

Jämförelse mellan olika försöksmetoder för bestämning av västsvenska lerors skjuvhållfasthet

Examensarbete inom civilingenjörsprogrammet Väg- och vattenbyggnad

JANI NIEMINEN
DANIEL NYQVIST

Institutionen för bygg- och miljöteknik
Avdelningen för geologi och geoteknik
Forskargrupp Geoteknik
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg 2006
Examensarbete 2006:4

EXAMENSARBETE 2006:4

Jämförelse mellan olika försöksmetoder för bestämning av västsvenska lerors skjuvhållfasthet

Examensarbete inom civilingenjörsprogrammet Väg- och vattenbyggnad

JANI NIEMINEN

DANIEL NYQVIST

Institutionen för bygg- och miljöteknik
Avdelningen för geologi och geoteknik
Forskargrupp Geoteknik
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg 2006

Jämförelse mellan olika försöksmetoder för bestämning av västsvenska lerors
skjuvhållfasthet

Examensarbete inom civilingenjörsprogrammet Väg- och vattenbyggnad

JANI NIEMINEN

DANIEL NYQVIST

© JANI NIEMINEN & DANIEL NYQVIST, 2006

Examensarbete 2006:4

Institutionen för bygg och miljöteknik

Avdelningen för geologi och geoteknik

Forskargrupp Geoteknik

Chalmers tekniska högskola

412 96 Göteborg

Telefon: 031-772 10 00

Omslag:

Flythypotes, odränerad skjuvhållfasthet och triaxialutrustning: Jani Nieminen &
Daniel Nyqvist.

Chalmers Reproservice

Göteborg, 2006

Comparison Between Different Methods for Determining the Shear Strength of Swedish Soils

Master's Thesis in Engineering Geology, Civil Engineering

JANI NIEMINEN & DANIEL NYQVIST

Department of Civil and Environmental Engineering

Division of GeoEngineering

Geotechnical Engineering Research Group

Chalmers University of Technology

SUMMARY

In analysis of failure in soil the shear strength is the most important parameter. Experimental work, interpretation and evaluation is standardized, although it is not unusual for engineers, due to different circumstances, to choose lower values than what normally is expected for a soil sample. This depends partly on the fact that easily accessible and clarifying directions for how these processes should be done are vague. Why it is obvious that a conservative choice of shear strength leads to unnecessary high safety levels and major costs for the society.

This thesis was initiated for the purposes of creating a better understanding of the determination, evaluation and choice of shear strength for clay. To better understand why the traditional methods, that have been questioned a lot, does not attend to show similar values in comparison to newer method, triaxial tests, and how this attends to be of interest in which method to choose. Creating of a database where several soil samples are put together, would show a significant difference which also would be of enormous help to engineers, whose task is to determine the shear strength on the basis of their own experiences and judgments.

In the work with this thesis, several soil samples from different geological places have been examined, evaluated and put together on the basis of traditional methods as vane test, fall cone test and CRS test but foremost the new method, triaxial test. With the help of Chalmers geotechnical laboratory these tests have been performed with assistance of Peter Hedborg, who is mainly in charge of the laboratory. All information has been treated and analyzed by the authors of this thesis. The process has consistently proceeded under the supervising of Professor Göran Sällfors at Chalmers University of Technology.

The tests performed have showed both expected and unexpected results. Estimations of possible failures before and after tests have been examined to eliminate unnatural and misleading test results. Therefore all test tubes have been firmly examined to prevail errors in results. With hope of no human errors, the results have been accurate and useful in evaluation between the methods where significant differences have been confirmed.

Key words: Shear strength, triaxial tests, vane test, fall cone test and CRS.

Jämförelse mellan olika försöksmetoder för bestämning av västsvenska lerors skjuvhållfasthet

Examensarbete inom civilingenjörsprogrammet Väg- och vattenbyggnad

JANI NIEMINEN

DANIEL NYQVIST

Institutionen för bygg- och miljöteknik

Avdelningen för geologi och geoteknik

Forskargrupp Geoteknik

Chalmers Tekniska Högskola

SAMMANFATTNING

Vid analys av brott i jord är skjuvhållfastheten den i särklass viktigaste parametern. Försöksutförande, tolkning och utvärdering är i och för sig standardiserade, men likväl är det inte ovanligt att geoteknikern, på grund av olika omständigheter, väljer hållfasthetsfördelningar som är lägre än vad man normalt förväntar sig för en given jordprofil. Detta beror dels på att det saknas lättillgängliga och tydliga direktiv/anvisningar för hur denna process skall gå till. Varför det är tydligt att ett konservativt val av hållfasthet leder till onödigt höga säkerhetsnivåer och stora merkostnader för samhället.

Detta examensarbete inleddes i syfte att skapa bättre förståelse kring bestämning, utvärdering och val av skjuvhållfasthet av leror. Att bättre känna till varför de traditionella metoderna, som så ofta blivit ifrågasatta, inte förhåller sig lika värden i jämförelse med den senare metoden triaxialförsök och hur detta förefaller sig vara av intresse vid val av undersökningsmetod. Att sammanställa flertal utförda jordprov skulle en tydlig skillnad kunna påvisas vilket därmed också vore ett enormt hjälpmedel för geotekniker, vars uppgift är att bestämma skjuvhållfasthet utifrån egna erfarenheter och bedömningar. Vid genomförandet av examensarbetet har flertal jordprover från olika geologiska platser undersökts, utvärderats och sammanställts utifrån de traditionella metoder såsom vingsondering, fallkonförsök och CRS-försök men framför allt ur den senare metoden triaxialförsök. Med hjälp av laboratorium på Geo-avdelningen vid Chalmers Tekniska Högskola har dessa tester utförts av kunnig laboratorieansvarig person, Peter Hedborg. Varefter all information vidare behandlats och analyserats av skaparna till detta examensarbete. Denna process har genomgående fortskridit under övervakning och konsultation med Professor Göran Sällfors på Geo-avdelningen vid Chalmers Tekniska Högskola.

Dessa utförda tester har givit resultat som varit förväntade men även resultat som överraskat. En grov bedömning av eventuella fel har därför undersökts både gällande före och efter utförda tester, vilket eliminerat misstankar om onaturliga och missvisande jordprover. Därför har alla försökstuber kontrollerats i mån att inga felaktiga tuber blivit representerade i resultaten, vilket lätt kan hända och som då leder till felaktiga tolkningar. Med förhoppning om att inga slarvfel uppstått, har resultaten varit naturtrogna och användbara i utvärdering mellan de olika försöksmetoderna, där tydliga skillnader kunnat redovisats.

Nyckelord: Skjuvhållfasthet, triaxialförsök, vingsondering, fallkonförsök och CRS.

Innehåll

SUMMARY	I
SAMMANFATTNING	II
INNEHÅLL	IV
FÖRORD	VII
BETECKNINGAR	VIII
1 INLEDNING	1
1.1 Bakgrund	1
1.2 Effektmål och huvudmål	1
1.3 Avgränsning	2
1.4 Genomförande	2
2 SKJUVHÅLLFASTHET	3
2.1 Brottkriterium för jord	3
2.2 Standardundersökning	4
2.2.1 Kolvprovtagning	4
2.2.2 Vingsondering	5
2.2.3 Fallkonförsök	6
2.2.4 Sensitivitet	7
2.3 Korrektionsfaktorn	8
2.4 Andra undersökningsmetoder	9
2.4.1 CRS	9
2.4.2 Triaxialförsök	10
2.4.3 Direkt skjuvning	12
2.5 Empiriska relationer	14
3 FÖRUTSÄTTNINGAR FÖR UNDERSÖKNINGAR	15
3.1 Belastningshistoria	15
3.1.1 Geografiska perspektiv	15
3.1.2 Geologi och lerans egenskaper	17
4 UTFÖRDA FÖRSÖK	19
4.1 Förkonsolideringstryck och effektivspänning	19
4.1.1 Bh 100120	19
4.1.2 Bh 10286	20
4.1.3 Bh 20322	21
4.1.4 Bh 50001	22
4.1.5 Bh 66101	23
4.2 Skjuvspänning och töjning	24

4.2.1	Bh 100120	24
4.2.2	Bh 10286	25
4.2.3	Bh 20322	26
4.2.4	Bh 50001	26
4.2.5	Bh 66101	27
4.3	Odränerad skjuvhållfasthet	28
4.3.1	Bh 100120	28
4.3.2	Bh 10286	29
4.3.3	Bh 20322	29
4.3.4	Bh 50001	30
4.3.5	Bh 66101	31
4.4	Empirisk sammanställning	31
4.4.1	Bh 100120	31
4.4.2	Bh 10286	32
4.4.3	Bh 20322	33
4.4.4	Bh 50001	33
4.4.5	Bh 66101	34
4.5	Empiriska relationer med avseende på djup	35
4.5.1	Bh 100120	35
4.5.2	Bh 10286	36
4.5.3	Bh 20322	37
4.5.4	Bh 50001	37
4.5.5	Bh 66101	38
4.6	Normaliserade aktiva triaxialförsök	39
4.6.1	Bh 100120	39
4.6.2	Bh 10286	40
4.6.3	Bh 20322	42
4.6.4	Bh 50001	43
4.6.5	Bh 66101	44
5	ANALYS	47
5.1	Fallkonförsök	47
5.2	Vingsondering	48
5.3	Aktiva och passiva triaxialförsök	49
5.4	Normaliserade triaxialförsök	50
6	DISKUSSION ANGÅENDE KORREKTIONSFAKTORN	53
7	SLUTSATS	55
8	REKOMMENDATIONER	57
9	REFERENSER	59
10	APPENDIX	61

Förord

Detta examensarbete behandlar och analyserar olika metoder för bestämning av västsvenska marina lerors skjuvhållfasthet och har utförts på Geo-avdelningen vid Chalmers Tekniska Högskola under tiden juni-december 2005. Arbetet initierades av Professor Göran Sällfors på Geo-avdelningen vid Chalmers Tekniska Högskola våren 2005.

Vi vill tacka alla som medverkat i vårt examensarbete. Speciellt tackar vi Professor Göran Sällfors för hans medverkan, konsultation och handledning. Stort tack till Peter Hedborg, laboratorieansvarig på Geo-avdelningen vid Chalmers Tekniska Högskola, för hans engagemang och hjälp angående frågor kring utförda försök i laboratoriet samt hans intresse att följa upp arbetets gång. Tack även till Anders Kullingsjö, doktorand på Geo-avdelningen vid Chalmers Tekniska Högskola, för att han alltid tagit sig tid vid förfrågningar.

Vi tackar Torbjörn Edstam, Geotekniker på WSP Samhällsbyggnad Göteborg, för hans kontakt och hjälp av nödvändig information angående material och frågeställningar som uppkommit under arbetets gång. Vi tackar också Karin Hemmendorf, Geotekniker på SWECO, för allt material hon tillhandahållit oss under tiden arbetet pågått.

Till sist vill vi nämna att det varit ett roligt och kunskapsgivande arbete med många nya inblickar och djupare förståelse kring geoteknik och speciellt vid bestämning av skjuvhållfasthet för leror. Där vi framför allt erhållit mer kunskap om standardmetoderna och de senare metoderna samt skillnader dessa emellan.

Göteborg December 2005

Jani Nieminen & Daniel Nyqvist

Beteckningar

Latinska versaler

K_0	Förhållandet mellan vertikal och horisontell spänning
Q	Konens massa [g]
S_t	Lerans sensitivitet [%]
W_L	Konflytgräns [%]

Latinska gemena

c	Jordens inre kohesion
i	Konintryck [mm]
k	Konfaktor för olika vinklar på koner
u	Portryck
v	Volym

Grekiska symboler

α	Vinkeländring i grader
ϕ	Jordens inre friktionsvinkel
μ	Korrektionsfaktor [-]
σ_1	Vertikal huvudspänning
σ_2	Horisontell huvudspänning
σ_3	Horisontell huvudspänning
σ	Jordens rådande effektivspänning
σ'_1	Vertikal effektivspänning
σ'_3	Horisontell effektivspänning
σ'_o	Effektiv spänning
σ'_c	Förkonsolideringstryck
σ'_{ch}	Effektivt horisontellt förkonsolideringstryck
σ'_{cv}	Effektivt förkonsolideringstryck
σ_n	Normalspänning
τ	Skjuvspänning
τ_{fu}	Odränerad skjuvhållfasthet
τ_k	Skjuvhållfasthet enligt fallkonförsök
τ_{omr}	Omrörd skjuvhållfasthet
τ_v	Skjuvhållfasthet enligt vingsondering

1 Inledning

Förr i tiden då inga direkta kunskaper eller förningar fanns om markens beteende, uppstod ofta problem då människor byggde sina hus eller exploaterade sina marker. Dessa problem uppkom i form av sättningar och skred med tidvis förödande konsekvenser, där människor förlorade sina bostättningar eller värre miste livet. Detta ledde till ett behov av kunskapsutveckling inom geotekniken och hur markens egenskaper påverkades av människans framfart. Genom åren har många forskare framlagt förslag och tankar kring vilka orsakerna är för brott i jord. Dels har metoder utvecklats och erfarenhetsmässiga observationer gjorts, vilket numera ökat förståelsen och betydelsen kring orsakerna. Allt eftersom tekniken utvecklats har även metoderna förbättrats och hittills har inte någon metod upfunnits vilken med säkerhet kan påvisa exakta resultat. Därför är det viktigt att med en innovativ utveckling försöka sträva efter att nå dessa resultat. Detta examensarbete är ett litet steg i denna riktning.

1.1 Bakgrund

Vid analys av brott i jord är skjuvhållfastheten den i särklass viktigaste parametern. Försöksutförande, tolkning och utvärdering är i och för sig standardiserade, men likväl är det inte ovanligt att geoteknikern, på grund av olika omständigheter, väljer hållfasthetsfördelningar för vissa försök som är lägre än vad som normalt förväntas för en given jordprofil. Detta beror dels på att det saknas lättillgängliga och tydliga direktiv, alternativt anvisningar, för hur denna process skall gå till men även hur valet av säkerhet påverkar risken. För risken är en sammanvägning mellan sannolikhet och konsekvens. En hög säkerhetsnivå ger en lägre sannolikhet för misslyckande. Dock leder detta ofta till en högre kostnad för beställaren.

Det är tydligt att ett konservativt val av hållfasthet leder till onödigt höga säkerhetsnivåer och stora merkostnader för samhället.

1.2 Effektmål och huvudmål

Projektets effektmål är riktad till den svenska byggmarknaden och då främst till entreprenörer med geoteknisk kunskap och färdighet, vilket kan leda till:

- Att dimensionering för alla typer av stödkonstruktioner, typ sponter och slitsmurar, men även för jordtryck, bottenuppträckning och totalstabilitet blir dimensionerade utefter ”verklig” skjuvhållfasthet.
- Rätt val av undersökningsmetod och genomförande i samband med arbetsutförande/geoteknisk design.

Huvudmålet med detta projekt är att ställa samman dagens kunskap och erfarenheter när det gäller bestämning, utvärdering och val av skjuvhållfasthet av leror. Det gäller vilka metoder som idag används och vilken tyngd olika metoder kan ha vid val av

skjuvhållfasthet samt hur empiriska samband skall beaktas. Vidare diskuteras de vanligaste felkällorna och hur dessa uppstår.

1.3 Avgränsning

Projektet avgränsar sig till enbart kohesionsjord, närmare bestämt västsvenska marina leror och provtagningar gjorda i fält, kolvprovtagning och vingsondering, men även laboratorieundersökningar av fallkonförsök och triaxialförsök. Vidare analyseras empiriska relationer och samband.

1.4 Genomförande

Rapporten börjar med en genomgång för att om möjligt ge läsaren insikt och grundlig förståelse för hur hållfasthets- och deformationsegenskaper hänger samman. Genomgång, beskrivning och förklaring av olika metoder för hur hållfasthet bestäms samt hur den hållfasthet som bestäms beror av randvillkor etc. Vidare beskrivs vilka förutsättningar som ligger till grund för försöken samt var försöken är utförda.

Belastningshistoria ger läsaren kunskap om hur leran tidigare varit belastad och vilka effekter detta kan tänkas ge i undersökningarna. Detta ger även information om vilken geologi som råder för respektive område som leran tagits från och vilka egenskaper aktuell lera har.

Därefter presenteras de utförda försöken. Hur dessa tolkas och vilka kopplingar som råder mellan de olika metoderna. Orsaker till avvikelser beskrivs utifrån erfarenhet och vad som framkommit från litteraturstudier.

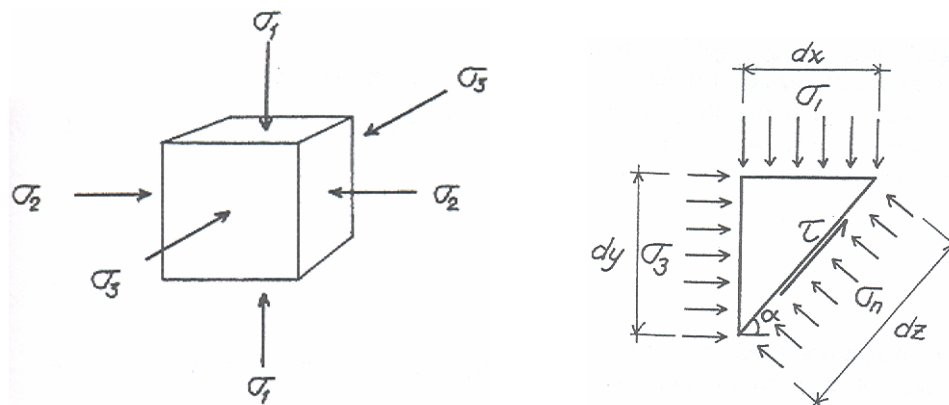
Till sist analyseras resultaten utifrån metod och jämförelser kopplas dessa emellan för om möjligt påvisa samband eller likheter. Vidare görs en sammanställning och analys av korrektionsfaktorn. Detta i sammanhang med de aktuella resultaten och empiriska relationerna. Slutligen redovisas slutsatser och rekommendationer där förslag förs fram som baseras utifrån rapportens innehåll.

2 Skjuvhållfasthet

Detta kapitel behandlar grunderna för hur hållfasthet för kohesionsjord beräknas teoretiskt men även hur den bestäms från provning i fält och laboratorium.

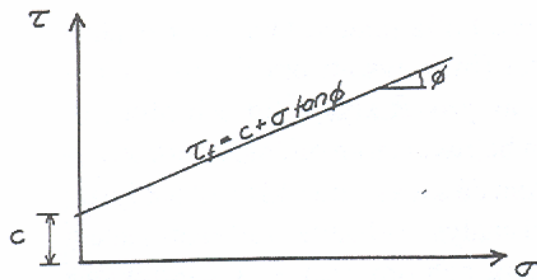
2.1 Brottkriterium för jord

För att veta hur jorden beter sig i relation till de spänningar som den utsätts för, kan ett litet jordelement studeras, se Figur 1a. De ovanliggande jordlagren orsakar vertikalspänningar, vilka ökar med djupet, samtidigt med de horisontella spänningarna. Ett jordelement med horisontell markyta representerar huvudspänningar (σ_1 , σ_2 , σ_3) som är horisontella och vertikala, där den största spänningen (σ_1) är vertikal medan de horisontella spänningarna (σ_2 och σ_3) är lika stora. Spänningarna (τ och σ_n) längs ett lutande plan fås genom att veta hur vinkeln α förhåller sig mot horisontalplanet (Sällfors Göran, 2002), se Figur 1b. Skjuvspänningen τ och effektivspänningen σ_n är de intressanta spänningarna. Med förutsättning om att markytan är horisontell kan vertikal samt horisontell spänning beräknas med hjälp av Mohr's spänningscirkel, se Figur 1d. Dessa spänningar är koordinater på en cirkel som skär abskissan med medelpunkt på densamma. Genom att veta vinkeln och därmed dubbla denna (2α), fås de spänningar ($\sigma_n; \tau$) som koordinater för skärningspunkten på cirkeln (Kompetenscentrum, Triaxialförsök, www.kcentrum-infra.chalmers.se, 2005-06-10). Figur 1c visar Mohr-Coulomb's brottkriterium, där den lutande linjen kallas brottenveloppen för jord och beskrivs av jordens inre friktionsvinkel ϕ , jordens kohesion c samt rådande effektivspänning σ . För alla spänningspunkter under linjen råder jämvikt och då en spänningspunkt tangerar linjen inträffar brott. Genom att veta hur brottenveloppen ser ut kan Mohr's cirkel ritas i samma diagram och därefter kan brott representeras med hjälp av att låta huvudspänning σ_1 öka samtidigt som σ_3 hålls konstant. Detta ger flera cirklar och då en cirkel tangerar brottenveloppen har brott inträffat.

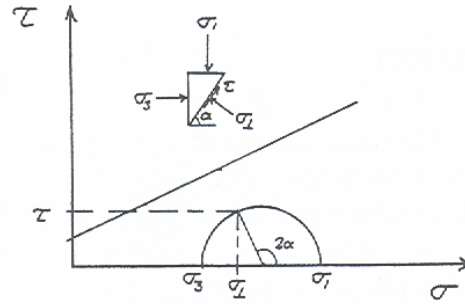


Figur 1. a) Huvudspänningar i jord.

b) Spänningar längs lutande plan.



c) Mohr-Coulomb's brottkriterium.



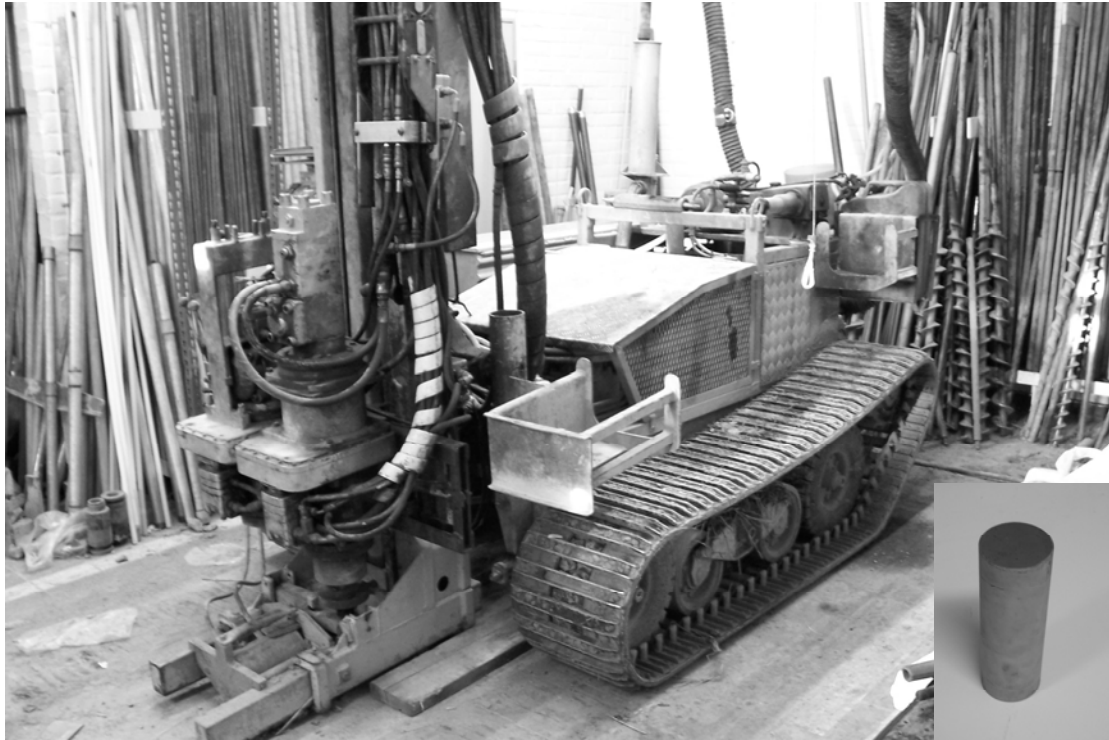
d) Mohr's spänningscirkel.

2.2 Standardundersökning

Sedan lång tid tillbaka har och fortfarande är standardundersökning den vanligaste metoden vid bestämning av skjuvhållfasthet. Både ekonomiska och praktiska skäl ligger bakom att det än idag är den vanligaste undersökningen. Vanligtvis består en standardundersökning av flera moment, fältundersökning med kolvprovtagning och vingsondering samt laboratorieundersökning med fallkonförsök och CRS-försök.

2.2.1 Kolvprovtagning

Detta sker i fält med hjälp av en maskin som borrar ner cylindriska provtuber i marken varav tuberna fylls med jord vid önskat djup, se Figur 2. Dessa tas sedan försiktigt upp för att så lite störning som möjligt ska ske i jordproverna. Väl uppe vid markytan sluts provtuberna med skyddshattar och förs till laboratorium för vidare undersökning.



Figur 2. Maskin för kolvprovtagning och provtub (lilla bilden).

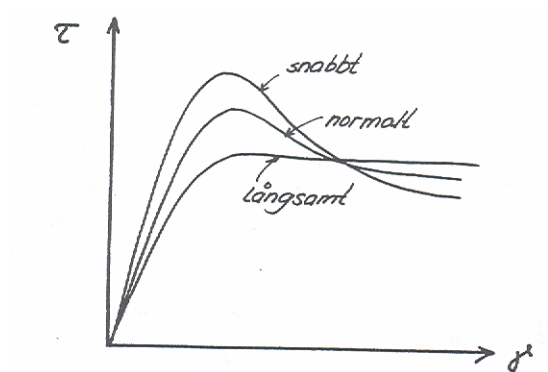
2.2.2 Vingsondering

Denna undersökning utförs i fält där en vinge bestående av två stycken korsade plåtar förs ner till valt djup, se Figur 3. För att få ett så ostört prov som möjligt låtes vingen komma i jämvikt med övrig jord under en viss tid, enligt svensk standard tre till fem minuter, innan försöket påbörjas (Sällfors Göran, 2002).



Figur 3. Vingborr med måtten $130 \times 65 \text{ mm}^2$ för normal kohesionsjord. I fastare jordar används vanligtvis en vinge med dimensionerna 40/80.

Vid själva försöket roterar vingen långsamt och ett moment erhålls som en funktion av vinkeländringen. Brottet skall uppstå efter ungefär tre minuter, då resultaten för lerans hållfasthet är tidsberoende, se Figur 4.



Figur 4. Tidsberoende hållfasthet för vingsondering.

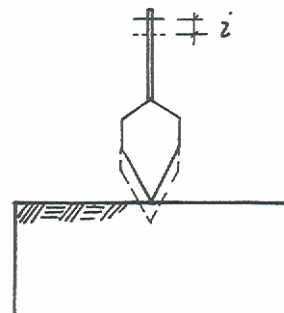
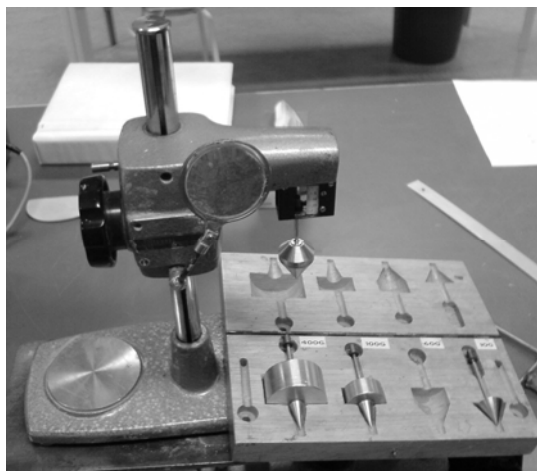
Efter avläsning av skjuvhållfastheten korrigeras den enligt Formel 1, med hjälp av en korrektionsfaktor, där korrektionsfaktorn beräknas enligt Formel 2.

$$\tau_{fu} = \tau_v \cdot \mu \quad (1)$$

$$\mu = \left(\frac{0.43}{W_L} \right)^{0.45} \quad (2)$$

2.2.3 Fallkonförsök

Detta försök utförs med en kon, med spetsvinkel 30° eller 60° , vilken släpps med hjälp av en magnet från det att konens spets tangerat lerprovets släta yta och ett intryck fås, se Figur 5.



Figur 5. **Vänstra:** Utrustning för utförande av fallkonförsök. **Högra:** Skiss av förloppet vid utförandet av fallkonförsök.

Resultatet avläses med en noggrannhet på 1/10 mm och hållfastheten kan beräknas enligt Formel 3, där konens massa varierar efter val av kon (10g, 60g, 100g eller 400g) och konfaktor efter typ av vinkel på kon (0.25 för 60° kon och 1.0 för 30° kon) (Sällfors Göran, 2002).

$$\tau_k = k \cdot Q \cdot \left(\frac{10}{i^2} \right) \quad (3)$$

Då en skjuvhållfasthet erhållits kan den odränerade skjuvhållfastheten fås fram med hjälp av korrektionsfaktorn, enligt Formel 4.

$$\tau_{fu} = \tau_k \cdot \mu \quad (4)$$

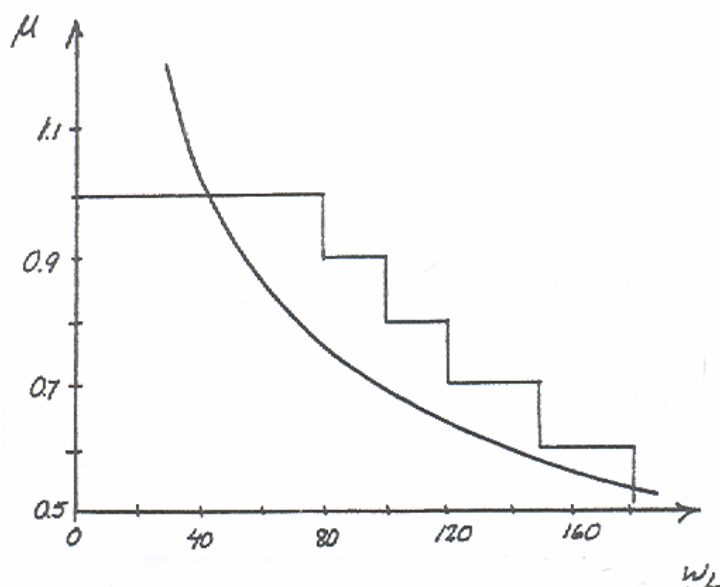
2.2.4 Sensitivitet

Vanligtvis klassificerar man lerors fasthet genom dess hållfasthet eller sonderingsmotstånd. Ibland används även skjuvhållfastheten som indelningsgrund. En viktig indelningsgrund för lera är sensitiviteten. Den beskriver förhållandet mellan den odränerade skjuvhållfastheten och den omrörda skjuvhållfastheten för leran. Detta utförs i samband med konförsök, där skjuvhållfastheten bestäms då leran är ostörd och då leran blivit omrörd (Sällfors Göran, 2002), se Formel 5.

$$S_t = \frac{\tau_{fu}}{\tau_{omr}} \quad (5)$$

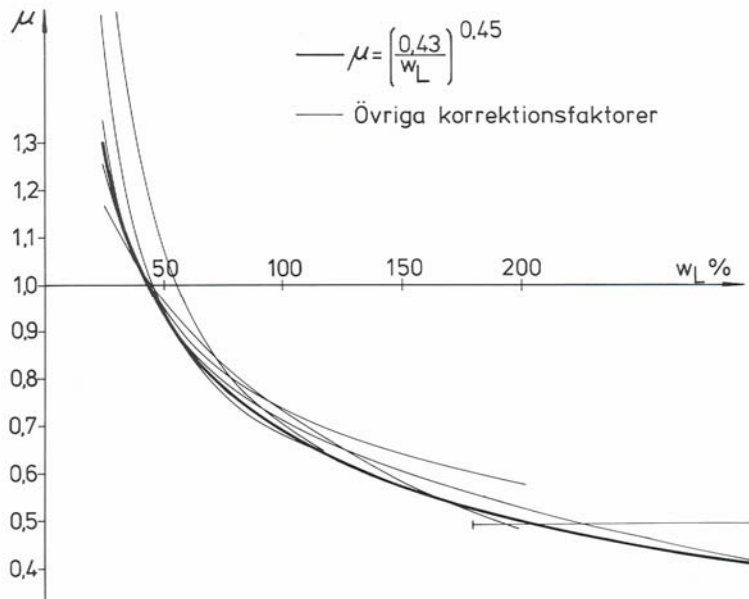
2.3 Korrektionsfaktorn

Vid ett möte på Statens geotekniska institut år 1969 framlades en rekommendation för vilka korrektionsfaktorer baserade på jordens flytgräns som skulle användas för odränerade skjuvhållfasthetsvärden. Resultatet blev den trappstegsformade linjen, där korrektionsfaktorerna bör tillämpas på försiktigt valda värden eller lågt valda medelvärden av uppmätta hållfasthetsvärden (Larsson R, Bergdahl U, Eriksson L, 1985), se Figur 6. Denna korrigering av hållfasthet antogs vara användbar för de flesta beräkningsfall utan beaktande av hållfasthetsanisotropi. Senare studier av korrektionsfaktorer av olika jordtyper har således lett till flera förslag och förändringar. Varav en generell korrektionsfaktor föreslås att användas. Denna korrektionsfaktor representeras av den bågformade linjen som skall tillämpas på statistiskt valda medelvärden av skjuvhållfastheten och som därmed anses vara säkrare att använda, se Figur 7. Den är en sammanvägning av olika korrektoners medelvärden, såsom Andréasson(1974), Helenelund(1977), empiriska relationer, SGI(1969) samt korrektion för störning och provningshastighet vid vingsondering.



Figur 6. Korrektionsfaktorn m a p flytgräns för odränerad skjuvhållfasthet,

Larsson R, Bergdahl U, Eriksson L, 1985.



Figur 7. Jämförelse mellan olika korrektionsfaktorer,

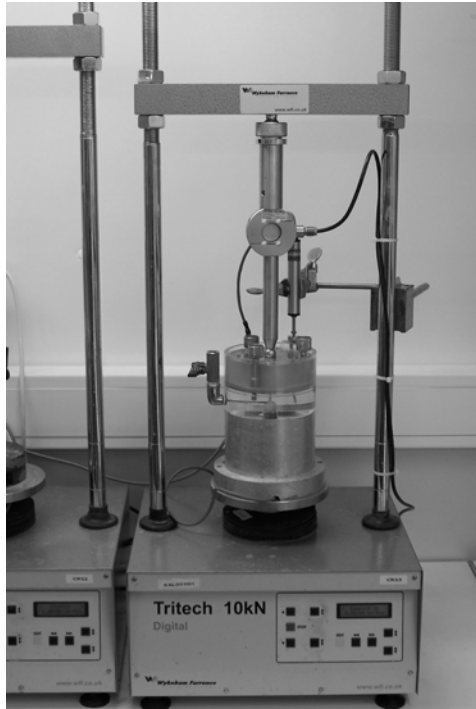
Larsson R, Bergdahl U, Eriksson L, 1985.

2.4 Andra undersökningsmetoder

För mer noggranna och avancerade undersökningar används idag triaxialförsök för utvärdering av lerors skjuvhållfasthet, se Kapitel 2.4.2. Dessa försök används i mindre utsträckning dels på grund av utrustningens kostnad men även på grund av den krävande kompetens som behövs vid utförande och tolkning av försöken. Vanligtvis utnyttjas värden från CRS försök, se Kapitel 2.4.1, där förkonsolideringstryck bestäms och används som ingående parameter i bestämning av vertikala och horisontella startspänningar för de triaxiala försöken.

2.4.1 CRS

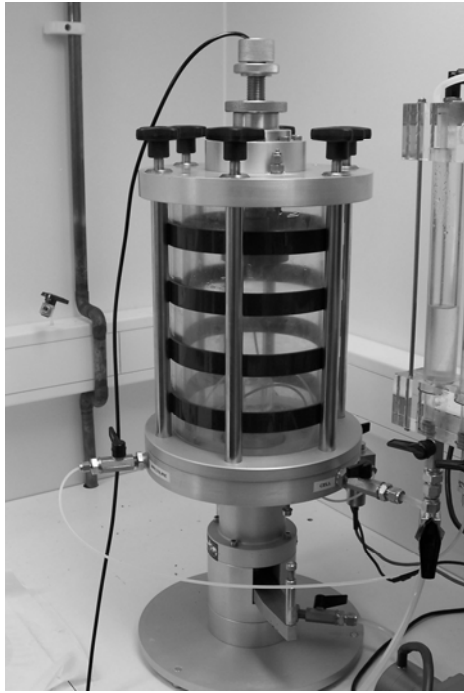
I utförandet av denna metod deformeras en provkropp med konstant hastighet, därav namnet CRS (constant rate of strain), se Figur 8. Vid utförandet skall provet vara ensidigt dränerat och även ha en porttrycksmätare monterad vid den odränerade delen av provet. Vid försöket noteras deformation, påförd kraft samt porttryck, vilket ger möjlighet till beräkning av effektiv vertikalspänning och kompression, varefter förkonsolideringstryck och modul kan beräknas. Under normala omständigheter tar ett försök en dag att genomföra och anses ge tillförlitlig information om lerans deformationsegenskaper.



Figur 8. Utrustning för utförande av CRS-försök.

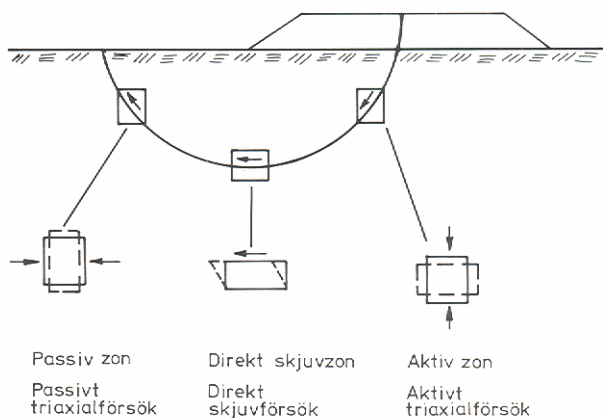
2.4.2 Triaxialförsök

Ett lerprov tas upp för analys genom kolvprovtagning, se Kapitel 2.2.1. I laboratorium omsluts lerprovet av ett gummimembran och placeras i en cell som fylls med vätska, detta för att uppnå ett horisontellt tryck mot lerprovet, motsvarande naturligt tillstånd. Det vertikala trycket kan därefter justeras genom en tryckpress eller via hydraulisk belastningsanordning (Kompetenscentrum, Triaxialförsök, www.kcentrum-infra.chalmers.se, 2005-06-10), se Figur 9.



Figur 9. Triaxialutrustning för utförande av såväl aktiva som passiva försök.

När provet är rätt inställt sker försöket i två faser: Konsolidering och skjuvning. När celltryck och portryck ställts in tillåts provet komma i jämvikt under minst fyra timmar för att låta provet uppnå ”in situ”-spänning. Därefter aktiveras vertikalspänningen och då ska dräneringsvägarna vara öppna för att inte porövertryck skall uppkomma. Denna skjuvningsfas, då vertikalspänningen lagts på, råder lämpligen runt 24 timmar. Skjuvfasen startar då deformation påtvingas provkroppen. För denna fas beror det lite på vad som är av intresse att analysera. Anisotropieffekter gör att det finns tre zoner att ta hänsyn till. Dessa är aktiv-, passiv- och direkt zon, se Figur 10. Den aktiva och passiva zonen kan utvärderas med hjälp av triaxialförsök medan den direkta skjuvzonen utvärderas enligt direkta skjuvförsök, se Kapitel 2.4.3.



Figur 10. Skjuvzoner, Utvärdering av skjuvhållfasthet i kohesionsjord, Larsson R, Bergdahl U, Eriksson L, 1985.

Det finns möjlighet att utföra såväl odränerade som dränerade aktiva försök. Det samma gäller för passiva försök, även om dessa inte är lika vanligt förekommande. För aktivt odränerat försök stängs dräneringsvägarna när själva skjuvfasen startar, vilket leder till att portrycket ökar. Den vertikala spänningen, σ_1 , som läggs på ökar för det aktiva försöket medan den horisontella spänningen, σ_3 , är konstant. Skillnaden för det dränerade försöket är att dräneringsvägarna är öppna och provets effektiva horisontalspänningar är därmed konstanta. För det passiva odränerade försöket låtes dräneringsvägarna vara stängda vilket ger ett ökande portryck. Skillnaden mot det aktiva är att den vertikala spänningen, σ_1 , minskar under denna skjuvfase medan σ_3 är konstant. För det dränerade passiva försöket frambringas även här ett portryck som är konstant. Nedan visas de olika triaxialförsökens randvillkor i tabellform, se Tabell 1.

Tabell 1. Olika randvillkor för typ av triaxialförsök.

Typ av försök	σ_1	σ_3	v, u
Aktivt odränerat, stängda dräneringsvägar	ökar	konstant	v konstant
Aktivt dränerat, öppna dräneringsvägar	ökar	konstant	u konstant
Passivt odränerat, stängda dräneringsvägar	minskar	konstant	v konstant
Passivt dränerat, öppna dräneringsvägar	minskar	konstant	u konstant

Det är av yttersta vikt att deformationshastigheten är konstant och hänsyn till provets permeabilitet tas. Ju lägre permeabilitet det har desto långsammare måste försöket utföras för att inte kännbara porövertryck skall uppkomma (Kompetenscentrum, Triaxialförsök, 2005-06-10).

2.4.3 Direkt skjuvning

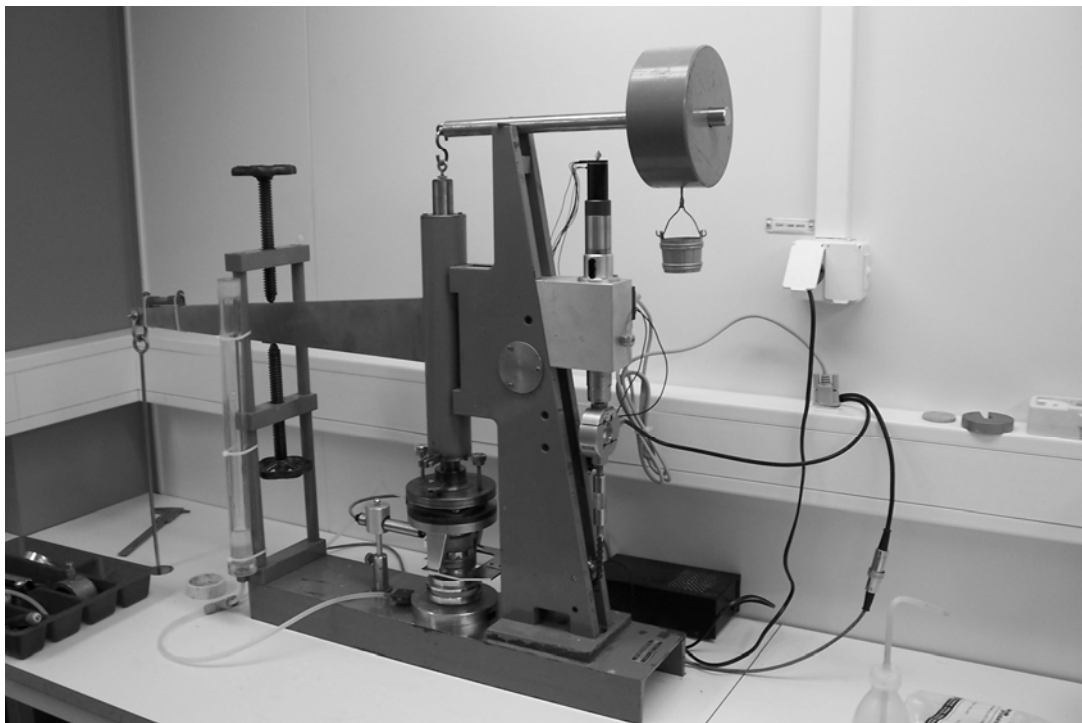
Direkta skjuvförsök har sedan 1930-talet används i Sverige och har med tiden förbättrats både när det gäller utrustning och utförande. På 1950-talet introducerades en förenklad apparat, SGI IV, för stegvisa ödometerförsök och är den utrustning som nu normalt används i Sverige, se Figur 11. En mer avancerad apparat (Geonor- eller NGI-apparaten), utvecklad av Norges Geotekniske Institutt, används idag främst vid universitet och större laboratorier runt om i världen (SGF-Notat 2:2004, Direkta skjuvförsök, www.sgf.net, 2005-06-15).

