

Utvärdering av odränerad skjuvhållfasthet för lermorän ur hejarsondering



**LUNDS
UNIVERSITET**

Lunds Tekniska Högskola

**LTH Ingenjörshögskolan vid Campus Helsingborg
Institutionen för byggvetenskaper**

Examensarbete:
Mohamad, Fakhro

© Copyright Mohamad, Fakhro

LTH Ingenjörshögskolan vid Campus Helsingborg
Lunds universitet
Box 882
251 08 Helsingborg

LTH School of Engineering
Lund University
Box 882
SE-251 08 Helsingborg
Sweden

Tryckt i Sverige
Media-Tryck
Biblioteksdirektionen
Lunds universitet
Lund 2016

Sammanfattning

Syftet med examensarbetet är att hitta ett samband mellan spetstryck framtaget med hejarsondering och med CPT för att kunna få bättre förutsättningar att bestämma skjuvhållfasthet i lermorän med hejarsondering.

CPT-sondering är en trycksondering och används huvudsakligen för att få en god bild av lagerföljden i jorden samt markförhållanden. CPT har visat sig vara användbart gällande utvärdering av viktiga parametrar såsom skjuvhållfasthet och friktionsvinkel i homogena jordar. Nackdelen med CPT-sondering är att den är känslig och kan inte drivas ner i mycket fasta jordar. Sonderingen mäter tre olika parametrar: spetstryck, mantelfriktion och portryck. Spetstryck är den parametern som används flitigast.

Olika sonderingsmetoder såsom viktsonden har svårt att drivas ner i grövre och fastare jordar då de har en liten nerträngningsförmåga. Som en lösning på problemet utvecklades en slagsond, hejarsondering, under 1940-talet och förekommer i två metoder; HfA och HfB. Svensk erfarenhet baseras på HfA-metoden. Hejarsonderingen har visat sig vara bra på att bestämma erforderlig längd på spetsbärande pålar. Nackdelen är att den är dålig på att utvärdera viktiga parametrar i jordar, framförallt lösare jordar. Parametern som hejarsonderingen mäter är antal slag/0,2 m.

En annan slagsondering som används mer internationellt är SPT som fungerar nästan som hejarsonderingen. Flera korrelationer är framtagna för utvärdering av olika parametrar med SPT.

I arbetets slutsats framkommer det ett svagt samband mellan hejarsonderingen och CPTs spetstryck. Sambandet är för svagt för att kunna användas som en relation för utvärdering av skjuvhållfasthet i lermorän, det krävs således betydligt mer omfattande undersökningar och flera parametrar att ta hänsyn till för att ta fram en säker korrelation.

Nyckelord: Lermorän, CPT, hejarsondering, skjuvhållfasthet

Abstract

The aim of this study is to find a relation between the tip pressure produced by DPSH and CPT in order to improve the possibilities of determining the shear strength of claytill.

CPT is a pressure probe and mainly used to get a good picture of the stratigraphy and the soil condition. CPT have shown to be useful regarding the evaluation of key parameters such as shear strength and angle of friction of homogeneous soils. The disadvantage of CPT is that it is sensitive and can not be powered down in stiff soils. The probe measures three different parameters: tip pressure, skin friction and pore pressure. Tip press is the parameter used most frequently and measured by a greater volume around the probe tip.

Different probing methods such as weight probe is difficult to be driven into the coarser and firmer soils because they have a small probing area. As a solution to the problem, the DPSH was developed during the 1940s and occurs in two versions; HfA and HfB. Swedish experience is based on the HfA method. HfA has proven to be good to determine the required length of bearing piles. The disadvantage is that it is poor for evaluating important parameters in soils, particularly looser soils. The probe measures number of impacts / 0.2 m.

Another kind of probing that is used more internationally is SPT that works almost like DPSH. Several correlations have been developed for the evaluation of various parameters for SPT.

The conclusion is that it appears to be a weak relation between DPSH and CPT tip pressure. The relation is too weak to be used as a correlation to evaluate the shear strength of claytill, it requires significantly more extensive surveys and several parameters to take into account to produce a safe correlation.

Keywords: CPT, DPSH, claytill, shear strength

Förord

Examensarbetet ingår i högskoleingenjörsutbildningen vid LTH Helsingborg och omfattar 22.5 högskolepoäng vilket motsvarar 15 veckors heltidsarbete.

Detta examensarbete har utförts på WSP Helsingborgs kontor och vid Institutionen för byggvetenskaper på Lunds tekniska högskola. All data från fältundersökningar är tagna från WSPs databas.

Jag vill rikta ett stort tack till alla som har varit till hjälp under mitt examensarbete. Är även tacksam till alla som har stöttat mig och lärt mig hur en geotekniker arbetar. Det har ökat mitt intresse för geotekniken och gett mig nya erfarenheter inom fältundersökning, som är en stor del av geoteknikerns arbete.

Ett speciellt tack till Martin Dreifaldt (biträdande handledare, WSP) som har tagit hand om mig och lärt mig hantering av databas. Vill även tacka Ola Dahlblom (handledare, LTH), Erika Tudisco (biträdande handledare, LTH), Rolf Larsson (SGI), Dennis Overgaard (WSP) och SGI:s bibliotek.

Examensarbete: Mohamad Fakhro

Handledare: Professor Ola Dahlblom, LTH

Biträdande handledare: Martin Dreifaldt, WSP och Erika Tudisco LTH

Examinator: Susanne Heyden, LTH

Helsingborg, september 2016

Innehållsförteckning

1 Inledning	1
1.1 Bakgrund	1
1.2 Syfte	2
1.3 Genomförande	2
1.4 Avgränsningar	3
2 Litteraturstudie	5
2.1 Jordens egenskaper	5
2.2 Morän	6
2.2.1 Skånsk lermorän	6
2.3 Sonderingsmetoder	11
2.3.1 CPT	11
2.3.2 Hejarsondering	16
2.3.3 SPT	18
2.4 Bestämning av jordens egenskaper ur sonderingsresultat 19	
2.4.1 Undersökning av Butcher et al. (1995).....	19
2.4.2 Nassaji, Frazad och Kalantari, Behzad (2011).....	21
3 Beskrivning av teorin	23
4 Resultat	27
5 Slutsats	33
5.1 Felkällor	33
6 Förslag till fortsatta studier	35
Källor	37
Bilagor	39

1 Inledning

1.1 Bakgrund

Jorden i västra och södra Skåne består mestadels av lermorän (Larsson 2000, 9). När man ska bestämma de geotekniska markförhållandena brukar man oftast använda sig av CPT och ibland hejarsondering. CPT anses ge bättre värden, men enligt erfarenhet (Martin Dreifaldt 2016) går det inte att driva den djupare än cirka fem meter i Malmö-trakterna utan att riskera att den ska gå sönder. Lösningen blir då att använda sig av hejarsondering, men enligt samma erfarenheter, finns det i dagsläget inga vedertagna samband för att utvärdera skjuvhållfasthet ur den. Finns det ett samband mellan värden från hejarsondering och CPT-värden?

Den odränerade skjuvhållfastheten för lermorän går att utvärdera med hjälp av CPT-sondering, som är en sonderingsmetod, för fältundersökning. Spetstryck, mantelfriktion och portryck är de tre parametrarna som mäts med CPT-sondering.

Huvudfaktorn för utvärdering av odränerad skjuvhållfasthet med CPT-sondering är spetstrycket. Enligt Larsson (2000, s. 45) som refererar till Jacobsen (1967) utvärderar man den odränerade skjuvhållfastheten med sambandet $\tau_{fu} = q_t / N_{kt}$ där N_{kt} står för en empiriskt framtagen konfaktor. En rad forskare har nämnt olika faktorer för konfaktorn, men för skånsk lermorän förefaller det bäst att använda faktor $N_{kt} = 11$. Formeln för den odränerade skjuvhållfastheten blir således $\tau_{fu} = q_t / 11$ där q_t är spetstryck som mäts i en CPT-sondering.

Då det finns en risk för att CPT ska gå sönder i skånsk lermorän används ofta en annan sonderingsmetod, hejarsondering. Den utvecklades under 1940-talet som ett komplement till viktsondering som har liten nerträngningsförmåga (Bergdahl 1984, s. 10). Hejarsonderingen förekommer i två metoder, HfA och HfB, där svensk erfarenhet baseras på den första metoden, HfA. Parametern som man mäter med HfA i fältundersökning är antal *slag*/0,2 m. I dagsläget går det inte att utvärdera odränerad skjuvhållfasthet i lermorän med parametern *slag*/0,2 m då det inte finns en vedertagen relation mellan dem.

Butcher et al. (1995, s. 392) förklarar dock att det går att utvärdera odränerad skjuvhållfasthet i fastare leror. De menar att det dynamiska spetstrycket, kan räknas ut med relationen:

$$q_d = r_d \frac{M}{M + M'}$$

där r_d är slag/0,2 m $\cdot 10^5$, M = fallviktens massa och M' = totala massan av sonderingsstänger, slagdyna och styrrör. Fortsatt förklarar Butcher et al. (1995) att den odränerade skjuvhållfastheten kan utvärderas med hejarsondering på samma sätt som med CPT-sondering, men med konfaktorn 22 istället för 11. Odränerad skjuvhållfasthet kan således utvärderas med relationen $\tau_{fu} = q_d/22$. Undersökningen som ligger till grund för detta värde är utförd i brittiska och norska fasta leror och det går därför inte att direkt tillämpa resultatet i skånsk lermorän. Därför ska detta examensarbete undersöka om relationen $\tau_{fu} = q_d/22$ kan tillämpas för skånsk lermorän.

Det finns även två olika rapporter som kan vara till hjälp när det gäller metodiken och resultatredovisningen, nämligen SGF (2009) som jämför olika sonderingsmetoder i sand (JB, CPT och hejarsondering) och Wister (2010) som jämför olika sonderingsmetoder med fokus på JB-totalsondering i isälvsavlagringar kring Igelstaviken.

1.2 Syfte

Syftet med examensarbetet är att undersöka om det finns en möjlighet att utvärdera odränerad skjuvhållfasthet i lermorän med hejarsondering. Finns det ett samband mellan spetstrycket för hejarsondering och för CPT som går att använda för att utvärdera odränerad skjuvhållfasthet i lermorän?

1.3 Genomförande

Genomförandet delas upp i 5 delar och rapporten avslutas med bilagor från undersökningen och fältundersökningen.

Litteraturstudie

Första delen är en litteraturstudie där olika rapporter, litteraturstudier och examensarbeten har studerats. Huvudämnen är jordens egenskaper, CPT-sondering, hejarsondering och andra liknande studier. Majoriteten av materialet som har studerats kommer från SGI, statens geotekniska institut som bland annat har ett bibliotek som enligt Wister (2010, s. 3) är det enda i Sverige som endast samlar in och arkiverar geotekniska rapporter, examensarbeten, doktorsavhandlingar och annan litteratur om just geoteknik.

Beskrivning av teorin

I andra avsnittet beskrivs bakomliggande teorin för korrelationstesten och hur undersökningen utfördes.

Tolkning och resultat

I tredje delen redovisas resultatet med olika diagram samt tolkning av resultatet.

Slutsats

I fjärde delen förklaras tänkbara orsaker till resultatet och slutsatsen. Även begränsningar tas upp här.

Förslag till fortsatta studier

I sista delen redovisas tänkbara fortsatta studier.

1.4 Avgränsningar

Detta examensarbete har endast behandlat prover från projekt i Flackarp-Arlöv och Hällstorp, Skåne.

2 Litteraturstudie

Litteraturstudien behandlar jordens egenskaper, morän och lermorän, sonderingsmetoder och tidigare liknande studier

2.1 Jordens egenskaper

Larsson (2008, s. 8) förklarar i sin rapport att jorden är uppbyggd av tre olika faser, flytande fas, fast fas och gasfas. Den intressanta fasen för geotekniker är den fasta fasen då den är den lastbärande fasen. Den består främst av ler och mineralpartiklar. Jordarter som silt och ler består av mindre partiklar som hålls ihop genom kohesion. Jordens egenskaper bestäms främst utifrån följande: struktur, kornfördelning och konsolideringsgrad. Nedan presenteras dessa mer ingående. (Larsson 2008, s. 9).

Struktur

Högre laster på jorden, gör att de finare lerpartiklarna böjs över de mer grovkorniga partiklarna och detta fenomen kallas för strömningsstruktur. Fenomenet kan enligt Larsson (2008, s. 10) påverka hållfastheten, deformationen och permeabiliteten.

Kornstorleksfördelning

Kornfördelning är av central betydelse i klassificering av jord då kornstorlek påverkar de geotekniska egenskaperna. Egenskaper som påverkas av bland annat kornstorlek är skjuvhållfasthet och kompressabilitet (Larsson 2008, s. 16). Andra parametrar som påverkar de geotekniska egenskaperna är relationen mellan jordens volym, fast massa, porgas och porvatten (Larsson 2010, s. 10).

Konsolidering

Överkonsoliderad jord betyder att jorden blivit utsatt för större belastning jämfört med nuvarande, och är konsoliderad för den. Bli denna jord utsatt för last som är lägre än den maximala last (σ'_c) den har utsatts för så uppstår oftast minimala deformationer och de som sker är vanligen elastiska. Utsätts den överkonsoliderade jorden för högre laster än de maximala laster den har utsatts för så sker stora deformationer och de är oftast plastiska. I vanligt lagrade jordar brukar σ'_v (vertikalspänningen) vara större än σ'_H (horisontalspänningen) vilket inte är fallet i överkonsoliderad jord, då det motsatta förhållandet råder (Larsson 2008, s. 34). Om rådande vertikalspänning är lika med förkonsolideringstrycket ($\sigma'_v = \sigma'_c$) kallas det för normalkonsoliderad jord och egenskaperna för sådana jordar är att ju mer vertikalspänningen ökar, ju större blir de plastiska deformationerna. Men skulle porvattentrycket vara högre än det stationära, hydrostatiska, så är jorden

underkonsoliderad och detta innebär att plastiska deformationer uppstår och sker över tiden (Larsson 2008, s.34).

2.2 Morän

74 % av Sveriges markyta består av morän. Morän är en jord som innehåller osorterade fraktioner: silt, ler, sand, sten och block. Detta beror på att Sveriges historia är kantad av flera istidsperioder och det har lämnat ett avtryck på landskapet i form av morän. Inlandsisens framfart över landskapet är således grunden till att morän har bildats då inlandsisen bröt ner en del av berggrunden samt tidigare jordavlagring och transporterade det till sitt nuvarande läge. Det transporterade materialet kommer från olika bergarter, och det ligger till grund för hur fin moränen blev det vill säga att grövre morän härstammar från segare bergarter medan mjukare morän, såsom lermorän, kommer finare bergarter (SGU, 2016). Nedan presenteras lermorän mer ingående.

Lermorän

Lermorän är en finare morän som har bildats i anslutning till, eller nära, områden med finare bergarter, mer specifikt kambrosilurisk berggrund såsom kalksten och lerskiffer (Larsson 2000, s. 8). För att en jordart ska klassificeras som lermorän så måste följande kriterier uppfyllas (Larsson, s. 7):

- Jordarten ska ha bildats som en morän.
- Vikthalten av sten och block måste vara mindre än 40 % av den totala jordmassan samt att lerhalten måste vara större än 20 % av finjordsmängden.
- Finjord (ler och silt) är mer än 40 % av materialet som har korndiameter < 60 mm.

2.2.1 Skånsk lermorän

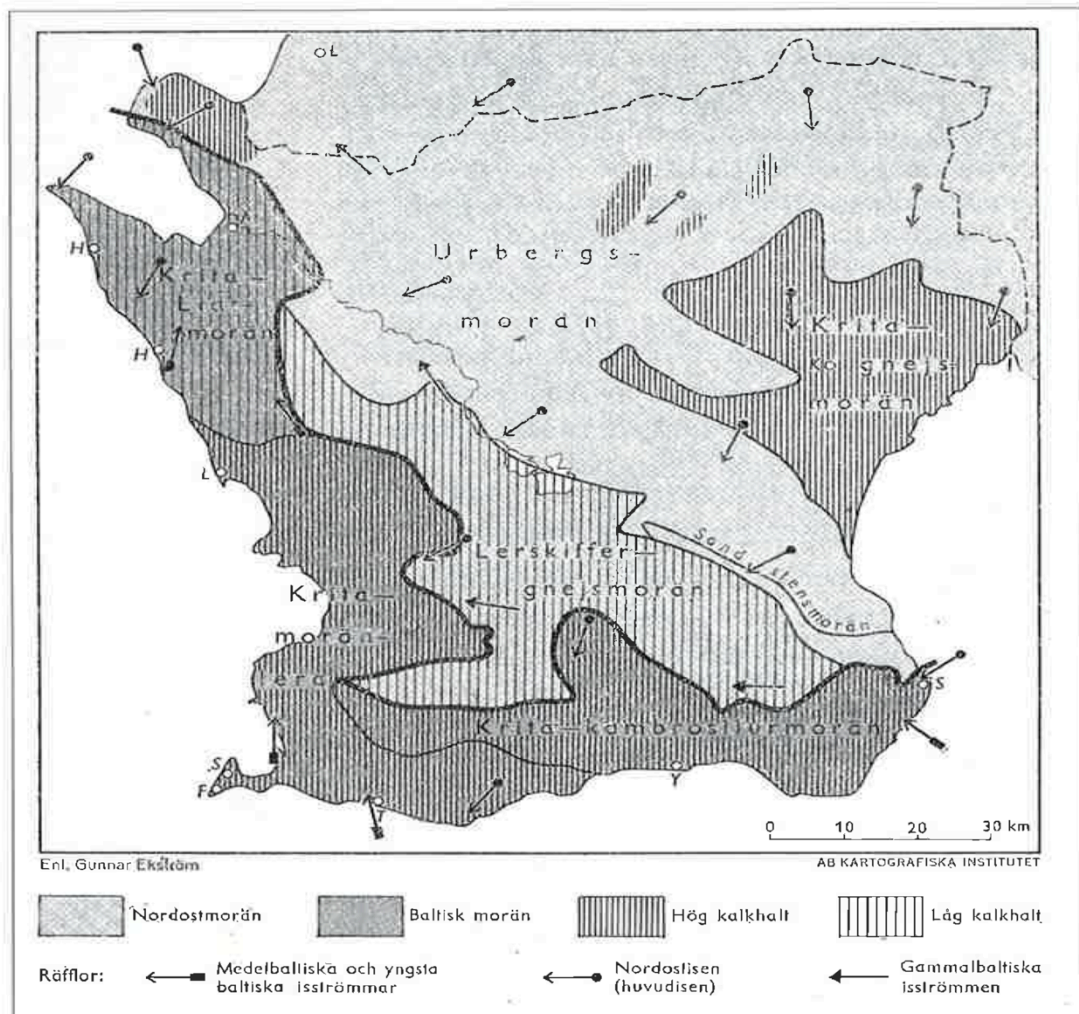
I och med inlandsisens dominerande rörelseriktning talar man om bland annat fyra olika typer av morän, nämligen gammalbaltisk morän, nordostmorän, medelbaltisk morän och lågbaltisk morän (Larsson 2000, s. 10).

Den moräntyp som oftast påträffas på större djup är den gammalbaltiska moränen och den antas ha avsatts under den senaste istiden i en tidig isframstöt och är oftast täckt med sediment (Larsson 2000, s. 10).

Den andra moräntypen som avsattes av huvudframstöten är nordostmorän och finns i flera jordtyper såsom urbergsmorän, lerskiffergnejsmorän och sandstensmorän, men endast lerskiffergnejsmoränen kan kallas för en finkornig morän (Larsson 2000, s. 10).

Den tredje moräntypen, den medelbaltiska moränen, finns i sydöstra Skåne och antas ha avsatts av den medelbaltiska isstöten och består av lermorän, vars stenmaterial utgörs av kalksten, sandsten, kritbergsarter, urberg och kambrosiluriska skifferar (Larsson 2000, s. 10).

Den fjärde moräntypen i Skåne är den lågbaltiska moränen som antas ha avlagrats av den lågbaltiska strömmen som var i västra Skåne. Denna moräntyp har hög lerhalt (Larsson 2000, s. 10).



Figur 1. Olika lermoräner i Skåne.

Källa: Larsson 2000, s. 11. Figuren publiceras med tillstånd från Rolf Larsson.

Skånsk lermoräns egenskaper

Lermoräner kan båda vara fina och grova. Den skånska lermoränen är oftast grov och har således andra egenskaper än finare lermorän. Egenskaperna beror på sammansättning, vatteninnehåll och vattenmättnadsgrad, förkonsolidering, skjuvhållfasthet och dessa redovisas nedan.

Sammansättning

Lermoränen i Skåne har en varierande kornfördelning. Vissa lermoräner, främst den baltiska, är väldigt fin lermorän och kan ha en lerhalt på upp till 40 % av finjordsmängden och en liten halt av grus. På vissa ställen kan det även finnas stora mängder flinta som kan störa provtagning. Samtidigt kan andra lermoräner i Skåne innehålla stora mängder grus, sten och block och uppnår precis kriterierna för att klassificeras som lermorän (Larsson 2000, s. 21).

På grund av lermoränens bildningssätt och kornfördelning är den oftast månggraderad vilket betyder att den innehåller många olika kornstorlekar. Även mellangraderad jord kan förekomma. Lermoränen är också tätlagrad, den täta lagringen och månggraderingen medför att porerna som är fyllda med vatten och gas är små. Utöver de små porerna är själva porvolymen låg och skrymdensiteten, varierar mellan 2,0 och 2,4 ton/m³ enligt svenska och danska undersökningar. Samma undersökningar visar också att poralet varierar mellan 0,2 och 0,6 och att korndensiteten ligger runt 2,7 ton/m³. (Larsson 2000, s. 21).

Vatteninnehåll och vattenmättnadsgrad

Den låga porvolymen medför också att lermoränen har en låg vattenkvot och denna brukar vara runt plasticitetsgränsen. Ett annat fenomen, som inte är utrett, är att upptagna prover av lermorän har visat sig inte vara vattenmättade och det gäller även prover tagna under grundvattenytan (Larsson 2000, s.21)

Larsson (2000, s.21) skriver att Jacobsen (1967) av praktiska skäl föreslog att lermoränen skulle antas vara vattenmättad under grundvattenytan.

Förkonsolideringsgrad

Lermoränen är oftast rejält överkonsoliderad men enligt Foged och Steinfeldt (1992, s. 79) varierar överkonsolideringsgraden mycket. Detta gäller främst ändmoränen där en del av den inte har utsatts för större laster sedan avlagringen. Ändmoränen täcker sedan över och fyller fickor i tidigare avsatt lermorän som har blivit utsatt för betydligt större istryck och därmed konsoliderats för dem, vilket gör att lermoränen får en blandning av en del som inte har utsatts för större tryck och en annan del som är överkonsoliderad.

Förkonsolideringstrycket antas variera mellan 200 och 2000 kPa i dansk lermorän och det gäller även för skånsk lermorän. Det bestäms ofta ur den uppskattade totala massan av istryck som har varit på lermoränen, men den metoden är förenklad och för grov, därför rekommenderas andra metoder. Man bör uppskatta förkonsolideringstrycket genom samband såsom en

empirisk relation mellan förkonsolideringstrycket och t.ex. vingförsök. En annan metod är att uppskatta förkonsolideringstrycket genom ödometerförsök på prover (Larsson 2000, s. 23).

Larsson (200, s. 23) menar också att det går uppskatta σ'_c ur:

$$\sigma'_c = 3\tau_v \quad (2-1)$$

eller

$$\sigma'_c = 5\tau_v \quad (2-2)$$

där τ_v är skjuvhållfasthet utvärderad ur danska fältvingsförsök. Christensen et al. (1992, s. 71) framför istället en annan modell för att uppskatta förkonsolideringstrycket som är mer utvecklad än de föregående:

$$\sigma'_c = \sigma'_0 \left(\frac{\tau_v}{0,4\sigma'_0} \right)^{\frac{1}{0,85}} \quad (2-3)$$

där σ'_0 = rådande effektiva överlagringstrycket

Skjuvhållfasthet

DGI, Danmarks geotekniska institut, föreslog år 1992 riktlinjer för geologiska och geotekniska benämningar för jord. Lermoränen hamnar oftast bland övergångsjordarna, vilket betyder att det inte finns några generella riktlinjer för om man ska betrakta skjuvhållfasthet för lermoränen som odränerad eller dränerad, utan man får bedöma varje situation utifrån förutsättningarna. Därför bör man betrakta lermorän utifrån båda fallen, dränerat och odränerat (Larsson 2000, s. 24).

Larsson (2000, s. 23) berättar att lermorän uppträder odränerat vid kortvariga laster då lermorän i sig är lågpermeabel men till följd av dess fasthet och överkonsolidering är den dränerande hållfastheten lägre. Därför ska man kontrollera långtidslaster för dränerat tillstånd (Larsson 2000, s. 23).

