastigheten inte kan upprätthållas påbörjas hammarborrning genom att spolning kopplas på och direkt därefter hammaren med normal vridhastighet och matningskraft enligt principer gällande för Jb-2 sondering.
5. När block, hinder eller fastare jordlager borrats igenom med hammarborrning förs borrkronan upp och ner några gånger med samtidig spolning för att säkerställa att inte inspänningar och friktion erhålls mot sondstången. Därefter återupptas det statiska vridtryckskedet.
6. Under hela sonderingstillfället skall tolkning av jordlager, block m.m. antecknas i protokoll eller till datainsamlingssystemet.
7. Då borrstålets fria längd överstiger 3 m skall foderrör med innerdiameter \varnothing 70-100 mm användas, t ex vid sondering från flotte eller plattform.
8. Borrning i berg genomförs till avtalad längd enligt principer gällande för Jb-2 sondering.



Figur 2: Geostång \varnothing 44 med 57 mm stiftborrkrona och backventil



Figur 3: Redovisning av Jb-totalsondering där man gått igenom banken utan hammarborrning (planerad lättfyllning redovisad i sektion)



Figur 4: Redovisning av Jb-totalsondering där hammarborrning använts bitvis i banken)

5 INLEDANDE ARBETEN

5.1 Lokalisering av provningslokaler

Kraven på provningslokaler var att jordlagerförhållandena var väldefinierade och att de fanns i skilda geologiska formationer samt att den huvudsakliga fraktionen var sand.

Två ”klassiska” lokaler utvaldes där tidigare försöksverksamhet har genomförts och där jordlagerförhållandena var välkända, Kolbytteomon i Linköping och Masmo intill Albysjön, Stockholm.

5.2 Kalibrering av utrustning

5.2.1 Allmänt

För projektet genomfördes kalibrering av borrhandsvagnens registreringsutrustning.

Kalibrering av kraftgivare på FmGeo AB:s borrhigg Geotech 705DD utfördes 2007-11-12 vid företagets borrhörråd i Västervik. Samtidigt utfördes en funktionskontroll av borrhiggens rotationshastighet och dess sjunkhastighet. För mätning och avläsning av borrhandsvagnens sensorer användes Geoprinter av modell 60. Till denna är alla borrhandsvagnens sensorer anslutna. Kalibrering utfördes med hjälp av en noggrann kraftgivare, STG-100 nr 6. Kraftgivaren har mätområdet 100 kN och är försedd med en avläsningsenhet, Metrolog, som är kalibrerad tillsammans med kraftgivaren. Kraftgivarens mätnoggrannhet uppges till 0,1 % av fullt skalutslag.

5.2.2 Utrustning och utförande

Bandvagnens kraftgivare kalibrerades såväl för drag- som för tryckkraft. I Figur 5 visas uppställningen för tryckkalibrering och i Figur 6 monteringen för kalibrering av dragkraft.

Före varje kalibrering nollställdes såväl geoprinter som kraftgivare för borrhandsvagnens vikt (ca 800 kg) varvid lasten fördes på stegvis med hjälp av bandvagnens hydraulsystem. Kalibrering av tryckkraften utfördes i laststeg om ca 10 kN upp till 50 kN och därefter avlastning i samma laststeg. Denna kalibrering utfördes 3 gånger.

Dessutom utfördes två kalibreringar i 4 steg upp till ca 10 kN. Vid dessa relativt små laster var det svårt att hålla lasten konstant inom respektive laststeg men avläsning kunde utföras ”i farten”. Vid kalibrering av dragkraft ställdes en offset av 10 kN in på geoprintern. På så sätt kunde kalibrering av dragkraft ske i intervallet 10 till 0 kN.



Figur 5: Uppställning för kalibrering av tryckkraft



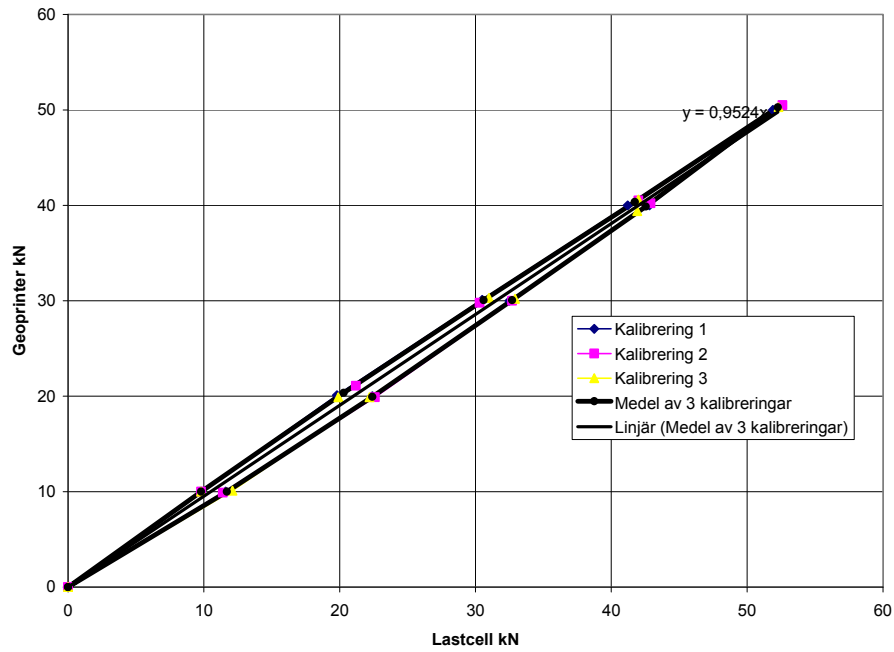
Figur 6: Uppställning för kalibrering av dragkraft

5.2.3 Resultat och slutsatser

I Figur 7 visas resultaten från tre kalibreringar i steg om ca 10 kN upp till ca 50 kN. I diagrammet visas såväl varje enskild kalibrering som medelvärdet. En linjär regression utfördes med resultat att geoprintern visade ca 5 % lägre kraft än referensen. Det framgår också att det finns en viss olikhet i resultaten vid upplastning jämfört med avlastning (hysteresseffekt). Motsvarande resultat erhöles för tryckkalibrering upp till 10 kN samt dragkalibrering i intervallet 10 till 0 kN. Dessa resultat redovisas inte här.

Hysteresseffekten som den som redovisats ovan finns för alla kraftgivare av den typ som är monterad på bandvagnen. I detta fall är avvikelsen som mest ca 1,5-2,0 kN från medellinjen. Skillnaden på 5% mellan bandvagnens kraftgivare och referenskraftgivaren korrigeras i resultaten fram till det att geoprinterns program anpassats för detta. Resultatet från kalibrering i intervallet 0 till 10 kN samt dragkalibrering inrymdes i ovan redovisade resultat.

Kalibrering Bv 705DD



Figur 7: Kalibrering av kraftgivare på borrhög

6 METODIK VID FÄLTFÖRSÖK

6.1 Metodik för genomförandet

Borrpunkterna placerades med 3 m c/c avstånd med varannan CPT-sondering och Jb-totalsondering samt en hejarsondering. Markhöjden för borrpunkterna avvägdes. Vid registrering av Jb-totalsonderingarna användes en så kallad 6-kanalsmätning (med undantag av den första Jb-totalsonderingen i Kolbytte-mon där sonderingen registrerades som Jb2)

Omfattningen av undersökningarna på varje plats var,

- 3 st. Jb-tototalsonderingar
- 3 st. CPT-sonderingar klass 2
- 1 st. Hejarsondering enligt SGF Fälthandbok rapport 1:96

Grundvattennivån mättes i Kolbytte-mon i ett öppet rör med slitsar. Avläsning gjordes med elektrisk dubbelledare vid undersökningstillfället. I Masmo var grundvattennivån lika med Mälarens vattenstånd.

Fältarbetet utfördes av Kjell Hidsjö, FMGeo AB med bandvagn Geotech 705DD. Jb-totalsondering genomfördes enligt metodbeskrivning, SGF Rapport 1:2006, d.v.s. stiftborrkrona 57 mm med backventil (den så kallade norska totalsonderingskronan), 44 mm geostänger, konstant sjunkhastighet av 20 mm/s och rotationshastighet 25 rpm. Innan varje skarvning av borrstål, roterades sonden med 25 rpm och stängerna drogs upp ca 0,5 m varvid den uppskattade genomsnittliga kraft som visades på loggern antecknades tillsammans med djupet. Även matningskraften, som åtgick att mata ned stängen med rotation igen registrerades.

För att kunna registrera dragkraften under sonderingen ställdes loggern in i s.k. ”offset”-läge. Offset ställdes till 10 kN i Kolbytte-mon och 8 kN vid Masmo. Den uppskattade genomsnittliga dragkraften som visades på loggern, antecknades i protokoll tillsammans med djupet och fördes in på borrvagnens logger.

Förborrning 0,5-1,5 m genomfördes för samtliga sonderingsmetoder för att få en så god styrning som möjligt. Det bestämdes inledningsvis att sonderingarna inte skulle göras djupare än 20 m. Skulle CPT sonden stanna tidigare skulle de intilliggande Jb-totalsonderingarna göras 5 m djupare. Max djup begränsades dock till 20 m.

Under sondering med Jb-tot kontrollerades att inga inspänningseffekter uppkom, så kallade ”julgransyndrom”.

7 FÄLTFÖRSÖK KOLBYTTEMON

7.1 Undersökningsplats och geologi

Försöksplatsen Kolbytte-mon är belägen på SGI:s provfält ca 6 km söder om Linköping.

Ur ”Beräkning av plattors sättning och bärförmåga i friktionsjord, sammanställning av undersökningar på broar och resultat av plattförsök” Ulf Bergdahl, Gunnar Hult, Lars Johansson och Elvin Ottosson, 1986. Den äldre benämningen Mo motsvarar idag benämningen grovsilt.

Provfältet är beläget inom en isälvsavlagring där materialet till dominerande del utgörs av sandig mo. Närmast markytan förekommer inslag av mylla och växtrester. En kapp av sten förkommer ned till ca 1 m djup. På åsytan finns ställvis större mängder sten och block från drivis. Vid provplatsen finns till övervägande horisontell lagring skikt av fast sand och mo med inslag av inlagrad stenig och grusig sand. Inom provytan har inslag av grus påträffats på 6-7 m djup.

Se Figur 8 som visar ytterkant av provområdet i profil.

7.2 Tidigare utförda undersökningar och utredningar

Grundvattenytan återfanns vid försöken på ca 9,9 m djup. Enligt Bergdahl och Möller 1980 uppmättes grundvattenytan i juni respektive september 1980 till djupet 9,05 m och 8,65 m under markytan.



Figur 8: En bild tagen från tåkten på Kolbytte-mon som visar genomskärning

Inom och i anslutning till området är bland annat nedanstående geotekniska utredningar tidigare utförda av SGI:

- Bergdahl, U (2007). Reptålighet hos korrosionsskyddande beläggningar på stålplåtar. Bygg & Teknik.
- Joelson, KG (2002). Metodutveckling för styrd inklinometermätning - fasta och manuella inklinometrar. Statens geotekniska institut, SGI. Varia 514. Linköping.
- Bergdahl, U, Hult, G, Ottosson, E (1984). Belastningsförsök på plattor grundlagda i friktionsjord för bestämning av jords deformationsegenskaper. Försök vid SGI:s provfält - Kolbyttemon, Linköping. Statens geotekniska institut. SGI Varia 138. Linköping.
- Bergdahl, U, Möller, B (1980). Utveckling av hejarsonderingsmaskin. Hejarsond för jordparameterbestämning. Resultat av ett utvecklingsprojekt. SGI Varia 29. Linköping.

I tidigare undersökningar har ödometerförsök på upptagna ”ostörda” jordprover utförts på SGI:s Laboratorium i Linköping. I Tabell 7-1 presenteras resultat från Bergdahl et al, 1984 i form av mätta densiteter inom de olika jordlagren. Skrym- och torrdensiteter har bestämts direkt på upptagna prover. På inpackade prover har dessutom bestämts minsta och största torrdensiteten. Området för de plattbelastningsförsök, som utfördes 1984, ligger i anslutning till de i aktuellt projekt utförda sonderingarna.

Tabell 7-1 Densitetsbestämningar direkt på upptagna prover samt inpackningsförsök (från Bergdahl et al 1984)

Jordlager		Naturlig jord			Inpackad jord	
Djup u my	Benämning	Vattenkvot	Skrymdensitet	Torrdensitet	Torrdensitet (t/m ³)	
		%	(t/m ³)	(t/m ³)	Min	Max
0-1,5	(s) Mvx	9	1,72	1,58	-	-
1,5-3,5	S, mS	5	1,62	1,54	1,36	1,68
3,5-5,5	M	16	1,7	1,47	1,36	1,70
5,5-7,5	sM, mS	7	1,65	1,54	1,41	1,71

Kommentar M = Mo = grovsilt och finsand, kornstorlek 0,02 – 0,2 mm

Dränerade triaxialförsök utfördes av Bergdahl et al, 1984 på ”ostörda” prover med resultat enligt Tabell 7-2. Ytterligare resultat från exempelvis ödometerförsök och sonderingsmotstånd från området finns i Bergdahl et al, 1984.