Direkta skjuvförsök kan utföras som komplement samt kontroll och kalibrering av skjuvhållfasthet, framtagna från vanliga metoder, såsom vingförsök i fält och fallkonförsök i laboratorier (Larsson R, Bergdahl U, Eriksson L, 1985). Skjuvförsöken kan utföras under dränerade såsom odränerade förhållanden, i ostörda prover tagna med kolvprovtagning. Försöken är lämpliga för organiska jordar och andra material med utpräglad horisontell skiktning eller partikelorientering. Främst lämpliga är försöken för finkorniga jordar och vanligen utförs odränerade försök, där proverna rekonsolideras till spänningstillståndet "in situ" innan skjuvningen utförs. För detta gäller att förkonsolideringstryck och effektiv överlagringstryck är känt, eller att proverna konsolideras till ett förutbestämt spänningstillstånd i syfte att efterlikna kommande belastningsfall. Även försök med olika konsolideringsspanningar för ett

och samma jordmaterial kan utföras, i syfte att se hur jordens egenskaper varierar med spänningstillståndet.

För lera och skiktad eller varvig jord, där vertikaltryck är låga i jämförelse med förkonsolideringstryck, är dränerade försök mer lämpliga. För detta bör helst överkonsolideringsgraden (σ'_v/σ'_{v0}) vara större än 2, annars sker inget brott under försöket, utan skjuvkraften ökar samtidigt som provet komprimeras och konsolideras. På samma sätt som vid odränerade skjuvförsök kan provet först tillåtas konsolidera för spänningar nära förkonsolideringstrycket ($0,85$ á $0,9\sigma'_{v0}$) för att därpå avlasta provet till den aktuella konsolideringsspänningen, (Skredkommissionen, Rapport 3:95, 1995). Vidare får vid detta förfarande inte förkonsolideringstrycket under några omständigheter tangeras eller överskridas. När provet väl fått svälla efter avlastningen, kan skjuvförsöket påbörjas.

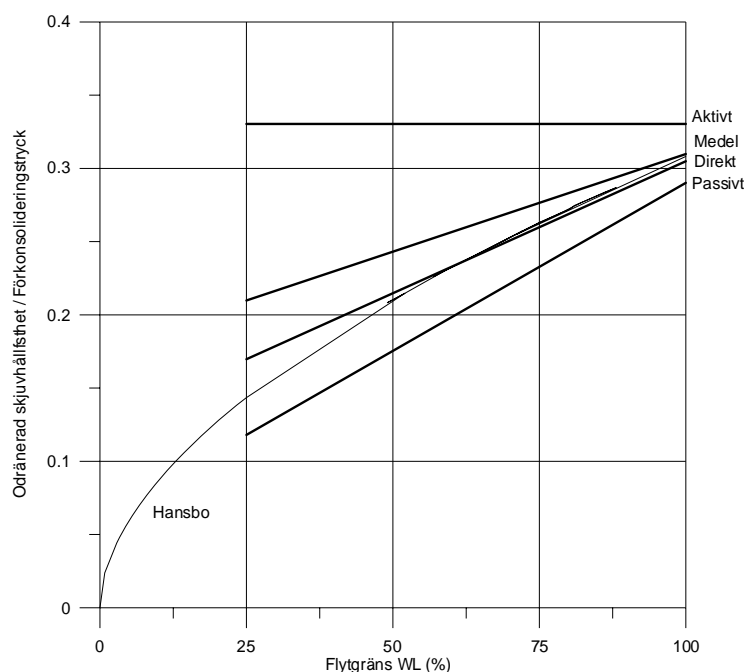
För att få ett bättre och säkrare resultat ur ett direkt skjuvförsök, kan enklare apparater, såsom SGI IV, monteras med en elektrisk motor som skapar en kontinuerlig skjuvning med konstant deformationshastighet. Den horisontella rörelsen registreras då antingen via en indikatorklocka eller via en elektrisk kraftgivare, samtidigt som skjuvkraften registreras med en elektrisk kraftgivare. Detta förfarande underlättar, till skillnad från ett manuellt utförande med stegvis registrering och arbetsintensitet, utvärderingen av försöket, då sambandet mellan spänning och deformation är mer kontinuerligt och utförandet mindre arbetskrävande.



Figur 11. Skjuvapparat SGI IV för utförande av direkta skjuvförsök.

2.5 Empiriska relationer

Med hjälp av erfarenhetsmässiga observationer och försök av skandinaviska oorganiska leror har sammanställningar påvisats att den odränerade skjuvhållfastheten varierar med olika belastningsfall. Således är jorden anisotrop och en sammanställning av försöken från aktivt, passivt samt direkt skjuvning med avseende på flytgräns och förkonsolideringstryck påvisas i Figur 12.



Figur 12. Empiriska relationer mellan odränerad skjuvhållfasthet, förkonsolideringstryck och flytgräns inkluderande Hansbos relation.

Korrigerade hållfasthetsvärden från vingsondering samt fallkonförsök bör jämföras med den skjuvhållfasthet som uppkommer vid direkt skjuvning, då dessa gemensamt har en horisontell glidyta och ifall den empiriska relationen för skjuvhållfasthet samt Hansbos relation gäller (Larsson R, Bergdahl U, Eriksson L, 1985). Detta ger direkt applicerbara värden i släntstabilitetsanalyser med flacka glidytor. Vidare genereras de högsta hållfasthetsvärdena i den aktiva zonen och de lägre i den passiva zonen. Varför aktiva och passiva triaxialförsök enbart bör appliceras till respektive zon.

3 Förutsättningar för undersökningar

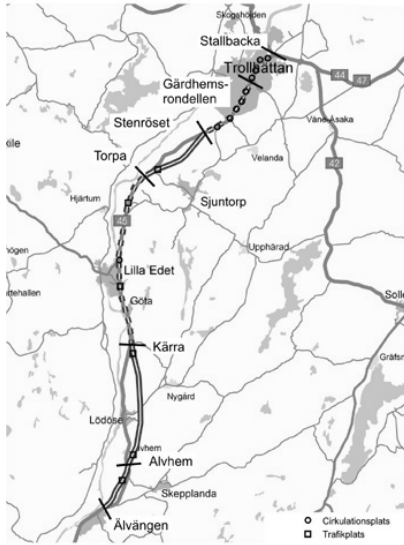
Rutinundersökningar och triaxialförsök har genomförts på Chalmers Geotekniska laboratorium under sommaren och hösten 2005. Leran som undersökts har tagits från tre områden i Västra Götalands Län. Under sommaren 2005 togs prover med kolvprovtagning vilka senare undersöktes på laboratorium enligt standardundersökning. Detta för bestämning av förkonsolideringstryck enligt CRS-försök, densitet, vattenkvot, konflytgräns, sensitivitet och oreducerad skjuvhållfasthet enligt fallkonförsök. Samtidigt utfördes även vingsonering för oreducerad skjuvhållfasthet samt CPT-sonering för utvärdering av jordprofil och porttryck. Därefter utfördes triaxialförsök för vidare analys av lerans förkonsolideringstryck samt skjuvhållfasthet, för jämförelse med standardundersökningens resultat.

3.1 Belastningshistoria

Vid genomförande av geotekniska undersökningar är det av stor betydelse att veta hur marken historiskt sett belastats. Exploatering i form av avschaktning och uppfyllnader är av intresse men även erosion är av stor vikt att ta hänsyn till. Detta för att bedöma tillämpligheten av resultat i undersökningen och huruvida dessa är av betydelse för fortsatta bedömningar eller undersökningar.

3.1.1 Geografiska perspektiv

Detta examensarbete har studerats utifrån tre geografiska platser. Det ena området är beläget kring Alvhem och Kärra, norr om Göteborg i Lilla Edets kommun, se Figur 13. Här har de geotekniska undersökningarna utförts i samband med den planerade nybyggnationen av riksväg 45. De andra två områdena är belägna i Göteborg. Ett vid centralstationen och ett annat vid SAAB:s växellådsfabrik intill Mölndalsån strax söder om Liseberg, se Figur 14 och 15. De två sistnämnda områdena tillhör planerandet av det framtida tunnelbyggandet, Västlänken.



Figur 13. Karta över området Alvhem och Kärra. Vägverket, www.vv.se, 2005-10-18.



Figur 14. Bild utmed Mölndalsån söder om Liseberg, www.stadsbyggnads.goteborg.se, 2005-12-06.



Figur 15. Bild av centralstationen under nybyggnation, www.btf.nu 2005-12-06.

3.1.2 Geologi och lerans egenskaper

Alvhem och Kärra

Området kring Alvhem och Kärra består idag av oexploaterad åkermark med berg i dagen vid vardera sida. Området är långsträckt i nordlig riktning, där nuvarande riksväg sträcker sig. Leran i naturlig mark består överst av cirka en halv till två meter mäktig torrskorpa, varav leran i vissa ställen uppgår till minst cirka 45 meters mäktighet. För att lokalt beskriva lerans egenskaper har detta indelats för respektive borrhål på grund av att en generell beskrivning av området inte skulle visa sig vara representativ nog för de utförda försök som gjorts.

Borrhål 100120 visas vara gyttjig lera ner till sju meters djup. Därefter grå lera med mäktigheten tre meter. Varav sista skiktet grå lera med sulfidinslag varierande från svart till mörk, ner till 36 meters djup. Densiteten över hela lermäktigheten kan i medel sägas vara cirka 1.62 t/m^3 men att den varierar något mellan de olika djupen. Grundvattenytan ligger en halv meter under markytan och visar sig i stort vara hydrostatiskt ner till 36 meter. Leran är mellansensitiv med sensitivitetvärden i intervallet 11-21 %. Naturliga vattenkvoten varierar från 52 till 86 % medan konflytgränsen växlar mellan 49 till 88 %.

Borrhål 10286 påvisar vara en grå lera med inslag av vasstrån ner till sex meters djup. Därefter grå lera ner till och med åtta meters djup. Varav sista skiktet visar sig vara grå lera med sulfidinslag av varierande färg, mörk och fläckig till nästan svart, ner till 45 meters djup. Densiteten i medel är ungefär 1.62 t/m^3 . Sensitiviteten är av varierande grad och i intervallet 12-33 %, vilket liknar ett mellansensitivt omfång. Den naturliga vattenkvoten ligger mellan 42 till 89 % och konflytgränsen varierar från 45 till 81 %.

Borrhål 20322 påvisar vara grå lera med organiskt innehåll ner till och med sex meter. Därefter grå lera med sulfidinslag ner till och med tolv meter. Varav sista skiktet är grå lera med siltigt innehåll, ner till och med femton meter. Medeldensiteten ligger på 1.62 t/m^3 . Naturlig vattenkvot varierar från 38 till 90 % varav konflytgränsen från 27

till 50 %. Denna lera konstateras vara sensitiv på grund av sitt innehåll av organiskt material och siltinnehåll.

Nämnvärt är att densiteten över de tre borrhålen ligger samtliga på en medeldensitet av 1.6 t/m^3 . Detta tros bero på den geologiska strukturen, där samma lera i princip förekommer över hela området. Variationerna i sensitivitet beror delvis på hur leran tidigare varit belastad och under vilken tid samt av vilken mängd saltinnehåll påverkat leran.

Centralstationen

Området kring centralstationen består idag av stor andel exploaterad mark där järnvägsspår, vägar, trottoarer, parkeringar och större byggnader, exempelvis nybyggda centralhuset, har uppförts. Detta har gjorts kontinuerligt sedan lång tid tillbaka och förmodas fortskrida utefter tillväxt. På grund av detta finns där nästan enbart överbyggd mark i form av asfalt och betong. Före exploateringen i slutet av 1800-talet fanns där inget som tros ha påverkat marken nämnvärt.

Borrhål 50001 påvisar vara brun grusig sand med visst inslag av mull ner till tre meters djup. Vid detta djup återfinns även betongrester samt tegel och porslin, tydande på tidigare byggnationer av enklare slag. Därefter grå siltig lera ner till åtta meters djup. Från djup tio till arton meter påvisas mörkgrå lera med inslag av sulfid och silt. Varefter siltig grå lera med inslag av sulfid påvisas ner till 50 meters djup. Den naturliga vattenkvoten varierar mellan 61 och 82 %. Konflytgränsen ligger mellan 64 och 78 % och medeldensiteten är 1.62 t/m^3 .

SAAB:s växellådsfabrik

Området kring SAAB:s växellådsfabrik söder om Liseberg ligger intill Mölndalsån och är exploaterad mark vid vattendrag. Här återfinns flertal kontors- och industribyggnader uppförda mellan 1946 och 1950. Området är plant och ingen påtaglig vegetation finns förutom vid Mölndalsåns åkanter. Marken består huvudsakligen av lera med en mäktighet av 15-20 meter ner till berg.

Borrhål 66101 innehar vid tre till åtta meters djup en grå gyttjig lera. Därefter återfinns grå lera ner till och med 16 meters djup. Lerans sensitivitet är relativt låg med värden mellan 6 och 13 %.

4 Utförda försök

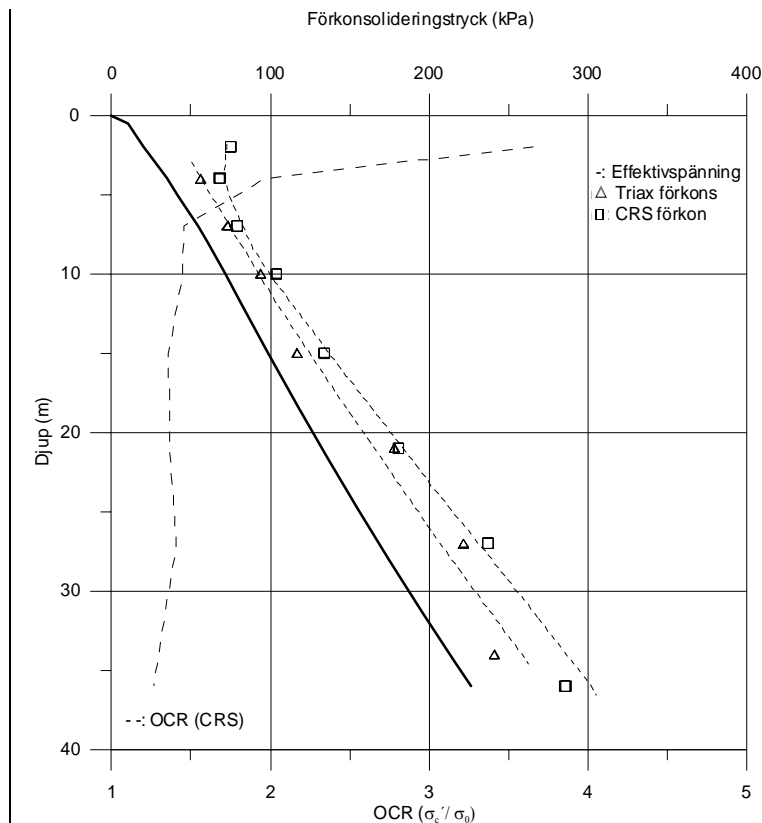
Resultaten är från flertalet gjorda försök för de ovannämnda borrhålen. Dessa presenteras utefter borrhål och typ av analys. Vidare kan även de flesta Figurer hädanefter ses i ursprungligt format under Kapitel 10, Appendix.

4.1 Förkonsolideringstryck och effektivspänning

Här görs en jämförelse mellan effektivspänning och förkonsolideringstryck, utvärderade såväl från triaxial- som CRS-försök, för respektive borrhål. Med hjälp av känt portryck och lerans tunghet har således effektivspänning tillsammans med förkonsolideringstryck plottats utmed aktuellt djup. Vidare har även OCR(överkonsolideringsgrad) beräknats i syfte att veta om leran är normal- eller överkonsoliderad.

4.1.1 Bh 100120

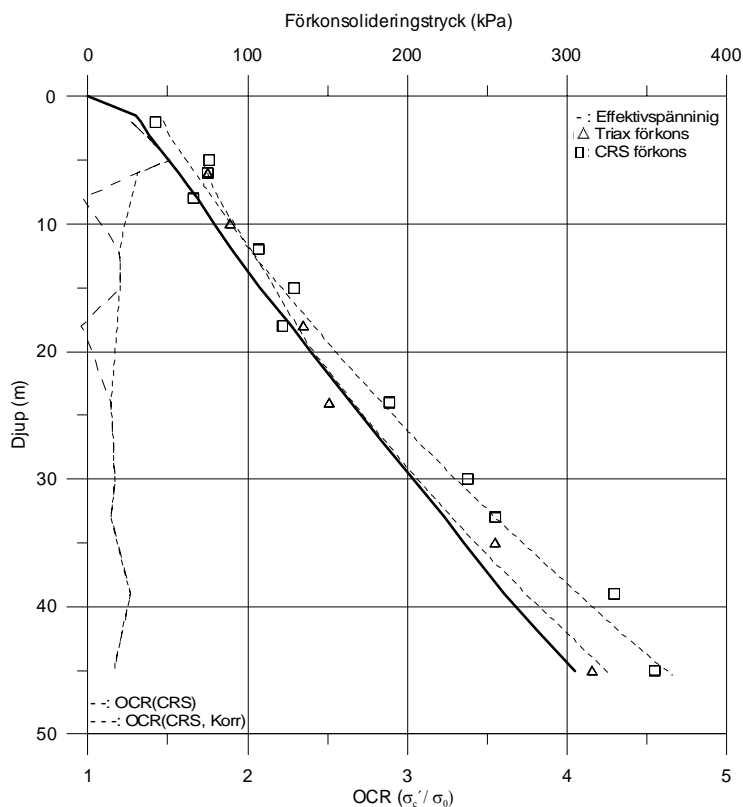
I jämförelse mellan förkonsolideringstrycken utvärderade från CRS och triaxialförsök, kan det noteras att förkonsolideringen för CRS är något högre än triaxialförsökens förkonsolideringstryck, åtminstone för de största djupen, se Figur 16. Grundvattenytan ligger 0.5 meter under markytan och är hydrostatiskt. OCR visar ett förväntat utseende. Vid de grunda provdjupen fås höga OCR, upp till 3.5 på grund av ytliga påverkningar, medan OCR stabiliseras från 8 meter nedåt och ligger runt 1.4. Vilket i stort betyder att förhållandet mellan förkonsolideringen för CRS och effektivspänningen ej förändras något speciellt utmed djupet. Resultatet visar att leran är svagt överkonsoliderad.



Figur 16. Förkonsolidering och effektivspänning för bh 100120.

4.1.2 Bh 10286

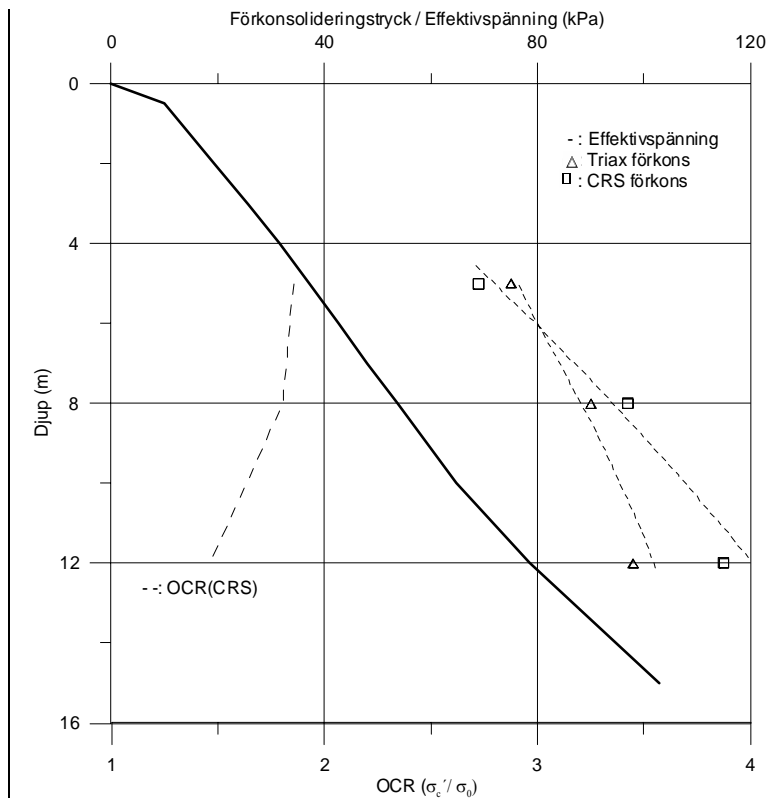
För detta borrhål avlästes en närbelägen spets vid portrycksmätningen, närmare bestämt borrhål 10280, belägen 120 m söder om det aktuella borrhålet. Portrycket antogs hydrostatiskt och en uppskattad nivå på grundvattenytan kunde göras, vilken bestämdes till 1.5 meter under markytan. CRS-försökens förkonsolidering gav mer spridda resultat än för borrhål 100120. Triaxialförsökens förkonsolidering var inte så spridda men överlag relativt låga. Genomgående är förkonsolideringen för CRS något högre än förkonsolideringen för triax. Det påvisas även att båda förkonsolideringarna ligger närmare effektivspänningen än i föregående borrhål och på vissa djup ligger de till och med under effektivspänningen. Detta påvisas i OCR-analysen, där OCR visar värden lägre än ett, vilka inte är möjliga resultat. Det är CRS-försöken vid 8 och 18 meter samt triaxialförsöket vid 24 meter detta påvisas. Trolig orsak tros vara störning av försöken, antingen har provet behandlats ovarsamt eller så har provet innehållit organiskt material. Bortses dessa djup kan en tillfredsställande OCR-kurva redovisas, där avvikelser urskiljs i Figur 17. Detta ger mer konstanta OCR-värden runt 1.20 från djup 10 meter och nedåt. Detta betyder att leran antas vara mycket svagt överkonsoliderad.



Figur 17. Förkonsolidering och effektivspänning för bh 10286.

4.1.3 Bh 20322

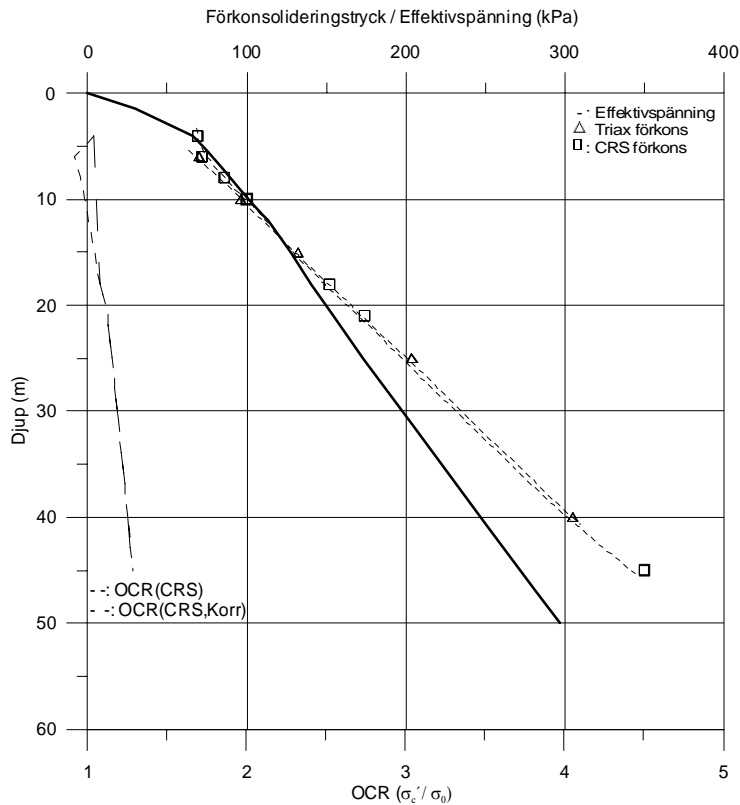
För detta borrhål avlästes spetsar från borrhål 20318, vilket är beläget 250 meter sydväst om borrhål 20322. Grundvattenytan ligger på 0.5 meter under markytan och hydrostatiskt porttryck antas råda över hela djupet ner till 15 meter. Vid endast tre djup finns resultat av förkonsolideringstryck från CRS- och triaxialförsök. Vid fem meters djup är förkonsolideringstrycket för triaxialförsöket något högre än för CRS-försöket. Vid åtta och tolv meters djup är förkonsolideringstrycket för CRS-försöken högre än för triaxialförsöken, där det är kraftigt högre vid tolv meter. OCR har ett värde på 1.8 mellan fem till åtta meter och sjunker till 1.5 vid tolv meters djup. Leran anses vara svagt överkonsoliderad, se Figur 18.



Figur 18. Förkonsolidering och effektivspänning för bh 20322.

4.1.4 Bh 50001

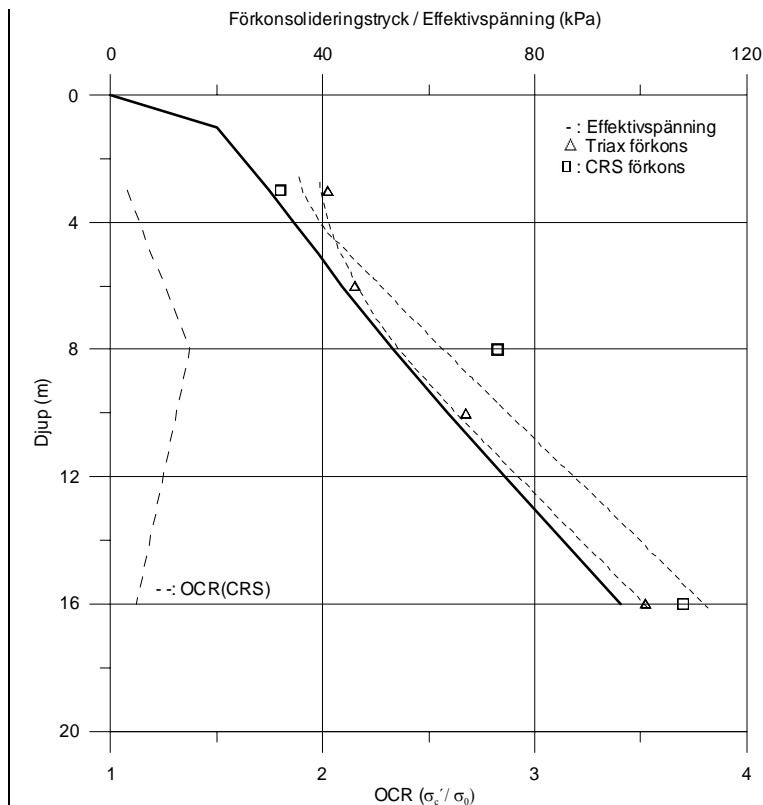
Detta borrhål hade en portrycksspets som kunde avläsas vid det aktuella borrhålet. Portrycket antas råda hydrostatiskt över hela djupet, där en grundvattennivå befinner sig tre meter under aktuell marknivå. Som Figur 19 visar, följer CRS- och triaxialförsökens förkonsolideringstryck varandra relativt väl, alltså inte den skillnad som visat sig i de tidigare borrhålen. Ner till tio meter ligger båda försöken under antagen effektivspänning. Från tio meter är förkonsolideringen för CRS- och triaxialförsöken större än effektivspänningen och skillnaden ökar kontinuerligt utmed djupet. Från samma djup ökar OCR och ligger mellan 1-1.3. På grund av fyllningens inverkan, se Kapitel 3.1.2, är leran normalkonsoliderad gränsande till svagt överkonsoliderat.



Figur 19. Förkonsolidering och effektivspänning för bh 50001.

4.1.5 Bh 66101

Som i föregående borrhål kunde en spets vid aktuellt borrhål avläsas. Portrycket antas hydrostatiskt över hela djupet där grundvattennivån befinner sig 0.5 meter under markytan. CRS-försökens förkonsolideringstryck är överlag högre än triaxialens förkonsolideringstryck förutom vid de ytliga djupen som är ner till 4 meter se Figur 20. OCR ökar ner till åtta meter med ett värde av 1.4 för att sedan sjunka ner till 1.1 vid 16 meters djup. Leran anses svagt överkonsoliderad.



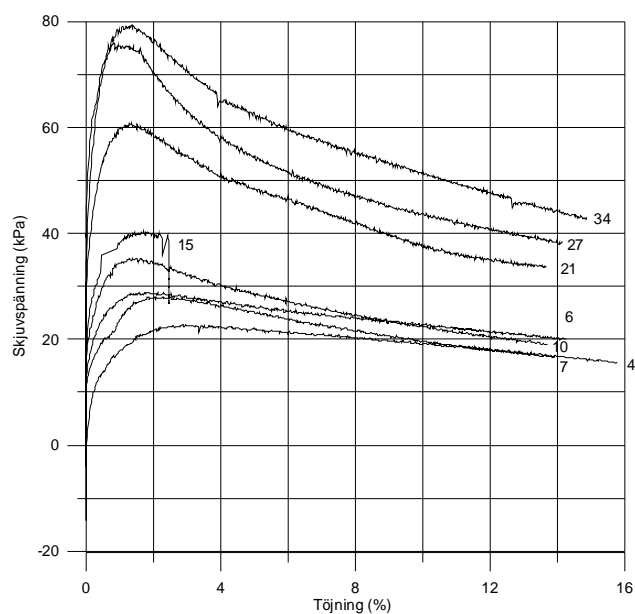
Figur 20. Fötkonsolidering och effektivspänning för bh 66101.

4.2 Skjuvspänning och töjning

Ur aktiva triaxialförsök har skjuvspänningen samt töjningen undersökts för respektive borrhål och aktuellt djup. Detta för att ta reda på hur lerans plastiska och elastiska egenskaper ser ut vid skjuvbrott som erfarenhetsmässigt normalt sker vid en töjning på 1.5-2 %.

4.2.1 Bh 100120

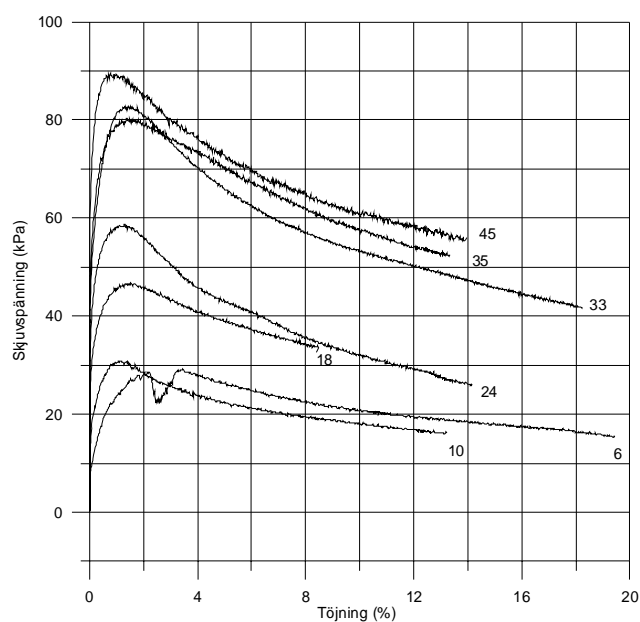
Figur 21 visar att skjuvspänningen vid brott generellt ökar med djupet. Brott vid de olika djupen frambringas vid likartade töjningar, se Kapitel 2. Dessa skjuvbrott uppkommer vid en töjning på 1.3 – 1.5 % för alla djup, vilket anses vara normalt. Då alla djup går till brott vid liknande töjning med ökad skjuvspänning utmed djupet, får de djupare försöken ett sprödare utseende. Vid djup 34 meter utläses den högsta skjuvspänningen vid brott, som är strax under 80 kPa. Den lägsta är 20 kPa och är belägen vid djup 4 meter. Försöket för djup 15 meter får anses som tveksamt, då det är ofullständigt. Detta beror troligen på att testet av någon anledning plötsligt avbrutits. Även om detta försök inte är godkänt, är det av intresse att se på kurvans start som faktiskt följer ökningen av skjuvspänningen med avseende på djupet exemplariskt. Vilket också är anledningen till att det redovisas i detta diagram.



Figur 21. Skjuvspänning mot töjning, bh 100120.

4.2.2 Bh 10286

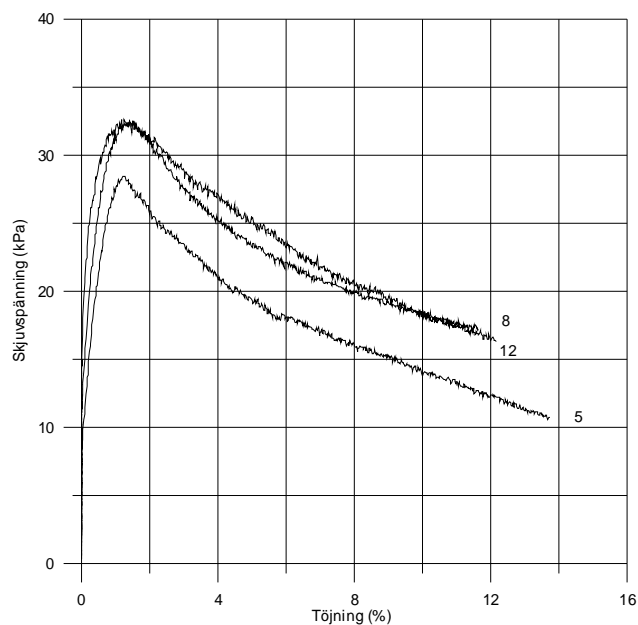
Skjuvspänningen vid brott ökar med djupet på liknade sätt som föregående borrhål förutom några undantag. Bland annat påvisas skjuvspänningen vid brott för djup 33 meter vara aningen högt där det till och med är över skjuvspänningen vid brott för djup 35 meter, där den senare uppvisar ett segare brott än närliggande skjuvkurvor, se Figur 22. Försöket vid 6 meters djup resulterar i en viss avvikelse från övriga skjuvspänningskurvor. Skjuvspänningen sjunker när töjningen passerar drygt 2 % för att sedan återuppta tänkt spänning.



Figur 22. Skjuvspänning mot töjning, bh 10286.

4.2.3 Bh 20322

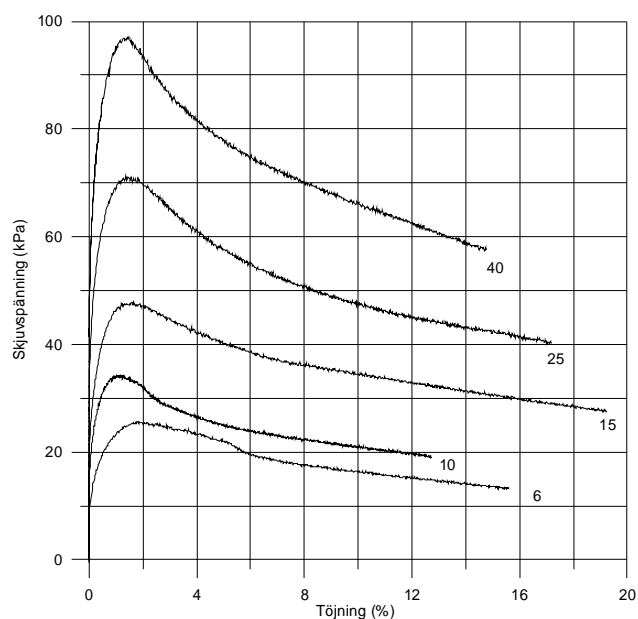
Liknande tidigare borrhål uppvisar alla kurvor i detta diagram ökande skjuvspänning vid brott med avseende på djupet, där samtliga kurvor har ett sprött utseende, se Figur 23. De tre skjuvspänningskurvorna har en brottgräns vid samma töjning, vilken är runt 1.5 %. Vid djup åtta meter och tolv meter kan en gemensam topp, alltså brottgränsen, utläsas på 33 kPa. Skjuvspänningens topp vid fem meters djup är något lägre och befinner sig på 27 kPa.



Figur 23. Skjuvspänning mot töjning, bh 20322.

4.2.4 Bh 50001

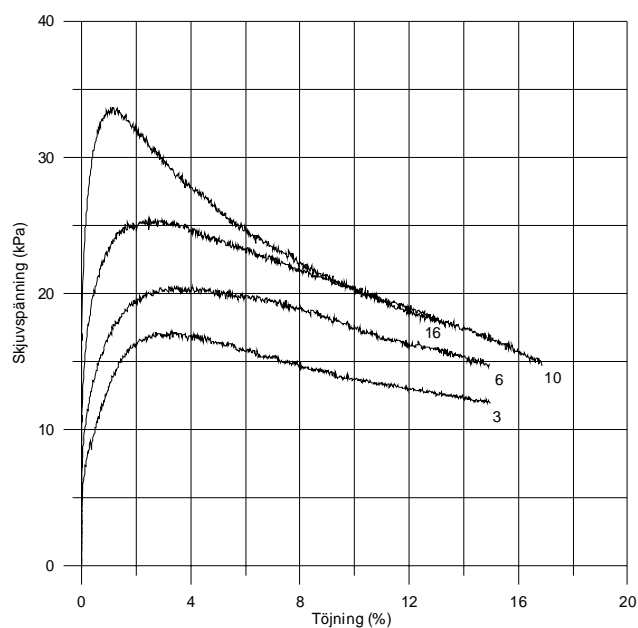
Töjningarna vid brott för de olika djupen i borrhål 50001 är överlag mellan 1.5-1.8 %, se Figur 24. Liknande tidigare borrhål ökar skjuvspänningen vid brott utmed djupet med en närliggande konstant töjning vilket ger sprödare brott ju större djupet blir. Den lägsta skjuvspänningen vid brott återfinns vid djup 6 meter och är på 25 kPa medan den högsta befinner sig på 40 meters djup med ett värde på 97 kPa.



Figur 24. Skjuvspänning mot töjning, bh 50001.

4.2.5 Bh 66101

Skjuvspänningen vid brott för djupen i borrhål 66101 ökar på ett kontinuerligt sätt som kunnat skådas i tidigare fall, se Figur 25. Dock ökar skjuvspänningen vid djup 16 meter något mer, fram till brott, i jämförelse med övriga djup. Vid detta djup kan en skjuvspänning vid brott på 23 kPa avläsas, vilket är den högsta för detta borrhål. Den lägsta ligger vid tre meter och är över 16 kPa. Töjningarna varierar något och minskar med avseende på djupet.



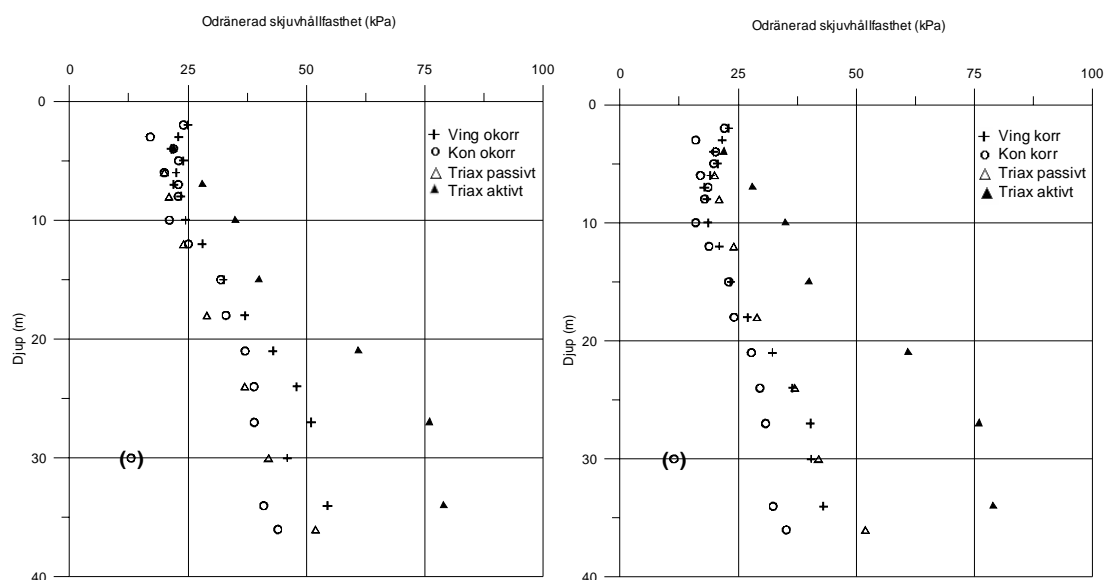
Figur 25. Skjuvspänning mot töjning, bh 66101.

4.3 Odränerad skjuvhållfasthet

Vid standardundersökning i fält bestäms skjuvhållfastheten för leran genom vingsondering och i laboratorium enligt fallkonförsök, se Kapitel 2.3. Dessa värden har sammanställts mot nivå eller djup under markytan och är i början okorrigerade och visar en högre hållfasthet innan korrigering gjorts. För att jämföra rutinundersökningarna med mer avancerade försök har även odränerade aktiva och passiva triaxialförsök sammanställts i samma diagram för aktuellt borrhål. Detta ger en bättre bild av variationerna av hållfasthet från de olika försöken.

4.3.1 Bh 100120

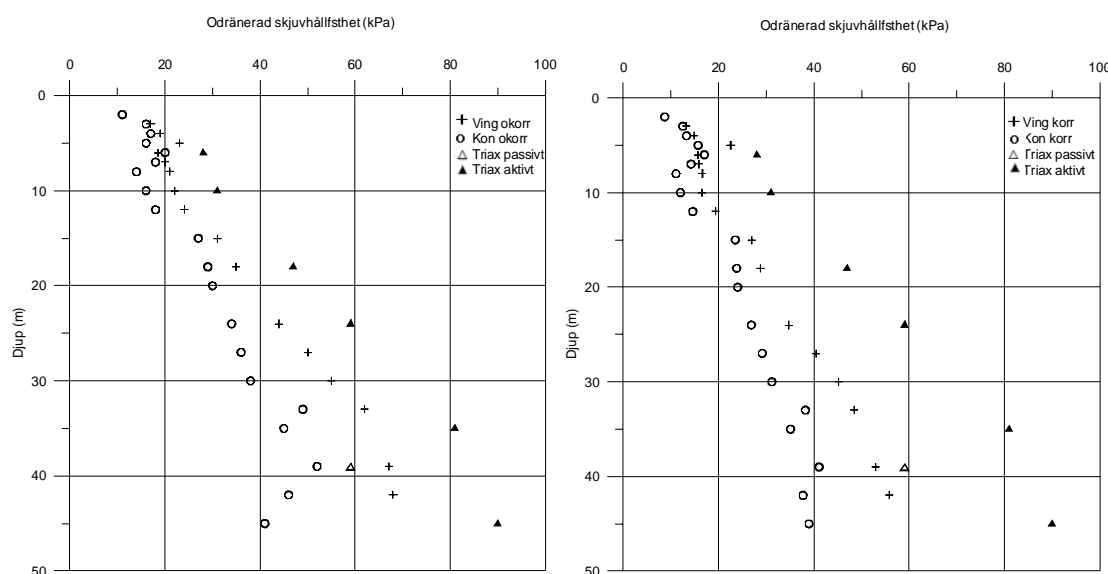
Försöket visar att skjuvhållfastheten för vingsonderingen och fallkonförsöket tenderar vara lika de första 15 metrarna, för att vid de djupare jordskikten skilja sig åt, se Figur 26 vänstra delen. Detta följer ett normalt utseende eftersom fallkonförsök vid större djup än 15 meter medför en påtaglig avlastning och spänningsomlagring i proverna vilket också påverkar resultatet i form av för låga hållfasthetsvärden (Skredkommissionen, 3:95, 1995). Efter korrigering av vingsondering och fallkonförsök minskar dessa värden något, varav de hamnar intill värden från passiva triaxialförsök, se Figur 26 högra delen. Vingsonderingen följer de passiva värdena medan fallkonförsöket ligger precis något under de passiva utöver hela djupet. Vid djup 30 meter förefaller ett värde från fallkonförsöket att vara alldeles för lågt. Här påvisas en störning vilket troligtvis orsakats på grund av felhantering av provet vid försöksutförandet eller det faktum att leran vid detta djup innehåller inslag av sand. Detta kan även tydas utifrån vingsonderingen och det passiva försöket vid samma djup, som visar en plötslig minskning av hållfasthet.



