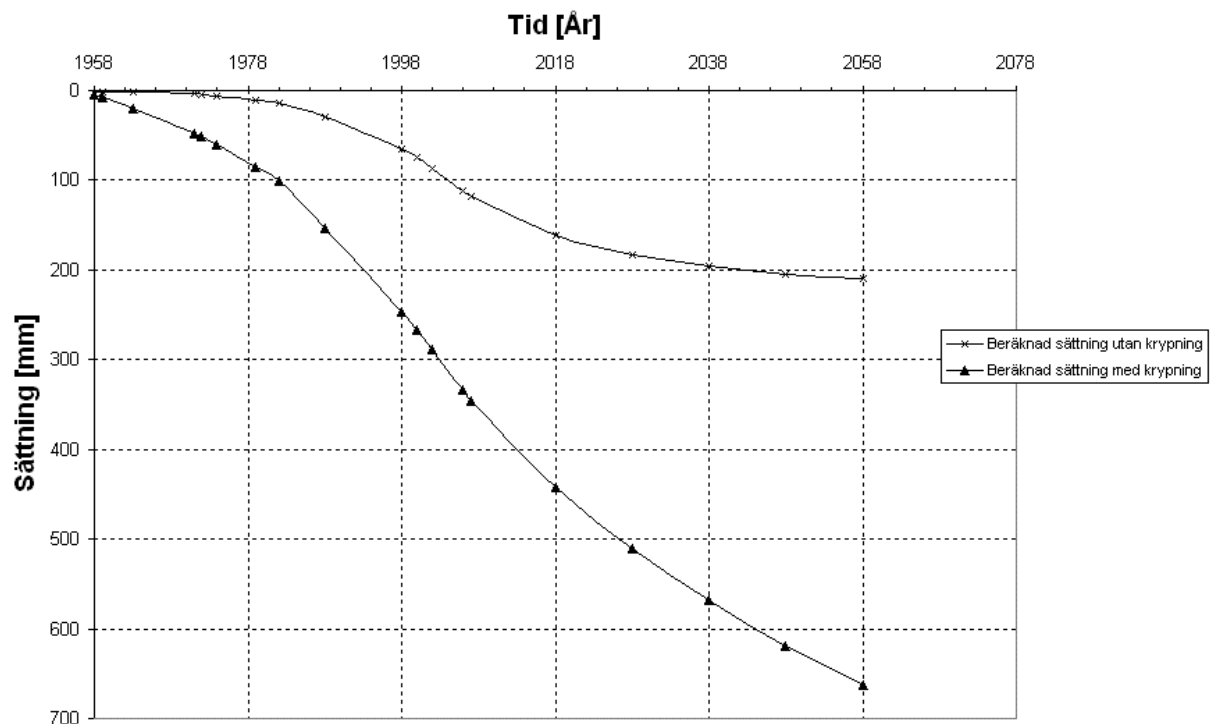




Prognos för krypsättningar på Götaslätten

Examensarbete inom civilingenjörsprogrammet Väg- och vattenbyggnad

HANNA KARLSTRÖM

JOSEFIN MOBERG

Institutionen för Bygg- och miljöteknik
Avdelningen för Geologi och geoteknik
Forskargrupp Geoteknik
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg 2007
Examensarbete 2007:127

EXAMENSARBETE 2007:127

Prognos för krypsättningar på Götaslätten

Examensarbete inom civilingenjörsprogrammet Väg- och vattenbyggnad

HANNA KARLSTRÖM

JOSEFIN MOBERG

Institutionen för Bygg- och miljöteknik
Avdelningen för Geologi och geoteknik
Forskargrupp Geoteknik
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg 2007

Prognos för krypsättningar på Götaslätten
Examensarbete inom civilingenjörsprogrammet Väg- och vattenbyggnad
HANNA KARLSTRÖM
JOSEFIN MOBERG

© HANNA KARLSTRÖM, JOSEFIN MOBERG 2007

Examensarbete 2007
Institutionen för Bygg- och miljöteknik
Avdelningen för Geologi och geoteknik
Forskargrupp Geoteknik
Chalmers Tekniska Högskola
412 96 Göteborg
Telefon: 031-772 10 00

Tryckeri: Chalmers reproservice
Göteborg 2007

Prognosis for creep settlements at Götaslätten

Master's Thesis in the Master Degree Programme Civil Engineering

HANNA KARLSTRÖM

JOSEFIN MOBERG

Department of Civil and Environmental Engineering

Division of GeoEngineering

Geotechnical Engineering Research Group

Chalmers University of Technology

ABSTRACT

The Swedish Geotechnical Institute has been commissioned by the municipality of Lilla Edet to investigate the problem with settlements at Götaslätten. The area is delimited by Göta Älv in the West and a mountain slope in the East and is characterized by a low-lying landscape with huge clay stratum. In order to improve the stability close to Göta Älv deep-draining wells and ground water pumps were installed in the late 1950's. After these preventive measures, settlements have been observed in the surrounding area. This master's thesis is aimed to take out a prognosis for the settlements in a housing area situated below the mountain slope in the East where settlements have been measured since the middle of 1990's. This analysis was developed from existing and complemented ground investigations. Settlements have been calculated from the time when the ground was unaffected and 100 years forward. The calculation points in the housing area were chosen where the information of soil layer sequence, change of pore water pressure and measured settlements have been estimated as sufficient. A ground model was built in two sections of the housing area with the program application GeoSuite Settlement and thereafter a sensitivity analysis was made. Calculated settlements have been compared with the trend of measured settlements. Since GeoSuite isn't yet an established program its calculation model was validated through a comparing model in the program Embankco. In the southern section of the housing area the calculation results indicate that the total settlement after 100 years as most will reach up to about 1 m where 50 % already is developed. In the northern section of the housing area corresponding calculations show a more developed settlement today and also a slightly larger total settlement after 100 years.

Key words: settlement, consolidation, creep, pore pressure, clay, GeoSuite, Embankco.

Prognos för krypsättningar på Götaslätten

Examensarbete inom civilingenjörsprogrammet Väg- och vattenbyggnad

HANNA KARLSTRÖM

JOSEFIN MOBERG

Institutionen för Bygg- och miljöteknik

Avdelningen för Geologi och geoteknik

Forskargrupp Geoteknik

Chalmers Tekniska Högskola

SAMMANFATTNING

Statens Geotekniska Institut, SGI, har blivit inkopplade på uppdrag av Lilla Edets kommun för att utreda sättningsproblematiken på Götaslätten. Området karakteriseras av ett låglänt landskap med stora lermäktigheter som i väst avgränsas av Göta Älv och i öst av ett högre bergsparti. För att förbättra stabiliteten ner mot Göta Älv har dränering och pumpning pågått sedan slutet av 1950-talet. Efter dessa stabilitetsförbättrande åtgärder har man uppmärksammat sättningar i området. Detta examensarbete syftar till att ta fram en översiktlig sättningsprognos för ett villaområde beläget strax intill bergspartiet i öst där sättningar har uppmätts sedan mitten av 1990-talet. Analysen har byggts upp utifrån befintliga och kompletterande grundundersökningar. Beräkningar har utförts från dess att marken var opåverkad och 100 år framåt för de punkter i villaområdet där informationen om jordlagerföljd, jordegenskaper, portrycksförändring samt uppmätta sättningar har bedömts vara tillräcklig. En grundmodell har byggts upp i två sektioner av villaområdet med hjälp av programvaran GeoSuite Settlement varefter en känslighetsanalys har utförts. Beräknade sättningar har jämförts med trenden för uppmätta sättningar. Eftersom GeoSuite är en ny programvara har dess beräkningsmodell validerats genom att i det etablerade programmet Embankco bygga upp en jämförelsemodell. I den södra delen av villaområdet tyder beräkningsresultaten på att totalsättningen efter 100 år som mest kan komma att uppgå till omkring 1 m varav ca 50 % redan har uppstått. I den norra delen av villaområdet ger motsvarande beräkningar något större och längre framskridna totalsättningar för samma tidpunkt.