Larsson menar också att den odränerade skjuvhållfastheten oftast är dimensionerande vid plattgrundläggning förutom om det gäller en ytlig sådan i mycket fast jord. Därav nämner han också vissa kriterier som ska uppfyllas

om den dränerade skjuvhållfastheten ska vara dimensionerande, Larsson (2000, s. 23) skriver:

- Portalet lägre än 0,3
- Plattdiameter eller plattbredd mindre än 1m
- Odränerad skjuvhållfasthet större än 50 kPa
- Grundläggning direkt vid markytan

I lermorän brukar skjuvhållfastheten uppskattas med empiriska relationer. De empiriska sambanden är framtagna med hjälp av större undersökningar med t.ex. triaxialförsök eller ringskjuvförsök.

Det finns specifika samband för skjuvhållfasthet för skånsk baltisk lermorän som är framtagna av Hartlén (1974, s. 166). Sambanden täcker ett stort område av olika jordar då de tar hänsyn till portalet (e_0), vattenkvot (w_0) och lerhalten (l_c), beräknad på total jordmängd där kornstorleken är mindre än 20 mm.

För odränerad skjuvhållfasthet gäller (Hartlén 1974, s. 166):

$$\tau_{fu} = 18w_0^{-2,05}e_0^{-1,88}l_c^{2,66} \quad (2-4)$$

För dränerade förhållanden gäller (Hartlén 1974, s. 166):

$$c' = 3w_0^{-3,23}e_0^{-2,12}l_c^{4,19}, \text{ om } c' \leq 20 \text{ kPa} \quad (2-5)$$

eller

$$c' = -24 - 140 \lg(w_0) - 80,9 \lg(e_0) + 155 \lg(l_c), \\ \text{ om } 20 \text{ kPa} < c' \leq 50 \text{ kPa} \quad (2-6)$$

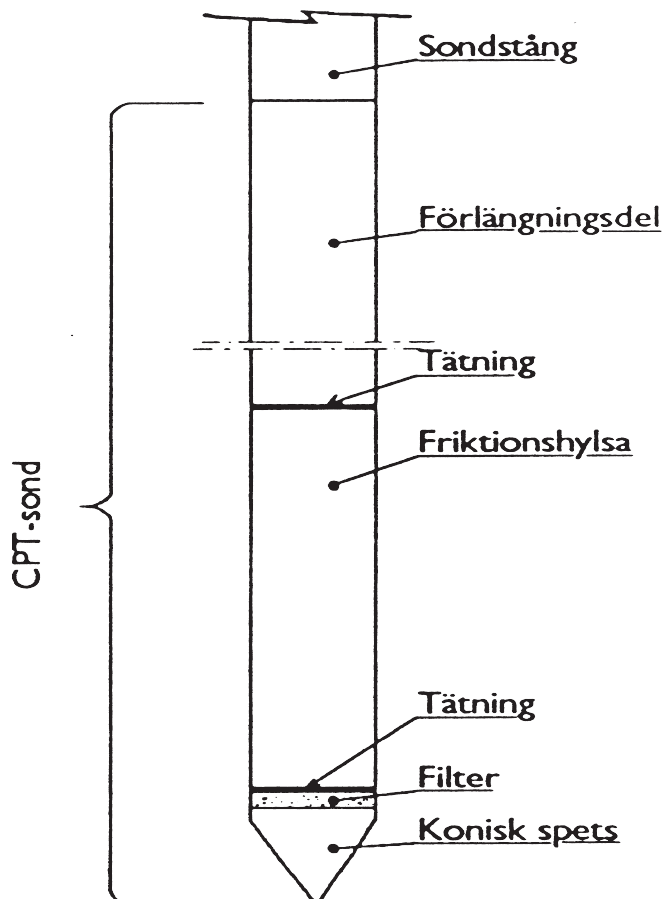
Duecks undersökning (Dueck 1998, s. 26) gav högre odränerad skjuvhållfasthet för baltisk lermorän än sambanden enligt Hartlén (1974). Undersökningarna är utförda som triaxialförsök med varierande konsolideringsspänningar. Den visar även hur skjuvhållfastheten påverkas av aktuell spänning och överkonsolideringsgrad (Larsson 2000, s. 25).

2.3 Sonderingsmetoder

Detta avsnitt behandlar CPT-sondering, hejarsondering och SPT.

2.3.1 CPT

CPT drivs vanligtvis ner med en hastighet på 20 mm/s. Tvärsnittsarean på sondspetsen ligger oftast på 1000 mm² och den har en 60 graders konformad spets (Larsson 2015, s. 10). Det huvudsakliga syftet med CPT-sondering är att få en god bild av lagerföljden i jorden samt markförhållandena. Sonderingen mäter tre olika parametrar: spetstryck, mantelfriktion och porttryck. Mantelfriktion mäts som ett medelvärde av friktionen på sondens mantel som är runt 130 mm.



Figur 2. CPT-sond.

Källa: Larsson 2015, s. 10. Figuren publiceras med tillstånd från Rolf Larsson.

Spetstryck

Spetstrycket bestäms som en kvot av den totala axialkraften mot spetsmotståndet (jorden) och spetsens tvärsnittsarea. Spetstrycket korrigeras ofta med hänsyn till portrycket men om CPT drivs ner i lågpermeabla jordar såsom lermorän, så är portrycket så pass litet att man kan bortse från det och då räknar man ut ett så kallat okorrigerat spetsmotstånd.

Spetsmotståndet bestäms ur

$$q_t = \frac{F_t}{A_t}$$

okorrigerat spetsmotstånd bestäms ur

$$q_c = \frac{F_c}{A_t}$$

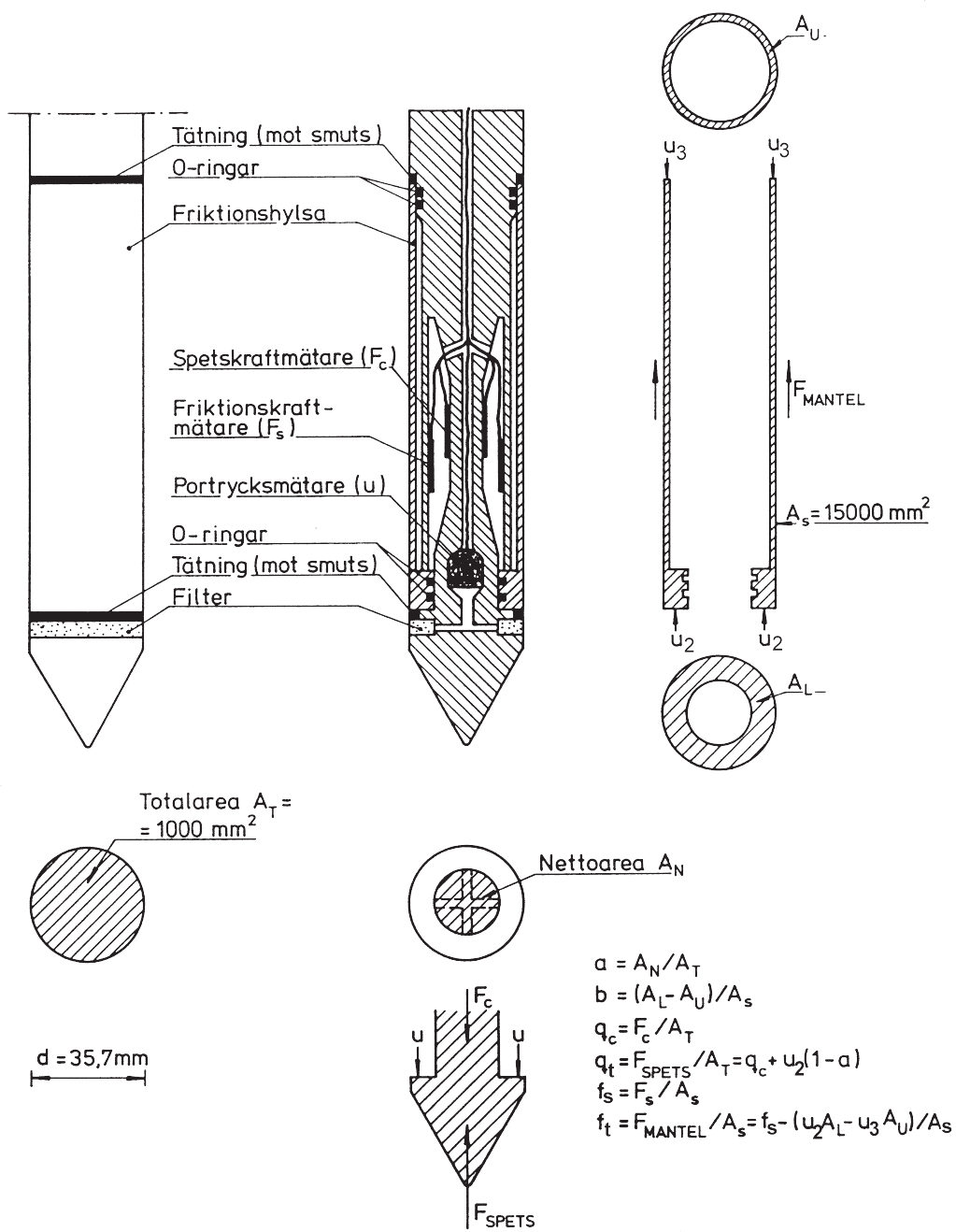
Där F_t är total spetskraft, F_c är okorrigerad total spetskraft och A_t är sondspetsens area. Om porvattentrycket (u) är 0 så är $q_t = q_c$ (Larsson 2015, s. 11)

Mantelfriktion

Mantelfriktion betecknas som f_i och utvärderas som en kvot av den totala friktionskraften och den totala hylsade mantelytan som normalt ligger på 150000 mm². Mätvärden korrigeras då de påverkas av obalanserat vattentryck. Skulle sådana förhållanden inte råda, så som i friktionsjordar så korrigeras inte mätvärdena, som då betecknas med f_s (Larsson 2015, s. 11).

Portryck

Registrerat portryck mäts under sonderingenstillfället och flera olika mätvärden kan registreras beroende på var filterplaceringen är (Larsson 2015, s. 11). Drivning av CPT i tätare jordar bildar ett porvattenundertryck, det är viktigt att vara medveten om detta då i neddrivningen av CPT vissa fall måste pausas så att porvattentrycket kan återhämta sig (Dreifaldt, 2016).



Figur 3. CPT-sondens delar

Källa: Larsson 2015, s. 16. Figuren publiceras med tillstånd från Rolf Larsson.

Fältundersökning med CPT i lermorän

CPT-sondering på lermorän startade i Danmark och Storbritannien. Det märktes direkt att det krävdes större sonder med kraftigare neddrivning då lermoränen har hög fasthet. I vanlig lera räcker det med en 5 ton tung sond, i många fall en ännu lättare. Skånsk lermorän med högre fasthet skulle behöva en 10 till 20 ton tung sond. Sådana sonder är vanliga i Danmark, men då de områden där sonder i den viktklassen skulle behövas är ytterst begränsade är det mer sannolikt att man använder en lättare CPT-sond då det lönar sig mer ekonomiskt. I vanliga fall skulle de lättare CPT-sonderna fungera bra i den lerrika baltiska moränen, men i fastare lermorän krävs det att den lätta sonden går på maximal kraft vilket medför en risk att sonden skadas för mycket eller i värsta fall går sönder. De vanligaste skadorna på en CPT-sond i en lermorän är att friktionen blir för hög och sliter på sonden, då rekommenderar van Staveren (1995, s. 99) att man ska pumpa bentonitolja under neddrivning. Den andra vanliga skadan på en CPT-sond i lermorän är att när sonden går på maximalkraft så riskerar man att stöta på något grövre, så som sten, nerbäddad i jorden och därmed är det en risk att sonden går sönder. Därför har Steenfelt och Sorensen (1995, s.44) nämnt några kriterier som man ska uppfylla om man inte vill riskera att CPT-sonden ska gå sönder:

Översättning från engelska till svenska Larsson (2000, s. 44):

- Maximal lutningsavvikelse från lodlinjen: 20 grader
- Maximal plötslig lutningsförändring vid högsta spetsmotståndet: 3 grader
- Maximal mantelfriktion: 0,53 MPa
- Maximal nedpressningskraft: 200 kN

Tolkning av lermorän med CPT-sondering

För att utvärdera lermorän med CPT-sondering använder man sig av CONRAD, ett utvärderingsprogram som baseras på insamlad data från CPT-sondering i silt, lermorän och sand (Larsson, s. 44).

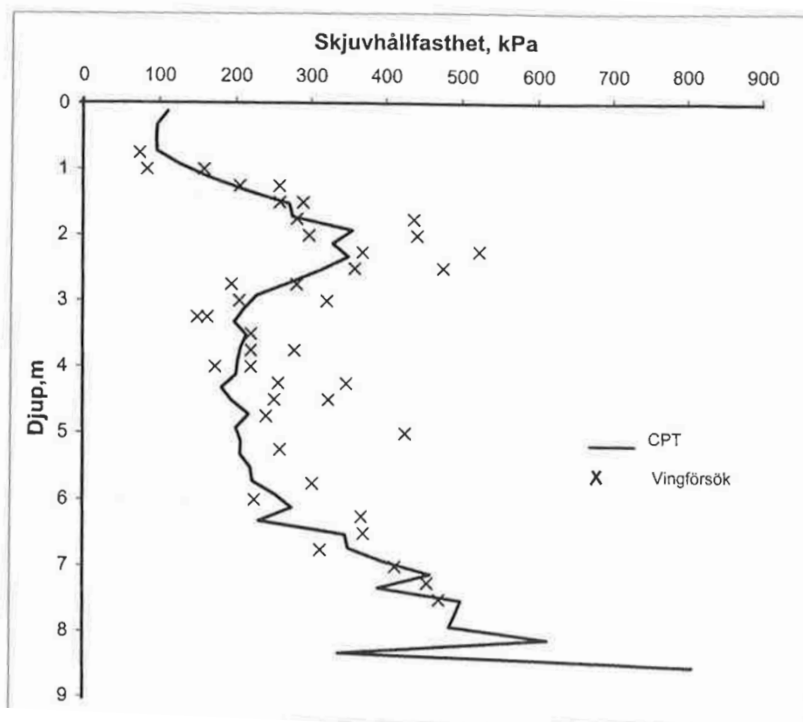
Utvärdering av odränerad skjuvhållfasthet för lermorän med CPT

Skjuvhållfasthet med CPT utvärderas med:

$$\tau_{fu} = \frac{q_t - \sigma_{v0}}{N_{kt}}$$

Där q_t = totalt spetstryck, σ_{v0} = totalt överlagringstryck och N_{kt} = konfaktorn.

Konfaktorn har utvärderats empiriskt och en rad forskare har nämnt olika faktorer för lermorän. Enligt Larsson (2000, s. 45) som refererar till Jacobsen (1967) att man ska använda faktorn 11 om inget annat har angetts när man har tagit proverna. Sedan kan man alltid använda högre faktorer om lermoränen till exempel har mycket sprickor.



Figur 4. Odränerad skjuvhållfasthet utvärderad ur CPT-sondering med konfaktorn 11 och vingsförsök.

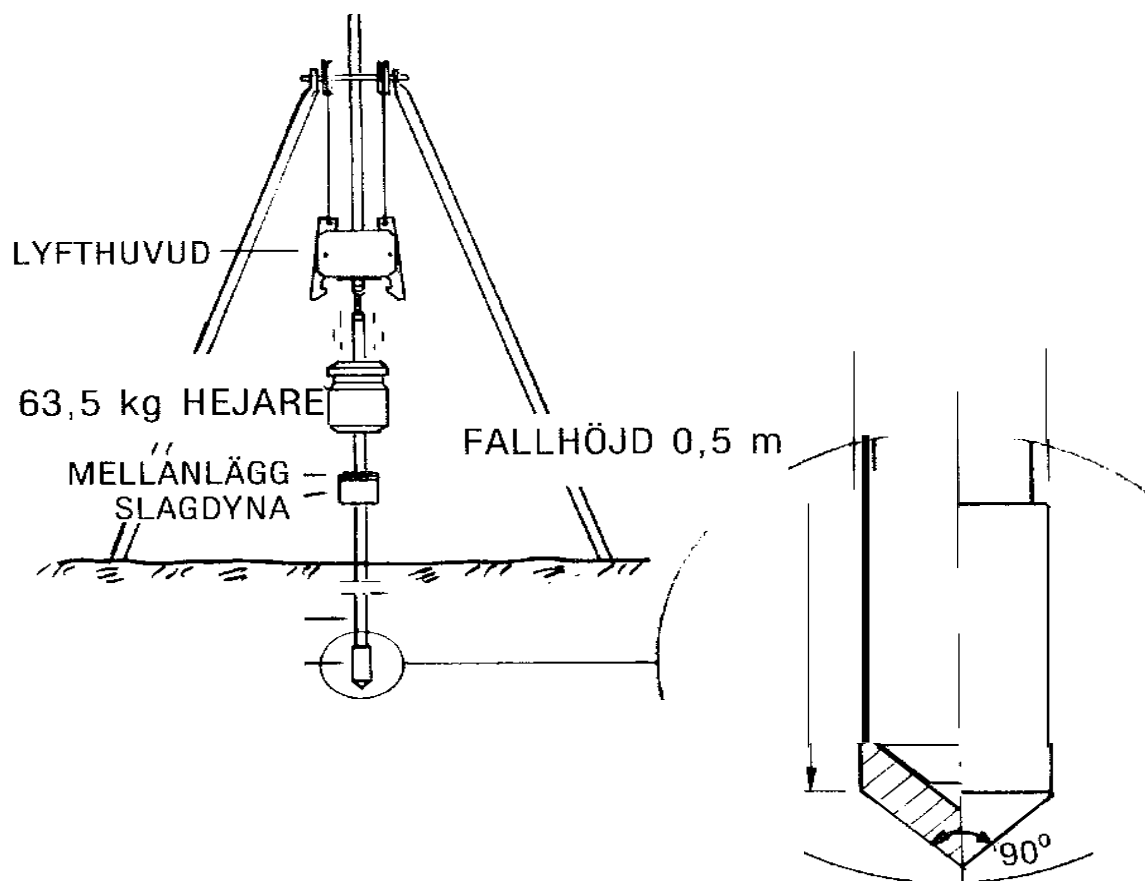
Källa: Larsson 2000, s. 46. Figuren publiceras med tillstånd från Rolf Larsson.

2.3.2 Hejarsondering

Olika sonderingsmetoder, till exempel viktsonden är svår att driva ner i grövre och fastare jordar då de har liten nedträningsförmåga (Bergdahl 1984, s. 10). Som en lösning på problemet utvecklades hejarsonderingen under 1940-talet och förekommer i två metoder; HfA och HfB. Svensk erfarenhet baseras på HfA-metoden (Larsson 2000, s. 10). Därför kommer litteraturstudien om hejarsonderingen att baseras på HfA metoden.

Hejarsonderingen har visat sig vara mest effektiv gällande bestämning av erforderlig längd för spetsbärande pålar. Stoppnivån som hejaren visar vid de normala anslutningskraven som gäller enligt upphandlingsanvisningar har ofta visat sig stämma överens med vanligt förekommande betongpålars stoppnivå, medan stålplarna har visat sig kunna drivas längre ner. Det kan dock förekomma avvikelser beroende på jordlagrens olikheter. Minst effektiv har hejarsonderingen visat sig vara för utvärdering av siltig jord/lösare jord då sonderingsmotståndet i slag/0,2 m kan visa högre värde i förhållande till den låga fastheten i lösare jord (Bergdahl 1984, s. 11).

Under senare år har man använt sig av hejarsondering mer frekvent då andra sonder inte kan tränga ner i fastare jord såsom stenig jord, lermorän och morän men även i vittrat berg. Det har även visat att den ger bättre värden (på fasthet) i stenig jord än spetsstryckssondering, såsom CPT (Bergdahl 1984, s. 13).



Figur 5. Hejarsond.

Källa: Bergdahl 1984, s. 11. Figuren publiceras med tillstånd från Ulf Bergdahl.

Sondens uppbyggnad

HfA väger runt 63,5 kg och består av en sondspets med en diameter på 45 mm och en längd på 90 mm som är fast i stängerna. Stängerna har en diameter på 32 mm. Den ska även ha en fallhöjd på en halvmeter. Slagen som kommer från slagmaskinen till hejaren ska överföras till stängen med hjälp av en slagdyna med mellanlägg (Bergdahl 1984, s. 10).

Utvärdering med hejarsondering

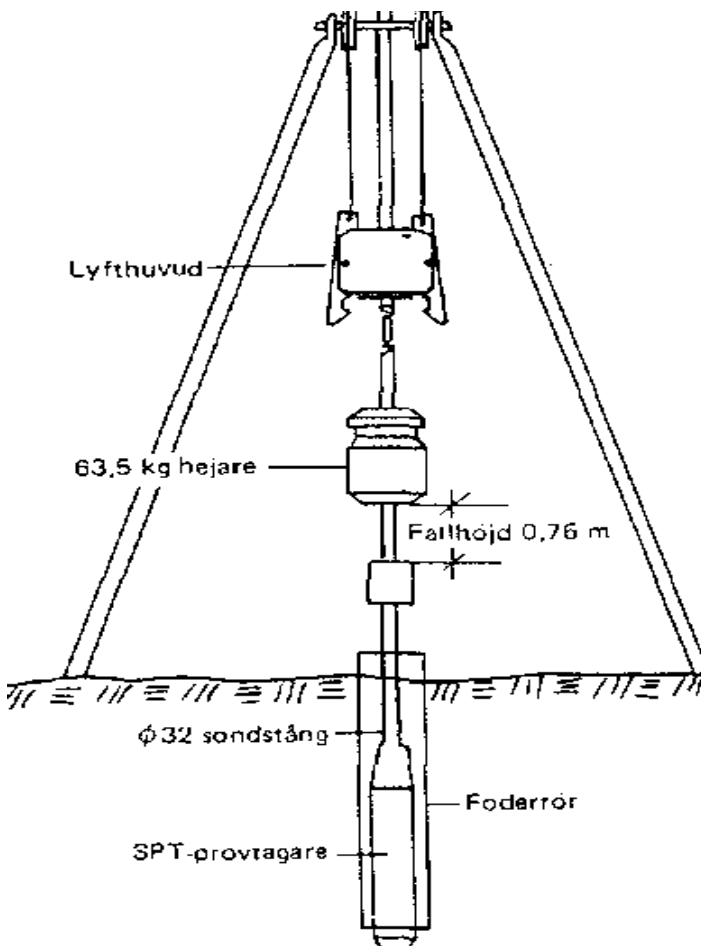
Mätvärden man får ut, eller det som utvärderas av en hejarsondering i nedrivning är antal slag per 0,2 m neddrivning. En rekommendation från SGI är att man ska vrida sonden två varv för varje 200 cm sjunkning för att minska mantelfriktionen och försäkra sig att sonden neddrivs rakt (Bergdahl 1984, s.10). Enligt en omfattande undersökning som har gjorts av Bergdahl och Dahlberg (1975, s. 15) så menar de att när stötvågen i stängerna är på maximal styrka (50 - 60 kN) vid slagning på ett fast underlag så ger det ett spetstryck på 50 MPa.

Redovisning av resultat från hejarsondering

Mätningen redovisas med antal slag per 0,2 m sjunkning och utifrån det tolkas motståndet i jorden. Redovisningen sker enligt SGF:s beteckningsblad 4 (Bergdahl 1984, s. 10). Det kan ske på två olika sätt; Om man är intresserad av fasthetsvariationer i lösare jord ska man redovisa 20 slag per 10 mm (graf) eller 100 slag per 10 mm om man istället är intresserad av fasthet nära stopp (Bergdahl 1984, s. 10).

2.3.3 SPT

SPT-sondering är ovanlig i Sverige men är den mest använda sonderingsmetoden i världen. Den stora skillnaden mellan SPT och hejarsondering är att SPT har en provtagare som slås ner medan hejarsondering har en konformad spets (Bergdahl, 1984).



Figur 6. SPT-sond.

Källa: Bergdahl 1984, s. 15. Figuren publiceras med tillstånd från Ulf Bergdahl.

2.4 Bestämning av jordens egenskaper ur sonderingsresultat

Detta avsnitt går igenom två studier där jordens egenskaper bestäms från sonderingsresultat. Den ena är gjord av Butcher et al. (1995) och den andra av Nassaji, Frazad och Kalantari, Behzad (2011).

2.4.1 Undersökning av Butcher et al. (1995)

Allt som är skrivet i detta avsnitt refereras till Butcher et al. (1995).

Hejarsonderingen är bland de äldsta och enklaste fältmätningssinstrumenten. Hejarsonderingens användning för utvärdering av jord har begränsats till ett fåtal länder i Europa, andra länder använder sig av SPT, en slagsondering som uppfanns i USA.