Figur 26. **Vänstra:** Okorrigerad skjuvhållfasthet, bh 100120. **Högra:** Korrigerad skjuvhållfasthet, bh 100120.

4.3.2 Bh 10286

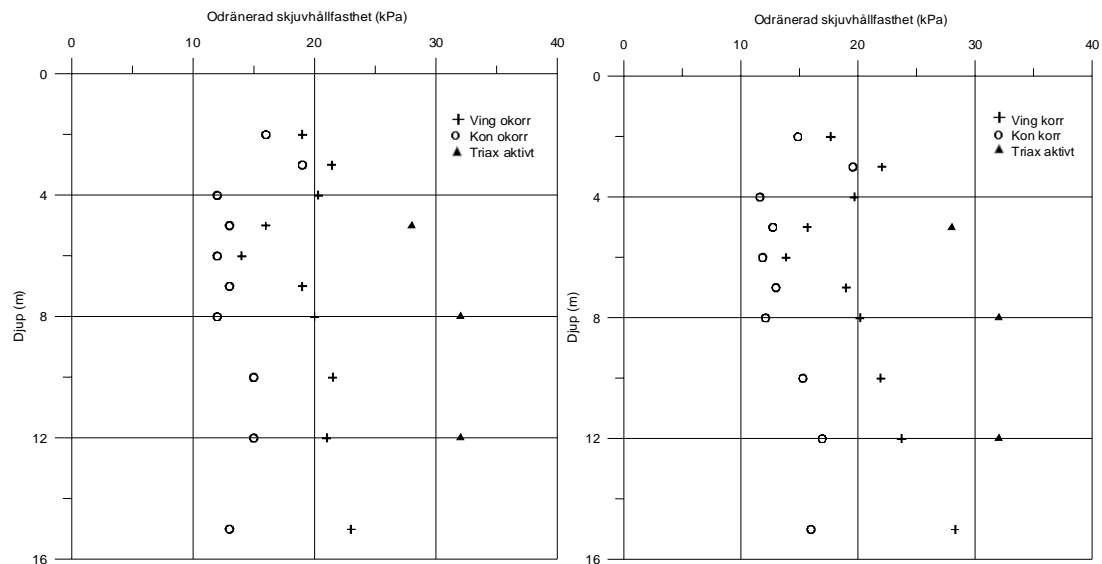
Här påvisas en viss skillnad mellan vingsonderingen och fallkonförsöket. Dessa följer samma mönster utmed djupet men tenderar visa större skillnad gentemot varandra på vissa punkter. Några av de specifika punkterna är vid djup sex respektive 42 meter. Som tidigare nämnts, tenderar fallkonförsök vid större djup än 15 meter visa låga hållfasthetsvärden, vilket skådas ur Figur 27. Däremot påvisar vingsonderingen vara mindre utspridd och följa en linjär ökning av hållfastheten utmed djupet. Till skillnad från borrhål 100120, har detta borrhål endast ett enda passivt triaxialförsök vid 39 meters djup, varav det är svårt att veta huruvida den passiva skjuvhållfastheten utvecklas utmed djupet.



Figur 27. **Vänstra:** Okorrigerad skjuvhållfasthet, bh 10286. **Högra:** Korrigerad skjuvhållfasthet, bh 10286.

4.3.3 Bh 20322

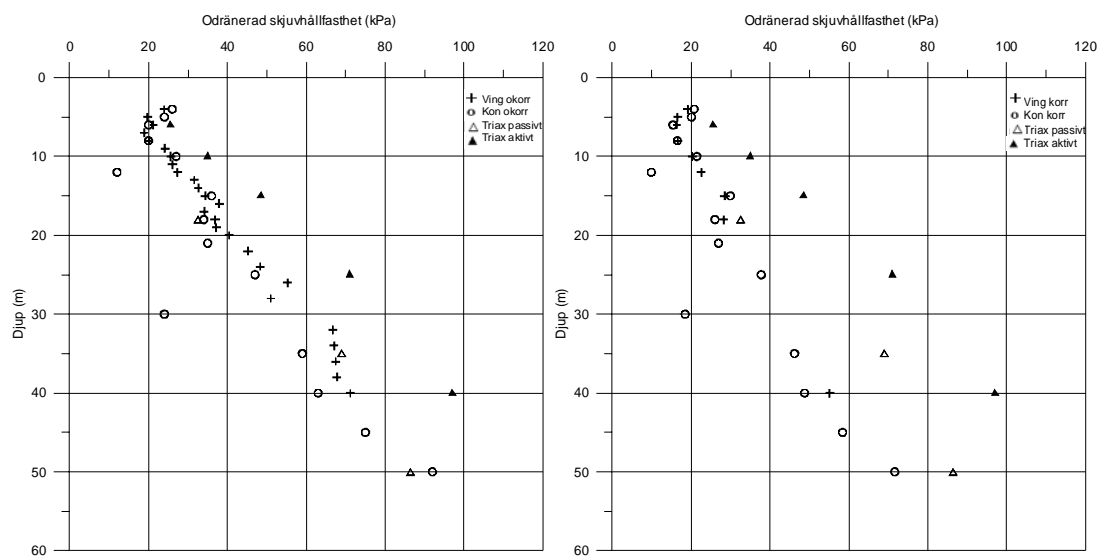
Figur 28 visar till skillnad från tidigare borrhål stor spridning av skjuvhållfasthetsvärdena mellan fallkonförsök och vingsondering. Denna lera har till skillnad från de övriga lerorna mer innehåll av organiskt material, i form av rottrådar och vasstrån men även spår av snäckskal. Detta påverkar skjuvhållfastheten på flera sätt. Inga passiva triaxialförsök har utförts för detta borrhål.



Figur 28. **Vänstra:** Okorrigerad skjuvhållfasthet bh 20322. **Högra:** Korrigerad skjuvhållfasthet bh 20322.

4.3.4 Bh 50001

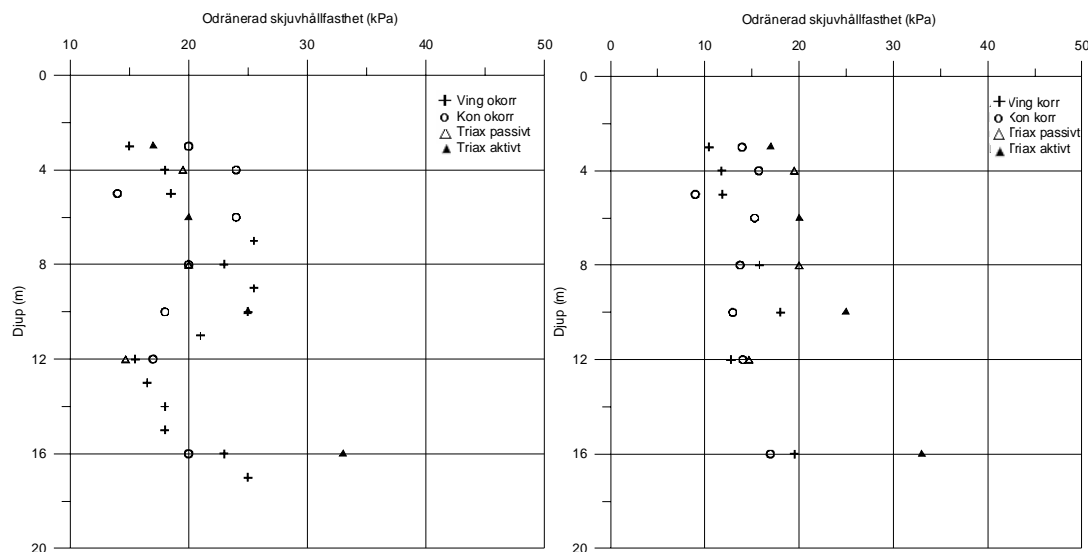
Skjuvhållfastheten för borrhål 50001 visar tätare värden utmed djupet mellan fallkonförsök och vingsonering, se Figur 29. Detta gäller dock inte djupen 12 och 30 meter, där värdena för fallkon påvisar lägre hållfasthet, 12 respektive 24 kPa. Detta tyder på övergång från fastare lager till ett lösare lager med siltinnehåll, vilket även kan utläsas med hjälp av den låga sensitivitet vid dessa djup. I övrigt faller de aktiva och passiva triaxialförsöken väl utmed djupet och inga störningar påvisas.



Figur 29. **Vänstra:** Okorrigerad skjuvhållfasthet bh 50001. **Högra:** Korrigerad skjuvhållfasthet bh 50001.

4.3.5 Bh 66101

Dessa värden visar stor spridning och där ett orimligt värde påvisas vid djup 5 meter för fallkon, som har en låg sensitivitet tydande på störning vid hantering av provet, se Figur 30. I övrigt visar hållfastheten vara högre ner till 10 meters djup, där skiktet består av gyttjig lera. Därefter sjunker hållfastheten något, för att sen påvisa ökning utmed djupet. Detta antas fortskrida, trots att inga djupare värden eller försök gjorts.



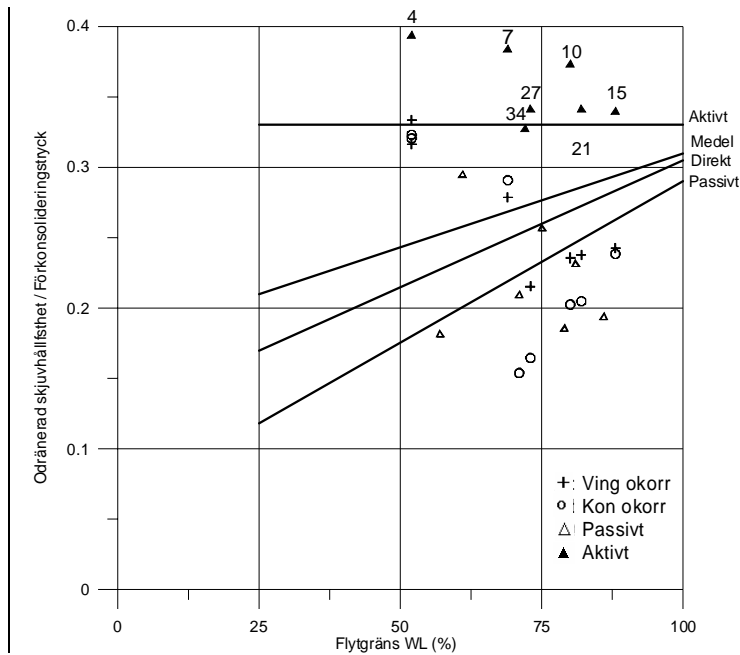
Figur 30. **Vänstra:** Okorrigerad skjuvhållfasthet bh 66101. **Högra:** Korrigerad skjuvhållfasthet bh 66101.

4.4 Empirisk sammanställning

Den odränerade skjuvhållfastheten kan med stöd från empiriska relationer bedömas utifrån förkonsolideringstryck och flytgräns. Detta illustreras där okorrigerad skjuvhållfasthet för vingsonering samt fallkonförsök sammanställts med aktiva och passiva triaxialförsök.

4.4.1 Bh 100120

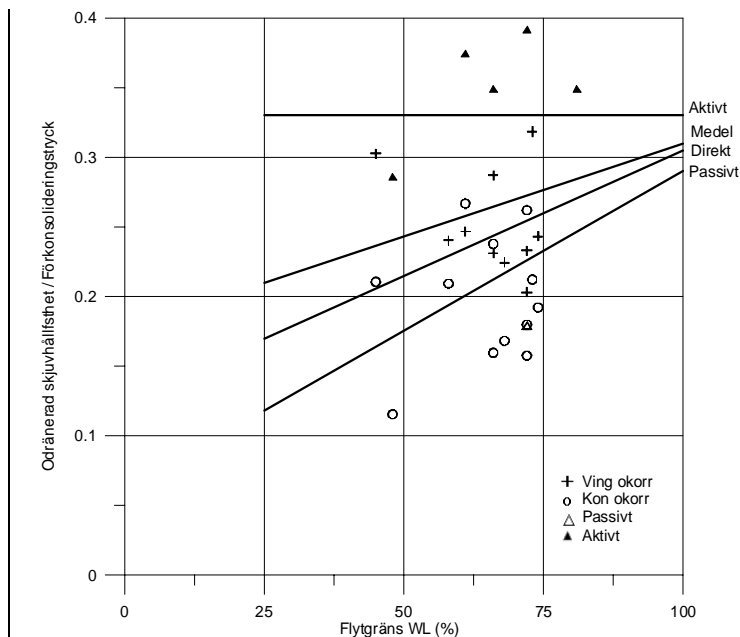
Försöket visar att de aktiva och passiva triaxialförsöken väl följer de empiriska relationerna med få undantag medan vingsonering och fallkonförsök ligger mer utspridda, se Figur 31. Detta beror på skillnader i försöksmetod och lerans sensitivitet, se Kapitel 4.3.1. Mindre djup visar högre värden beroende på dräneringseffekter vid torrskorpan eller på grund av erosion eller annan form av avlastning. Detta bidrar till överkonsolidering i form av högre förkonsolideringstryck.



Figur 31. Empiriska relationer i förhållande till odränerade försök, bh 100120.

4.4.2 Bh 10286

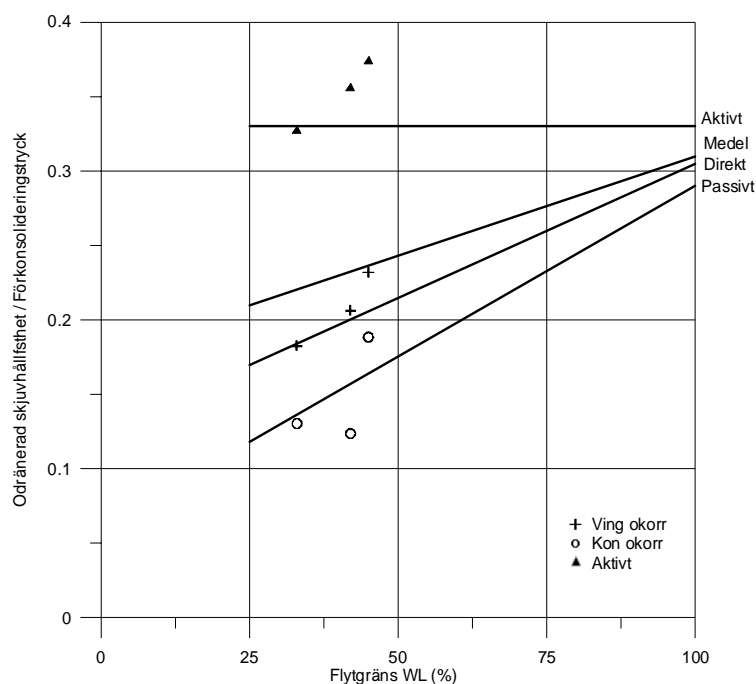
Större spridning påvisas även här för vingsondering och fallkonförsök medan de aktiva och passiva försöken väl ligger intill de empiriska relationerna, förutom ett aktivt försök, vid flytgräns 48 % som ligger strax under 0,3, se Figur 32. Troligtvis på grund av störning vid utförandet av testet.



Figur 32. Empiriska relationer i förhållande till odränerade försök, bh 10286.

4.4.3 Bh 20322

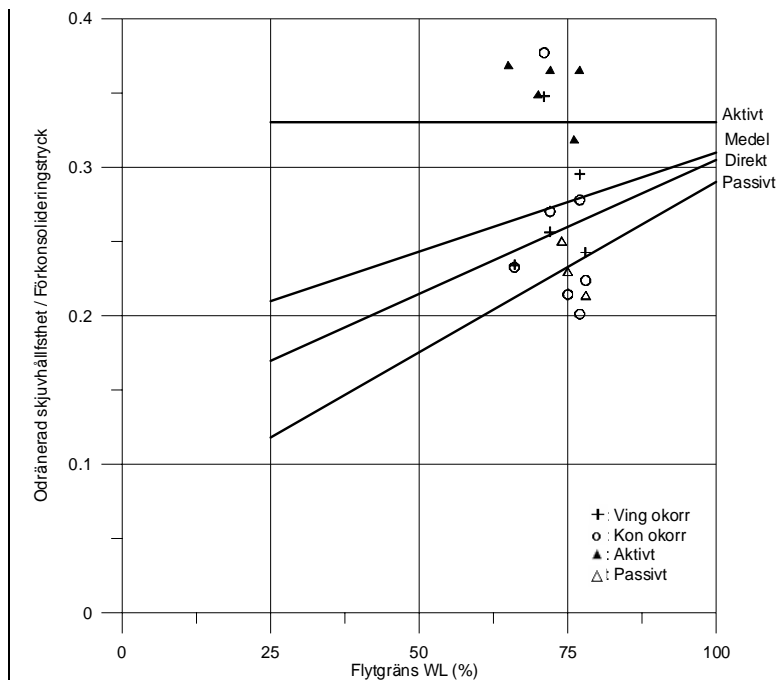
Mindre spridning mellan de olika försöken kan urskiljas för borrhål 20322 jämfört med de övriga borrhålen. Där endast tre värden påvisas ur varje försök. Dock följer dessa värden sina respektive empiriska relationer väl, där vingsondering ligger väl utmed de empiriska relationerna för direkt skjuvning, se Figur 33.



Figur 33. Empiriska relationer i förhållande till odränerade försök, bh 20322.

4.4.4 Bh 50001

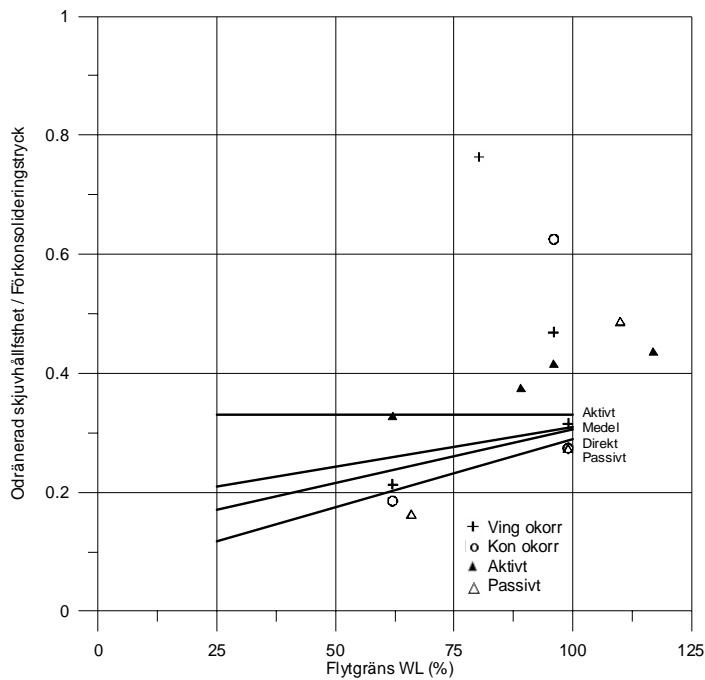
För detta borrhål kan en viss spridning på vissa försök noteras, se Figur 34. Fallkonen har vissa höga och låga avvikelser, där ett högt kan avläsas till 0.38. Några låga värden ligger under den empiriskt passiva relationen. Det kan konstateras att vingborrningen har likartad spridning som fallkonen men något mindre spridningsintervall. Det passiva försöket stämmer väl överens med den empiriskt passiva relationen och likadant kan sägas för det aktiva försöket, som stämmer överens med den aktiva relationen.



Figur 34. Empiriska relationer i förhållande till odränerade försök, bh 50001.

4.4.5 Bh 66101

Detta borrhål har till viss del en extrem spridning vad gäller samtliga försök, se Figur 35. Därmed följer inte de empiriska relationerna speciellt tillfredställande, förutom det aktiva försöket som har stora likheter med den aktiva relationen. Om några av de mer extrema värdena bortses skulle mer rimliga kurvor kunna ses, liknande de tidigare borrhålen. Orsaken till de stora variationerna är bland annat den varierande sensitivitet som råder. Vid djup tolv meter kan urlakning vara orsak till den höga sensitivitet. För djup 16 meter är sensitiviteten 2 och detta kan vara mer komplext att förklara, men någon form av störning är en trolig orsak.



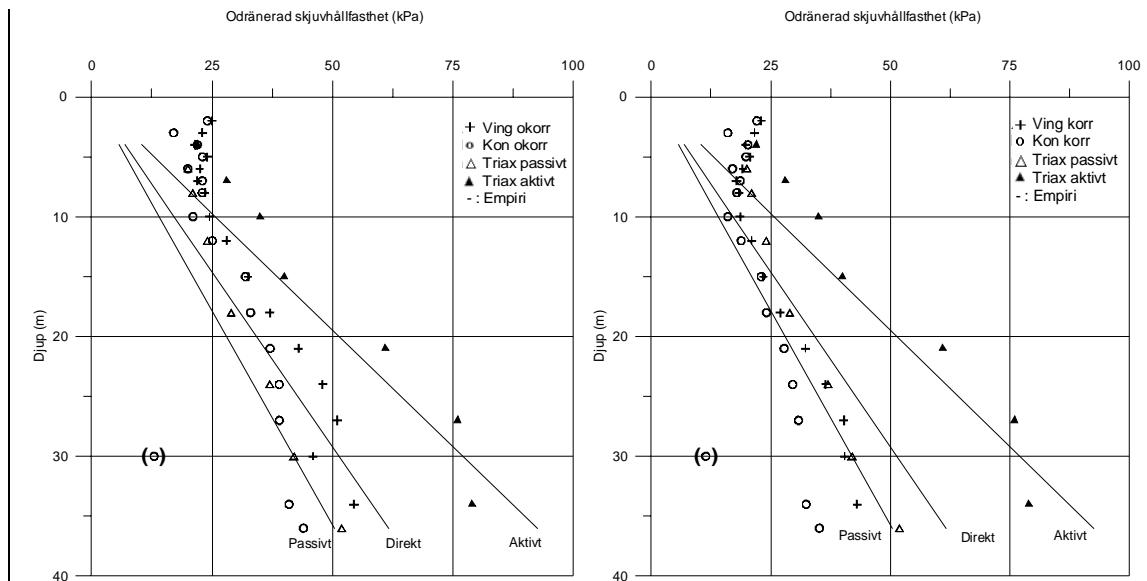
Figur 35. Empiriska relationer i förhållande till odränerade försök, bh 66101.

4.5 Empiriska relationer med avseende på djup

Odränerad skjuvhållfasthet kan även bedömas utmed djupet med stöd från empiriska relationer. På detta vis framhävs skjuvhållfasthetens variation med djupet bättre och mer överskådligt.

4.5.1 Bh 100120

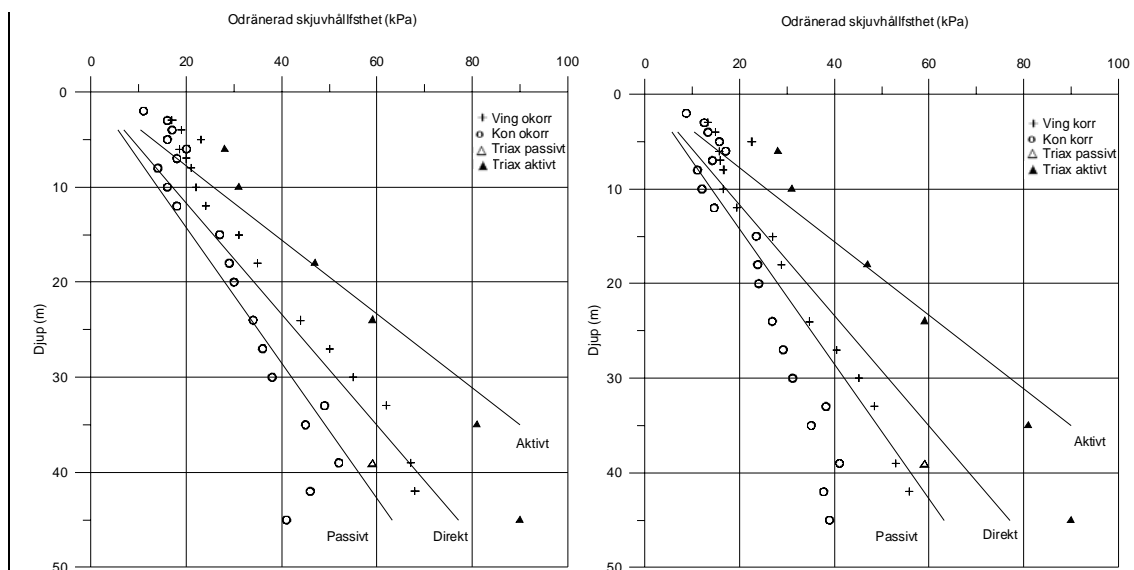
Här syns tendensen att vingsondering och fallkonförsök visar högre hållfasthet vid de mindre djupen medan de längre ner visar normal tendens att öka utmed djupet, se Figur 36. Efter korrigeringen följer vingsonderingarna den passiva relationen medan fallkonförsöken faller av efter femton meters djup. Även de passiva triaxialförsöken visar tendens att väl följa den empiriskt passiva relationen. Samma gäller för de aktiva försöken.



Figur 36. **Vänstra:** Empiriska relationer utmed djupet, okorrigerad hållfasthet, bh 100120. **Högra:** Empiriska relationer utmed djupet, korrigerad hållfasthet, bh 100120.

4.5.2 Bh 10286

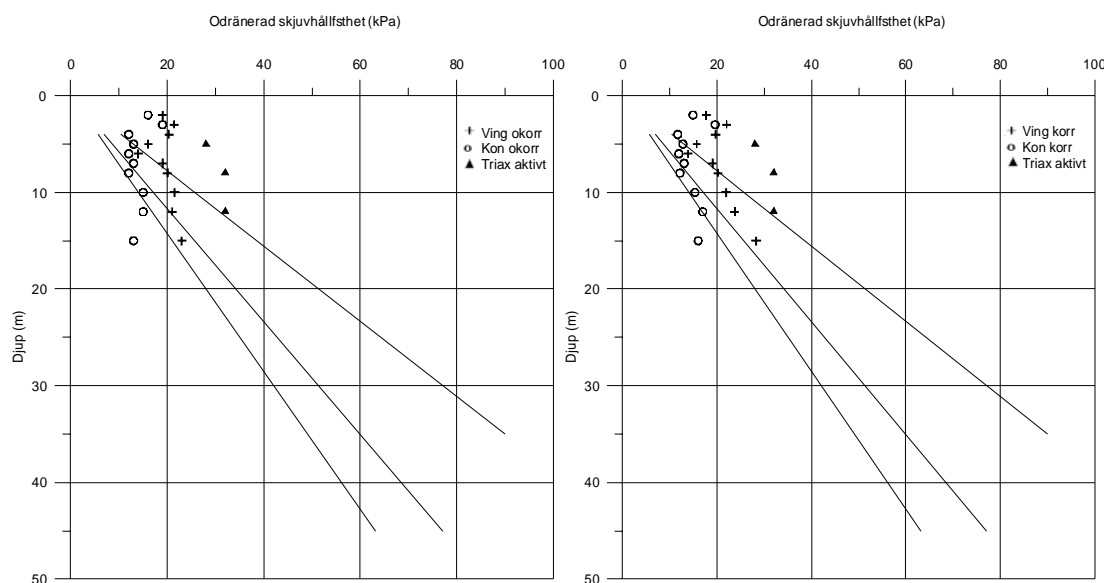
Den större spridningen avtar efter korrigeringen och följer de empiriska relationerna väl, se Figur 37. Vingsonderingen följer den empiriskt passiva relationen medan fallkonförsöket faller utanför efter ungefär 15 meters djup. Här syns att det enda passiva försöket väl ligger intill den empiriska relationen för passiva relationer och samma gäller för de aktiva försöken som följer den aktiva empiriska relationen men avtar något i slutet av djupet.



Figur 37. **Vänstra:** Empiriska relationer utmed djupet, okorrigerad hållfasthet, bh 10286. **Högra:** Empiriska relationer utmed djupet, korrigerad hållfasthet, bh 10286.

4.5.3 Bh 20322

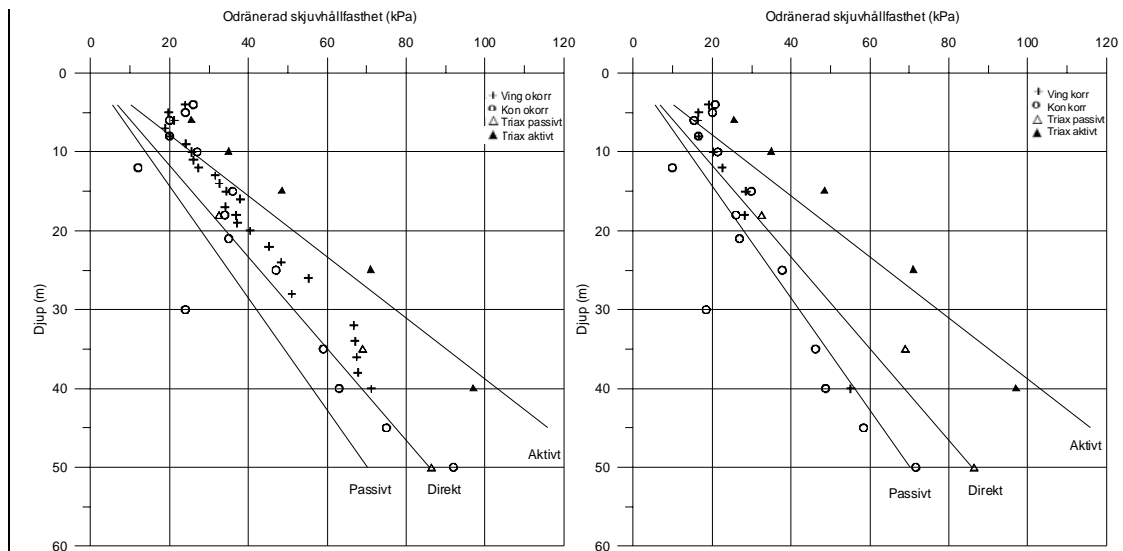
Till skillnad från övriga borrhål åskådliggör borrhål 20322 en reducering av vissa skjuvhållfastheter att bli högre efter korrigering, se Figur 38. På grund av lerans höga sensitivitet och låga konflytgräns har korrektionsfaktorn resulterat i högre värden än 1.0, se Kapitel 2.2.2. Detta ger en högre skjuvhållfasthet efter reducering och bör därför beaktas noga och helst kompletteras med fler undersökningar för verifiering.



Figur 38. **Vänstra:** Empiriska relationer utmed djupet, okorrigerad hållfasthet, bh 20322. **Högra:** Empiriska relationer utmed djupet, korrigerad hållfasthet, bh 20322.

4.5.4 Bh 50001

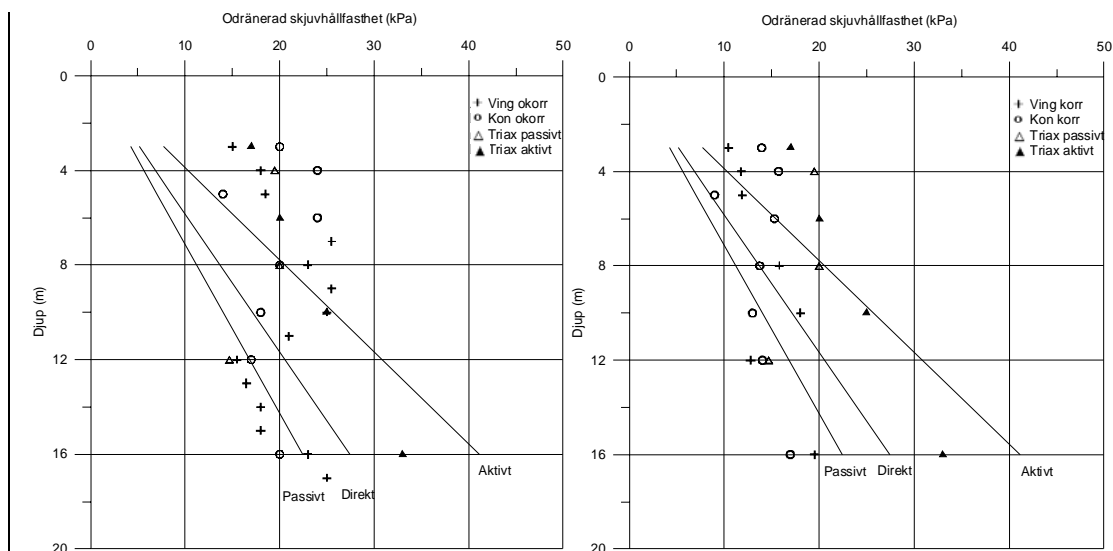
Då skjuvhållfastheten jämförs med empirin, påvisar värdena i Figur 39 att falla bra utmed respektive empiri. Dock visar de passiva triaxialförsöken något högre värden än den empiriska relationen för passiva försök. Dessa ligger mer intill linjen för direkta skjuvförsök.



Figur 39. **Vänstra:** Empiriska relationer utmed djupet, okorrigerad hållfasthet, bh 50001. **Högra:** Empiriska relationer utmed djupet, korrigerad hållfasthet, bh 50001.

4.5.5 Bh 66101

Här syns tendensen bättre att skjuvhållfastheten i de djupare skikten följer ett bättre förfarande gällande fallkonförsök och vingsonering. Däremot påvisar de aktiva triaxialförsöken att vara lägre än den empiriska relationen för aktiva försök, se Figur 40. Detta ses exemplariskt för djup 16 meter, där skjuvhållfastheten ligger på 33 kPa, medan den kanske borde vara omkring 40 kPa eller högre. Förklaring till varför dessa skillnader i skjuvhållfasthet är så olika de andra borrhålen kan bero på dess mäktighet av gyttjig lera.



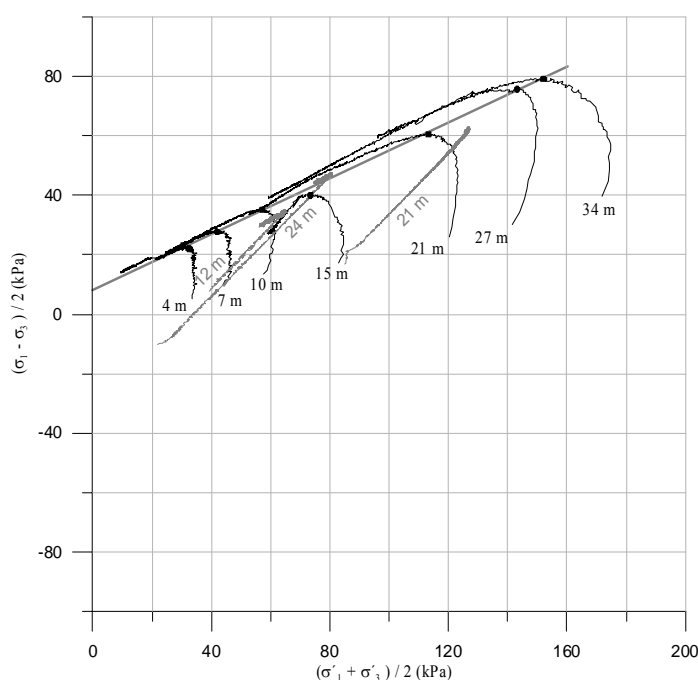
Figur 40. **Vänstra:** Empiriska relationer utmed djupet, okorrigerad hållfasthet, bh 66101. **Högra:** Empiriska relationer utmed djupet, korrigerad hållfasthet, bh 66101.

4.6 Normaliserade aktiva triaxialförsök

För att säkerställa trovärdigheten och korrektheten i de resultat som fås fram och de prover som använts, har en sammanställning för skjuvkurvorna i alla tillgängliga djup för respektive borrhål plottats upp mot en förväntad brottlinje. Därefter har en normalisering gjorts för respektive försök. Normaliseringen utfördes genom att multiplicera effektivspänningarna och skjuvspänningarna med kvoten $100/\sigma'_c$, där σ'_c representerar de olika djupens specifika förkonsolideringstryck. Detta visar hur de aktuella effektivspänningarna och skjuvspänningarna beter sig utmed djupet. För att säkerställa riktigheten kan en verifiering göras med hjälp av en linje som representerar förkonsolideringstrycket. Tanken är att alla kurvor ska tangera denna linje som tyder på att rätt skjuvhållfasthet har uppnåtts för respektive försök.

4.6.1 Bh 100120

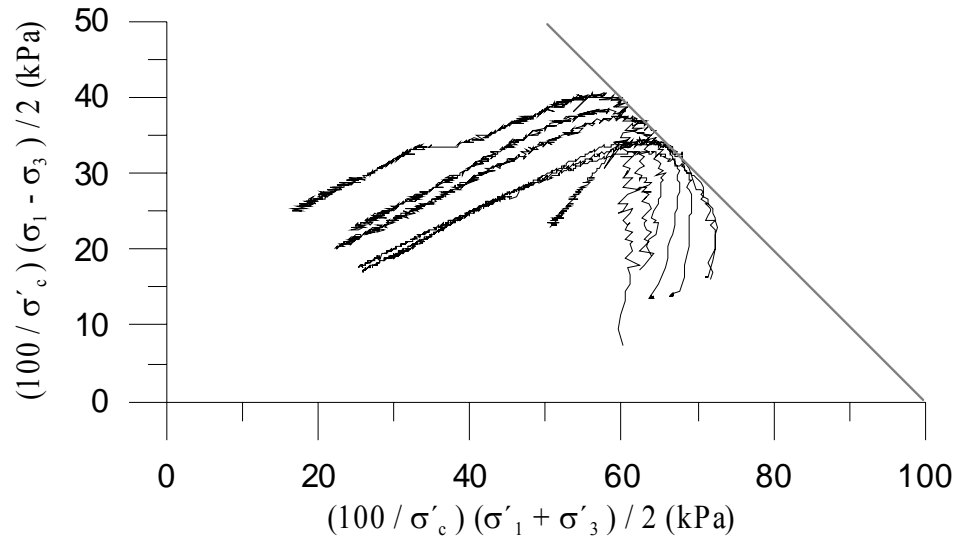
De flesta skjuvkurvorna i Figur 41 följer brottlinjen relativt väl, vilket anses vara tillräckligt acceptabelt. Finns dock några noteringar att göra. Vid djup 12 meter i det dränerade fallet sker brott innan brottlinjen. Skjuvkurvan orkar inte riktigt ända upp. Samma sak gäller för skjuvkurvan vid djup 21 meter. I det odränerade fallet är det främst vid djup 15 meter som faller utanför den godkända ramen. Även här har kurvan svårt att orka ända upp till den aktuella brottlinje.



Figur 41. Dränerad och odränerad flythypotes, bh 100120.

I den normaliserade sammanställningen av spänningsvägarna fick flertalet av dessa kurvor liknande utseende, vilket eftersträvas, se Figur 42. Detta förutom en avvikelse för djup 4 meter, vilket inte är speciellt mycket men dock en avvikelse. Vid felsökning upptäcktes det att orsaken skapades under triaxialtestets genomförande.

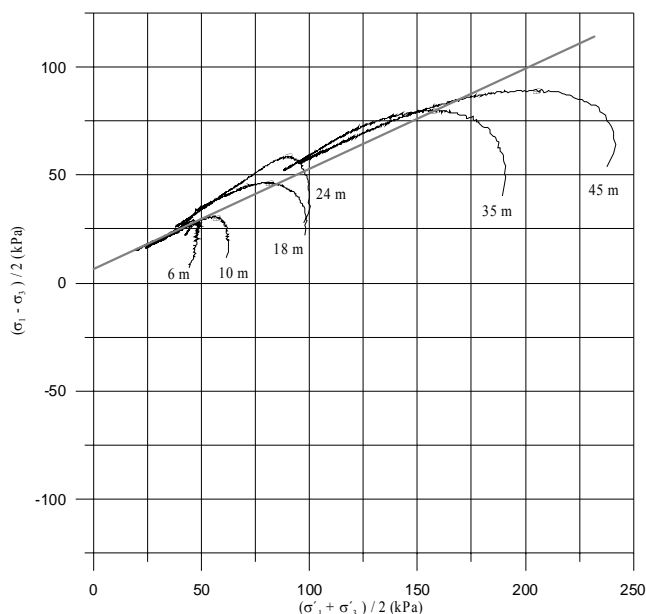
Det som visades var att under ett kort tidsintervall tappade provet sitt portryck vilket ledde till en ökad effektivspänning. Det kan konstateras att ju högre OCR som råder vid försökets början, desto högre hållfasthet erhålls. Detta gäller åtminstone för $OCR < 1.3$.



Figur 42. Normalisering av aktivt odränerade triaxialförsök, bh 100120.

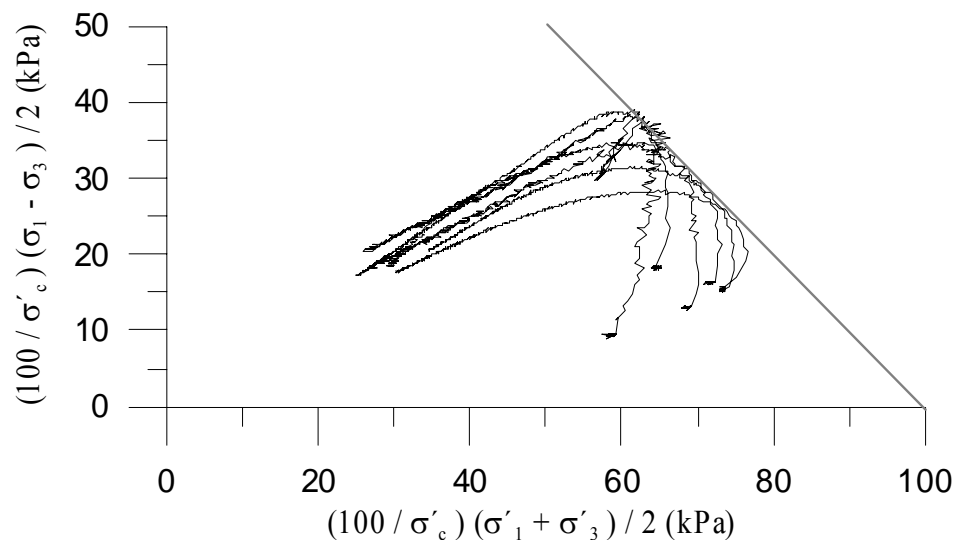
4.6.2 Bh 10286

Figur 43 visar hur de odränerade triaxialförsöken förhåller sig till brottlinjen. Här har inga dränerade försök utförts. Försöket vid djup 24 meter ligger något högre än de övriga vilket märks av att den böjer av snabbare. Troligen har försöket utförts med något högre OCR än de övriga. Varför den orkar gå längre upp och över brottlinjen innan den böjer av.