Nyckelord: sättning, konsolidering, krypning, portryck, lera, GeoSuite, Embankco

Innehåll

ABSTRACT	I
SAMMANFATTNING	II
INNEHÅLL	III
FÖRORD	VI
BETECKNINGAR	VII
1 INLEDNING	1
1.1 Bakgrund	1
1.2 Syfte och målsättning	1
1.3 Avgränsning	1
1.4 Metod	1
2 LITTERATURSTUDIE	3
2.1 Jordens egenskaper	3
2.1.1 Spänningstillstånd	3
2.1.2 Deformationsegenskaper	4
2.1.3 Jordens spänningshistoria	4
2.2 Klassisk sättningsteori	5
2.2.1 Primär konsolidering	6
2.2.2 Sekundär konsolidering	7
2.3 Krypteori	8
2.3.1 Kompressionsindex, C_α	9
2.3.2 Krypfaktorn, α_s	10
2.3.3 Tidsmotståndstalet, r_s	11
2.4 Geologisk åldring	12
2.5 Beräkningsprogram	13
2.5.1 GeoSuite Settlement	13
2.5.2 Embankco	16
2.6 Fältundersökningar	18
2.6.1 Skruvprovtagning	18
2.6.2 Trycksondering	18
2.6.3 CPT-sondering	19
2.6.4 Kolvprovtagning	19
2.6.5 Portrycksmätning	20
2.7 Laboratorieundersökningar	21
2.7.1 Rutinundersökning	21
2.7.2 Ödometerförsök	25
3 OMRÅDESBESKRIVNING GÖTASLÄTTEN	29
3.1 Topografi	29

3.2	Hydrogeologi	29
3.3	Geologi	30
4	BAKGRUND OCH PROBLEMBESKRIVNING	31
4.1	Tidigare stabilitets- och sättningsproblem	31
4.2	Nuvarande sättningsproblem	31
5	GRUNDUNDERSÖKNINGAR	32
5.1	Tidigare utförda grundundersökningar	32
5.2	Utförda sättningsmätningar	33
5.3	Kompletterande grundundersökningar	34
6	STUDERAT VILLAOMRÅDE	35
6.1	Topografi, hydrogeologi och geologi	35
6.2	Jordlagerföljd	36
6.3	Geotekniska parametrar	36
6.3.1	Parametrar framtagna vid rutinundersökning	36
6.3.2	Moduler	37
6.3.3	Spänningssituation	37
6.3.4	Kryppparametrar	38
6.4	Studerade sektioner	39
6.4.1	Sektion A-A	40
6.4.2	Sektion E-E	41
7	MODELLERING	42
8	OMRÅDETS PORTRYCKSHISTORIA	43
8.1	Sektion A-A	43
8.1.1	1950-talet	44
8.1.2	1970-talet	44
8.1.3	2000-talet	44
8.2	Sektion E-E	45
8.2.1	1950-talet	46
8.2.2	1970-talet	46
8.2.3	2000-talet	47
9	OMRÅDETS BELASTNINGSHISTORIA	48
10	BERÄKNINGAR	49
10.1	Grundmodell i GeoSuite	49
10.1.1	Beräkningspunkter	49
10.1.2	Indata-parametrar	50

10.1.3	Portryck	50
10.1.4	Laster	51
10.1.5	Känslighetsanalys	51
10.2	Jämförelsemodell i Embankco	52
10.2.1	Beräkningspunkter	52
10.2.2	Indata-parametrar	52
10.2.3	Portryck	52
10.2.4	Laster	53
10.3	Jämförelsemodell i GeoSuite	53
10.3.1	Beräkningspunkter	53
10.3.2	Indata-parametrar	53
10.3.3	Portryck	54
10.3.4	Laster	54
11	RESULTAT	55
11.1	Grundmodell i GeoSuite	55
11.1.1	Beräkningspunkt 8SGI, Sektion A-A	55
11.1.2	Beräkningspunkt 760, Sektion E-E	56
11.1.3	Beräkningspunkt 2SGI, Sektion E-E	57
11.2	Jämförelsemodell i Embankco och GeoSuite	58
12	SLUTSATS	61
13	DISKUSSION OCH FÖRSLAG TILL VIDARE UTREDNING	62
14	REFERENSER	63

APPENDIX

RITNINGAR

Förord

Detta examensarbete utgör en del i en utredning som SGI utför på uppdrag av Lilla Edets kommun. Syftet med arbetet har varit att utföra en sättningsprognos för ett villaområde på Götaslätten där krypeffekter har haft stor betydelse.

Examensarbetet har utförts under sommaren och hösten år 2007 vid institutionen för bygg- och miljöteknik på Chalmers Tekniska Högskola i Göteborg. Mats Olsson på SGI har handledat examensarbetet och Claes Alén har varit examinator.

Vi vill här passa på att tacka alla som har hjälpt oss på vägen.

Först av allt vill vi tacka vår handledare Mats som hjälpt oss i våra svåra stunder. Han har haft stort tålamod och ett gott humör under arbetets gång.

Åke Johansson, myndighetsansvarig på SGI, ska ha ett stort tack för att han har hjälpt till att starta upp och driva projektet framåt samt bistått med goda råd.

Tack till Paul Mäkele och Jan Erlandsson på Lilla Edets kommun för gott samarbete.

Karin Odén på GeoSigma samt Lars Nilsson och Siw Linder på Ramböll vill vi tacka, eftersom de bistått med att ta fram värdefullt material och bemött oss på ett så trevligt sätt.

Tack Lennart Nilsson och Mari Manderstedt för en givande dag på Rambölls lab.

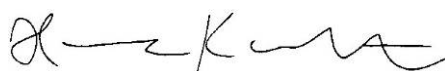
Vi vill tacka Peter Hedborg som har hjälpt oss med försök och utvärdering av prover i Chalmers lab.

Leif Alfredsson, fältgeotekniker på GF Konsult, ska ha ett tack för att han tog oss med ut i fält en solig junidag.

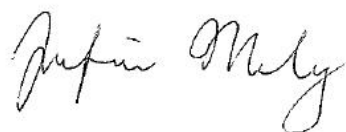
Ett stort tack till Anders Linder och Jan Ludvigsson på ViaNova som har hjälpt oss med programvara samt bjudit in till en trevlig användarträff.

Sist men inte minst vill vi säga tack till Claes Alén som från allra första början kontaktade oss angående examensarbetet.

Göteborg, november 2007



Hanna Karlström



Josefin Moberg

Beteckningar

Versaler

C_α	Kompressionsindex [-]
M	Kompressionsmodul, ödometermodul [kPa]
M_0	Kompressionsmodul för spänningar $\sigma'_0 < \sigma'_c$ [kPa]
M_L	Kompressionsmodul för spänningar $\sigma'_c < \sigma'_0 < \sigma'_L$ [kPa]
M'	Modultal för spänningar $\sigma'_0 > \sigma'_L$ [kPa/m]
OCR	Överkonsolideringsgrad [-]
R	Tidsmotstånd [år]
S_t	Sensitivitet [-]
T_v	Tidsfaktor [-]
U_v	Medelkonsolideringsgrad [%]

Gemener

a_0	Faktor för modell av modul enligt Claesson, 2003 [-]
a_1	Faktor för modell av modul enligt Claesson, 2003 [-]
b_0	Faktor för normaliserad effektivspänning vid kryptal r_0 [-]
b_1	Faktor för normaliserad effektivspänning vid kryptal r_1 [-]
c_v	Konsolideringskoefficient [m^2/s]
d	Dräneringsväg [m]
e	Portal [-]
g	Gravitationskonstant [m/s^2]
i	Konintryck [mm]
k	Permeabilitet [m/s]

m	Massa [g, kg, ton]
q	Kraft [N]
r_s	Tidsmotståndstal [-]
r_0	Tidsmotståndstal vid kryptstart för $\sigma' \leq b_0 \cdot \sigma'_c$ [-]
r_1	Tidsmotståndstal för $\sigma' \geq b_1 \cdot \sigma'_c$ [-]
s	Sättning [m]
t	Tid [s, d, år]
t_r	Referenstid [s, d, år]
t_r	Tid när R-t-kurvan närmar sig en rät linje [s, d, år]
u	Portryck [kPa]
u_b	Portryck i botten av provkropp vid CRS-försök [kPa]
w_i	Vattenkvot för omrört prov vid konintrycket i [%]
w_L	Konflytgräns [%]
w_N	Naturlig vattenkvot [%]
z	Djup [m]

Grekiska alfabetet

α_s	Krypfaktor, koefficient för sekundär kompression [-]
β_{α_z}	Koefficient för förändring i sekundär kompression [-]
β_k	Koefficient för förändring av permeabilitet [-]
ε	Töjning [%]
ε_{ep}	Elasto-plastisk töjning [%]
ε_{cr}	Kryptöjning [%]
$\dot{\varepsilon}$	Kryphastighet [mm/år]

γ	Tunghet [kPa/m ³]
γ_w	Tunghet för vatten [kPa/m ³]
μ	Korrektionsfaktor [-]
ρ	Skrymdensitet [t/m ³]
ρ_w	Densitet för vatten [t/m ³]
σ_0	Totalspänning [kPa]
σ'_0	Effektivspänning [kPa]
σ'_c	Förkonsolideringstryck [kPa]
σ'_L	Gränstryck [kPa]
τ_{fu}	Odränerad skjuvhållfasthet [kPa]
τ_k	Skjuvhållfasthet från konförsök [kPa]
τ_R	Omrörd skjuvhållfasthet [kPa]

Förkortningar

<i>CRS</i>	Constant Rate of Strain
<i>OCR</i>	Over Consolidation Ratio
<i>SGI</i>	Statens Geotekniska Institut
<i>NGI</i>	Norges Geotekniska Institut

1 Inledning

Götaslätten är belägen i den dalgång som sträcker sig mellan samhällena Göta och Lilla Edet. Slätten avgränsas av Göta Älv i väster och ett bergsparti i öster.

1.1 Bakgrund

Under slutet av 1950-talet fram till mitten av 1960-talet utfördes förstärkningsåtgärder för att öka stabiliteten ner mot Göta Älv. Bland annat installerades djupdränerande filterbrunnar och grundvattenpumpar för att sänka grundvattennivån inom området intill älven.

Alltsedan 1960-talet har sättningar uppmärksamats på Götaslätten. Dessa sättningar uppvisar inga tendenser att avstanna och är med tanke på befintlig och framtida bebyggelse av intresse att utreda.

