

UTVÄRDERING AV HÅLLFASTHETS- OCH DEFORMATIONSEGENSKAPER HOS SKÅNSK LERMORÄN

Skanska Sverige AB
Svenska Byggbranschens Utvecklingsfond

Malmö 2012

Skanska Sverige AB

Teknik

Post 205 33 MALMÖ

Besök Drottningtorget

Telefon 010-44 80 000

Fax 040-23 70 47

Titel

**Utvärdering av hållfasthets- och deformationsegenskaper hos skånsk
lermorän**

Förord

Denna rapport är ett resultat av en undersökning av skånsk lermorän, dess hållfasthets- och deformationsegenskaper utförd med medel erhållna av SBUF, Svenska Byggbranschens Utvecklingsfond och Skanska Sverige AB. Arbetet med rapporten är utförd under augusti 2007 till februari 2012.

Vid arbetets start var metodiken för hur arbetet skulle utföras klart enligt projektbeskrivning men förutsättningarna har ändrats något under arbetets gång. Under projektets gång har Trafikverket utkommit med TK Geo 11, Trafikverkets krav för geokonstruktioner där det beskrivs hur man ska utvärdera lermoränens skjuvhållfasthet från CPT-sondering. Detta har gjort att mer av projektet har riktats på att hitta ett empiriskt samband mellan utvärderade skjuvhållfastheter och deformationsegenskaper hos lermorän.

Referensgruppen har bestått av:

Eva Petersson
Björn Åstedt

Jag skulle också vilja rikta ett tack till följande personer:

Henrik Olsson
Anders Kullingsjö
Sven Liedberg
Lars Evert Jönsson

Tack också till hela organisationen SBUF och Skanska Sverige AB för stöd, råd och hjälp i form av praktiska, teoretiska och ekonomiska hjälpmedel

Malmö i februari 2012

Magnus Palm

Sammanfattning

Syftet med detta arbete har varit att försöka hitta ett empiriskt samband mellan resultat från CPT-sondering och deformationsegenskaper hos skånsk lermorän.

För att hitta ett samband har studier av litteratur i form av standarder, examensarbete och avhandlingar kombinerats med fält- och laboratorieundersökningar. Resultaten från fält och laboratorie har sedan jämförts med tidigare framtagna empiriska samband för framräkning av den odränerade skjuvhållfastheten. Sådana samband har tagits fram av bl.a. Jacobsen (1970) och Hartlén (1974).

För att kunna utföra jämförelser med CPT-sonderingar har fältlokaler valts där man tidigare har utfört CPT-sonderingar. Detta för att kunna erhålla så mycket underlagsmaterial och information om valda jordlager som möjligt. De utvalda fältlokalerna innehåller dessutom både den baltiska lermoränen och den s.k. nordostmoränen som är en grövre lermorän. Vidare har ett önskemål med avseende på fältlokalerna varit att det ska vara möjligt att träffa på ytligt liggande lermorän samt att de ska innehålla så lite intermoräna sediment som möjligt. De här kraven gäller för att förenkla den ostörda provtagningen som utförts med en kolvprovtagare av typ St II. Fältlokalerna som har använts inom detta projekt är inom området Toftanäs i Malmö samt Tornhill i Lund.

Fältundersökningar som har utförts inom ramen för detta projekt är störd och ostörd provtagning, vingförsök och CPT-sondering. Undersökningar i laboratorie som har utförts är bestämning av vattenkvot, lerhalt, konflytgräns, triaxialförsök, CRS-försök samt skjuvförsök.

Erhållna fältresultat inom projektet varierar kraftigt. Laboratieförsöken var delvis svåra att genomföra pga. skikt med friktionsjord i lermoränen vilket har gjort det svårt att få helt rättvisande resultat. Vidare har utvärderingar av skjuvhållfastheten enligt tidigare avhandlingar ej gett tillfredsställande resultat vilket troligen kan förklaras med att enbart ett fåtal laboratieförsök har kunnat utföras inom ramen för detta projekt. Vidare erfordras provtagning av större jordvolymmer för att kunna utföra bra och representativa laboratieförsök. Sålunda rekommenderas ej att utföra provtagning med kolvprovtagare även om lerhalten är hög i lermoränen.

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

1. INLEDNING.....	1
1.1 Bakgrund.....	1
1.2 Syfte.....	1
1.3 Upplägg.....	2
2. ALLMÄNT OM CPT-SONDERING, UTRUSTNING SAMT UTVÄRDERING.....	3
2.1 Historik.....	3
2.2 CPT-spetsen.....	3
2.3 Övrig utrustning.....	5
2.4 Utvärdering av CPT-sondering.....	5
2.4.1 Allmänt.....	5
2.4.2 Odränerad skjuvhållfasthet.....	6
2.4.3 Empiriska samband för bestämning av hållfasthetsegenskaper.....	7
2.4.4 Deformationsegenskaper.....	8
2.4.5 Portal.....	10
3. BESKRIVNING AV MÄTTEKNIKER.....	11
3.1 Undersökningsmetoder i fält.....	11
3.1.1 Allmänt.....	11
3.1.2 Skruvprovtagning.....	11
3.1.3 CPT-sondering.....	11
3.1.4 Vingförsök.....	11
3.1.5 Kolvprovtagning.....	11
3.2 Undersökningsmetoder i laboratorium.....	11
4. VAL AV FÄLTLOKAL.....	12
4.1 Allmänt.....	12
4.2 Toftanäs.....	12
4.2.1 Allmänt.....	12
4.2.2 Geologisk förväntningsmodell.....	13
4.2.3 Geohydrologisk förväntningsmodell.....	14
4.3 Tornhill.....	14
4.3.1 Allmänt.....	14
4.3.2 Geologisk förväntningsmodell.....	15
4.3.3 Geohydrologisk förväntningsmodell.....	16
5. BESKRIVNING AV MÄTFÖRFARANDET.....	17
5.1 Fältundersökningar.....	17
5.1.1 Skruvprovtagning.....	17
5.1.2 CPT-sondering.....	17
5.1.3 Vingförsök.....	17
5.1.4 Kolvprovtagning.....	17

5.2 Laboratorieundersökningar	17
6. RESULTAT	18
6.1 Toftanäs.....	18
6.1.1 Skruvprovtagning.....	18
6.1.2 CPT-sondering	18
6.1.3 Vingförsök	23
6.1.4 Kolvprovtagning	24
6.1.5 Skjuvhållfasthet enligt Hartlén.....	24
6.1.6 Skjuvhållfasthet enligt Jacobsen	24
6.1.7 Resultat från laboratorieförsök	25
6.2 Tornhill.....	26
6.2.1 Skruvprovtagning.....	26
6.2.2 CPT-sondering	27
6.2.3 Vingförsök	31
6.2.4 Kolvprovtagning	32
6.2.5 Skjuvhållfasthet enligt Hartlén.....	32
6.2.6 Skjuvhållfasthet enligt Jacobsen	33
6.2.7 Resultat från laboratorieförsök.....	34
7. UTVÄRDERING AV RESULTAT.....	36
7.1 Toftanäs.....	36
7.2 Tornhill.....	41
8. DISKUSSION OCH SLUTSATSER	45
9. REFERENSER	47

1. INLEDNING

1.1 Bakgrund

Vid utvärdering av jordlagars hållfasthets- och deformationsegenskaper används förutom i fält direktmätande metoder, s.k. in situ metoder, även datorprogram såsom t.ex. Conrad[®] som hjälpmedel för utvärdering av CPT-sondering. Vidare finns det dokumenterat i litteratur såsom t.ex. Trafikverkets skrift ”TK Geo 11” publikation 2011:047 och SGIs publikation ”Plattgrundläggning”, samband mellan fältresultat och jordlagars hållfasthets- och deformationsegenskaper. Liknande samband finns även utvärderade i Danmark avseende danska studier.

De dokumenterade värden av jordlagrens tekniska egenskaper är i Sverige i huvudsak utarbetade för antingen friktionsjord såsom t.ex. grus och sand eller ren kohesionsjord som lera. I Skåne består en hel del av jordlagren av lermorän, en jordart med både odränerade och dränerade hållfasthetsegenskaper. Under arbetets gång har dock TK Geo 11 utkommit så att empiriska samband mellan fältundersökningar och odränerad skjuvhållfasthet har inkluderats. Däremot finns det idag inga verifierade samband mellan fältundersökningar såsom CPT-sondering och deformationsegenskaper i kohesionsjord då sonderingen sker till stor del under odränerade förhållanden. Istället bör man utföra provtagning och ödometerförsök för att bestämma deformationsegenskaperna. Man kan dock i överkonsoliderad kohesionsjord utvärdera moduler för sättningsberäkningar med utgångspunkt från den utvärderade odränerade skjuvhållfastheten (Larsson 1992 uppdaterad 2007) vilket tillämpas på lermorän. Vid utvärdering av lermorän idag används i praktiken tumregler och erfarenhetssamband mellan uppmätta värden i fält på utvärderade odränerade skjuvhållfastheter och lermoränens deformationsegenskaper.

1.2 Syfte

Syftet med arbetet är att undersöka det empiriska sambandet mellan utvärderad odränerad skjuvhållfasthet från CPT-sonderingar i lermorän och med deformationsegenskaper hos densamma. Sambandet är ej entydigt då det finns olika typer av lermorän såsom den baltiska lermoränen och nordostmoränen samt att det förekommer intermoräna sediment i lermoränen. Om jordlagrens deformationsegenskaper kan utvärderas med en större noggrannhet och med mindre osäkerhet kan detta vara ett steg mot att de dimensionerande tekniska egenskaperna på jordlagren kan ökas.

Genom att bättre kunna bestämma jordlagrens tekniska egenskaper kan detta på sikt minska mängden material i byggprocessen vilket leder till mindre byggkostnader, mindre användning av naturresurser och mindre utsläpp i form av föroreningar vid t.ex. betongtillverkning.

För att kunna utföra en utvärdering har följande metoder valts att användas i fält: skruvprovtagning, CPT-sondering, kolvprovtagning och vingförsök. I laboratoriet har analyser avseende vattenkvot, lerhalt, jordartsbestämning, konflytgräns, deformationsegenskaper och skjuvmodul utförts.

1.3 Upplägg

Rapporten består av sju huvuddelar. I den första delen beskrivs det kortfattat och allmänt om CPT-sondering, dess utförande, utrustning och hur utvärdering ska utföras.

Del två innehåller en redovisning av de olika metoderna som har valts att utföras i fält och på laboratorium.

Del tre utgörs av en beskrivning av de olika fältlokaler som har valts att användas i detta projekt. I denna del beskrivs fältlokalernas geologiska och geohydrologiska förhållanden med utgångspunkt från tidigare utförda undersökningar.

Rapportens fjärde del beskriver mätförfarandet i fält och på laboratorium.

Del fem redovisar resultat i text, tabeller och diagram med korta kommentarer och förklaringar.

I den sjätte delen utvärderas resultaten som erhållits i fält och på laboratorium. Resultaten jämförs dels med hänsyn till olika egenskaper och dels med tidigare fastställda samband som utvärderats inom olika projekt, examensarbeten och doktorsavhandlingar.

I den sjunde och sista delen formuleras slutsatser. Vidare presenteras förslag på framtida studier omfattande såsom t.ex. fält- och laboratorieförsök.

2. ALLMÄNT OM CPT-SONDERING, UTRUSTNING SAMT UTVÄRDERING

2.1 Historik

Redan kring 1935 började man använda sig av mekanisk spetstrycksondering vilket dagens CPT-sondering är en vidareutveckling av. På 50-talet började man använda elektrisk mätning samt mäta fler parametrar såsom t.ex. mantelfriktion och spetslutning.

1975 började man registrera portryck vilket ledde till en enklare tolkning av mindre skikt/lager av sand och/eller silt i lera eller lerskikt i friktionsjord. Denna metod för sondering standardiserades i Sverige 1984.

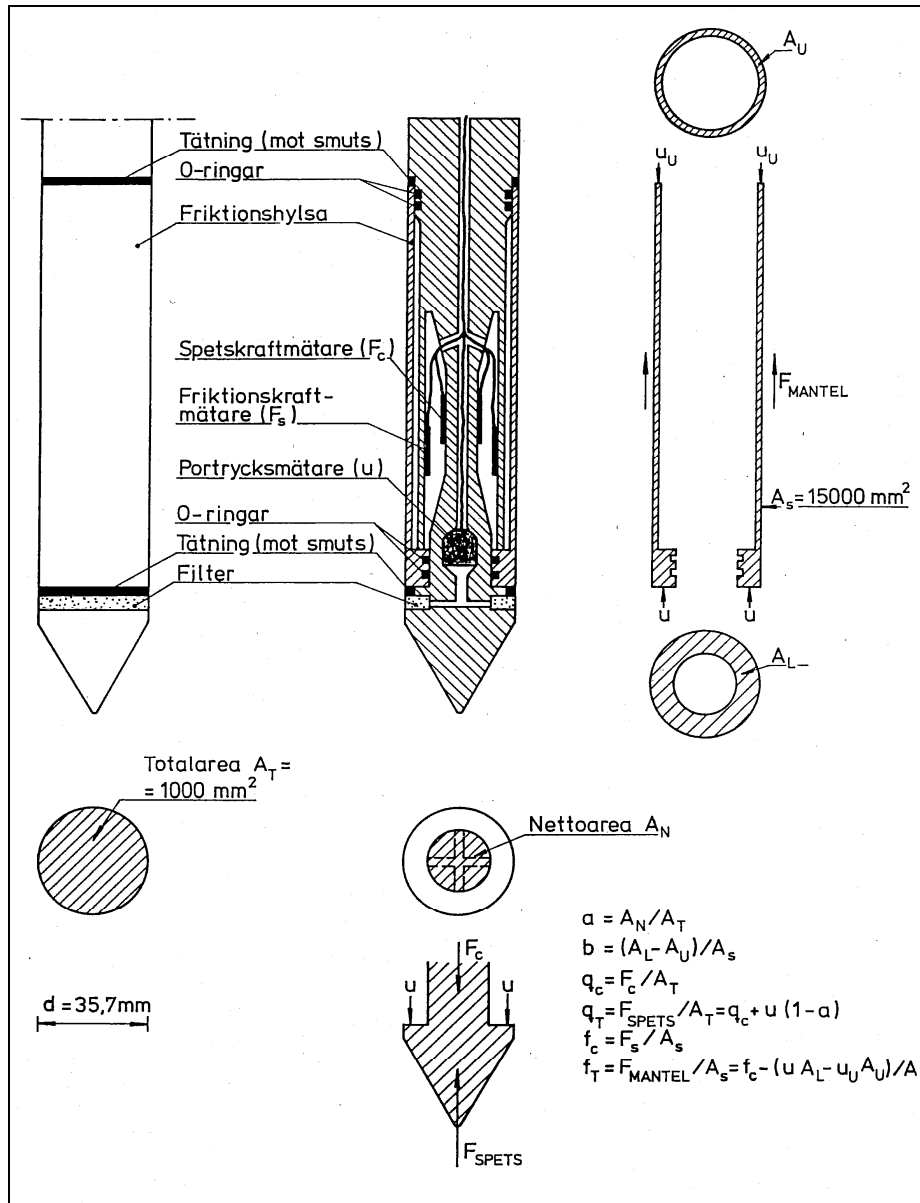
1992 utarbetade Svenska Geotekniska Föreningens (SGF) Fältkommitté en rekommendation till standard för CPT-sondering i Sverige: "SGF Rapport 1:93, Rekommenderad standard för CPT-Sondering", vilken ligger till grund för hur CPT-sondering ska utföras. Vidare finns en internationell standard som i Sverige betecknas SS EN ISO 22476-1. På senare år har även andra parametrar såsom t.ex. resistivitet utvecklats som en parameter att mäta i samband med CPT-sondering. Att mäta denna parameter ökar möjligheten att tolka skikt/lager i jordlagerföljden. Vidare kan resistiviteten användas till att urskilja ämnen såsom t.ex. saltföreningar då denna ej har samma ledningsförmåga som jordlagren. På så sätt kan man använda spetsen som ett tolkningsredskap för t.ex. saltspridning i samband med halkbekämpning längs det svenska vägnätet.