Undersökningen är utförd i sex olika brittiska leror och fyra norska leror. Undersökningen har utförts med flera olika sorters hejarsonderingar där några av skillnaderna mellan dem redovisas nedan:

Tabell 1. Jämförelse mellan olika typer av hejarsonder.

Egenskaper	DPL	DPM15	DPM	DPH	DPSH
Sondens massa (kg)	10	30	30	50	63,5
Fallhöjd (m)	0,5	0,5	0,5	0,5	0,75
Totalmassa (slagdyna, styrör mm)(kg)	6	18	18	18	30
Maxvikt av stång (kg)	3	6	6	6	8
Spetsens area (cm ²)	10	15	10	15	20
Sondspetsdiameter på en ny spets (mm)	35,7	43,7	35,7	43,7	50,5
Spetsdiameter på en använd spets (mm)	34	42	34	42	49
Mantellängd (mm)	35,7	43,7	35,7	43,7	50,5
Djupintervall där slagen registreras (cm)	N ₁₀ =10	N ₁₀ =10	N ₁₀ =10	N ₁₀ =10	N ₂₀ =20
Genomsnittligt antal slag (n)	3-50	3-50	3-50	3-50	5-100

Källa: Butcher et al. 1995

DPSH är den hejarsondering man använder i Sverige. Mätningarna utfördes på alla platser med de fem olika typerna av hejarsonderingar. Fem undersökningar gjordes i lösare leror och fem i hårdare leror. Därefter räknades spetstrycket för hejarsonderingarna ut med:

$$q_d = r_d \frac{M}{M + M'}$$

där

$$r_d = \frac{MgH}{Ae}$$

M = fallviktens massa (kg)

g = tyngdaccelerationen (m/s^2)

H = viktens fallhöjd (m)

A = sondspetsens area (m^2)

e = genomsnittlig penetration per slag inom aktuell djupintervall (m)

M' = totala massan av sonderingsstänger, slagdyna och styrrör (kg)

q_d = dynamiskt spetstryck (Pa)

För DPSH är r_d är numeriskt lika stort som antal slag/0,2 m uttryckt i MPa. Skjuvhållfastheten för lerorna utvärderades med in-situ test och triaxialförsök på laboratorium. Till sist jämfördes de olika spetstrycken med skjuvhållfastheten. Resultatet är två olika korrelationer, en för lösare leror och en för fastare leror:

Lösare leror

$$\tau_{fu} = \frac{q_d}{170} + 20$$

Fastare leror

$$\tau_{fu} = \frac{q_d}{22}$$

2.4.2 Frazad Nassaji och Behzad Kalantari (2011)

Allt som är skrivet i detta avsnitt refereras till Nassaji och Kalantari (2011).

Skjuvhållfasthet är en viktig parameter för geotekniken och kan utvärderas av sonderingsmetoder såsom PP, CPT, SPT och VST. SPT är en slagsondering som uppfanns av Raymond Pile company 1902. 1958 standardiserades SPT i USA, men den första dokumenterade provtagningen med SPT gjordes av Terzaghi. SPT används huvudsakligen i grovkornig jord för att utvärdera skjuvhållfasthet, friktionsvinkel, densitet, bärighet, sättningar, deformation och permeabilitet. Man kan även använda SPT i finkornigare jord för att utvärdera odränerade skjuvhållfasthet, men det ifrågasätts senare (Nassaji och Kalantari, 2011).

Olika korrelationer har föreslagits av olika forskare, där man först räknar ut ett dynamiskt spetstryck från SPT och sedan utvärderar skjuvhållfasthet med det dynamiska spetstrycket som huvudfaktor. I tabell 2 visas ett exempel från Terzaghi & Peck (1967) där de räknar ut dynamiskt spetstryck från SPT. Undersökningen är gjord på lera.

Tabell 2. Korrelation mellan N (SPT) och dynamiskt spetstryck.

Konsistens	N(SPT)	q_u (kPa)
Väldigt lös	< 2	< 25
Lös	2-4	25-50
Medium	4-8	50-100
Styv	8-15	100-200
Väldigt styv	15-30	200-400
Hård	>30	>400

Källa: Nassaji och Kalantari 2011.

Nassajis och Kalantaris undersökning bygger på 19 olika borrhålsprover som är tagna i östra och södra Tehran, Iran. Jorden som proverna är tagna i är av lösare natur. Undersökningen är uppdelat i två olika undersökningsmetoder.

Första metoden har tagit hänsyn till parametrarna vattenhalt (w_n), flytgräns (LL) och plasticitetsindex (PI). Andra metoden har inte gjort det. Varje del har även undersökts för både N_{field} och N_{60} där:

N_{field} = Parametern som SPT får fram

$$N_{60} = (C_E C_R C_B C_S C_{BF} C_C C_A) N_{field}$$

S_u = odränerad skjuvhållfasthet

C_E = korrigerande faktor med hänsyn till energi.

C_R = korrigerande faktor med hänsyn till stångens längd.

C_B = korrigerande faktor med hänsyn till borrhålsdiametern.

C_S = korrigerande faktor med hänsyn till provtagningsmetod.

C_C = korrigerande faktor med hänsyn till styrrör.

C_{BF} = korrigerande faktor med hänsyn till slagets frekvens.

C_A = korrigerande faktor med hänsyn till slagdynan.

Resultat:

Metod 1

$$S_u = 1,5N_{field} - 0,1w_n - 0,9LL + 2,4PI + 21,1 \quad (R^2 = 0,8)$$

$$S_u = 2N_{60} - 0,4w_n - 1,1LL + 2,4PI + 33,3 \quad (R^2 = 0,81)$$

Metod 2

$$S_u = 1,6N_{field} + 15,4 \quad (R^2 = 0,72)$$

$$S_u = 2,1N_{60} + 17,6 \quad (R^2 = 0,73)$$

Ett R^2 - värde förklarar hur starkt sambandet är, där 1 är starkast och 0 svagast. Nassaji och Kalantari avslutar rapporten med slutsatsen att man bör använda korrelationer som är framtagna lokalt, då det finns olika korrelationer världen runt som är framtagna i olika jordar.

3 Beskrivning av teorin

I detta avsnitt beskrivs tillvägagångssätt för korrelationsundersökning samt teorin bakom den.

Den odränerade skjuvhållfastheten i lermorän är möjlig att utvärdera med spetstryck från CPT-sondering med $\tau_{fu} = q_t/11$. Butcher et al. påstår att det är möjligt att räkna ut ett dynamiskt spetstryck från hejarsondering, som i sin tur används för att utvärdera odränerad skjuvhållfasthet i fastare leror med $\tau_{fu} = q_d/22$. Utgångspunkten är att den utvärderade skjuvhållfastheten från CPT är facit för denna korrelation, det vill säga att värden från hejarsondering jämförs med värden från CPT. Korrelationen mellan utvärdering av skjuvhållfasthet för vardera sonderingsmetoden går att förenkla till en korrelation mellan spetstrycken för vardera sonderingsmetod, relationen enligt Butcher et al. redovisas som ett exempel:

$$\tau_{fu(CPT)} = \tau_{fu(HfA)} \rightarrow$$

$$\frac{q_t}{11} = \frac{q_d}{22}$$

Butcher et al:s samband mellan spetstrycken är således

$$q_t = 0,5q_d$$

Förutsättningarna för den denna teori är att det dynamiska spetstrycket från hejarsondering räknas ut på samma sätt som Butcher et al:s rapport beskriver (se sida 20) samt att den jämförs med spetstryck från CPT som betraktas som facit i detta fall. Spetstrycken från CPT och slag/0,2 m från hejarsondering från de utvalda borrhålen finns redan i WSP:s databas. Spetstrycken är således kända och beräkningarna är enkla att utföra.

14 olika borrhålsprover testades. 13 stycken är tagna mellan Flackarp och Arlöv och ett är taget i Hällstorp.

Varje borrhål testades separat, det vill säga att i varje borrhål utfördes en CPT-sondering samt en hejarsondering som sedan jämfördes med varandra. 14 olika jämförelser testades som sedan plottades i en och samma graf. Viktigt att ha i åtanke är att det inte går att utföra två olika sonderingar på exakt samma hål, med ”i varje borrhål utfördes en CPT-sondering samt en hejarsondering” menas att de utfördes nära varandra, cirka en meter ifrån varandra.

Tillvägagångssätt för korrelationsförundersökning

Insamling av data

Först identifieras borrhål där både CPT och HfA har använts. Därefter valdes 14 olika borrhål som både hade lermorän och där CPT kunde drivas ner lika djupt som HfA.

När borrhålen var valda sorterades spetstrycken för CPT, djup och slag/0,2 m i varsin kolumn.

Jämförelse

Då det är spetstrycken som ska jämföras så beräknades ett dynamiskt spetstryck för HfA i enlighet med avsnitt 2.4.1 (s. 20):

$$q_d = r_d \frac{M}{M + M'}$$

där

M = fallviktens massa (kg)

M' = totala massan av sonderingsstänger, slagdyna och styrrör (kg)

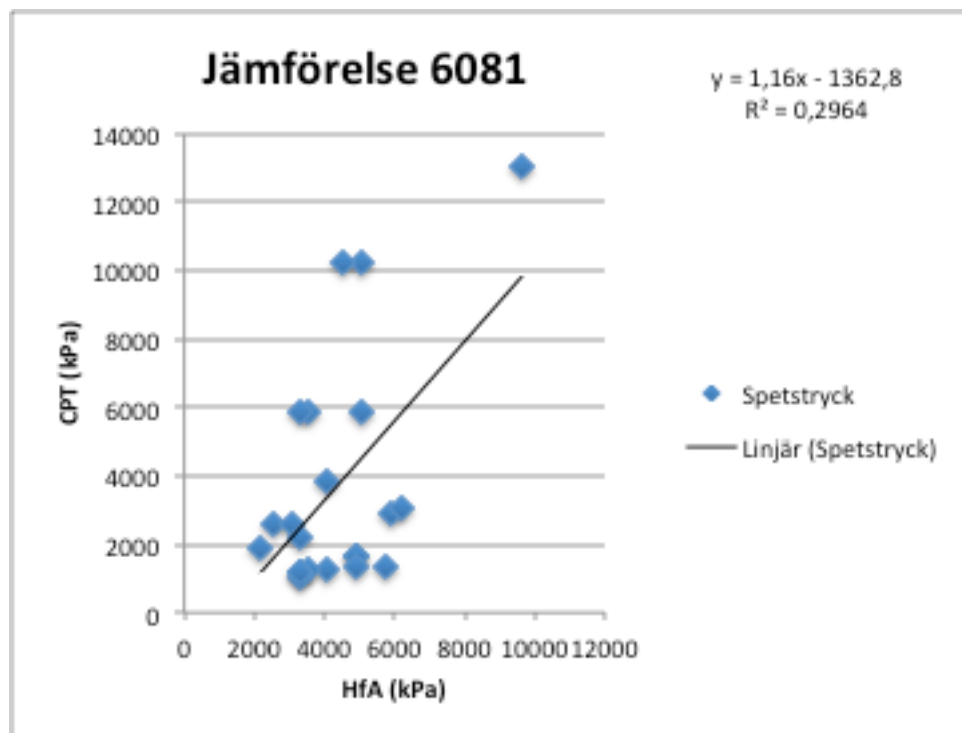
r_d = slag/0,2m · 1000 (kPa)

Enligt Geotechs (www.geotech.se) säljare Nilsson (2016) så väger slagdynans underdel 10,32 kg, slagdynans överdel 10,32 kg, styrrör 15 kg och sonderingstång 8,7 kg. Sonderingstången är bara två meter, därför kopplar man in en extra sång varannan meter. Den totala massan av de olika delarna i

hejarsonderingen blir således 44,34 kg + 8,7 kg varannan meter man driver ner och fallviktens massa (M) är 63,5 kg enligt svensk standard (Nilsson 2016). Därefter räknades det dynamiska spetstrycket ut.

Efter beräkningen av det dynamiska spetstrycket plottades punkterna i en graf för att testa ett linjärt samband samt för att se R^2 för den, R^2 kan vara mellan 0 och 1, ju närmare 1 desto säkrare korrelation. Linjära sambandet är framtaget ur en funktion i Excel. Ekvationen för den räta linjen, sambandet, används som en korrelation och testas i varje borrhål och analyseras därefter. Alla spetstryck är medianfiltrerade, det vill säga att medianen av de tre kommande spetstryck används i grafen, exempelvis om de tre första värden för spetstrycken är 1, 2 och 3 så filtreras 1 och 3 bort och 2 kvarstår. Anledningen till detta är för att filtrera bort ”extrem värden” som kan vara orsakade av att något hårdare har varit inbäddat i lermoränen. Grafen visar spetstryckets variation med djup och redovisar även punkterna som inte är median filtrerade. Exempel redovisas på nästa sida:

Spetstryck från CPT jämförs med det uträknade dynamiska spetstrycket från HfA, se figur 7.



Figur 7. Jämförelse av spetstryck från CPT och dynamiskt spetstryck från HfA för borrhål 6081.

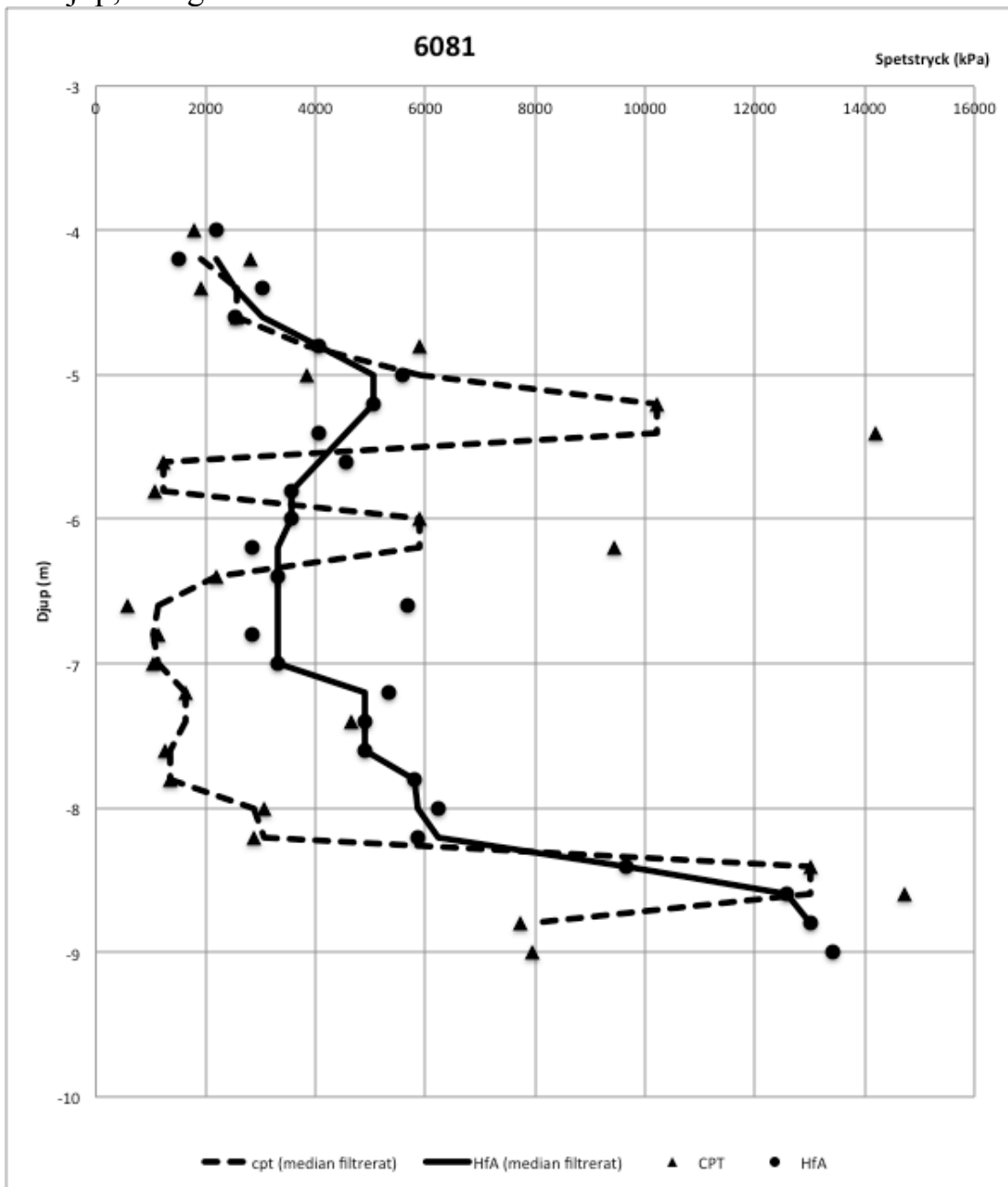
Linjära sambandet för detta exempel med ett R^2 värde på 0,3 blir:

$$q^*_d = 1,16q_d - 1300$$

där q^*_d är korrigerat dynamiskt spetstryck.

Jämförelse med hänsyn till djup:

Spetstryck från CPT och dynamiskt spetstryck från HfA redovisas med hänsyn till djup, se figur 8.



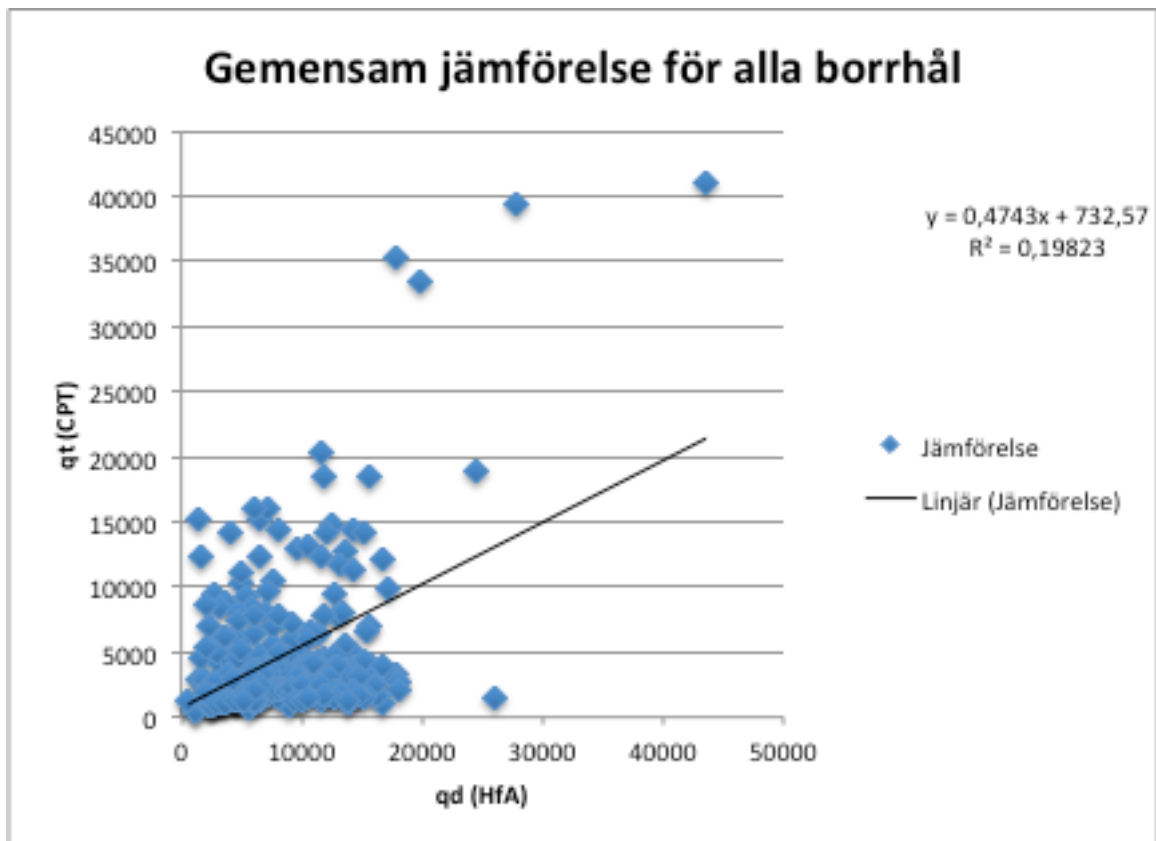
Figur 8. Redovisning av spetstryckets variation med djupet för borrhål 6081

4 Resultat

I detta avsnitt redovisas borrhålen så som exemplet i kapitel 3. Först redovisas alla borrhål i en gemensam graf därefter redovisas borrhålen med starkast samt svagast samband. All data redovisas i Bilaga.

Alla borrhål

Spetstryck från CPT och dynamiskt spetstryck från HfA jämfördes i en gemensam graf, se figur 9.



Figur 9. Gemensam jämförelse av spetstryck från CPT och dynamiskt spetstryck för HfA för alla borrhål.

Linjära sambandet för detta exempel med ett R^2 värde på 0,2 blir:

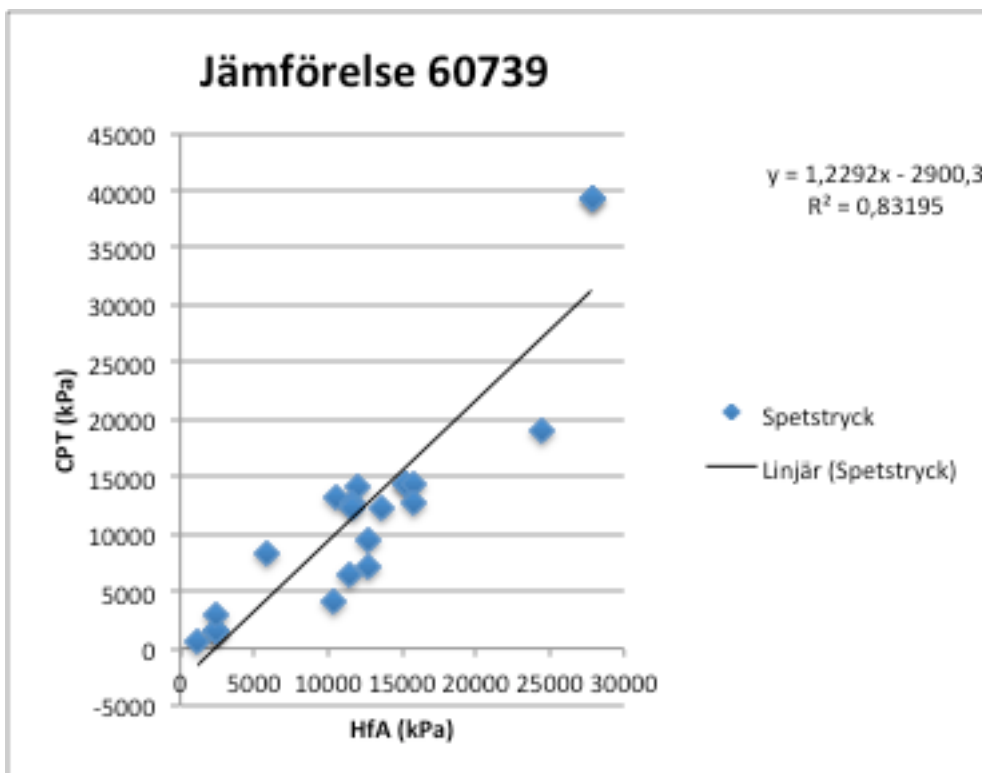
$$q_d^* = 0,47q_d + 730$$

där q_d^* är korrigerat dynamiskt spetstryck.

Slutsatsen är att det finns ett svagt samband och således ingen säker korrelation.

Borrhål med starkast samband redovisas nedan.

Graf för borrhål med starkast samband, se figur 10.



Figur 10. Jämförelse av spetstryck från CPT och dynamiskt spetstryck från HfA för borrhål 60739.