Tabell 7-2 Dränerade triaxialförsök på ”ostörda” prover (Bergdahl et al 1984)

Djup	Benämning av prov ⁽¹⁾		Friktionsvinkel ur triaxialförsök	
			Friktionsvinkel ur triaxialförsök	Friktionsvinkel ur triaxialförsök
[m]			[Φ'] ⁽²⁾	[Φ] ⁽²⁾
2,15	S	Sand	34,5	37,0
3,15	mS	moig Sand	35,5	38,5
5,15	M	Mo	34,5	37,5
6,25	S	Sand	36,0	40,5

Bergdahl, U, Hult, G, Ottosson, E (1984). Belastningsförsök på plattor grundlagda i friktionsjord för bestämning av jords deformationsegenskaper

(1) provad jordvolym

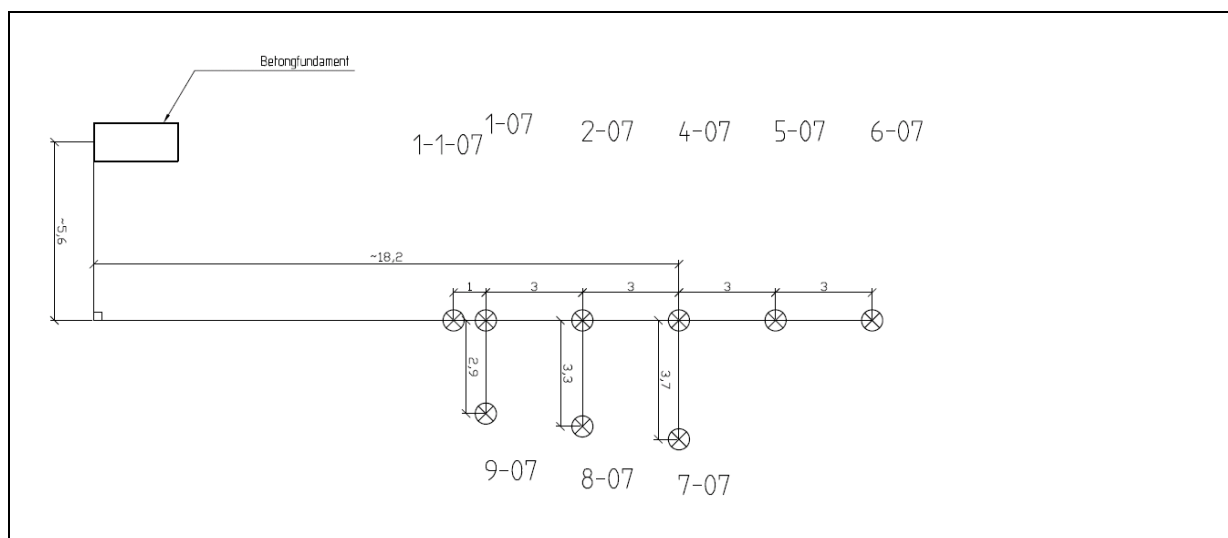
(2) Φ' = friktionsvinkel efter korrektion för volymändring

Φ = friktionsvinkel utan korrektion för volymändring

7.3 Beskrivning och resultat av fältförsöken

7.3.1 Allmänt

Den 13-14 november 2007 utfördes geotekniska fältundersökningar på SGI:s provfält vid Kolbytteomon. Inmätningar och avvägningar utgår från befintliga fundament för plattbelastningsförsök. Höjdsystemet är ett internt höjdsystem för Kolbytteomon där en bestämd nivå är satt till +100. Undersökningspunkterna ligger på två parallella linjer med c/c avstånd 3 meter ifrån varandra, se Figur 9.

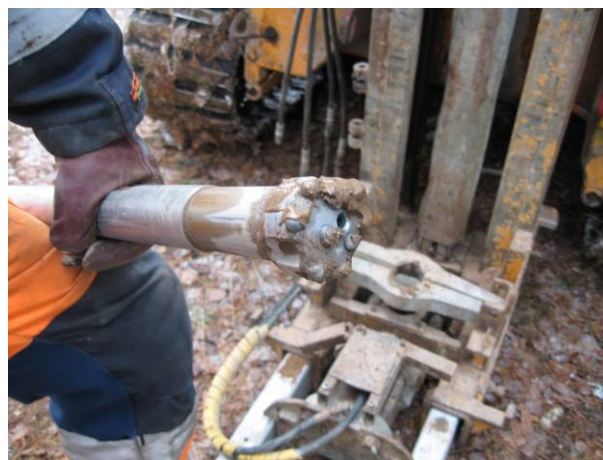


Figur 9: Skiss över borrhöjningens planläggning mätt från bef. betongfundament

Innan CPT- och Jb-totalsonderingarna utfördes förankrades borrhöjningens borrhöjning med två jord-skrivar. Förborring ned till 1,0-1,5 m djup utfördes för samtliga sonderingsmetoder för att få en så god styrning som möjligt samt för att gå igenom den stenkäppa som finns vid markytan.



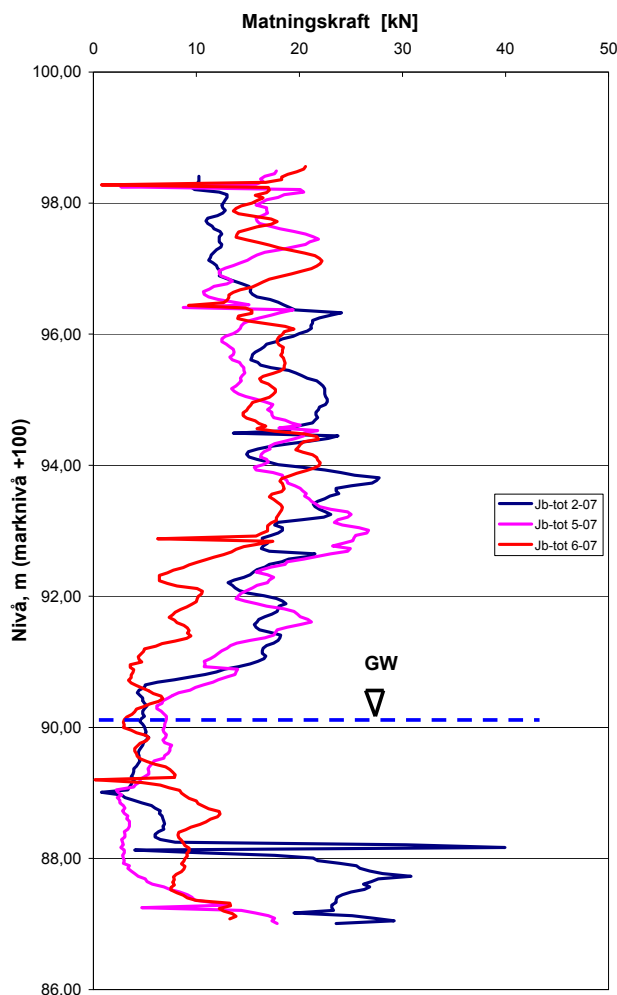
Figur 10: Sondering vid Kolbytteomon med Geotech 705DD



Figur 11: Igensatt borrhöjningskrona

7.3.2 Jb-totalsondering

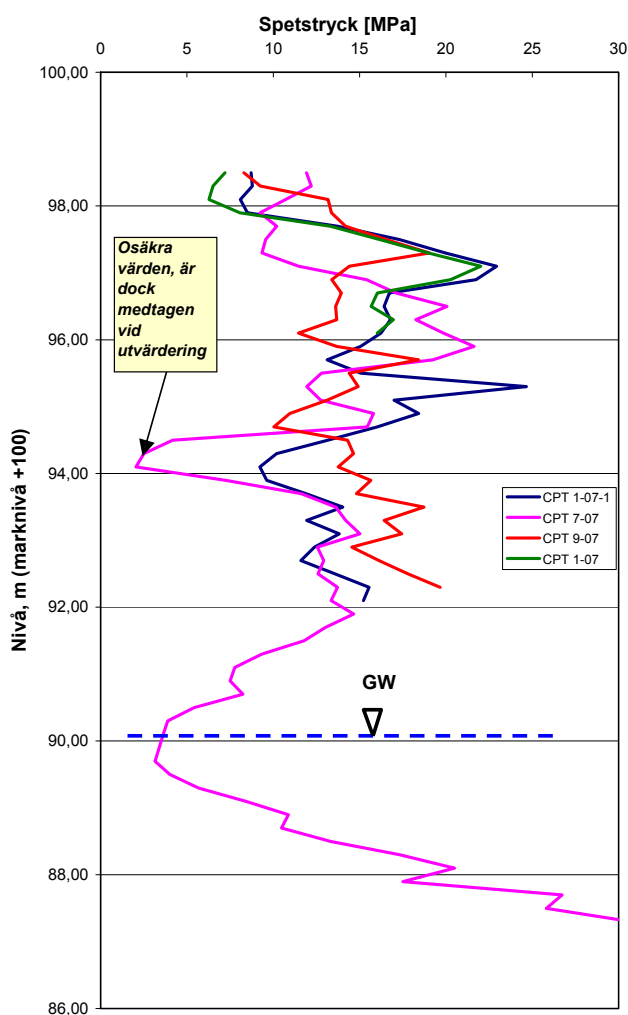
Tre Jb-totalsonderingar ned till djup mellan 13 och 17 m utfördes under första dagen. Efter varje skarvning av borrhåll lyftes borrhåll och krona 0,5 m och kraft vid lyft och nedpressning noterades. Vid några tillfällen under sonderingens gång, för BH 5:07 och 6:07, gjordes försök att trycka ut proppen ur borrhållkronan med tryckluft. Detta misslyckades för BH 5:07 medan proppen släppte för BH 6:07 under grundvattennivån. Efter ca 14-15 m djup blev jordmotståndet så stort att neddrivningshastigheten 20 mm/s inte kunde hållas utan hammarborrning och spolning måste tillgripas. De igensatta spolhålen vid BH 5:07 visas i Figur 11. När borrhållen drogs upp observerades fukt och vått sand-siltmaterial också på borrhåll som varit väl ovanför grundvattentytans nivå vilket troligen beror på att hammarborrning utförts och grundvatten trängt upp längs med stången. Resultatet från Jb-totalsonderingarna redovisas i Figur 12.



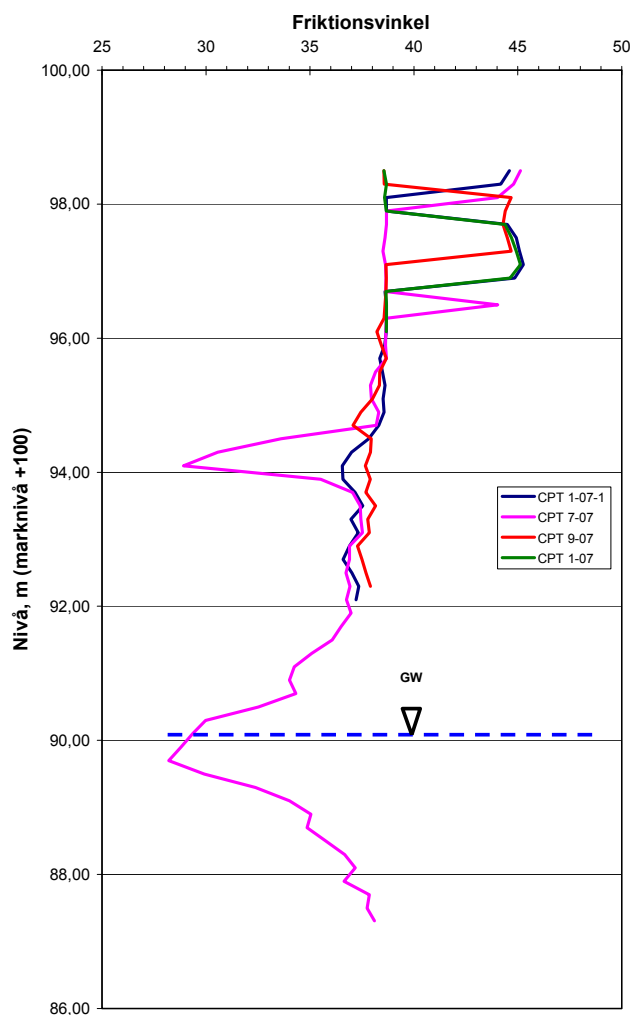
Figur 12: Kolbyttemon - Jb-totalsonderingar

7.3.3 CPT-sondering

Vid försöken på Kolbyttemon utfördes 3 CPT-sonderingar klass 2. För att reducera mantelfriktionen mot sondstängerna användes en påsvetsad hylsa på den första sondstäng. Sondringarna nådde ett djup under markytan mellan 8 och 13 m. En fjärde sondering utfördes men fick avbrytas eftersom borrstålen började knäcka ut vid ett mindre djup under markytan. Efter avbrott och flytt utfördes ny CPT-sondering. Sondring 1:07 och 1:07-1 utfördes första dagen och 7:07 och 9:07 utfördes andra dagen. Vid sondering 7:07 erhöles en störning vid djupet ca 6 m eftersom borrvagnen reste sig och därefter snabbt sjönk. Två av tre CPT-sonderingar stannade ca 8 m under markytan på grund av att maximal tryckkraft uppnåts. Resultatet från CPT-sonderingarna redovisas i Figur 13 och utvärdering av jordens inre friktionsvinkel i Figur 14.



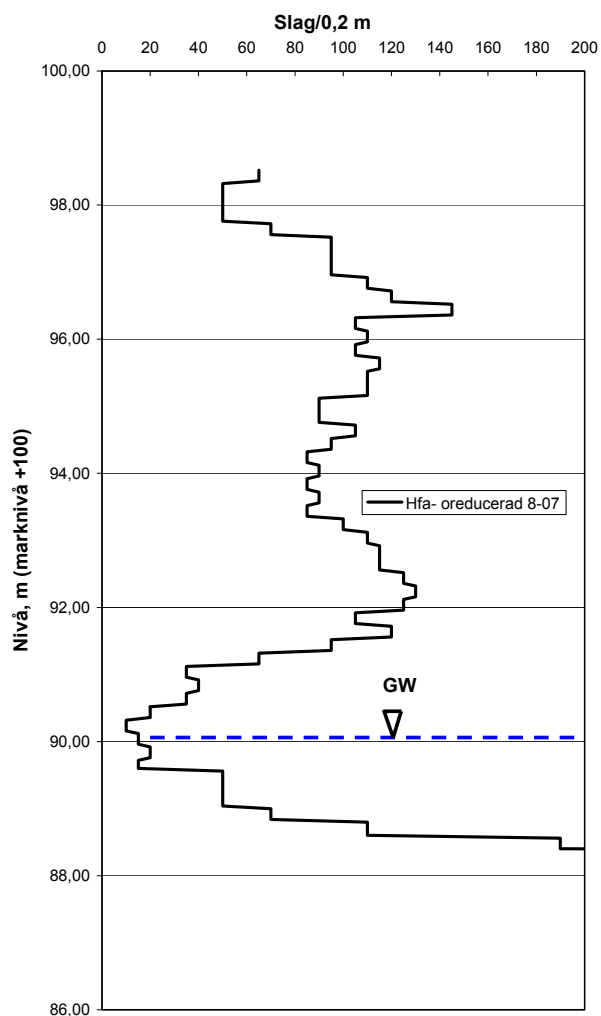
Figur 13: Kolbyttemon - CPT sonderingar



Figur 14: Utvärdering av friktionsvinkel från CPT resultatet (Conrad)

7.3.4 Hejarsondering

En hejarsondering ned till ca 12 m djup utfördes som sista undersökning dag 2. Redovisning av sonderingsresultat visas i Figur 15.