2.2 CPT-spetsen

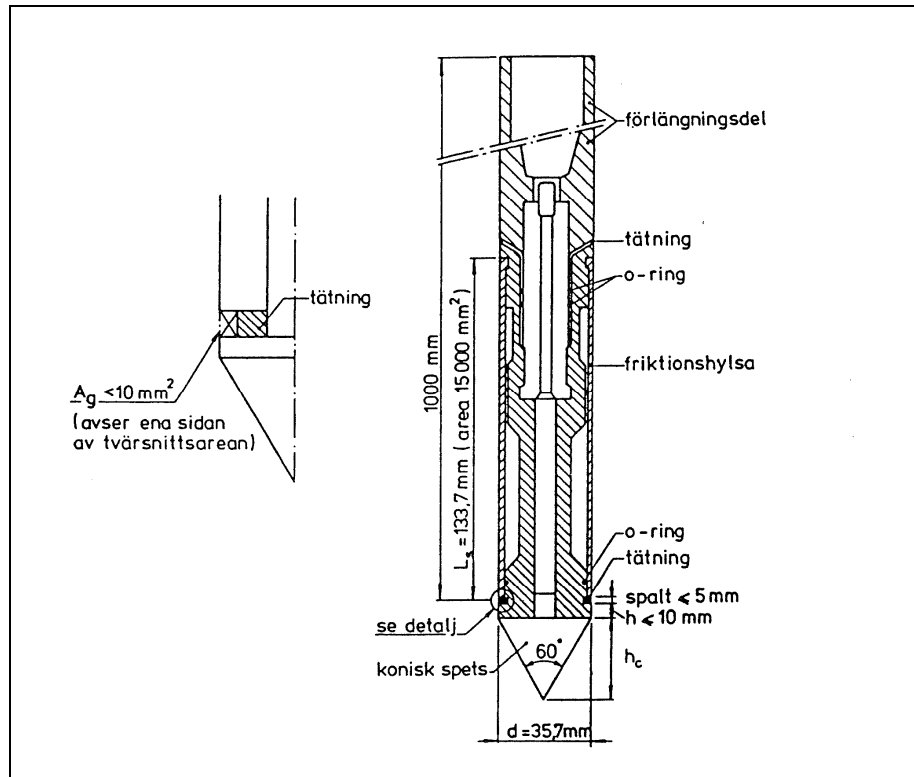
Det finns en rekommenderad standard avseende hur en CPT-sond ska vara utformad i form av längd, diameter, filter, tätning mm. Bl.a. ska den totala tvärsnittsarean på CPT-sonden vara 1000 mm². Nedan i figur 2:1 och figur 2:2 redovisas hur en CPT-spets ska vara konstruerad. Vidare ska även CPT-sonden kalibreras med jämna mellanrum i enlighet med SGFs rapport 1:93.

Utvärdering av hållfasthets och deformationsegenskaper hos skånsk lermorän

Allmänt om CPT-sondering, utrustning och utvärdering



Figur 2:1. Schematisk bild över konstruktion av CPT-sond (Larsson 1992).



Figur 2:2. Specifikation av mått enligt SGFs rekommendationer (Larsson 1992).

2.3 Övrig utrustning

Det finns ett flertal kriterier för hur CPT-sondering ska utföras med avseende på bl.a. sonderingsstänger, neddrivningsanordning och mätnoggrannhet. Detta finns beskrivet i skriften SGI, Information 15, CPT-sondering, utrustning, utförande, utvärdering (Larsson, 1992, uppdaterad 2007).

2.4 Utvärdering av CPT-sondering

2.4.1 Allmänt

I skriften SGI Information 15, CPT-sondering, utrustning, utförande, utvärdering (Larsson 1992, reviderad 2007) redovisas hur man med hjälp av uppmätta parametrar kan utvärdera olika egenskaper såsom t.ex. lagringstäthet, överkonsolideringsgrad, odränerad skjuvhållfasthet, förkonsolideringstryck, friktionsvinkel och deformationsegenskaper för vissa typer av jordmaterial. Nedan anges hur utvärdering av odränerad skjuvhållfasthet och deformationsegenskaper utförs från resultat av CPT-sondering och utifrån utvärderad skjuvhållfasthet. Vidare ges empiriska samband som framtagits för att utvärdera och beräkna deformationsegenskaper hos lermorän.

Utvärdering av hållfasthets och deformationsegenskaper hos skånsk lermorän

Allmänt om CPT-sondering, utrustning och utvärdering

2.4.2 Odränerad skjuvhållfasthet

Den odränerade skjuvhållfastheten utvärderas i en lera som:

$$c_u = \frac{q_T - \sigma_{vo}}{13,4 + 6,65 \cdot w_L} \cdot \left(\frac{OCR}{1,3} \right)^{-0,2} \quad (\text{ekv. 2:1})$$

där:

c_u = utvärderad odränerad skjuvhållfasthet (kPa)

q_T = spetstryck uppmätt vid samtidigt portryck (kPa)

σ_{vo} = den totala vertikalspänningen (kPa)

w_L = konflytgräns

OCR = överkonsolideringsgrad. Då OCR är $<1,3$ sätts OCR till 1,3.

OCR definieras som:

$$OCR = \frac{\sigma'_{vc}}{\sigma'_{v0}} \quad (\text{ekv. 2:2})$$

där:

σ'_{vc} = vertikalt förkonsolideringstryck (kPa)

σ'_{v0} = den effektiva vertikalspänningen (kPa)

Förkonsolideringstrycket kan uppskattas ur uttrycket:

$$\sigma'_c \approx \frac{q_T - \sigma_{vo}}{3} \quad (\text{ekv. 2:3})$$

där:

σ'_c = vertikalt förkonsolideringstryck (kPa)

q_T = spetstryck uppmätt vid samtidigt portryck (kPa)

σ_{vo} = den totala vertikalspänningen (kPa)

Om konflytgränsen inte är känd kan följande förenklade uttryck för utvärdering av odränerad skjuvhållfasthet i lermorän användas:

$$c_u = \frac{q_T - \sigma_{vo}}{11} \quad (\text{ekv. 2:4})$$

där:

c_u = utvärderad odränerad skjuvhållfasthet (kPa)

q_T = spetstryck uppmätt vid samtidigt portryck (kPa)

σ_{vo} = den totala vertikalspänningen (kPa)

I Danmark har vanligen en konfaktor kring 10-10,5 använts vid olika samband. I Sverige har man tidigare varit mer försiktig och aktuell konfaktor har legat på värden på upp till 12 men i TK Geo (2011), i den nya versionen av datorprogrammet CONRAD®, version 3, samt enligt rekommendation av Larsson (2000) ska en konfaktor på 11 användas på lermoräner i Sverige.

I danska lermoräner har Steinfeldt och Foged (1992) ett annat sätt att utvärdera skjuvhållfastheten. Även i denna formel kan man indirekt ta hjälp av resultat från CPT-sondering via överkonsolideringsgraden. Skjuvhållfastheten utvärderas empiriskt ur formeln:

$$c_u = 0,4 \times \sigma'_{v0} \times OCR^{0,85} \quad (\text{ekv. 2:5})$$

där:

c_u = utvärderad odränerad skjuvhållfasthet (kPa)

σ'_{v0} = den effektiva vertikalspänningen (kPa)

OCR = överkonsolideringsgrad

På samma sätt formuleras ovan nämnda ekvation i TK Geo (2011):

$$c_u = \frac{a \cdot \sigma'_c}{OCR^{1-b}} \quad (\text{ekv. 2:6})$$

där:

c_u = utvärderad odränerad skjuvhållfasthet (kPa)

a = enhetslös faktor som enligt TK Geo (2011) ansätts till 0,4

σ'_c = förkonsolideringstryck (kPa)

OCR = överkonsolideringsgrad

b = enhetslös faktor som enligt TK Geo (2011) ansätts till 0,85

2.4.3 Empiriska samband för bestämning av hållfasthetsegenskaper

Nedan anges samband som jämförelser mot CPT-sondering kommer att göras.

Hartlén (1974) utarbetade följande samband:

$$c_u = 18,0 \cdot w_0^{-2,05} \cdot e_0^{-1,88} \cdot l_c^{2,66} \quad \text{om } c_u \leq 200 \text{ kPa} \quad (\text{ekv 2:7})$$

där:

c_u = utvärderad odränerad skjuvhållfasthet (kPa)

Utvärdering av hållfasthets och deformationsegenskaper hos skånsk lermorän

Allmänt om CPT-sondering, utrustning och utvärdering

w_0 = vattenkvot (%)

e_0 = portal

l_c = lerhalt (%)

Ovan nämnda samband gäller inom intervallen:

w_0 = 7-20 %

e_0 = 0,29-0,82

l_c = 17-32 %

Hartléns empiri grundar sig på vingförsök, enaxliga och treaxliga tryckförsök, direkta skjuvförsök, plattbelastning, ringskjuvförsök och ödometerförsök.

Jacobsen (1970) utvärderade följande empiriska samband som främst avser grövre lermoräner:

$$c_u = 10 \cdot e^{(0,77 \cdot e_k^{-1,2})} \text{ (kPa)} \quad (\text{ekv 2:8})$$

där:

c_u = utvärderad odränerad skjuvhållfasthet (kPa)

e_k = portal (beteckning enligt Jacobsen 1970)

2.4.4 Deformationsegenskaper

I skriften SGI Information 15 (1992, reviderad 2007) skrivs att deformationsegenskaper inte bör utvärderas från CPT-sondering men att moduler för sättningsberäkningar i överkonsoliderad kohesionsjord kan uppskattas med empiriska samband med ledning av den odränerade skjuvhållfastheten. Den utvärderade odränerade skjuvhållfastheten från CPT-sondering kan således användas i detta syfte då lermorän vanligtvis är överkonsoliderad.

Generellt används följande samband som en uppskattning och bedömning av modulen:

$$M_{0k} = c_u \cdot X \quad (\text{ekv. 2:9})$$

där:

M_{0k} = utvärderad modul (kPa)

c_u = utvärderad odränerad skjuvhållfasthet (kPa)

X = enhetslös faktor, (250-500)

Utvärdering av hållfasthets och deformationsegenskaper hos skånsk lermorän

Allmänt om CPT-sondering, utrustning och utvärdering

Vid behov kan elasticitetsmodulen beräknas enligt följande samband:

$$E_k = \frac{(1 + \nu)(1 - 2\nu)}{1 - \nu} \cdot M_{0k} \quad (\text{ekv. 2:10})$$

där:

E_k = Elasticitetsmodul (kPa)

M_{0k} = utvärderad modul (kPa)

ν = jordlagrets tvärkontraktionstal

I samband med projektering av Citytunneln togs ett dokument fram som heter "Projekteringsunderlag Geoteknik, Principer för utvärdering och beräkningar Entreprenad E301, E302" som innehåller förslag på hur modulen ska utvärderas. Modulen är utvärderad från triaxförsök. Inom ramen för det projektet kom man fram till följande samband:

$$M_{0k,1} = 0,2 \cdot c_u \text{ (MPa) om } \sigma'_v < \sigma'_c \text{ och } c_{uk} < 150 \text{ kPa} \quad (\text{ekv. 2:11})$$

$$M_{0k,1} = 0,35 \cdot c_u \text{ (MPa) om } \sigma'_v < \sigma'_c \text{ och } c_{uk} > 150 \text{ kPa} \quad (\text{ekv. 2:12})$$

$$M_{0k,2} = 0,18 \cdot c_u \text{ (MPa) om } \sigma'_v > \sigma'_c \quad (\text{ekv. 2:13})$$

där:

$M_{0k,n}$ = utvärderad modul (MPa)

c_u = utvärderad odränerad skjuvhållfasthet (kPa)

σ'_v = den effektiva vertikalspänningen (kPa)

σ'_c = förkonsolideringstryck (kPa)

Vidare gäller följande samband:

$$M_{0k} = \frac{2G_{0k} \cdot (1 - \nu)}{1 - 2\nu} \quad (\text{ekv. 2:14})$$

där:

G_{0k} = Skjuvmodul (kPa)

M_{0k} = utvärderad modul (kPa)

ν = jordlagrets tvärkontraktionstal

Utvärdering av hållfasthets och deformationsegenskaper hos skånsk lermorän

Allmänt om CPT-sondering, utrustning och utvärdering

2.4.5 Portal

Portalet har beräknats enligt följande:

$$e = \frac{(\rho_s - \rho)}{(\rho_s - 1)} \quad (\text{ekv. 2:15})$$

där:

e = portal

ρ_s = kompaktdensitet (kg/m^3)

ρ = skrymdensitet (kg/m^3)

Formeln gäller vid 100% vattenmättnad.