Figur 43. Odränerad flythypotes, bh 10286.

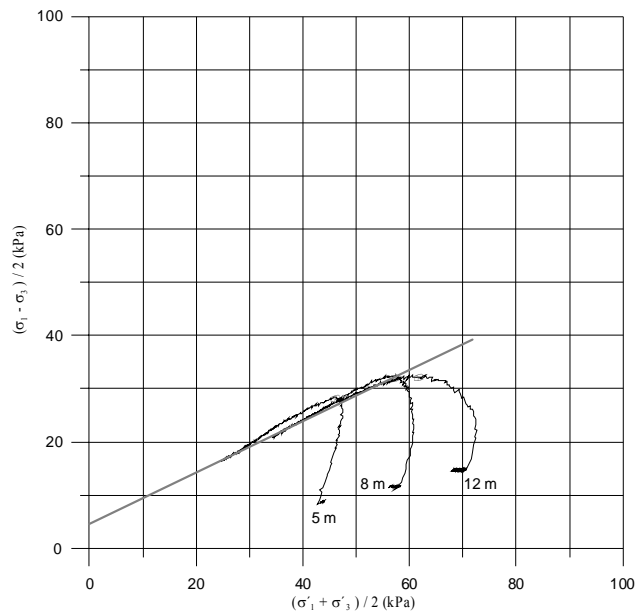
Normaliseringen visar att skjuvkurvorna ligger som eftertraktat, se Figur 44. Alla normaliserade kurvor tangerar den linje som representerar förkonsolideringstrycket. Då dessa kurvor påvisar ett jämnt mönster överlag kan en slutsats dras, vilken är att sambandet mellan effektivspänning och skjuvspänning är lika över djupet. Även här framgår tydligt att hållfastheten ökar med ökande OCR, åtminstone så länge $OCR < 1.5$.



Figur 44. Normalisering av aktivt odränerade triaxialförsök, bh 10286.

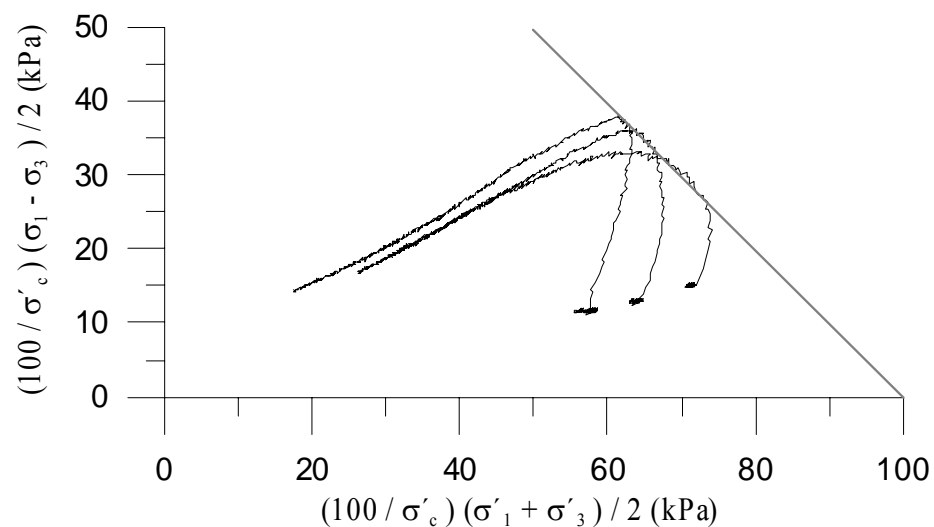
4.6.3 Bh 20322

Som för borrhål 10286 har inga dränerade försök utförts för borrhål 20322. Här följer de tre spänningsvägarna brottlinjen mycket väl och visar inga tendenser på några störningar, se Figur 45.



Figur 45. Odränerad flythypotes, bh 20322.

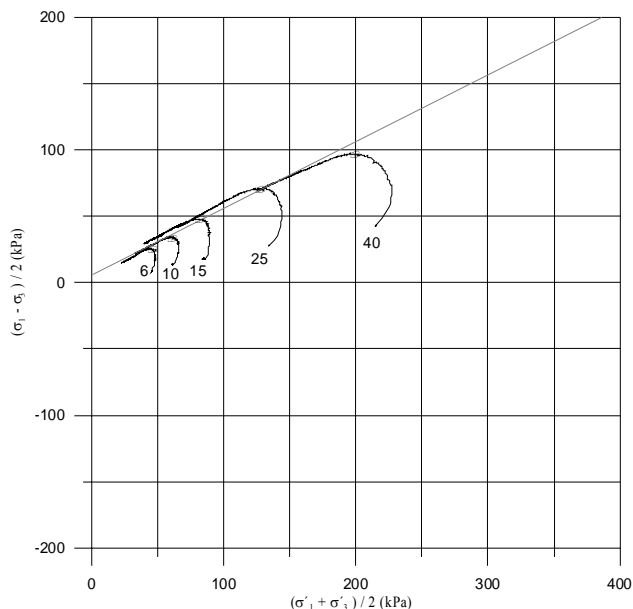
De tre skjuvkurvorna ligger väl normaliserade intill linjen och detta anses vara bra för endast tre utförda försök, se Figur 46. Detta räcker för att påvisa att sambandet mellan effektivspänning och skjuvspänning utmed djupet är lika. Även här ökar hållfastheten med ökande OCR, så länge $OCR < 1.45$



Figur 46. Normalisering av aktivt odränerade triaxialförsök, bh 20322.

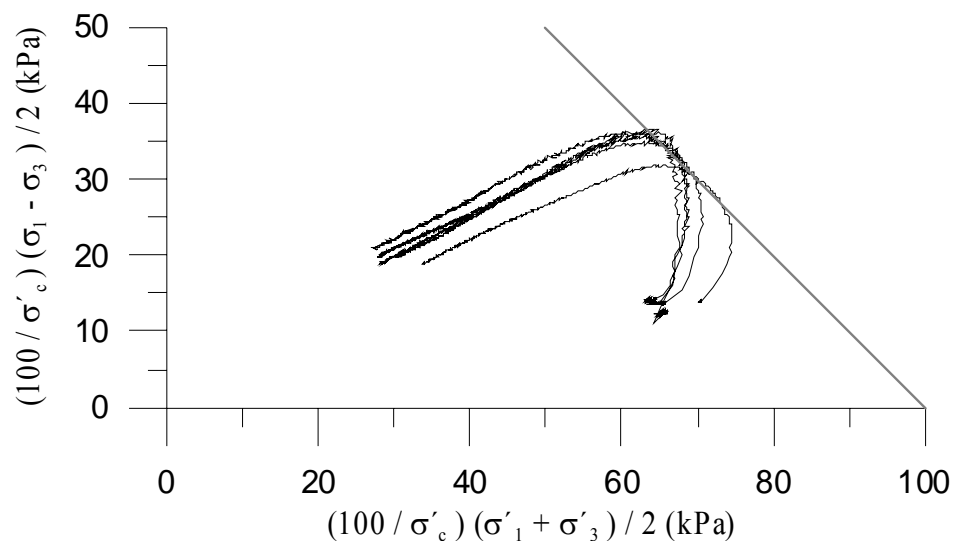
4.6.4 Bh 50001

Även detta borrhål visar att inga störningar uppkommit under försöken och att kurvorna väl ligger utefter brottlinjen. Dessa kurvor har ett bra mönster utefter djupet, vilket påvisas av att de faller jämt utmed linjen och i förhållande till respektive djup, se Figur 47. Vidare har inga dränerade försök utförts.



Figur 47. Odränerad flythypotes, bh 50001.

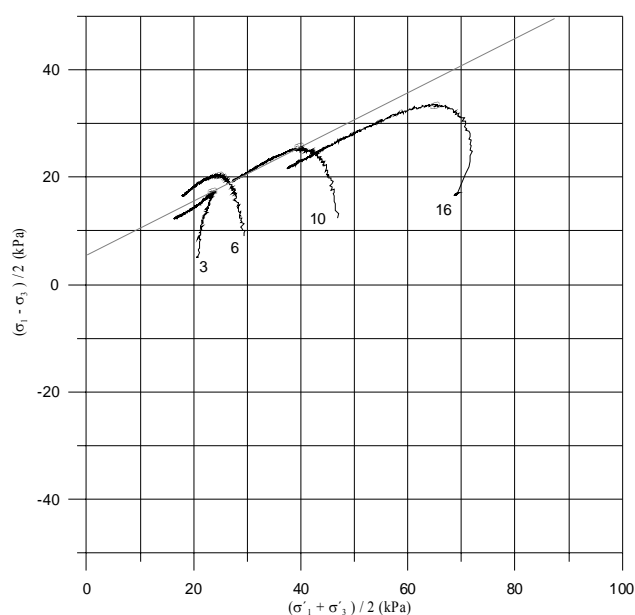
Såsom för övriga borrhål visar normaliseringen att alla skjuvkurvor sammanfaller med linjen och att sambandet mellan effektivspänning och skjuvspänning är lika över djupet, se Figur 48. Även här ökar hållfastheten med ökande OCR, så länge $OCR < 1.3$.



Figur 48. Normalisering av aktivt odränerade triaxialförsök, bh 50001.

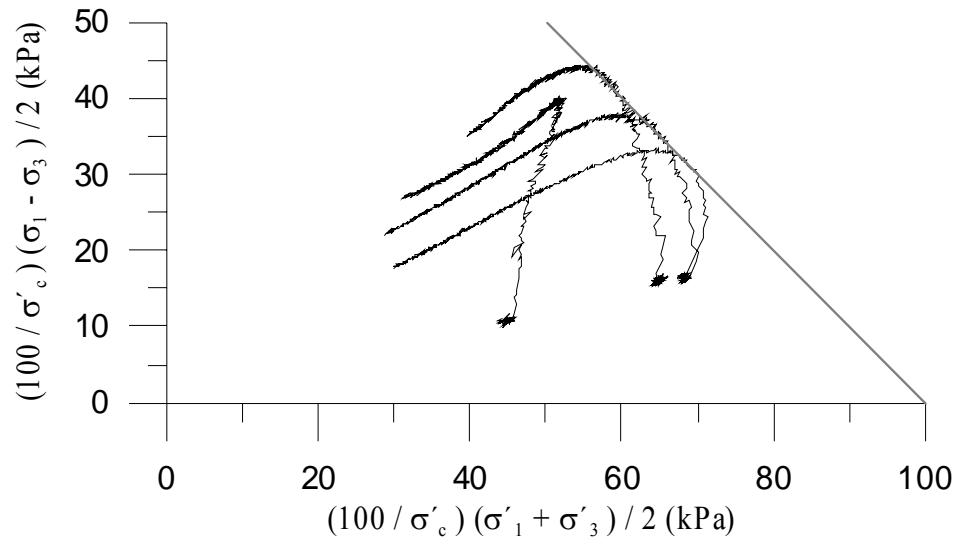
4.6.5 Bh 66101

Detta borrhål visar spridning mellan försöken, där kurvan för djup 3 meter inte ser ut som ett normalt beteende. Den nästan vertikala lutningen och att kurvan inte böjer av vid någon tänkt linje som representerar förkonsolideringstrycket, visar på att försöket utförts med något hög överkonsolideringsgrad, se Figur 49. Detta gäller även för djupen 6 och 10 meter, där dessa till skillnad från föregående djup böjer av vid tänkt linje för respektive förkonsolideringstryck. Kurvan vid djup 16 meter förefaller visa normalt beteende. Försöket visar att kurvan sträcker sig med en lutning på 1/3 som förväntat, som sedan böjer av och tangerar den tänkta linjen för förkonsolideringstryck. Dessa skillnader tros beror på att lera är gyttjig ner till ungefär 8-10 meters djup och som därefter övergår till en mer fastare grå lera ner till 16 meters djup.



Figur 49. Odränerad flythypotes, bh 66101.

Normaliseringen visar hur djup 3 meter förefaller vara olikt de övriga, se Figur 50. Såsom tidigare nämnts beror detta troligen på hög överkonsolideringsgrad vid försöket. I övrigt ser de andra skjuvkurvorna ut att tangera normalt mot linjen. Såsom övriga borrhål påvisat sker samma förfarande för detta borrhål, att ju OCR som råder vid försökets början desto högre hållfasthet erhålls. Detta gäller åtminstone för $OCR < 1.3$. Figuren visar även att då OCR vid försökets början är mycket högre än 1.3, erhålls en lägre hållfasthet. Vilket visar att gränsen för då hållfastheten ökar med ökande OCR har passerats.



Figur 50. Normalisering av aktivt odränerade triaxialförsök, bh 66101.

5 Analys

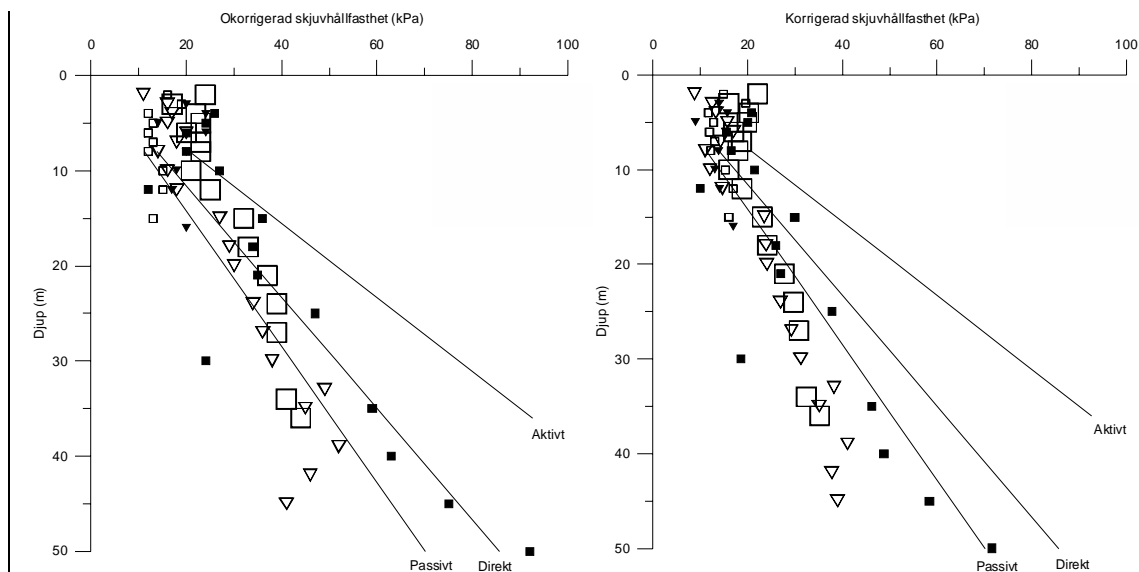
För att underlätta analysen har respektive borrhål från de olika försöksmetoderna sammanställts. På detta sätt kan det visas ett samband mellan de olika lerornas skjuvhållfasthet och hur dessa sammanfaller med de empiriska relationerna. Detta förenklar analysen om huruvida de olika försöksmetoderna i förhållande till varandra stämmer överens eller i vilken omfattning de skiljer sig åt.

5.1 Fallkonförsök

Vid utförande av fallkonförsök, görs dessa i laboratorium. Detta innebär att leran tagits från sitt naturliga tillstånd och därmed avlastats. Hypotetiskt borde därmed skjuvhållfastheten för leran förändras, vilket påvisar att en korrigering är nödvändig för att upprätthålla lerans ursprungliga skjuvhållfasthet.

Hållfastheten av de gjorda försöken är i princip konstant de första 5-10 meterna, på grund av ytliga faktorer som tjäle, uttorkning, rottrådar och kemisk påverkan från ytvatten. Därefter följer de flesta försök empirin för den direkta och passiva skjuvhållfastheten, varefter korrigering gjorts faller de flesta under den empiriskt passiva relationen, se Figur 51. Däremot tenderar vissa värden ur bland annat borrhål 20322 att höjas efter korrigering. Detta beror på att lerans flytgräns underskrider värdet 43 %, vilket därmed höjer korrigeringsfaktorn över värdet 1.0, se Kapitel 2.3. Intressant är att korrigeringen av samtliga värden sker på sådant sätt att spridningen för respektive borrhål reduceras. På grund av varierande konflytgräns och hållfasthet utmed djupet tenderar de större avvikelserna att korrigeras mer än övriga.

Som förväntat ökar hållfastheten mindre efter 15-20 meter, vilket beror på avlastning och spänningsomlagring i provtuberna, se Kapitel 4.3.1. Ett antagande är att om dessa avlastningar och spänningsomlagringar kunde förebyggas, skulle hållfastheten efter dessa djup vara högre och följa den linjära ökning som sker vid djup 10-20 meter. Detta skulle möjligtvis resultera i att hållfastheten istället för nuläget, vilket ligger under den empiriskt passiva, skulle ligga vid empirin för direkta skjuvförsök.



Figur 51. *Vänstra: Sammanställda okorrigerade fallkonförsök. Högra: Sammanställda korrigerade fallkonförsök.*

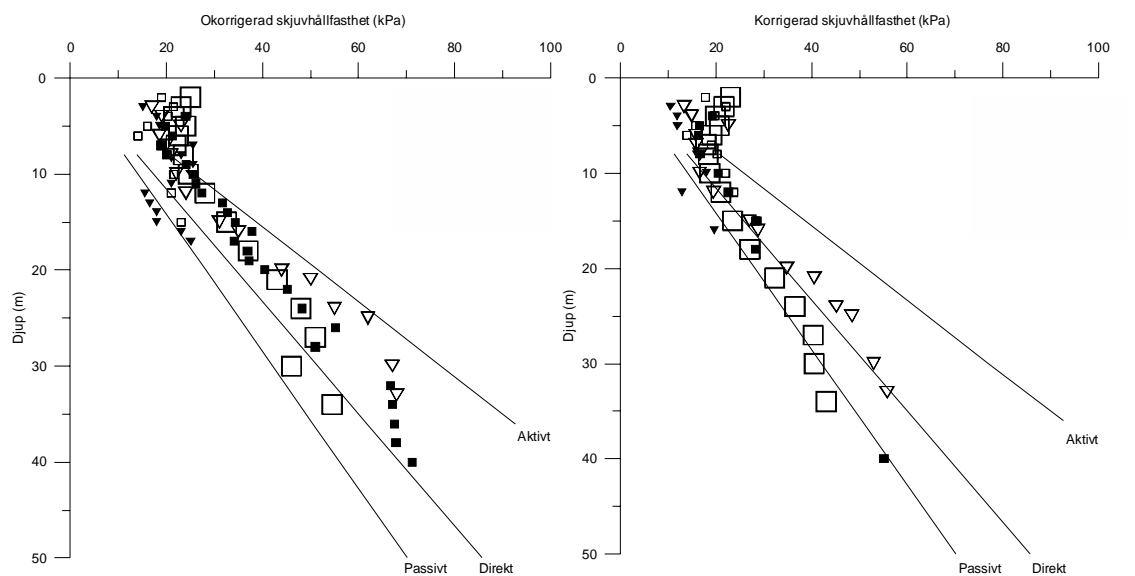
5.2 Vingsondering

Då vingsondering utförs vid naturligt tillstånd i fält, störs den aktuella leran vid införandet av verktyget (vingen), vilket givetvis påverkar skjuvhållfastheten. Undanpressning av massa och vidhäftning av material från överliggande jordlager på själva vingen är de två främsta orsakerna till störning. På grund av detta borde utöver den rekommenderade korrektionen, som görs beroende på jordens flytgräns, även korrigering av utförandet göras för att förebygga dessa störningar.

Förfarandet för de utförda försöken sker likadant för vingsonderingarna ner till 5 meters djup som för fallkonförsöken. Samma faktorer påverkar även här vingsonderingarnas ytliga resultat. Däremot påvisar skjuvhållfastheten för borrhål 66101 utöver övriga borrhål att nästan vara konstant ner till och med 16 meters djup och förmodas bero på lerans gyttjiga egenskaper. Efter ungefär 5-10 meter ökar de flesta borrhåls skjuvhållfasthet linjärt utmed djupet och då korrigering gjorts följer dessa den empiriska direkta skjuvhållfastheten, se Figur 52. Vilket stämmer överens med vad de borde göra om den empiriska relationen för skjuvhållfasthet och Hansbos relation gäller (Larsson R, Bergdahl U, Eriksson L, 1985). Som i förgående kapitel reduceras även dessa skjuvhållfastheters spridning efter korrigering och noterbart är att skjuvhållfastheten gällande borrhål 20322 ökar i vissa djup. Detta förmodas bero på att denna lera överlag har en låg konflytgräns.

En intressant notering är att de okorrigerade fallkonförsöken tenderar visa liknande resultat som de korrigerade vingsonderingarna. För att hänvisa till tidigare antagande, förebyggande möjligheter angående fallkonförsök för djupare skikt än 15-20 meter, är en hypotes att korrigering för fallkonförsök kanske inte vore nödvändig. Eftersom skjuvhållfastheten efter korrigering förändras, oavsett om förebyggande åtgärder skulle finnas, tyder detta på att korrigering i nuläget sker två gånger. Detta då jordprovet först tas upp från marken, vilket förändrar spänningstillståndet för själva leran, för att därefter korrigera framtagna skjuvhållfasthet. Egentligen borde försök

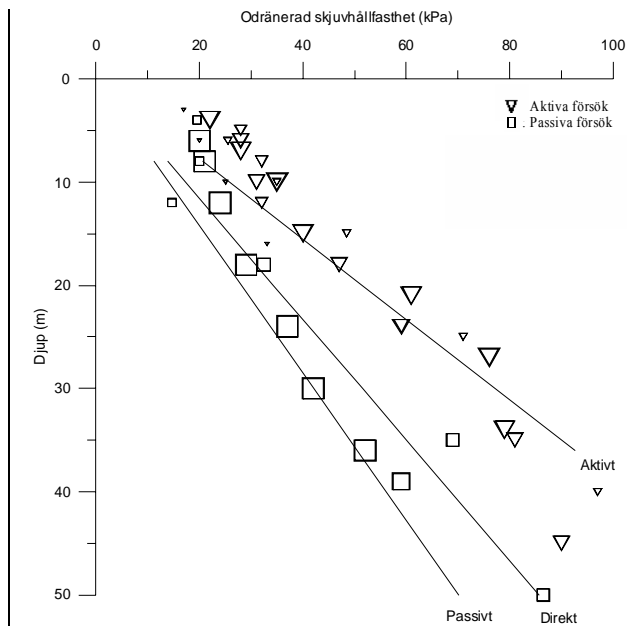
från fallkon och vingsondering, då korrigering gjorts, visa samma resultat av skjuvhållfasthet utmed djupet. Dessa två olika försöksmetoder visar tydligt att detta inte överensstämmer. Varför någon av dessa försöksmetoder borde vara mer verklighetstrogen och ha större påverkan vid valet av skjuvhållfasthet. Ett antagande för att uppnå en mer verklighetstrogen skjuvhållfasthet utifrån fallkon och vingsondering vore att utvärdera de okorrigerade skjuvhållfastheterna från fallkon med de korrigerade skjuvhållfastheterna från vingsondering. Detta då dessa skjuvhållfastheter enligt resultaten förefaller vara likartade metoderna emellan.



Figur 52. **Vänstra:** Sammanställda okorrigerade vingsonderingar. **Högra:** Sammanställda korrigerade vingsonderingar.

5.3 Aktiva och passiva triaxialförsök

Såsom de två ovannämnda metoderna förefaller en del av de aktiva och passiva triaxialförsöken att visa konstant hållfasthet de fem första metrarna. De empiriska relationerna borde därför också vara konstanta i de översta skikten, så att dessa sammanfaller med försökens resultat, se Figur 53. I övrigt följer både de aktiva och passiva försöken sina respektive empiriska relationer väl med få undantag. Dessa undantag berör de passiva försöken för borrhål 50001. Detta tyder på att leran tidigare belastats, vilket medfört en ökad effektivspänning som påverkat leran så att den deformerats och gjort dess struktur tätare. Som det konstaterades i föregående kapitel, att borrhål 66101 var konstant ner till 16 meter, påvisas även detta för de aktiva och passiva triaxialförsökens skjuvhållfasthet. Dessa påvisar ett avvikande mönster gentemot övriga borrhål i form av något lägre skjuvhållfasthet. Denna lera är som det beskrivs i Kapitel 4.3.5 gyttjig och inte så sensitiv.



Figur 53. Sammanställda aktiva och passiva triaxialförsök.

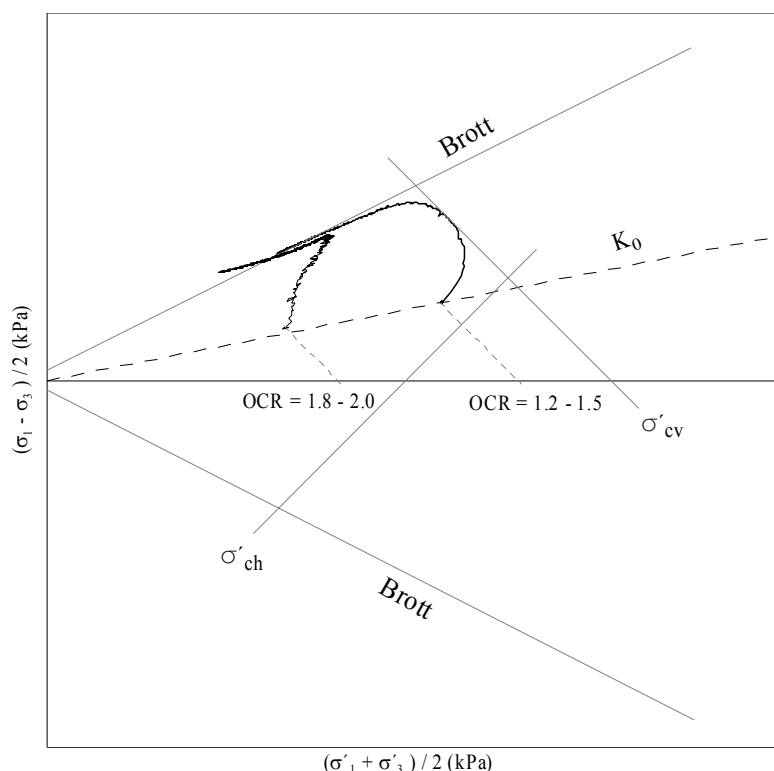
Enligt påvisade resultat och analyser mellan de olika försöksmetoderna kan en intressant notering göras. De passiva och aktiva triaxialförsöken följer sina respektive empiriska relationer som önskat. Vingsonderingarnas korrigerade skjuvhållfasthet följer den empiriska relationen för direkt skjuvning väldigt väl. Däremot påvisar fallkonförsöken, med och utan korrigering, att inte sammanfalla som önskat med respektive vingsondering. De korrigerade fallkonförsöken tenderar till och med att påvisa sämre skjuvhållfasthet än den empiriskt passiva relationen, medan de okorrigerade fallkonförsöken påvisar skjuvhållfastheter omkring den empiriskt passiva relationen. Vilket sammanfattar att fallkonförsöken påvisar lägst skjuvhållfasthet metoderna emellan.

5.4 Normaliserade triaxialförsök

Information om huruvida utförda skjuvbrott påvisar normalt beteende kan fås genom att normalisera triaxialförsök, se vidare Kapitel 4.6. Vidare kan även sambandet mellan OCR och kurvans utseende utvärderas, där Figur 54 visar hur de olika kurvornas utseende beror av OCR. Ur figuren kan linjerna som representerar vertikalt och horisontellt förkonsolideringstryck, de båda brottlinjerna samt linjen för förhållandet mellan vertikal och horisontell spänning visas. Dessa linjer formar det som kallas flythypotes och beskriver materialets beteende vid olika försök.

Det ovannämnda sambandet är att de kurvor med lägre OCR böjer av redan vid start mot en linje som representerar förkonsolideringstrycket för att därefter följa brottlinjen. De kurvor med högre OCR går vid start mot mindre böjd utveckling och där de högsta nästan går vertikalt upp till de tangerar brottlinjen. För lågt OCR kan också innebära att kurvan ligger för nära linjen för förkonsolideringstrycket, vilket innebär att kurvan böjer av innan den når tilltänkt brott vilket därmed ger lägre

skjuvhållfasthet som följd. Vidare kan det antagas att ju högre OCR skjuvspänningskurvorna har desto högre skjuvhållfasthet uppnås. Detta antas gälla fram till det OCR-värde som föranleder att kurvan endast träffar brottlinjen. Detta betyder att om kurvan tangerar den normaliserade linjen är försöket bra utfört och att högsta skjuvhållfasthet troligen uppnåts utmed kurvans topp. Om kurvan inte tangerar linjen råder osäkerhet om huruvida högsta skjuvhållfasthet uppnåts, varför försök troligen utförts med för högt OCR. Vilket kan kontrolleras genom att utföra ytterligare försök med lägre OCR.

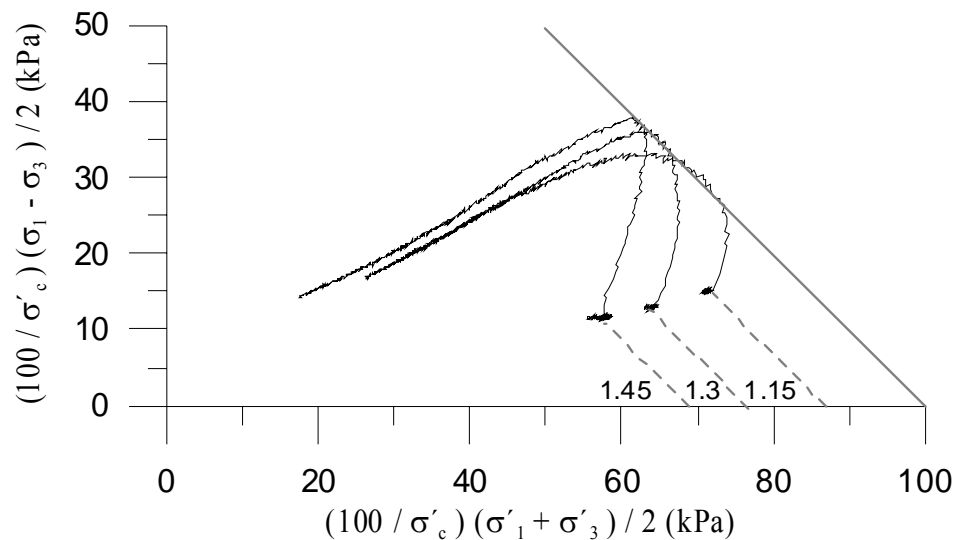


Figur 54. Flythypotes med kurvors utseende beroende på OCR.

I detta fall har två kurvor, en grön samt en röd, representerats för att beskriva hur kurvornas utseende beror av OCR. Den gröna kurvan representerar ett önskvärt utseende med OCR-värde omkring 1.2-1.5. Den går i början uppåt med en lutning av ett på två, för att därefter böja av mot aktuell linje som representerar förkonsolideringstrycket. Vid tangering av denna linje fortsätter kurvan sin väg mot brottlinjen och brott uppstår utmed kurvans högsta punkt.

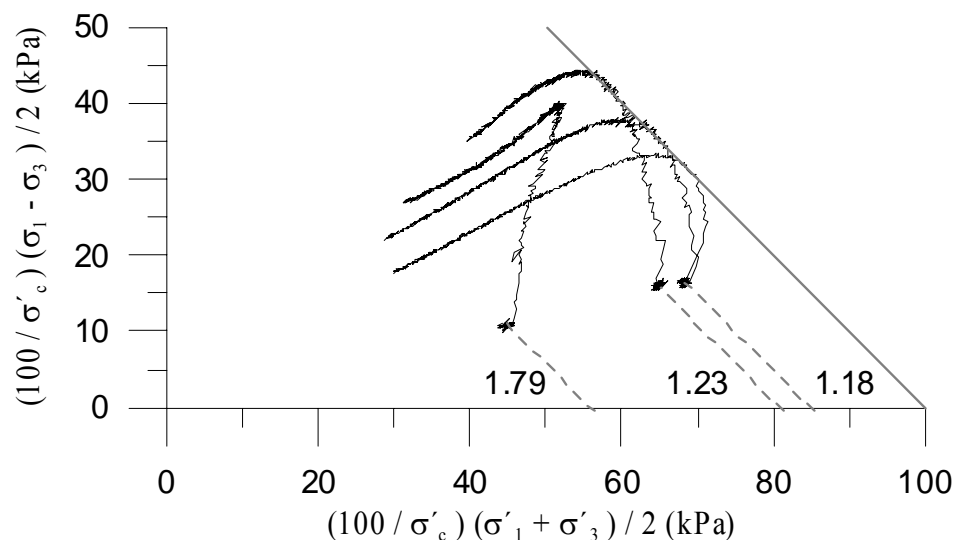
Den röda kurvan med högre OCR-värde, omkring 1.8-2.0, är till skillnad från den gröna kurvan mer linjär i sitt utseende. Kurvan går i början nästan lodrät uppåt innan den böjer av mot brottlinjen och brott uppstår då den tangerar linjen.

Figur 55 illustrerar bra exemplar av utförda försök som gjorts. Dessa försök bekräftar det som antagits angående sambandet mellan kurvornas utseende och OCR. Vilka tydligt visar att ju högre OCR desto högre upp når kurvan innan den böjer av mot brott, vilket därmed resulterar i högre skjuvhållfasthet.



Figur 55. Förhållandet mellan OCR och kurvans utseende, bh 20322.

Kurva med högt OCR kan ses i Figur 56, där den vänstra kurvan inte orkar ända upp till linjen som de övriga kurvorna tangerar. Detta bekräftar vad som tidigare nämnts, att kurvor med sådant utseende, troligtvis inte uppnått rätt skjuvhållfasthet då den endast träffar brottlinjen. Denna kurva med OCR-värde 1.79, visar därmed att försöket utförts med för högt OCR varför ytterligare försök med lägre OCR borde ha utförts för kontroll om rätt skjuvhållfasthet. Orsak till varför detta inte gjorts beror på att inga fler lerprov fanns tillgängliga, vilket därmed tog bort möjligheten att ytterligare utföra försök.



Figur 56. Förhållandet mellan OCR och kurvans utseende, bh 66101.

Sambanden som förklarats i detta kapitel är därmed viktiga att känna till vid utförande av triaxialförsök, där vetskapen om hur OCR förhåller sig till resultat är ett informativt och underlättande stöd

6 Diskussion angående korrektionsfaktorn

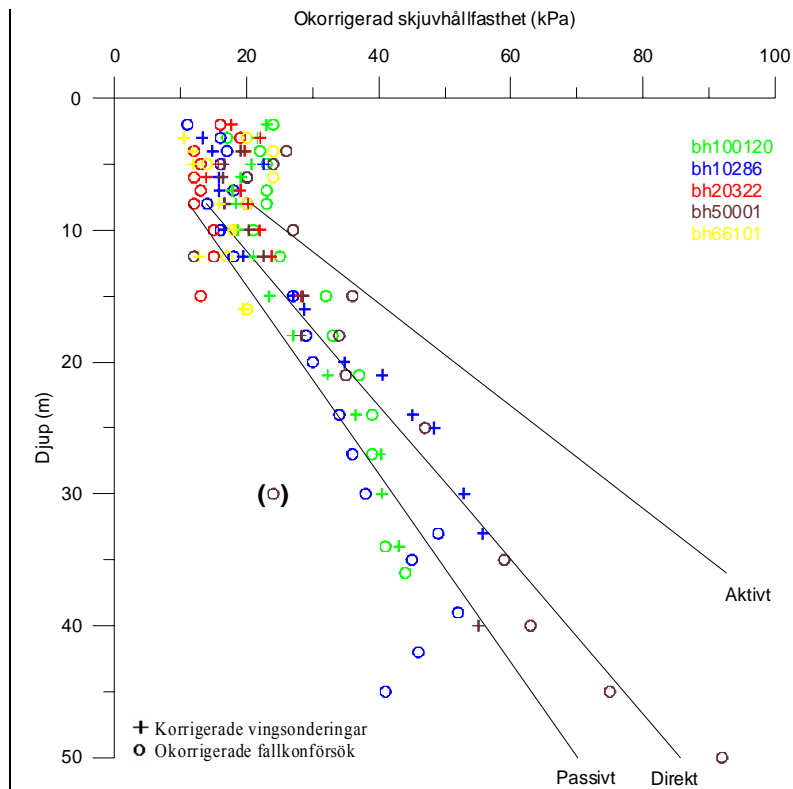
Detta kapitel är tänkt att skapa en diskussion om nuvarande korrektionsfaktor. Som Kapitel 2.3 beskriver har denna faktor används under lång tid och görs så än idag. Den är rekommenderad att användas för korrigerig av skjuvhållfastheten tagna utifrån metoderna fallkonförsök och vingsondering. Trots att dessa metoder skiljer sig avsevärt från varandra i försöksutförande.

Det faktum att inga direkta skjuvförsök utförts, har de utförda försöken från fallkon och vingsondering ändå kunnat jämföras med den empiriska relationen.

I analysen framgick det att skjuvhållfastheten för de okorrigerade fallkonförsöken visade värden liknande de som framkom för korrigerade vingsonderingar. Detta innebär således att korrektionsfaktorn endast används för att korrigera en av dessa försöksmetoder. För att illustrera detta har dessa värden sammanställts i samma diagram, se Figur 57.

Ur figuren kan de två försöksmetoderna därför utvärderas utifrån borrhål och metod, i mån att visa likheter och avvikelser. Värdena från borrhål 100120 sammanfaller nästan utmed hela djupet och de flesta fallkonförsök från samtliga borrhål visar mindre ökning efter 15-20 meter. Detta visas tydligt för borrhål 10286, där fallkonförsöken fram till 15 meter förhåller sig väl med vingsonderingarna men vilka därefter ökar betydligt mindre. Sammantaget visar därmed dessa resultat att inte skilja sig åt avsevärt.

För att tydligare visa hur avvikelser lättare kan visas har en punkt i figuren märkts med parentes. Detta illustrerar hur värden kan skilja sig från övriga och ifall de olika metoderna emellan visar samma eller avvikande värden. I och med detta är det en självklarhet att lättare utvärdera en skjuvhållfasthet utifrån två olika metoder som sammanfaller. Vilket därmed bekräftar det faktum att avvikelser, som den med parentes, vore enklare att utvärdera och / eller utesluta från övriga värden.



Figur 57. Sammanställda okorrigerade fallkonförsök med korrigerade vingssonderingar.

Som tidigare nämnts i Kapitel 5.2, vore det önskvärt om dessa två metoders resultat skulle sammanfalla. De resultat som framgår i rapporten visar tydligt att detta inte sker, vilket har lett till en diskussion om huruvida korrektionsfaktorn verkligen förhåller sig till de två olika metoderna.

7 Slutsats

Fallkonförsök visar tydligt att denna metod i jämförelse med övriga påvisar lägre skjuvhållfasthet och då i synnerhet efter 15 meters djup. Självklara störningar vid utförandet av metoden är att dessa inte utförs under naturliga tillstånd som representerar lerans rådande spänningstillstånd och att de naturliga spänningsomlagringarna därmed försämras vid upptagandet av provtuberna. Vidare har resultaten avvikit tydligt från de empiriska relationerna för direkta skjuförsök men även från vingsonderingar, då båda försöksmetoderna varit korrigerade. De fall då fallkonförsök bäst sammanfaller med någon av de ovannämnda jämförelserna, är då de okorrigerade fallkonförsöken jämförs med de korrigerade vingsonderingarna. Detta leder till en ifrågasättning om huruvida fallkonförsöken ger rimlig skjuvhållfasthet och hur den därmed bör tolkas.

Vingsondering till skillnad från fallkonförsök utförs i naturligt tillstånd med störningar, undanträngning av massa och vidhäftning av material på vingen, som följd av själva utförandet. Hur som helst, påvisar resultaten till skillnad från fallkonförsök att vara mer likvärdiga med den empiriska relationen för direkta skjuförsök. Samtidigt ifrågasätts även denna metod då jämförelser görs med fallkonförsök, vilka borde visa klara likheter. Försök utförda under omständigheter som liknar ett naturligt tillstånd, såsom triaxiala försök, borde därför vara mer pålitliga. Dessa noteringar stärker därmed trovärdigheten om att framtagna skjuvhållfastheter utförda med vingsondering borde vara rimligare i jämförelse med fallkonförsök.

Triaxialförsökens resultat har visat sig sammanfalla väl med de empiriska relationerna. Dessa försök utförs utefter så naturliga förhållanden som möjligt fast då i laboratorium. Att de utförda aktiva triaxialförsöken har givit trovärdiga och möjligen korrekta uppnådda skjuvhållfastheter, har bekräftats då dessa resultat normaliserats. Således har även sambandet mellan uppnådd skjuvhållfasthet och OCR kunnat visas, som ett komplement till om något utfört försök påvisat avvikande utseende. Resultaten har konstaterat att ju högre OCR ett försök utförs med desto högre skjuvhållfasthet uppnås. Däremot visar även resultaten att detta samband endast gäller fram till ett visst värde av OCR för respektive försök. Dessa värden varierar naturligtvis utefter vilken lera som testas och då sambandet inte gäller påvisas detta av att skjuvkurvan endast träffar brottlinjen. Vilket därmed visar om något försök verkligen uppnått rätt skjuvhållfasthet. Sammantaget ger detta trovärdighet om att försöken representerar faktiska skjuvhållfastheter för aktiv respektive passiv zon.

Sammanfattningsvis är alla de olika försöksmetoderna och utförda försök gjorda utefter bästa möjliga förfarande. Resultat och analyser har tydligt visat skillnader mellan de olika metoderna. Där det konstaterats att två metoder, utförda till skillnad från övriga, visat skjuvhållfastheter som enligt rekommendationer ska korrigeras i syfte till lerans konflytgräns. I övrigt anses alla metoder väl kunna vara grundläggande underlag vid bestämning av skjuvhållfasthet. Vilken eller vilka metoder som väljs beror dels på ekonomiska skäl men även på vilka resurser som finns tillgängliga. Slutligen kan rätt val av undersökningsmetod resultera i en besparad slutkostnad.

8 Rekommendationer

Vidare studier borde göras av hur försöksmetoderna fallkon och vingsondering sammanfaller med varandra och med direkta skjuvförsök. Lämpligt är att se om direkta skjuvförsök stämmer överens med den empiriska relationen för direkta skjuvförsök. Om detta skulle överensstämma vore det en bekräftelse på att fallkonförsök och vingsonderingar kan jämföras med den empiriska relationen såsom det antagits i denna rapport. Detta skulle även kunna visa större tydlighet på om fallkonförsök, som det framkommit i rapporten, tenderar till att avvika från vingsonderingar och direkta skjuvförsök, vilket i så fall skulle kunna leda till att modifikation av fallkonförsök kanske är att fundera över i mån att få likvärdiga resultat med vingsondering och direkta skjuvförsök.