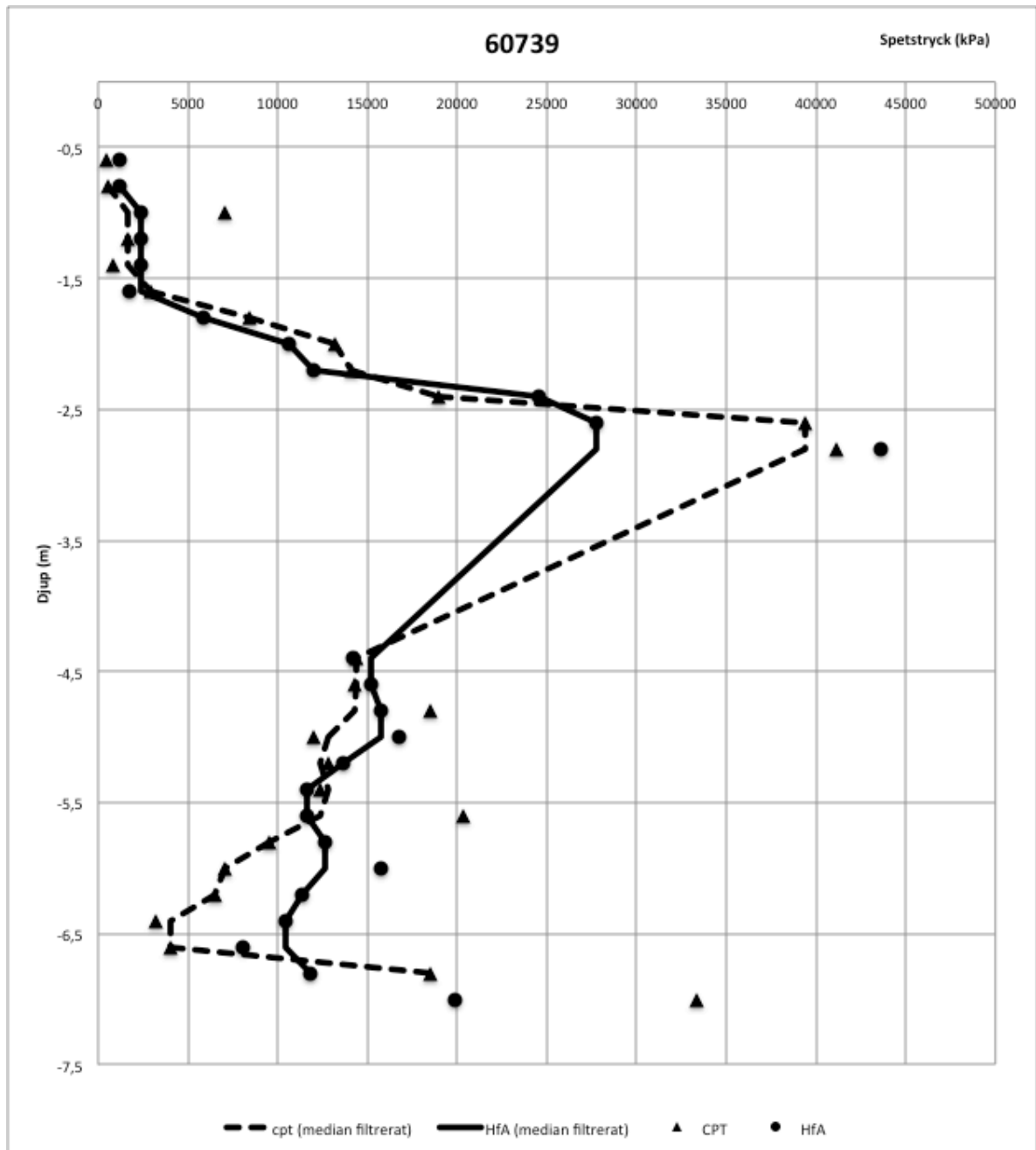
Linjära sambandet för detta exempel med ett R^2 värde på 0,8 blir:

$$q^*_d = 1,2q_d - 2900$$

där q^*_d är korrigerat dynamiskt spetstryck.

Graf med hänseende för djup

Spetstryck från CPT och dynamiskt spetstryck från HfA redovisas med hänsyn till djup för borrhål med starkast samband, se figur 11.

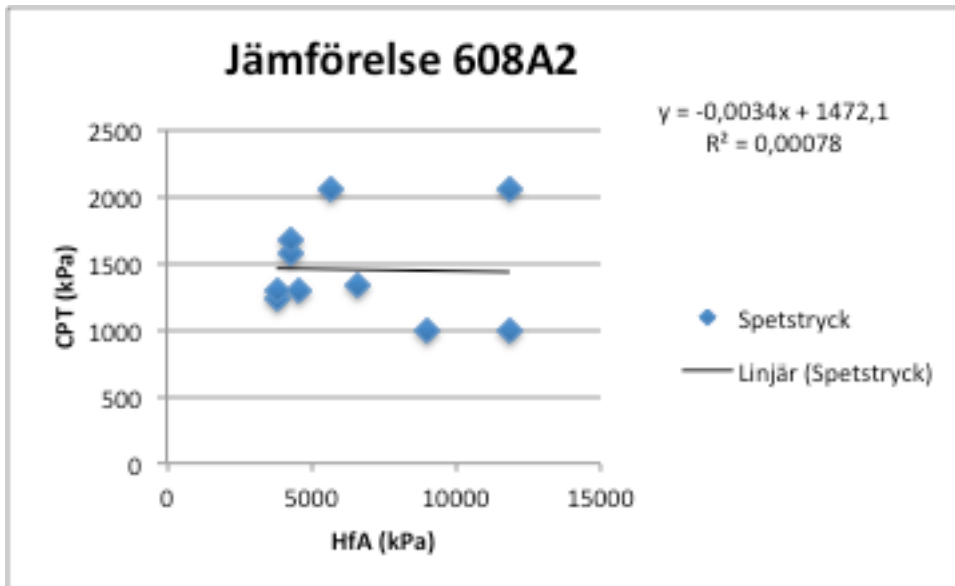


Figur 11. Redovisning av spetstryckets variation med djupet för borrhål 60739.

Detta borrhål visar en utmärkt korrelation mellan spetstrycken.

Borrhål med svagast samband redovisas nedan.

Graf för borrhål med svagast samband, se figur 12.



Figur 12. Jämförelse av spetstryck från CPT och dynamiskt spetstryck från HfA för borrhål 608A2.

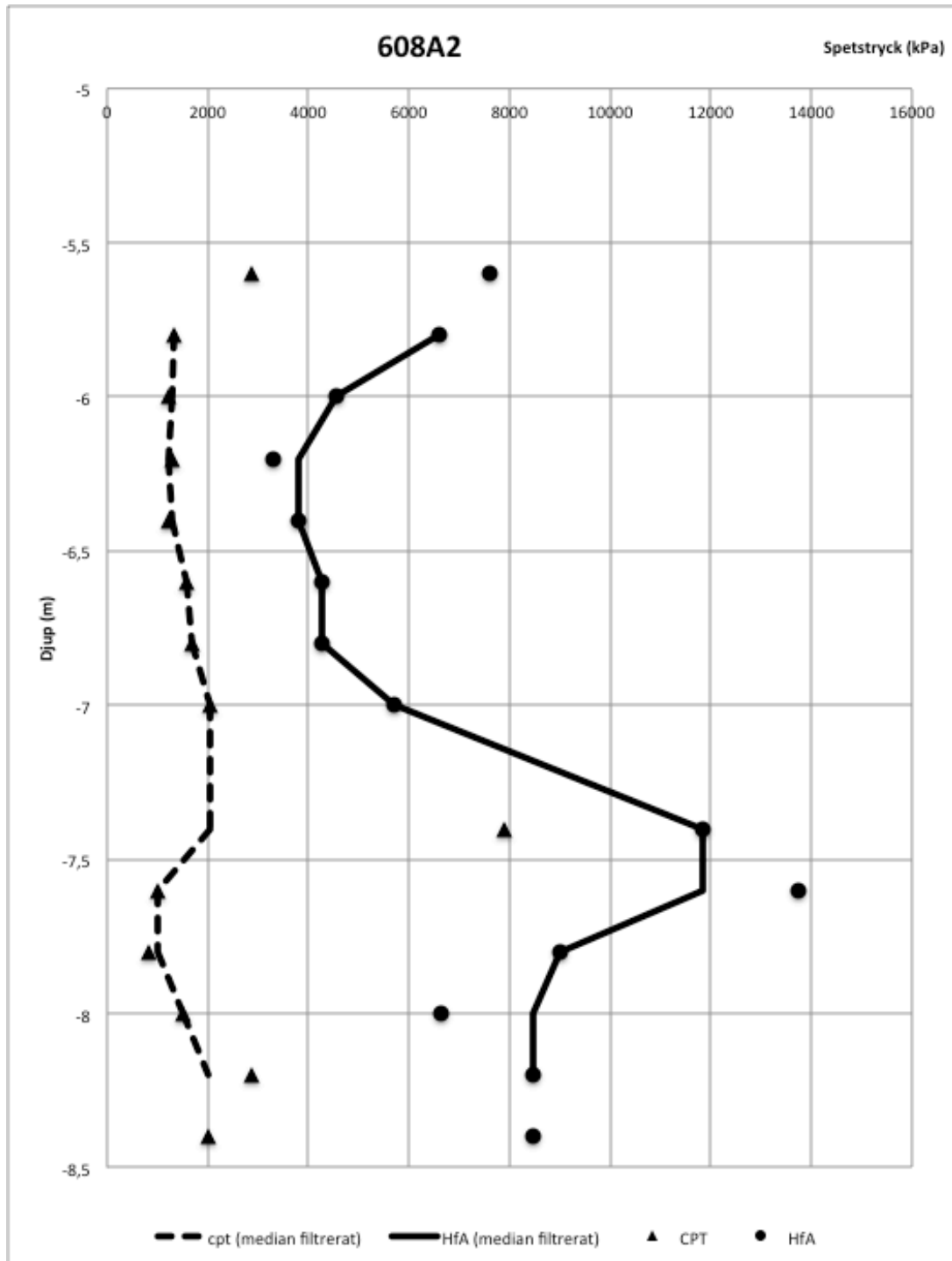
Linjära sambandet för detta exempel med ett R^2 värde på 0,0008 blir:

$$q_d^* = 0,0034(-q_d) + 1500$$

där q_d^* är korrigerat dynamiskt spetstryck.

Graf med hänseende för djup

Spetstryck från CPT och dynamiskt spetstryck från HfA redovisas med hänsyn till djup för borrhål med svagast samband, se figur 13.



Figur 13. Redovisning av spetstrycken med hänseende till djup för borrhål 608A2.

Detta borrhål visar en usel korrelation mellan spetstrycken

5 Slutsats

Slutsatsen är att det föreligger en väldigt svag korrelation mellan odränerad skjuvhållfasthet utvärderad ur CPT och HfA. Det går således inte att säga att det finns ett säkert samband mellan CPT-sondering och hejarsondering som går att utnyttja för att utvärdera skjuvhållfasthet i lermorän. I vissa borrhål kan man dock se att spetstrycken visar något samband, men inte i alla. Då lermorän kan vara olika från plats till plats så är det svårt att hitta en korrelation utan ytterligare parametrar så som Nassanji och Kalantari har gjort. En lermorän kan ha en ler- och silthalt mellan 40 % och 100% av den totala jordmassan vilket gör att det blir svårt att tillämpa och hitta en korrelation med Bucher et al. teori då den är utförd på ren lera.

Diskussion

En av slutsatserna som Nassanji och Kalantari (2011) drog var att man bör hitta en korrelation som är framtagen lokalt, och det gällde homogena jordarter. Lermorän är först och främst inte homogen, samt att det finns olika typer av lermoräner. Man bör då ha haft det som en avgränsning, att välja en sorts lermoräntyp.

Då det var provtagningar som jämfördes, alltså provtagning med CPT jämfördes med provtagning tagen en meter ifrån med HfA. Och då lermorän kan skifta så mycket från plats till plats är det en faktor som grovt sett förstör en numerisk korrelation för två olika sonderingsmetoder. Av erfarenheter (Dreifaldt, 2016) så stämmer inte ens provtagningar med enbart CPT överens om de är tagna med en meters mellanrum.

5.1 Felkällor

- Mänskliga faktorn som kan ha orsakat felkällor från fältgeoteknikerna, behandling av data och hantering av undersökning.
- Kalibreringskontroll av sondaerna kan ha skötts slarvigt
- Provtagning kan ha utförts på ett fel sätt

6 Förslag till fortsatta studier.

I detta avsnitt nämns olika korrelationer för fortsatta studier

1. Lermorän-typ

Som tidigare nämnt finns det olika typer av lermoräner, ett förslag är då att försöka göra en liknande studie, som inte kräver större resurser och analysera om det finns en "lokal" korrelation för varje lermorän-typ.

2. Ler-halt

Teoretiskt sett bör Butchers et al. samband vara starkare ju högre lerhalt/finjordshalt det är i lermoränen, ett förslag blir då att mäta lerhalt och analysera om det finns en korrelation som varierar med hur mycket lerhalt lermoränen har.

3. Viktiga parametrar

Nassais och Kalantaris studie visar att hänsynstagande till parametrar som flytgräns och vattenkvot, förbättrar en korrelation, ett förslag är då att göra en undersökning där dem parametrarna tas till hänsyn.

4. Konsolideringsgrad

Både CPT-sonderingen och hejarsonderingen beter sig olika beroende på fastheten i jorden. Som tidigare nämnt så är CPT-sondering mindre bra i fastare jordar, medan HfA är bättre i fastare jordar. Ett förslag då är att göra en undersökning som tar hänsyn till konsolideringsgraden.

Källor

- Bergdahl, Ulf. 1984. Geotekniska undersökningar i fält. Information 2. SGI.
- Bergdahl, Ulf, Möller, B. 1981. The staticdynamic penetrometer. Proc. Xth Int. Conf. On soil Mech. and found. Eng., Stockholm.
- Butcher, A.P, McElmeel, K. And Powell, J.J.M. 1995 Dynamic probing and its use in clay soils. Proceedings, International conference on advances in site investigation practice, London, Vol.2. Building Research Establishment, Watford, Herts, UK.
- Christensen, John Lennie. Schjonning, Erik. And Foged, Niels. 1992. Comparison of Clay Till Strength Parameters using BS and Danish Test Procedures. Danish geotechnical Institute. NGM-92.
- Dreifaldt, Martin. 2016. WSP Helsingborg.
- Dreifaldt, Martin. 2006. StabPier, Test och provbelastning av en ny typ av grundläggningsplint.
- Dueck, Ann. 1998. Shear strength and matric suction in clay tills. Lunds University, Lund Institute of Technology, Department of Soil Mechanics.
- Ekdahl, Ulf. 1997. Hur jorden kan utnyttjas för en 10 meters djup schakt i fast lermorän. Är negativt portryck positiva? PLANSKILD SPÅRKORSNING, LUND. Lunds Tekniska Högskola.
- Foged, Niels and Steinfeldt S, Jorgen. 1992. An Engineering Geological Approach to preloaded Clay Till Properties. Danish Geotechnical Institute. NGM-92.
- Hartlén, Jan. 1974. Skånska moränlerors hållfasthets- och bärighetsegenskaper. Chalmers tekniska högskola.
- Larsson, Rolf. 2015. CPT-sondering-utrustning-utförande-utvärdering- En in-situ metod för bestämning av jordlagerföljd och egenskaper i jord. Information 15. SGI

- Larsson, Rolf. 2008. Jordens egenskaper. Information 1. SGI.
- Larsson, Rolf. 2000. Lermorän – en litteraturstudie. Vara 420. SGI.
- Nassaji, Frazad and Kalantari, Behzad. 2011. SPT Capability to Estimate Undrained Shear Strength of Fine-Grained Soils of Tehran, Iran.
- Nilsson, Martin. 2016. Geotech.
- Steenfelt S, Jorgen and Sorenson S, Carsten. 1995. CPT- Contraption for probing in Tills? SGF Report 3:95. Danmark.
- Staveren, Martin van. 1995. Advanced deep cone penetration testing and backfilling in overconsolidated clay. SGF Report 3:95 Delft Geotechnics, Delft, The Netherlands.
- SGF. 2009. JÄMFÖRANDE SONDERINGAR JB-totalsondering, CPT och hejarsondering. SGF notat 1:2009
- <http://www.sgu.se/om-geologi/jord/ifran-istid-till-nutid/inlandsisen/moran-spar-av-inlandsisen/> 2016-02-04 kl 16:42
- <http://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/lång/empirisk> 2016-03-28 kl 16:20
- Wister, Sofia. 2010. JB-totalsondering – jämförande sonderingar och utvärdering av egenskaper i isälvlagring kring Igelstaviken. KTH. Stockholm.

Bilaga

Samband, djup och R^2 värde för alla borrhål

Tabell 3. Sammanställning av resultat från undersökningen.

Borrhål	Samband	R^2	Min Djup (-m)	Max Djup (-m)
6081	$q_d^* = 1,16 q_d - 1300$	0,3	4	9
608A2	$q_d^* = -0,003q_d + 1500$	0,001	5,6	8,4
608A3	$q_d^* = 1,6q_d - 3780$	0,5	3,8	6,2
61121	$q_d^* = -0,1q_d + 3100$	0,06	2,6	6
61130	$q_d^* = -0,15q_d + 3500$	0,67	4	8
61132	$q_d^* = -0,25q_d + 5200$	0,35	3,8	5,6
61211	$q_d^* = -0,05q_d + 4400$	0,03	0,2	8
61217	$q_d^* = -0,07q_d + 2700$	0,2	2	8
60739	$q_d^* = 1,2q_d - 2900$	0,83	0,6	7
Hällstorp	$q_d^* = -0,07q_d + 3400$	0,23	1	3,8
2	$q_d^* = 0,3q_d + 1600$	0,06	2	3,4
3	$q_d^* = -0,1q_d + 5300$	0,03	0,4	4,4
5	$q_d^* = 0,54q_d + 174$	0,34	3,6	7,8
6	$q_d^* = 0,3q_d + 1500$	0,13	4	7
Alla borrhål	$q_d^* = \frac{q_d}{2} + 730$	0,2	0,2	9

Redovisning av data och figurer

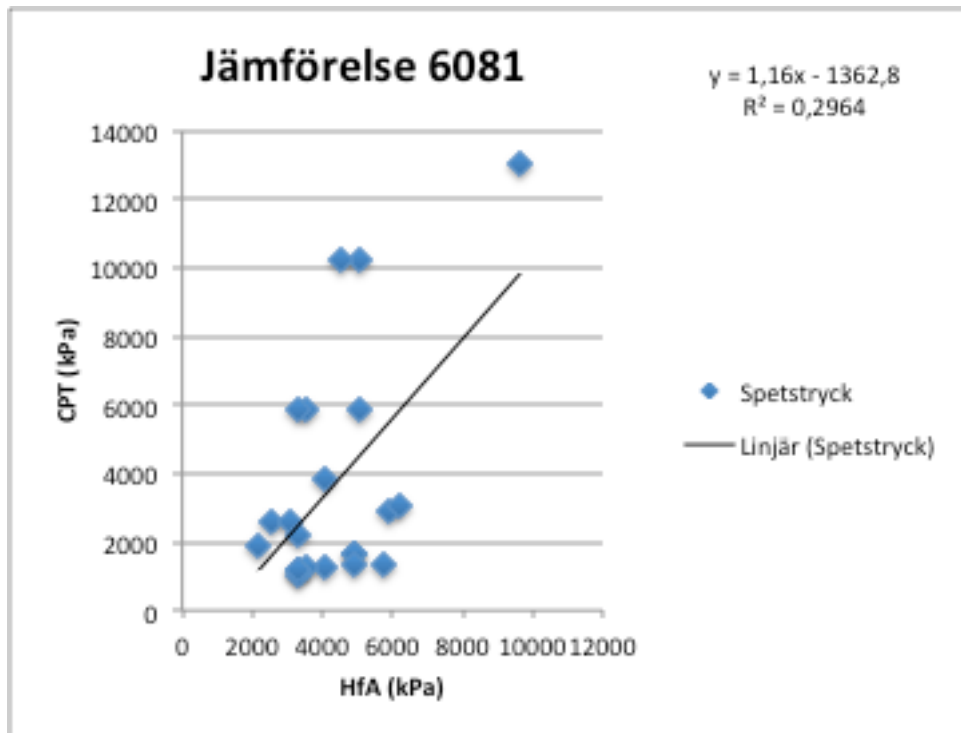
Nedan redovisas data, graf för sambandet mellan spetstryck från CPT och dynamiskt spetstryck från HfA och graf med hänseende till djup för alla borrhål, borrhålen redovisas separat i ordning: Data, graf för samband och graf med hänseende för djup.

Borrhål 6081

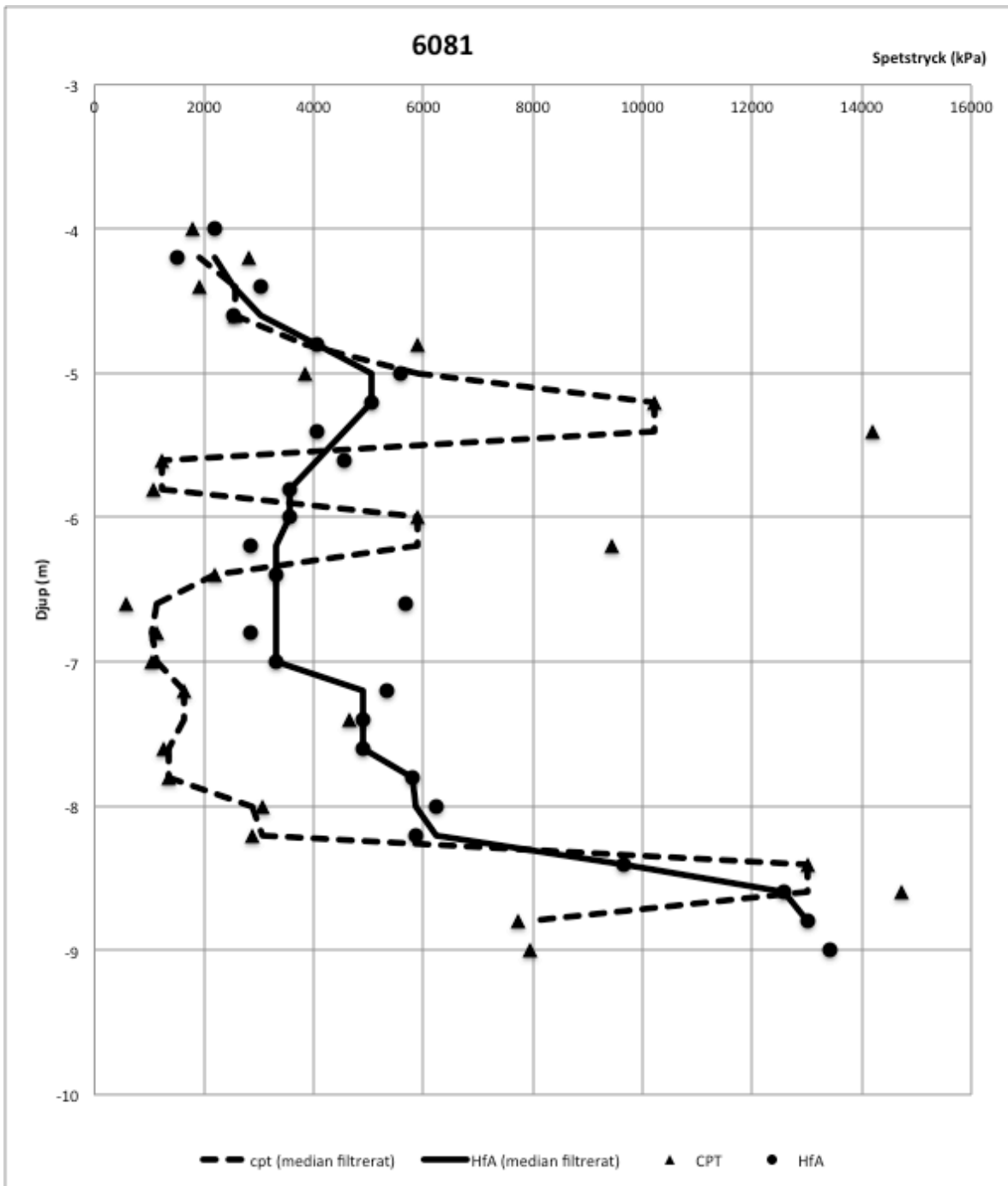
För data se figur 14, för graf med samband mellan spetstryck från CPT och dynamiskt spetstryck från HfA se figur 15 och för graf med hänseende till djup se figur 16.

Total spetstryck (CPT)	M (kg)	M' (kg)	slag / 0,2m		djup	Dynamiskt spetstryck HfA	CPT (median filtrerat)	HfA (median filtrerat)
1782	63,5	53,04	4		-4	4	2180	
2826	63,5	61,74	3		-4,2	4,2	1521	1922
1922	63,5	61,74	6		-4,4	4,4	3042	2581
2581	63,5	61,74	5		-4,6	4,6	2535	2581
5887	63,5	61,74	8		-4,8	4,8	4056	3849
3849	63,5	61,74	11		-5	5	5577	5887
10227	63,5	61,74	10		-5,2	5,2	5070	10227
14194	63,5	61,74	8		-5,4	5,4	4056	10227
1222	63,5	61,74	9		-5,6	5,6	4563	1222
1087	63,5	61,74	7		-5,8	5,8	3549	1222
5890	63,5	61,74	7		-6	6	3549	5890
9437	63,5	70,44	6		-6,2	6,2	2845	5890
2198	63,5	70,44	7		-6,4	6,4	3319	2198
585	63,5	70,44	12		-6,6	6,6	5689	1147
1147	63,5	70,44	6		-6,8	6,8	2845	1048
1048	63,5	70,44	7		-7	7	3319	1147
1645	63,5	79,14	12		-7,2	7,2	5342	1645
4639	63,5	79,14	11		-7,4	7,4	4897	1645
1251	63,5	79,14	11		-7,6	7,6	4897	1339
1339	63,5	79,14	13		-7,8	7,8	5787	1339
3060	63,5	79,14	14		-8	8	6232	2879
2879	63,5	87,84	14		-8,2	8,2	5874	3060
13013	63,5	87,84	23		-8,4	8,4	9650	13013
14723	63,5	87,84	30		-8,6	8,6	12588	13013
7730	63,5	87,84	31		-8,8	8,8	13007	7947
7947	63,5	87,84	32		-9	9	13427	13007

Figur 14. Data från borrhål 6081.