Portalet kan vid 100% vattenmättnad även beräknas som:

$$e = w \cdot G_s \quad (\text{ekv. 2:16})$$

där:

e = portal

w = vattenkvot (%)

$$G_s = \frac{\rho_s}{\rho_w} \quad (\text{ekv. 2:17})$$

där:

ρ_s = kompaktdensitet (kg/m^3)

ρ_w = vattnets densitet (kg/m^3)

3. BESKRIVNING AV MÄTTEKNIKER

3.1 Undersökningsmetoder i fält

3.1.1 Allmänt

Fältundersökningarna har utförts enligt gällande standard i Sverige med nedan angivna förtydliganden och förändringar.

3.1.2 Skruvprovtagning

Skruvprovtagning har utförts i enlighet med SGF Rapport 1:96 med skruv $\phi=70$ mm och med en längd på 1 m. Vid skruvprovtagningen användes borrhänger med $\phi=32$ mm.

3.1.3 CPT-sondering

CPT-sondering har utförts i enlighet med SGF Rapport 1:93 och 1:96. CPT-sonderingen utfördes i enlighet med sonderingsklass 2. Registrering av spetstryck, mantelfriktion och porvattentryck har utförts. Vid sonderingen användes borrhänger med $\phi=32$ mm.

3.1.4 Vingförsök

Vingförsöken har utförts med dansk vinge DGI V5, 50×100 mm i enlighet med Dansk Geoteknisk Forenings Feltkomité, Referenceblad nr. 1 - Vingeforsøg. Vid de utförda vingförsöken användes borrhänger med $\phi=22$ mm. Utvärdering har utförts i enlighet med ovan nämnda rapport enligt följande formel:

$$c_u = \frac{P \times g \times a}{M} \quad (\text{ekv. 3:1})$$

där:

c_u = utvärderad odränerad skjuvhållfasthet (Pa)

$P \times g \times a$ = maximalt uppmätt moment i fält (Nm)

M = statiskt moment vid brottytan (m^3) För aktuell vinge är $M = 0,4096 \times 10^{-3}$.

3.1.5 Kolvprovtagning

Kolvprovtagning utfördes i enlighet med SGF Rapport 1:96 med kolv av typ St II. Vid kolvprovtagningen användes stänger med $\phi=32$ mm.

3.2 Undersökningsmetoder i laboratorium

Undersökningarna i laboratoriet har utförts enligt gällande standard i Sverige och följer SGFs laboratorieanvisningar. Undersökningarna har omfattat bestämning av vattenkvot, lerhalt, konflytgräns, triaxialförsök, CRS-försök och skjuvförsök.

Undersökningarna har utförts av Chalmers Tekniska Högskola i Göteborg.

Området har troligen nyttjats som åkermark innan byggnation av industrier och bostäder på angränsande fastigheter påbörjades.

Markytan är relativt plan med endast ett svagt fall på markytan från norr mot de södra delarna av området. Då området är delvis utfyllt har större nivåskillnader troligen avjämnats i samband med denna utfyllning.

4.2.2 Geologisk förväntningsmodell

Undersökningar under 2007 (Skanska Sverige AB, Teknik och Projekteringsledning) har utförts inom området och kompletterande undersökningar inom ramarna för detta projekt har utförts inom områdets södra delar där jordlagren under mulljord i huvudsak utgörs av friktionsjord som underlagras av lermorän.



Figur 4:2. Närbild över aktuellt område inom Toftanäs (www.eniro.se) där kompletterande undersökningar utförts. Området är markerat med en svart rektangel.



Figur 4:4. Närbild över aktuellt område benämnt Tornhill (www.eniro.se). Området är markerat med en svart rektangel.

Markytan inom området är relativt plan och marken har tidigare använts som fruktodling men har åtminstone sedan 1993 använts som ett provområde för geotekniska och geofysiska undersökningar. Bland företag som har utfört försök här märks bl.a. Skanska, Scandiaconsult och Statens Geotekniska Institut, SGI. Vidare har LTH, Lunds Tekniska Högskola, utfört ett flertal försök och undersökningar inom det aktuella området. Inom området har bl.a. skruvprovtagning, CPT-sondering, resistivitetmätningar, pressometer och plattbelastningsförsök utförts.

4.3.2 Geologisk förväntningsmodell

Tidigare utförda undersökningar inom området påvisar att jordlagren utgörs av en baltisk lermorän med en mäktighet på ca 3 m. Från ca 6 m djup utgörs jordlagren av en nordostmorän. Nordostmoränen har en mäktighet av 8-14 m och underlagras av lerskiffer. Mellan nivåerna 3-6 m under markytan utgörs jordlagren av en blandning av de två ovan nämnda lermoränerna.

Enligt Dueck (1994) har det framkommit att de båda lermoränerna är heterogena och att det kan förekomma en del tunna sand- och grusskikt. Ställvis kan det förekomma skikt/lager med lera som är utblandad med sand, grus eller silt.

Utvärdering av hållfasthets och deformationsegenskaper hos skånsk lermorän

Val av fältlokal

4.3.3 Geohydrologisk förväntningsmodell

Enligt undersökningar utförda av Larsson, (2001) varierar grundvattennivån över året. I samband med tidigare utförda fältundersökningar har grundvattnet påträffats från markytan ned till ca 2 m under markytan. Årstidsvariationerna kan sålunda uppgå till minst 2 m.

5. BESKRIVNING AV MÄTFÖRFARANDET

5.1 Fältundersökningar

5.1.1 Skruvprovtagning

Inom de aktuella områdena har skruvprovtagning utförts i vardera 2 punkter per område. Provtagning utfördes kontinuerligt längs jordprofilen på representativa prover för att användas vid laboratorieförsök. Skruvprovtagningen utfördes ned till ca 5 m under markytan.

5.1.2 CPT-sondering

CPT-sondering utfördes i samtliga undersökningspunkter till mellan 3,8 och 7,8 m under markytan.

5.1.3 Vingförsök

Efter att skruvprovtagning och CPT-sondering hade utförts analyserades resultaten och nivåer för vingförsöken bestämdes. Ett försök var halvmetert försökte utföras som grundregel men då det ställvis förekommer lager/skikt med intermoräna sediment kunde detta ej utföras fullt ut.

5.1.4 Kolvprovtagning

Efter att skruvprovtagning och CPT-sondering hade utförts analyserades resultaten och nivåer för kolvprovtagning bestämdes. Totalt utfördes provtagning på 4 nivåer på Toftanäs och 2 nivåer i Tornhill.

5.2 Laboratorieundersökningar

Vattenkvot har bestämts på samtliga prover som togs upp vid skruvprovtagningen. På delar av de upptagna jordproverna bestämdes också konflytgräns.

I tabell 5.1 nedan anges hur många analyser av vardera laboratorieanalys som utförts.

Laboratorieanalys	Antal analyser
Vattenkvot	32
Lerhalt	4
Skrymdensitet	3
Konflytgräns	3
Triaxialförsök	1
CRS	5
Skjuvförsök	4

Tabell 5.1. Redovisning av antalet analyser som har utförts i laboratorium.

6. RESULTAT

6.1 Toftanäs

6.1.1 Skruvprovtagning

Skruvprovtagning har utförts inom aktuellt område i 2 punkter och nedan beskrivna jordlagerföljd påträffades.

Jordlagren inom aktuellt område utgörs under mulljord av friktionsjord som underlagras av lermorän.

Mulljorden innehåller ställvis växtdelar och har en mäktighet på ca 0,1 m.

Friktionsjorden har endast påträffats i en av de två punkterna (undersökningspunkt 17) och där utgörs den av siltig sand med en mäktighet på ca 0,5 m. Friktionsjorden har en lös lagringstäthet.

Lermoränen förekommer överst som en brun baltisk lermorän med en mäktighet på ca 2 m. Lermoränen har en uppmätt naturlig vattenkvot på 11-15% och ett utvärderat portal till 0,35-0,55. Lerhalten har utvärderats till 18-20%.

Därunder utgörs lermoränen av nordostmorän med en gråblå färg. Lermoränen har en uppmätt naturlig vattenkvot på 11-13%. Vidare har portalet utvärderats till 0,30-0,35, lerhalten till 18-20% och skrymdensiteten till 2,10-2,23 t/m³.

Den baltiska lermoränen och nordostmoränen förekommer ställvis som sandig lermorän. Vidare förekommer det intermoräna sediment i lermoränen i form av sand och lerlager.

Grundvattenytan har antagits förekomma 1,5 meter under markytan.

6.1.2 CPT-sondering

Kompletterande CPT-sondering har utförts inom aktuellt område i två punkter och skjuvhållfastheten har utvärderats med hjälp av ekvation 2:4. I de bägge punkterna har det tidigare utförts CPT-sondering och de är nedan benämnda försök 1 och försök 2. I tabell 6:1 och 6:2 nedan anges ett utdrag av de utvärderade skjuvhållfastheterna på angivna nivåer medan det i figur 6:1 och 6:2 redovisas uppritade kurvor på utvärderade skjuvhållfastheter från CPT-sonderingarna som en kontinuerlig utvärdering längs hela jordlagerprofilen. Värden inom parantes har bedömts som orimliga pga. t.ex. sandskikt som har ökat spetstrycket och sålunda ej går att klassa som en lermorän. Vidare redovisas modulen i enlighet med ekv. 2:11 och 2:12.

Utvärdering av hållfasthets och deformationsegenskaper hos skånsk lermorän

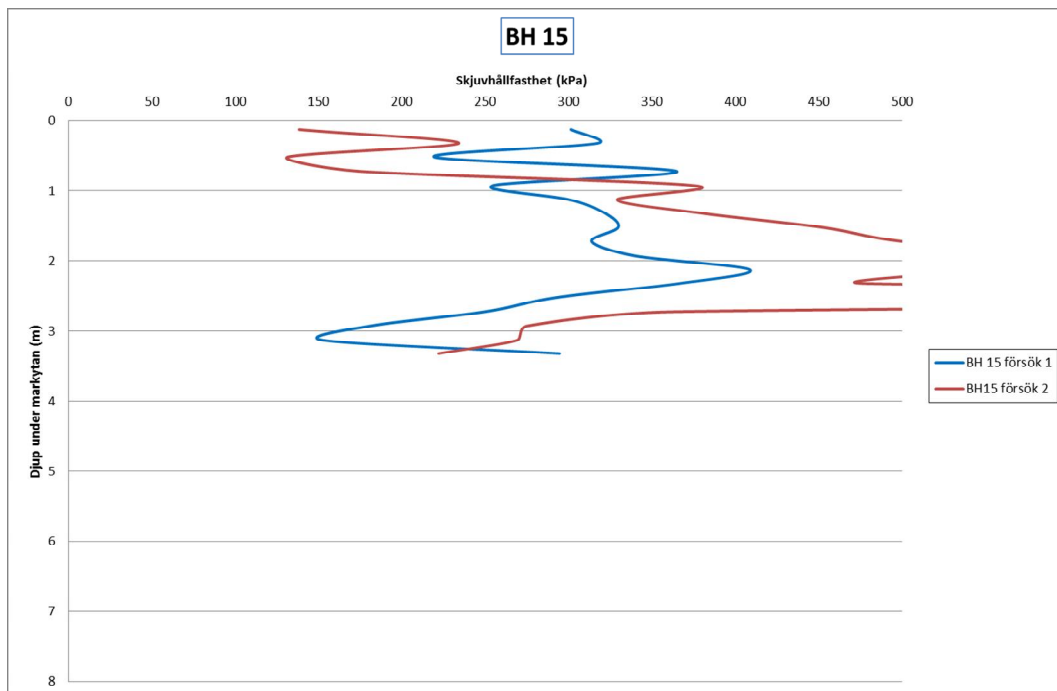
Resultat

Enligt tabeller och diagram nedan har lermoräna en hög till extremt hög skjuvhållfasthet med generellt högre värden på skjuvhållfastheten i den baltiska lermoräna.

Nivåerna som har valts ut för utvärdering av skjuvhållfasthet och modul har utgått ifrån nivåer där laboratorieförsök har utförts.

Nivå (m u my)	c_u , försök 1 (kPa)	c_u försök 2 (kPa)	M_0 försök 1 (MPa)	M_0 försök 2 (MPa)
0,35	307	208	107	73
0,65	306	164	107	57
1,2	314	354	110	124
1,5	328	452	115	158
2,0	367	(578)	128	(202)
2,3	372	480	130	168
2,5	384	(1264)	134	(442)
2,8	226	320	79	112
3,0	176	272	62	95
3,3	274	222	96	78
3,45	295	185	103	65

Tabell 6:1 Urval av utvärderade skjuvhållfastheter från CPT-sondering och moduler i enlighet med ekv. 2.11 och 2.12 i borrhål 15, Toftanäs.