Studier bör därför omfatta fler och olika typer av leror för att ge allmän bekräftelse på huruvida rapportens antaganden och resultat stämmer.

Rekommendationer angående vilka metoder som används i nuläget och framöver ges till beställare och till geotekniker, att utreda vilka metoder som ska begrunda bestämningen av skjuvhållfasthet på ett sådant sätt att denna generellt representerar de högst uppnådda skjuvhållfastheterna. Detta bör utföras utifrån aktuell problemställning och där hänsyn till typ av fall beaktas.

9 Referenser

Larsson R, Bergdahl U, Eriksson L (1985), Utvärdering av skjuvhållfasthet i kohesionsjord. Statens geotekniska institut, Linköping.

Sällfors Göran (2002), Geoteknik 3:e upplagan. Vasastadens bokbinderi AB, Göteborg.

(1995), Rapport 3:95, Anvisningar för släntstabilitetsutredningar. Skredkommissionen, Linköping.

En kortkurs om triaxialförsök på främst normalkonsoliderade och svagt överkonsoliderade leror, Kompetenscentrum infrastruktur, Göteborg. www.kcentrum-infra.chalmers.se, hämtat 2005-06-10.

SGF-Notat 2:2004 Direkta skjuvförsök – en vägledning (2004), Svenska geotekniska föreningen, Linköping. www.sgf.net, hämtat 2005-06-15.

Figur 13, http://www.vv.se/templates/page3_9092.aspx, Kontrollerad 2006-01-18

Figur 14,
[http://www.stadsbyggnad.goteborg.se/prod/stadsbyggnad/dalis2.nsf/vyFilArkiv/SLisebPlanbSamr.pdf/\\$file/SLisebPlanbSamr.pdf](http://www.stadsbyggnad.goteborg.se/prod/stadsbyggnad/dalis2.nsf/vyFilArkiv/SLisebPlanbSamr.pdf/$file/SLisebPlanbSamr.pdf), Kontrollerad 2006-01-18

Figur 15, <http://www.btf.nu/2003-centralhusetbilder-Fasadmottorget.jpg>, Kontrollerad 2006-01-18

10 Appendix

Förkonsolideringstryck / Effektivspänning

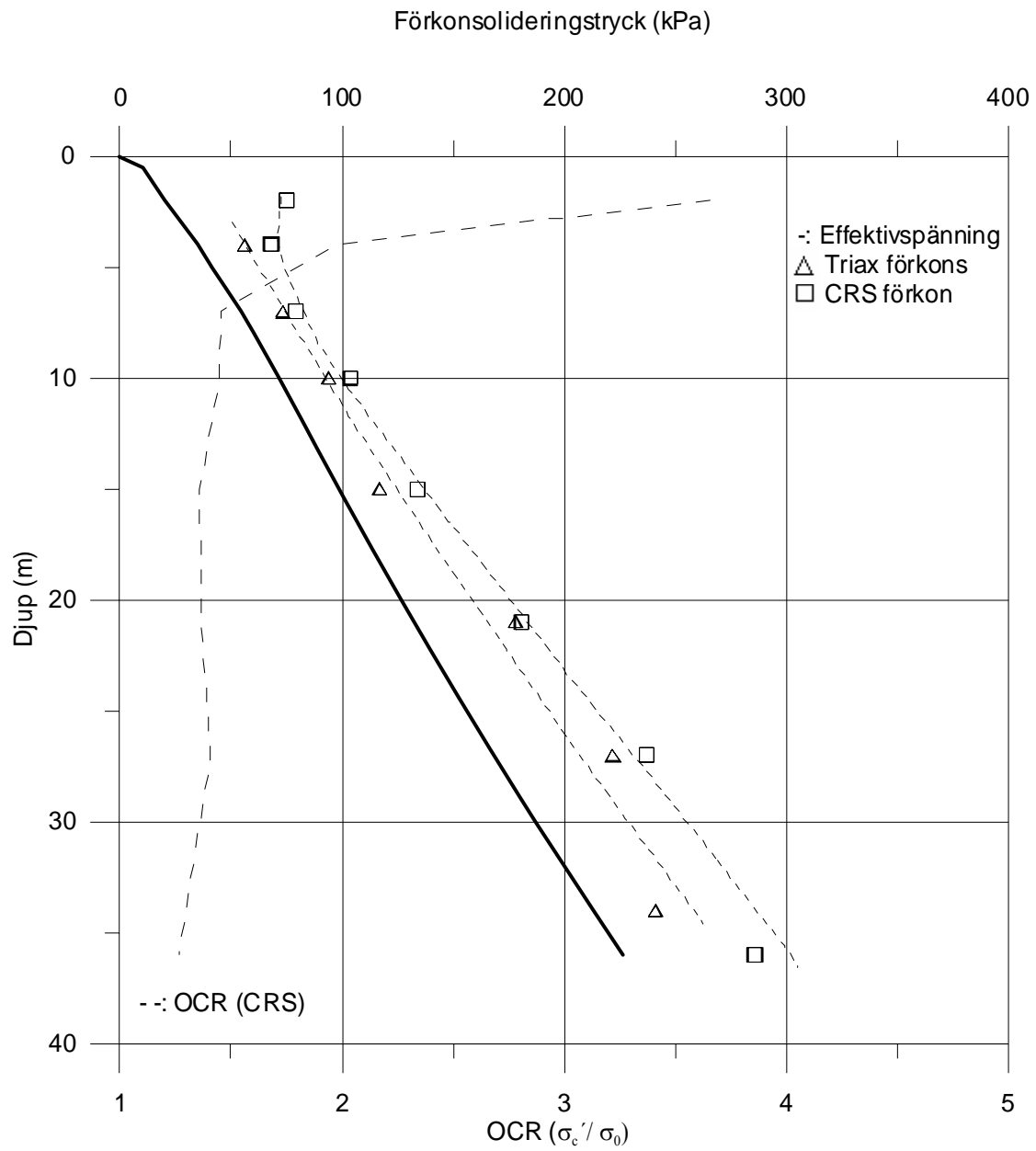
Datum: 2005-09-05

Projekt: Chalmers RV45

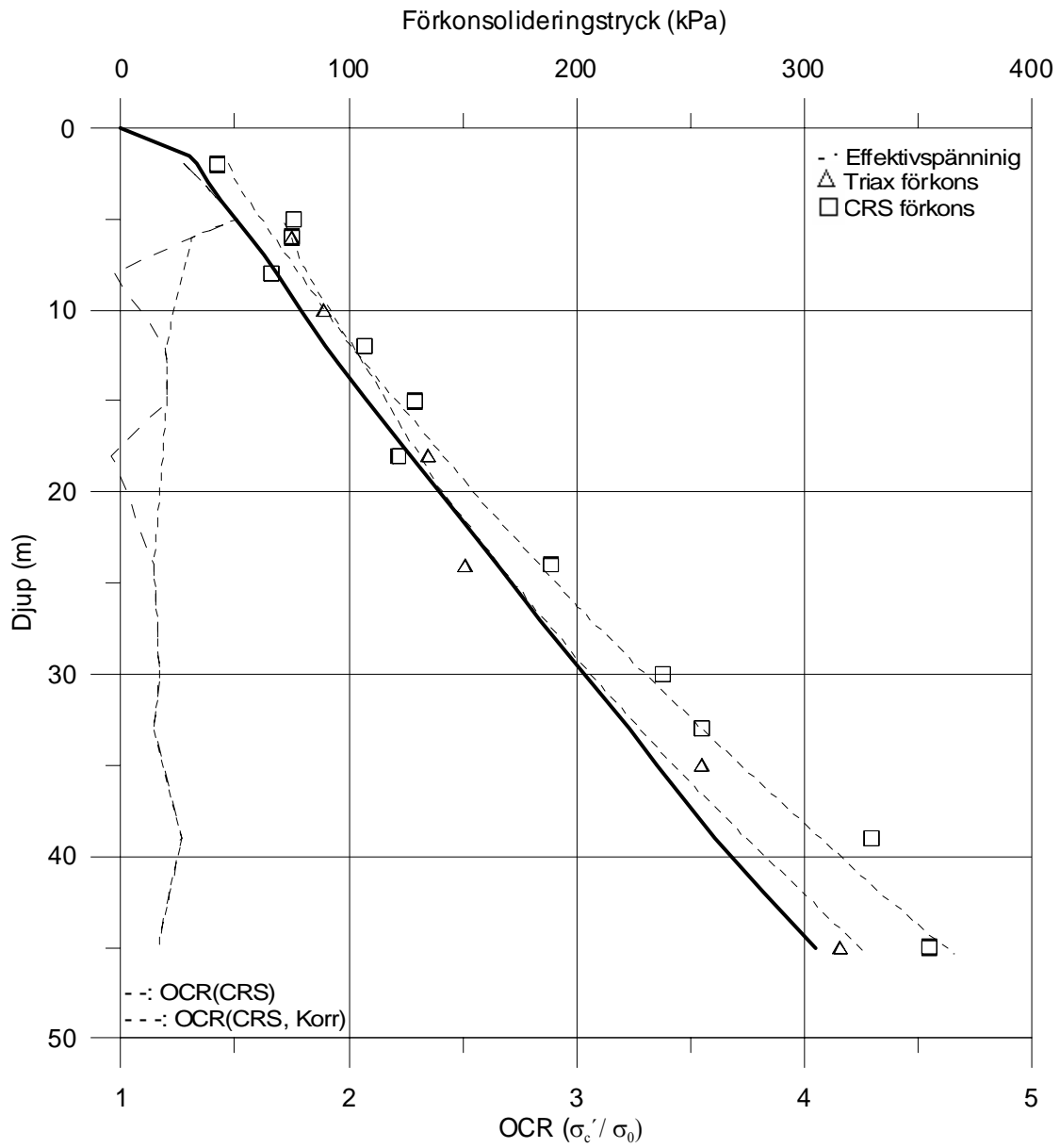
Borrhål: bh 100120

Djup: 4-45 m

Utförare: Jani o Daniel



Förkonsolideringstryck / effektivspänning
Datum: 2005-10-31
Projekt: Chalmers RV45
Borrhål: bh 10286
Djup: 2-45 m
Skapad av: Jani O Daniel



Förkonsolideringstryck / Effektivspänning

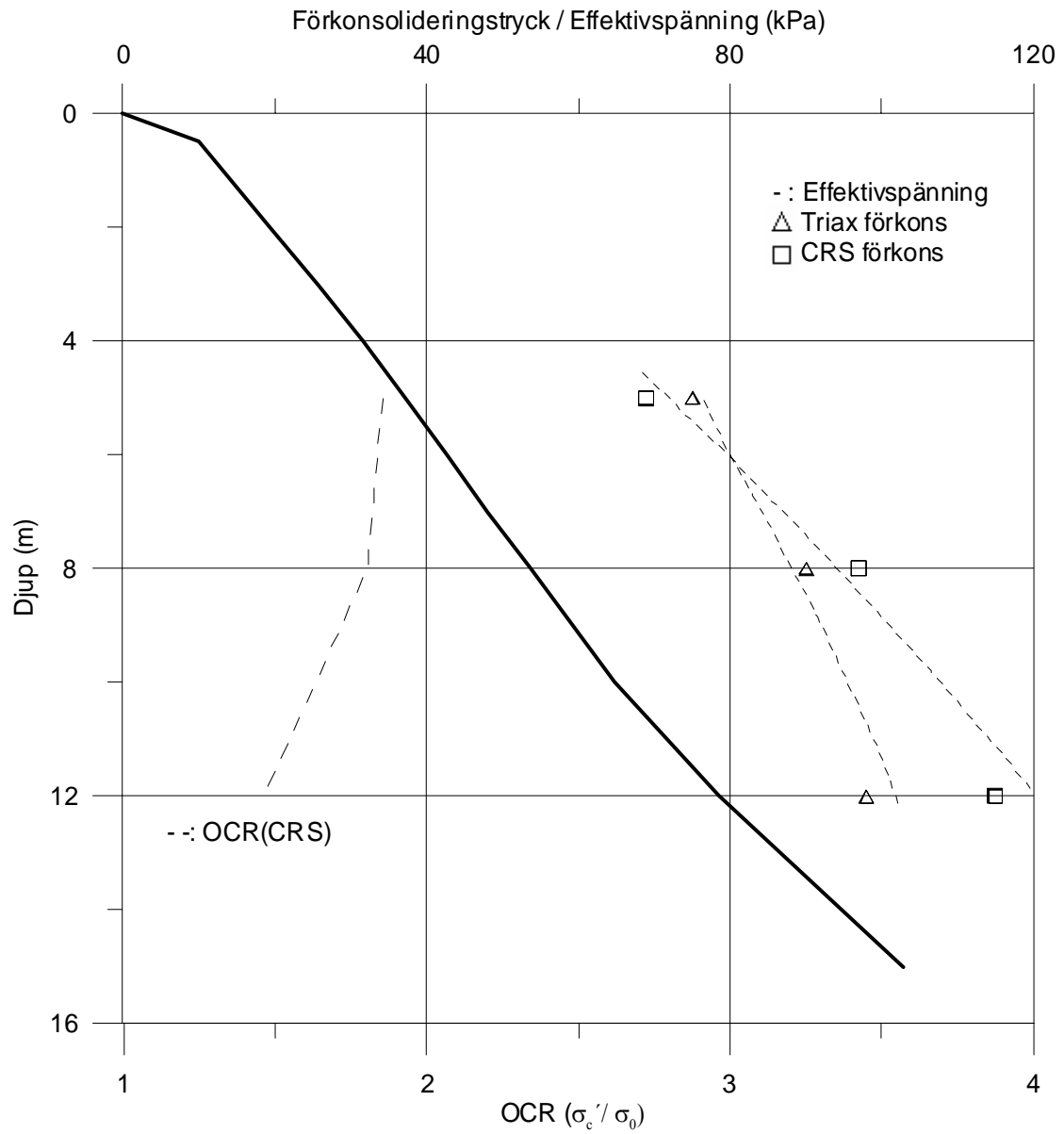
Datum: 2005-11-02

Projekt: Chalmers RV45

Borrhål: bh 20322

Djup: 5-12 m

Skapad av: Jani o Daniel



Förkonsolidering / Effektivspänning

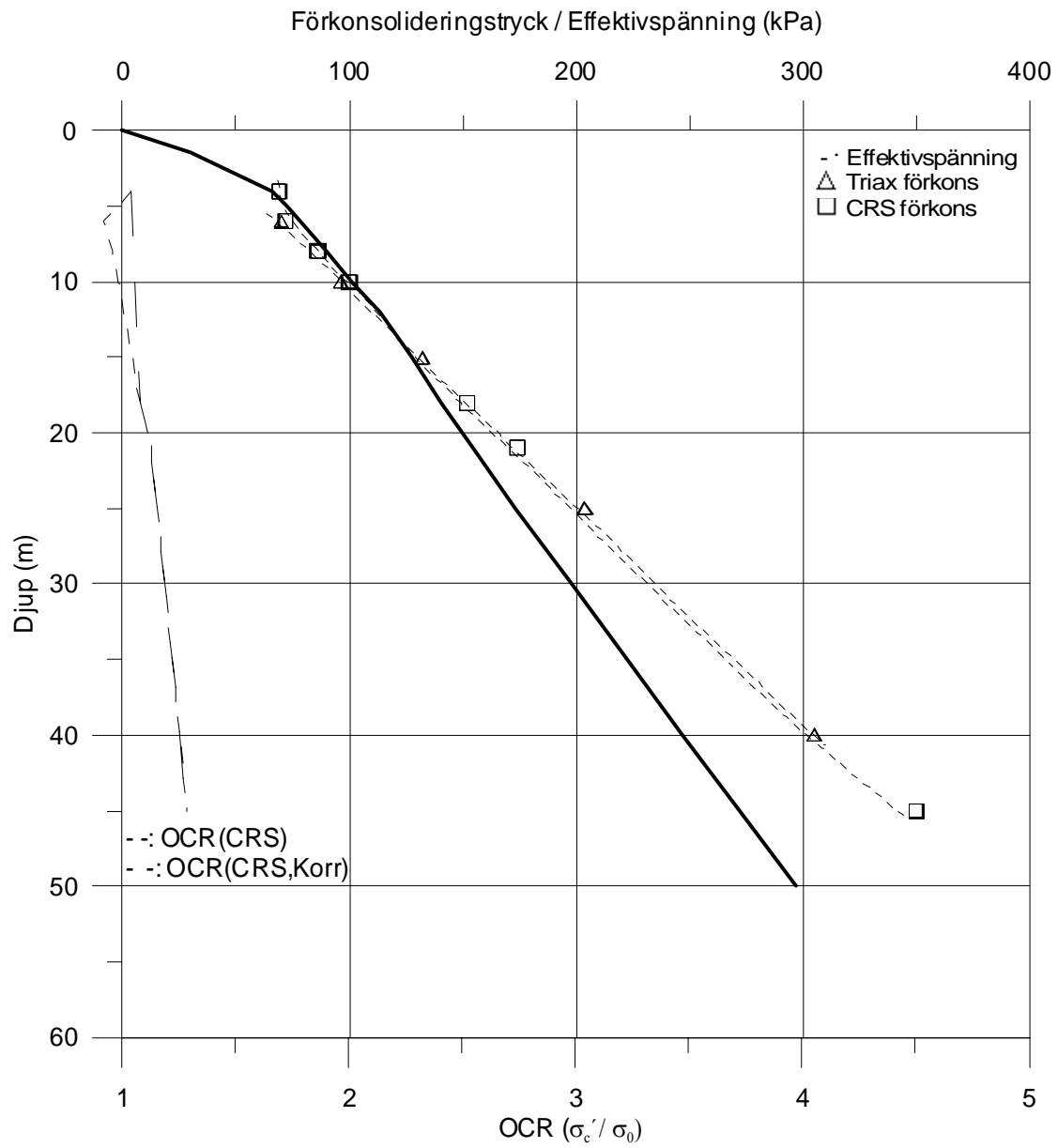
Datum: 2005-11-09

Projekt: Chalmers Västlänken

Borrhål: bh 50001

Djup: 4-45 m

Skapad av: Jani o Daniel



Förkonsolidering / Effektivspänning

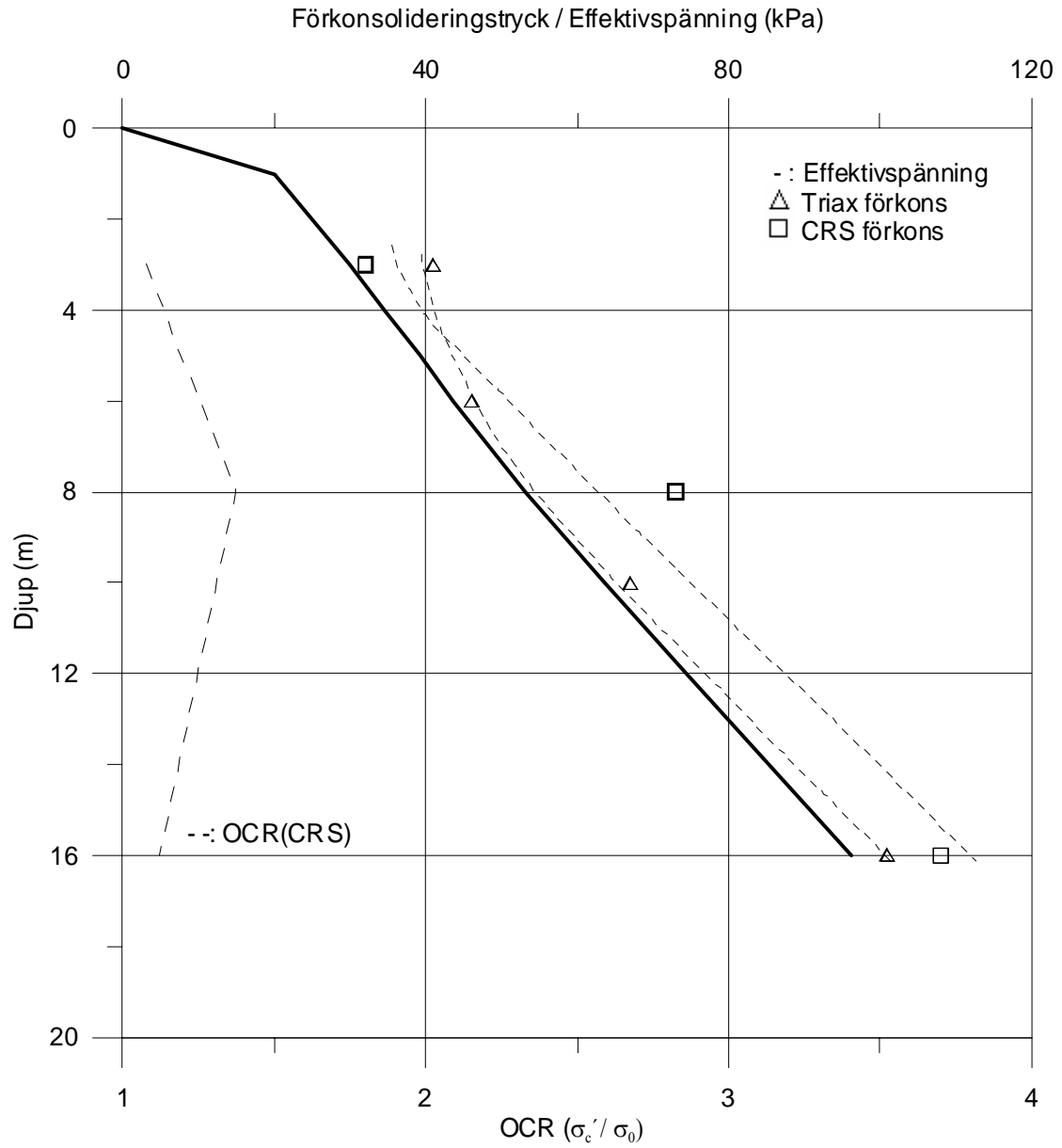
Datum: 2005-11-09

Projekt: Chalmers Västlänken

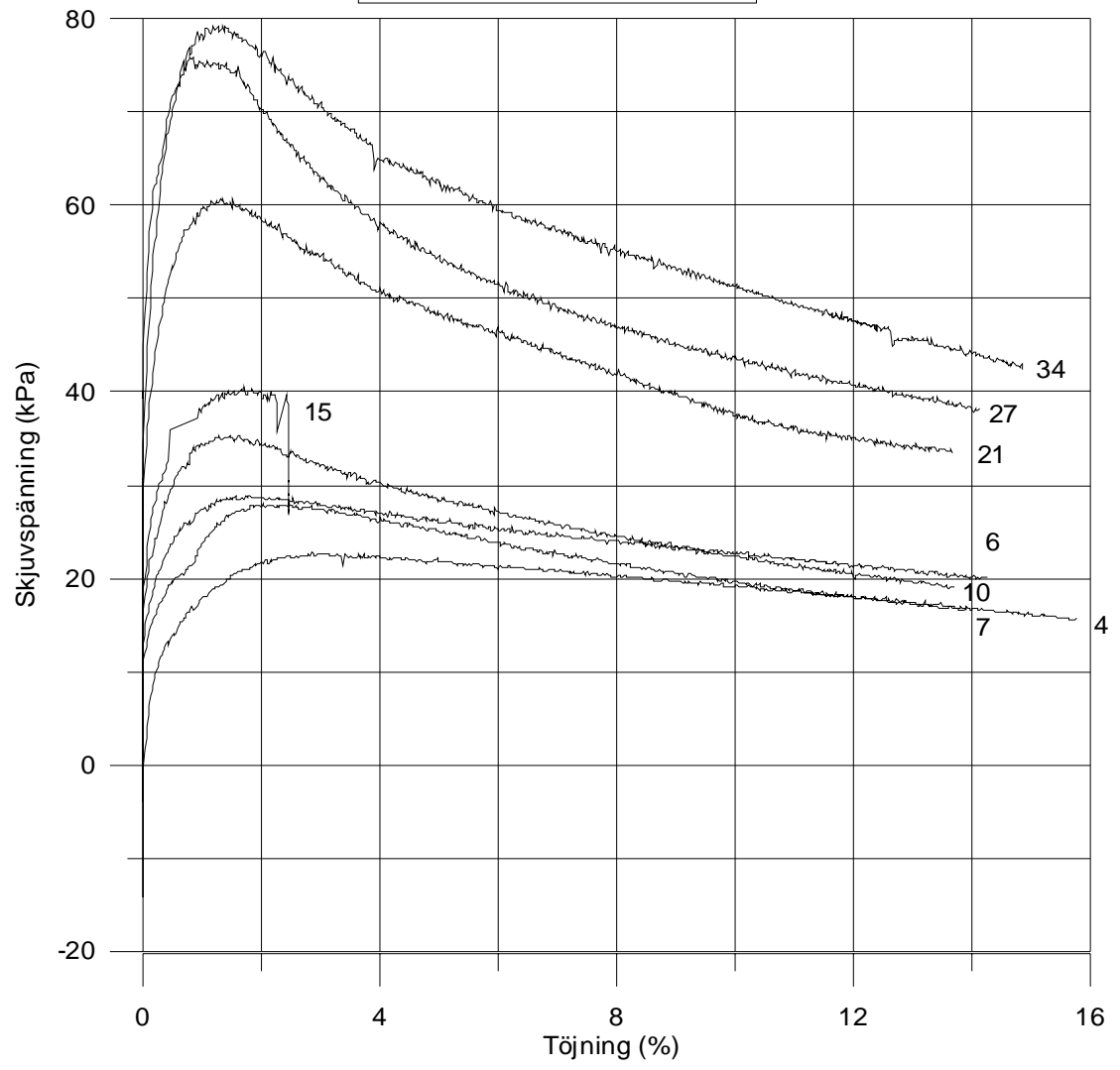
Borrhål: bh 66101

Djup: 3-16 m

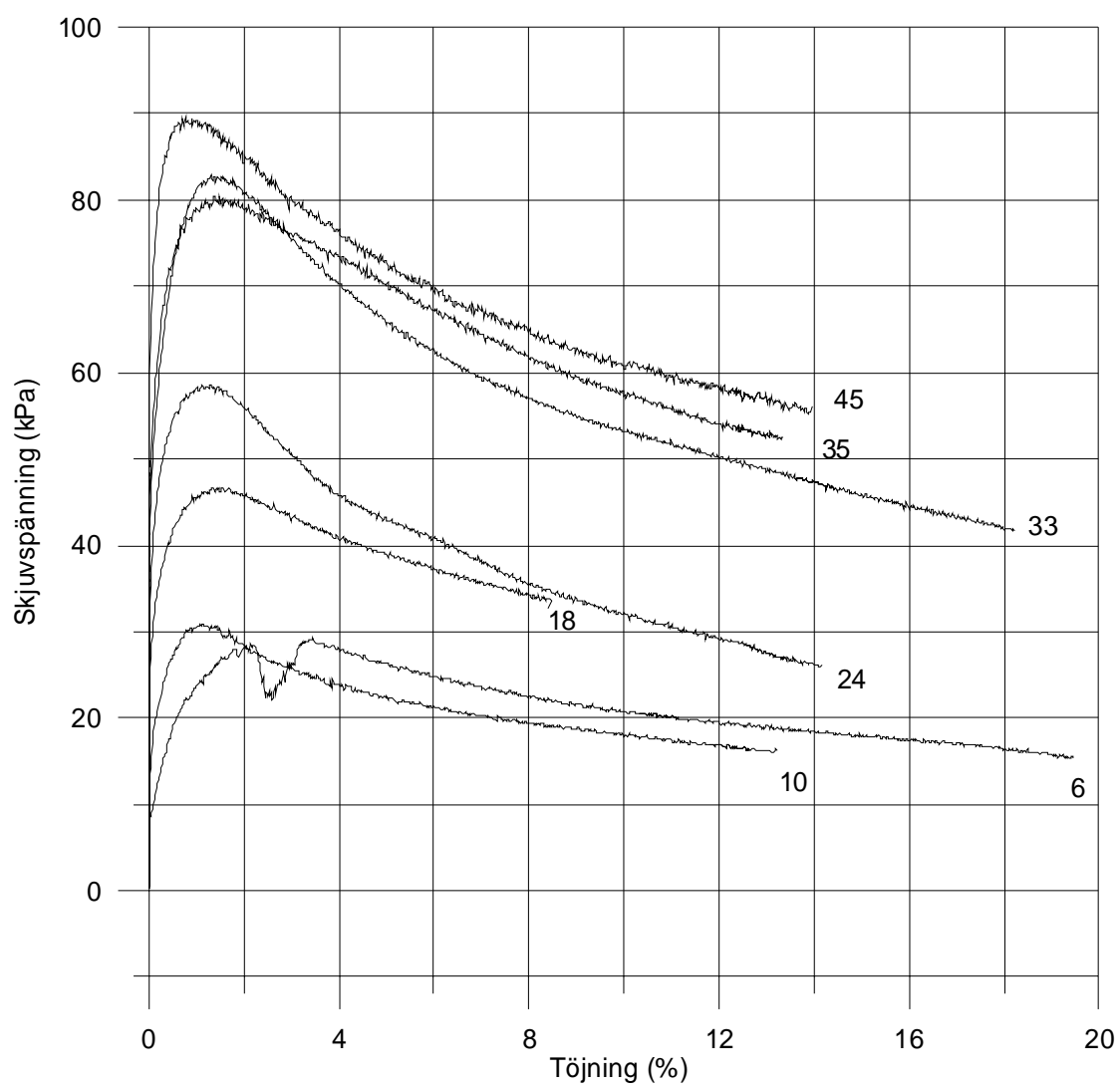
Skapad av: Jani o Daniel



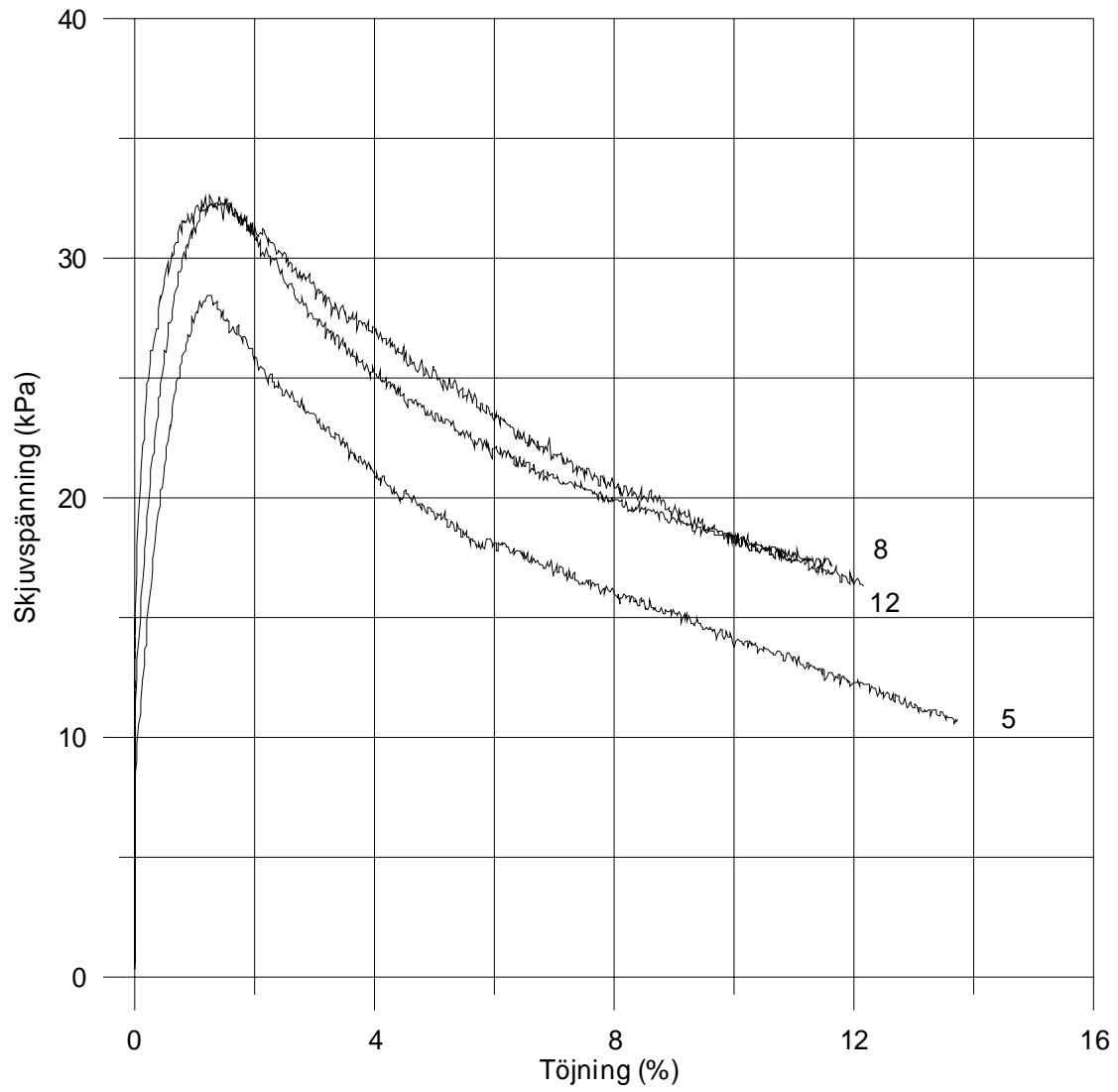
Chalmers tekniska högskola
GEO
Traix försök, aktivt
Datum: 2005-09-12
Projekt: Chalmers RV45
Borrhål: 100120
Djup: 4-34m



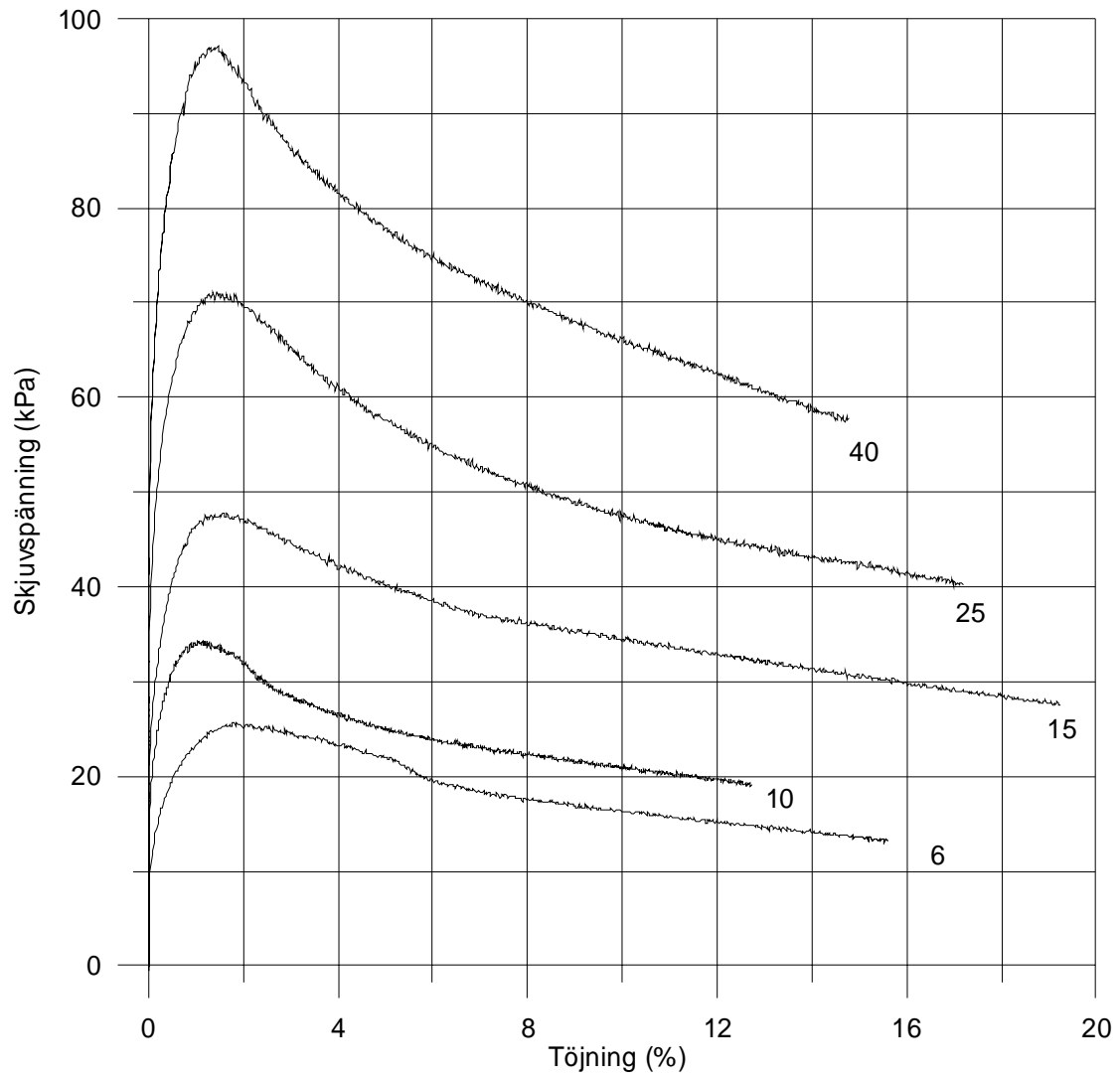
Skjuvspänning / Töjning
Datum: 2005-10-31
Projekt: Chalmers RV45
Borrhål: bh 10286
Djup: 6-45 m
Skapad av: Jani O Daniel



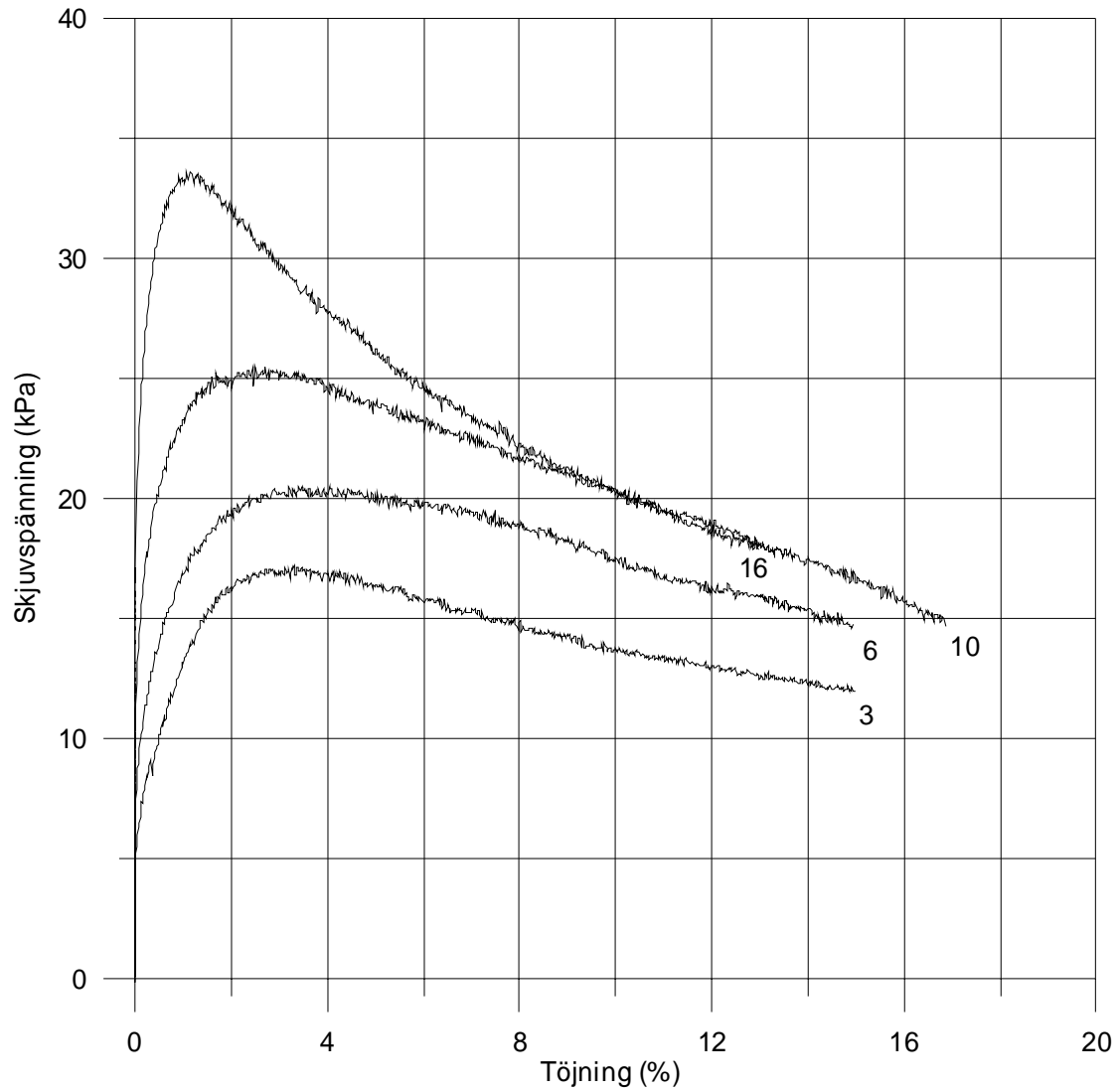
Skjuvspänning / Töjning
Datum: 2005-11-07
Projekt: Chalmers RV 45
Borrhål: bh 20322
Djup: 5-12 m
Skapad av: Jani o Daniel



Skjuvspänning / Töjning
Datum: 2005-11-09
Projekt: Chalmers Västlänken
Borrhål: bh 50001
Djup: 6-40 m
Skapad av: Jani o Daniel