Figur 15 Kolbytteemon - hejarsondering

7.3.5 Kommentarer till sonderingsresultatet

Tolkning av jordlager utifrån laboratorieresultat: siltig sand - sand ned till 12 m djup. Fast lagrad över GW nivå med en friktionsvinkel som varierar mellan 38-45 grader enligt utvärdering i programvaran Conrad (vilket är högre än tidigare triaxialförsök i området, korrigerade för volymändring till 34 -36 grader, se tabell 7-2). En markant sänkning av fastheten vid grundvattennivån på 10 m djup under markytan (+90). Därefter morän på berg.

I och med att jorden är siltig kan negativa portryck förekomma. Några sådana mätningar har inte utförts och i utvärderingen från CPT har hydrostatiskt portryck antagits. Jämförelser har dock gjorts mellan kornfördelningskurvor ovan grundvattennivån på 6 – 10 m djup från Kol-

bytte-mon (från tidigare SGI projekt, Dnr 25/77-14) och negativa portryck utvärderade ur vattenbindningskurvor på jordar med liknande kornfördelningskurvor i en studie av Öberg (1997). Ingen av de av Öberg undersökta jordarna hade så lågt siltinnehåll som jorden i Kolbytte-mon. Effektivt negativt portryck i jorden med lägst siltinnehåll i den studien ligger mellan ca 8 – 10 kPa vid 30 – 80 % vattenmättnadsgrad. Ett negativt portryck på 10 kPa ger ingen nämnvärd skillnad i utvärderad friktionsvinkel från CPT. I Kolbytte-mon bör effektivt negativt portryck vara lägre och alltså bör det inte ha någon större betydelse för resultaten.

Trots att sonderingarna har genomförts nära varandra är variationerna i sonderingsmotstånd ganska stora.

Endast en CPT sondering 7:07 har lyckats gå under nivå +92 pga. höga friktionskrafter mot stängerna trots reduceringshylsan på den första sondstängen. Samma sonderingspunkt har ett osäkert registrerat spetstryck vid +94. Detta har dock initierat tagits med i utvärderingen. Man får nog säga att det var tuffa förhållanden för en normal (svensk) CPT sondering och för att nå längre måste t ex. mantelfriktionen mot stängerna reduceras ytterligare genom att bentonit-suspension pumpas ned genom sondstängerna och ut i reduceringshylsans överkant. Detta förfarande är dock ovanligt i Sverige.

Att använda sig av luft som spolmedel vid Jb-totalsondering i denna typ av jord med lågt liggande grundvattennivå är inte lämpligt p.g.a. problem med att trycka ut jordproppen ur kranan. En tumregel är att luftspolning inte är tillämpligt vid Jb-sondering på djup under 10 m, vilket dock varierar beroende på lokala förhållanden.

Det kan noteras att hejarsonderingen tog ca 2,5-3 gånger så lång tid som CPT-sonderingen och Jb-totalsonderingen. I och med att man mätte dragkraften vid Jb-totalsonderingen så tog denna 1,5 ggr längre tid än normalt. Annars bedöms Jb-tot (endast vridtryckskedet) och CPT-sondering ta ungefär lika lång tid.

8 FÄLTFÖRSÖK MASMO, VID ALBYSJÖN

8.1 Undersökningsplats och geologi

Undersökningsplatsen ligger strax söder om tunnelbanebron över Albysjön som byggdes i början av 70-talet. Inför byggnationen av tunnelbanebron över Albysjön gjordes omfattande undersökningar i stödlägena.

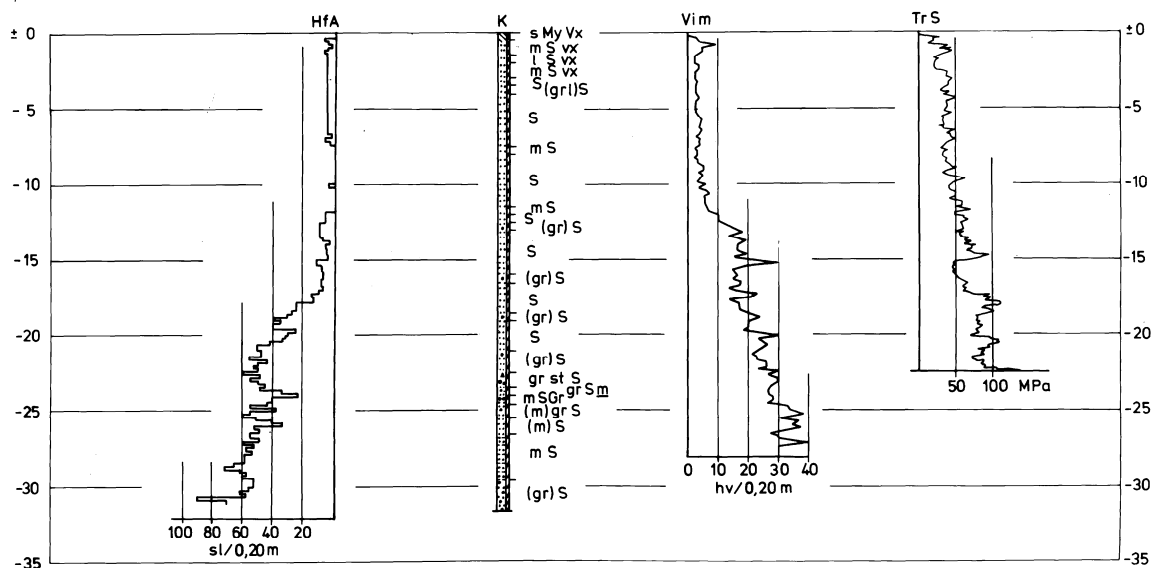
De geotekniska undersökningarna för T-banebron, Figur 17, visar att djupet till berg är hela 70-80 m. Det översta 2- 3 m skiktet består av siltig sand, som övergår till sand ner till 20 m djup. Därefter tenderar sanden att bli grusig. Provtagning i jorden har gjorts ända ned till berggrunden, vilket är imponerande. Undersökningsplatsen ligger intill Mälaren och grundvattenytan ligger på ca +0,3, dvs något under markytan. Den första metern har förborrats vid undersökningen.

8.2 Tidigare utförda undersökningar och utredningar

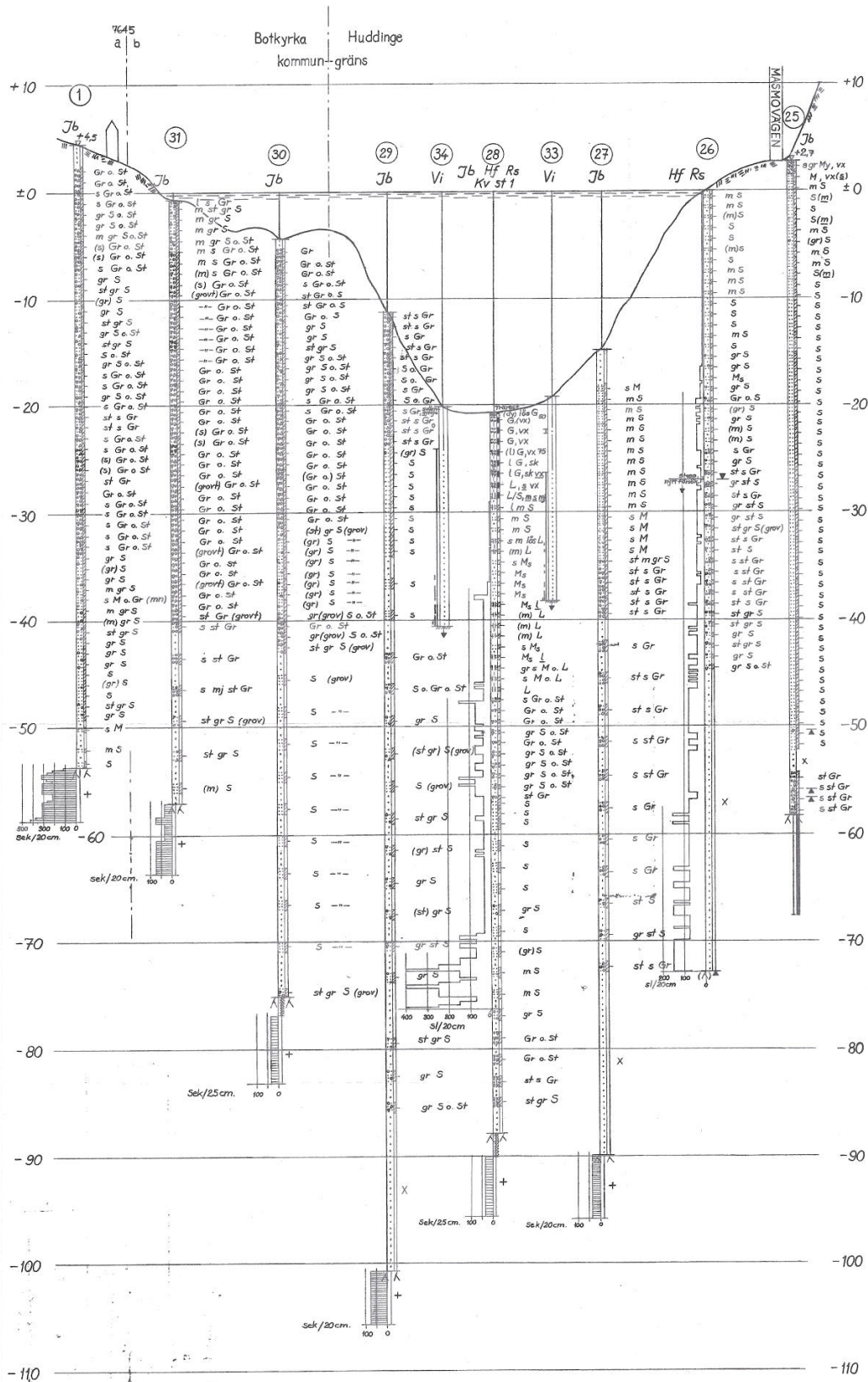
Platsen har även varit föremål för andra utredningar och forskningsprojekt som

- Undersökning för tunnelbanebro (1967), Stockholms Gatukontor
- Bergdahl, U, Hult, G, Ottosson, E (1986) Belastningsförsök på plattor grundlagda i friktionsjord för bestämning av jords deformationsegenskaper. Försök vid Albysjön, Fittja, SGI Varia 168
- Möller, B (1991) Falskt pålstopp. En jämförelse mellan statisk och dynamisk bärförmåga hos pålar i siltig jord, SGI varia 342

Nedan, Figur 16, visas en sammanställning av provtagning och sonderingar från Möller (1991).



Figur 16 Tidigare undersökningar (ur SGI varia 342)



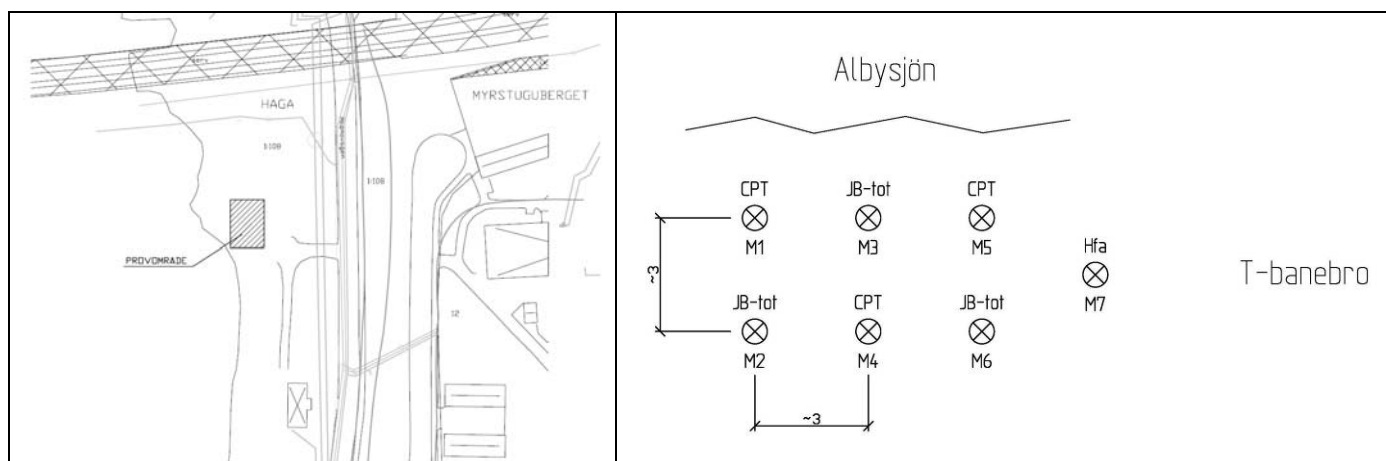
Figur 17: Undersökning för T-bana 1967 (Stockholms Gatukontor). Försöksområde till höger markerat Masmövågen

8.3 Beskrivning och resultat av fältförsöken

8.3.1 Allmänt

Undersökningarna gjordes i december 2007. Borrpunkterna sattes ut med GPS-RTK i koordinatsystem ST74 och höjdsystem RH00. Undersökningsplatsen är belägen strax intill Albysjön som har förbindelse med Mälaren och sålunda samma vattenstånd, Figur 18-20. Någon förankring av borrhjulen var inte nödvändig. Sonderingarna genomfördes enligt uppgett program till ca 20 m djup under markytan. Under sonderingen provades att trycka ur proppen ur kronan med vatten från sjön som spolmedel, vilket inte var några problem.