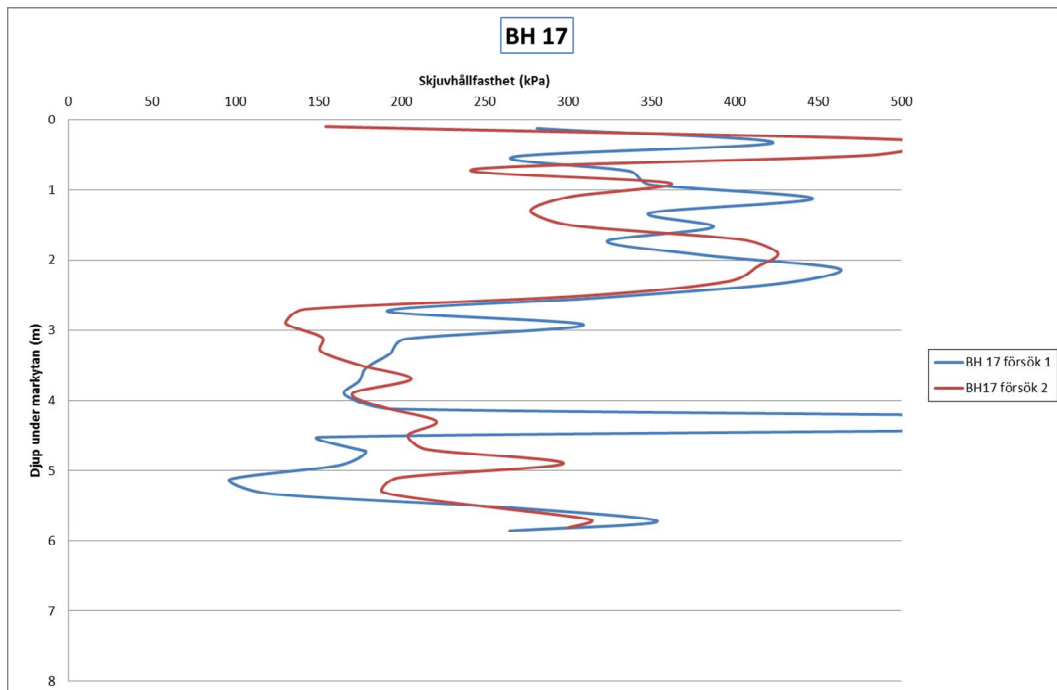
Figur 6:1 Utvärderade skjuvhållfastheter från CPT-sondering, borrhål 15, Toftanäs

Utvärdering av hållfasthets och deformationsegenskaper hos skånsk lermorän

Resultat

Nivå (m u my)	c_u försök 1 (kPa)	c_u försök 2 (kPa),	M_0 försök 1 (MPa)	M_0 försök 2 (MPa)
1,1	432	300	151	105
1,4	362	290	127	101
1,6	364	352	127	123
1,75	329	409	115	143
1,9	371	426	130	149
2,1	450	413	157	55
2,5	338	311	118	109
2,6	276	226	97	79
2,8	232	136	81	27
3,1	218	152	76	53
3,3	194	152	68	53
3,6	177	191	62	67
4,1	190	189	66	66
4,45	448	207	157	72
4,6	160	209	56	73
4,9	164	297	57	104
5,1	106	198	21	69
5,6	291	278	102	97

Tabell 6:2 Urval av utvärderade skjuvhållfastheter och moduler från CPT-sondering och moduler i enlighet med ekv. 2.11 och 2.12 i borrhål 17, Toftanäs



Figur 6:2. Utvärderade skjuvhållfastheter från CPT-sondering, borrhål 17, Toftanäs.

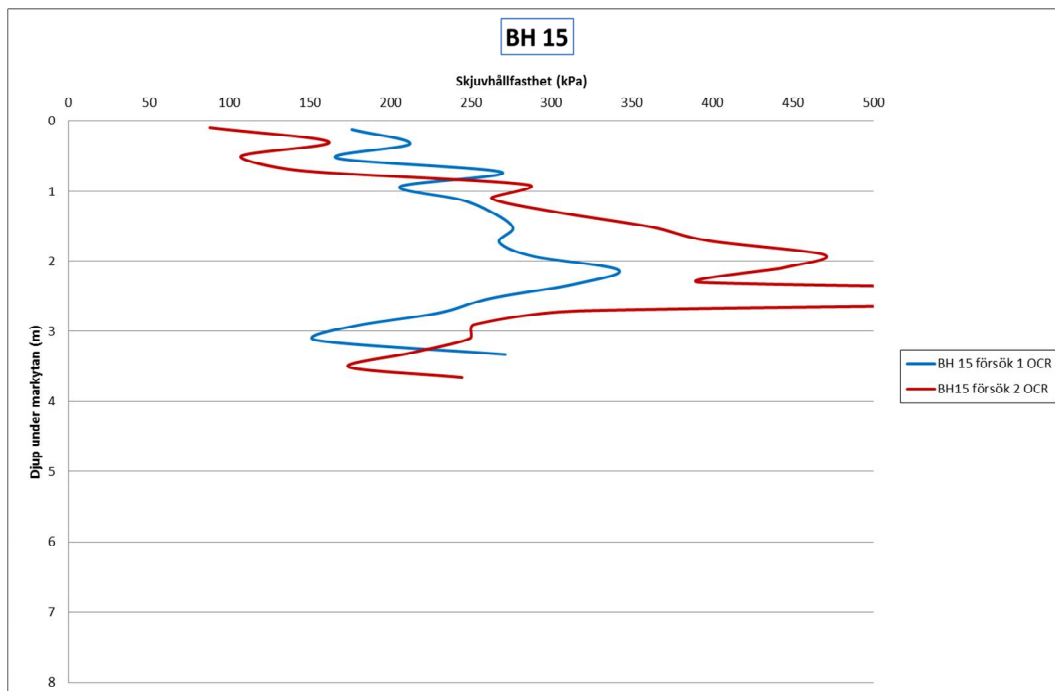
Utvärdering av hållfasthets och deformationsegenskaper hos skånsk lermorän

Resultat

Skjuvhållfastheten har också utvärderats med hjälp av överkonsolideringsgraden i enlighet med ekvation 2:5. I tabell 6:3 och 6:4 nedan anges ett utdrag av de utvärderade skjuvhållfastheterna och i figur 6:3 och 6:4 redovisas uppgritade kurvor på utvärderade skjuvhållfastheter från CPT-sonderingarna uträknade ifrån överkonsolideringsgraden, OCR. (OCR är beräknad enligt ekvation 2:2 och 2:3.) Vidare redovisas modulen i enlighet med ekv. 2:11 och 2:12.

Nivå (m u my)	c_u , försök 1 (kPa)	c_u försök 2 (kPa)	M_0 försök 1 (MPa)	M_0 försök 2 (MPa)
0,35	208	148	73	30
0,65	228	134	80	27
1,2	257	283	90	99
1,5	274	360	96	126
2,0	307	456	107	107
2,3	318	395	111	138
2,5	269	(907)	94	(317)
2,8	212	285	74	100
3,0	169	250	59	87
3,3	254	213	89	75
3,45	271	183	95	64

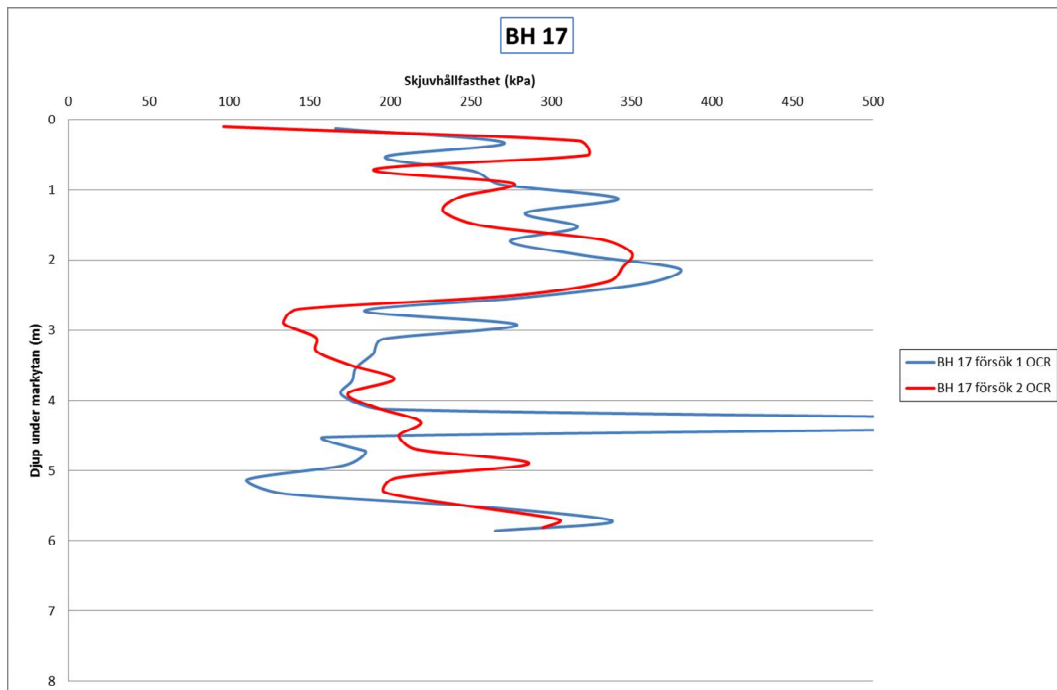
Tabell 6:3 Urval av utvärderade skjuvhållfastheter och moduler från CPT-sondering med utgångspunkt från överkonsolideringsgraden i borrhål 15, Toftanäs.



Figur 6:3 Utvärderade skjuvhållfastheter från CPT-sondering med utgångspunkt från överkonsolideringsgraden i borrhål 15, Toftanäs

Nivå (m u my)	c_u försök 1 (kPa)	c_u försök 2 (kPa)	M_0 försök 1 (MPa)	M_0 försök 2 (MPa)
1,1	331	243	116	85
1,4	295	245	103	86
1,6	301	293	105	103
1,75	278	335	97	117
1,9	311	350	109	122
2,1	370	344	129	120
2,5	295	276	103	97
2,6	249	209	87	73
2,8	217	138	76	28
3,1	207	154	72	54
3,3	191	154	67	54
3,6	178	189	62	66
4,1	192	191	67	67
4,45	384	209	134	73
4,6	168	210	59	73
4,9	173	286	61	100
5,1	120	203	24	71
5,6	286	275	100	96

Tabell 6:4. Urval av utvärderade skjuvhållfastheter och moduler från med utgångspunkt från överkonsolideringsgraden CPT-sondering i borrhål 17, Toftanäs



Figur 6:4 Utvärderade skjuvhållfastheter från CPT-sondering med utgångspunkt från överkonsolideringsgraden i borrhål 17, Toftanäs

Med utgångspunkt från att medelvärdesbilda en skjuvhållfasthet från CPT-sonderingar (både via spetstryck och överkonsolideringsgrad) längs jordprofilen har det ansatts att mellan 0-1 m under markytan har lermoränen en skjuvhållfasthet på 250 kPa och mellan 1-2,5 m under markytan har lermoränen en skjuvhållfasthet på 325 kPa. Därunder och ner till ca 6 m under markytan har lermoränen en skjuvhållfasthet på 190 kPa. I enlighet med dessa värden och med ekvation 2:12 har utvärderats till ca 85 MPa mellan 0-1 m under markytan, till ca 120 MPa mellan 1-2,5 m under markytan och till ca 65 MPa från 2,5 m under markytan och nedåt.

6.1.3 Vingförsök

Vingförsök har utförts i två punkter på åtta respektive sex nivåer. Utvärdering har utförts i enlighet med ekvation 3:1. Resultatet redovisas i tabell 6:5 och 6:6 nedan:

Om ett värde på skjuvhållfastheten föregås av > innebär detta att maximalt moment för utrustningen uppnåtts och skjuvhållfastheten sålunda kan vara större. Vidare redovisas modulen i enlighet med ekv. 2:11 och 2:12.

Nivå (m u my)	c_u (kPa)	M_0 (MPa)
0,65	154	54
1,2	293	102
1,5	>488	>171
2,5	391	137
3,0	142	28
3,45	451	158

Tabell 6:5 Odränerade skjuvhållfastheter och utvärderade moduler med utgångspunkt från vingförsök i punkt 15 på Toftanäs.

Nivå (m u my)	c_u (kPa)	M_0 (MPa)
1,1	>488	>171
1,6	366	128
2,1	451	158
3,1	134	27
3,6	146	29
4,1	180	63
4,6	144	29
5,1	375	131

Tabell 6:6 Odränerade skjuvhållfastheter och utvärderade moduler med utgångspunkt från vingförsök i punkt 17 på Toftanäs.

Utvärdering av hållfasthets och deformationsegenskaper hos skånsk lermorän

Resultat

6.1.4 Kolvprovtagning

Kolvprovtagning har utförts på totalt 4 nivåer i lermorän. Hylsorna var tidvis ej fyllda med material pga. förekomst av friktionsjord i moränen.

6.1.5 Skjuvhållfasthet enligt Hartlén

Skjuvhållfastheten har utvärderats enligt ekvation 2.7 med hänsyn till portal (som beräknats med utgångspunkt från ekvation 2.15 ovan grundvattenytan och 2.16 och 2.17 under grundvattenytan med $\rho_s = 2,7 \text{ t/m}^3$, om portalet inte har bestämts i laboratoriet), lerhalt och vattenkvot och följande utvärderade skjuvhållfastheter:

Nivå (m u my)	w (%)	I_c (%)	e	c_u (kPa)	M_0 (MPa)
0,35	14,0	18	0,54	39	8
0,65	13,5	18	0,49	44	9
1,2	13,0	18	0,42	63	13
1,5	13,0	18	0,35	89	18
2,3	13,0	18	0,35	89	18
2,8	12,0	18	0,32	124	25
3,3	13,0	18	0,35	89	18

Tabell 6:7 Odränerade skjuvhållfastheter med utgångspunkt från Hartlén i punkt 15 på Toftanäs. Kursiva värden avser nivåer där enbart vattenkvot är uppmätt och övriga parametrar är tolkade.

Nivå (m u my)	w (%)	I_c (%)	e	c_u (kPa)	M_0 (MPa)
1,75	11,9	20	0,55	60	12
3,3	13,0	20	0,50	60	12
4,45	12,2	20	0,44	88	18
1,4	13,0	20	0,42	83	17
1,9	14,0	20	0,38	89	18
2,5	12,0	20	0,32	164	57
2,8	12,0	20	0,32	164	57
4,9	11,0	20	0,30	221	77

Tabell 6:8 Odränerade skjuvhållfastheter med utgångspunkt från Hartlén i punkt 17 på Toftanäs. Kursiva värden avser nivåer där enbart vattenkvot är uppmätt och övriga parametrar är tolkade.

Modulen i tabellerna ovan redovisas i enlighet med ekv. 2:11 och 2:12.