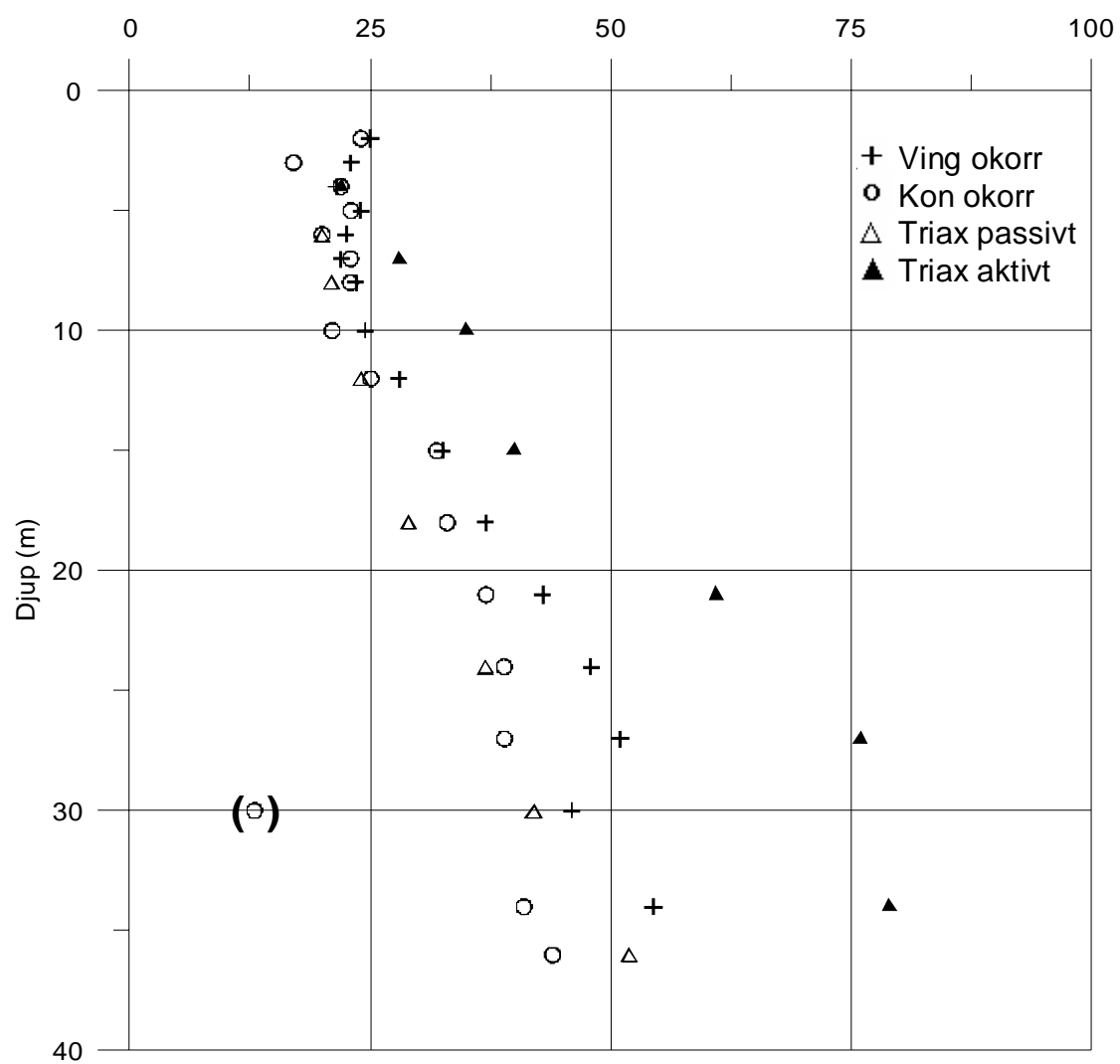


Skjuvspänning / Töjning
Datum: 2005-11-09
Projekt: Chalmers Västlänken
Borrhål: bh 66101
Djup: 3-16 m
Skapad av: Jani o Daniel



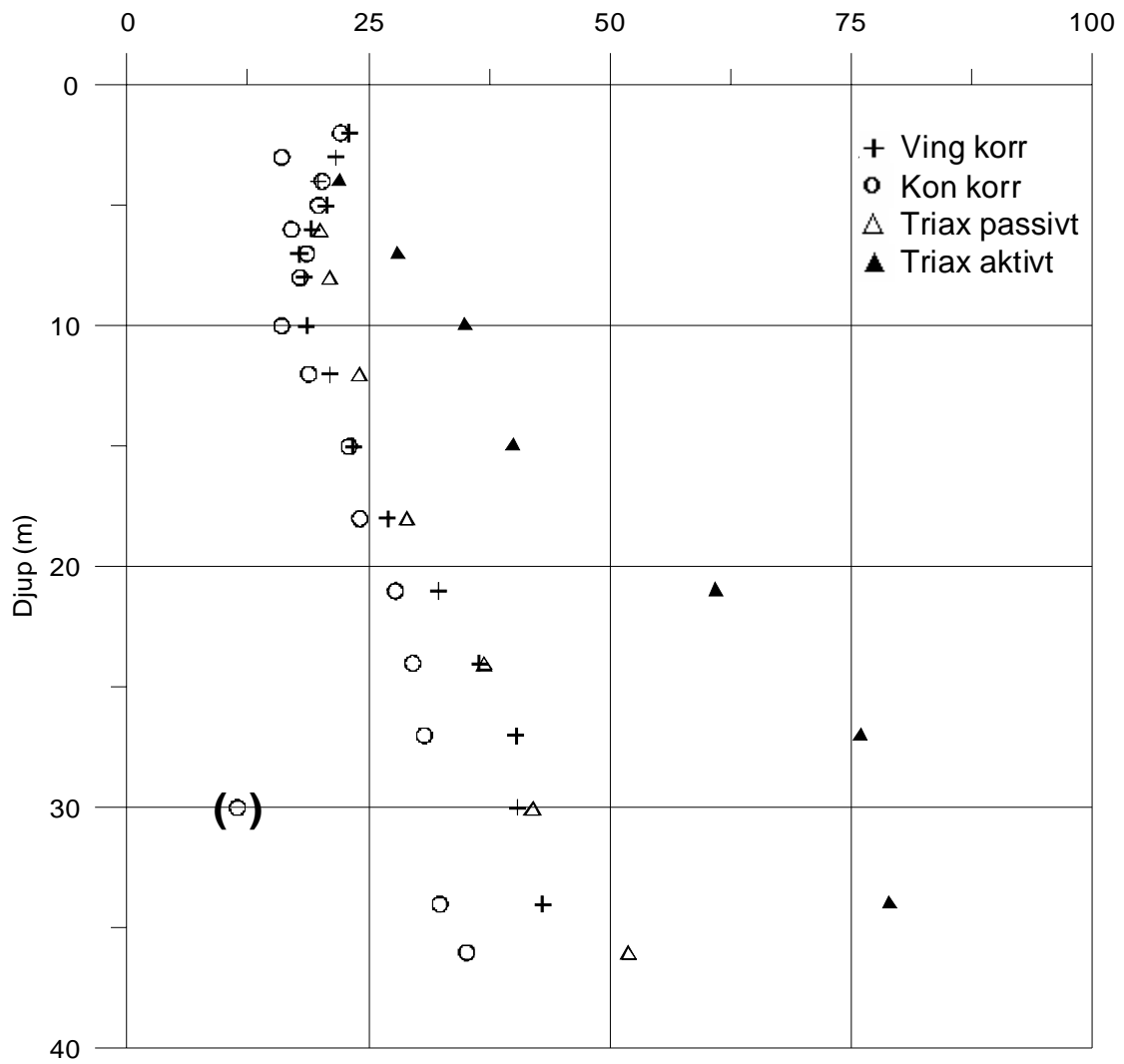
Falkon / Vinge / Triax
 Datum: 2005-09-20
 Projekt: Chalmers RV45
 Borrhål: bh 100120
 Djup: 4-45 m
 Skapad av: Jani o Daniel

Odränerad skjuvhållfasthet (kPa)



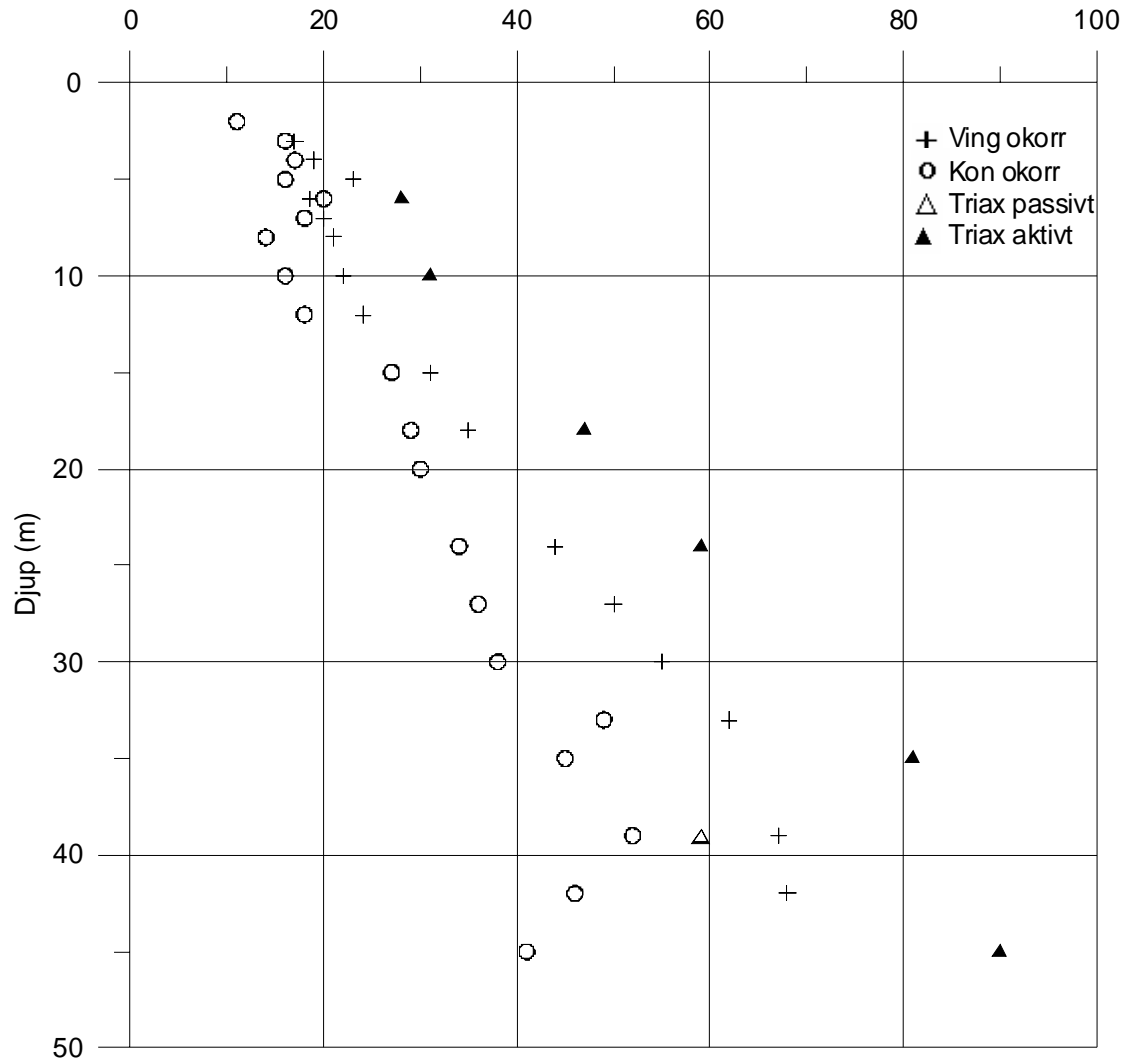
Falkon / Vinge / Triax
Datum: 2005-09-20
Projekt: Chalmers RV45
Borrhål: bh 100120
Djup: 4-45 m
Skapad av: Jani o Daniel

Odränerad skjuvhållfasthet (kPa)



Odränerad skjuvhållfasthet
Datum: 2005-11-01
Projekt: Chalmers RV45
Borrhål: bh 10286
Djup: 2-45 m
Utförare: Jani o Daniel

Odränerad skjuvhållfasthet (kPa)



Odränerad skjuvhållfasthet

Datum: 2005-11-01

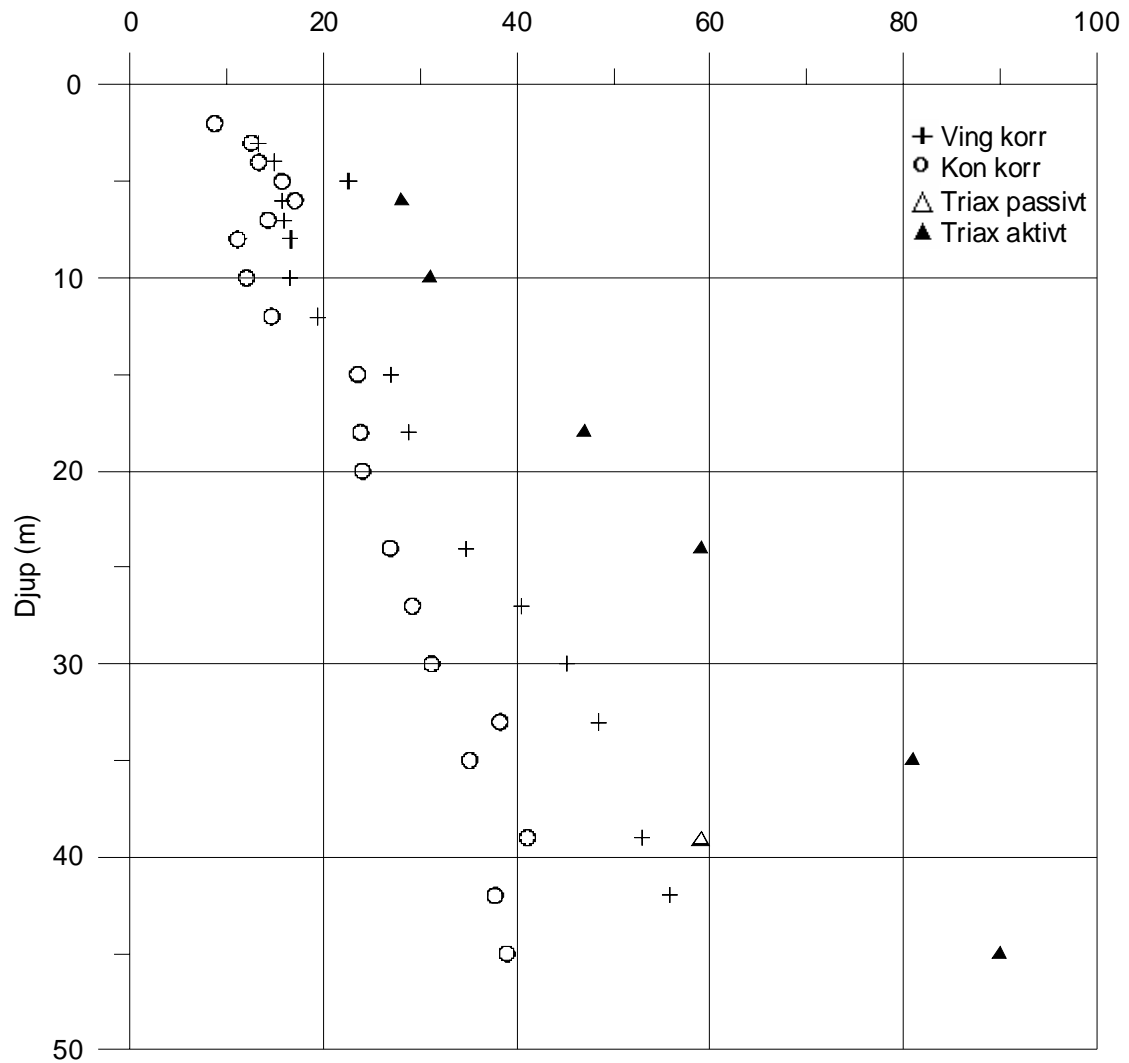
Projekt: Chalmers RV45

Borrhål: bh 10286

Djup: 2-45 m

Utförare: Jani o Daniel

Odränerad skjuvhållfasthet (kPa)



Odränerad skjuvhållfasthet

Datum: 2005-11-07

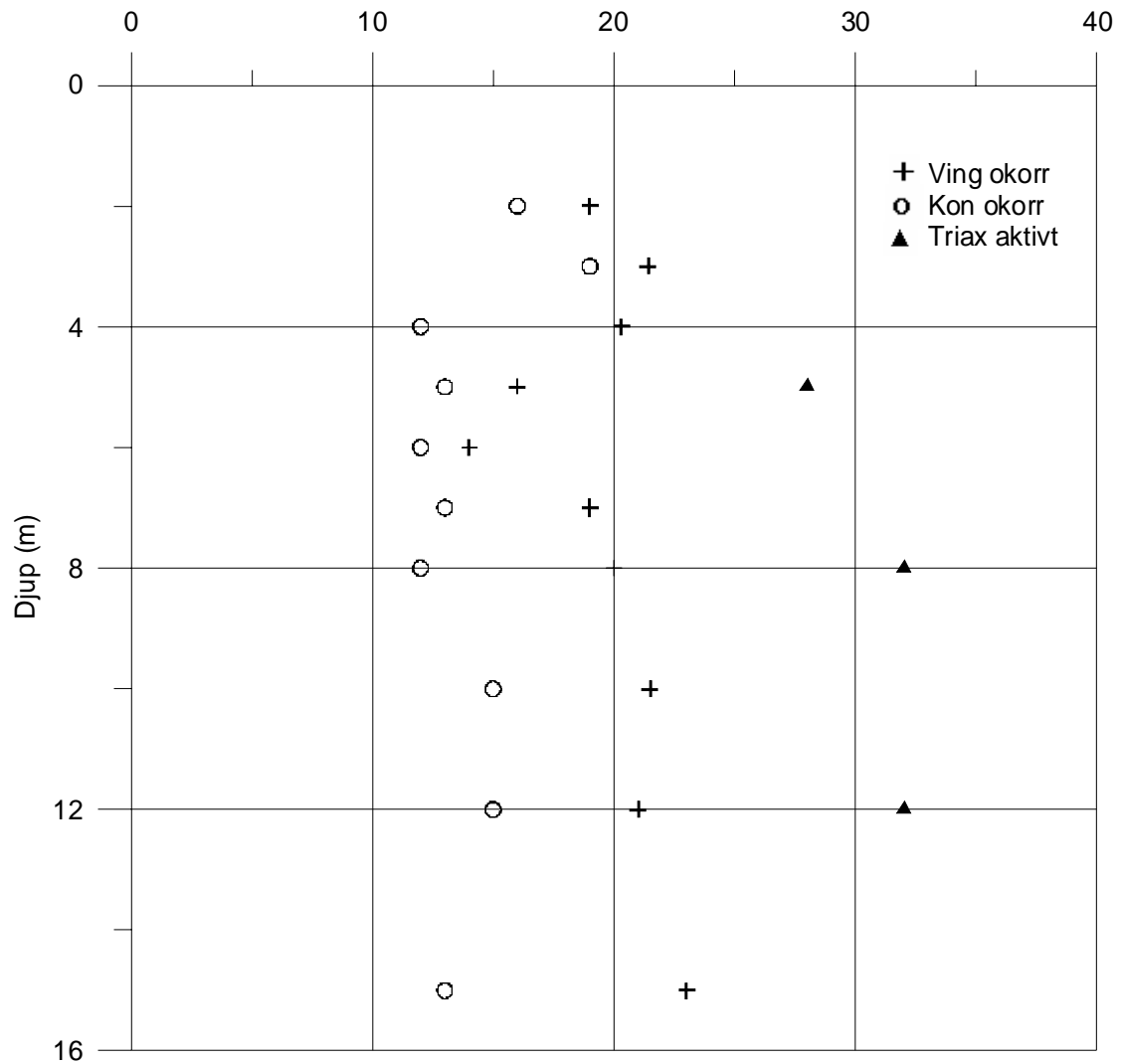
Projekt: Chalmers RV 45

Borrhål: bh 20322

Djup: 2-15 m

Skapad av: Jani o Daniel

Odränerad skjuvhållfasthet (kPa)



Odränerad skjuvhållfasthet

Datum: 2005-11-07

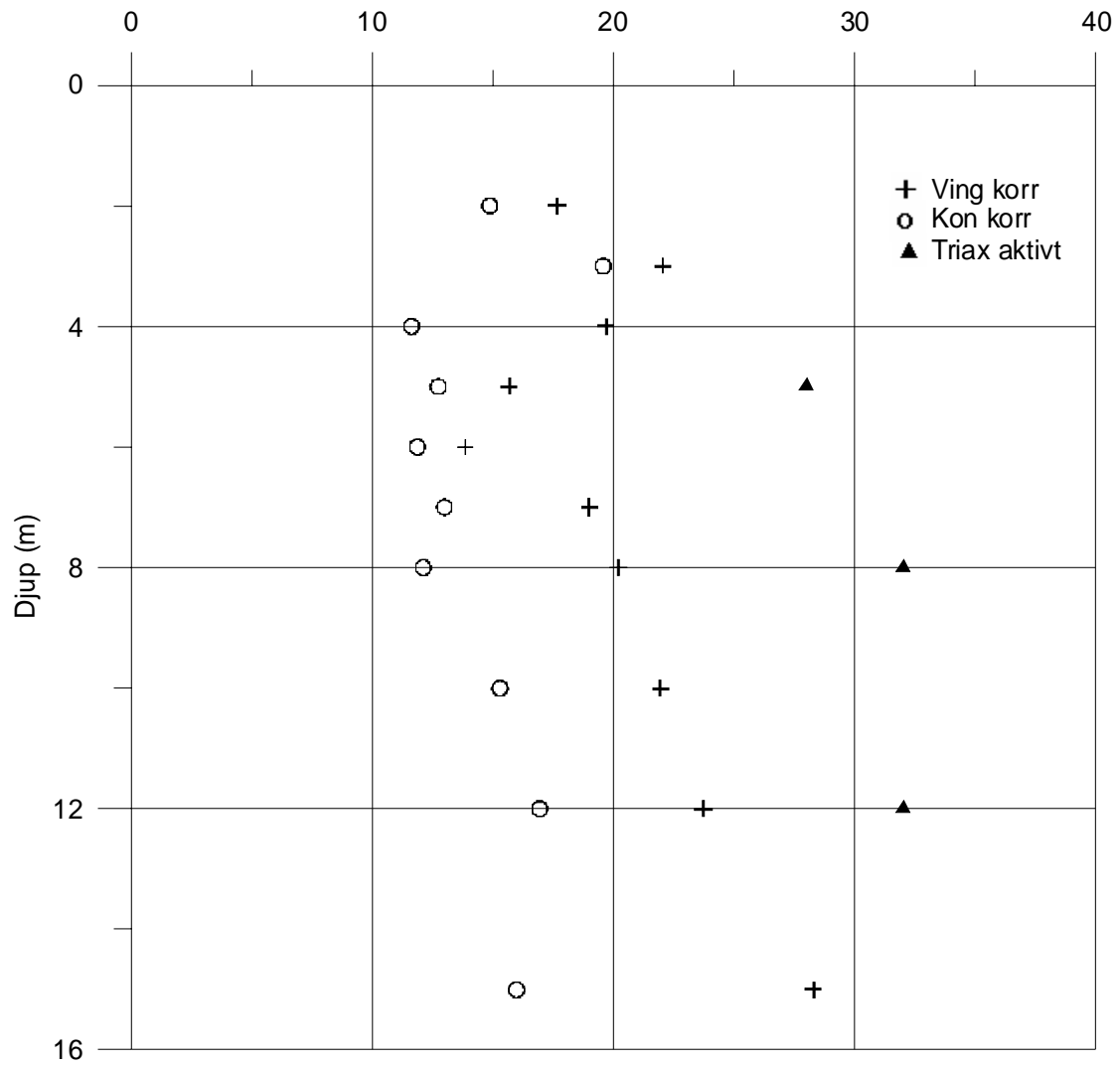
Projekt: Chalmers RV 45

Borrhål: bh 20322

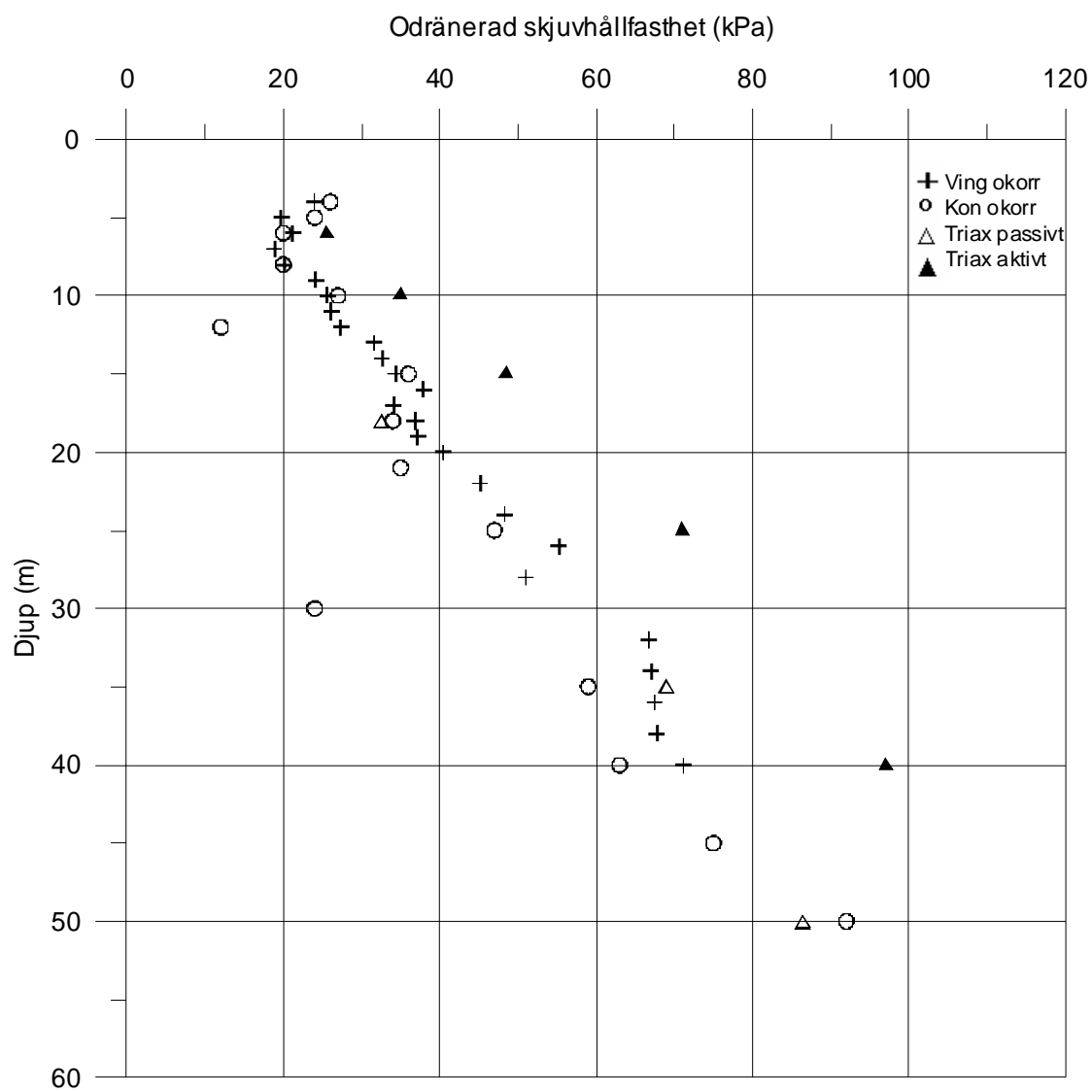
Djup: 2-15 m

Skapad av: Jani o Daniel

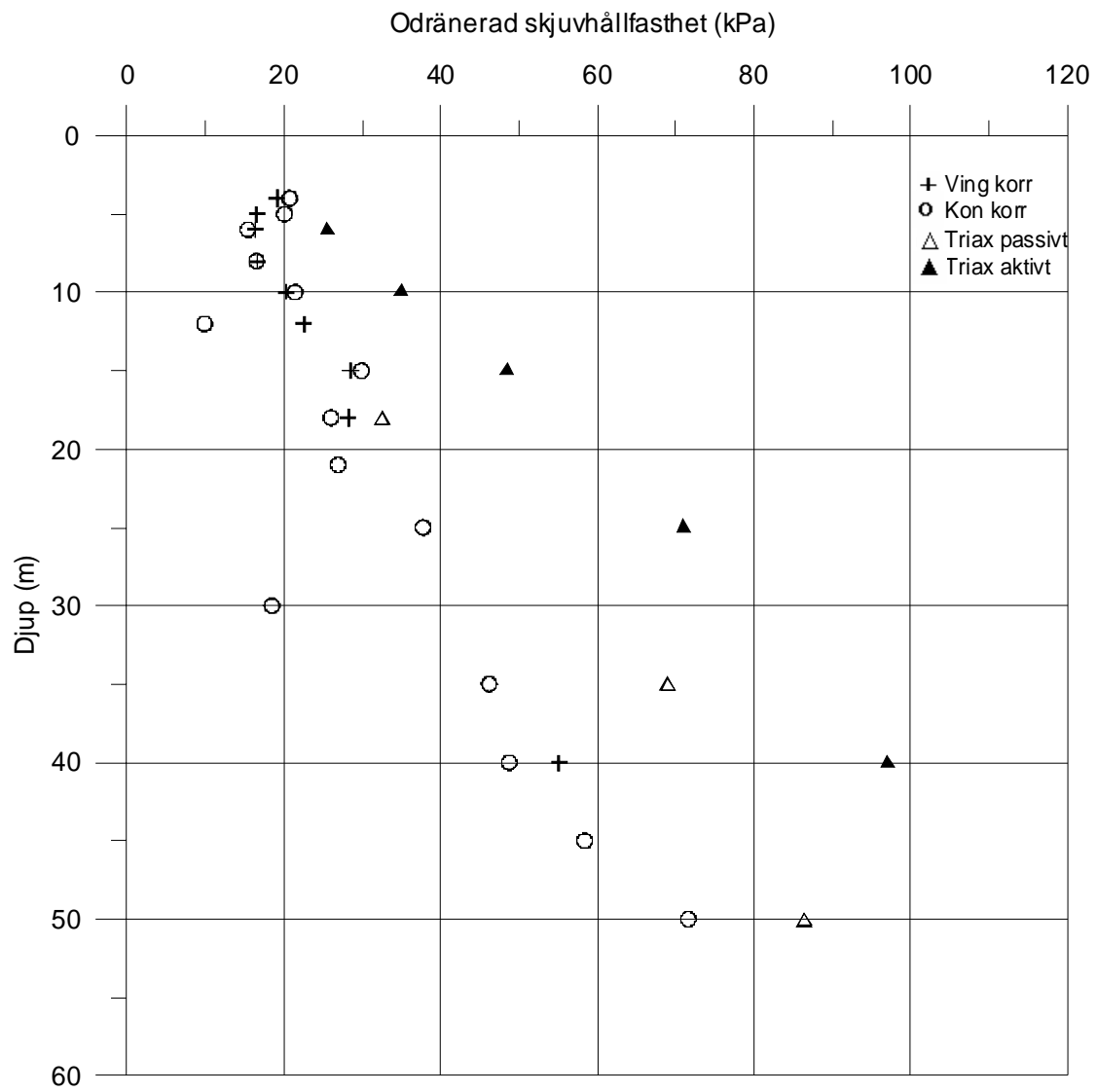
Odränerad skjuvhållfasthet (kPa)



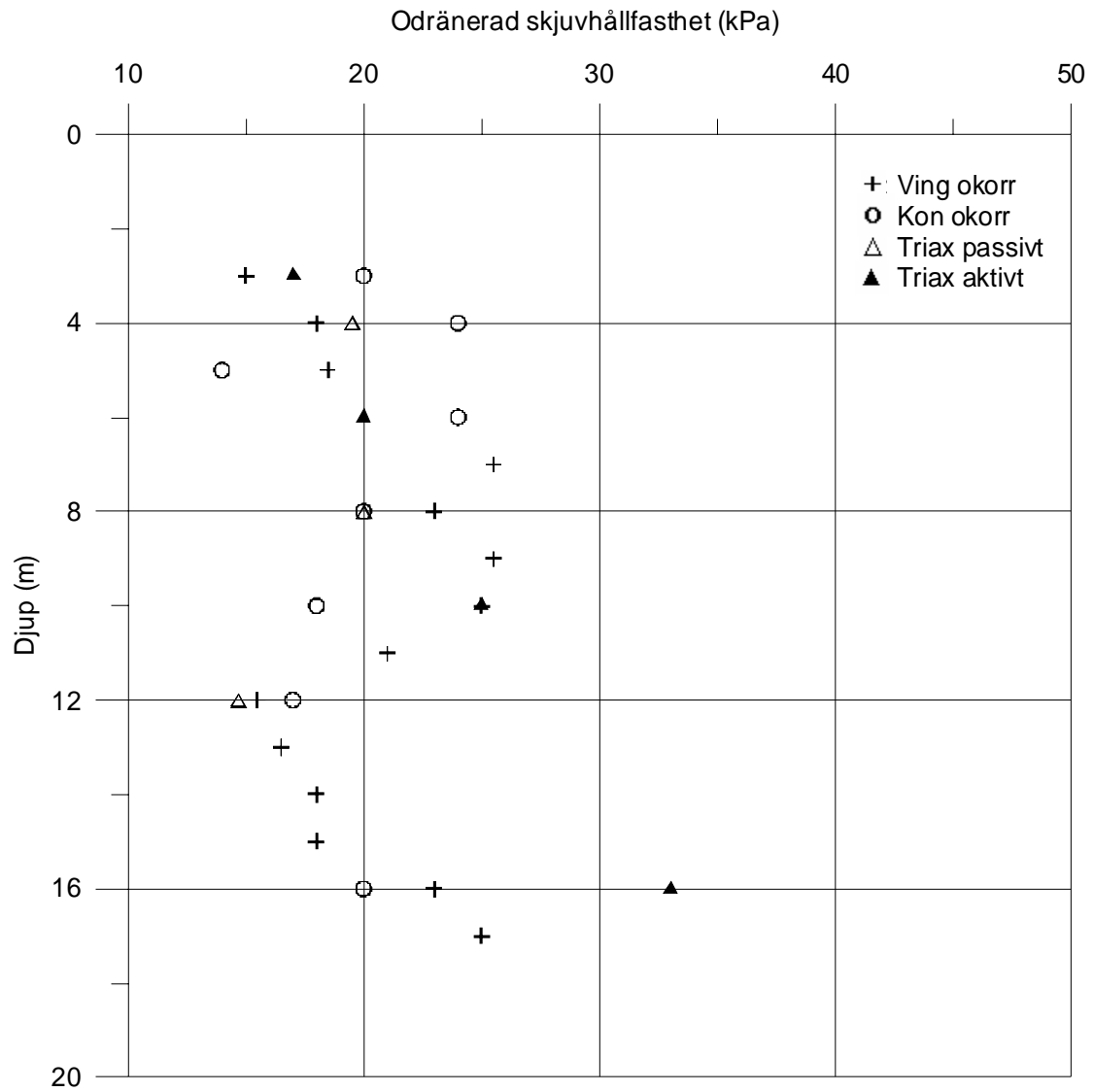
Falkon / Vinge / Triax
Datum: 2005-11-10
Projekt: Chalmers Västlänken
Borrhål: bh 50001
Djup: 4-50 m
Skapad av: Jani o Daniel



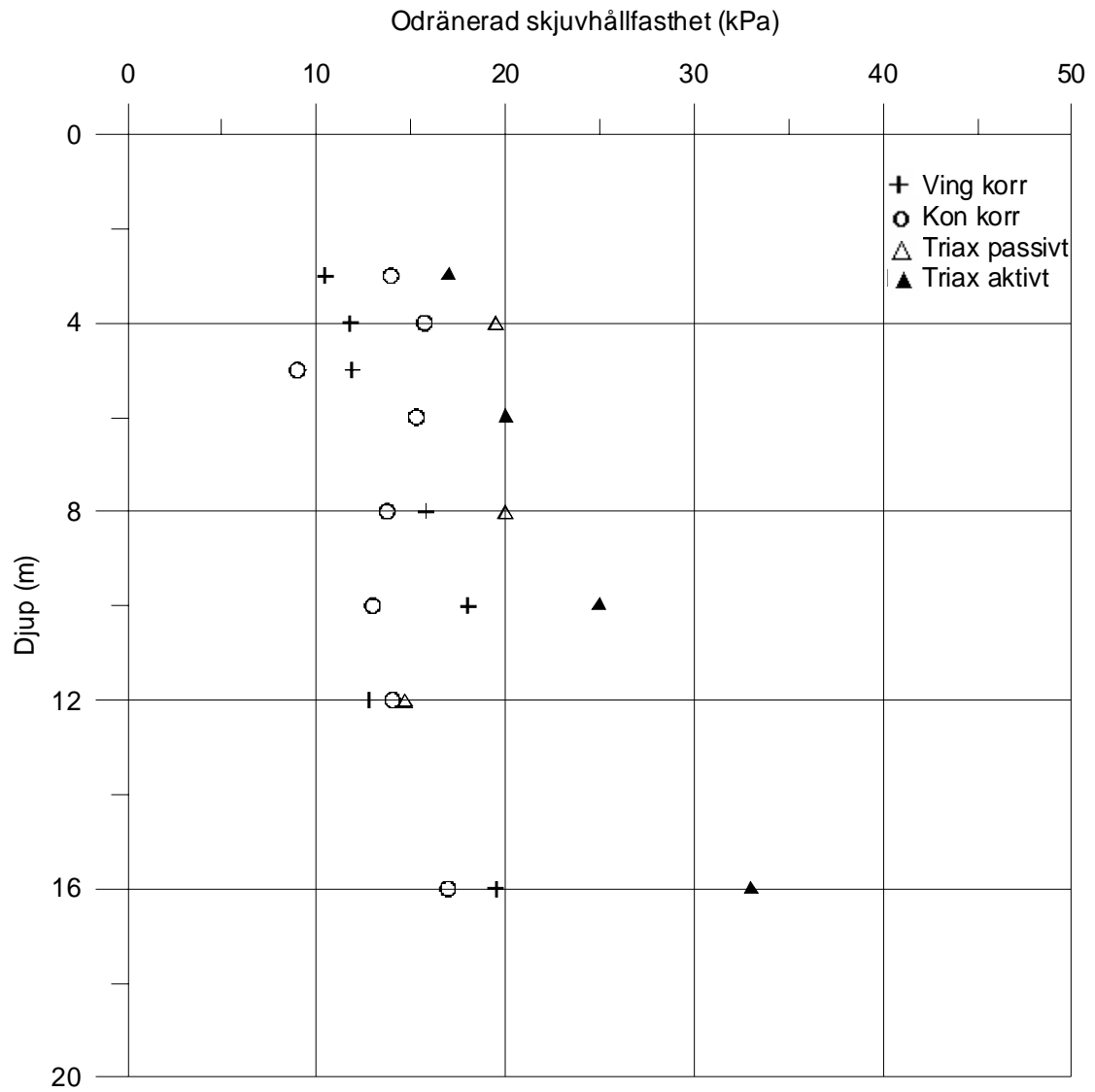
Falkon / Vinge / Triax
Datum: 2005-11-10
Projekt: Chalmers Västlänken
Borrhål: bh 50001
Djup: 4-50 m
Skapad av: Jani o Daniel



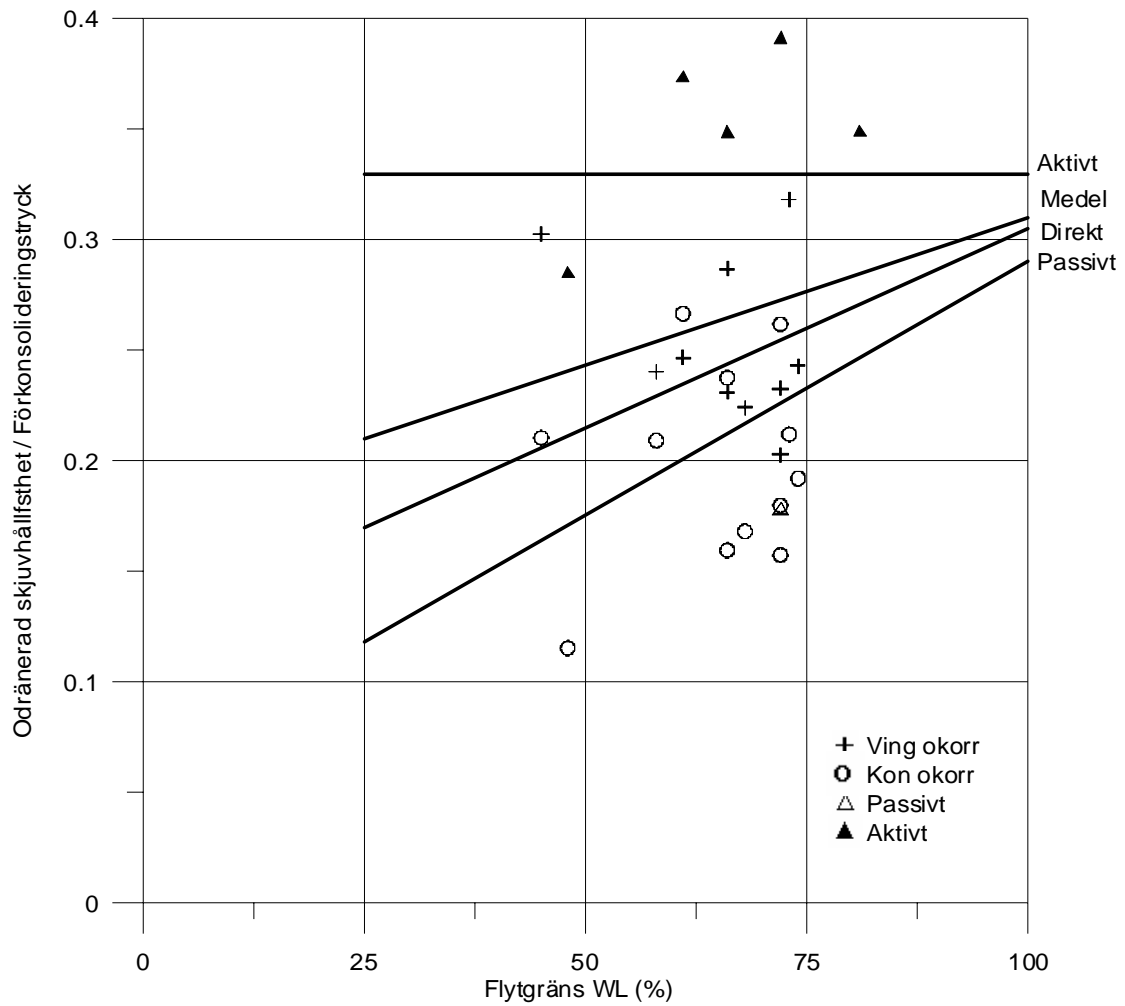
Falkon / Vinge / Triax
Datum: 2005-11-10
Projekt: Chalmers Västlänken
Borrhål: bh 66101
Djup: 3-16 m
Skapad av: Jani o Daniel