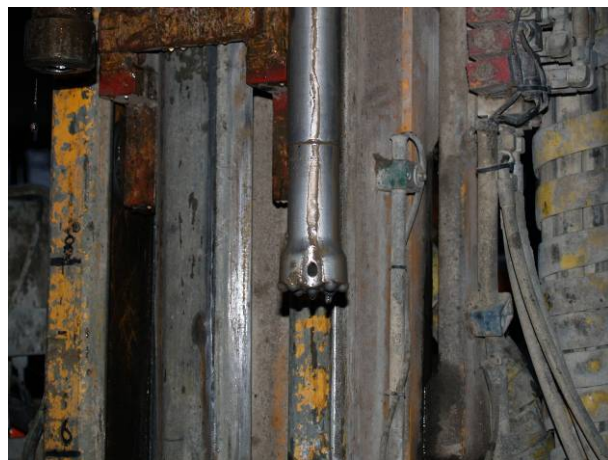
Liksom vid försöken i Kolbyttomon gjordes försök att uppskatta friktionen längs sondstängens. Sondstängens drogs upp 0,5 m med konstant rotationshastighet 25 rpm innan påskrivning av nya stänger. Efter vunna erfarenheter från Kolbyttomon mättes uppdragskraften här vid två intervaller 0,25+0,25 m. Likaledes mättes även matningskraften när stängens matades ned igen (med rotation 25 rpm). Även här mättes matningskraften i två intervaller 0,25+0,25 m.



Figur 18: Planläge för fältförsök vid Masmo



Figur 19 Vy från undersökningsplatsen

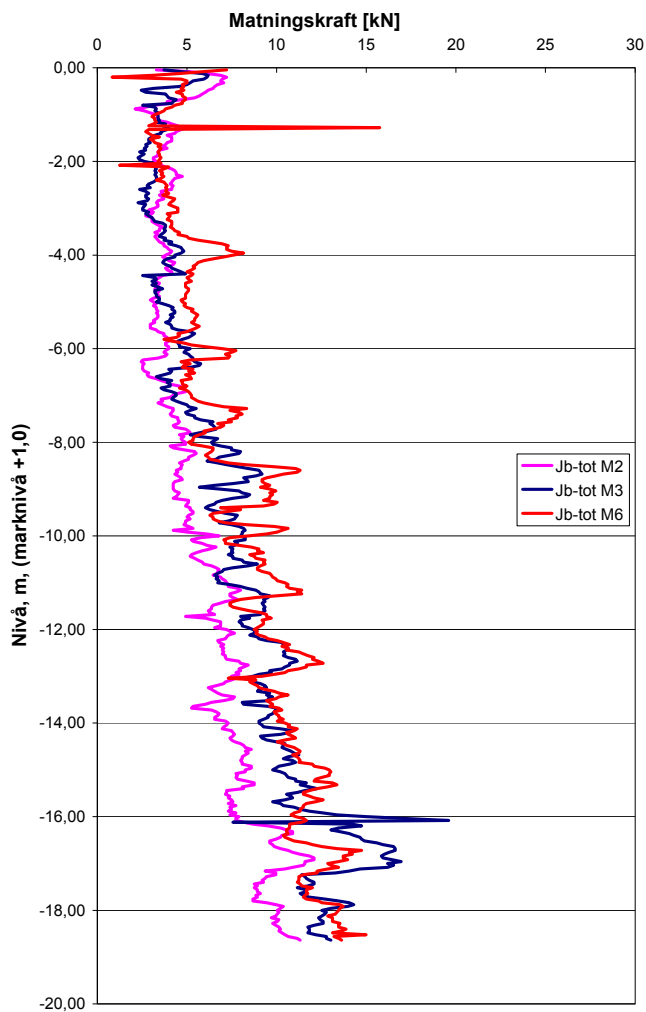


Figur 20 Norsk totalsonderingskrona

8.3.2 Jb-totalsondering

Resultatet från Jb-totalsonderingarna redovisas i Figur 21. Ned till nivå ca +3 var matningskraften ganska konstant, ca 4 kN. Därifrån ökade jordmotståndet mot djupet. Resultaten från Jb-totalsonderingarna är relativt väl samlade och det är endast den ena av sonderingarna, M2, som markant skiljer sig något från de andra.

Ett något fastare jordskikt kan urskiljas för samtliga Jb-totalsonderingar mellan nivå +16 till +18.

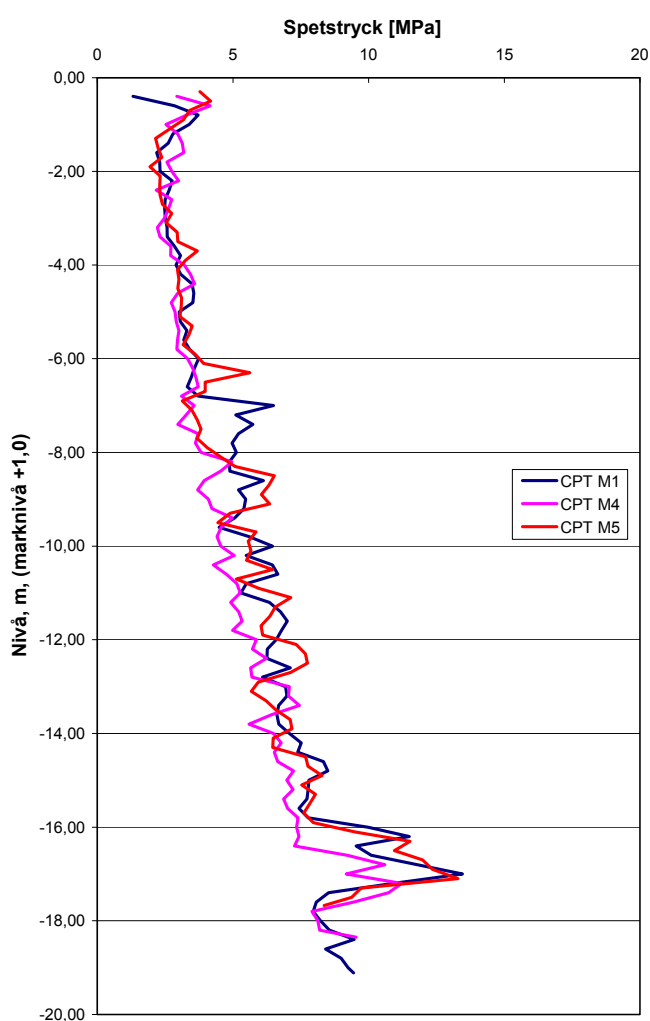


Figur 21 Masmo - Jb-totalsonderingar

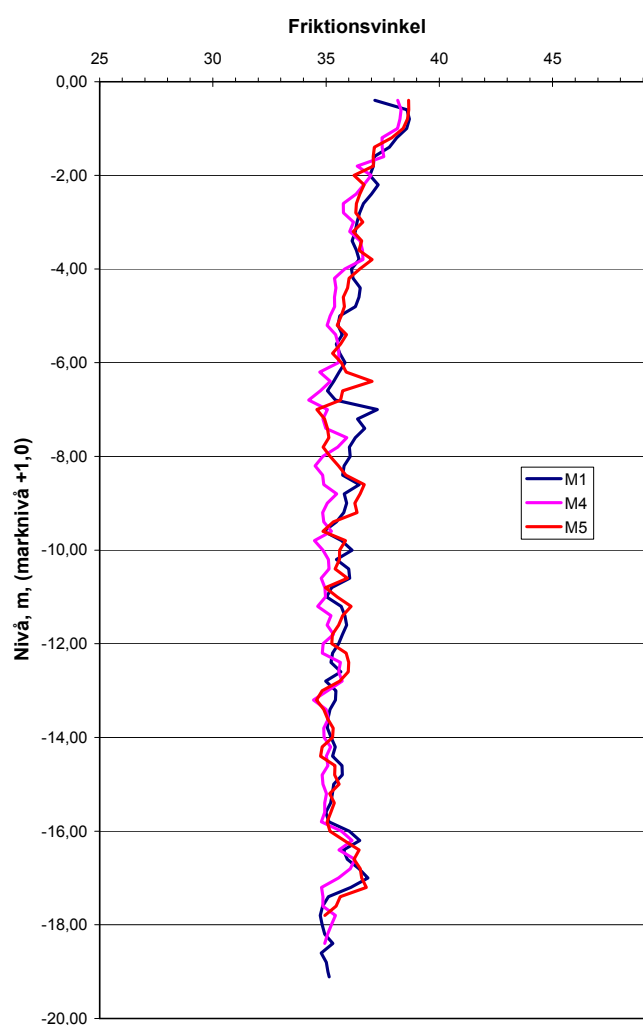
8.3.3 CPT-sondering

I nedanstående Figur 22 och 23 redovisas CPT-sonderingarna samt en utvärdering av jordens inre friktionsvinkel. Ned till nivå +6 är resultaten från CPT-sonderingarna mycket väl samlade. Därunder skiljer sig sonderingarna något men är fortfarande väl samlade. Troligen är jorden något mer grovkornig under denna gräns. Det lite fastare jordlagret mellan nivå +16 till +18, som kan urskiljas vid Jb-totalsonderingen, framgår också mycket tydligt vid CPT-sonderingarna.

Jordens inre friktionsvinkel varierar till största del mellan ca 35-37° enligt den utvärdering som tillämpas i programmet Conrad, där man tar hänsyn till effektivspänningen i jorden.



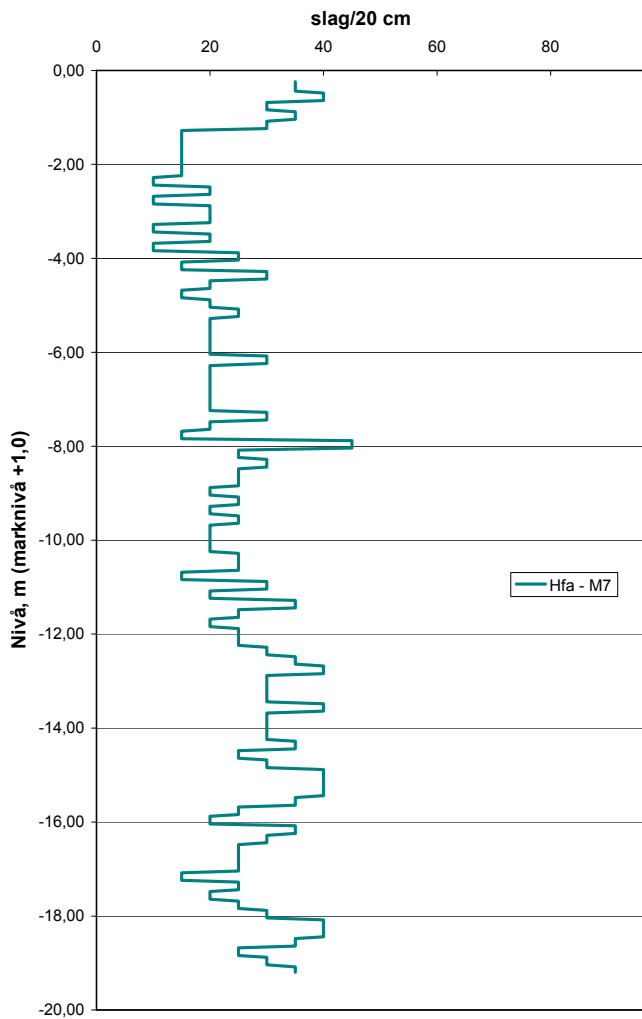
Figur 22 Masmø – CPT-sonderingar



Figur 23 Utvärdering av friktionsvinkel (Conrad)

8.3.4 Hejarsondering

Vid den enda hejarsonderingen, som redovisas i Figur 24, varierade antalet slag/20 cm mellan 15-35 med en svag tendens till ökning mot djupet. Det fastare lagret, som kan urskiljas vid CPT-sonderingarna och Jb-totalsonderingarna mellan nivå +16 till +18, går inte att urskilja vid hejarsonderingen. Snarare visar sonderingsresultaten ett lägre motstånd på detta djup.