6.1.6 Skjuvhållfasthet enligt Jacobsen

Skjuvhållfastheten har utvärderats enligt ekvation 2.8 med hänsyn till portalet (som beräknats med utgångspunkt från ekvation 2.15 ovan grundvattenytan och 2.16

Utvärdering av hållfasthets och deformationsegenskaper hos skånsk lermorän

Resultat

och 2.17 under grundvattenytan med $\rho_s = 2,7 \text{ t/m}^3$, om portalet inte har bestämts i laboratoriet) och följande utvärderade skjuvhållfastheter erhöles:

Nivå (m u my)	e	c_u (kPa)	M_0 (MPa)
0,35	0,54	59	12
0,65	0,49	61	12
1,2	0,42	89	18
1,5	0,35	151	53
2,3	0,35	151	53
2,8	0,32	205	72
3,3	0,35	151	53

Tabell 6:9 Odränerade skjuvhållfastheter med utgångspunkt från Jacobsen i punkt 15 på Toftanäs. Kursiva värden avser nivåer där portalet är tolkat.

Nivå (m u my)	e	c_u (kPa)	M_0 (MPa)
1,75	0,55	48	10
3,3	0,50	59	12
4,45	0,44	79	16
1,4	0,42	89	18
1,9	0,38	117	23
2,5	0,32	205	72
2,8	0,32	205	72
4,9	0,30	262	92

Tabell 6:10 Odränerade skjuvhållfastheter med utgångspunkt från Jacobsen i punkt 17 på Toftanäs. Kursiva värden avser nivåer där portalet är tolkat.

Modulen i tabellerna ovan redovisas i enlighet med ekv. 2:11 och 2:12.

6.1.7 Resultat från laborieförsök

På ostörda jordprover har det utförts CRS-försök på 3 nivåer i de 2 utförda undersökningspunkterna. Modulen har utvärderats enligt tabell 6:11 nedan vid den andra pålastningen.

Borrhål/Nivå (m u my)	M_0 (MPa)	Belastning vid försök (kPa)
BH 15/0,65	52	0-750-20-1500
BH 17/1,75	42	0-430-30-590
BH 17/4,45	65	0-300-75-1400

Tabell 6:11 Moduler utvärderade från CRS-försök.

Utvärdering av hållfasthets och deformationsegenskaper hos skånsk lermorän

Resultat

Odränerade skjuvförsök utfördes på prover med resultat enligt tabell 6:12 nedan.

Borrhål/Nivå (m u my)	c_u (kPa)	G_0 (MPa)*	G_{50} (MPa)	Konsolideringsspänning (kPa)
BH 17/1,75	119	7-6,5	1,8	400/25
BH 17/4,45	70	5-5,2	1,8	300/60

Tabell 6:12 Resultat från odränerade skjuvförsök på Toftanäs. *Det första värdet härrör från linjär tolkning och det andra utifrån hyperbelanpassning över kurvan de första 0,02 radianerna. Skjuvhållfastheten är utvärderad vid 0,15 radianer.

I enlighet med ekv. 2:14 och ett antagande att tvärkontraktionstalet kan ansättas till 0,33 erhålles följande ödometermoduler:

Borrhål/Nivå (m u my)	M_0 (MPa)
BH 17/1,75	28
BH 17/4,45	20

Tabell 6:13 Ödometermoduler empiriskt utvärderade från skjuvmodul från skjuvförsök.

Med utgångspunkt från utvärderad skjuvhållfasthet i tabell 6:12 samt ekv. 2:11 och 2:12 erhålles följande moduler:

Borrhål/Nivå (m u my)	M_0 (MPa)
BH 17/1,75	24
BH 17/4,45	14

Tabell 6:14 Moduler utvärderade från odränerad skjuvhållfasthet.

6.2 Tornhill

6.2.1 Skruvprovtagning

Skruvprovtagning har utförts inom aktuellt område i 2 punkter och nedan beskrivna jordlagerföljd påträffades.

Jordlagren utgörs inom aktuellt område av mulljord som underlagras av lermorän.

Mulljorden är lerig och har en mäktighet på ca 0,3 m.

Lermoränen förekommer överst som en brun baltisk lermorän med en mäktighet på 2,0-2,8 m. Den baltiska moränen har en uppmätt vattenkvot på 13-29% och ett utvärderat portal på 0,32-0,54. Lerhalten har uppmätts till 18-27%.

Under den baltiska lermoränen har en av nordostmorän med en gråblå färg påträffats. Nordostmoränen har en uppmätt naturlig vattenkvot på 14-20%. Vidare

Utvärdering av hållfasthets och deformationsegenskaper hos skånsk lermorän

Resultat

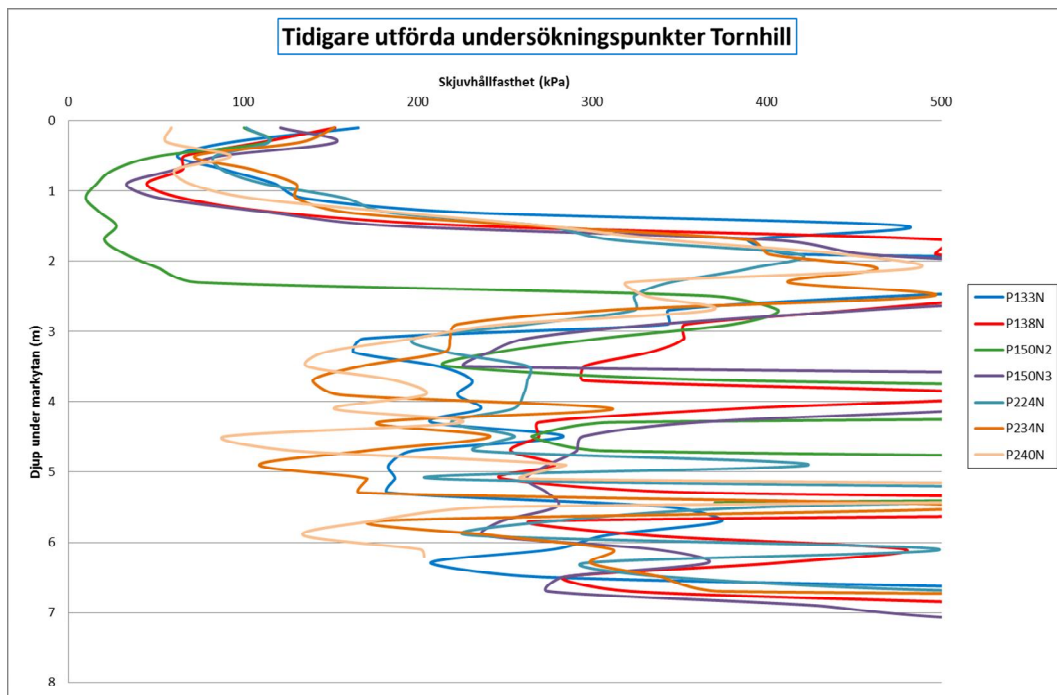
har portalet utvärderats till 0,38-0,43 och lerhalten till 17-18%. Skrymdensiteten har uppmätts till ca 2,13 t/m³.

Lermoräna förekommer ställvis med inslag och sand och det förekommer intermoräna sediment i lermoräna. Lokalt har även kalk påträffats i lermoräna.

Grundvattenytan har antagits förekomma 1,0 meter under markytan.

6.2.2 CPT-sondering

Tidigare utförda undersökningar av Leveen och Palm (2000) har utvärderats med följande resultat enligt ekvation 2:5.



Figur 6:5. Utvärderade skjuvhållfastheter från CPT-sondering vid tidigare utförda fältundersökningar i Tornhill.

Kompletterande CPT-sondering har utförts inom aktuellt område i 2 punkter och följande skjuvhållfastheter har utvärderats enligt ekvation 2:4. I tabell 6:15 och 6:16 nedan anges ett utdrag av de utvärderade skjuvhållfastheterna och i figur 6:6 redovisas utvärderade skjuvhållfastheter från CPT. Värden inom parentes har bedömts som orimliga pga. t.ex. sandskikt som har ökat spetstrycket och sålunda ej går att klassa som en lermorän.

Enligt tabeller och diagram nedan har lermoräna en hög till extrem hög skjuvhållfasthet. Det ska observeras att skjuvhållfastheten varierar kraftigt längs jordprofilen. Där kurvan i figur 6:6 för undersökningspunkt SBUF 1 går ner till 0

Utvärdering av hållfasthets och deformationsegenskaper hos skånsk lermorän

Resultat

har sonderingen drivits till stopp och sedan har ett nytt försök utförts efter att förborring har utförts.

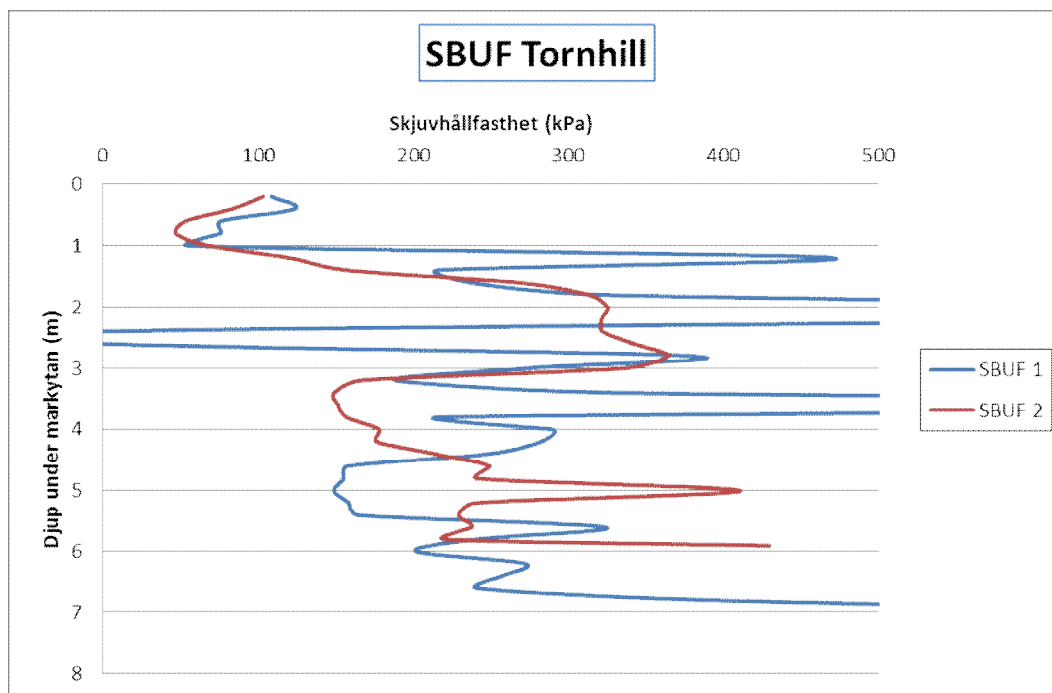
Nivåerna som har valts ut för utvärdering av skjuvhållfasthet och modul har utgått ifrån nivåer där laboratorieförsök har utförts.

Nivå (m u my)	c_u (kPa)	M_0 (MPa)
0,5	100	20
0,6	76	15
0,9	66	13
1,1	55	11
1,6	237	83
2,1	(762)	(267)
2,9	326	114
3,2	189	66
3,7	(868)	(304)
4,1	(1153)	(404)
4,6	286	100
4,8	155	54
5,1	157	55

Tabell 6:15 Urval av utvärderade skjuvhållfastheter från CPT-sondering och moduler i enlighet med ekv. 2.11 och 2.12 i borrhål SBUF 1, Tornhill.

Nivå (m u my)	c_u (kPa)	M_0 (MPa)
0,5	65	13
0,8	47	9
1,1	95	19
1,2	121	24
1,6	269	94
1,8	313	110
2,1	323	113
2,6	342	120
2,8	364	127
3,2	166	58
3,6	152	53
4,1	177	62
4,3	195	68
4,5	232	81
5,1	325	114

Tabell 6:16 Urval av utvärderade skjuvhållfastheter från CPT-sondering och moduler i enlighet med ekv. 2.11 och 2.12 i borrhål SBUF 2, Tornhill.



Figur 6:6 Utvärderade skjuvhållfastheter från CPT-sondering, SBUF 1 och SBUF 2, Tornhill.

Skjuvhållfastheten har också utvärderats med hjälp av överkonsolideringsgraden i enlighet med ekvation 2:5. I tabell 6:17 och 6:18 nedan anges ett utdrag av de utvärderade skjuvhållfastheterna och i figur 6:7 redovisas uppritade kurvor på utvärderade skjuvhållfastheter från CPT-sonderingarna uträknade ifrån överkonsolideringsgraden, OCR. (OCR är beräknad enligt ekvation 2:2 och 2:3.) Vidare redovisas modulen i enlighet med ekv. 2:11 och 2:12.

Utvärdering av hållfasthets och deformationsegenskaper hos skånsk lermorän

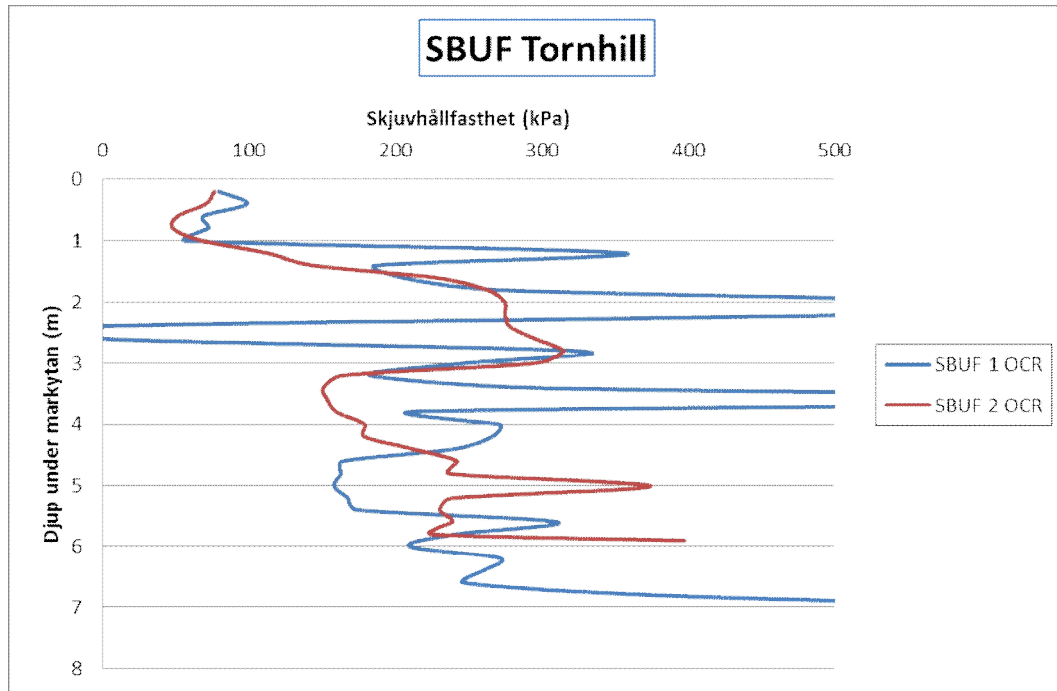
Resultat

Nivå (m u my)	c_u (kPa)	M_0 (MPa)
0,5	84	17
0,6	69	14
0,9	65	13
1,1	57	11
1,6	205	72
2,1	(569)	(199)
2,9	287	100
3,2	183	64
3,7	(868)	(304)
4,1	(863)	(302)
4,6	268	94
4,8	163	57
5,1	164	57

Tabell 6:17. Urval av utvärderade skjuvhållfastheter och moduler med utgångspunkt från överkonsolideringsgraden CPT-sondering i borrhål SBUF 1, Tornhill.