Sättningar har uppmätts sedan mitten av 1990-talet i ett villaområde beläget strax öster om Europaväg 45. I samband med den planerade utbyggnaden av vägen aktualiseras därför problemen med den stabilitetshöjande grundvattensänkningen, som har utförts inom området, kontra sättningsproblematiken.

1.2 Syfte och målsättning

Statens Geotekniska Institut, SGI, har blivit inkopplade på uppdrag av Lilla Edets kommun för att utreda sättningsproblematiken i området. Syftet med detta examensarbete är att upprätta en sättningsprognos för det aktuella villaområdet. Ett mätprogram har upprättats för att följa upp grundvattentrycket samt sättningarna inom området. Utifrån de resultat som ges av sättningsprognosen kommer eventuella sättningsförbättrande åtgärder att övervägas. Sådana åtgärder kan eventuellt äventyra stabiliteten ner mot Göta Älv och en stabilitetsutredning kan därför bli nödvändig framöver. Examensarbetets målsättning är att behandla följande punkter:

- Uppskatta hur stora sättningar som hittills har uppstått inom villaområdet från dess att marken bebyggdes. Beräkningar utförs med hänsyn till krypning.
- Ta fram en prognos för hur det fortsatta sättningsförloppet tenderar att se ut.

1.3 Avgränsning

Då problematiken inom området är omfattande och komplex har examensarbetet avgränsats till att omfatta en prognos för sättningarna inom villaområdet. Eventuella sättningsförbättrande åtgärder och dess effekter kommer inte att behandlas. Orsakerna till sättningarna kommer ej heller att utredas grundligare.

1.4 Metod

En stor mängd geotekniska undersökningar har tidigare utförts inom området och en betydande del i examensarbetet har därför bestått i att inventera, sammanställa och utvärdera detta material.

Kompletterande fältundersökningar har utförts inom det specifika villaområdet för att kunna koppla dess geotekniska och hydrogeologiska förhållanden till den mer komplexa helheten.

Utifrån den information som funnits tillgänglig för villaområdet har en beräkningsmodell upprättats. Sättningsförloppet har studerats i två olika sektioner av villaområdet. I dessa sektioner har informationen bedömts vara tillräcklig för att kunna bygga upp en beräkningsmodell som kan anses motsvara det verkliga sättningsförloppet.

Förloppet har studerats från år 1958, med rådande naturliga förhållanden i marken innan grundvattensänkningen utfördes, och 100 år framåt. I sättningsproblematiken kommer krypeffekter att utgöra en väsentlig del.

Beräkningar har till största del utförts med hjälp av programvaran GeoSuite Settlement. Beräkningsresultaten har verifierats mot uppmätta sättningar för en kortare tidsperiod. För att verifiera beräkningsmodellen i GeoSuite har beräkningar även utförts i vissa punkter med programmet Embankco.

2 Litteraturstudie

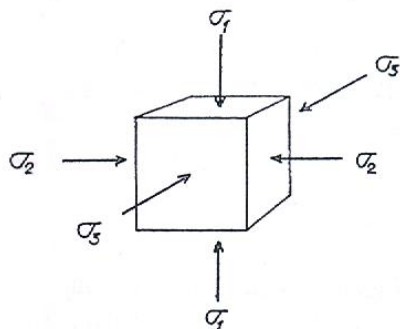
I följande kapitel sammanfattas den litteraturstudie som gjorts inför examensarbetet. Syftet med litteraturstudien var att ta reda på vad forskare tidigare har kommit fram till inom ämnesområdet. Inledningsvis beskrivs jordens egenskaper och beteende vid belastning. Därefter följer grunderna i sättningsteori för att sedan byggas på med teorierna runt krypning samt geologisk åldring i jord. Avslutningsvis beskrivs teorierna bakom beräkningsprogrammen samt fält- och laboratorieundersökningar.

2.1 Jordens egenskaper

Jord är ett trefasmaterial som utgörs av korn, vatten och gas. Kornen bildar ett kornskelett med hålrum som antingen är fyllda med vatten, gas eller en blandning av dessa.

2.1.1 Spänningstillstånd

Då ett jordelement studeras in-situ utsätts det för både vertikala och horisontella spänningar, som i stort sett uteslutande utgörs av tryck, se Figur 2.1. Oftast är vid horisontell markyta vertikalspänningen den största huvudspänningen, σ_1 , och orsakas av ovanliggande jords tunghet. De två övriga huvudspänningarna är horisontella och lika stora, $\sigma_2 = \sigma_3$.



Figur 2.1 Huvudspänningsriktningar på ett belastat jordelement i marken (Sällfors, 2001).

Spänningar som uppstår på grund av egentygden från ovanliggande jord eller påförd belastning tas upp av kornskelettet och porvattnet. Den del av totalspänningen, σ , som tas upp av kornskelettet kallas effektivspänning, σ' , och den del som tas upp av vattnet kallas portryck, u . Detta samband beskrivs enligt:

$$\sigma = \sigma' + u \quad (2.1)$$

Den parameter som är av intresse med avseende på sättningar är effektivspänningen. För att ta fram denna krävs att portrycket mäts samt att jordens skrymdensitet utvärderas. Därefter används ekvation (2.1) för att erhålla effektivspänningen som funktion av djupet.

2.1.2 Deformationsegenskaper

Jord är ett anisotropt, inhomogent material med egenskaper som är kraftigt beroende av bland annat spänningsnivån. Därför är även jordens spänningshistoria viktig att ta hänsyn till. Dessutom kompliceras situationen ytterligare av att jord är ett trefasmaterial där vatten spelar en väsentlig roll. En jords komplexa sammansättning och egenskaper gör att man vid beräkning tvingas göra flera förenklingar och antaganden. I princip bygger beräkningsmetoderna på elasticitetsteorin där jorden ses som ett kontinuerligt, linjärelastiskt medium.

Jordens hållfasthet, d.v.s. dess deformationsmotstånd, beskrivs med hjälp av en kompressionsmodul, M . För att ta fram modulen för olika spänningsintervall utförs ödometerförsök på ostörda lerprover i laboratorium, se Kapitel 2, stycke 2.7.2.

2.1.3 Jordens spänningshistoria

Förkonsolideringstrycket definieras som det högsta effektiva vertikalktryck som en jord har varit utsatt för. Om förkonsolideringstrycket är lika stort som den rådande effektivspänningen sägs jorden vara normalkonsoliderad. I det fall då den aktuella effektivspänningen är lägre än förkonsolideringstrycket benämns jorden som överkonsoliderad. En lera betraktas alltså som överkonsoliderad då den tidigare har varit utsatt för en högre effektivspänning än den som råder vid tillfället. Överkonsolidering kan uppträda i de fall då jorden avlastas, t.ex. genom höjning av grundvattennivån eller erosion. Även åldringsprocesser i jorden kan leda till överkonsolidering, se även Kapitel 2, stycke 2.4.

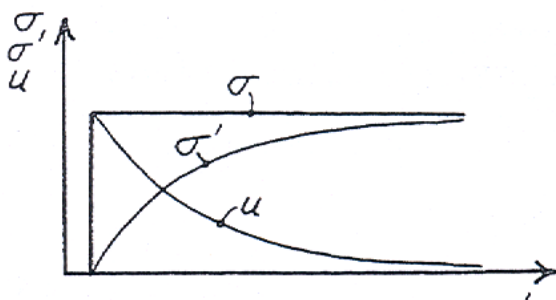
Man talar om svagt respektive starkt överkonsoliderad jord beroende på hur mycket större förkonsolideringstrycket, σ'_c , är än effektivspänningen, σ'_0 . Överkonsolideringsgraden, OCR, beskrivs enligt:

$$OCR = \frac{\sigma'_c}{\sigma'_0} \quad (2.2)$$

Överkonsolidering är positivt vid byggnation eftersom kompressionsmodulen för spänningar under förkonsolideringstrycket är hög. Detta medför att deformationerna blir måttliga.

2.2 Klassisk sättningsteori

Då en vattenmättad jord belastas uppstår ett porövertryck som måste utjämnas. Till en början bär porvattnet den största delen av lasten varefter den successivt överförs till kornskelettet. Detta innebär att portrycket minskar samtidigt som effektivspänningen ökar, se Figur 2.2.



Figur 2.2 Visualisering av lastöverföring mellan porvatten och kornskelett (Sällfors, 2001).

Denna utjämnning sker genom volymminskning under vattenavgång vilket brukar benämnas konsolidering. Vid högpermeabla jordar sker denna konsolidering momentant. Vid lågpermeabla jordar, såsom lera, sker konsolideringen under tidsfördröjning.