Figur 15. Jämförelse av spetstryck från CPT och dynamiskt spetstryck från HfA för borrhål 6081.



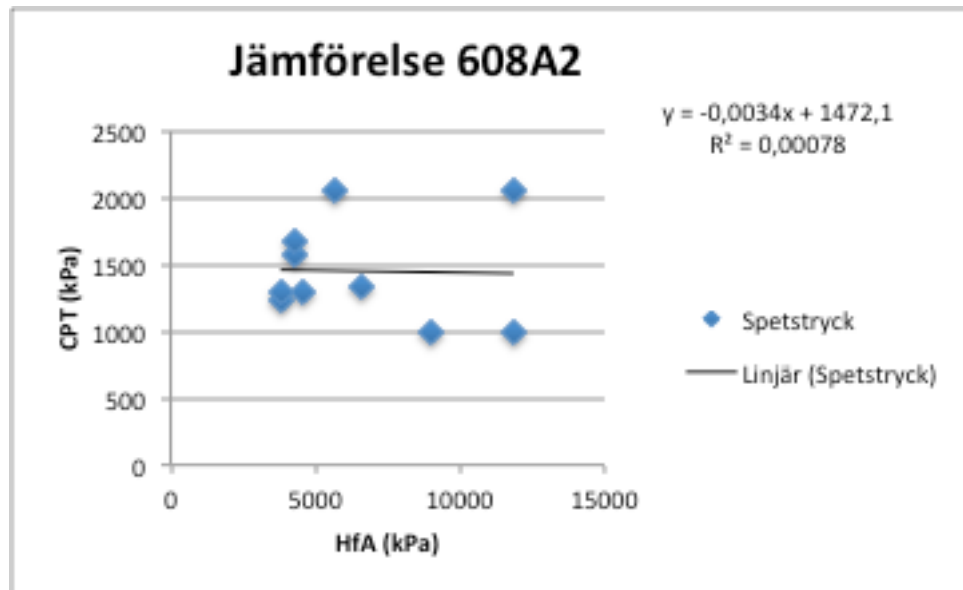
Figur 16. Redovisning av spetstryckets variation med djupet för borrhål 6081.

Borrhål 608A2

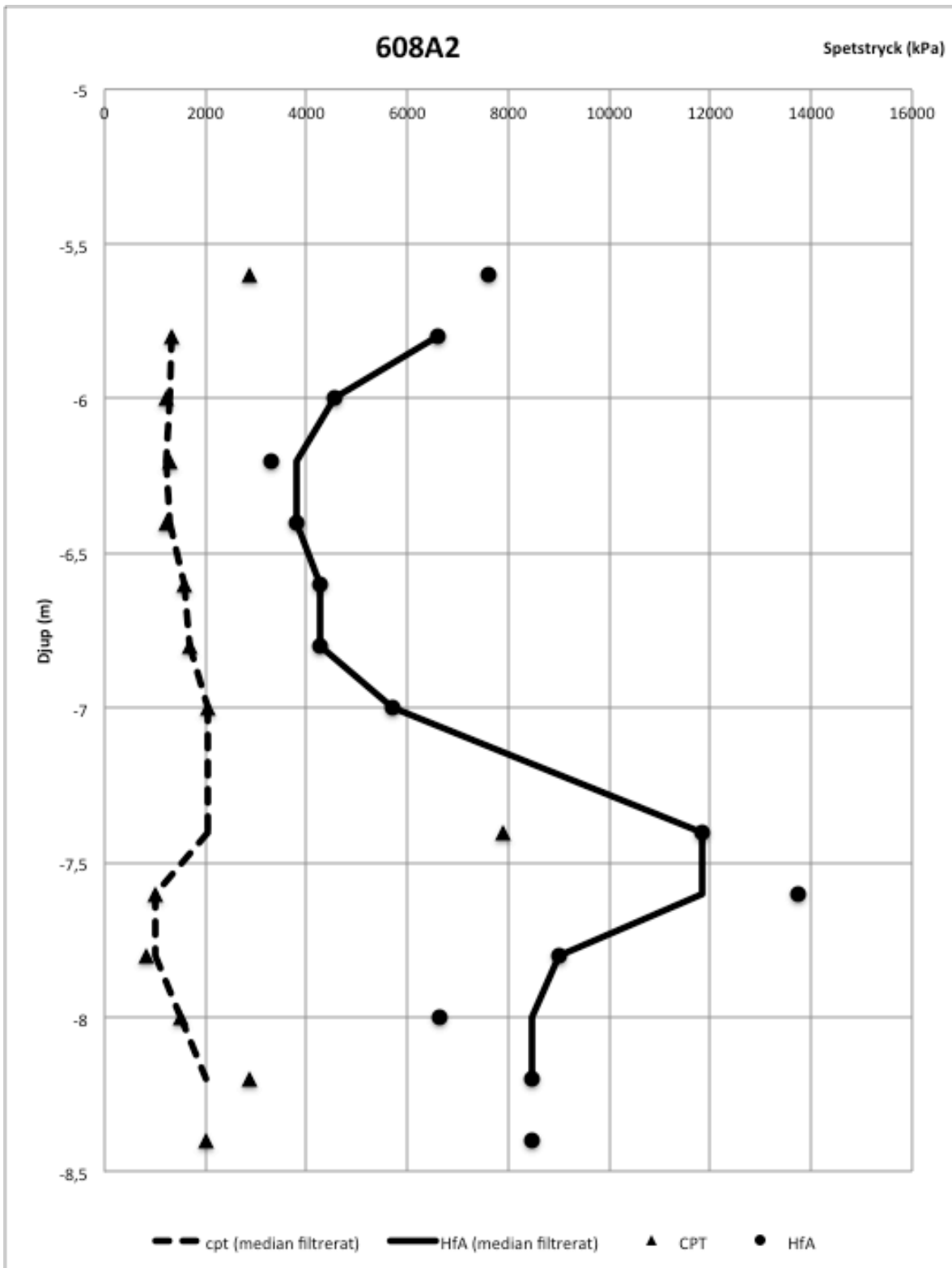
För data se figur 17, för graf med samband mellan spetstryck från CPT och dynamiskt spetstryck från HfA se figur 18 och för graf med hänseende till djup se figur 19.

Total spetstryck (CPT)	M (kg)	M' (kg)	slag / 0,2m	/	djup	Dynamiskt spetstryck HfA	CPT (median filtrerat)	HfA (median filtrerat)
2861	63,5	61,74	15		-5,6	5,6	7605	
1330	63,5	61,74	13		-5,8	5,8	6591	1330
1230	63,5	61,74	9		-6	6	4563	1289
1289	63,5	70,44	7		-6,2	6,2	3319	1230
1210	63,5	70,44	8		-6,4	6,4	3793	1289
1579	63,5	70,44	9		-6,6	6,6	4267	1579
1682	63,5	70,44	9		-6,8	6,8	4267	1682
2058	63,5	70,44	12		-7	7	5689	2058
7882	63,5	70,44	25		-7,4	7,4	11852	2058
992	63,5	70,44	29		-7,6	7,6	13749	992
817	63,5	70,44	19		-7,8	7,8	9008	992
1507	63,5	70,44	14		-8	8	6637	1507
2863	63,5	79,14	19		-8,2	8,2	8458	2023
2023	63,5	79,14	19		-8,4	8,4	8458	8458

Figur 17. Data från borrhål 608A2.



Figur 18. Jämförelse av spetstryck från CPT och dynamiskt spetstryck från HfA för borrhål 608A2.



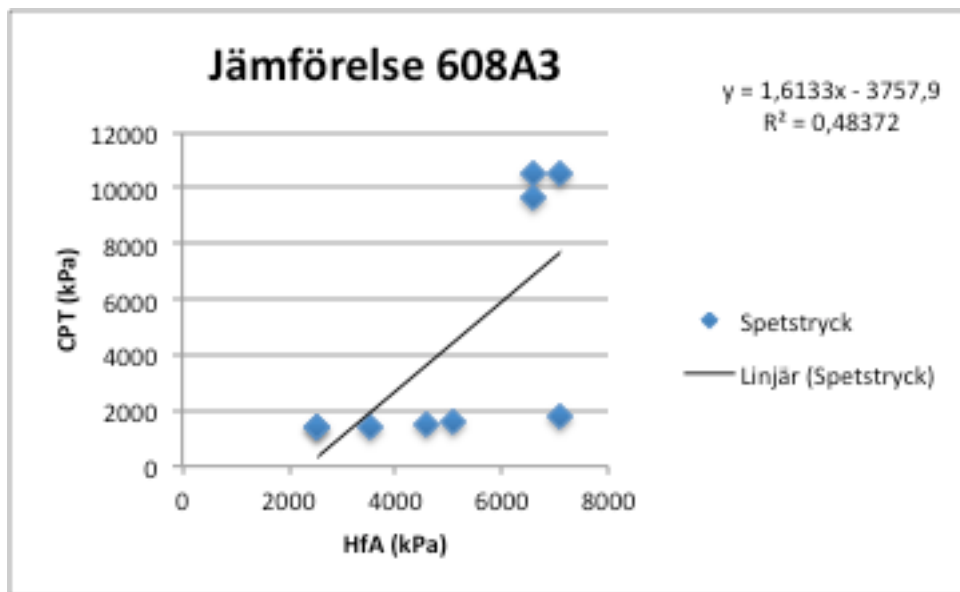
Figur 19. Redovisning av spetstrycken med hänsende till djup för borrhål 608A2.

Borrhål 608A3

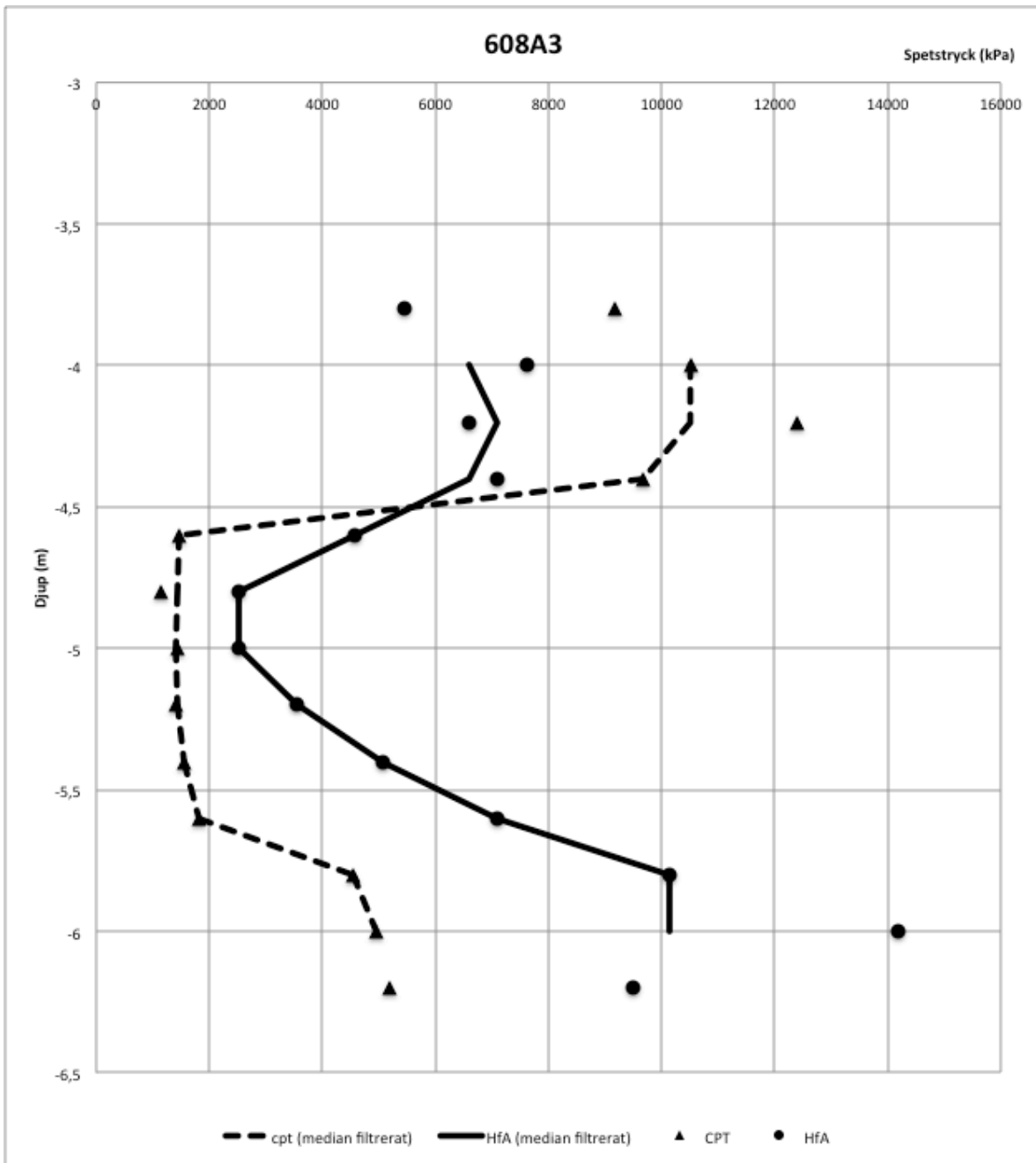
För data se figur 20, för graf med samband mellan spetstryck från CPT och dynamiskt spetstryck från HfA se figur 21 och för graf med hänseende till djup se figur 22.

Total spetstryck (CPT)	M (kg)	M' (kg)	slag / 0,2m	/	djup	Dynamiskt spetstryck HfA	CPT (median filtrerat)	HfA (median filtrerat)
9185	63,5	53,04	10		-3,8	3,8	5449	
10508	63,5	53,04	14		-4	4	7628	10508
12409	63,5	61,74	13		-4,2	4,2	6591	10508
9659	63,5	61,74	14		-4,4	4,4	7098	9659
1474	63,5	61,74	9		-4,6	4,6	4563	1474
1140	63,5	61,74	5		-4,8	4,8	2535	1427
1427	63,5	61,74	5		-5	5	2535	1397
1397	63,5	61,74	7		-5,2	5,2	3549	1427
1567	63,5	61,74	10		-5,4	5,4	5070	1567
1830	63,5	61,74	14		-5,6	5,6	7098	1830
4556	63,5	61,74	20		-5,8	5,8	10141	4556
4950	63,5	61,74	28		-6	6	14197	4950
5198	63,5	70,44	20		-6,2	6,2	9482	10141

Figur 20. Data från borrhål 608A3.



Figur 21. Jämförelse av spetstryck från CPT och dynamiskt spetstryck från HfA för borrhål 608A3.



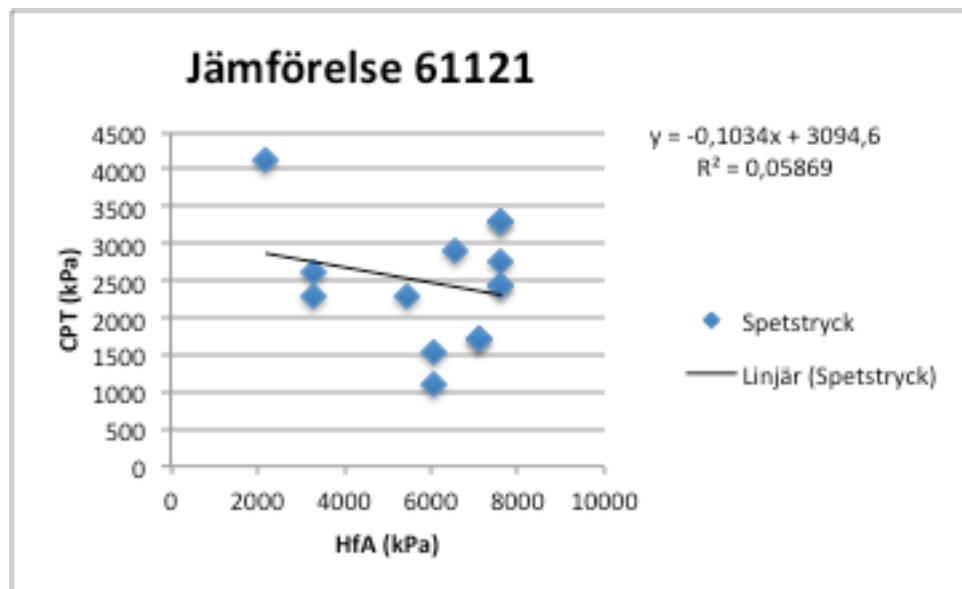
Figur 22. Redovisning av spetstryckets variation med djupet för borrhål 608A3.

Borrhål 61121

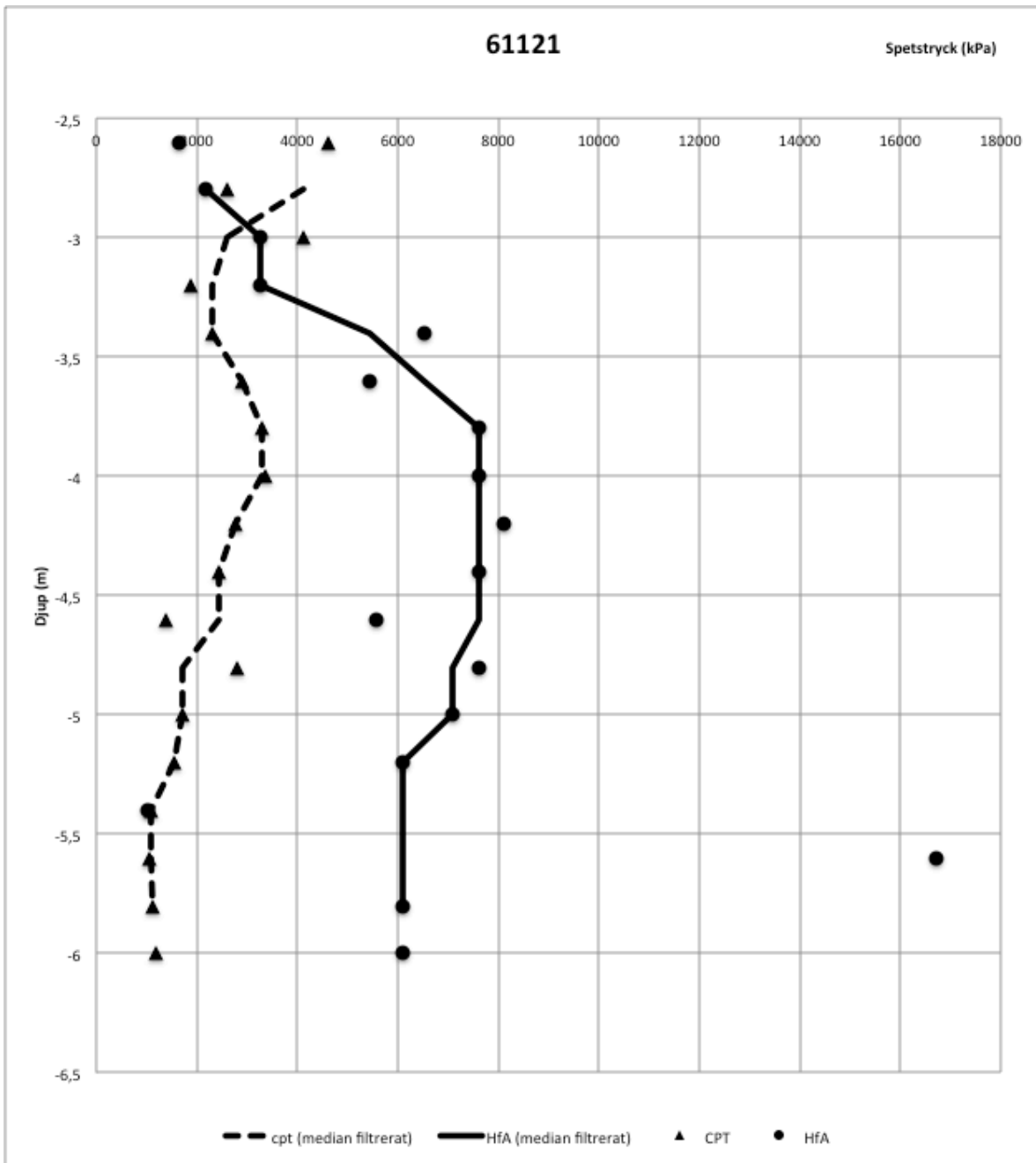
För data se figur 23, för graf med samband mellan spetstryck från CPT och dynamiskt spetstryck från HfA se figur 24 och för graf med hänseende till djup se figur 25.

Total spetstryck (CPT)	M (kg)	M' (kg)	slag 0,2m	/	djup	Dynamiskt spetstryck HfA	CPT (median filtrerat)	HfA (median filtrerat)
4619	63,5	53,04	3		-2,6	2,6	1635	
2599	63,5	53,04	4		-2,8	2,8	2180	4133
4133	63,5	53,04	6		-3	3	3269	2599
1884	63,5	53,04	6		-3,2	3,2	3269	2293
2293	63,5	53,04	12		-3,4	3,4	6539	2293
2915	63,5	53,04	10		-3,6	3,6	5449	2915
3285	63,5	53,04	14		-3,8	3,8	7628	3285
3353	63,5	53,04	14		-4	4	7628	3285
2754	63,5	61,74	16		-4,2	4,2	8112	2754
2432	63,5	61,74	15		-4,4	4,4	7605	2432
1372	63,5	61,74	11		-4,6	4,6	5577	2432
2814	63,5	61,74	15		-4,8	4,8	7605	1729
1729	63,5	61,74	14		-5	5	7098	1729
1544	63,5	61,74	12		-5,2	5,2	6084	1544
1099	63,5	61,74	2		-5,4	5,4	1014	1099
1071	63,5	61,74	33		-5,6	5,6	16732	1099
1128	63,5	61,74	12		-5,8	5,8	6084	1128
1184	63,5	61,74	12		-6	6	6084	6084

Figur 23. Data från borrhål 61121.



Figur 24. Jämförelse av spetstryck från CPT och dynamiskt spetstryck från HfA för borrhål 61211.



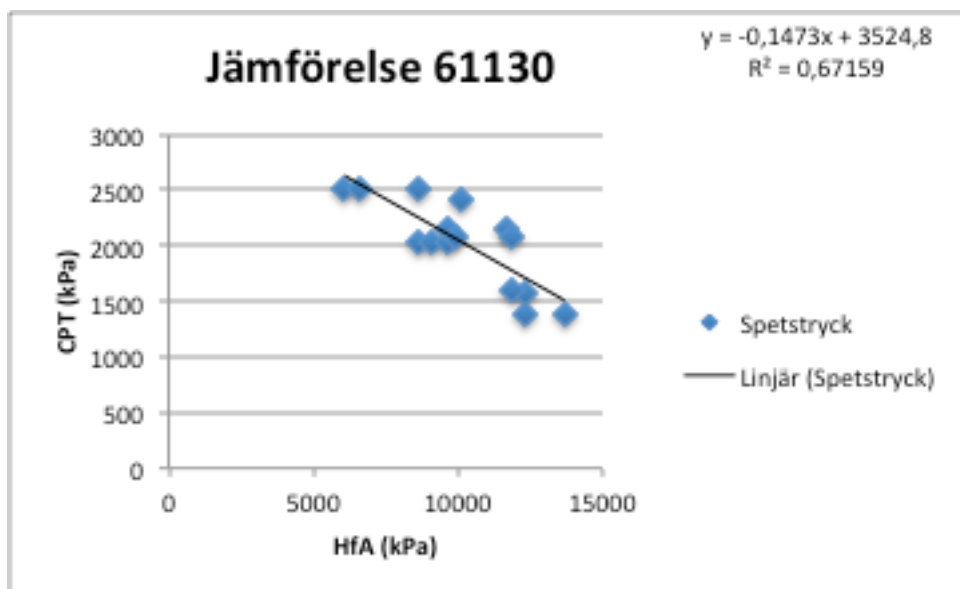
Figur 25. Redovisning av spetstryckets variation med djupet för borrhål 61211.