Nivå (m u my)	c_u (kPa)	M_0 (MPa)
0,5	61	12
0,8	48	10
1,1	91	18
1,2	113	23
1,6	228	80
1,8	263	92
2,1	275	96
2,6	295	103
2,8	314	110
3,2	164	57
3,6	154	54
4,1	179	63
4,3	195	68
4,5	227	79
5,1	306	107

Tabell 6:18. Urval av utvärderade skjuvhållfastheter och moduler med utgångspunkt från överkonsolideringsgraden CPT-sondering i borrhål SBUF 2, Tornhill.



Figur 6:7 Utvärderade skjuvhållfastheter från CPT-sondering med utgångspunkt från överkonsolideringsgraden i SBUF 1 och SBUF 2, Tornhill.

Med utgångspunkt från att medelvärdesbilda en skjuvhållfasthet utifrån CPT-sondering längs jordprofilen har det ansatts att mellan 0-1 m under markytan har moränen en skjuvhållfasthet på 75 kPa medan moränen mellan 1-3 m under markytan har en skjuvhållfasthet på 250 kPa. Mellan 3-6 m under markytan har moränen en skjuvhållfasthet på 225 kPa. I enlighet dessa värden och med ekvation 2:11 och 2:12 har modulen utvärderats till ca 15 MPa mellan 0-1 m under markytan, ca 85 MPa mellan 1-3 m under markytan och till ca 80 MPa mellan 3-6 m under markytan.

6.2.3 Vingförsök

Vingförsök har utförts i 2 punkter på 6 respektive 9 nivåer. Resultatet redovisas i tabell 6.19 och 6.20 nedan. Utvärdering har utförts i enlighet med ekvation 3:1. Sandskikten i lermoränen ledde till att inte fler vingförsök kunde utföras i undersökningspunkt SBUF 1.

Om ett värde på skjuvhållfastheten föregås av > innebär detta att maximalt moment för utrustningen uppnåtts och skjuvhållfastheten sålunda kan vara större. Vidare redovisas modulen i enlighet med ekv. 2:11 och 2:12.

Nivå (m u my)	c_u (kPa)	M_0 (MPa)
0,6	83	17
1,1	146	29
1,6	>488	>171
3,2	188	66
4,6	217	76
5,1	139	28

Tabell 6:19 Odränerade skjuvhållfastheter och utvärderade moduler med utgångspunkt från vingförsök i SBUF 1, Tornhill.

Nivå (m u my)	c_u (kPa)	M_0 (MPa)
0,5	81	16
1,1	88	18
1,6	366	128
2,1	437	153
2,6	>488	>171
3,2	220	77
3,6	227	79
4,1	195	68
4,5	347	121

Tabell 6:20 Odränerade skjuvhållfastheter och utvärderade moduler med utgångspunkt från vingförsök i SBUF 2, Tornhill.

6.2.4 Kolvprovtagning

Kolvprovtagning har utförts med på totalt 2 nivåer i lermorän. Hylsorna var tidvis ej fyllda med material pga. förekomst av friktionsjord i moränen.

6.2.5 Skjuvhållfasthet enligt Hartlén

Skjuvhållfastheten har utvärderats enligt ekvation 2.7 med hänsyn till portal (som beräknats med utgångspunkt från ekvation 2.15 ovan grundvattenytan och 2.16 och 2.17 under grundvattenytan med $\rho_s = 2,7 \text{ t/m}^3$, om portalet inte har bestämts i laboratoriet), lerhalt och vattenkvot och följande utvärderade skjuvhållfastheter erhöles:

Utvärdering av hållfasthets och deformationsegenskaper hos skånsk lermorän

Resultat

Nivå (m u my)	w (%)	I _c (%)	e	c _u (kPa)	M ₀ (MPa)
0,5	28,0	18	0,42	13	3
0,9	23,0	18	0,42	20	4
1,6	13,0	18	0,35	89	18
2,4	12,0	18	0,32	124	25
2,9	20,0	18	0,54	16	3
3,2	14,0	18	0,38	65	13
3,7	16,0	18	0,43	39	8
4,8	14,0	18	0,38	65	13

Tabell 6:21 Odränerade skjuvhållfastheter med utgångspunkt från Hartlén i punkt SBUF 1, Tornhill. Kursiva värden avser nivåer där enbart vattenkvot är uppmätt och övriga parametrar är tolkade.

Nivå (m u my)	w (%)	I _c (%)	e	c _u (kPa)	M ₀ (MPa)
0,8	22,3	27	0,49	46	9
3,25	16,0	18	0,50	30	6
3,6	15,1	18	0,49	33	7
1,2	21,0	18	0,57	13	3
1,8	18,0	18	0,49	24	5
2,6	20,0	18	0,54	16	3
2,8	15,0	18	0,41	49	10
4,3	15,0	18	0,49	49	10

Tabell 6:22 Odränerade skjuvhållfastheter med utgångspunkt från Hartlén i punkt SBUF 2, Tornhill. Kursiva värden avser nivåer där enbart vattenkvot är uppmätt och övriga parametrar är tolkade.

Modulen i tabellerna ovan redovisas i enlighet med ekv. 2:11 och 2:12.

6.2.6 Skjuvhållfasthet enligt Jacobsen

Skjuvhållfastheten har utvärderats enligt ekvation 2.8 med hänsyn till portalet (som beräknats med utgångspunkt från ekvation 2.15 ovan grundvattenytan och 2.16 och 2.17 under grundvattenytan med $\rho_s = 2,7 \text{ t/m}^3$, om portalet inte har bestämts i laboratoriet) och följande utvärderade skjuvhållfastheter erhöles:

Utvärdering av hållfasthets och deformationsegenskaper hos skånsk lermorän

Resultat

Nivå (m u my)	e	c _u (kPa)	M ₀ (MPa)
0,5	0,42	89	18
0,9	0,42	89	18
1,6	0,35	151	53
2,4	0,32	205	72
2,9	0,54	50	10
3,2	0,38	117	23
3,7	0,43	83	17
4,8	0,38	117	23

Tabell 6:23 Odränerade skjuvhållfastheter med utgångspunkt från Jacobsen i punkt SBUF 1, Tornhill. Kursiva värden avser nivåer där portalet är tolkat.

Nivå (m u my)	e	c _u (kPa)	M ₀ (MPa)
0,8	0,49	61	12
3,25	0,50	59	12
3,6	0,49	61	12
1,2	0,57	45	9
1,8	0,49	61	12
2,6	0,54	50	10
2,8	0,41	94	19
4,3	0,41	94	19

Tabell 6:24 Odränerade skjuvhållfastheter med utgångspunkt från Jacobsen i punkt SBUF 1, Tornhill. Kursiva värden avser nivåer där portalet är tolkat.

Modulen i tabellerna ovan redovisas i enlighet med ekv. 2:11 och 2:12.

6.2.7 Resultat från laborieförsök

På ostörda jordprover har det utförts CRS-försök på 2 nivåer i undersökningspunkt SBUF 2. Modulen utvärderades enligt tabell 6:25 nedan vid den andra pålastningen.

Borrhål/Nivå (m u my)	M ₀ (MPa)	Belastning vid försök (kPa)
SBUF 2/0,8	12	0-750-20-1500
SBUF 2/3,6	-*	-

Tabell 6:25 Moduler utvärderade från CRS-försök. *Gick ej att utvärdera.

Odränerade skjuvförsök utfördes på några prover med resultat enligt tabell 6:26 nedan.

Utvärdering av hållfasthets och deformationsegenskaper hos skånsk lermorän

Resultat

Borrhål/Nivå (m u my)	c_u (kPa)	G_0 (MPa)*	G_{50} (MPa)	Konsolideringsspänning (kPa)
SBUF 2/0,8	24	2,5-2,8	0,9	100/20
SBUF 2/3,6	80	6,5–8,6	1,7	100/50

Tabell 6:26 Resultat från odränerade skjuvförsök på Tornhill. *Det första värdet härrör från linjär tolkning och det andra utifrån hyperbelanpassning över kurvan de första 0,02 radianerna. Skjuvhållfastheten är utvärderad vid 0,15 radianer.

I enlighet med ekv. 2:14 och ett antagande att tvärkontraktionstalet kan ansättas till 0,33 erhålles följande ödometermoduler:

Borrhål/Nivå (m u my)	M_0 (MPa)
SBUF 2/0,8	10
SBUF 2/3,6	26

Tabell 6:27 Ödometermoduler empiriskt utvärderade från skjuvmodul från skjuvförsök.

1 aktivt odränerat triaxialförsök har utförts med resultat enligt nedan.

Borrhål/Nivå (m u my)	c_u (kPa)	G_0 (MPa)	G_{50} (MPa)	Konsolideringsspänning (kPa)
SBUF 2/3,6	82	13	4,8	100/50 (vertikalt och horisontellt)

Tabell 6:28 Resultat från odränerat triaxialförsök från Tornhill.

Resultatet visar på en högre utvärderad skjuvmodul efter triaxialförsöket än vid skjuvförsöket. Detta kan bero på mindre skikt med t.ex. silt i provet. Den odränerade skjuvhållfastheten är dock utvärderad till i stort sett samma resultat.

I enlighet med ekv. 2:14 och ett antagande att tvärkontraktionstalet kan ansättas till 0,33 erhålles följande modul:

Borrhål/Nivå (m u my)	M_0 (MPa)
SBUF 2/3,6	51

Tabell 6:29 Modul empiriskt utvärderad från triaxialförsök.

Med utgångspunkt från utvärderad skjuvhållfasthet i tabell 6:26 och 6:28 samt ekv. 2:11 och 2:12 erhålles följande moduler:

Borrhål/Nivå (m u my)	M_0 (MPa)
SBUF 2/0,8	5
SBUF 2/3,6 (tabell 6:26)	16
SBUF 2/3,6 (tabell 6:28)	16

Tabell 6:30 Moduler utvärderade från odränerad skjuvhållfasthet.

7. UTVÄRDERING AV RESULTAT

7.1 Toftanäs

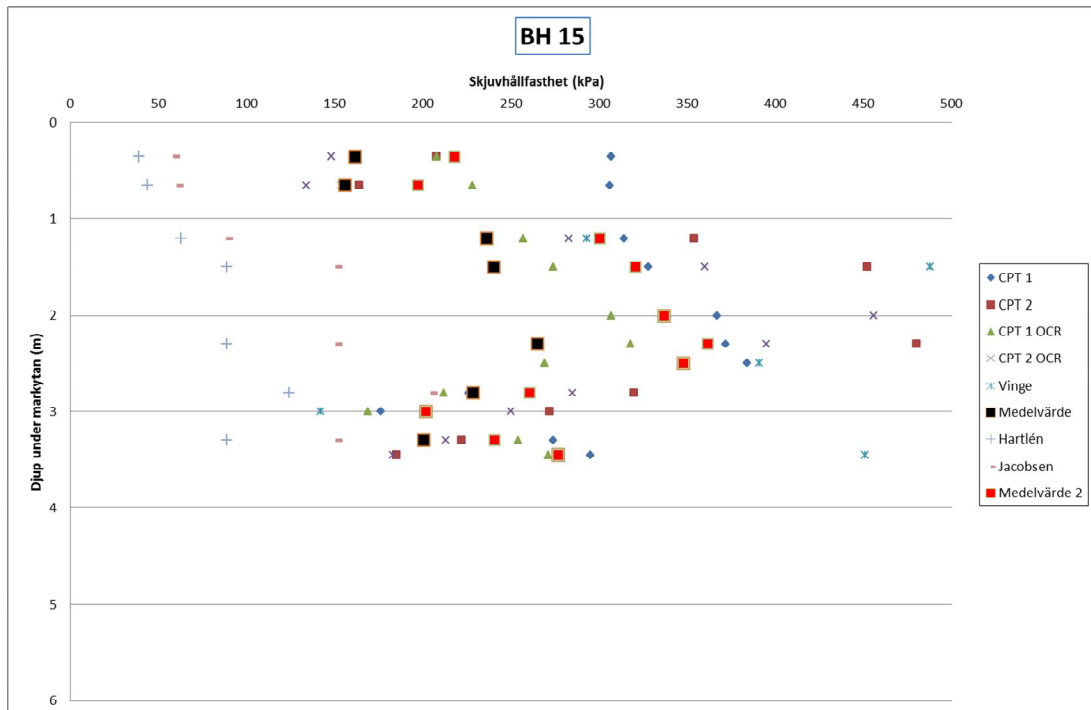
Nedan redovisas en sammanställning av utvärderade skjuvhållfastheter enligt kapitel 6. Sammanställningen har sålunda utförts från CPT-sondering, vingförsök, laborieförsök och resultaten som tagits fram med utgångspunkt från samband framräknade av Hartlén (1974) och Jacobsen (1970). Tabell 7:1 och figur 7:1 redovisar resultat från undersökningspunkt 15 medan tabell 7:3 och figur 7:2 redovisar resultat från undersökningspunkt 17. Angivna medelvärden i figurerna nedan är framräknade på de skjuvhållfastheter som ej överstiger 488 kPa. (Maximalt värde från vingförsöken.)