Figur 24 Masmö - Hejarsondering

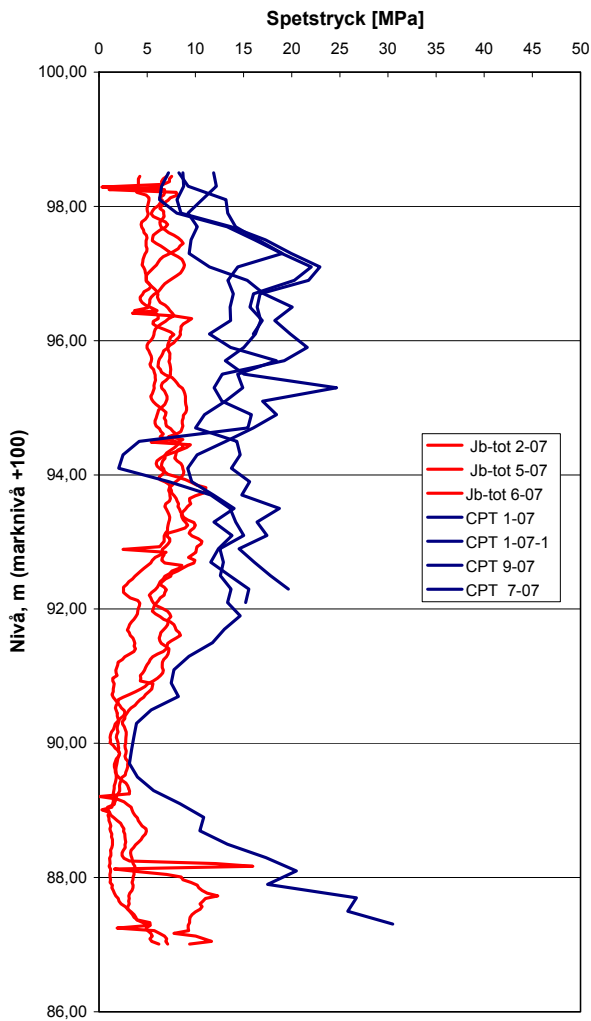
9 UTVÄRDERING OCH ANALYS AV RESULTATEN

9.1 Jämförelse av resultat från CPT-sondering och Jb-totalsondering

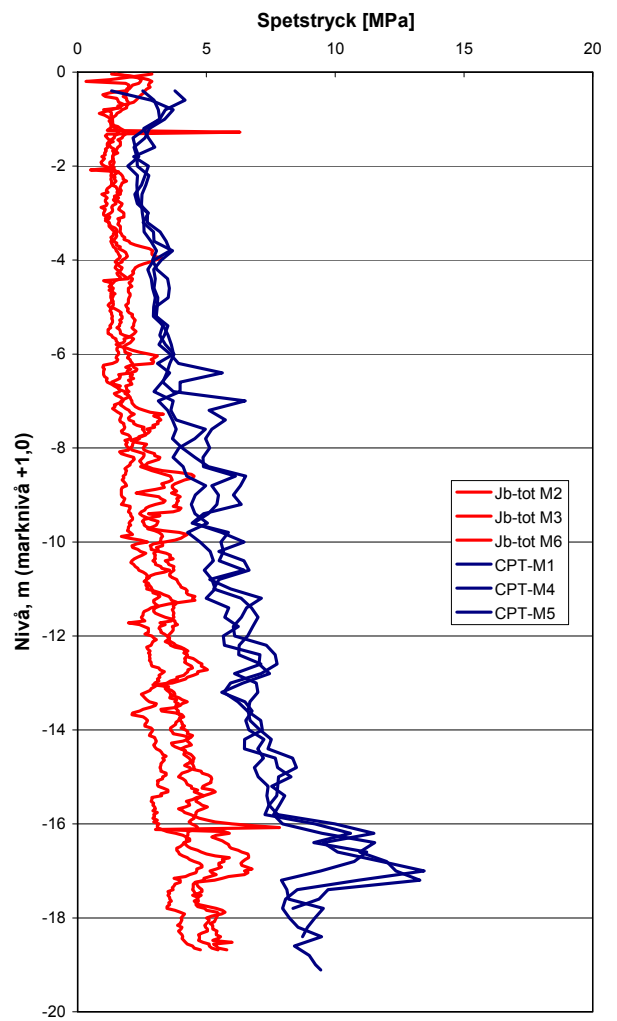
För att erhålla en gemensam nämnare för CPT-sondering och Jb-totalsondering och kunna göra en generaliserad jämförelse mellan metodernas resultat, beräknas ett spetstryck vid Jb-totalsondering, dvs. matningskraften dividerad med borrhörens area. Detta görs under antagandet att den vertikala mantelfriktionen mot sondstången är ringa under sonderingstillfället. Detta antagande bedöms vara rimligt vid de båda försöksplatserna. I och med att man roterar sondstången under sonderingen tas en stor del av de vertikala friktionskrafterna bort. Om sonderingen skulle penetrera t ex. en grov sprängstensfyllning kan dock de vertikala friktionskrafterna bli väsentliga i och med att det finns risk för att sondstången spänner in mot block.

Vid Jb-totalsondering används en stiftborrkrona med diametern 57 mm vilket ger en area av 25 cm². Matningskraften omvandlas till spetstryck, MPa. (CPT spetsen har en area 10 cm²).

Enligt Figur 25 och 26 ligger ”spetstrycket” från Jb-totalsonderingen under CPT resultatet. Skillnaden bedöms framförallt bero på rotationen av sondstången (25 rpm) vid Jb-totalsondering och olika form och på borrhörens/spets.



Figur 25: Kolbytteimon, CPT resultat samt matningskraft vid Jb-totalsondering omräknat till ett spetstryck



Figur 26: Masmö, CPT resultat samt matningskraft vid Jb-totalsondering omräknat till ett spetstryck

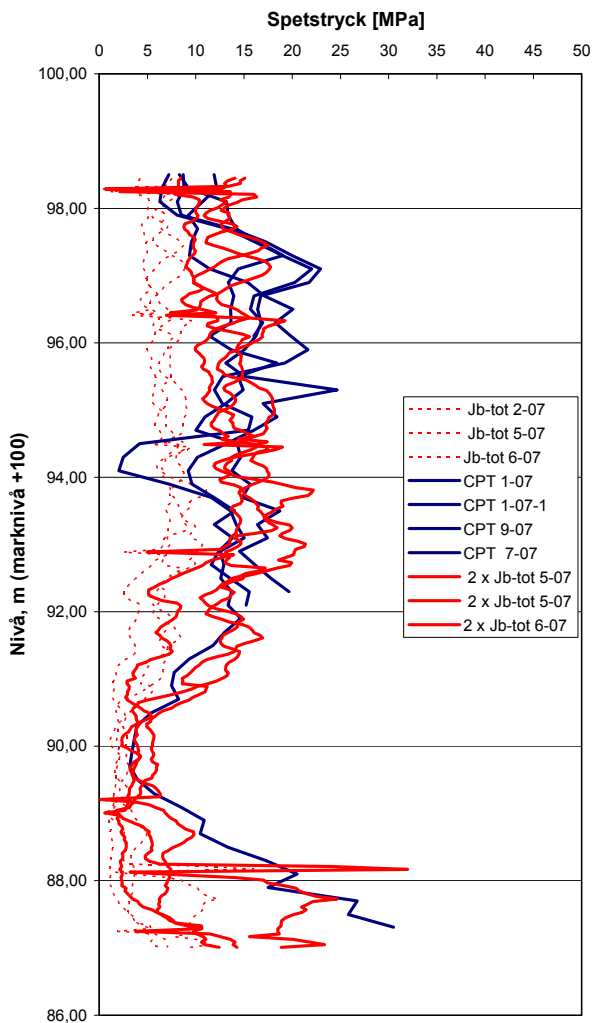
9.2 Matchning av sonderingskurvorna för CPT och Jb-totalsondering

För att kunna ta hänsyn till de faktorer, som skiljer metoderna åt, som t ex rotationens inverkan multipliceras spetstrycket för Jb-totalsonderingen med en faktor för att få en så god matchning mot CPT sonderingen som möjligt.

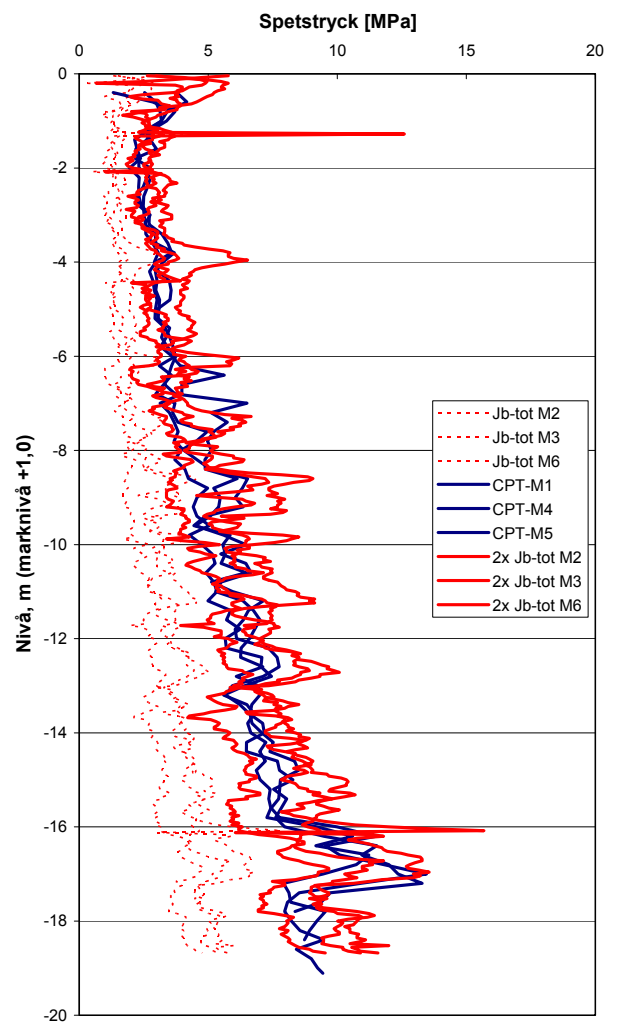
Multipliceras Jb-totalsonderingarnas spetstryck med en faktor 2 får man en någorlunda god matchning av sonderingarna i Kolbytteimon, åtminstone ned till nivå +89,5, se Figur 27. Det är svårt att dra några slutsatser vid detta djup då endast en CPT sondering har trängt så pass långt ned. Det kan också vara så att jorden på denna nivå har ett högt siltinnehåll under grundvattenytan, som påverkas i hög grad av den roterade stiftborrkronan. De andra CPT sonderingarna har stannat vid nivå ca +92.

I Masmo har man fått en mycket god samstämmighet mellan CPT-sondering och Jb-totalsonderingarna om man inför samma korrektionsfaktor 2 som ovan, se Figur 28.

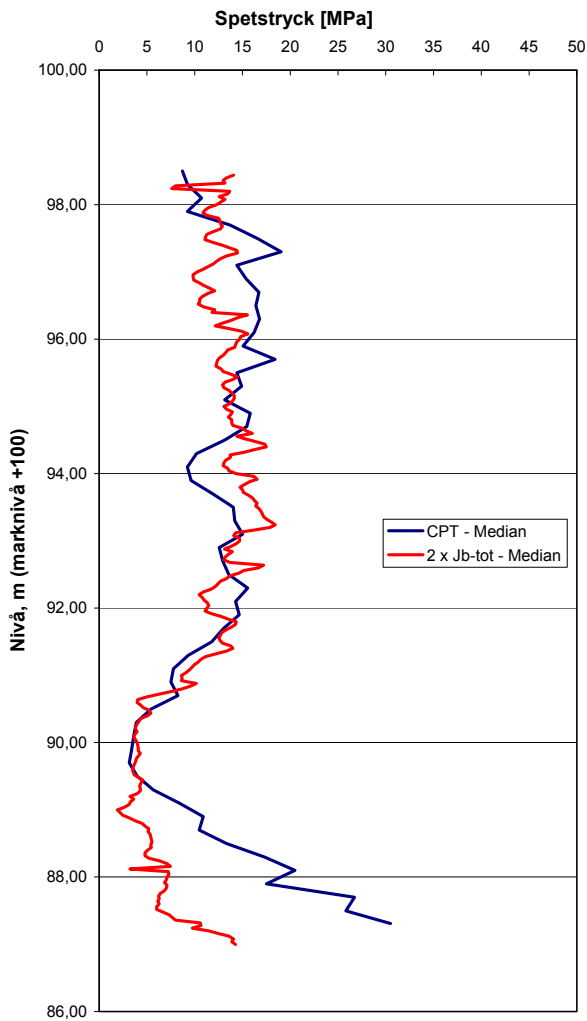
I Figur 29 och 30 jämförs medianvärdena från CPT- resultatet samt Jb-totalsonderingarnas spetstryck multiplicerat med en faktor 2.



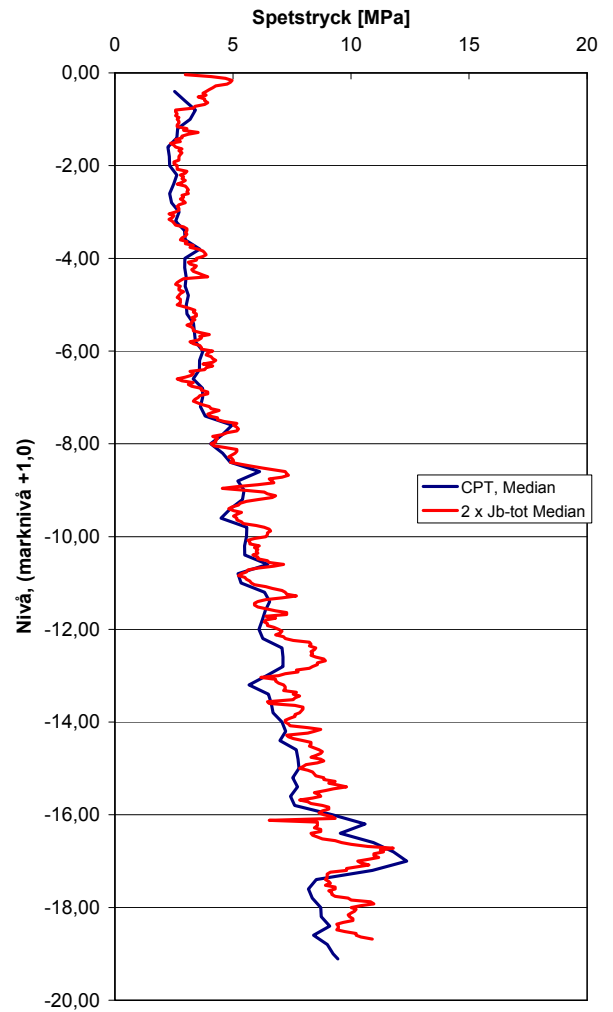
Figur 27: Kolbyttemon, spetstryck från CPT-sondering jämfört med "spetstrycket" från Jb-totalsondering multiplicerat med faktor 2



Figur 28: Masmo, spetstryck från CPT-sondering jämfört med "spetstrycket" från Jb-totalsondering multiplicerat med faktor 2



Figur 29: Kolbyttemon, medianvärden från CPT-sonderingar och Jb-totalsonderingarnas "spetsstryck" multiplicerat med 2