Borrhål 61130

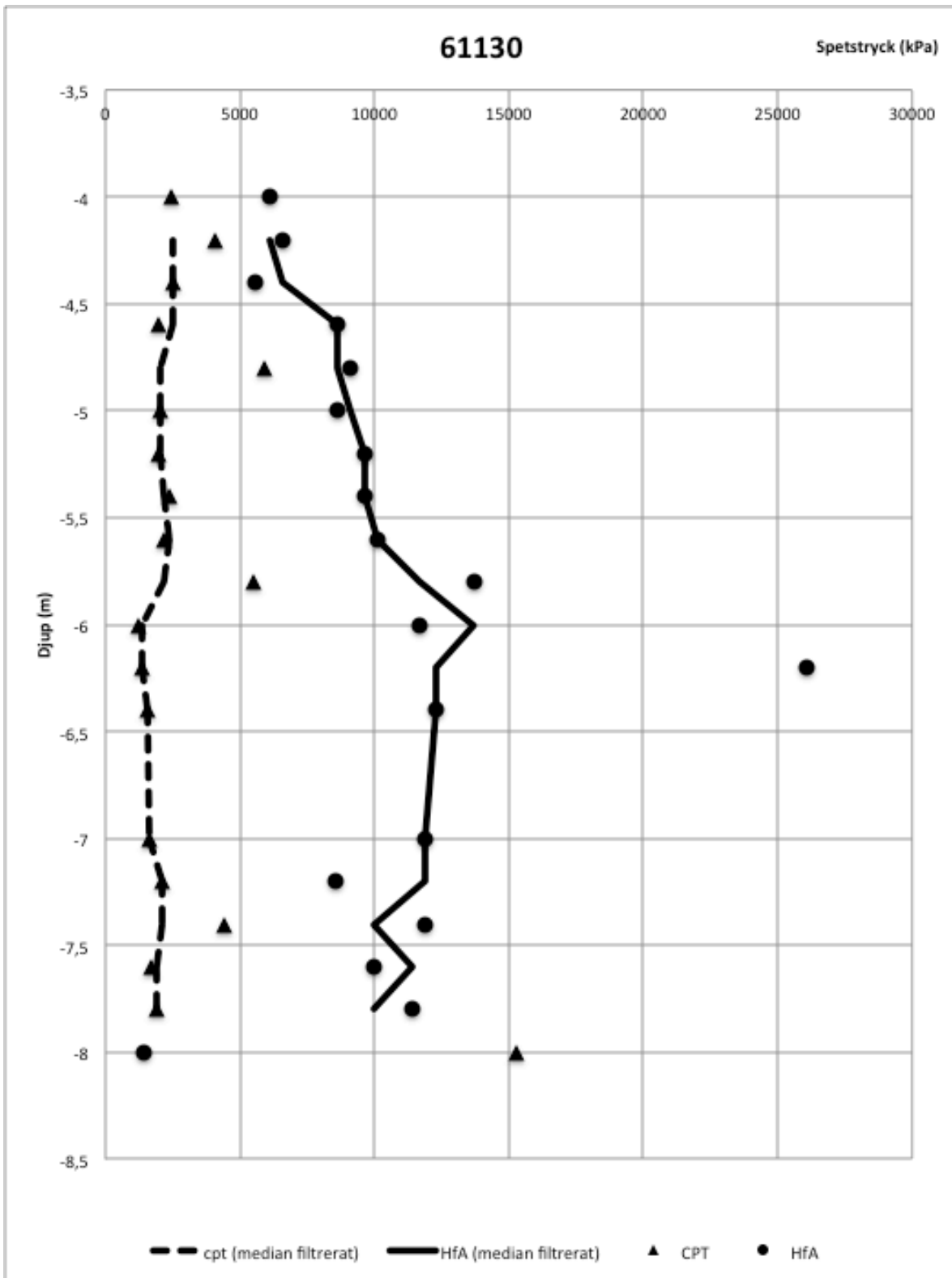
För data se figur 26, för graf med samband mellan spetstryck från CPT och dynamiskt spetstryck från HfA se figur 27 och för graf med hänseende till djup se figur 28.

Total spetstryck (CPT)	M (kg)	M' (kg)	slag / 0,2m	djup	Dynamiskt spetstryck HfA	CPT (median filtrerat)	HfA (median filtrerat)
2453	63,5	61,74	12	-4	4	6084	
4058	63,5	61,74	13	-4,2	4,2	6591	2510
2510	63,5	61,74	11	-4,4	4,4	5577	2510
1960	63,5	61,74	17	-4,6	4,6	8619	2510
5883	63,5	61,74	18	-4,8	4,8	9126	2036
2036	63,5	61,74	17	-5	5	8619	2036
1982	63,5	61,74	19	-5,2	5,2	9634	2036
2409	63,5	61,74	19	-5,4	5,4	9634	2156
2156	63,5	61,74	20	-5,6	5,6	10141	2409
5517	63,5	61,74	27	-5,8	5,8	13690	2156
1228	63,5	61,74	23	-6	6	11662	1377
1377	63,5	70,44	55	-6,2	6,2	26075	1377
1573	63,5	70,44	26	-6,4	6,4	12326	1573
1601	63,5	70,44	25	-7	7	11852	1601
2088	63,5	70,44	18	-7,2	7,2	8534	2088
4443	63,5	70,44	25	-7,4	7,4	11852	2088
1708	63,5	70,44	21	-7,6	7,6	9956	1934
1934	63,5	70,44	24	-7,8	7,8	11378	1934
15251	63,5	70,44	3	-8	8	1422	

Figur 26. Data från borrhål 61130.



Figur 27. Jämförelse av spetstryck från CPT och dynamiskt spetstryck från HfA för borrhål 61130.



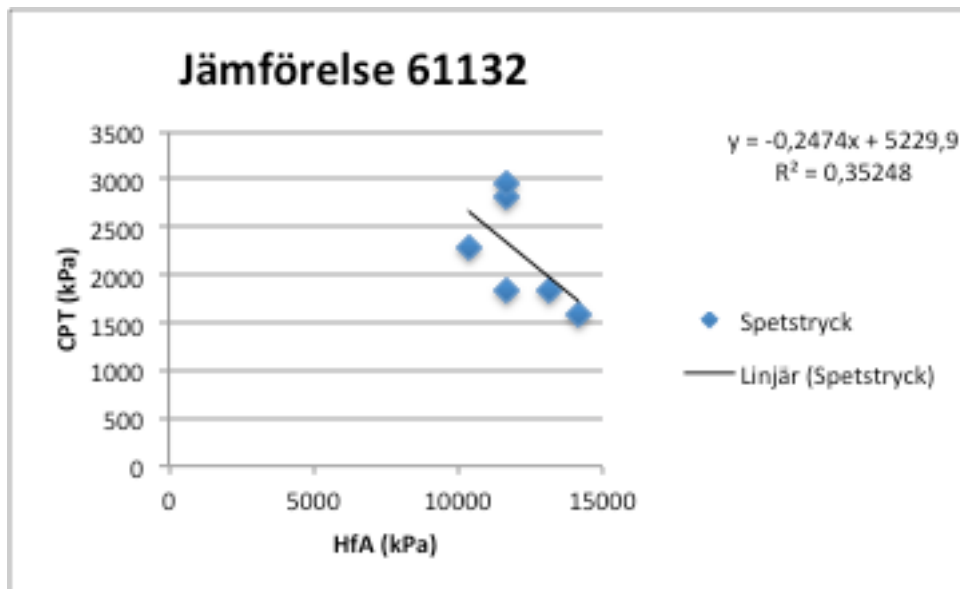
Figur 28. Redovisning av spetstryckets variation med djupet för borrhål 61130.

Borrhål 61132

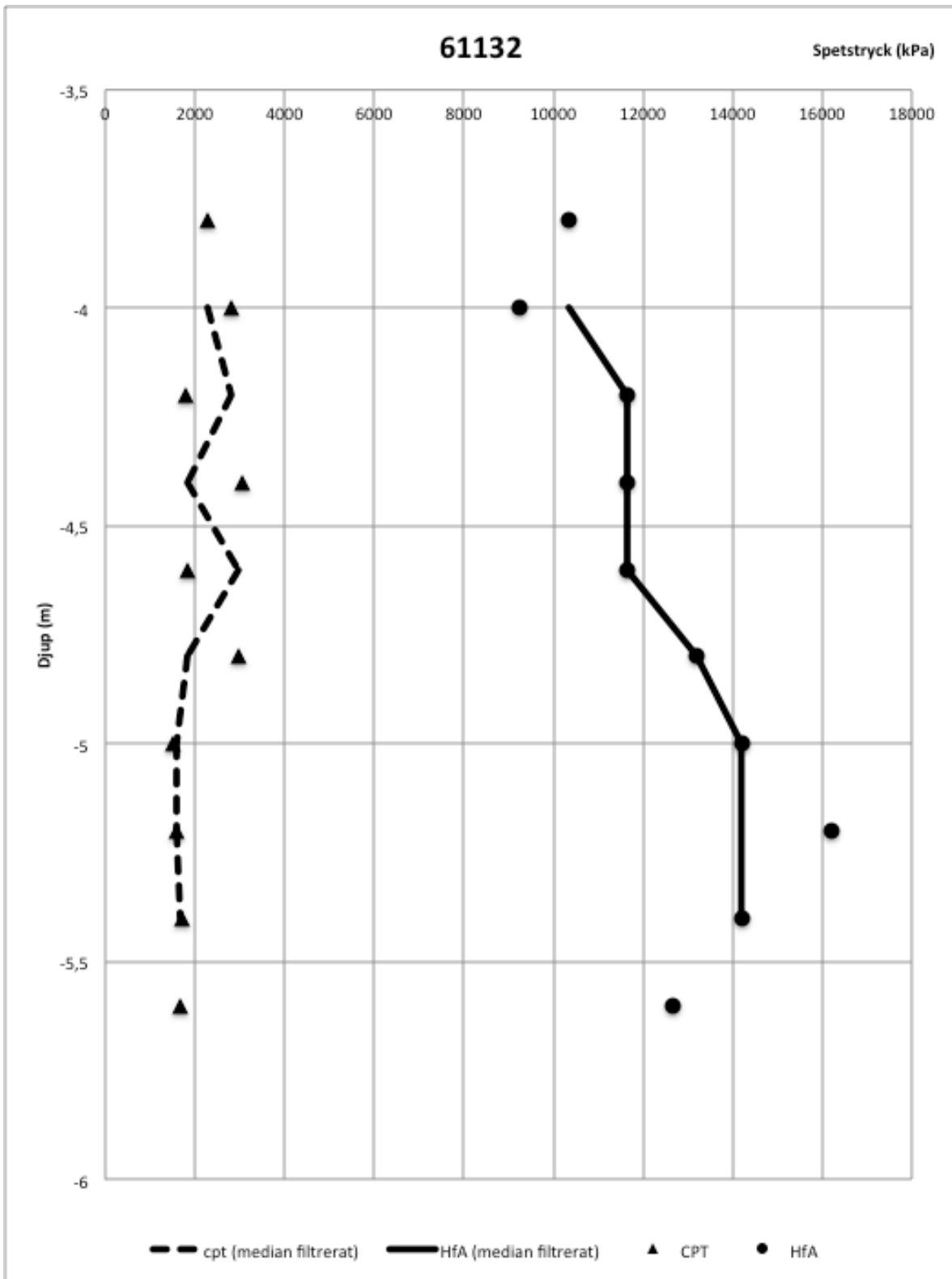
För data se figur 29, för graf med samband mellan spetstryck från CPT och dynamiskt spetstryck från HfA se figur 30 och för graf med hänseende till djup se figur 31.

Total spetstryck (CPT)	M (kg)	M' (kg)	slag 0,2m	/	djup	Dynamiskt spetstryck HfA	CPT (median filtrerat)	HfA (median filtrerat)
2297	63,5	53,04	19		-3,8	3,8	10353	
2826	63,5	53,04	17		-4	4	9263	2297
1792	63,5	61,74	23		-4,2	4,2	11662	2826
3064	63,5	61,74	23		-4,4	4,4	11662	1850
1850	63,5	61,74	23		-4,6	4,6	11662	2970
2970	63,5	61,74	26		-4,8	4,8	13183	1850
1497	63,5	61,74	28		-5	5	14197	1597
1597	63,5	61,74	32		-5,2	5,2	16225	1597
1720	63,5	61,74	28		-5,4	5,4	14197	1663
1663	63,5	61,74	25		-5,6	5,6	12676	14197

Figur 29. Data från borrhål 61132.



Figur 30. Jämförelse av spetstryck från CPT och dynamiskt spetstryck från HfA för borrhål 61132.



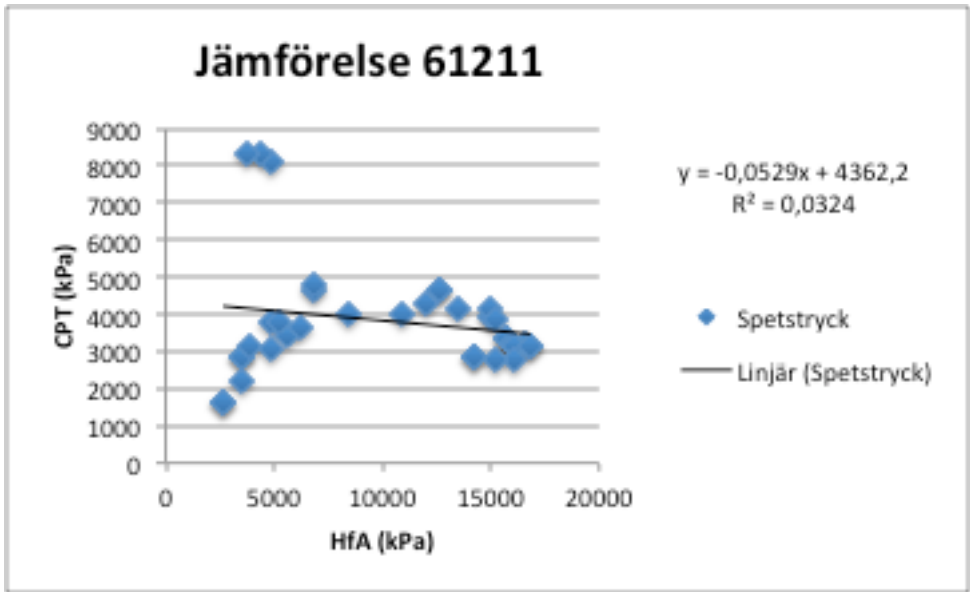
Figur 31. Redovisning av spetstryckets variation med djupet för borrhål 61132.

Borrhål 61211

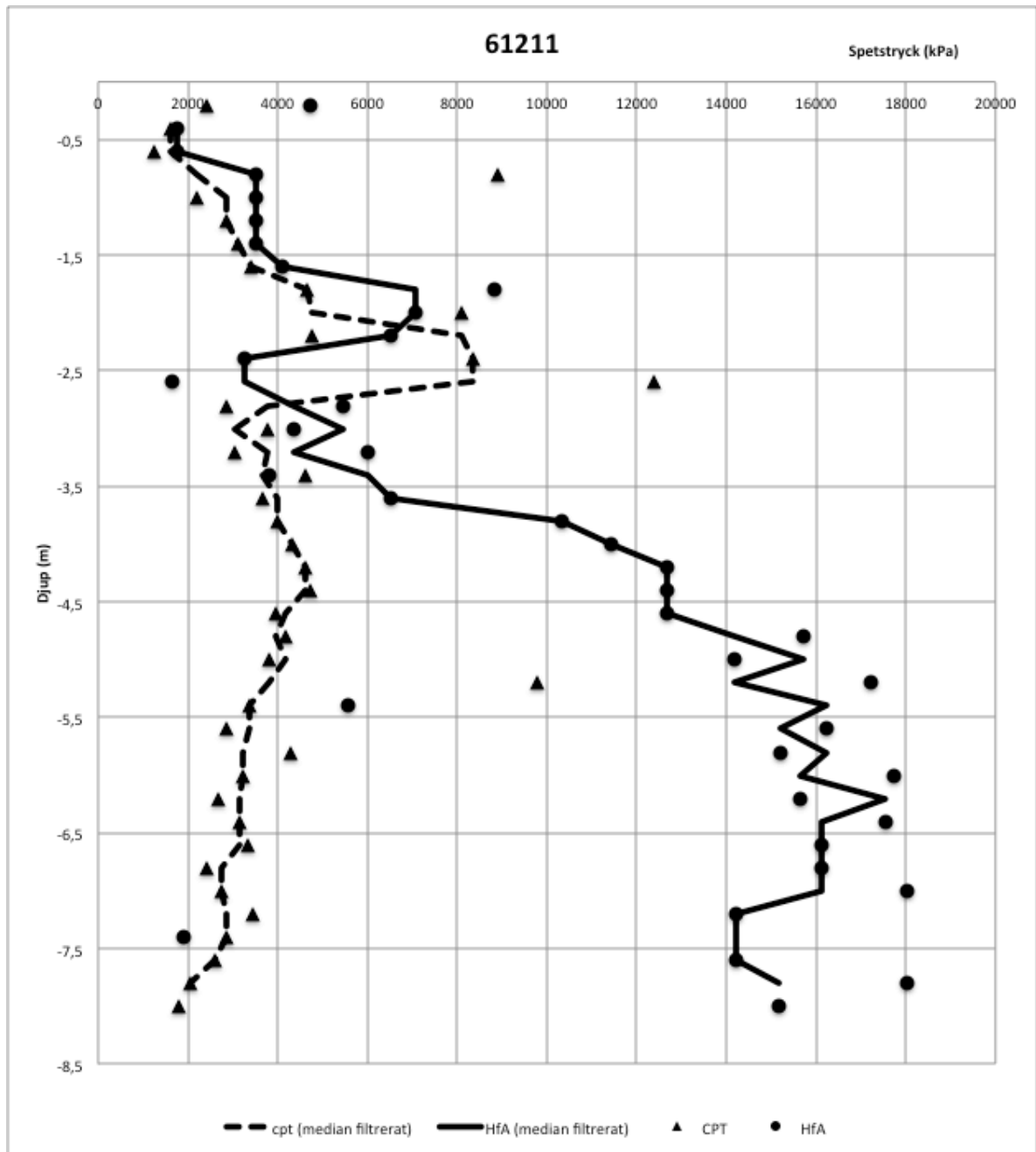
För data se figur 32, för graf med samband mellan spetstryck från CPT och dynamiskt spetstryck från HfA se figur 33 och för graf med hänseende till djup se figur 34.

Total spetstryck (CPT)	M (kg)	M' (kg)	slag 0,2m	/	djup	Dynamiskt spetstryck HfA	CPT (median filtrerat)	HfA (median filtrerat)
2419	63,5	44,34	8		-0,2	0,2	4711	
1618	63,5	44,34	3		-0,4	0,4	1767	1618
1244	63,5	44,34	3		-0,6	0,6	1767	1618
8895	63,5	44,34	6		-0,8	0,8	3533	2208
2208	63,5	44,34	6		-1	1	3533	2853
2853	63,5	44,34	6		-1,2	1,2	3533	2853
3134	63,5	44,34	6		-1,4	1,4	3533	3134
3399	63,5	44,34	7		-1,6	1,6	4122	3399
4666	63,5	44,34	15		-1,8	1,8	8833	4666
8114	63,5	44,34	12		-2	2	7066	4781
4781	63,5	53,04	12		-2,2	2,2	6539	8114
8348	63,5	53,04	6		-2,4	2,4	3269	8348
12398	63,5	53,04	3		-2,6	2,6	1635	8348
2841	63,5	53,04	10		-2,8	2,8	5449	3789
3789	63,5	53,04	8		-3	3	4359	3052
3052	63,5	53,04	11		-3,2	3,2	5994	3789
4601	63,5	53,04	7		-3,4	3,4	3814	3681
3681	63,5	53,04	12		-3,6	3,6	6539	4002
4002	63,5	53,04	19		-3,8	3,8	10353	4002
4310	63,5	53,04	21		-4	4	11442	4310
4628	63,5	61,74	25		-4,2	4,2	12676	4628
4743	63,5	61,74	25		-4,4	4,4	12676	4628
3950	63,5	61,74	25		-4,6	4,6	12676	4171
4171	63,5	61,74	31		-4,8	4,8	15718	3950
3830	63,5	61,74	28		-5	5	14197	4171
9798	63,5	61,74	34		-5,2	5,2	17239	3830
3384	63,5	61,74	11		-5,4	5,4	5577	3384
2872	63,5	61,74	32		-5,6	5,6	16225	3384
4293	63,5	61,74	30		-5,8	5,8	15211	3230
3230	63,5	61,74	35		-6	6	17746	3230
2694	63,5	70,44	33		-6,2	6,2	15645	3145
3145	63,5	70,44	37		-6,4	6,4	17541	3145
3330	63,5	70,44	34		-6,6	6,6	16119	3145
2420	63,5	70,44	34		-6,8	6,8	16119	2758
2758	63,5	70,44	38		-7	7	18016	2758
3459	63,5	70,44	30		-7,2	7,2	14223	2876
2876	63,5	70,44	4		-7,4	7,4	1896	2876
2595	63,5	70,44	30		-7,6	7,6	14223	2595
2042	63,5	70,44	38		-7,8	7,8	18016	2042
1783	63,5	70,44	32		-8	8	15171	15171

Figur 32. Data från borrhål 61211.



Figur 33. Jämförelse av spetstryck från CPT och dynamiskt spetstryck från HfA för borrhål 61211.



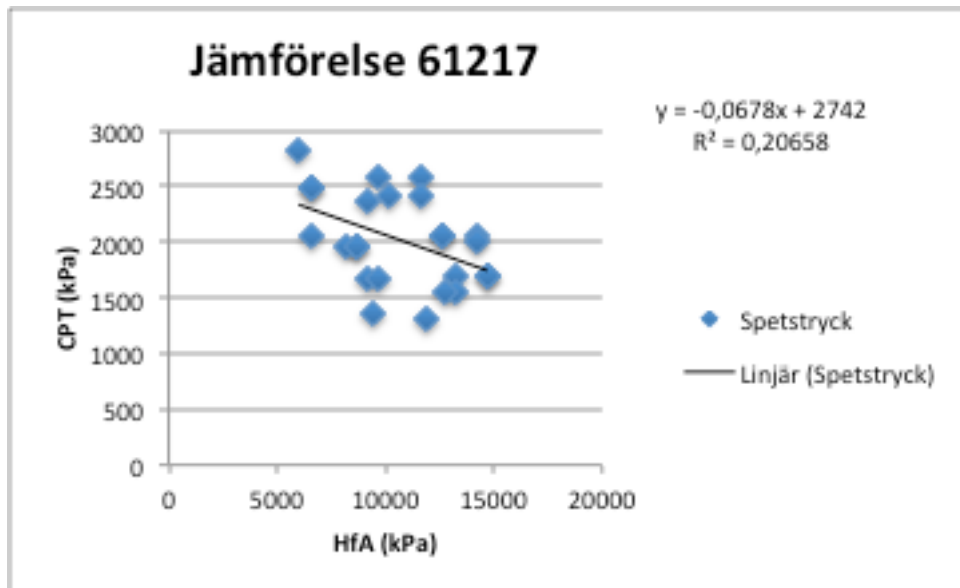
Figur 34. Redovisning av spetstryckets variation med djupet för borrhål 61211.