Som indata i jämförelsen är det framtagna medelvärdet enligt kapitel 6.1.2 på 250 kPa mellan 0-1 m och mellan 1-2,5 m under markytan är medelvärdet på lermoränen 325 kPa. Därunder och ner till 6 m under markytan har lermoränen en skjuvhållfasthet på 190 kPa. Vidare enligt kapitel 6.1.2 har modulen utvärderats till ca 85 MPa mellan 0-1 m under markytan, till ca 120 MPa mellan 1-2,5 m under markytan och till ca 65 MPa från 2,5 m under markytan och nedåt.

Nivå (m u my)	c_u (kPa), CPT, försök 1 och 2	c_u (kPa), CPT ur OCR, försök 1 och 2	c_u (kPa), vingförsök	c_u (kPa), Hartlén	c_u (kPa), Jacobsen
0,35	307/208	208/148	-	39	59
0,65	306/164	228/134	154	44	61
1,2	314/354	257/283	293	63	89
1,5	328/452	274/360	>488	89	151
2,0	367/(578)	307/456	-	-	-
2,3	372/480	318/395	-	89	151
2,5	384/(1264)	269/(907)	391	-	-
2,8	226/320	212/285	-	124	205
3,0	176/272	169/250	142	-	-
3,3	274/222	254/213	-	89	151
3,45	295/185	271/183	451	-	-

Tabell 7:1 Sammanställning av utvärderade och uppmätta skjuvhållfastheter från punkt 15 på Toftanäs.

Det ska noteras att resultaten från CPT-sondering och vingförsök generellt ger en högre utvärderad skjuvhållfasthet än sambanden enligt Hartlén och Jacobsen på de aktuella fältlokalerna.



Figur 7:1 Sammanställning skjuvhållfastheter från punkt 15, Toftanäs. Medelvärde 2 avser medelvärde exklusive utvärdering från Hartlén och Jacobsen.

Nedan redovisas i laboratoriet uppmätt och de empiriskt uträknade modulerna.

Nivå (m u my)	M ₀ CPT, försök 1 och 2 (MPa)	M ₀ CPT ur OCR försök 1 och 2 (MPa)	M ₀ från vingförsök (MPa)	M ₀ från lab. (MPa)	M ₀ * (MPa)	M ₀ ** (MPa)	M ₀ *** (MPa)
0,35	107/73	73/30	-	-	57	76	85
0,65	107/57	80/27	54	52	55	69	85
1,2	110/124	90/99	102	-	83	105	120
1,5	115/158	96/126	>171	-	84	112	120
2,0	128/(202)	107/107	-	-	118	118	120
2,3	130/168	111/138	-	-	93	127	120
2,5	134/(442)	94/(317)	137	-	122	122	120
2,8	79/112	74/100	-	-	80	91	65
3,0	62/95	59/87	28	-	71	71	65
3,3	96/78	89/75	-	-	70	84	65
3,45	103/65	95/64	158	-	97	97	65

Tabell 7:2 Sammanställning av utvärderade och uppmätta moduler från punkt 15, Toftanäs. *Modul framräknad från utritat medelvärde i figur 7.1 som även tar hänsyn till samband enligt Hartlén och Jacobsen. ** Modul framräknad från utritat medelvärde i figur 7.1 som ej tar hänsyn till samband enligt Hartlén och Jacobsen. ***Modul framräknad från medelvärdesbildningen enligt kapitel 6.1.2.

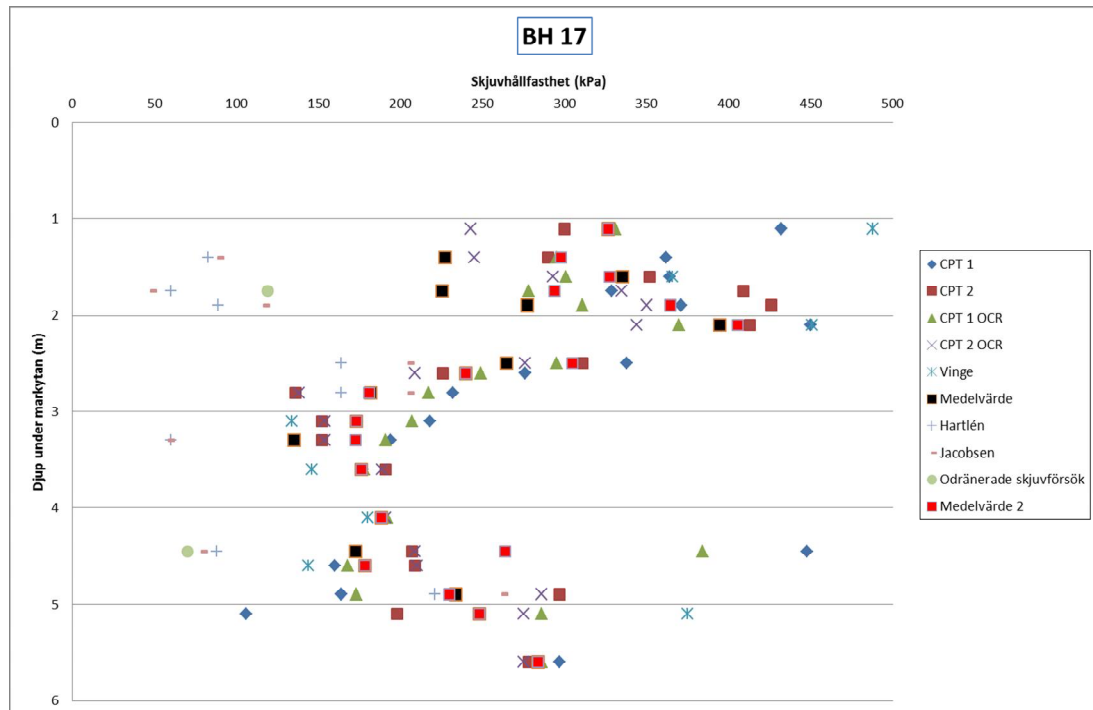
Nivå (m u my)	c_u (kPa), CPT, försök 1 och 2	c_u (kPa), CPT ur OCR, försök 1 och 2	c_u (kPa), vingförsök	c_u (kPa), Hartlén	c_u (kPa), Jacobsen	c_u (kPa)*
1,1	432/300	331/243	>488	-	-	-
1,4	362/290	295/245	-	83	89	-
1,6	364/352	301/293	366	-	-	-
1,75	329/409	278/335	-	60	48	119
1,9	371/426	311/350	-	86	117	-
2,1	450/413	370/344	451	-	-	-
2,5	338/311	295/276	-	164	205	-
2,6	276/226	249/209	-	-	-	-
2,8	232/136	217/138	-	164	205	-
3,1	218/152	207/154	134	-	-	-
3,3	194/152	191/154	-	60	59	-
3,6	177/191	178/189	146	-	-	-
4,1	190/189	192/191	180	-	-	-
4,45	448/207	384/209	-	88	79	70
4,6	160/209	168/210	144	-	-	-
4,9	164/297	173/286	-	221	262	-
5,1	106/198	120/203	375	-	-	-
5,6	291/278	286/275	-	-	-	-

Tabell 7:3 Sammanställning av utvärderade och uppmätta skjuvhållfastheter från punkt 17 på Toftanäs. *Från odränerade skjuvförsök.

Det ska noteras att resultaten från CPT-sondering och vingförsök generellt ger en högre utvärderad skjuvhållfasthet än sambanden enligt odränerade skjuvförsök samt Hartlén och Jacobsen på de aktuella fältlokalerna.

Utvärdering av hållfasthets och deformationsegenskaper hos skånsk lermorän

Utvärdering av resultat



Figur 7:2 Sammanställning av skjuvhållfastheter från punkt 17, Toftanäs. Medelvärde 2 avser medelvärde exklusive utvärdering från Hartlén och Jacobsen.

Nedan redovisas i laboratoriet uppmätt och de empiriskt uträknade modulerna.

Nivå (m u my)	M ₀ CPT, försök 1 och 2 (MPa)	M ₀ CPT ur OCR försök 1 och 2 (MPa)	M ₀ från vingförsök (MPa)	M ₀ från lab. (MPa)	M ₀ * från lab. (MPa)	M ₀ ** (MPa)	M ₀ *** (MPa)	M ₀ **** (MPa)
1,1	151/105	116/85	>171	-	-	114	114	120
1,4	127/101	103/86	-	-	-	80	104	120
1,6	127/123	105/103	128	-	-	117	115	120
1,75	115/143	97/117	-	42	28/24	79	103	120
1,9	130/149	109/122	-	-	-	97	128	120
2,1	157/55	129/120	158	-	-	138	142	120
2,5	118/109	103/97	-	-	-	93	107	120
2,6	97/79	87/73	-	-	-	84	84	65
2,8	81/27	76/28	-	-	-	64	63	65
3,1	76/53	72/54	27	-	-	61	61	65
3,3	68/53	67/54	-	-	-	47	60	65
3,6	62/67	62/66	29	-	-	62	62	65
4,1	66/66	67/67	63	-	-	66	66	65
4,45	157/72	134/73	-	65	20/14	60	92	65
4,6	56/73	59/73	29	-	-	62	62	65
4,9	57/104	61/100	-	-	-	82	81	65
5,1	21/69	24/71	131	-	-	87	87	65
5,6	102/97	100/96	-	-	-	99	99	65

Tabell 7:4 Sammanställning av utvärderade och uppmätta moduler från punkt 17, Toftanäs. *Modul enligt tabell 6:13 och 6:14. **Modul framräknad från utritat medelvärde i figur 7.2. *** Modul framräknad från utritat medelvärde i figur 7.2 som ej tar hänsyn till samband enligt Hartlén och Jacobsen. ****Modul framräknad från medelvärdesbildningen enligt kapitel 6.1.2.

Vid jämförelser mellan de olika värdena för de olika undersökningspunkterna kan man sålunda se en stor spridning på beräknade moduler men om man medelvärdesbildar mellan olika försök och undersökningspunkter kan man se tendenser som kan användas för framtagande av moduler.

7.2 Tornhill

Nedan redovisas en sammanställning av utvärderade skjuvhållfastheter enligt kapitel 6. Sammanställningen har sålunda utförts från CPT-sondering, vingförsök, laborieförsök och resultaten som tagits fram med utgångspunkt från samband framräknade av Hartlén (1974) och Jacobsen (1970). Tabell 7:5 och figur 7:3 redovisar resultat från undersökningspunkt SBUF 1 medan tabell 7:7 och figur 7:4 redovisar resultat från undersökningspunkt SBUF 2. Angivna medelvärden i figurerna nedan är framräknade på de skjuvhållfastheter som ej överstiger 488 kPa. (Maximalt värde från vingförsöken.)

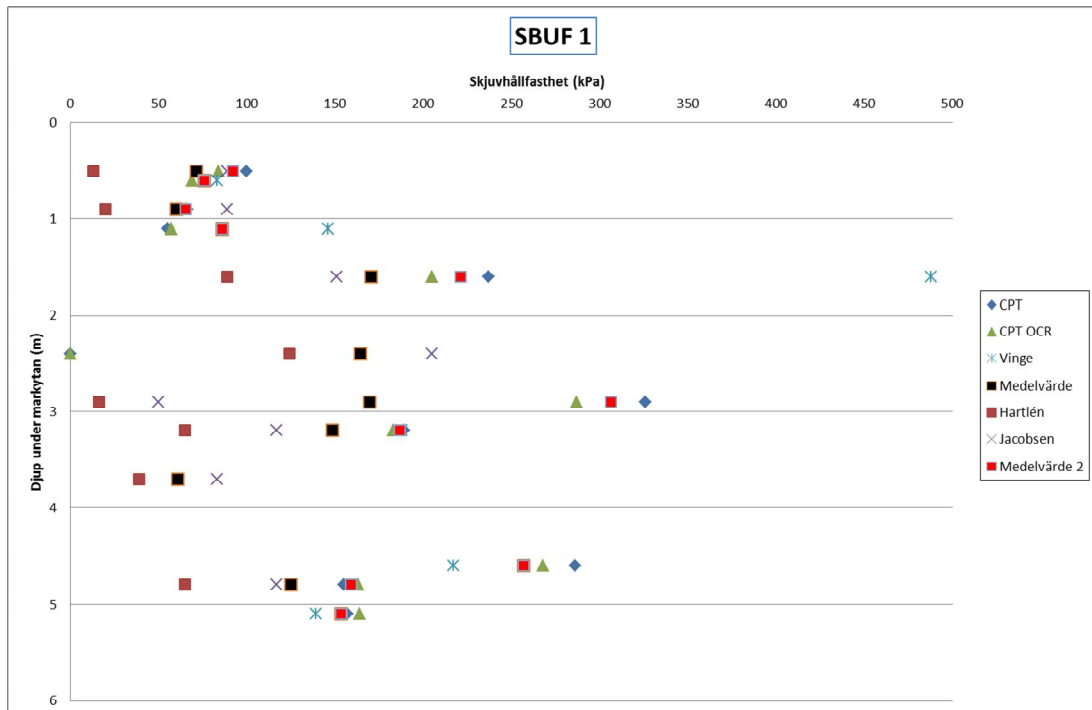
Som indata i jämförelsen är det framtagna medelvärdet enligt kapitel 6.2.2 på 75 kPa mellan 0-1 m under markytan medan moränen mellan 1-3 m under markytan har en skjuvhållfasthet på 250 kPa. Därunder ner till 6 m under markytan har lermoränen en skjuvhållfasthet på 225 kPa. Vidare enligt kapitel 6.2.2 har modulen utvärderats till ca 15 MPa mellan 0-1 m under markytan och till ca 85 MPa mellan 1-3 m under markytan. Därunder har modulen utvärderats till ca 80 MPa.