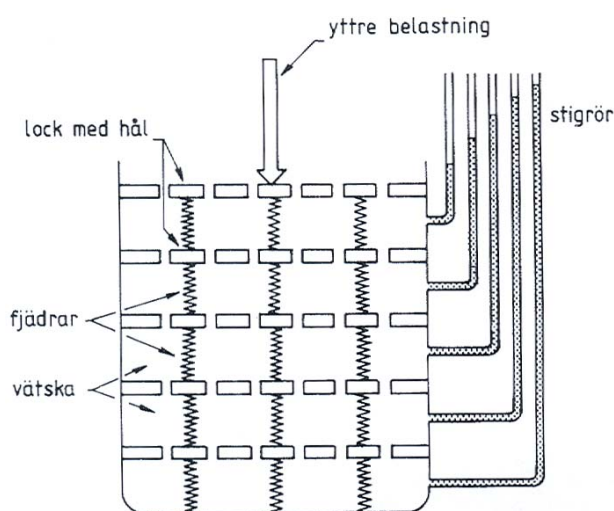
I den klassiska sättningsteorin delas konsolideringsförloppet in i två delar: primär och sekundär konsolidering. Den primära konsolideringen innebär deformationer p.g.a. porövertrycksutjämnning som utgörs av en momentan respektive tidsbunden del. Den sekundära konsolideringen utgörs här av krypning.

I den enklaste formen antas den sekundära konsolideringen starta först efter det att samtliga porövertryck har utjämnats och sker därefter med kontinuerligt avtagande hastighet (Larsson, 1994). Emellertid har omfattande laboratorie- och fältstudier påvisat att dessa två förlopp i realiteten troligtvis sker parallellt med varandra. Den klassiska konsolideringsteorin är tillämpbar i ett kortare tidsperspektiv medan effekten av krypning spelar stor roll i ett längre tidsperspektiv.

2.2.1 Primär konsolidering

Terzaghi utvecklade år 1923 grunden till den klassiska endimensionella konsolideringsteorin, där hänsyn endast tas till vattenströmning i vertikalled. Den bygger på antagandet om att det finns ett unikt samband mellan tillskottsspänning och kompression efter konsolideringen, då alla porövertryck som uppkommit vid lastpåläggningen har utjämnats.

Detta förlopp kan förenklat beskrivas genom en reologisk modell, se Figur 2.3, där fjädrarna och vätskan principiellt beskriver kornskelettet respektive porvattnet. Då en yttre last påförs kommer kraften till en början att tas upp av porvattnet, för att successivt överföras till kornskelettet allteftersom vattnet pressat ut. Stigrören illustrerar att trycket är högre på större djup.



Figur 2.3 Reologisk modell för endimensionell primär konsolidering (Andréasson et al, 1986).

Vid beräkning av konsolideringsförloppet antas modulen, M , och permeabiliteten, k , vara konstanta över tiden, oberoende av att spänningsnivån förändras och att porerna i jorden trycks samman. Detta samband är oberoende av tid och dräneringsvägar och brukar benämnas Terzaghis konsolideringsekvation:

$$\frac{\partial u}{\partial t} = \frac{k \cdot M}{\gamma_w} \cdot \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \quad (2.3)$$

Ovanstående ekvation kan förenklas genom införande av konsolideringskoefficienten, c_v , och kan då skrivas som:

$$\frac{\partial u}{\partial t} = c_v \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \quad (2.4)$$

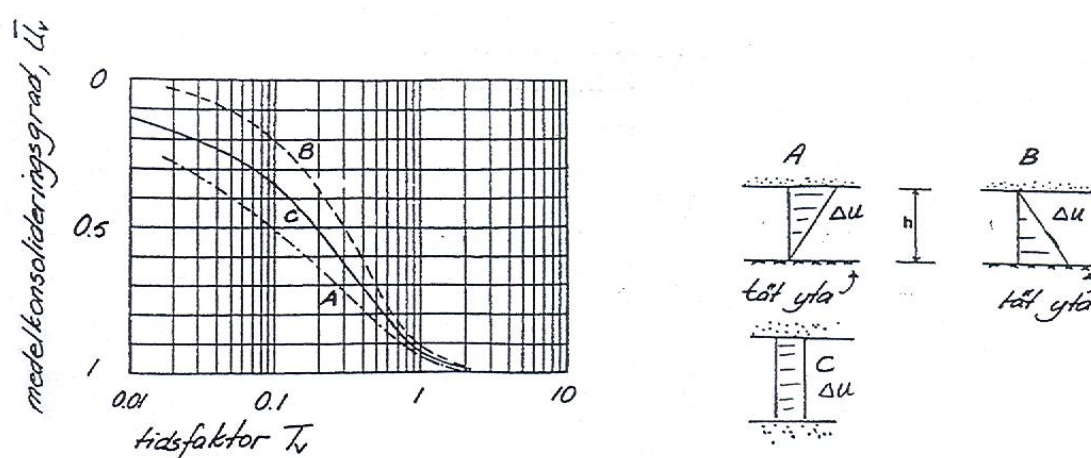
$$c_v = \frac{k_v \cdot M_L}{\gamma_w} \quad (2.5)$$

År 1936 lade Terzaghi fram en modell för att beräkna konsolideringsgraden genom införande av en tidsfaktor, T_v , som beror av tiden, t , och dräneringsvägen, d , och beräknas enligt:

$$T_v = c_v \cdot \frac{t}{d^2} \quad (2.6)$$

Med hjälp av tidsfaktorn samt information om rådande dräneringsförhållanden erhålls, utifrån diagrammet i Figur 2.4, ett värde på medelkonsolideringsgraden, U_v , i procent. Detta värde multipliceras sedan med den beräknade konsolideringssättningen. Denna del av konsolideringssättningen adderas slutligen med den momentana sättningen för att erhålla den totala sättningen vid aktuell tidpunkt (Sällfors, 2001) enligt:

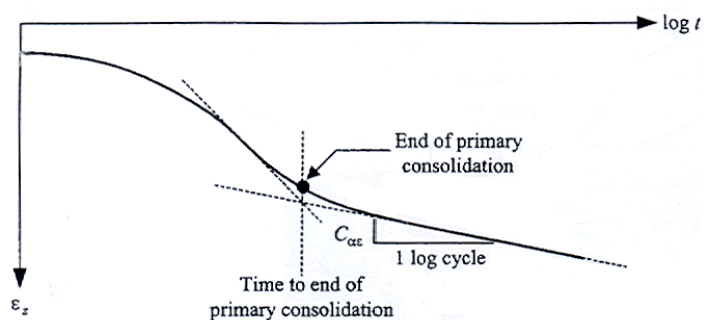
$$s = s_{mom} + U_v \cdot s_{kons} \quad (2.7)$$



Figur 2.4 Diagram för framtagande av medelkonsolideringsgrad (Sällfors, 2001).

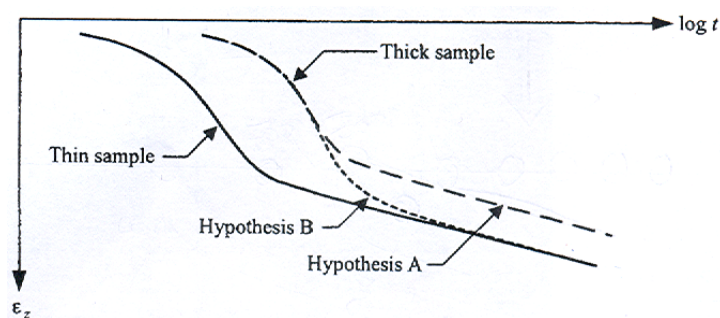
2.2.2 Sekundär konsolidering

Den punkt där den primära konsolideringen upphör brukar benämnas EOP - End of Primary Consolidation, se Figur 2.5. Teorierna går isär då man ska definiera var denna punkt ligger. Oenigheten berör dock ej det faktum att krypning existerar, bekymret är att bestämma när krypsättningar startar, d.v.s. att bestämma referenstiden.



Figur 2.5 EOP, brytpunkt mellan primär och sekundär konsolidering (Augustesen et al, 2004).

I dagsläget finns två välkända synsätt i denna fråga som brukar benämnas Hypotes A och Hypotes B (Augustesen et al, 2004).



Figur 2.6 Illustration av Hypotes A och B (Augustesen et al, 2004).

2.2.2.1 Hypotes A

Enligt den första teorin tror man att referenstiden motsvarar tidpunkten för EOP. Värdet på referenstiden varierar då med dräneringslängd, d.v.s. jordlagrets tjocklek, Figur 2.6. Töjningen antar ett unikt värde vid EOP vilket motsvarar det faktum att jorden inte uppvisar någon tidsberoende krypning under portrycksutjämningen. Således uppstår då krypning enbart efter den primära konsolideringen.

2.2.2.2 Hypotes B

Enligt den andra teorin tror man att referenstiden är en parameter som kopplas till en given jordart. Det betyder att referenstiden är oberoende av dräneringsförhållanden och jordtjocklek. Hypotesen bygger på att krypning förekommer under hela konsolideringsprocessen.

Denna hypotes presenterades år 1957 av Suklje och bygger på att hela spännings-deformationssambandet är tidsberoende och förändras kontinuerligt med deformationshastigheten, samt att den primära och sekundära konsolideringen sker parallellt. Tio år senare, år 1967, lade Bjerrum fram en liknande modell, som även den påvisade att primär och sekundär konsolidering ej är två separata förlopp.

Vilken av ovanstående hypoteser som bäst beskriver verkligheten har man dock ännu inte lyckats enas om. De båda hypoteserna skulle kunna ses som två extremfall där det verkliga förloppet eventuellt ligger någonstans däremellan. Flertalet framstående forskare har dock under årens lopp instämt i Hypotes B.