Borrhål 61217

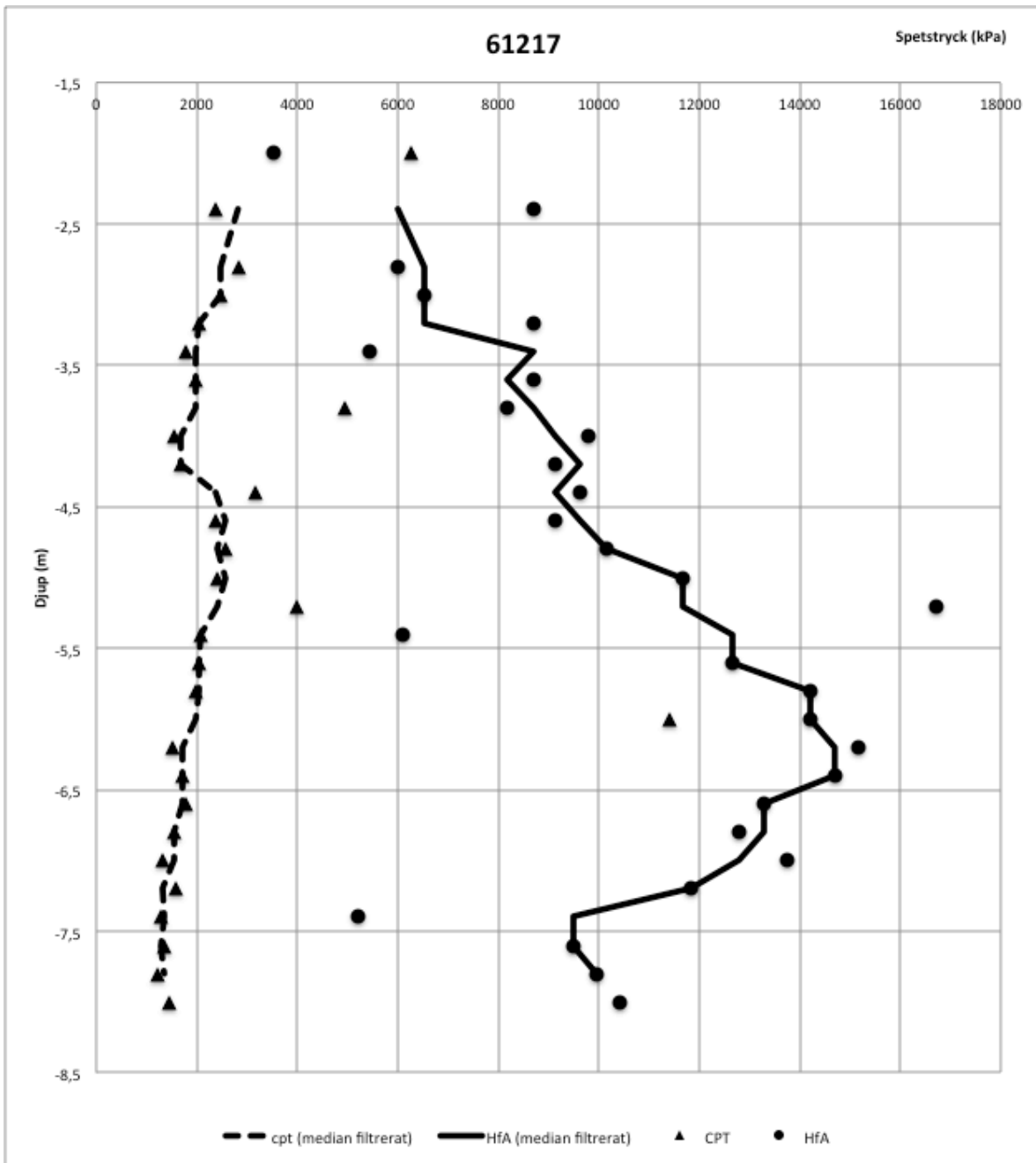
För data se figur 35, för graf med samband mellan spetstryck från CPT och dynamiskt spetstryck från HfA se figur 36 och för graf med hänseende till djup se figur 37.

Total spetstryck (CPT)	M (kg)	M' (kg)	slag 0,2m	/	djup	Dynamiskt spetstryck HfA	CPT (median filtrerat)	HfA (median filtrerat)
6257	63,5	44,34		6	-2	2	3533	
2371	63,5	53,04		16	-2,4	2,4	8718	2821
2821	63,5	53,04		11	-2,8	2,8	5994	2485
2485	63,5	53,04		12	-3	3	6539	2485
2059	63,5	53,04		16	-3,2	3,2	8718	2059
1778	63,5	53,04		10	-3,4	3,4	5449	1969
1969	63,5	53,04		16	-3,6	3,6	8718	1969
4936	63,5	53,04		15	-3,8	3,8	8173	1969
1556	63,5	53,04		18	-4	4	9808	1678
1678	63,5	61,74		18	-4,2	4,2	9126	1678
3169	63,5	61,74		19	-4,4	4,4	9634	2359
2359	63,5	61,74		18	-4,6	4,6	9126	2577
2577	63,5	61,74		20	-4,8	4,8	10141	2424
2424	63,5	61,74		23	-5	5	11662	2577
3987	63,5	61,74		33	-5,2	5,2	16732	2424
2065	63,5	61,74		12	-5,4	5,4	6084	2065
2046	63,5	61,74		25	-5,6	5,6	12676	2046
1995	63,5	61,74		28	-5,8	5,8	14197	2046
11393	63,5	61,74		28	-6	6	14197	1995
1510	63,5	70,44		32	-6,2	6,2	15171	1704
1704	63,5	70,44		31	-6,4	6,4	14697	1704
1789	63,5	70,44		28	-6,6	6,6	13275	1704
1555	63,5	70,44		27	-6,8	6,8	12801	1555
1317	63,5	70,44		29	-7	7	13749	1555
1582	63,5	70,44		25	-7,2	7,2	11852	1317
1295	63,5	70,44		11	-7,4	7,4	5215	1351
1351	63,5	70,44		20	-7,6	7,6	9482	1295
1210	63,5	70,44		21	-7,8	7,8	9956	1351
1445	63,5	70,44		22	-8	8	10430	

Figur 35. Data från borrhål 61217.



Figur 36. Jämförelse av spetstryck från CPT och dynamiskt spetstryck från HfA för borrhål 61217.



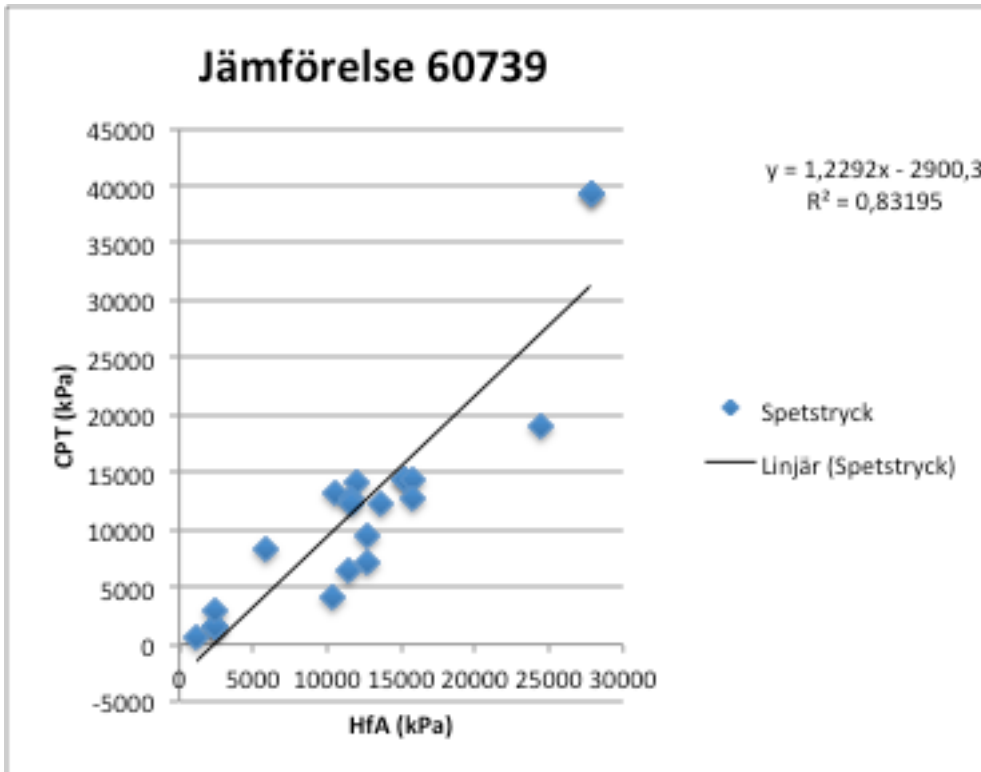
Figur 37. Redovisning av spetstryckets variation med djupet för borrhål 61217.

Borrhål 60739

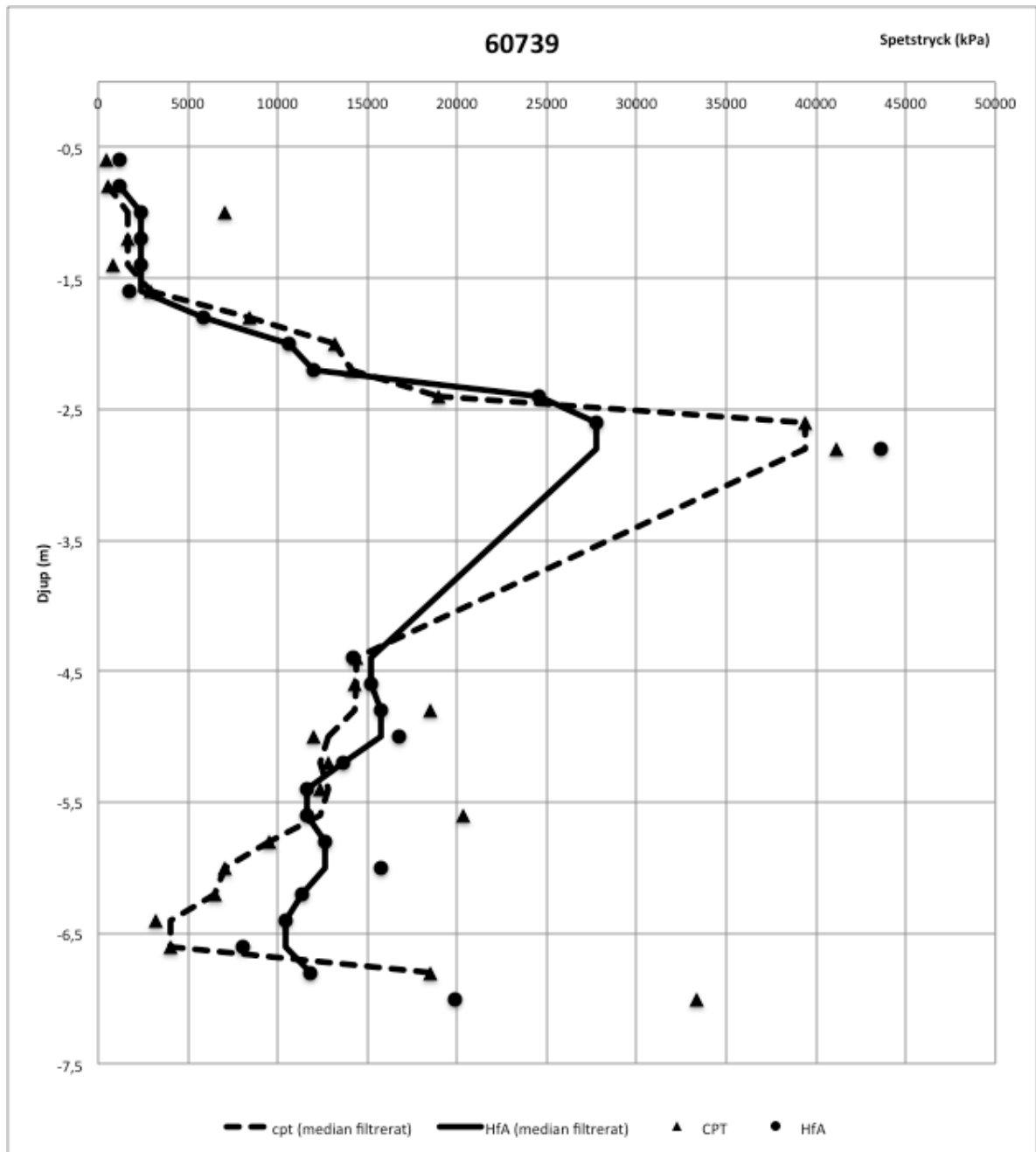
För data se figur 38, för graf med samband mellan spetstryck från CPT och dynamiskt spetstryck från HfA se figur 39 och för graf med hänseende till djup se figur 40.

Total spetstryck (CPT)	M (kg)	M' (kg)	slag / 0,2m	djup	Dynamiskt spetstryck HfA	CPT (median filtrerat)	HfA (median filtrerat)
472	63,5	44,34	2	-0,6	0,6	1178	
532	63,5	44,34	2	-0,8	0,8	1178	532
7073	63,5	44,34	4	-1	1	2355	1608
1608	63,5	44,34	4	-1,2	1,2	2355	1608
813	63,5	44,34	4	-1,4	1,4	2355	1608
2938	63,5	44,34	3	-1,6	1,6	1767	2938
8397	63,5	44,34	10	-1,8	1,8	5888	8397
13236	63,5	44,34	18	-2	2	10599	13236
14100	63,5	53,04	22	-2,2	2,2	11987	14100
18937	63,5	53,04	45	-2,4	2,4	24519	18937
39419	63,5	53,04	51	-2,6	2,6	27789	39419
41098	63,5	53,04	80	-2,8	2,8	43590	39419
14370	63,5	61,74	28	-4,4	4,4	14197	14370
14267	63,5	61,74	30	-4,6	4,6	15211	14370
18475	63,5	61,74	31	-4,8	4,8	15718	14267
12024	63,5	61,74	33	-5	5	16732	12791
12791	63,5	61,74	27	-5,2	5,2	13690	12347
12347	63,5	61,74	23	-5,4	5,4	11662	12791
20329	63,5	61,74	23	-5,6	5,6	11662	12347
9509	63,5	61,74	25	-5,8	5,8	12676	9509
7047	63,5	61,74	31	-6	6	15718	7047
6483	63,5	70,44	24	-6,2	6,2	11378	6483
3170	63,5	70,44	22	-6,4	6,4	10430	4066
4066	63,5	70,44	17	-6,6	6,6	8060	4066
18471	63,5	70,44	25	-6,8	6,8	11852	18471
33348	63,5	70,44	42	-7	7	19912	

Figur 38. Data från borrhål 60739.



Figur 39. Jämförelse av spetstryck från CPT och dynamiskt spetstryck från HfA för borrhål 60739.



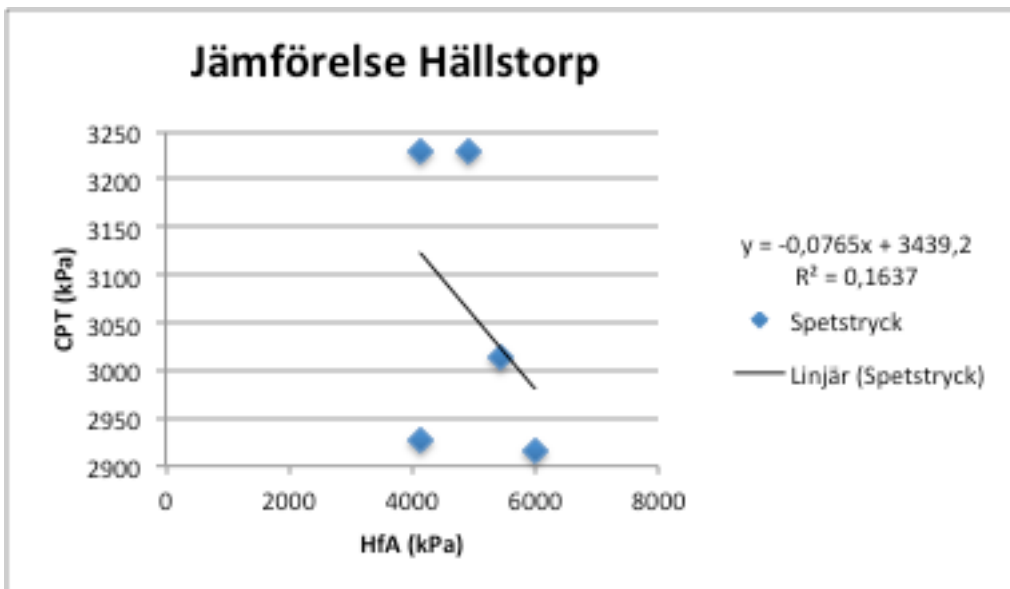
Figur 40. Redovisning av spetstryckets variation med djupet för borrhål 60739.

Borrhål Hällstorp

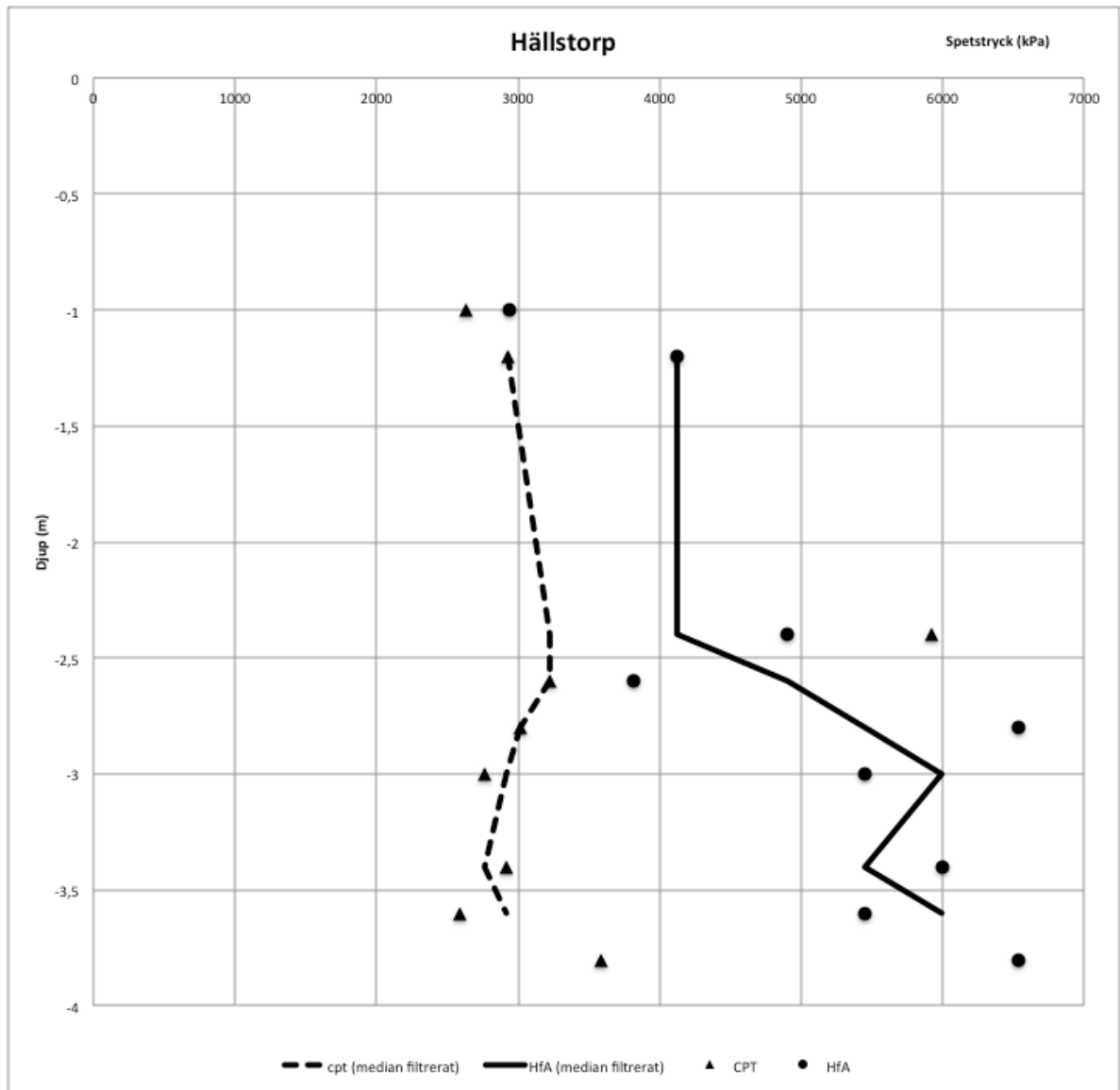
För data se figur 41, för graf med samband mellan spetstryck från CPT och dynamiskt spetstryck från HfA se figur 42 och för graf med hänseende till djup se figur 43.

Total spetstryck (CPT)	M (kg)	M' (kg)	slag / 0,2m	djup	Dynamiskt spetstryck HfA	CPT (median filtrerat)	HfA (median filtrerat)
2629	63,5	44,34	5	-1	1	2944	
2926	63,5	44,34	7	-1,2	1,2	4122	2926
5917	63,5	53,04	9	-2,4	2,4	4904	3228
3228	63,5	53,04	7	-2,6	2,6	3814	3228
3015	63,5	53,04	12	-2,8	2,8	6539	3015
2761	63,5	53,04	10	-3	3	5449	2917
2917	63,5	53,04	11	-3,4	3,4	5994	2761
2591	63,5	53,04	10	-3,6	3,6	5449	2917
3589	63,5	53,04	12	-3,8	3,8	6539	5994

Figur 41. Data från borrhål Hällstorp.



Figur 42. Jämförelse av spetstryck från CPT och dynamiskt spetstryck från HfA för borrhål Hällstorp.



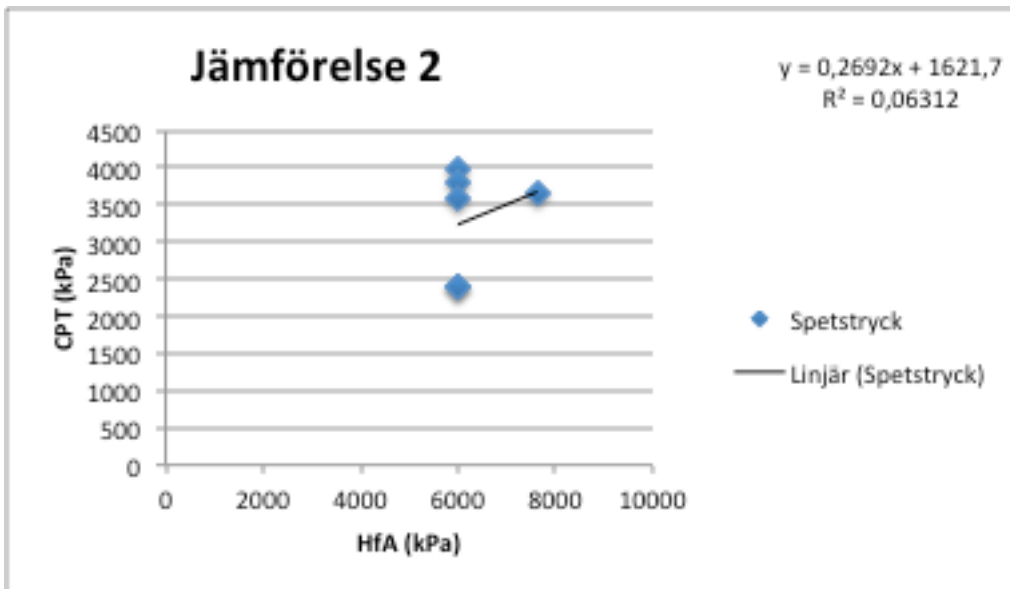
Figur 43. Redovisning av spetstryckets variation med djupet för borrhål Hällstorp.

Borrhål 2

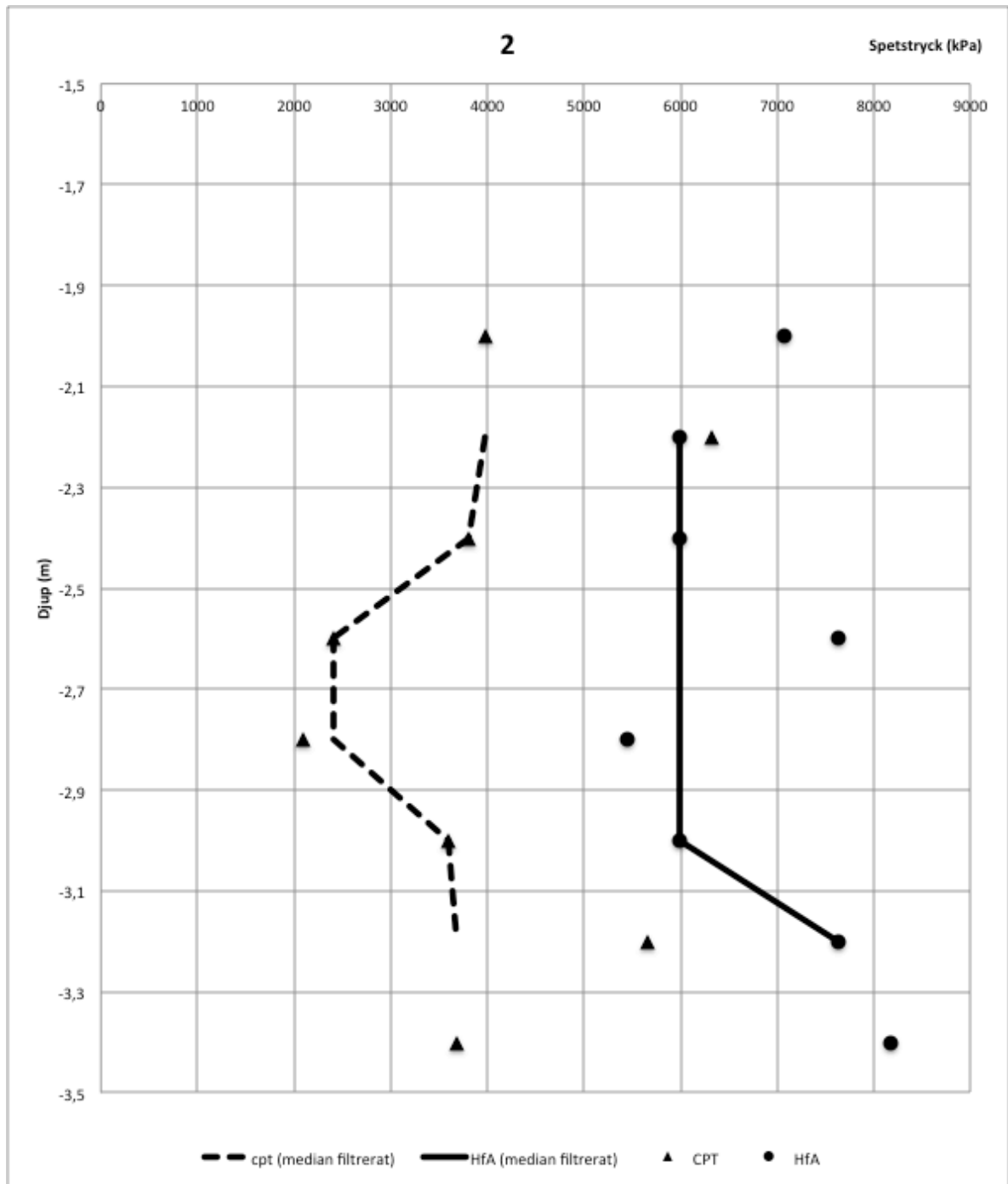
För data se figur 44, för graf med samband mellan spetstryck från CPT och dynamiskt spetstryck från HfA se figur 45 och för graf med hänseende till djup se figur 46.