Nivå (m u my)	c_u (kPa), CPT	c_u (kPa), CPT ur OCR	c_u (kPa), vingförsök	c_u (kPa), Hartlén	c_u (kPa), Jacobsen
0,5	100	84	-	13	89
0,6	76	69	83	-	-
0,9	66	65	-	20	89
1,1	55	57	146	-	-
1,6	237	205	>488	89	151
2,4	-	-	-	124	205
2,9	326	287	-	16	50
3,2	189	183	188	65	117
3,7	(868)	(868)	-	39	83
4,6	286	268	217	-	-
4,8	155	163	-	65	117
5,1	157	164	139	-	-

Tabell 7:5 Sammanställning av utvärderade och uppmätta skjuvhållfastheter från punkt SBUF 1, Tornhill.

Utvärdering av hållfasthets och deformationsegenskaper hos skånsk lermorän

Utvärdering av resultat



Figur 7:3 Sammanställning av skjuvhållfastheter från punkt SBUF 1, Tornhill. Medelvärde 2 avser medelvärde exklusive utvärdering från Hartlén och Jacobsen.

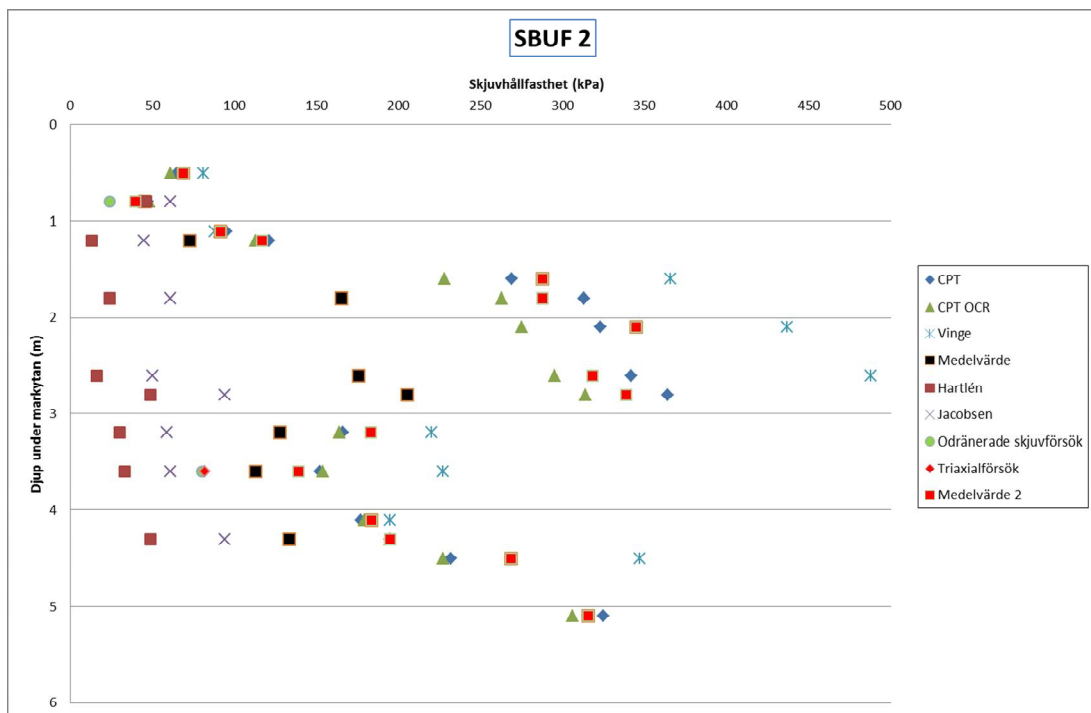
Nedan redovisas i laboratoriet uppmätt och de empiriskt uträknade modulerna.

Nivå (m u my)	M ₀ (MPa)	M ₀ ur OCR (MPa)	M ₀ från vingförsök (MPa)	M ₀ * (MPa)	M ₀ ** (MPa)	M ₀ *** (MPa)
0,5	20	17	-	14	18	15
0,6	15	14	17	15	15	15
0,9	13	13	-	12	13	15
1,1	11	11	29	17	17	85
1,6	83	72	>171	60	77	85
2,4	-	-	-	58	-	85
2,9	114	100	-	59	107	85
3,2	66	64	66	30	65	80
3,7	(304)	(304)	-	12		80
4,6	100	94	76	90	90	80
4,8	54	57	-	25	56	80
5,1	55	57	28	54	54	80

Tabell 7:6 Sammanställning av utvärderade och uppmätta moduler från punkt SBUF 1, Tornhill. *Modul framräknad från utritat medelvärde i figur 7.3. ** Modul framräknad från utritat medelvärde i figur 7.3 som ej tar hänsyn till samband enligt Hartlén och Jacobsen ***Modul framräknad från medelvärdesbildningen enligt kapitel 6.2.2.

Nivå (m u my)	c_u (kPa), CPT	c_u (kPa), CPT ur OCR	c_u (kPa), vingförsök	c_u (kPa), Hartlén	c_u (kPa), Jacobsen	c_u (kPa)*
0,5	65	61	81	-	-	-
0,8	47	48	-	46	61	24
1,1	95	91	88	-	-	-
1,2	121	113	-	13	45	-
1,6	269	228	366	-	-	-
1,8	313	263	-	24	61	-
2,1	323	275	437	-	-	-
2,6	342	295	>488	16	50	-
2,8	364	314	-	49	94	-
3,2	166	164	220	30	59	-
3,6	152	154	227	33	61	80/82
4,1	177	179	195	-	-	-
4,3	195	195	-	49	94	-
4,5	232	227	347	-	-	-
5,1	325	306	-	-	-	-

Tabell 7:7 Sammanställning av utvärderade och uppmätta skjuvhållfastheter från punkt SBUF 2, Tornhill. *Från odränerade skjuvförsök och odränerat triaxialförsök.



Figur 7:4 Sammanställning av skjuvhållfastheter från punkt SBUF 2, Tornhill. Medelvärde 2 avser medelvärde exklusive utvärdering från Hartlén och Jacobsen.

Nedan redovisas i laboratoriet uppmätt och de empiriskt uträknade modulerna.

Nivå (m u my)	M ₀ (MPa)	M ₀ ur OCR (MPa)	M ₀ från vingförsök (MPa)	M ₀ från lab. (MPa)	M ₀ * från lab. (MPa)	M ₀ ** (MPa)	M ₀ *** (MPa)	M ₀ **** (MPa)
0,5	13	12	16	-		14	14	15
0,8	9	10	-	12	10/5	9	8	15
1,1	19	18	18	-		18	18	85
1,2	24	23	-	-		15	23	85
1,6	94	80	128	-		101	101	85
1,8	110	92	-	-		58	101	85
2,1	113	96	153	-		121	121	85
2,6	120	103	>171	-		62	111	85
2,8	127	110	-	-		72	119	85
3,2	58	57	77	-		26	64	80
3,6	53	54	79	-	51/26/ 16/16	23	49	80
4,1	62	63	68	-		64	64	80
4,3	68	68	-	-		27	68	80
4,5	81	79	121	-		94	94	80
5,1	114	107	-	-		110	110	80

Tabell 7:8 Sammanställning av utvärderade och uppmätta moduler från punkt SBUF 2, Tornhill. *Modul enligt tabell 6:27, 6:29 och 6:30. **Modul framräknad från utritat medelvärde i figur 7.4 *** Modul framräknad från utritat medelvärde i figur 7.4 som ej tar hänsyn till samband enligt Hartlén och Jacobsen ****Modul framräknad från medelvärdesbildningen enligt kapitel 6.2.2.

Vid jämförelser mellan de olika värdena för de olika undersökningspunkterna kan man generellt se en stor spridning på beräknade moduler men om man medelvärdesbildar mellan olika försök och undersökningspunkter kan man se tendenser som kan användas för framtagande av moduler.

8. DISKUSSION OCH SLUTSATSER

Under arbetets gång har rekommendationer och standarder ändrats/tillkommit varpå arbetet har ändrat inriktning från att utvärdera skjuvhållfasthet i lermorän från CPT-sondering med en koppling till deformationsegenskaper till att endast inrikta sig på kopplingen mellan skjuvhållfasthet och modul. Detta beror på att en standard/rekommendation hur man ska utvärdera skjuvhållfastheten har utkommit under arbetets gång.

Målet med arbetet har varit att försöka hitta ett empiriskt samband mellan CPT-sondering och skånsk lermoräns ödometermodul. Utvärderingen var tänkt att kunna utföras som ett samband mellan den utvärderade odränerade skjuvhållfastheten och ödometermodulen. För att kunna uppnå detta har ett flertal fält- och laboratorieundersökningar utförts för att utvärdera den odränerade skjuvhållfastheten och därefter har jämförelser mellan denna och modulen utförts.

Lermorän är per definition en heterogen jordart varpå resultaten varierar kraftigt. Detta i kombination med att laboratorieförsöken var svåra att genomföra pga. skikt med friktionsjord i lermoränen ej ger helt rättvisande resultat har inte något tillfredsställande samband erhållits. Vidare har utvärderingar av skjuvhållfastheten enligt tidigare avhandlingar ej gett tillfredsställande resultat. Detta kan troligen förklaras med att enbart ett fåtal laboratorieförsök har kunnat utföras inom ramen för detta projekt samt att sambanden ej har utförts på den aktuella typen av lermorän. Fler laboratorieförsök hade troligtvis kunnat ge mer samstämmiga resultat. Man kan i vidare arbete dock se om mer samstämmiga resultat hade erhållits om de här sambanden hade exkluderats.

Som underlag för ordinär projektering rekommenderas att undersökningar i huvudsak utförs med CPT-sondering som kombineras med vingförsök och provtagning med Americanerrör alternativt Geobor-S. På de ostörda provkropparna som är större än en vanlig standardkolv utförs triaxialförsök för att erhålla de korrekta modulerna. Även om lerhalten är relativt hög i lermoränen ger inte en standardkolv tillräckligt bra prover för att utföra rekorderliga laboratorieundersökningar.

Då erhållet resultat ej är helt tillfredsställande och vidare försök ej rymts inom detta projekt rekommenderas som underlag inför fortsatt arbete att ostörd provtagning av typ Americanerrör eller Geobor-S utförs i stor omfattning koncentrerat på en av de aktuella fältlokalerna. Laboratorieförsöken bör utföras i stor omfattning med avseende på nivåer för provtagning och antalet försök för att kontrollera repeterbarhet i försöken. Detta bör utföras för att erhålla en större möjlighet till korrelation mellan empiriskt utvärderad modul i enlighet med t.ex. Citytunnelprojektet, som i dagsläget ger mest information om deformationsegenskaperna, och laboratorieförsök på ostörda prover i form av

Utvärdering av hållfasthets och deformationsegenskaper hos skånsk lermorän

Utvärdering av resultat

triaxialförsök alternativt ödometerförsök där modulen bestäms vid den andra pålastningsgrenen inom aktuellt spänningsintervall.

9. REFERENSER

- Bergdahl, U. Malmberg, B. Ottosson, E. 1993.** Plattgrundläggning. Statens Geotekniska Institut, Linköping.
- Citytunneln, 2003.** Projekteringsunderlag Geoteknik, Principer för utvärdering och beräkningar, Entreprenad E301, E302
- DGF.** Referenceblad for vingeforsøg. Dansk Geoteknisk Forenings Feltkomité, Revision 3, August 1999.
- Dueck, A. 1994.** Reference site for clay till. Avdelningen för Teknisk Geologi, Lunds Tekniska Högskola, Lund, Sverige. ISRN LUTVDG/TVTIG-3050-SE.
- Hartlén, J. 1974.** Skånska moränlerors hållfasthets- och bärighetsegenskaper. Rapport R7:1974. Bygghögskolan. Avhandling. Institution för geoteknik med grundläggning, Chalmers Tekniska Högskola, Göteborg.
- Jacobsen, M. 1967.** Morænelers geotekniske egenskaber. Licentiatavhandling, Danmarks tekniske Højskole, København. Nytryckt av Aalborg Universitetscenter 1994
- Jacobsen, M. 1970.** Strength and deformation properties of preconsolidated moraine clays. Dansk geoteknisk institut, Bulletin No27, København.
- Larsson, R. 1992.** CPT-sondering. Utrustning – utförande – utvärdering. En in-situ metod för bestämning av jordlagerföljd och egenskaper i jord. Statens Geotekniska Institut, Linköping. Information Nr. 15. (Reviderad 2007)
- Larsson, R. 2000.** Lermorän – en litteraturstudie. Statens Geotekniska Institut, Linköping. Varia 480.
- Larsson, R. 2001.** Investigations and Load Tests in Clay Till. Statens Geotekniska Institut, Linköping. Rapport 59.
- Larsson, R. Åhnberg, H. 2003.** Utvärdering av skjuvhållfasthet och förkonsolideringstryck från vingförsök, CPT-sondering och dilatometerförsök. Statens Geotekniska Institut, Linköping. Varia 528.
- Leveen, F. & Palm, M. 2000.** Utvärdering av kombinerad resistivitets- och CPT-sond. Avdelningen för Teknisk Geologi, Lunds Tekniska Högskola, Lund, Sverige. ISRN LUTVDG/TVTIG-5073-SE.

Utvärdering av hållfasthets och deformationsegenskaper hos skånsk lermorän

Möller, B. Svensson, M. 2001. Geophysics in soil mechanics – in situ shear moduli determined by SASW-technique and more traditional geotechnical methods. Statens Geotekniska Institut, Linköping. Varia 508.

SGF. 1992. SGF Rapport 1:93, Rekommenderad standard för CPT-sondering. Linköping.

SGF. 1993. SGF Rapport 2:93, Rekommenderad standard för vingförsök i fält. Linköping.

SGF. 1996. SGF Rapport 1:96, Geoteknisk fälthandbok. Allmänna råd och metodbeskrivningar. Linköping.

SGI. Statens Geotekniska Institut. 2007. Användarmanual CONRAD®, version 3.

SGU. Sveriges Geologiska Undersökning. 1980. Ser. Ae nr 38, Malmö SO, Jordartskarta med tillhörande beskrivning.

SGU. Sveriges Geologiska Undersökning. 1987. Ser. Ae nr 85, Malmö NO, Jordartskarta med tillhörande beskrivning.

Trafikverket. 2011. TK Geo 11. Trafikverkets tekniska krav för geokonstruktioner. Publikation 2011:047.

www.eniro.se