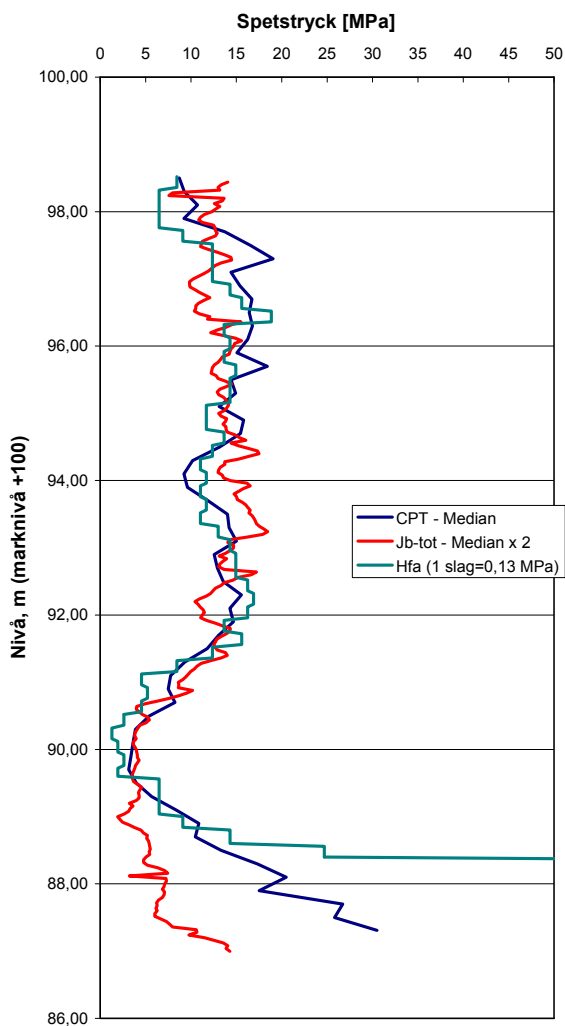


Figur 30: Masmo, medianvärdet från CPT-sonderingar och Jb-totalsonderingarnas "spetsstryck" multiplicerat med 2

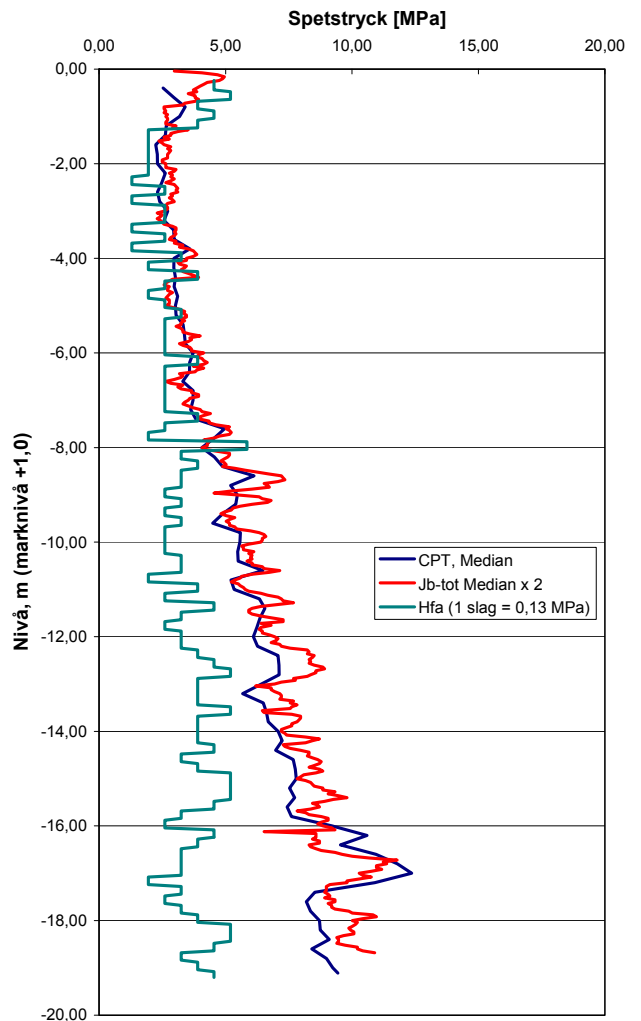
9.3 Jämförelse med hejarsonderingsresultat

För att få en överensstämmelse mellan hejarsondering och resultatet från Jb-total- och CPT-sonderingen vid Kolbyttemon, enligt Figur 31, antas att 1 slag/20 cm motsvarar ett specifikt värde på spetsstryck. I Kolbyttemon får man då en mycket god samstämmighet med de övriga metoderna, även i de lösare skikten under grundvattennivån. Under nivån +89 skiljer sig resultaten från de olika sonderingsmetoderna dock markant åt.

Om man använder samma "transformering" av hejarsonderingens resultat i Masmo, får man en dålig korrelation under 6 m djup, se Figur 32.



Figur 31: Kolbyttemon, hejarsondresultat jämfört med medianvärden från CPT- resultat och dubbla "spetstrycket" från Jb-totalsondering

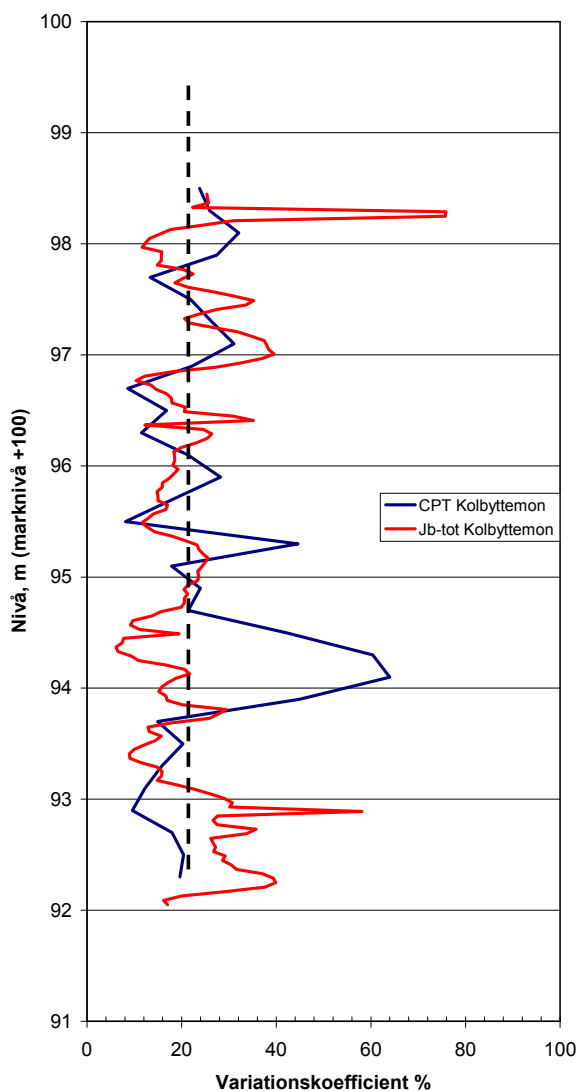


Figur 32: Masmo, hejarsondsresultatet multiplicerat med samma faktor som vid Kolbyttemon jämfört med medianvärden från CPT- och dubbla "spetstrycket" från Jb-totalsondering

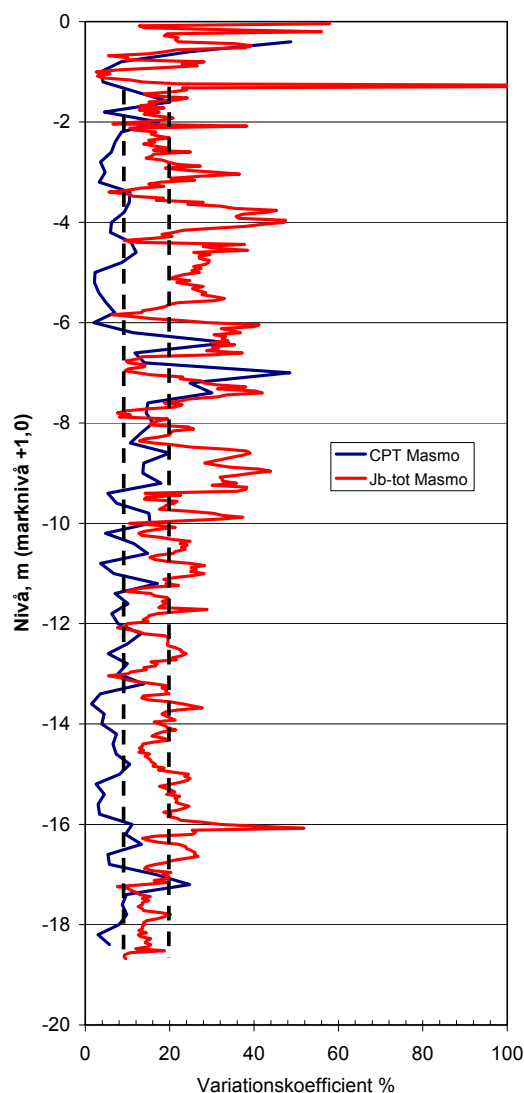
9.4 Variationskoefficienten - jämförelse av spridning

Variationskoefficienten, standardavvikelse dividerad med medelvärde, är ett relativt spridningsmått och anges i procent. Variationskoefficienten är ett användbart mått för att kunna jämföra variationen för mätserier med olika enheter.

Variationskoefficienten har beräknats för Kolbyttemon och Masmo och redovisas i figur 33 och 34. I Kolbyttemon, som kan karakteriseras som ganska tuffa förhållanden för CPT-sondering, varierade de bägge sonderingsmetoderna inbördes lika mycket med en variationskoefficient $V=20\%$. I Masmo ("ideala" CPT förhållanden) hade CPT-sonderingarna en mindre inbördes variation $V=10\%$. Här hade Jb-totalsonderingarna samma variation som i Kolbyttemon, dvs $V=20\%$.



Figur 33: Kolbyttezon, variationskoefficienten för CPT- och Jb-totalsondering

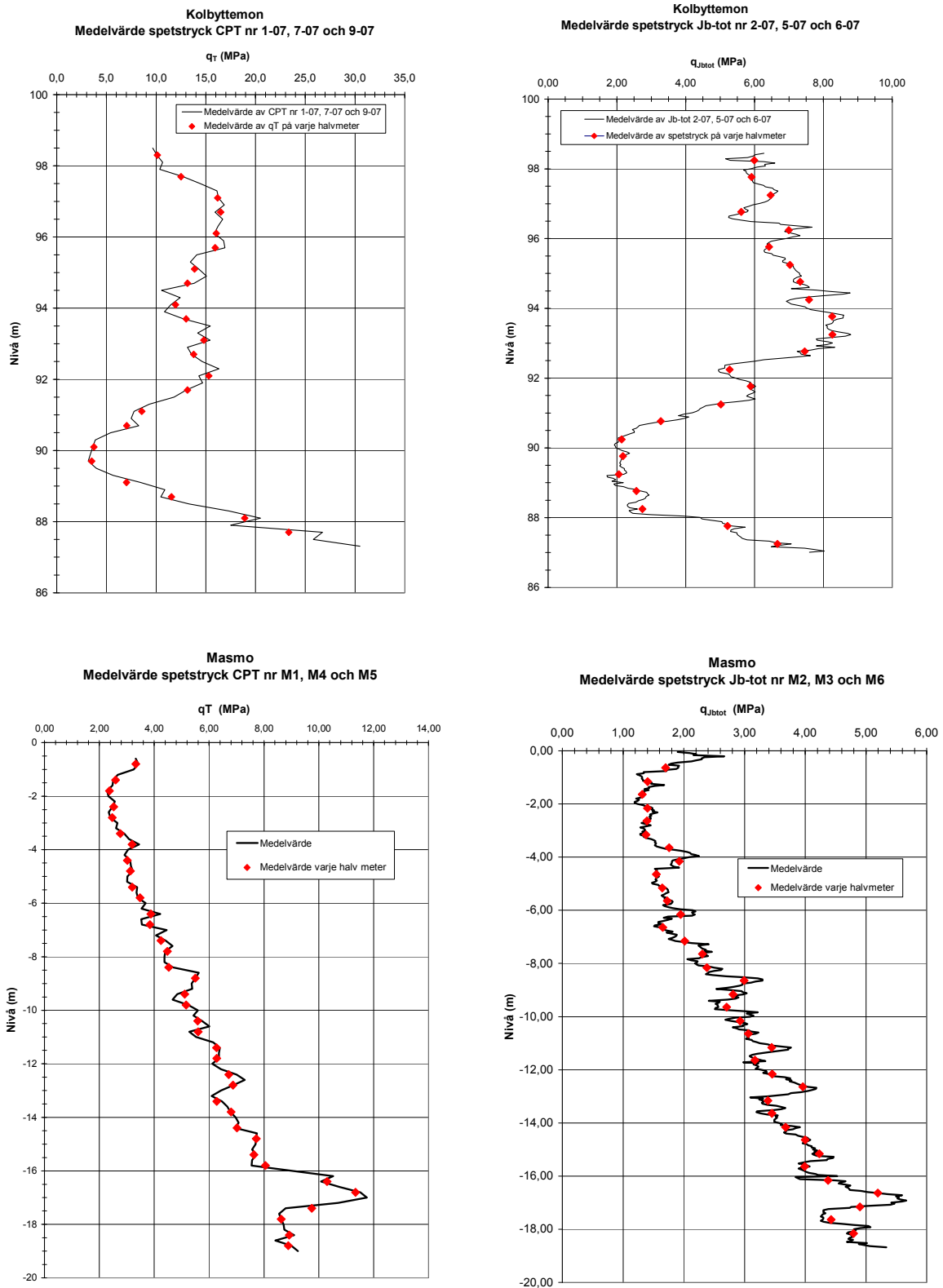


Figur 34: Masmö, variationskoefficienten för CPT- och Jb-totalsondering

9.5 Förhållande mellan spetstryck från CPT och Jb-tot för båda testområdena

Den jämförelse som gjorts för respektive försöksplats mellan uppmätt spetstryck med CPT-sondering och beräknat spetstryck utifrån matningskraft från Jb-totalsondering mot djupet, visar på en relativt god överensstämmelse. För att kunna bedöma om det kan råda ett generellt samband mellan spetstryck beräknat från Jb-totalsondering och uppmätt spetstryck från CPT-sondering har en analys gjorts av resultaten från båda försöksplatserna tillsammans. Först har ett medelvärde beräknats av spetstrycket från de tre CPT-sonderingarna och de tre Jb-totalsonderingarna för respektive försöksplats. I detta fall har enstaka irrelevanta ”spikar” i resultaten borttagits innan medelvärdesbildningen. Utifrån dessa medelvärden har sedan medelvärdet varje halvmeter beräknats för varje sonderingstyp och varje försöksplats. Medelvärdet

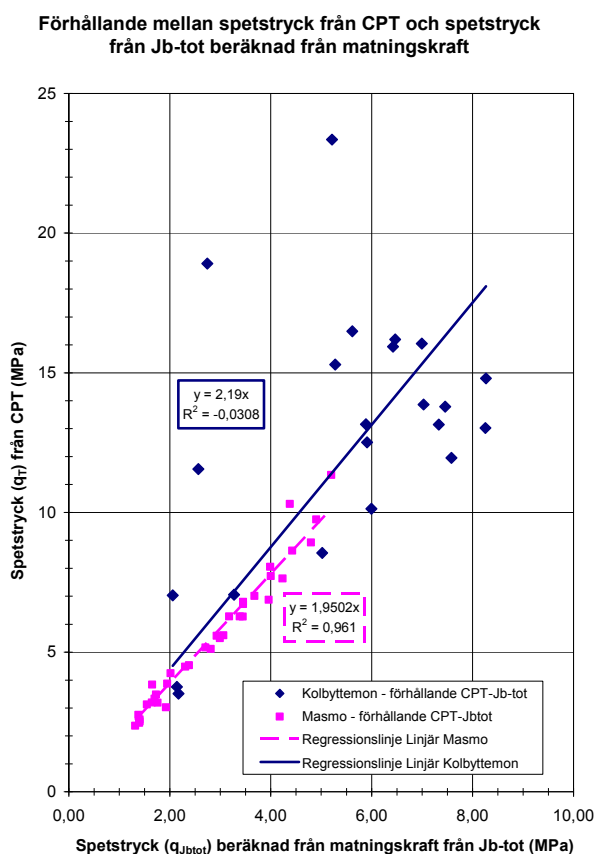
det av spetstrycken från de utförda sonderingarna för respektive metod och respektive försöksplats liksom medelvärdet för varje halvmeter av dessa redovisas i Figur 35.