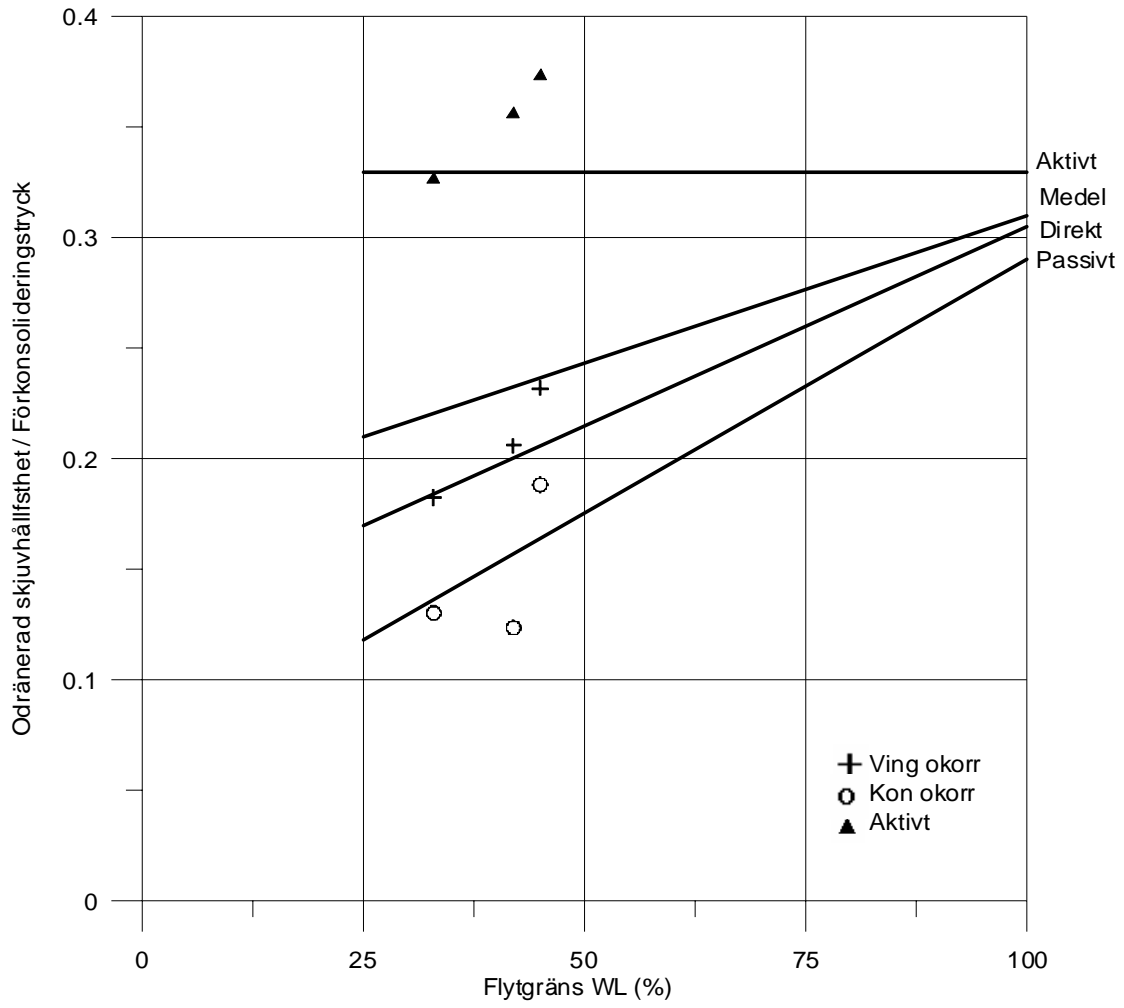
Falkon / Vinge / Triax
Datum: 2005-11-10
Projekt: Chalmers Västlänken
Borrhål: bh 66101
Djup: 3-16 m
Skapad av: Jani o Daniel



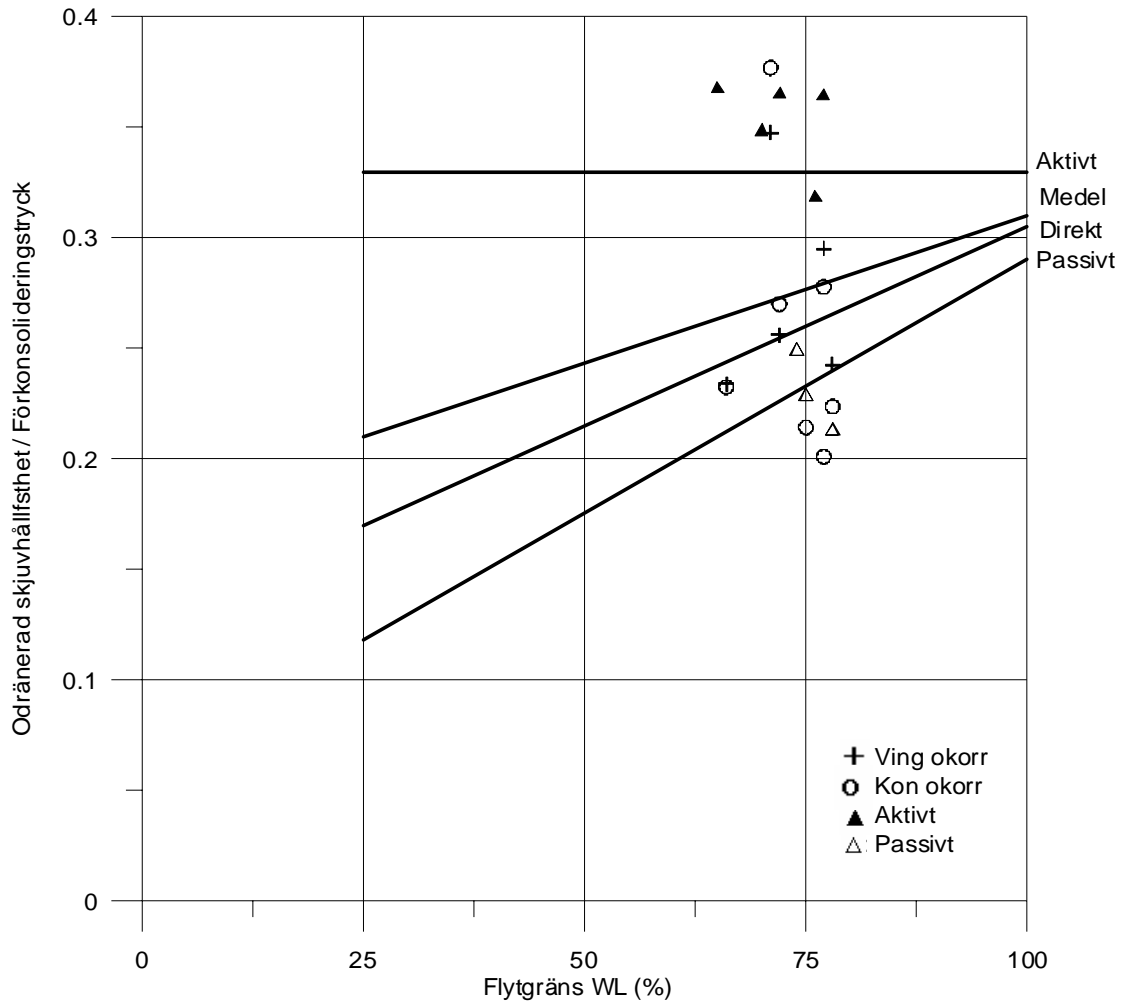
Empiri / Aktivt o Passivt / kon o ving
Datum: 2005-11-01
Projekt: Chalmers RV45
Borrhål: bh10286
skapad av: Jani o Daniel



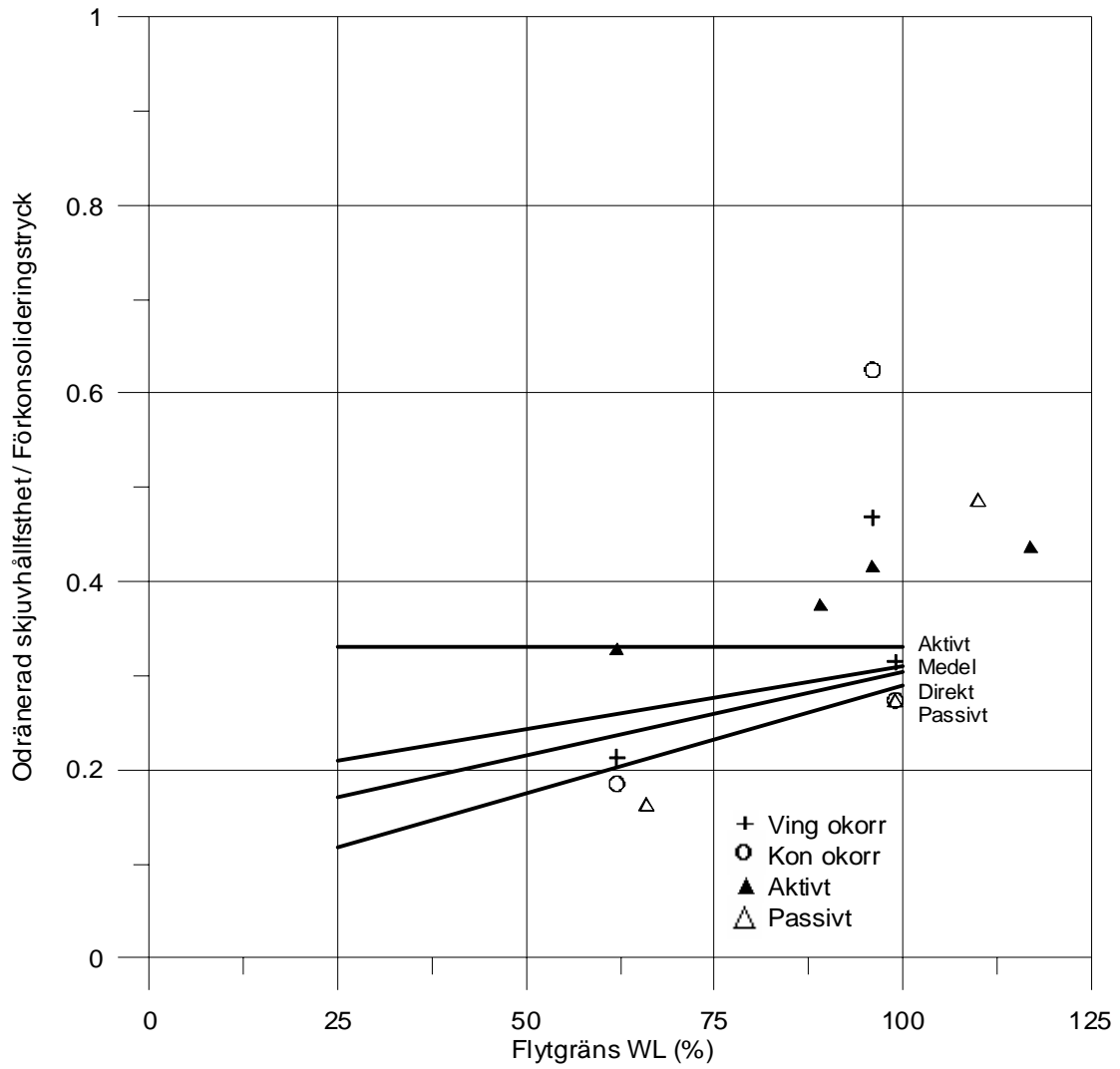
Empiri / Aktivt o Passivt / kon o ving
Datum: 2005-11-07
Projekt: Chalmers RV45
Borrhål: bh20322
skapad av: Jani o Daniel



Empiri / Aktivt o Passivt / kon o ving
Datum: 2005-11-10
Projekt: Chalmers Västlänken
Borrhål: bh 50001
skapad av: Jani o Daniel

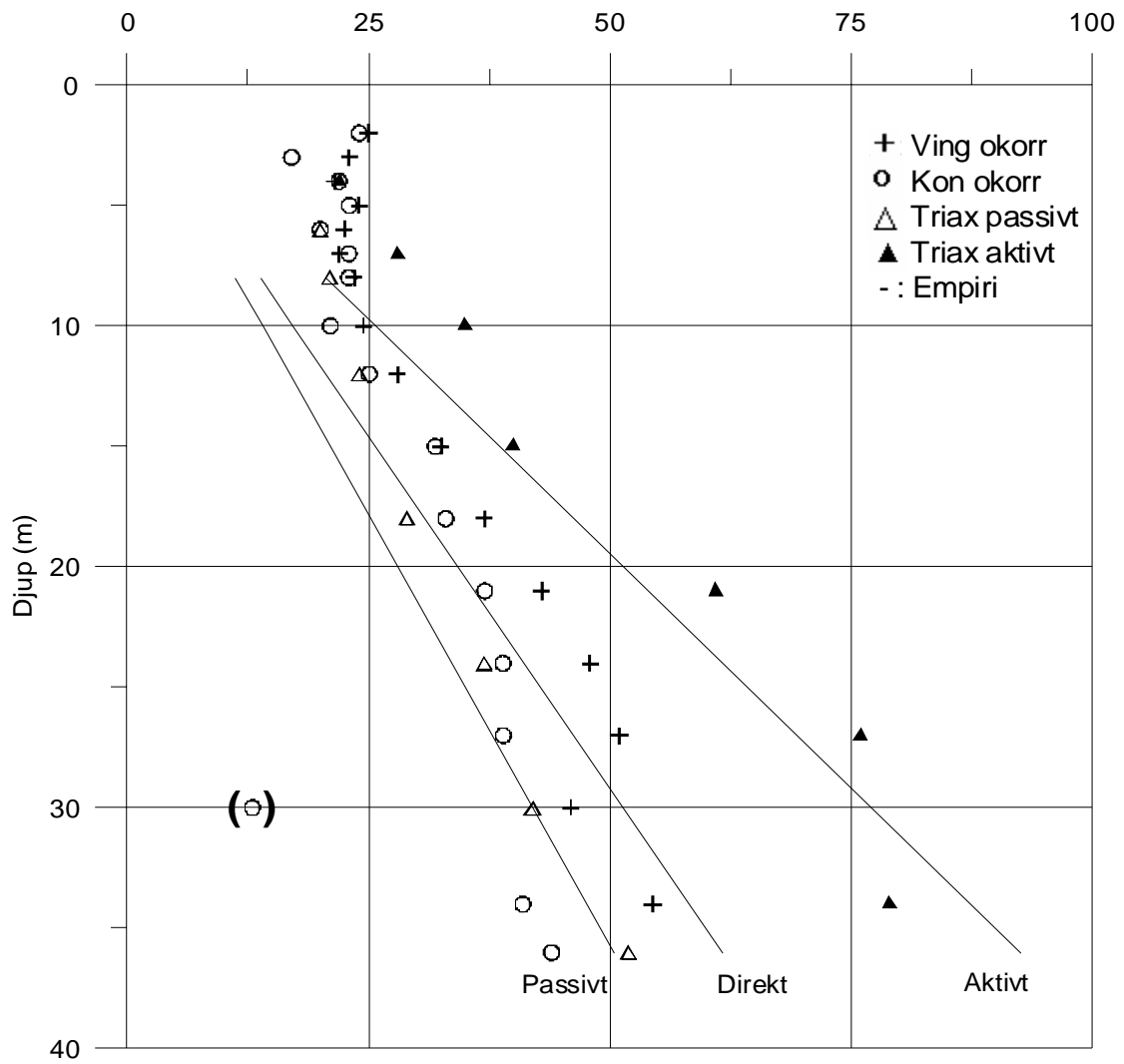


Empiri / Aktivt o Passivt / kon o ving
Datum: 2005-11-10
Projekt: Chalmers Västlänken
Borrhål: bh 66101
skapad av: Jani o Daniel



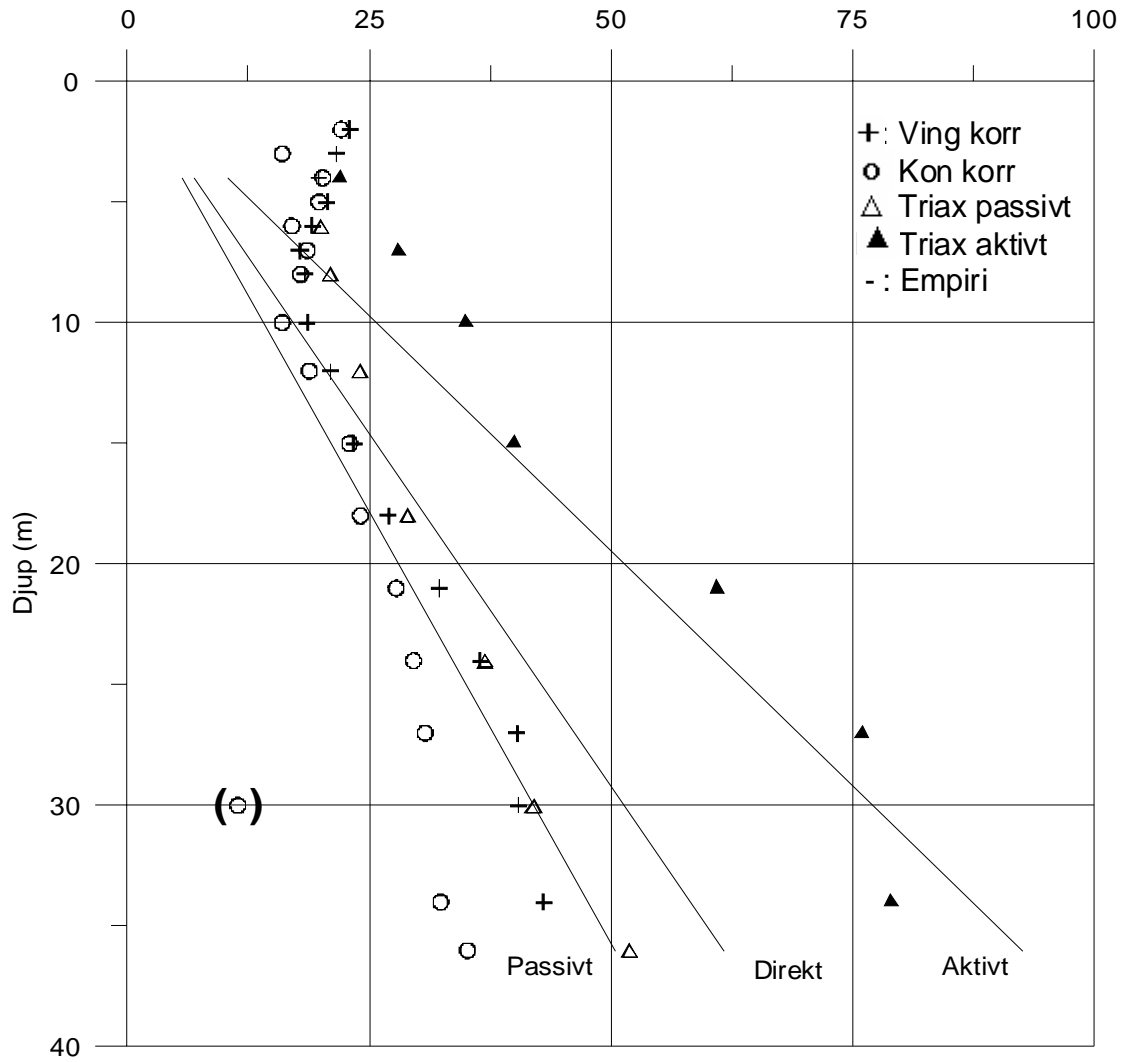
Falkkon / Vinge / Triax / Empiri
Datum: 2005-10-17
Projekt: Chalmers RV45
Borrhål: bh 100120
Djup: 4-45 m
Skapad av: Jani o Daniel

Odränerad skjuvhållfasthet (kPa)



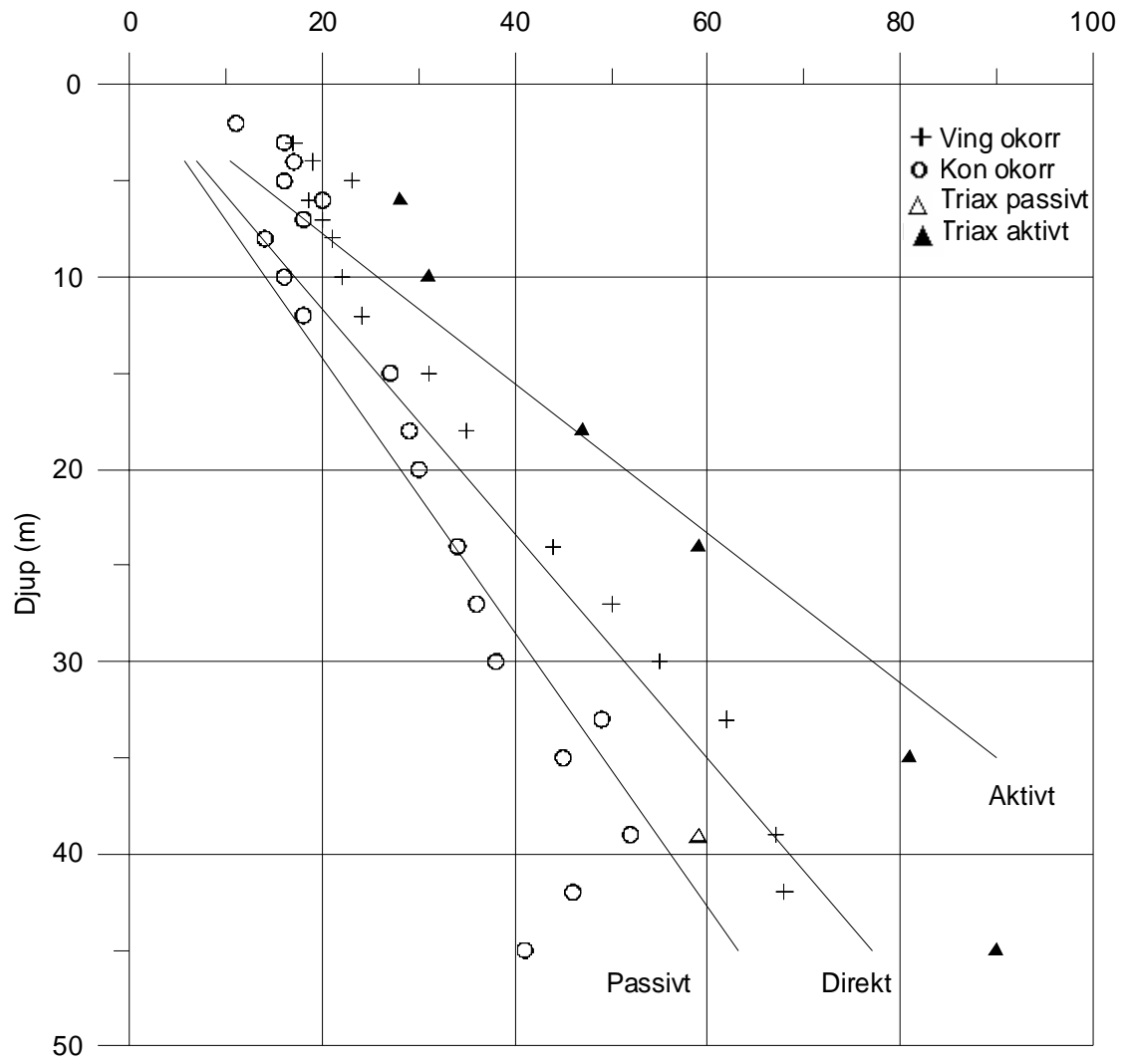
Falkon / Vinge / Triax / Empiri
 Datum: 2005-10-17
 Projekt: Chalmers RV45
 Borrhål: bh 100120
 Djup: 4-45 m
 Skapad av: Jani o Daniel

Odränerad skjuvhållfasthet (kPa)



Odränerad skjuvhållfasthet
Datum: 2005-11-01
Projekt: Chalmers RV45
Borrhål: bh 10286
Djup: 2-45 m
Utförare: Jani o Daniel

Odränerad skjuvhållfasthet (kPa)



Odränerad skjuvhållfasthet

Datum: 2005-11-01

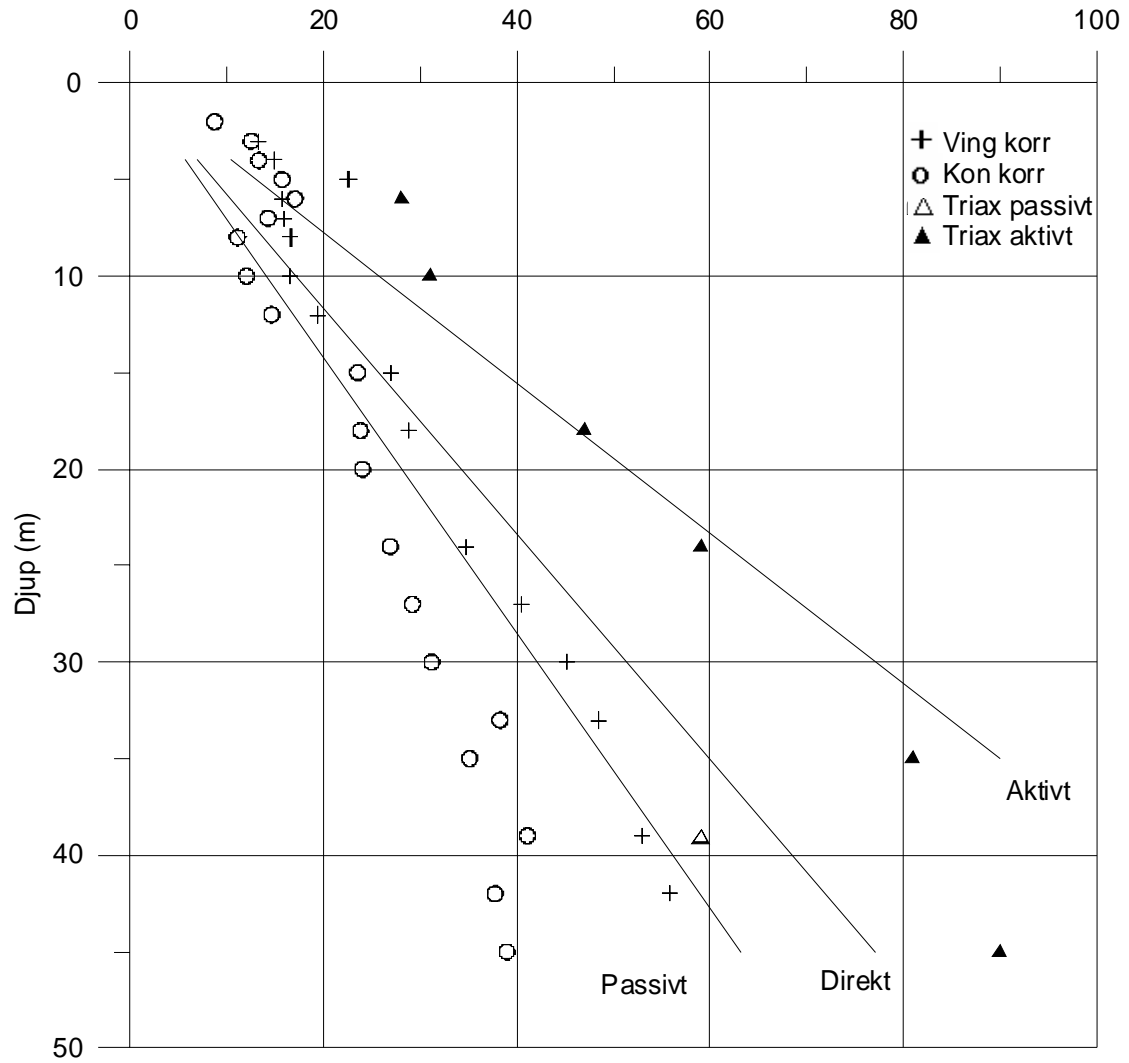
Projekt: Chalmers RV45

Borrhål: bh 10286

Djup: 2-45 m

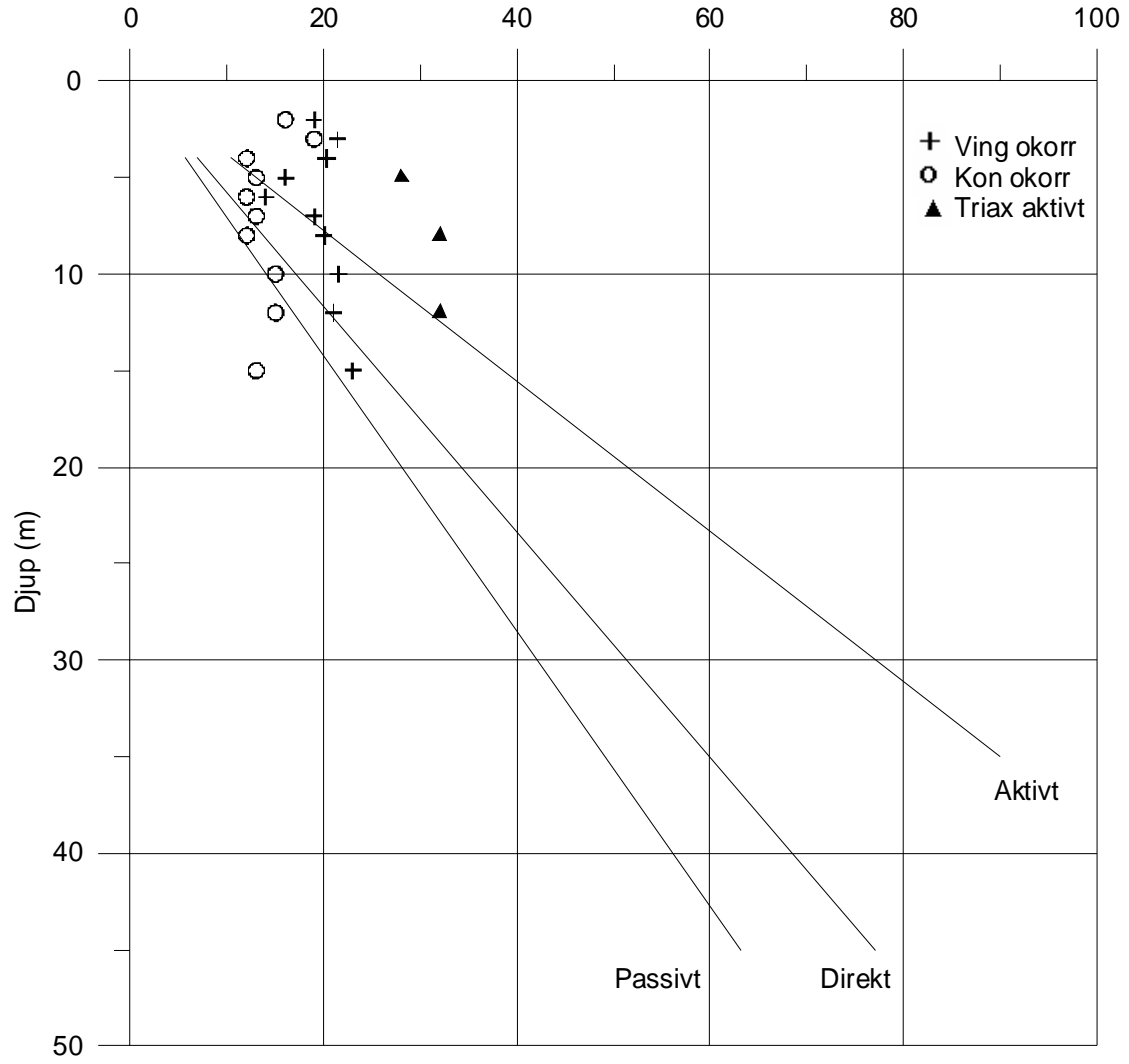
Utförare: Jani o Daniel

Odränerad skjuvhållfasthet (kPa)



Odränerad skjuvhållfasthet
Datum: 2005-11-07
Projekt: Chalmers RV45
Borrhål: bh 20322
Djup: 2-15 m
Utförare: Jani o Daniel

Odränerad skjuvhållfasthet (kPa)



Odränerad skjuvhållfasthet

Datum: 2005-11-07

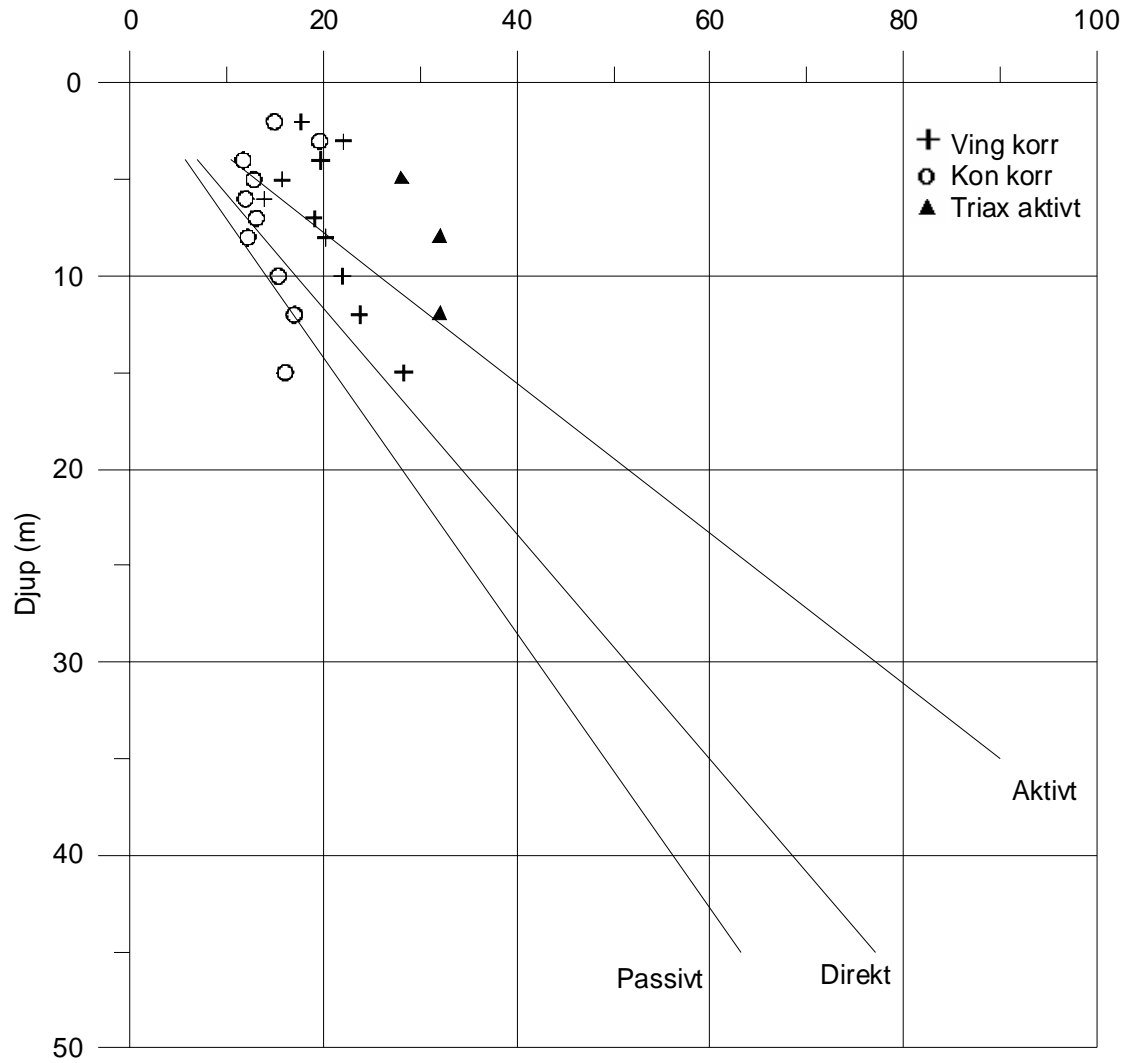
Projekt: Chalmers RV45

Borrhål: bh 20322

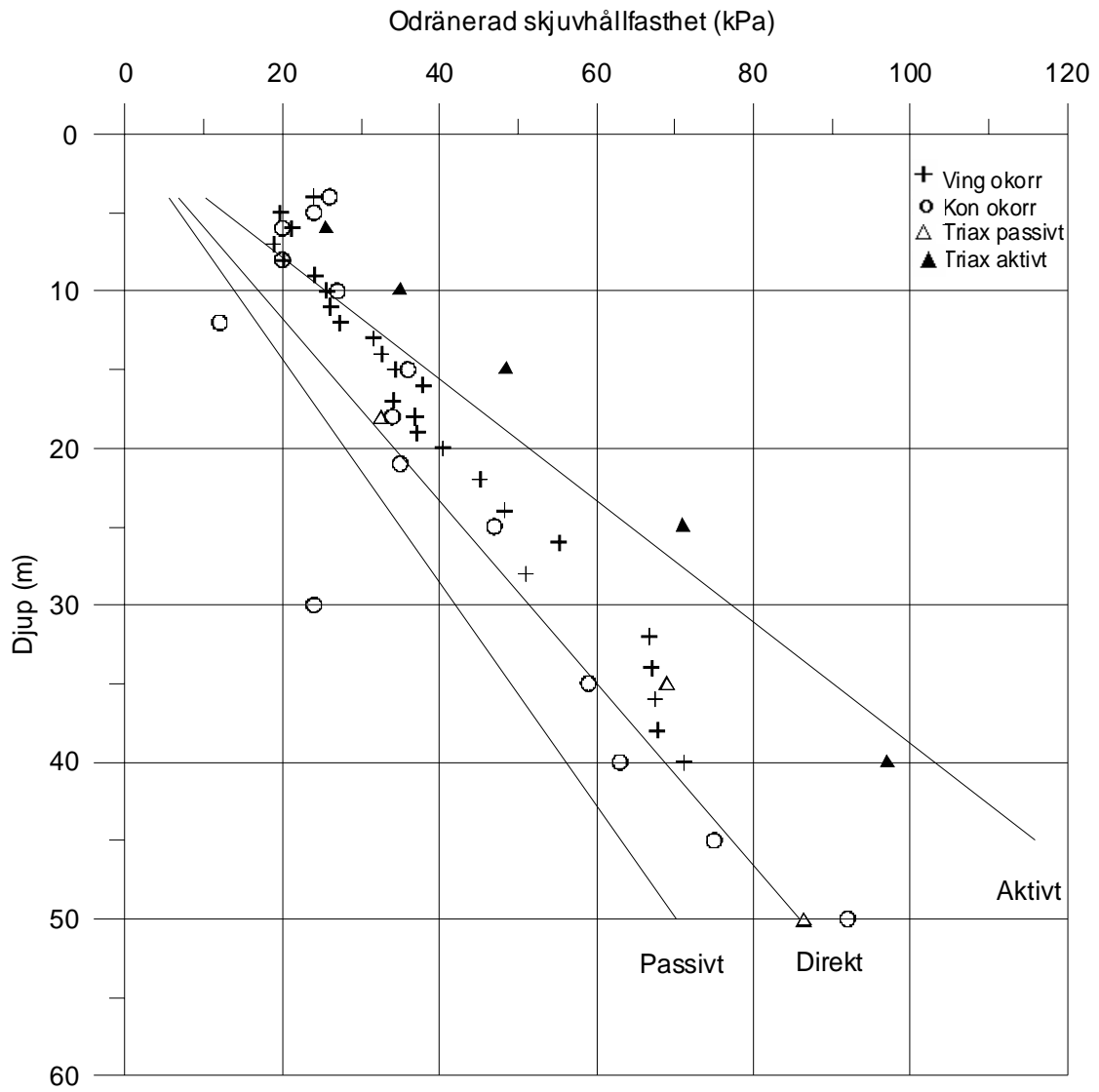
Djup: 2-15 m

Utförare: Jani o Daniel

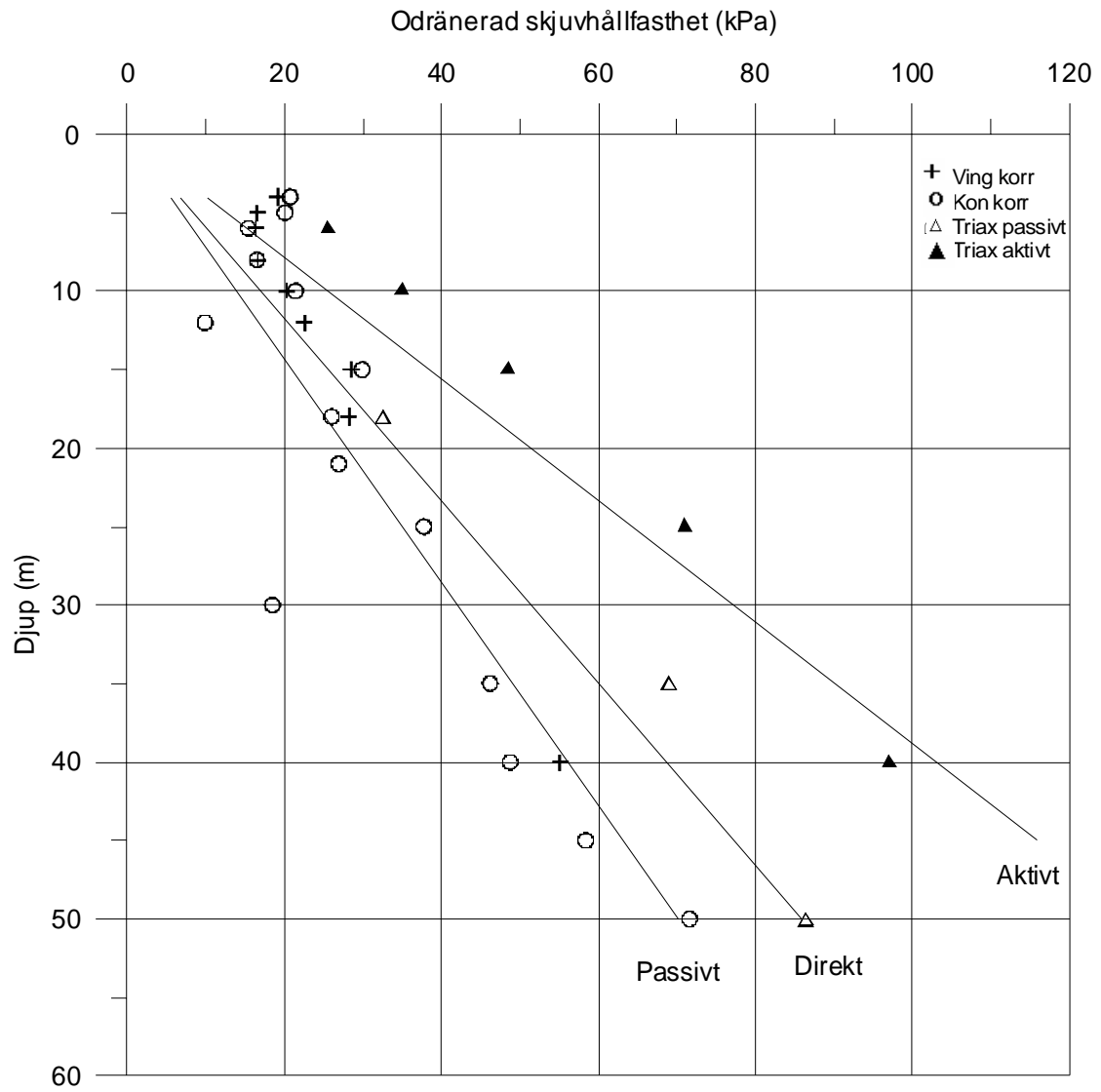
Odränerad skjuvhållfasthet (kPa)