Total spetstryck (CPT)	M (kg)	M' (kg)	slag / 0,2m	djup	Dynamiskt spetstryck HfA	CPT (median filtrerat)	HfA (median filtrerat)
3975	63,5	44,34	12	-2	2	7066	
6325	63,5	53,04	11	-2,2	2,2	5994	3975
3800	63,5	53,04	11	-2,4	2,4	5994	3800
2400	63,5	53,04	14	-2,6	2,6	7628	2400
2100	63,5	53,04	10	-2,8	2,8	5449	2400
3600	63,5	53,04	11	-3	3	5994	3600
5650	63,5	53,04	14	-3,2	3,2	7628	3675
3675	63,5	53,04	15	-3,4	3,4	8173	7628

Figur 44. Data från borrhål 2.



Figur 45. Jämförelse av spetstryck från CPT och dynamiskt spetstryck från HfA för borrhål 2.



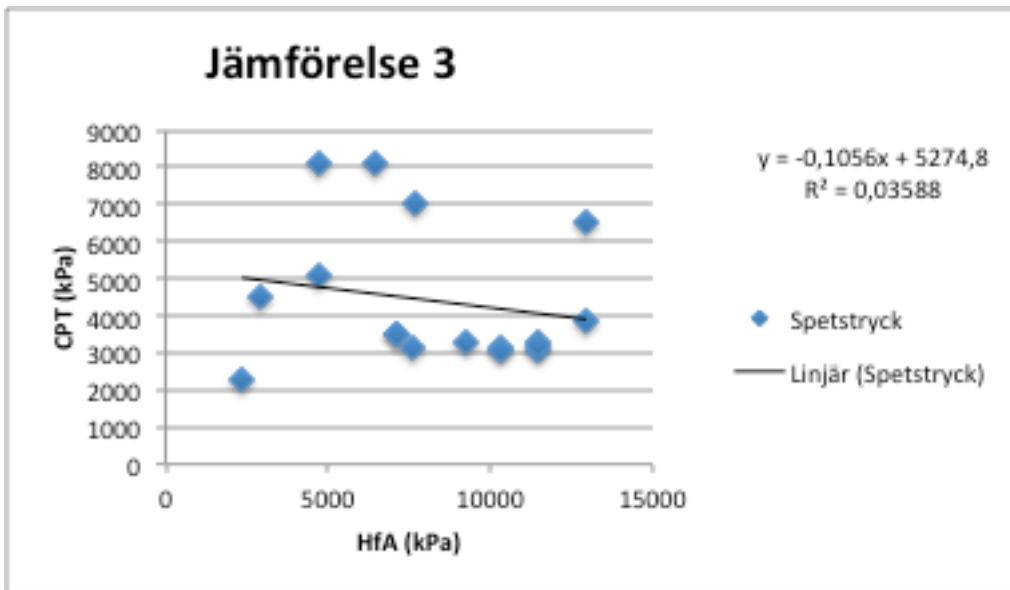
Figur 46. Redovisning av spetstryckets variation med djupet för borrhål 2.

Borrhål 3

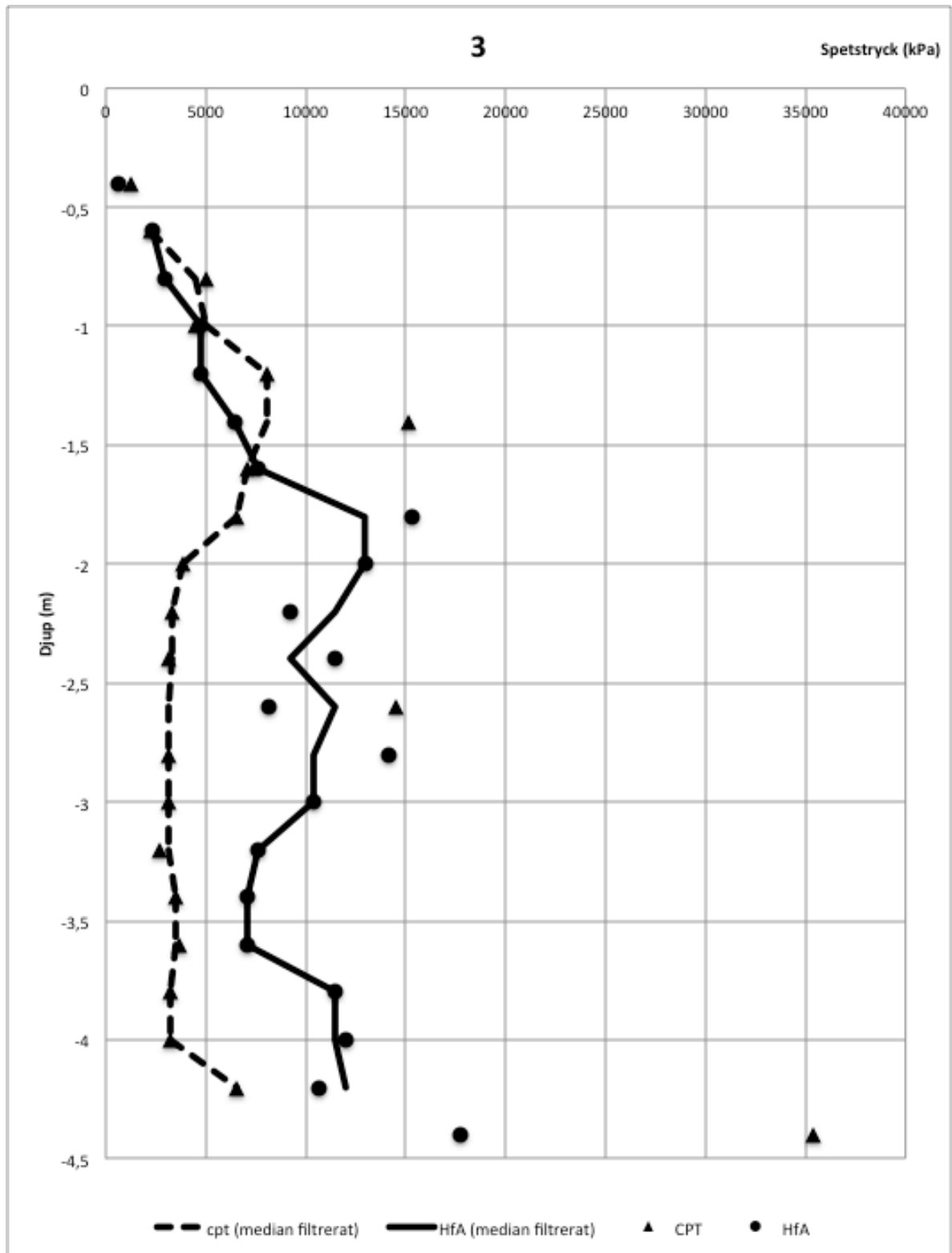
För data se figur 47, för graf med samband mellan spetstryck från CPT och dynamiskt spetstryck från HfA se figur 48 och för graf med hänseende till djup se figur 49.

Total spetstryck (CPT)	M (kg)	M' (kg)	slag / 0,2m	djup	Dynamiskt spetstryck HfA	CPT (median filtrerat)	HfA (median filtrerat)
1225	63,5	44,34	1	-0,4	0,4	589	
2250	63,5	44,34	4	-0,6	0,6	2355	2250
5050	63,5	44,34	5	-0,8	0,8	2944	4525
4525	63,5	44,34	8	-1	1	4711	5050
8074	63,5	44,34	8	-1,2	1,2	4711	8074
15125	63,5	44,34	11	-1,4	1,4	6477	8074
7050	63,5	44,34	13	-1,6	1,6	7655	7050
6525	63,5	44,34	26	-1,8	1,8	15310	6525
3875	63,5	44,34	22	-2	2	12954	3875
3300	63,5	53,04	17	-2,2	2,2	9263	3300
3100	63,5	53,04	21	-2,4	2,4	11442	3300
14475	63,5	53,04	15	-2,6	2,6	8173	3100
3100	63,5	53,04	26	-2,8	2,8	14167	3150
3150	63,5	53,04	19	-3	3	10353	3100
2725	63,5	53,04	14	-3,2	3,2	7628	3150
3525	63,5	53,04	13	-3,4	3,4	7083	3525
3650	63,5	53,04	13	-3,6	3,6	7083	3525
3225	63,5	53,04	21	-3,8	3,8	11442	3225
3200	63,5	53,04	22	-4	4	11987	3225
6500	63,5	61,74	21	-4,2	4,2	10648	6500
35350	63,5	61,74	35	-4,4	4,4	17746	11987

Figur 47. Data från borrhål 3.



Figur 48. Jämförelse av spetstryck från CPT och dynamiskt spetstryck från HfA för borrhål 3.



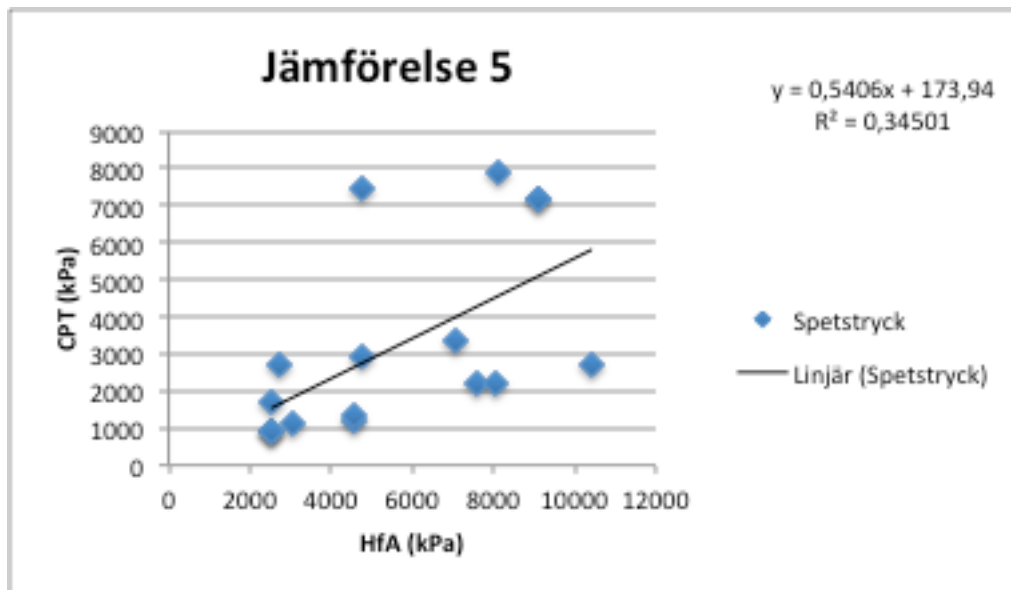
Figur 49. Redovisning av spetstryckets variation med djupet för borrhål 3.

Borrhål 5

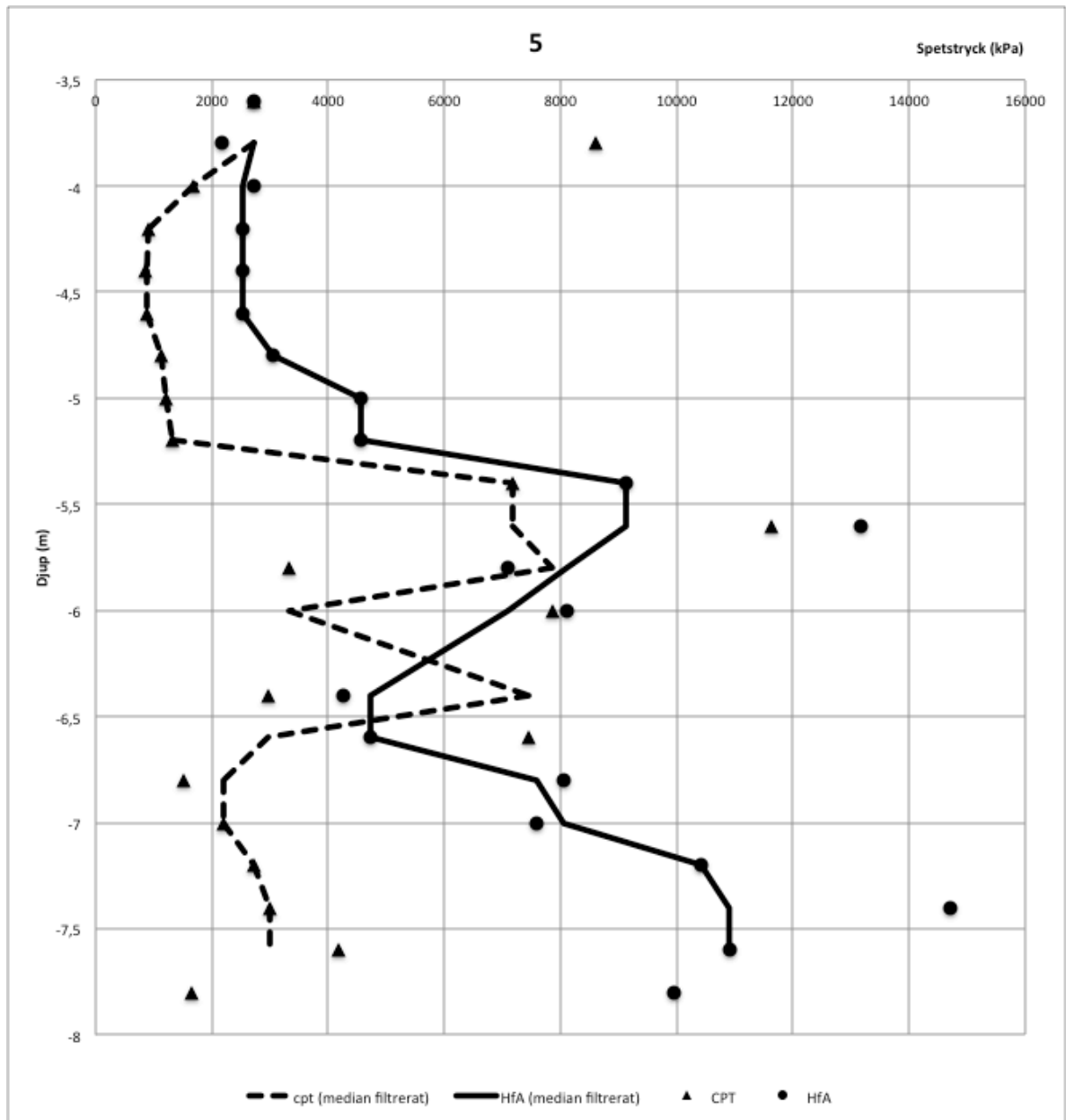
För data se figur 50, för graf med samband mellan spetstryck från CPT och dynamiskt spetstryck från HfA se figur 51 och för graf med hänseende till djup se figur 52.

Total spetstryck (CPT)	M (kg)	M' (kg)	slag / 0,2m	djup	Dynamiskt spetstryck HfA	CPT (median filtrerat)	HfA (median filtrerat)
2720	63,5	53,04	5	-3,6	3,6	2724	2724
8600	63,5	53,04	4	-3,8	3,8	2180	2720
1670	63,5	53,04	5	-4	4	2724	1670
900	63,5	61,74	5	-4,2	4,2	2535	900
840	63,5	61,74	5	-4,4	4,4	2535	880
880	63,5	61,74	5	-4,6	4,6	2535	880
1140	63,5	61,74	6	-4,8	4,8	3042	1140
1200	63,5	61,74	9	-5	5	4563	1200
1330	63,5	61,74	9	-5,2	5,2	4563	1330
7170	63,5	61,74	18	-5,4	5,4	9126	7170
11630	63,5	61,74	26	-5,6	5,6	13183	7170
3330	63,5	61,74	14	-5,8	5,8	7098	7860
7860	63,5	61,74	16	-6	6	8112	3330
2960	63,5	70,44	9	-6,4	6,4	4267	7450
7450	63,5	70,44	10	-6,6	6,6	4741	2960
1500	63,5	70,44	17	-6,8	6,8	8060	2210
2210	63,5	70,44	16	-7	7	7585	2210
2720	63,5	70,44	22	-7,2	7,2	10430	2720
3010	63,5	70,44	31	-7,4	7,4	14697	3010
4180	63,5	70,44	23	-7,6	7,6	10904	3010
1650	63,5	70,44	21	-7,8	7,8	9956	10904

Figur 50. Data från borrhål 5.



Figur 51. Jämförelse av spetstryck från CPT och dynamiskt spetstryck från HfA för borrhål 5.



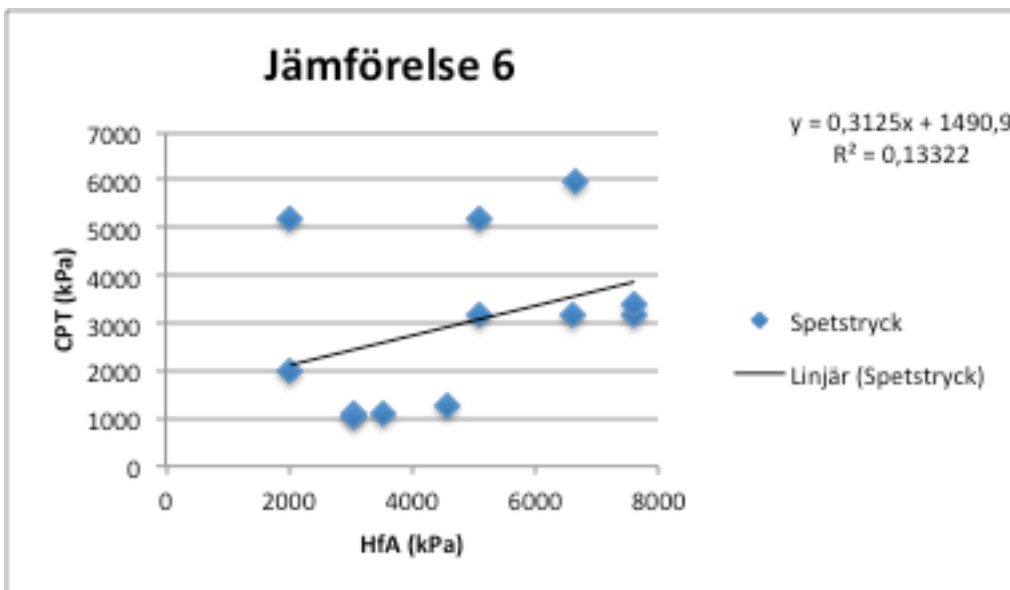
Figur 52. Redovisning av spetstryckets variation med djupet för borrhål 5.

Borrhål 6

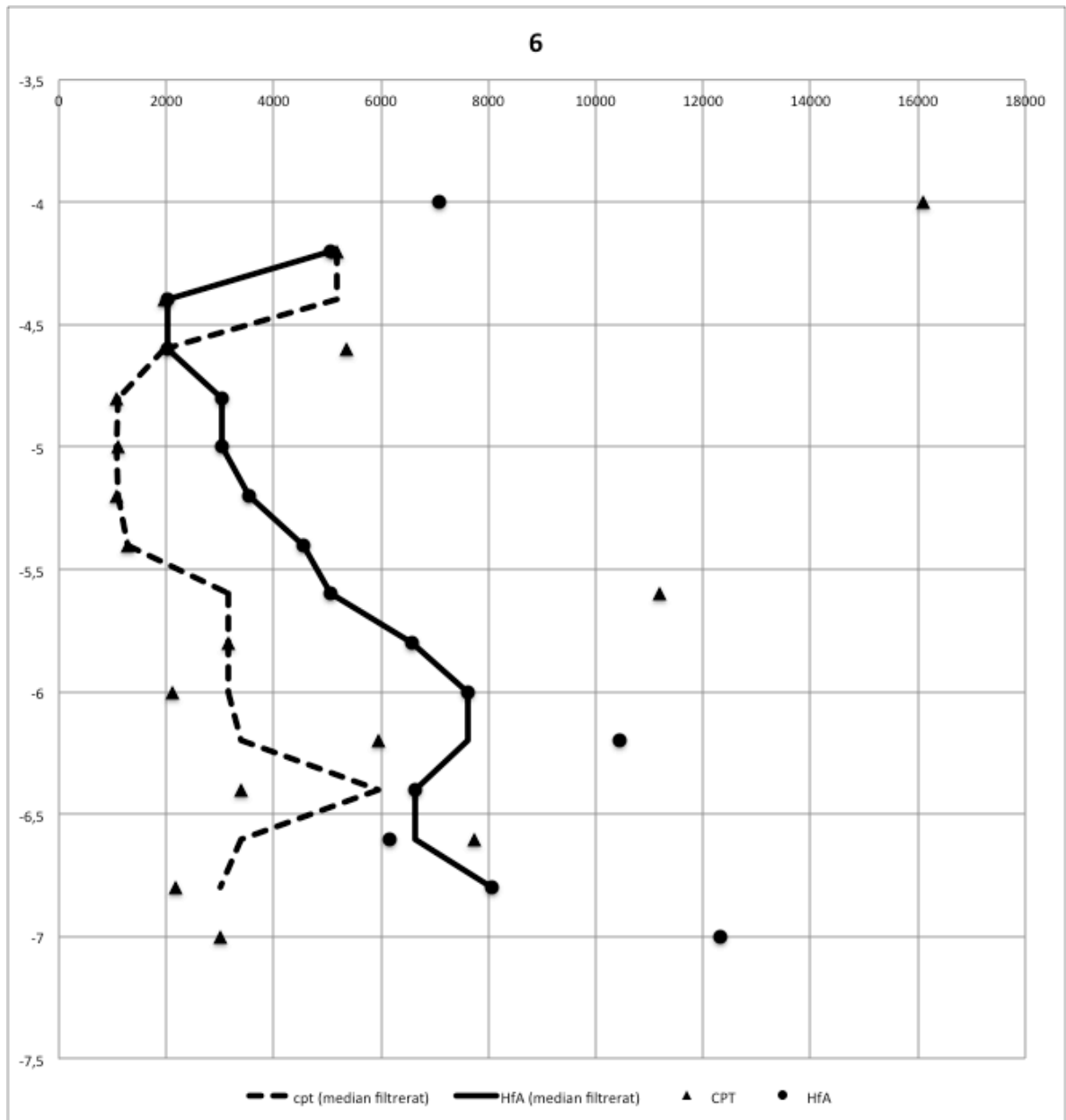
För data se figur 53, för graf med samband mellan spetstryck från CPT och dynamiskt spetstryck från HfA se figur 54 och för graf med hänseende till djup se figur 55.

Total spetstryck (CPT)	M (kg)	M' (kg)	slag / 0,2m		djup	Dynamiskt spetstryck HfA	CPT (median filtrerat)	HfA (median filtrerat)
16100	63,5	53,04	13		-4	4	7083	
5170	63,5	61,74	10		-4,2	4,2	5070	5170
1970	63,5	61,74	4		-4,4	4,4	2028	5170
5360	63,5	61,74	4		-4,6	4,6	2028	1970
1070	63,5	61,74	6		-4,8	4,8	3042	1090
1090	63,5	61,74	6		-5	5	3042	1070
1070	63,5	61,74	7		-5,2	5,2	3549	1090
1270	63,5	61,74	9		-5,4	5,4	4563	1270
11180	63,5	61,74	10		-5,6	5,6	5070	3160
3160	63,5	61,74	13		-5,8	5,8	6591	3160
2100	63,5	61,74	15		-6	6	7605	3160
5950	63,5	70,44	22		-6,2	6,2	10430	3390
3390	63,5	70,44	14		-6,4	6,4	6637	5950
7750	63,5	70,44	13		-6,6	6,6	6163	3390
2170	63,5	70,44	17		-6,8	6,8	8060	3010
3010	63,5	70,44	26		-7	7	12326	8060

Figur 53. Data från borrhål 6.



Figur 54. Jämförelse av spetstryck från CPT och dynamiskt spetstryck från HfA för borrhål 6.



Figur 55. Redovisning av spetstryckets variation med djupet för borrhål 6.