Figur 35 Medelvärdet av spetstrycken från de utförda sonderingarna för respektive metod och respektive försöksplats liksom medelvärdet varje halvmeter av dessa.

Medelvärdet av spetstrycket per halvmeter på varje halvmetersnivå för CPT-sonderingarna har sedan plottats mot medelvärdet av spetstrycket per halvmeter på motsvarande nivå för Jb-totalsonderingarna. På så sätt erhålls en relation mellan spetstrycket bestämt med CPT-sondering och spetstrycket bestämt med Jb-totalsondering (utifrån uppmätt matningskraft), se Figur 36.

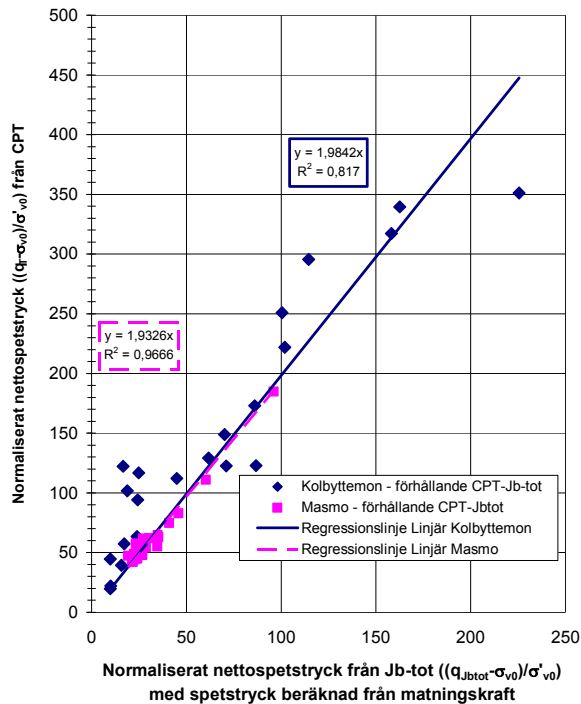
För båda försöksplatserna är spetstrycket från CPT-sonderingen (q_{T-CPT}) ca dubbelt så stort som spetstrycket från Jb-totalsonderingen ($q_{Jb\text{tot}}$) liksom vid jämförelsen mellan spetstryck mot djupet för respektive försöksplats (se kapitel 9.3). Det skiljer dock något mellan de båda försöksplatserna. För Kolbytte-mon är spetstrycket från CPT, $q_{T-CPT} = 2,19 \cdot q_{Jb\text{tot}}$ och för Masmo är $q_{T-CPT} = 1,95 \cdot q_{Jb\text{tot}}$. Spridningen för resultaten från Kolbytte-mon är dock stor och signifikansen därför låg, vilket innebär att sambandet är osäkert.



Figur 36 Förhållande mellan spetstryck från CPT-sondering och beräknat spetstryck från Jb-totalsondering.

För att kunna jämföra jordens fasthet oberoende av överlagringstrycket har nettospetstrycket, (dvs. spetstrycket minus totalspänningen) normaliserats mot (dvs. dividerats med) effektivspänningen för såväl CPT-sonderingarna som Jb-totalsonderingarna, se Figur 37. Det är också ur bland annat detta förhållande som jorden klassificeras och dess fasthet bedöms utifrån CPT-sonderingar (Larsson, 2007).

Förhållande mellan normaliserat nettospetstryck från CPT och motsvarande normaliserade nettospetstryck från Jb-tot beräknad från matningskraft



Figur 37 Förhållande mellan normaliserat nettospetstryck från CPT-sondering och normaliserat nettospetstryck från Jb-totalsondering.

Resultaten visar att spridningen i detta fall är betydligt lägre och signifikansen därmed högre för såväl resultaten från Kolbytte-mon som från Masmo. Signifikansen är relativt hög för resultaten från båda försöksplatserna. Samstämmigheten mellan de båda försöksplatserna är också god. För resultaten från Kolbytte-mon är det normaliserade nettospetstrycket från CPT,

$$\left(\frac{q_{T-CPT} - \sigma_{v0}}{\sigma'_{v0}} \right) = 1,98 \cdot \left(\frac{q_{Jbtot} - \sigma_{v0}}{\sigma'_{v0}} \right) \quad (\text{Ekvation 1})$$

där

- q_{T-CPT} = nettospetstryck från CPT-sondering
- q_{Jbtot} = beräknat spetstryck från Jb-totalsondering
- σ_{v0} = vertikal totalspänning
- σ'_{v0} = vertikal effektivspänning

För resultaten från Masmo är

$$\left(\frac{q_{T-CPT} - \sigma_{v0}}{\sigma'_{v0}} \right) = 1,93 \cdot \left(\frac{q_{Jbtot} - \sigma_{v0}}{\sigma'_{v0}} \right) \quad (\text{Ekvation 2})$$

Detta är en mycket god samstämmighet. Den goda samstämmigheten och den relativt höga signifikansen tyder på att det finns ett samband mellan det normaliserade spetstrycket från de båda metoderna i den undersökta jordarten, sand. Det skall dock påpekas att resultat från fler försökslokaler behövs innan några säkra slutsatser kan dras.

9.6 Friktion längs sondstängen vid Jb-totalsondering

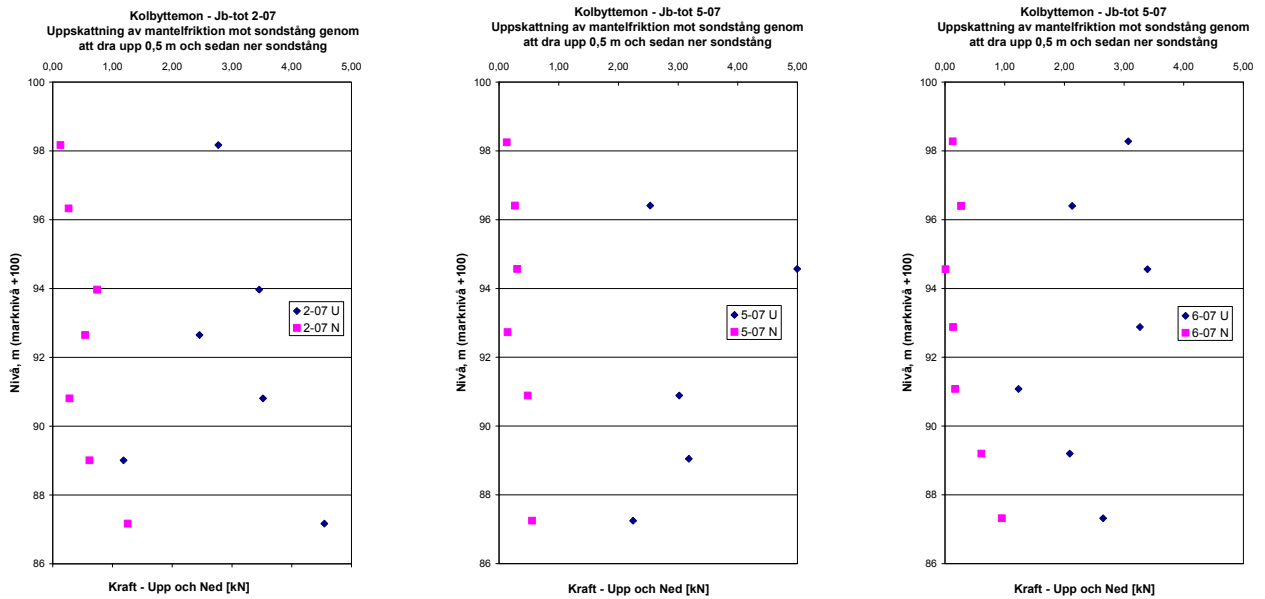
Vid undersökningstillfället provades ett tillvägagångssätt att försöka uppskatta mantelfriktionen mot sondstängen genom att först dra upp sondstängen 0,5 m samtidigt som sondstängen roteras med 25 rpm, och mäta den genomsnittliga dragkraften (i Masmo gjordes två avläsningar vid 0,25+0,25 m). Därefter trycktes stängen ned igen 0,5 m (rotation 25 rpm) och tryckkraften avlästes. I nedanstående, Figurer 38 och 39, redovisas avläsningarna. Vid redovisningen har hänsyn tagits till stängernas vikt.

I Kolbyttemon gav skedet när sondstängen trycktes ned, det minsta motståndet. Detta kan tolkas som att när man drar upp borrhönan skjuter man en kil framför sig och ”rensar” hålet. När man sedan trycker ned hönan igen så har man ett stående hål vilket är fullt tänkbart i Kolbyttemon när man sonderade över grundvattenytan.

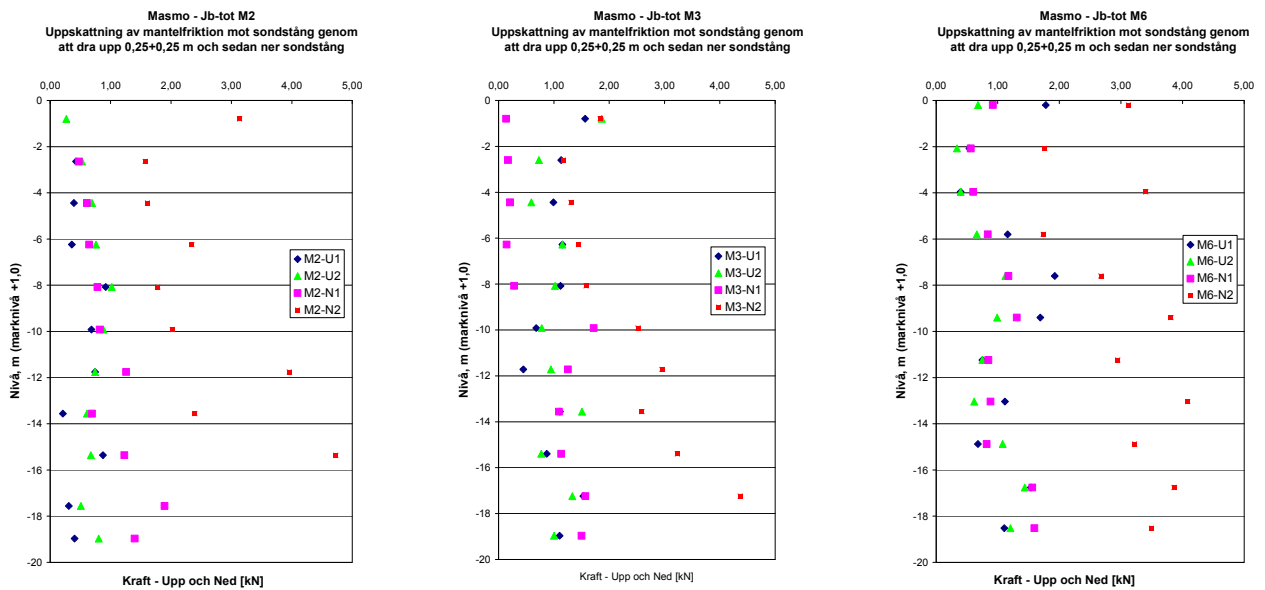
I Masmo varierade skedet som gav det minsta motståndet. Oftast var det de två avläsningarna, som gjordes när man drog upp sonden, men även den första mätningen (0,25 m) vid tryckfasen. De sista 0,25 m vid tryckfasen gav konsekvent det största motståndet då hålet faller igen och största delen av registrerad kraft härrör från spetsen.

Att dra några slutsatser av resultatet låter sig knappast göras men man kan konstatera att när man drar upp hönan så får man en tendens till ett för stort friktionsmotstånd genom att borrhönan som är större än sondstängen, skjuter upp en kil av jord framför sig. Möjligtvis ger de första 0,25 m ett mer rättvisande resultat. När man sedan trycker ned sonden igen är det väsentligt att hålet står för att man skall få ett relevant resultat. Även här är den första 0,25 m längden den väsentligaste.

Om man vill nyttja resultaten från försöken så bör man ta det lägsta uppmätta värdet på drag/tryckkraften, vilket torde vara det mest rättvisande. Metodiken bedöms dock generellt kunna användas för att kontrollera att inga större inspänningar och friktionskrafter finns under sonderingstillfället och därmed kvalitetsbedöma resultatet. Vid jämförelsen med CPT-resultatet enligt ovan har friktionskrafterna antagits som ringa och försumrats.