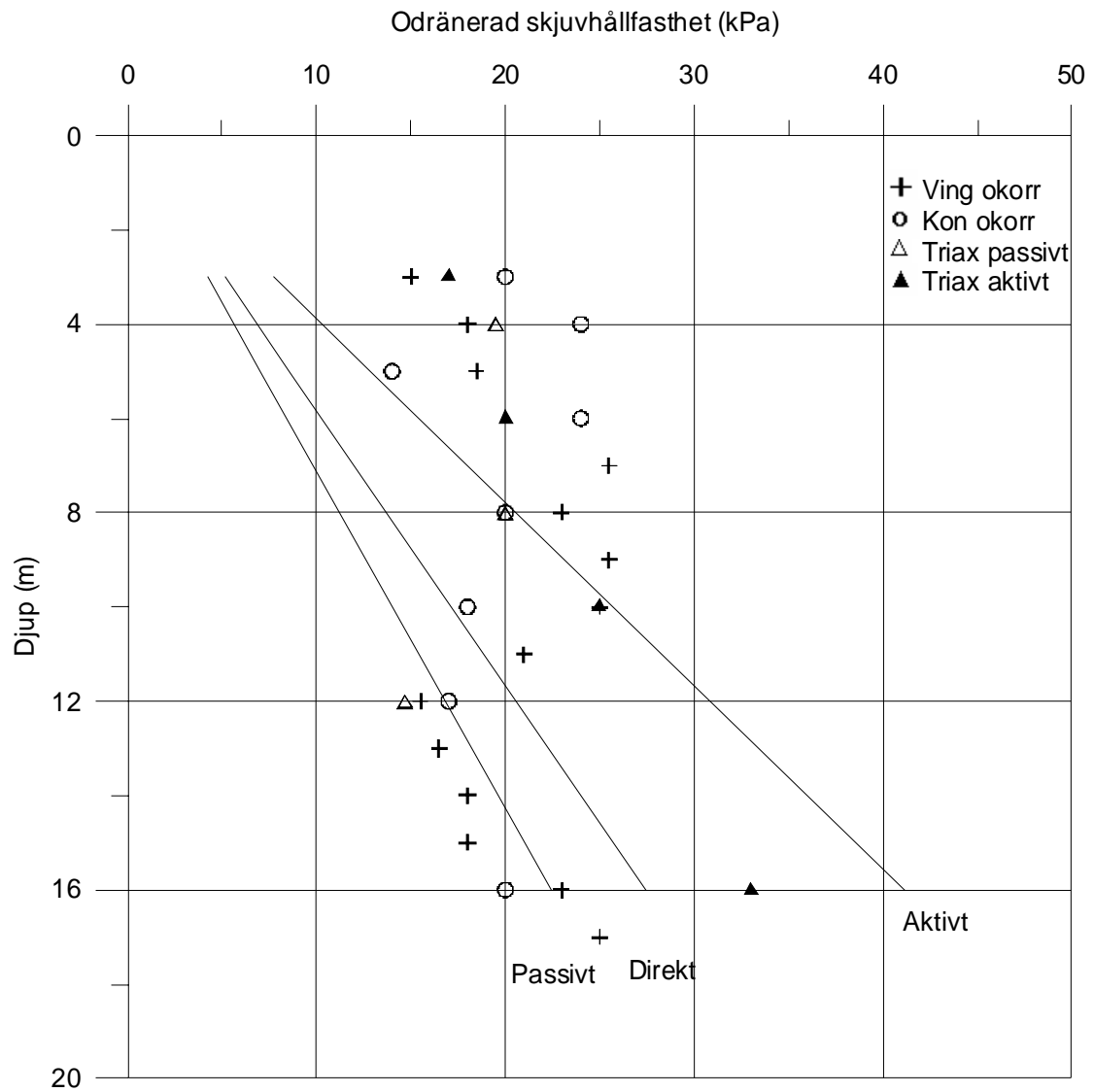
Falkon / Vinge / Triax / Empiri
Datum: 2005-11-10
Projekt: Chalmers Västlänken
Borrhål: bh 50001
Djup: 4-50 m
Skapad av: Jani o Daniel



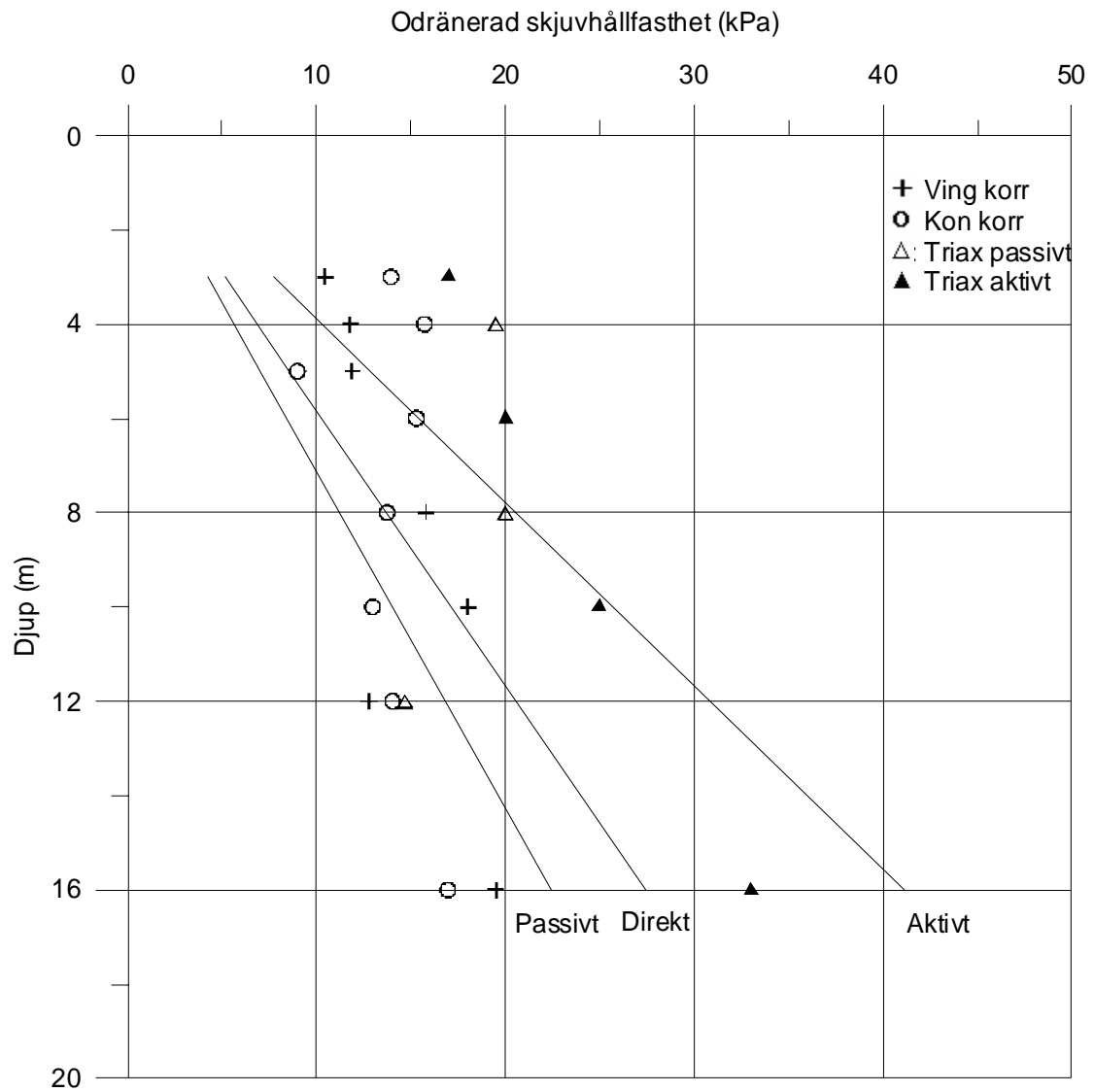
Falkon / Vinge / Triax / Empiri
Datum: 2005-11-10
Projekt: Chalmers Västlänken
Borrhål: bh 50001
Djup: 4-50 m
Skapad av: Jani o Daniel



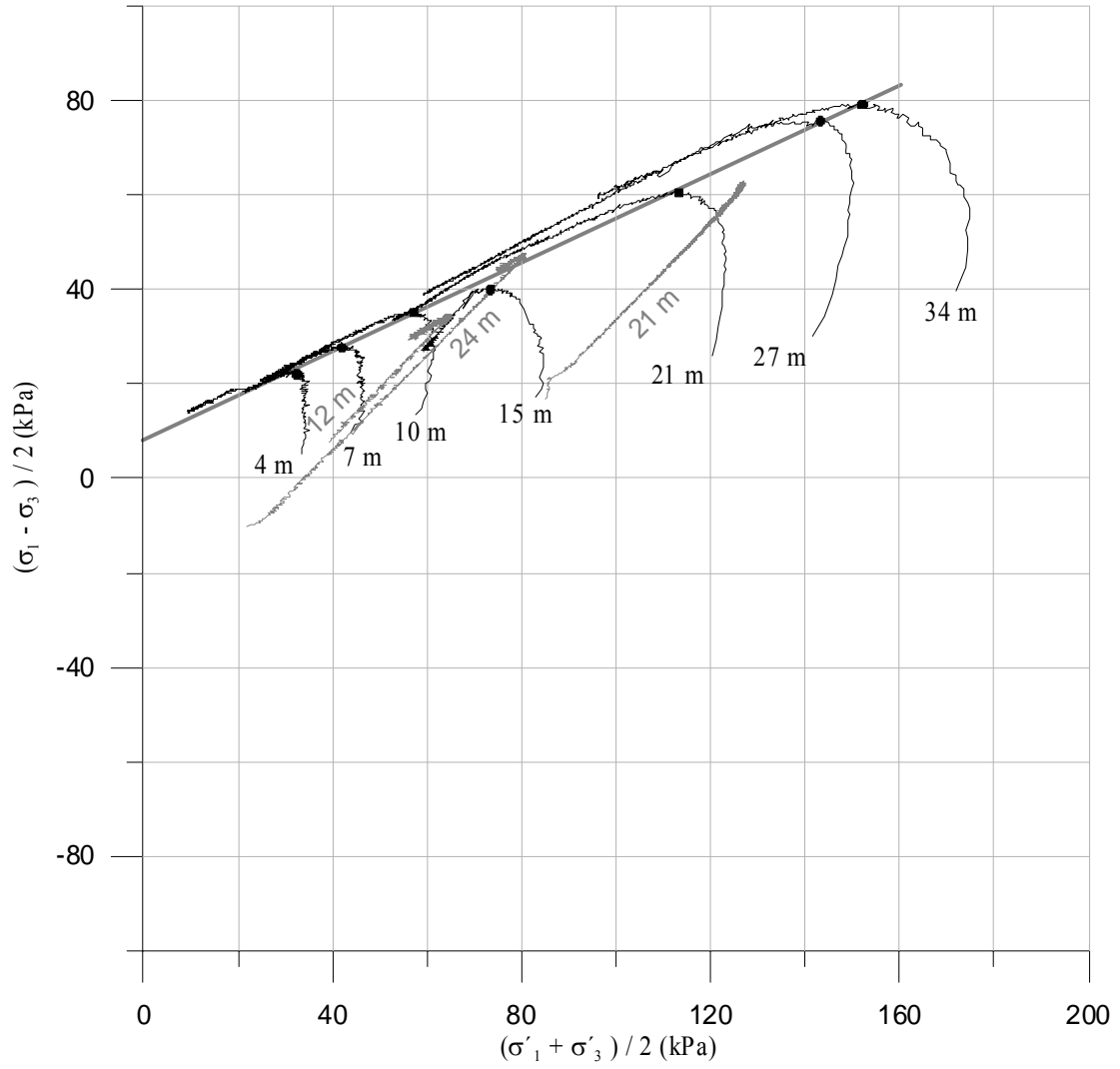
Fallkon / Vinge / Triax / Empiri
 Datum: 2005-11-10
 Projekt: Chalmers Västlänken
 Borrhål: bh 66101
 Djup: 3-16 m
 Skapad av: Jani o Daniel



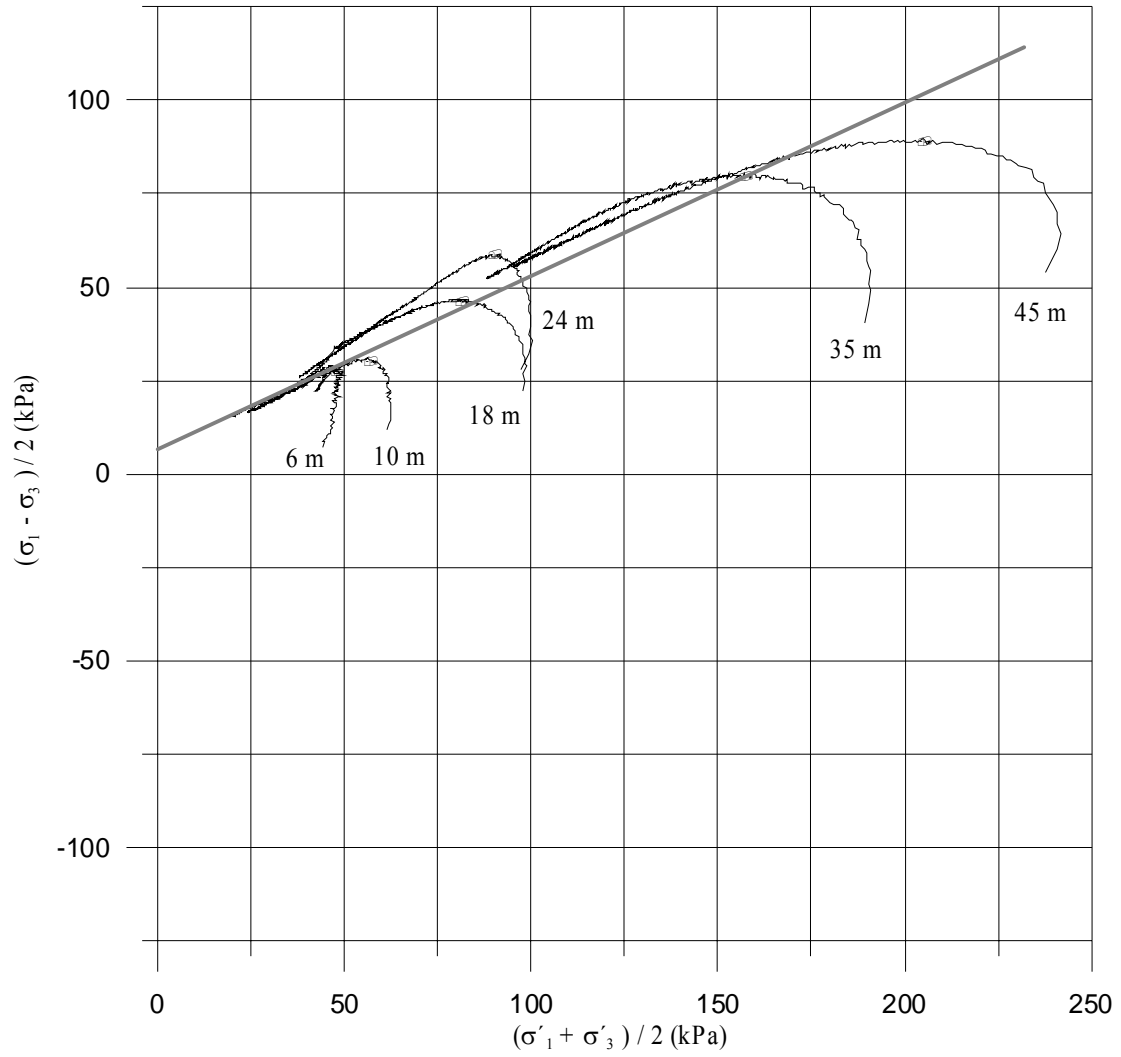
Falkon / Vinge / Triax / Empiri
 Datum: 2005-11-10
 Projekt: Chalmers Västlänken
 Borrhål: bh 66101
 Djup: 3-16 m
 Skapad av: Jani o Daniel



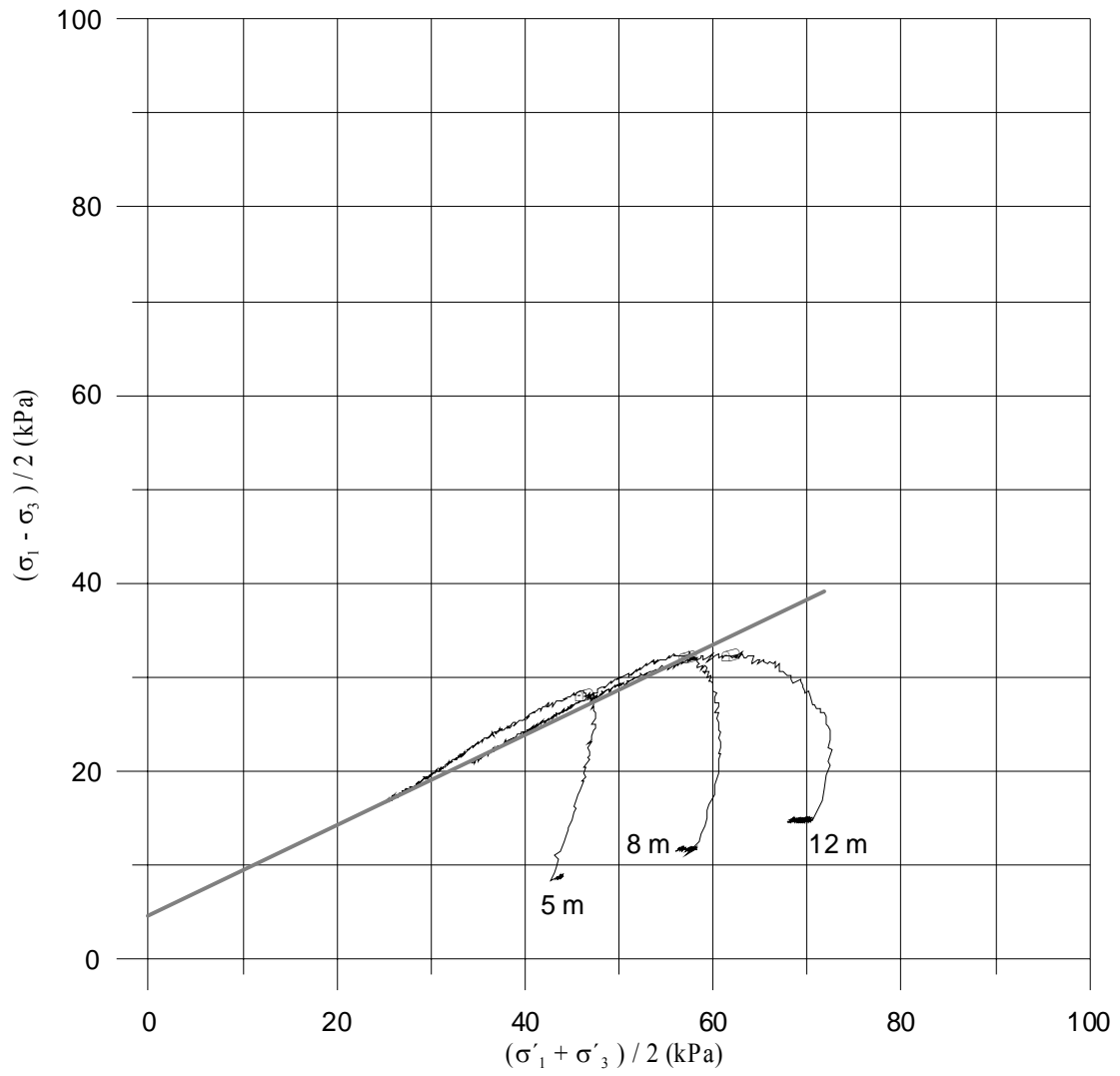
Datum: 2005-09-21
Projekt: Chalmers RV45
Borrhål: bh100120
Djup: 2 to 36 meters
Type: Aktivt odränerat och dränerat
Skapad av: Jani o Daniel



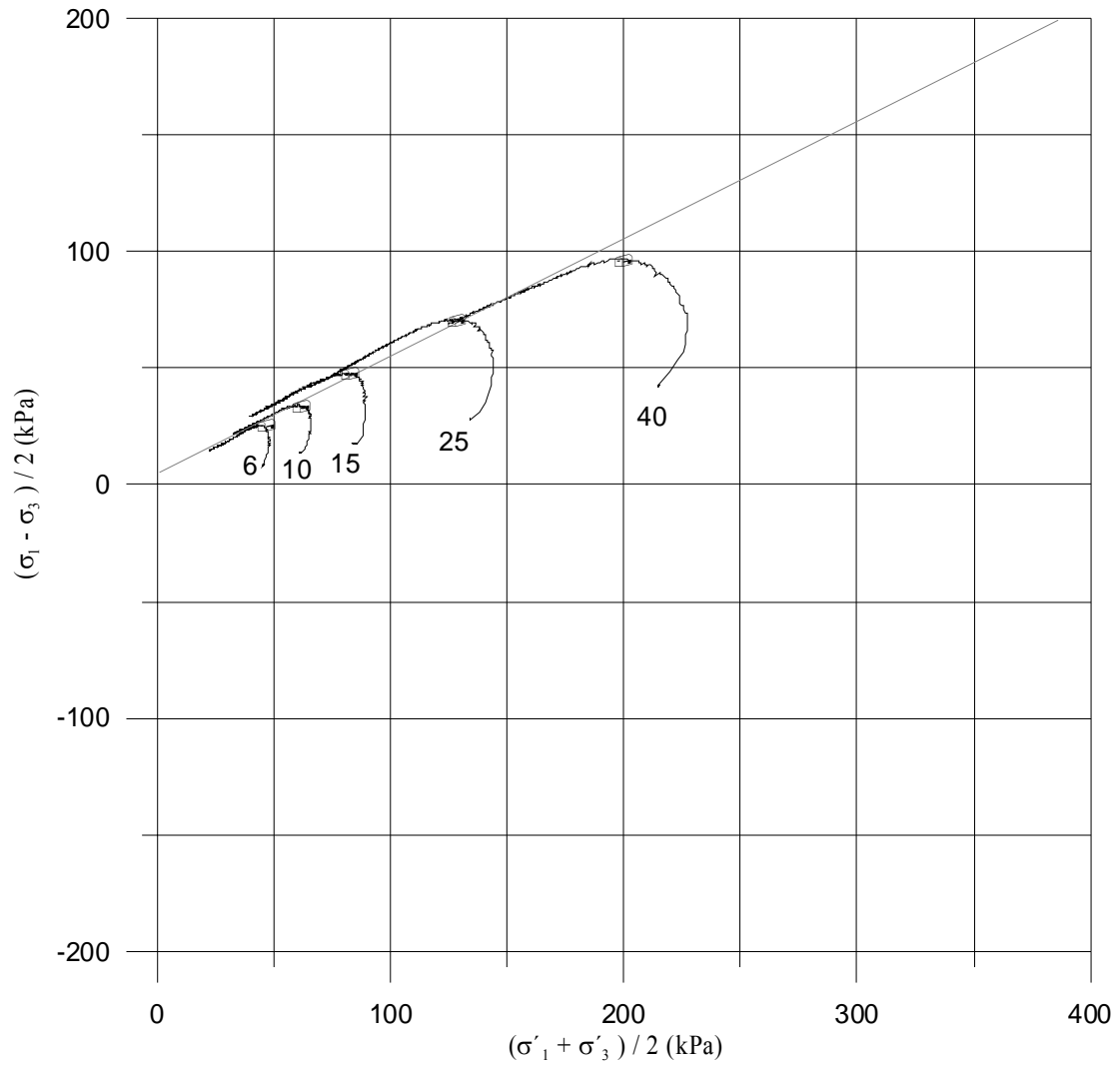
Datum: 2005-11-01
Projekt: RV45
Borrhål: bh10286
Djup: 6 - 45 m
Typ: Aktivt odränerat
Skapad av: Jani o Daniel



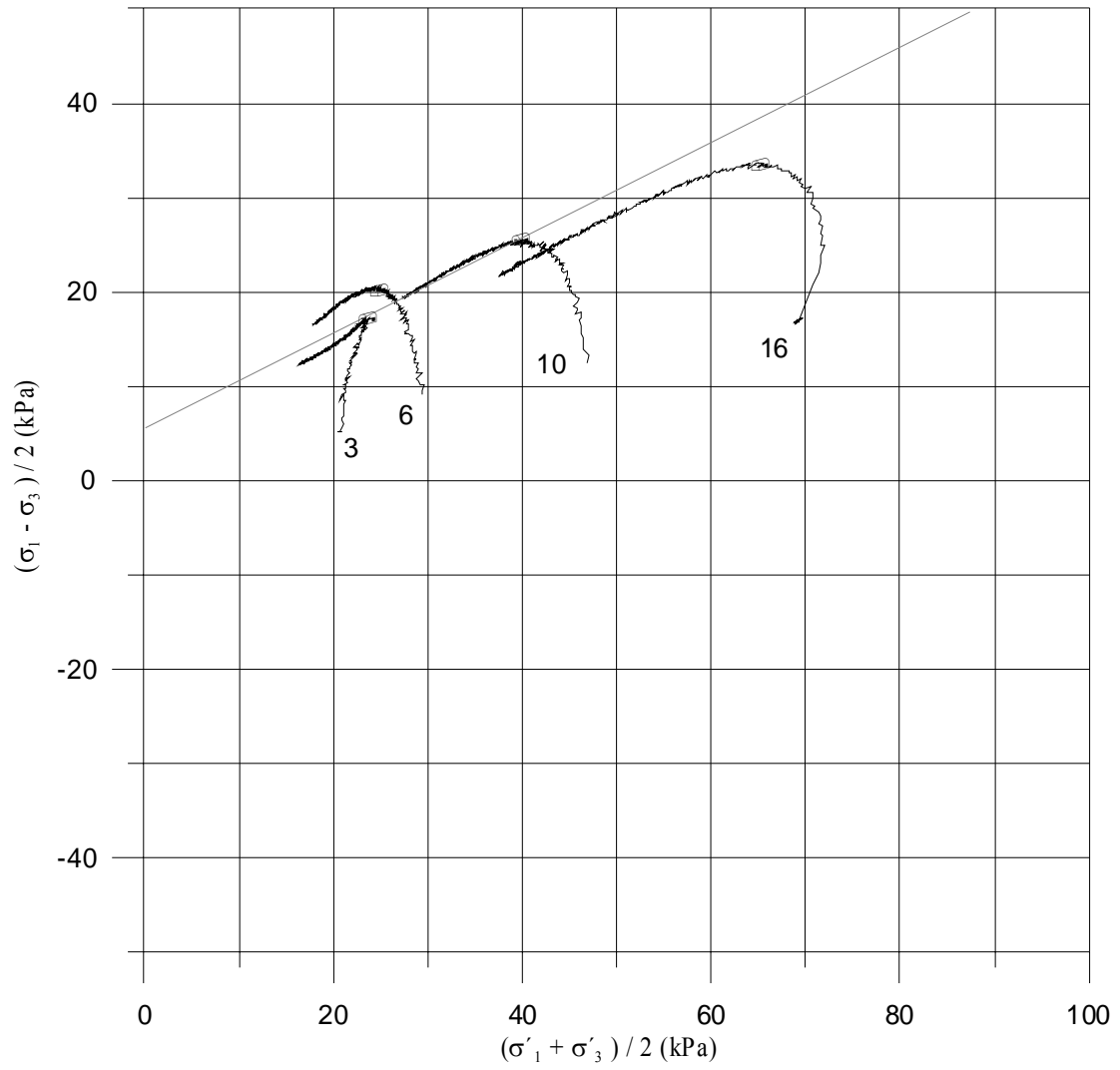
Traix försök, sammanställning
Datum: 2005-11-08
Projekt: Chalmers RV45
Punktnummer: bh20322
Djup: 5-12 m
Skapad av: Jani o Daniel



Triaxförsök aktivt odränerat
Datum: 2005-11-16
Projekt: Chalmers Västlänken
Borrhål: bh 50001
Djup: 6-40 m
Skapad av: Jani o Daniel



Triaxförsök aktivt odränerat
Datum: 2005-11-16
Projekt: Chalmers Västlänken
Borrhål: bh 66101
Djup: 3-16 m
Skapad av: Jani o Daniel



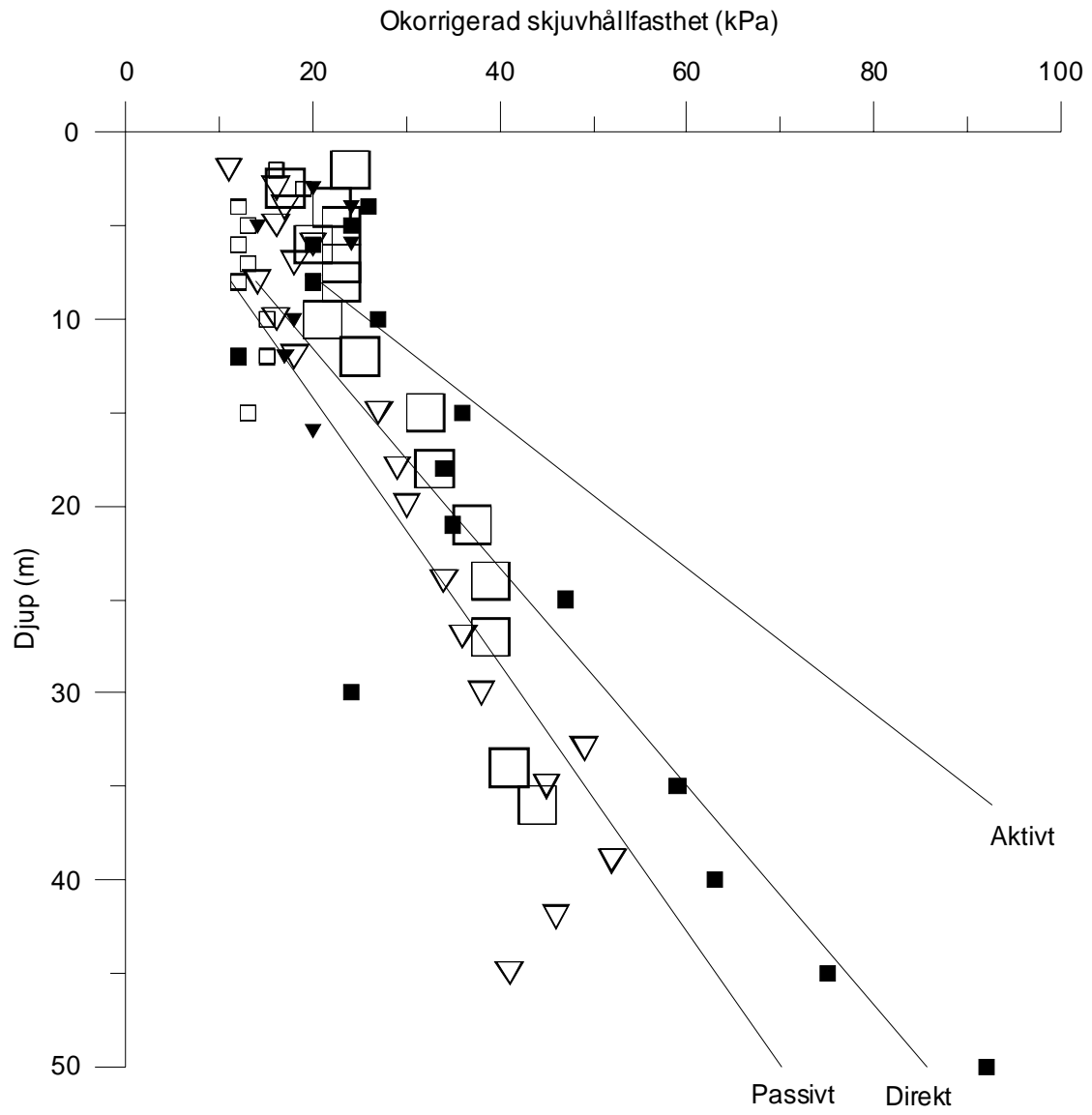
Sammanställning av okorrigerad skjuvhållfasthet för fallkon jmf empiri

Datum: 2005-11-16

Projekt: Analys / Examensarbete

Borrhål: bh-100120, 10286, 20322, 50001, 66101

Skapad av: Jani o Daniel



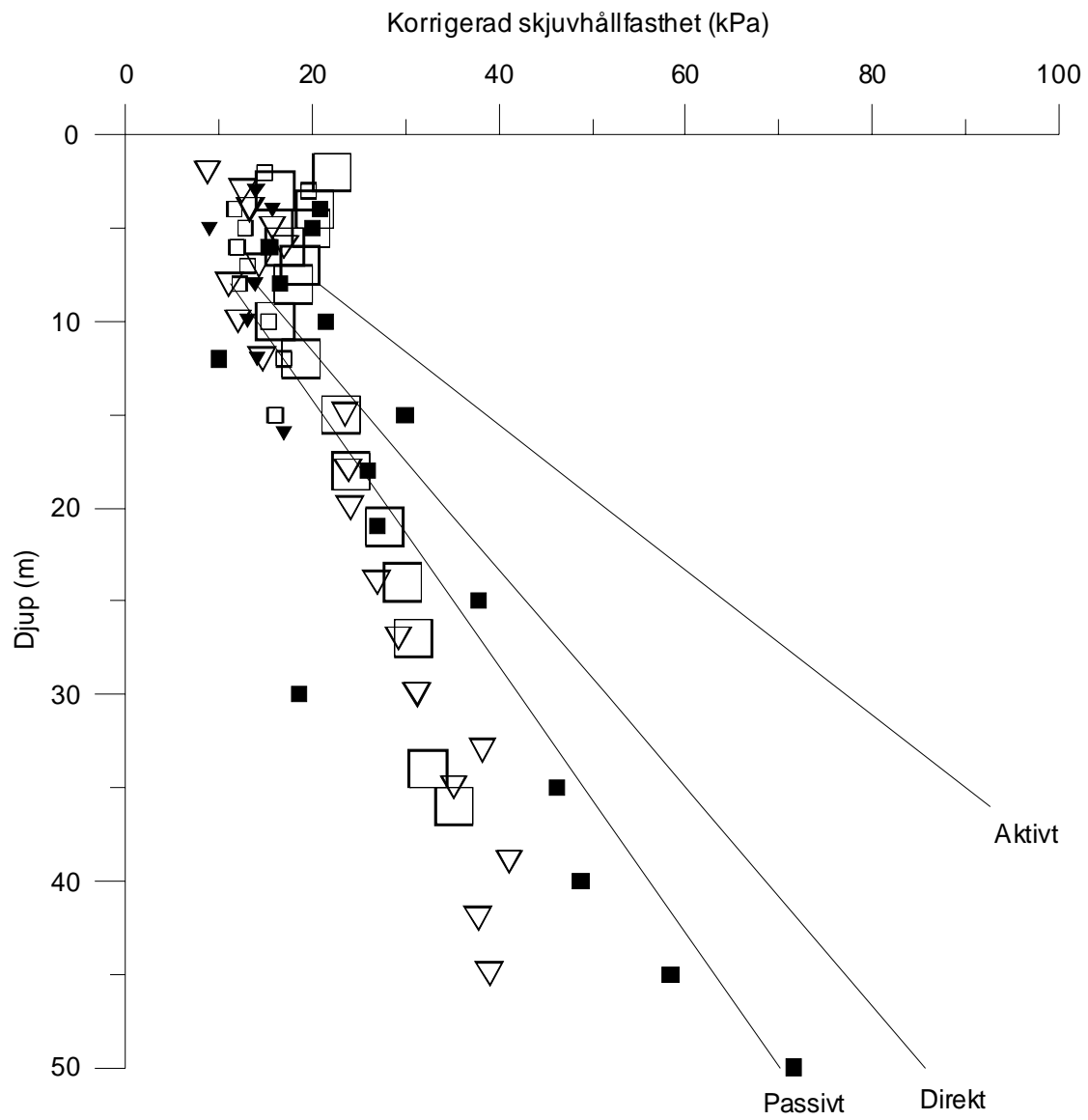
Sammanställning av korrigerad skjuvhållfasthet för fallkon jmf empiri

Datum: 2005-11-16

Projekt: Analys / Examensarbete

Borrhål: bh-100120, 10286, 20322, 50001, 66101

Skapad av: Jani o Daniel



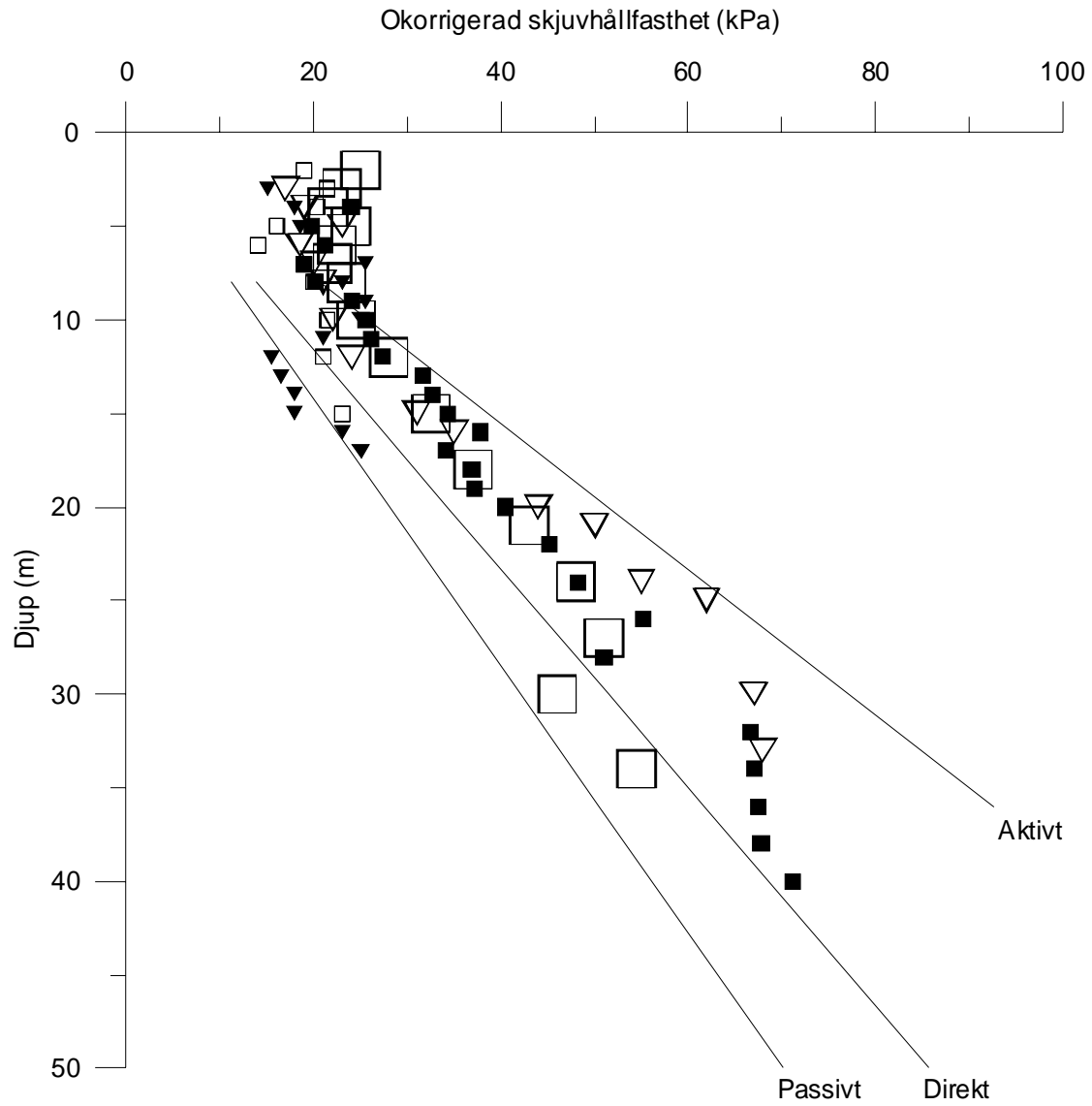
Sammanställning av okorrigerad skjuvhållfasthet för ving jmf empiri

Datum: 2005-11-16

Projekt: Analys / Examensarbete

Borrhål: bh-100120, 10286, 20322, 50001, 66101

Skapad av: Jani o Daniel



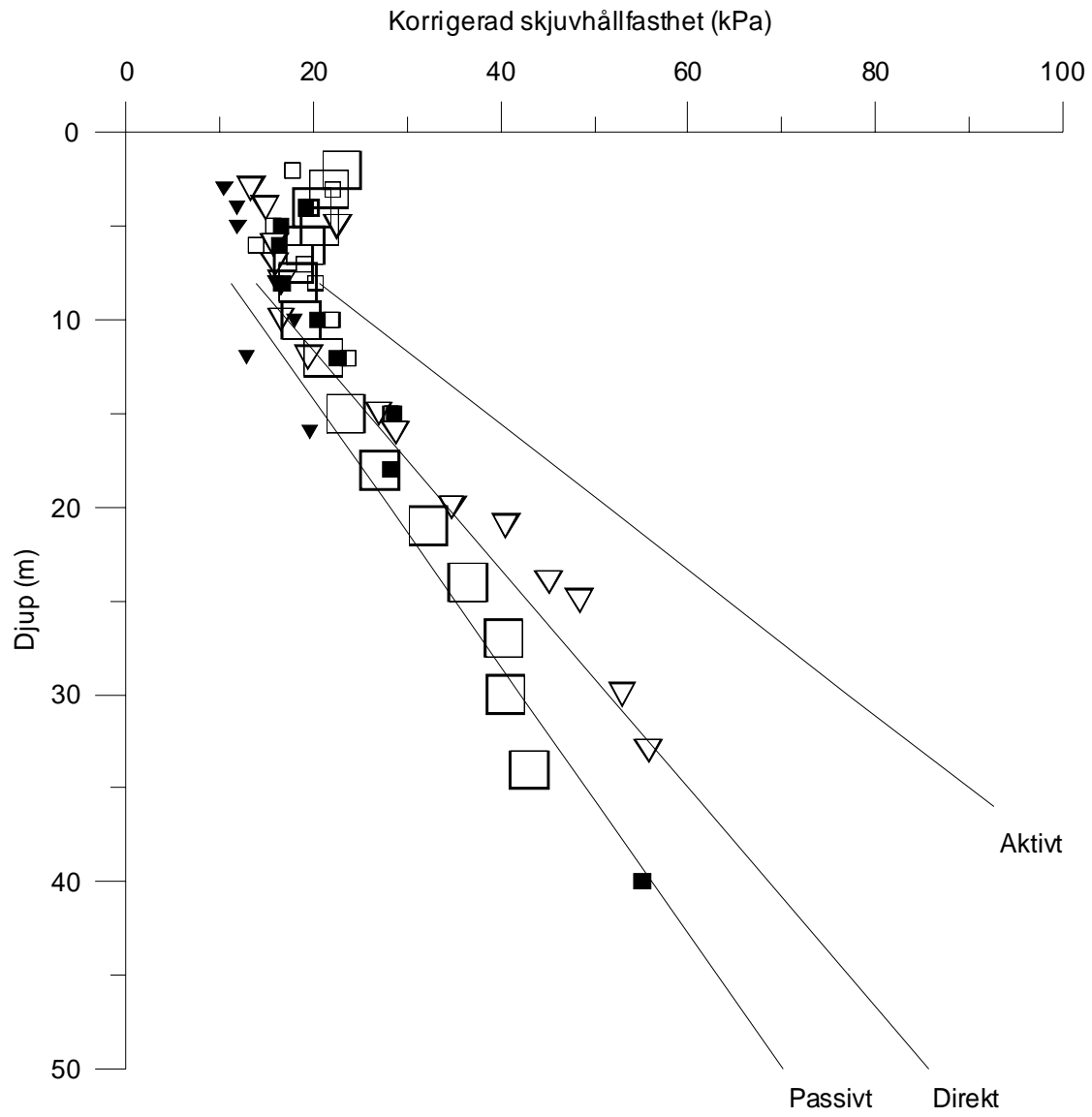
Sammanställning av korrigerad skjuvhållfasthet för ving jmf empiri

Datum: 2005-11-16

Projekt: Analys / Examensarbete

Borrhål: bh-100120, 10286, 20322, 50001, 66101

Skapad av: Jani o Daniel



**Sammanställning av odränerad skjuvhållfasthet
för aktiva och passiva triax försök jmf empiri**

Datum: 2005-11-16

Projekt: Analys / Examensarbete

Borrhål: bh-100120, 10286, 20322, 50001, 66101

Skapad av: Jani o Daniel