2.3 Krypteori

För att anamma den teori som de flesta forskare förespråkar kring konsolideringsförloppet kommer sekundär konsolidering i fortsättningen att benämnas krypning.

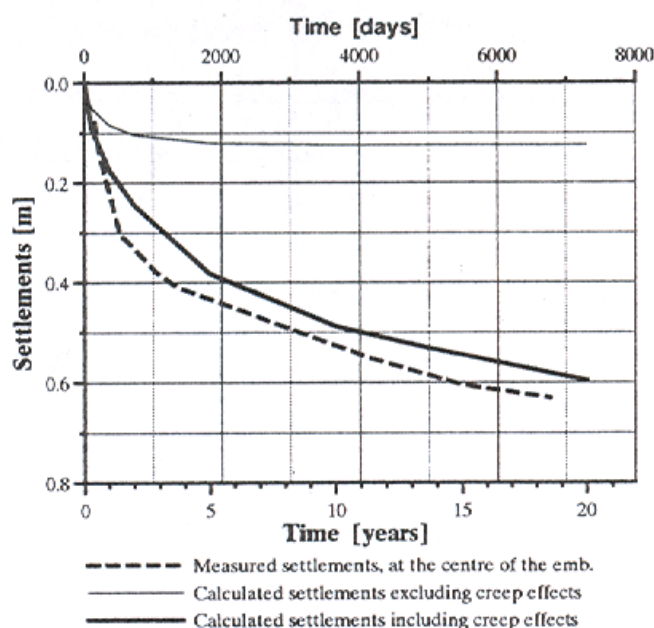
För lösa lerjordar vid låga effektivspänningar utgör enligt Larsson (1986) krypdeformationerna en obetydlig del fram till dess att 80 % av förkonsolideringstrycket uppnås. Härifrån tillväxer krypdeformationernas hastighet

kraftigt för att uppnå sitt maximum vid förkonsolideringstrycket, σ'_c , och för att därefter minska med ökande töjning.

Enligt Claesson (2003) är det aktuella spänningsintervallet för krypning något bredare. Utifrån de försök som han har utfört sker krypdeformationer av betydelse redan vid effektivspänningar från 70 % av förkonsolideringstrycket och däröver. Kryphastigheten har enligt denna teori sitt maximum vid en effektivspänning som snarare ligger strax efter förkonsolideringstrycket. För effektivspänningar däröver påvisar hans resultat en relativt konstant kryphastighet.

Efter det att förkonsolideringstrycket har uppnåtts sker krypningen parallellt med den tidsberoende delen av primärkonsolideringen. Den tid som åtgår för att utjämna porövertrycken kan uppgå till ett hundratal år medan krypsättningarna aldrig riktigt slutar helt, såvida ingen avlastning sker.

Ser man till den totala sättningen så sker den med en högre hastighet i fallet då krypdeformationer beaktas än vid fallet då endast primär konsolidering beaktas. Förklaringen till detta är att både sättningar orsakade av primär konsolidering och krypning superponeras, vilket utgör ett förlopp som bättre överensstämmer med det verkligt uppmätta, se Figur 2.7.



Figur 2.7 Uppmätta sättningar samt beräknade sättningar med och utan hänsyn till krypeffekter (Claesson, 2003).

2.3.1 Kompressionsindex, C_α

Den faktor som används internationellt för att beskriva krypbeteendet i lera är kompressionsindex, C_α . Detta index är en funktion av portalet, e , och definieras som:

$$C_\alpha = \frac{\Delta e}{\Delta \log(t)} \quad (2.8)$$

2.3.2 Kryp faktorn, α_s

Jordens krypbenägenhet uttrycks vanligtvis i Sverige genom krypfaktorn, α_s . Denna faktor är en funktion av deformationen, se Figur 2.8, och definieras enligt:

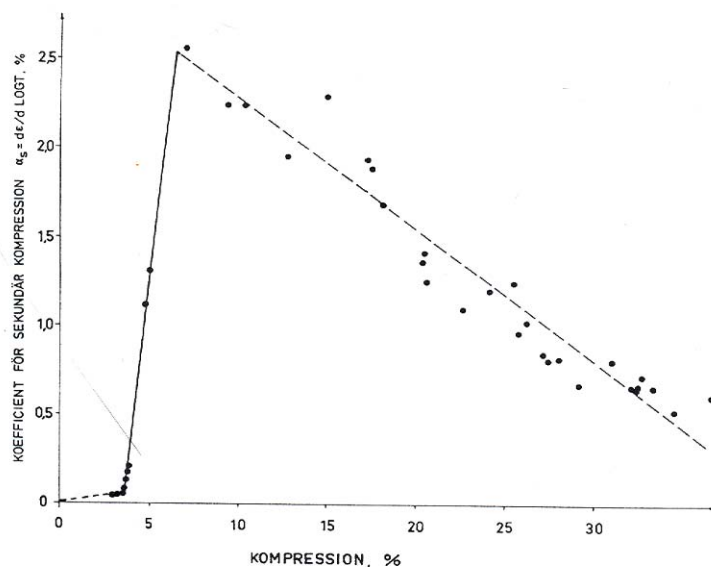
$$\alpha_s = \frac{\Delta \varepsilon_{cr}}{\Delta \log(t)} \quad (2.9)$$

Förhållandet mellan kompressionsindex och krypfaktorn uttrycks som:

$$\alpha_s = \frac{C_\alpha}{1 + e_0} \quad (2.10)$$

där $1 + e_0$ motsvarar den specifika volymen.

Krypfaktorn styr i sin tur kryphastigheten. Då krypfaktorn, α_s , har uppnått sitt maximala värde, d.v.s. vid förkonsolideringstrycket, avtar den med ökad töjning vilket beskrivs genom en faktor β_{α_s} .



Figur 2.8 Krypfaktorn som funktion av deformationen (Larsson et al, 1994).

Vattenkvoten och överkonsolideringsgraden kan ge ett bra jämförelsevärde på krypfaktorn som erhålls vid ödometerförsök. Enligt svensk empiri ökar krypbenägenheten med ökande naturlig vattenkvot. Däremot minskar krypbenägenheten kraftigt med ökande överkonsolideringsgrad. Vid OCR inom intervallet 1,0-1,25, motsvarande effektivspänningar mellan 80 och 100 % av förkonsolideringstrycket, uppstår de största krypdeformationerna. Detta samband kan även uttryckas som:

$$0,8 \sigma'_c < \sigma'_0 < 1,0 \sigma'_c$$

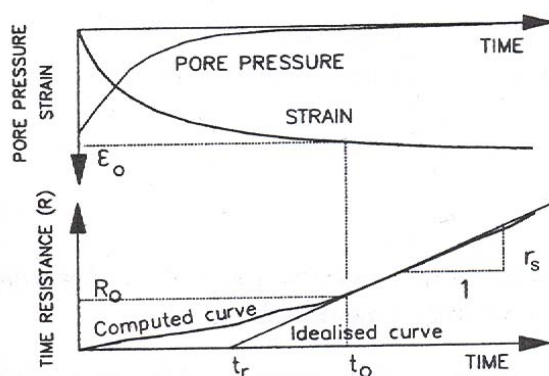
Om OCR överstiger 1,25 anses krypdeformationerna ske så långsamt att de saknar praktisk betydelse vid marginell belastning (Larsson et al, 1995).

2.3.3 Tidsmotståndstalet, r_s

Ytterligare en parameter som används för att beskriva krypbenägenheten är tidsmotståndet, R , som introducerades av Janbu (1969) och definieras som:

$$R = r_s \cdot (t - t_r) \quad (2.11)$$

Parametern r_s kallas tidsmotståndstalet. t_0 är den punkt varifrån tidsmotståndet, R , antas öka linjärt med tiden, vilket sker då porövertrycket har utjämnats, se Figur 2.9. t_r motsvarar referenstiden, där den räta linjen som beskriver R skär tidsaxeln. Referenstiden dras bort i ekvation (2.11) för att ta hänsyn till krypningens fördröjning. Enligt laboratieförsök startar krypningen först efter ca 24 timmar.



Figur 2.9 Tidsmotståndet, R , som en funktion av tiden för en lastökning (Claesson, 2003).

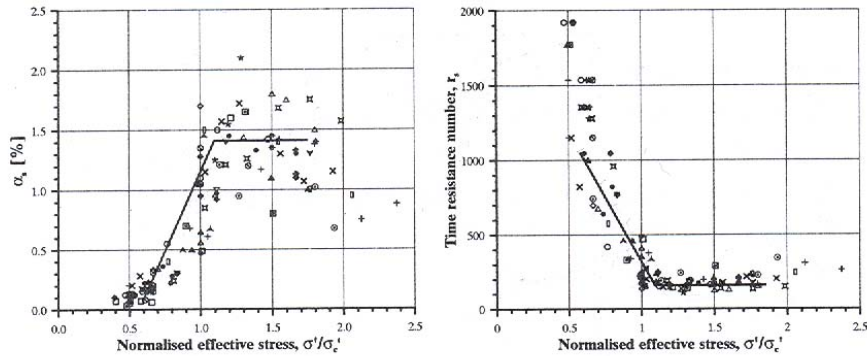
Kryphastigheten, $\dot{\varepsilon}$, motsvaras vidare av inversen av tidsmotståndet, d.v.s.:

$$\dot{\varepsilon} = \frac{1}{R} \quad (2.12)$$

Relationen mellan tidsmotståndstalet och krypfaktorn kan skrivas:

$$\alpha_s = \frac{\ln 10}{r_s} \quad (2.13)$$

Tidsmotståndstalet kan beräknas utifrån krypfaktorn som erhålls vid krypförsök. Förhållandet mellan dessa parametrar illustreras med ett exempel i Figur 2.10.