Figur 38: Kolbytte-mon, resultat från drag- och tryckkraftsmätning när sonden lyfts resp. sänks 0,5 m med 20 mm/s och 25 rpm



Figur 39: Masmø, resultat från drag- och tryckkraftsmätning när sonden lyfts resp. sänks 0,5 m med 20 mm/s och 25 rpm

Förklaring

- U: Genomsnittlig noterad dragkraft genom att dra upp sondstäng 0,5 m
- N: Genomsnittlig noterad tryckkraft genom att trycka ned sondstäng igen 0,5 m
- U1: Genomsnittlig noterad dragkraft genom att dra upp sondstäng de första 0,25 m (av totalt 0,5 m)
- U2: Genomsnittlig noterad dragkraft genom att dra upp sondstäng de sista 0,25 m (av totalt 0,5 m)
- N1: Genomsnittlig noterad tryckkraft genom att trycka ned sondstäng igen 0,25 m
- N2: Genomsnittlig noterad tryckkraft genom att trycka ned sondstäng se sista 0,25 m till ursprunglig nivå

10 DISKUSSION

Utvecklingen har under åren gått framåt vid sondering i fin- och sandjordar men i jordprofiler med, eller med skikt av, grus och grövre material har utvecklingen stått still. Ett exempel är undersökningar i åsmaterial. Här måste vi nog även inom överskådlig tid förlita oss på metoder som mäter totaltryck eller dynamiska metoder.

När detta projekt definierades av SGF Fältkommitté klargjordes att syftet med undersökningarna var att på ett systematiserat sätt jämföra sonderingsmotståndet för sonderingsmetoderna Jb-totalsondering, CPT- och hejarsondering. Intentionen var att genomföra de jämförande undersökningarna i två vitt skilda geologiska lokaler med ensartad sandjord där CPT-sondering kunde användas.

I Kolbytte-mon var det ett gränsfall. Endast en av CPT sonderingarna gick ner till önskat djup och enligt erfarenheter från platsen är jordlagerförhållandena inte särskilt homogena vilket också visas av den högre variationskoefficienten 20 % som erhöles för CPT sonderingarna (samma som för Jb-tot). Trots detta fick man en någorlunda god samstämmighet med resultaten från CPT-sonderingarna och Jb-totalsonderingarna när man passar ihop kurvorna, efter antagande att vertikal mantelfriktion mot sondstång är försumbar och införande av en korrikeringsfaktor på 2. Passar man även in resultatet från hejarsonderingen så ser det riktigt ”trevligt” ut i denna lokal, se Figur 31. Det är endast när sonderingarna kommer ned i den fastare moränen, som överlagrar berggrunden, som de markant skiljer sig åt.

Med samma betraktelsesätt som ovan fick man i Masmö en mycket god korrelation mellan CPT-sondering och Jb-totalsondering. Vad som var påfallande var att korrelationsfaktorn var ungefär den samma som för Kolbytte-mon, dvs. 2. I Kolbytte-mon utgjordes jorden av en siltig sandjord med varierande sammansättning som till övervägande del låg över grundvattenytan. I Masmö genomfördes sonderingarna i sandjord under grundvattenytan. Trots detta fick man ungefär samma korrelationsfaktor, vilket bedöms som lovande.

Svårigheter med att försöka uppskatta den vertikala mantelfriktionen mot sondstången vid Jb-totalsonderingen synliggjordes i projektet. Utvärderingen försvårades genom kilverkan vid uppdragning av borrhönan och igenrasande hål när hönan sedan trycktes ned. På g a att man roterar stängerna är också den vertikala mantelfriktionen liten i denna typ av sandjordar. Hade man t ex gått igenom en sprängstensfyllning hade skillnaden i mantelfriktionen på sondstångerna troligen varit mer urskiljbar mellan de olika sonderingarna.

Den igenpluggade borrhönan i Kolbytte-mon visade på problemet med att använda luft som spolmedel vid Jb-totalsondering (och Jb-sondering över huvud taget). En tumregel är att vid borrhöna över ca 10 m bör vattenspolning tillgripas. Här får lokala erfarenheter avgöra.

Det tog ca 2,5-3 gånger så lång tid att genomföra en hejarsondering i Kolbytte-mon som att utföra CPT-sondering och Jb-totalsondering (då enbart vridtryckskedet). Nu är det de lokala förutsättningarna och objektet, som avgör vilka undersökningar som ger den information som krävs och skall genomföras. Den ena metoden utesluter inte den andra och vid utvärdering av jordars egenskaper är det av stort värde om man kan använda sig av olika metoder vars resultat sammanvägs, jfr Figur 31.

11 SLUTSATSER OCH REKOMMENDATIONER

En jämförelse har gjorts av spetstryck mot djupet beräknat från Jb-totalsondering med spetstryck från CPT-sondering och med resultat från hejarsondering för två försökslokaler med sandjord; Kolbytteimon och Masmø. Jämförelsen har visat på en relativt god överensstämmelse av spetstryck mot djupet mellan Jb-totalsondering och CPT-sondering för respektive försökslokal. En någorlunda god matchning fås om spetstrycket från Jb-totalsondering multipliceras med en faktor 2. Även spridningen i resultaten har studerats genom beräkning av variationskoefficienten. Variationskoefficienten har beräknats till ca 20 % för såväl CPT-sondering som Jb-totalsondering i Kolbytteimon, medan variationskoefficienten är lägre för CPT-sonderingen i Masmø; 10 % jämfört med 20 % för Jb-totalsonderingen.

En jämförelse av medelvärdet av spetstrycket per halvmeter på varje halvmetersnivå för CPT-sonderingarna mot medelvärdet av spetstrycket per halvmeter på motsvarande nivå för Jb-totalsonderingarna för båda försöksplatserna tillsammans visar på en relativt god överensstämmelse ($q_{T-CPT} = 1,95 \cdot q_{Jb\text{tot}}$ för Masmø respektive $q_{T-CPT} = 2,19 \cdot q_{Jb\text{tot}}$ för Kolbytteimon). Signifikansen för resultaten från Kolbytteimon är dock låg.

Vidare analyser av medelvärdet av spetstrycket per halvmeter för båda försökslokalerna tillsammans visar på ett samband mellan normaliserat nettospetstryck från CPT-sondering och normaliserat nettospetstryck från Jb-totalsondering. Resultaten från de båda försöksplatserna tillsammans ger ett normaliserat nettospetstryck från CPT-sondering som är ca 1,96 gånger det normaliserade nettospetstrycket från Jb-totalsondering, dvs.

$$\left(\frac{q_{T-CPT} - \sigma_{v0}}{\sigma'_{v0}} \right) = 1,96 \cdot \left(\frac{q_{Jb\text{tot}} - \sigma_{v0}}{\sigma'_{v0}} \right) \quad (\text{Ekvation 3})$$

där

q_{T-CPT} = nettospetstryck från CPT-sondering

$q_{Jb\text{tot}}$ = beräknat spetstryck från Jb-totalsondering

σ_{v0} = vertikal totalspänning

σ'_{v0} = vertikal effektivspänning

Samstämmigheten mellan de båda försöksplatserna är god och signifikansen i resultaten är relativt hög, vilket tyder på att det finns ett samband mellan det normaliserade spetstrycket från de båda metoderna i den undersökta jordarten, sand. Det skall dock påpekas att resultat från fler försökslokaler behövs innan några säkra slutsatser kan dras.

Eftersom man vid hejarsondering inte registrerar en kraft utan antal slag/0,2 m har inte något direkt spetstryck kunnat räknas ut. Det har därför varit svårt att göra en jämförelse mellan hejarsondering och CPT-sondering. För att ändå kunna göra en jämförelse har ett antagande ("transformation") gjorts att ett slag/0,20 cm motsvarar ett specifikt värde som ger en god matchning av resultaten från Kolbytteimon. Används samma "transformation" (samma specifika värde) för Masmø fås dock en dålig korrelation under 6 m djup. För att kunna göra en mer korrekt jämförelse måste antal slag/0,2 m räknas om till en kraft på något bättre sätt.

Vid undersökningstillfället provades även att försöka uppskatta mantelfriktionen mot sondstängen genom att först dra upp sondstängen 0,5 m samtidigt som sondstängen roterades med 25 rpm, och den genomsnittliga dragkraften mättes. Därefter trycktes stängen ned igen 0,5 m (rotation 25 rpm) och tryckkraften avlästes. Detta visade sig dock ge stora variationer i uppmätt drag- respektive tryckkraft. Man kan konstatera att när man drar upp kronan så finns en tendens att man får ett för stort jordmotstånd genom att borrhönan, som är större än sondstängen, skjuter upp en kil av jord framför sig. När man sedan trycker ned sonden igen är det väsentligt att hålet står öppet om man skall få ett relevant resultat.

12 FORTSATT ARBETE

För att säkerställa att ett samband finns mellan normaliserat nettospetstryck från CPT-sondering och J_b -totalsondering bör resultat från fler försöksplatser med sandjord analyseras tillsammans med resultaten från Kolbyttemon och Masmø.

Vidare bör jämförelser mellan CPT-sondering och J_b -totalsondering göras för fler jordlagerförhållanden där metoden kan vara lämplig, t.ex. siltjord, grusig jord och moränlera, för att om möjligt få fram motsvarande samband även för dessa jordar. Här kan dock portryckseffekter (såväl negativa portryck i jorden som porövertryck vid själva sonderingen) inverka på resultaten i den finkornigare jorden.

Om de funna sambanden kan verifieras genom försök från fler provplatser kan friktionsvinklar och sättningsmoduler uppskattas ur sonderingsresultaten genom omräkning av normaliserat nettospetstryck från J_b -totalsondering till normaliserat nettospetstryck från CPT och därifrån utvärdering t.ex. genom datorprogrammet Conrad. För att få en tillförlitlig utvärdering av J_b -totalsondering genom att använda de samband som gäller för CPT-metoden måste dock en kalibrering göras mot laboratorieförsök (t.ex. skjuvförsök och triaxialförsök). I detta projekt har inte ingått att göra en jämförelse och analys av t.ex. från Kolbyttemon utvärderade friktionsvinklar från CPT-sondering utförd i denna studien (kopplat till spetstryck J_b -tot) och friktionsvinklar bestämda med triaxialförsök vid en tidigare studie (Bergdahl et. al. 1984). Detta skulle dock kunna ingå som ett första steg i en kalibrering av J_b -totalsondering mot laboratorieförsök i en kommande studie.

13 REFERENSER

- Bergdahl, U, Möller, B (1980). Utveckling av hejarsonderingsmaskin. Hejarsond för jordparameterbestämning. Resultat av ett utvecklingsprojekt. SGI Varia 29. Linköping.
- Bergdahl, U, Hult, G, Ottosson, E (1984). Belastningsförsök på plattor grundlagda i friktionsjord för bestämning av jords deformationsegenskaper. Försök vid SGI:s provfält - Kolbytte-mon, Linköping. Statens geotekniska institut. SGI Varia 138. Linköping.
- Bergdahl, U, Hult, G, Ottosson, E (1986) Belastningsförsök på plattor grundlagda i friktionsjord för bestämning av jords deformationsegenskaper. Försök vid Albysjön, Fittja. SGI Varia 168. Linköping
- Bergdahl, U, Hult, G, Johansson, L, Ottosson, E (1986) Beräkning av plattors sättning och bärförmåga i friktionsjord. Sammanställning av undersökningar på broar och resultat av plattförsök SGI projekt 1-89/84 Linköping
- Bergdahl, U, Hult, G, Ottosson, E (1986). Spread footings in sands – Calculation of bearing capacity and settlements. SGI Varia 165.
- Möller, B (1991) Falskt pålstopp. En jämförelse mellan statisk och dynamisk bärförmåga hos pålar i siltig jord. SGI varia 342. Linköping.
- Veiledning for utførelse av totalsondering. (1994). Norsk geoteknisk forening, NGF-meldinger nr 9.
- Metodbeskrivning för jord-bergsondering (Jb-sondering) (1999). Svenska Geotekniska Föreningen, SGF Rapport 2:99, 26 p, Linköping.
- Nilsson, G. Forssman, G. (2002). Norsk sondering i svenska jordar. Bygg&Teknik, vol 94, nr 1, pp 28-30.
- Joelson, KG (2002). Metodutveckling för styrd inklinometermätning - fasta och manuella inklinometrar. Statens geotekniska institut, SGI Varia 514. Linköping.
- Nilsson, G. Forssman, G. (2004). Total sounding – Some experience in Sweden and development potential. NGM 2004. Nordic Geotechnical Meeting, 14, Ystad, Proceedings, vol. 1, pp C27-C34.
- Metodbeskrivning för Jb-totalsondering (2006). Svenska Geotekniska Föreningen, SGF Rapport 1:2006, 22 p, Linköping.
- Bergdahl, U (2007). Reptålighet hos korrosionsskyddande beläggningar på stålpålar. Bygg & Teknik, Vol 99, Nr 1, pp 28-32.
- Larsson, R. (2007). CPT-sondering, utrustning – utförande – utvärdering. Statens geotekniska institut, Information 15. Linköping.
- Öberg, A-L. (1997). Matrix suction in silt and sand slopes, Significance and practical use in stability analysis. Avhandl. Chalmers tekniska högskola. Göteborg

SGF Notat

- 1:2004** Packning och packningskontroll av blandkornig och finkornig jord
- 2:2004** Direkta skjuvförsök - en vägledning
- 3:2004** Laborarieutrustningar med stora provdimensioner - en sammanställning
- 1:2005** Våra framtida geotekniska arbetsredskap - en introduktion
- 2:2005** Permeabilitetsbestämning genom laborieförsök
- 3:2005** Packningsresultat ytpackning – väsentliga faktorer analyserade med AHP-modellen
- 4:2005** Karakteristiskt värde – utredning kring riktlinjer hur vi skall tillämpa Eurokod (EN 1997-1 och EN 1997-2)
- 1:2007** Medlemsmatrikel 2006
- 2:2007** Resultatkontroll genom bestämning av luftporhalt och vattenkvot
- 3:2007** Laborieprovning för geotekniska utredningar - en vägledning

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).

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