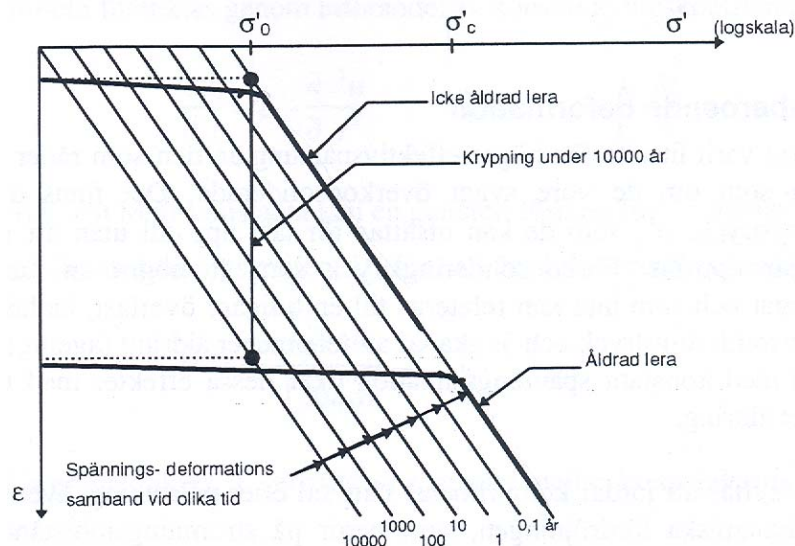


Figur 2.10 Exempel på hur spridningen på krypfaktorn kan se ut vid krypförsök samt dess relation till tidsmotståndstalet (Claesson, 2003).

2.4 Geologisk åldring

En normalkonsoliderad lera som utsätts för en konstant spänningssituation under mycket lång tid kommer att åldras. Med detta menas att leran kryper samtidigt som förkonsolideringstrycket successivt ökar.

Detta förlopp beskrivs enligt Bjerrums modell, se Figur 2.11, som presenterades år 1967. Modellen illustrerar tidens inverkan på sättningar för laster som verkar under lång tid. Den avser även att förklara överkonsolideringseffekter i naturlig jord på grund av geologisk åldring samt anledningen till att sättningar kan uppstå trots att förkonsolideringstrycket inte har överskridits. Bjerrums modell har visat sig överensstämja väl med de konsolideringsförlopp som har observerats i fält och i laboratorier då porövertrycken av belastningen i stort sett har utjämnats (Larsson et al, 1995).



Figur 2.11 Bjerrums modell för utveckling av kvasi-förkonsolideringstryck och hållfasthetsökning.

Sambandet mellan spänning och kompression för icke åldrad lera förskjuts med tiden och ett så kallat kvasi-förkonsolideringstryck uppkommer. Detta förkonsolideringstryck kan inte relateras till någon tidigare överlast. Åldringen medför att leran får en högre hållfasthet vilket är fördelaktigt ur belastningssynpunkt.

Vid kommande belastningstillfälle erhålls först en momentan deformation. Därefter sker ingen deformation av betydelse, under en konstruktions livslängd, förrän 80 % av kvasi-förkonsolideringstrycket uppnås (Larsson, 1986). När detta tröskelvärde uppnås kommer återigen betydande krypdeformationer att uppstå.

Så länge inga förändringar inträffar, såsom erosion eller mänskliga ingrepp, kommer leran att ha konstant spänningsbild, vilket möjliggör att åldringseffekter kan uppstå. Detta innebär att all lera är mer eller mindre åldrad beroende på när den har avsatts.

2.5 Beräkningsprogram

I följande kapitel beskrivs de båda beräkningsprogrammen som har använts i arbetet samt de teorier och beräkningsmodeller som dessa bygger på.

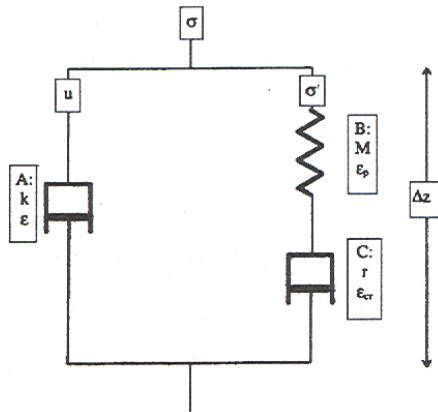
2.5.1 GeoSuite Settlement

GeoSuite Toolbox presenterades av ViaNova år 2006 och innehåller applikationen GeoSuite Settlement, som är ett verktyg för att beräkna framtida sättningar beroende på laster och portrycksförändringar. De olika icke-linjära jordmodellerna Janbu, Krykon och Chalmers kan användas, där det i de två sistnämnda finns möjlighet att ta hänsyn till tidsberoende krypeffekter. I detta arbete har beräkningar utförts enligt Chalmersmodellen både med och utan krypning.

2.5.1.1 Beräkningsmodell

Sättningar beräknas endimensionellt, i en punkt, genom antagande om enaxiell spänning och vertikalt porvattenflöde. Genom att utföra beräkningar för ett flertal punkter kan sättningar för en tvärsektion eller för en 3-dimensionell yta tas fram.

Den ovan nämnda Chalmersmodellen bygger på Terzaghis endimensionella konsolideringsteori med tillägg för krypeffekter och har utvecklats av Alén (1998). Den bygger på en hypotes om att de tidsberoende sättningarna i lera kan beskrivas utifrån tre olika fenomen; konsolidering (A), elasto-plastisk deformation (B) och krypdeformation (C), som sker parallellt. Detta kan illustreras med en reologisk modell, se Figur 2.12.



Figur 2.12 Reologisk jordmodell som beskriver deformationer under lång tid (Alén, 1998).

- A Konsolideringsprocessen innebär vattenavgång som fördröjer effektivspänningsökningen vid pålastning. Förloppet styrs av jordens permeabilitet, k .
- B De elastiska deformationerna uppstår initieilt vid pålastning då fjädern trycks samman momentant. Vid en eventuell avlastning återgår denna deformation helt. De plastiska deformationerna är tidsbundna och fjäderns sammanpressning fördröjs av det ovan beskrivna förloppet i A. En plastisk deformation kan aldrig återgå vid avlastning. Deformationernas storlek beror av jordens moduler, M .
- C Krypdeformationerna sker parallellt med de tidsbundna deformationerna och utvecklas under konstanta spänningsförhållanden. Förloppet styrs av tidsmotståndstalet, r_s .

Den totala vertikala deformationen är lika stor som den elastiska/plastiska deformationen och krypdeformationen tillsammans.

$$\varepsilon = \varepsilon_{ep} + \varepsilon_{cr} \quad (2.14)$$

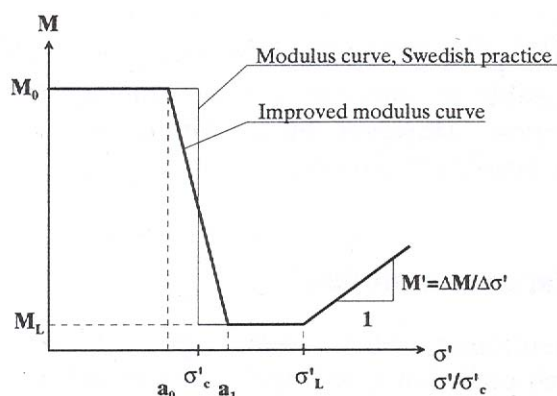
Genom att använda Terzaghis ekvation (2.3) med tillägg för krypdeformationer kan ekvation (2.14) skrivas som:

$$\frac{\partial u}{\partial t} = M \cdot \left[\frac{\partial}{\partial z} \left[\frac{k}{\gamma_w} \cdot \frac{\partial u}{\partial t} \right] + \frac{1}{R} \right] \quad (2.15)$$

där R är tidsmotståndet. GeoSuite använder sig av en finit elementmetod, FEM, för att lösa denna differentialekvation.

Programmet bygger även på en vidareutveckling av Aléns modell som tagits fram av Peter Claesson (2003). I modellen har utvärderingen av kompressionsmodulerna och tidsmotståndstalet förfinats. För att förbättra beskrivningen av hur kompressionsmodulen utvärderas enligt svensk standard har Claesson föreslagit följande modell. Modulen avtar linjärt från M_0 till M_L i ett spänningsintervall runt

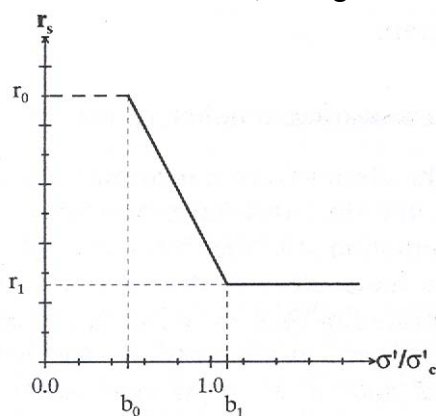
förkonsolideringstrycket vilket beskrivs med hjälp av faktorerna a_0 och a_1 , se Figur 2.13.



Figur 2.13 Svensk praxis för variationen av kompressionsmodulen från CRS-försök och förslag till förbättrad modell (Claesson, 2003).

En linjär förändring mellan modulerna resulterar i att spännings-deformations-kurvan får ett paraboliskt utseende mellan a_0 och a_1 , vilket kan vara en bättre beskrivning av en naturlig, lös leras beteende. Dessa två faktorer utgör indata vid beräkning med GeoSuite.

Utifrån ödometerförsök med stegvis belastning anser Claesson att tidsmotståndstalet, r_s , är en bättre approximation för kryptförloppet än vad kryptfaktorn, α_s , är. Tidsmotståndstalet beskrivs i modellen med hjälp av parametrarna r_0 och r_1 samt faktorerna b_0 och b_1 , se Figur 2.14.



Figur 2.14 Definition av tidsmotståndstalet enligt utvecklad modell (Claesson, 2003).

Faktorn b_0 väljs enligt rekommendation för västsvenska leror mellan 0,6 och 0,8. Ett rimligt värde för faktorn b_0 kan tas fram med hjälp av förhållandet mellan insituspänningen och förkonsolideringstrycket, d.v.s. inversen av OCR, för respektive djup i jordprofilen. Parametern r_0 väljs sedan utifrån den valda faktorn b_0 för att definiera lutningen för r_s i Figur 2.14, se även Claesson, 2003 s.142. Vanligen väljs r_0 mellan 1000 och 800, för att kryptningen ska bli mycket liten då förhållandet mellan effektivspänningen och förkonsolideringstrycket understiger eller är lika med b_0 . Parametern r_1 innebär minsta möjliga kryptmotstånd och fås i första hand genom

stegvisa ödometerförsök och kan uppskattningsvis beräknas utifrån vattenkvoten enligt (Janbu, 1989):

$$r_1 = \frac{75}{w^{1,5}} \quad (2.16)$$

Minsta möjliga krypmotstånd innebär maximal kryphastighet som uppstår då förhållandet mellan effektivspänningen och förkonsolideringstrycket överstiger eller är lika med b_1 . För västsvenska leror uppstår maximal kryphastighet vid b_1 mellan 1,0 och 1,1 och är därefter konstant (Claesson, 2003).

För att beskriva tidsmotståndet, R , behövs dessutom faktorerna t_0 och t_r . t_0 är den punkt varifrån tidsmotståndet antas öka linjärt med tiden, vilket sker då porövertrycket har utjämnats. Referenstiden, t_r , väljs enligt rekommendationer beskrivna i Kapitel 2, stycke 2.3.3, i GeoSuite till -1 dag.

2.5.2 Embankco

Beräkningsprogrammet Embankco togs fram år 1993 av SGI på uppdrag av Vägverket för att beräkna konsolideringssättningarnas storlek och tidsförlopp för vägbankar på finkorning jord. Programmet är avsett för beräkningar motsvarande en vägkonstruktions livslängd, d.v.s. för en 50-årsperiod.

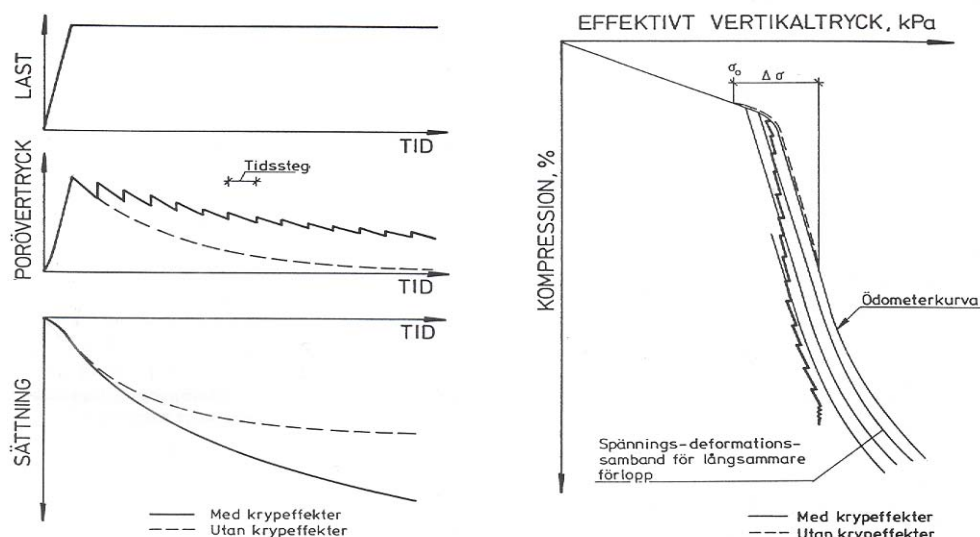
2.5.2.1 Beräkningsmodell

Sättningarnas tidsförlopp erhålls genom finit differensmetod där tidsstegen väljs automatiskt på ett sådant sätt att beräkningen konvergerar mot en lösning genom att följande villkor uppfylls (User's guide Embankco programme, 1994):

$$\frac{k \cdot M}{\gamma_w} \cdot \frac{\Delta t}{(\Delta z)^2} \leq 0,4 \quad (2.17)$$

Efter varje tidssteg uppdateras samtliga egenskaper. Utjämnningen av porövertryck genom konsolidering under varje tidssteg beräknas utifrån Terzaghis ekvation (2.3) för endimensionell konsolidering, se Kapitel 2, stycke 2.2.1.

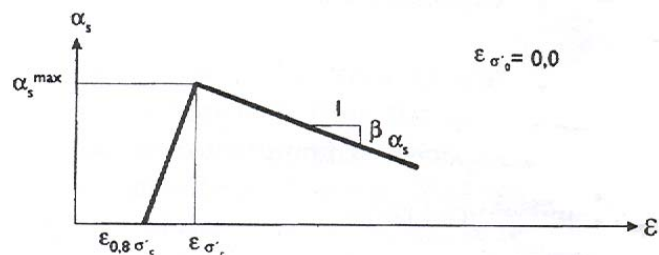
För att få med krypdeformationerna under de korta tidssteg som används vid beräkningen, införs en initiell höjning av porövertrycket i början av varje tidssteg, se Figur 2.15. Genom en fiktiv höjning av portrycket fördröjs portrycksutjämnningen ytterligare och större deformationer erhålls. Denna portryckshöjning kan dock aldrig överstiga den föregående portrycksutjämnningen beroende av konsolideringen.



Figur 2.15 Konsolideringsförlopp enligt Embankco (Larsson et al, 1994).

Embankco använder sig av svensk standard vad gäller kompressionsmodulerna, där M_0 och M_L antas vara konstanta för ett givet djup. Då effektivspänningen överstiger gränstrycket antas modultalet, M' , öka linjärt med effektivspänningen. Fram till förkonsolideringstrycket används modulen M_0 . Då denna är betydligt större än övriga moduler kommer det inom detta spänningsintervall att utbildas små sättningar. Då spänningarna överstiger 80 % av förkonsolideringstrycket och deformationshastigheten är lägre än $\alpha_s \cdot 10^{-6} \text{ s}^{-1}$ antas kryptdeformationer av betydelse uppstå. För deformationshastigheter över $\alpha_s \cdot 10^{-6} \text{ s}^{-1}$ inkluderas krypeffekterna i modulerna. Då förkonsolideringstrycket har uppnåtts uppstår konsolideringssättningar som styrs av modulen M_L , vars storlek är betydligt mindre än modulen M_0 och därmed ger större sättningar.

Kryphastigheten har sitt maximum vid förkonsolideringstrycket och definieras av $\alpha_{s, \max}$, se Figur 2.16. För spänningar över förkonsolideringstrycket avtar kryphastigheten med en faktor, β_{α_s} , med ökande töjning. Utifrån rådande förkonsolideringstryck och töjning erhålls i Embankco en krypfaktor för respektive djup. Med hjälp av krypfaktorn beräknas därefter en fiktiv portryckshöjning, se Figur 2.15. Efter varje tidssteg uppdateras parametrarna och ett nytt förkonsolideringstryck erhålls vilket tillsammans med töjningen resulterar i ett nytt värde på krypfaktorn.



Figur 2.16 Modell för krypfaktorn i Embankco (Claesson, 2003).

2.6 Fältundersökningar

För att få fram information om jordens hållfasthets- och deformationsegenskaper utförs borrhningar, provtagningar och mätningar i fält. Hur dessa provtagningar utförs och vilken information de ger beskrivs i följande stycken.

2.6.1 Skruvprovtagning

Skruvprovtagning är en metod som används för insamling av störda prover och sker oftast ovan grundvattenytan. Det fungerar som en typ av förborrning till kolvprovtagning, tryck- och CPT-sondering eller vid grunda jorddjup under 5 m. Provtagaren utgörs av en stålstång med spiralfläns som skruvas ner i marken genom vridning för att därefter dras upp med inhämtat jordprov, se Figur 2.17.



Figur 2.17 Skruvprovtagning Götaslätten 070620.

Proverna förpackas i påsar och märks upp med provtagningsnivå. Jordproverna analyseras därefter på laboratorium för att bestämma bland annat jordart, vattenkvot och konflytgräns.

2.6.2 Trycksondering

Vid trycksondering drivs sondstänger, nertill försedd med en konisk spets, ner i jorden med hjälp av en kedjedomkraft. Sonderingen drivs oftast tills fastare material nås och i undantagsfall ner till berg. Sonderingsmotståndet registreras mot djupet under neddrivningen. Trycksondering ger en översiktlig bild av jordlagerföljd samt fastheten hos de olika lagren i jordprofilen.

2.6.3 CPT-sondering

För att kunna utvärdera jordlagerföljden och hur jordens egenskaper varierar mot djupet utförs ofta spetstrycksondering, CPT. Utrustningen består av en cylindrisk sond med konisk spets som trycks ned genom jordlagren. Under nerdrivningen mäts spetsmotståndet med hjälp av en elektrisk givare. Även mantelfriktion och porvattentryck registreras. Då CPT-utrustningen är dyrbar och känslig för hårdare motstånd utförs den främst i sten- och blockfria jordar. Vid osäkerhet om djup till berg kan det därför vara mer lämpligt att välja en trycksondering.

Med hjälp av programmet Conrad, framtaget vid SGI år 1993, kan redovisning och utvärdering av CPT-sonderingar utföras. Genom att använda ovanstående parametrar tillsammans med densitet och konflytgräns kan programmet beräkna odränerad skjuvhållfasthet samt effektivtryck.

2.6.4 Kolvprovtagning

Upptagning av ostörda prover är möjlig i kohesions- och mellanjord såsom lera, siltig lera och i viss mån lerig silt. Ostörda jordprover krävs för bestämning av kompressionsegenskaper och skjuvhållfasthet i ostört tillstånd i laboratorium (Sällfors, 1993). För att ta upp ett ostört prov används vanligen en standarkolvborr med kolvprovtagare av typ St I eller St II, se Figur 2.18.

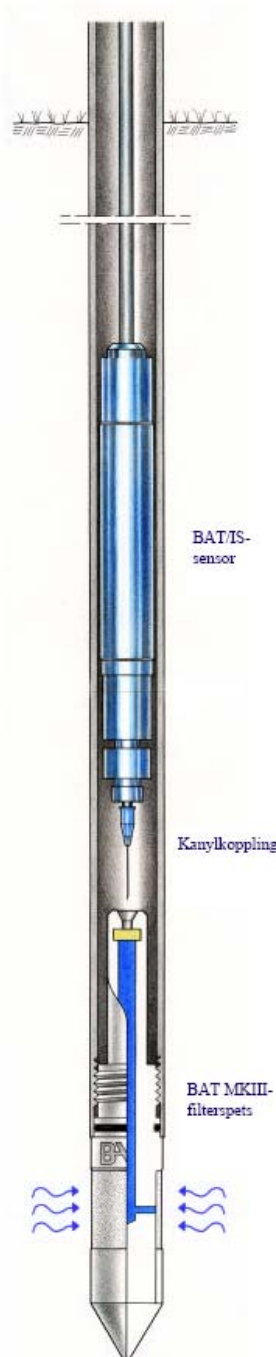
Denna består av en cylindrisk provtagare som drivs ner i jorden. Då cylindern drivs ner i jorden till provtagningsnivån täpper en inre kolv till öppningen. Vid provtagnings början fixeras kolven i höjddled, varefter cylindern pressas provtagaren ner och stansar ut ett jordprov. Provtagning sker på varje meter ner till ett djup av 8 m och därefter varannan till var tredje meter. Inuti cylindern finns tre provhylsor som fylls med jordprover.



Figur 2.18 Kolvprovtagning Götaslätten 070620.

Det är viktigt att provet stansas ut under en långsam och jämn hastighet så att inte jorden i provet blir störd. Man räknar ofta med att proverna i mellersta tuben och översta delen av den undre tuben är minst störda. Man bör vänta några minuter innan det utstansade provet tas upp för att det ska hinna tryckutjämnas. Ju lösare provet är desto viktigare är det att vänta.

2.6.5 Porttrycksmätning



I lågpermeabla jordar såsom lera installeras porttrycksmätare och grundvattenytan representeras av porttryckets nollnivå. Porttrycket är årstidsberoende och varierar kraftigt över tiden, varför en mätserie ofta sträcker sig över en lång tidsperiod. Den vanligaste porttrycksmätaren i lera utgörs av ett slutet system av typen BAT, se Figur 2.19.

BAT-mätaren utgörs av en filterspets och en mätkropp omsluten av ett stålrör. Mätkroppen består av en elektrisk tryckgivare till vilken en kanylkoppling ansluts. Filterspetsen är av plast eller stål och har ett filter där vattnet kan tränga in till innanliggande vattenkammare.

Mätkroppen sänks ner genom stålröret och kanylen tränger in i vattenkammaren genom ett gummimembran. Elektronisk avläsning av porttrycket sker därefter genom tryckgivaren.

I högpermeabla jordar ställer sig den fria grundvattenytan in i öppna grundvattenrör som nertill är proppade och perforerade. Vattennivån motsvarar porttrycket på spetsens nivå (Sällfors, 2001). Det är vanligt förekommande att man installerar ett öppet grundvattenrör i bottenfriktionslagret för att observera eventuella porttryckssänkningar.

Figur 2.19 Porttrycksmätare av typ BAT.
(www.bat-gms.com 070713).

2.7 Laboratorieundersökningar

I följande kapitel beskrivs teorin bakom laboratorieundersökningar samt vilken information dessa provmetoder ger.

2.7.1 Rutinundersökning

Rutinundersökning utförs på ostörda kolvprover för att bestämma lerans densitet, vattenkvot, konflytgräns, sensitivitet och skjuvhållfasthet. Leran benämns även efter jordarts- och fraktionsinnehåll.

2.7.1.1 Skrymdensitet, ρ

Skrymdensiteten definieras som förhållandet mellan den naturligt fuktiga jordens massa, m , och volym, V , och beräknas enligt (Sällfors, 2001):

$$\rho = \frac{m}{V} \left[\text{t/m}^3 \right] \quad (2.18)$$

Tabell 2.1 Skrymdensitet hos vattenmättad jord (Pusch, 1973).

Jordart	$\rho \text{ [t/m}^3\text{]}$
Torv	1,0
Gyttja	1,0 – 1,3
Lera	1,4 – 1,7
Silt	1,7 – 2,0
Sand, grus	1,8 – 2,3
Morän	2,1 – 2,4

2.7.1.2 Naturlig vattenkvot, w_N

Den vattenkvot som jorden har i naturen benämns naturlig vattenkvot och definieras som porvattnets massa, m_w , dividerat med de fasta partiklarnas massa, m_s , enligt nedanstående (Sällfors, 2001):

$$w_N = \frac{m_w}{m_s} [\%] \quad (2.19)$$

För att bestämma vattenkvoten vägs ca 20 g av det våta provet upp. Därefter torkas provet under 24 timmar i ugn vid 105°C för att sedan vägas på nytt.

Den naturliga vattenkvoten skiljer sig mellan olika jordar. Lera har vanligen en hög naturlig vattenkvot medan silt har en betydligt lägre vattenkvot, se Tabell 2.2.

Tabell 2.2 Naturlig vattenkvot hos vattenmättad jord (Pusch, 1973).

Jordart	w_N [%]
Torv	> 500
Gyttja	150 – 300
Lera, lös – halvfast	40 – 100
Lera, fast	10 – 30
Silt	10 – 50
Sand och grus	10 – 35
Morän	5 – 10

Ur empiriska relationer kan jordens krypegenskaper tas fram med ledning av jordtyp och naturlig vattenkvot.

2.7.1.3 Fallkonförsök

Fallkonförsök är ett okonsoliderat, odränerat försök som utförs för att bestämma lerans konflytgräns samt odränerade och omrörda skjuvhållfasthet. Utrustningen består av ett stativ med höj- och sänkbar arm i vilken en fallkon kan hängas upp, se Figur 2.20.



Figur 2.20 Fallkonutrustning.

Fallkonen har känd massa och spetsvinkel. Vid försöket förs stativarmen ner tills konen tangerar ytan på lerprovet, varefter den får falla fritt och sjunka ner i leran. Därefter avläses konintrycket på en millimeterskala med 0,1 mm noggrannhet. Försöket upprepas tills samma konintryck avläses två gånger i följd eller tills konintrycket minskar.

2.7.1.4 Odränerad skjuvhållfasthet, τ_k

Framtagning av odränerad skjuvhållfasthet utförs på ostörda kolvprov. Som standard används en 100 g 30° kon. Om konintrycket överstiger 20 mm väljs en 60 g 60° kon, medan om konintrycket understiger 5 mm väljs en 400 g 30° kon. Totalt utförs sex stycken försök på två snittytor. Den odränerade skjuvhållfastheten beräknas därefter enligt:

$$\tau_k = \frac{k \cdot m \cdot g}{i^2} \text{ [kPa]} \quad (2.20)$$

där k är 1,0 för 30° kon respektive 0,25 för 60° kon, m är konens vikt i gram, g är gravitationskonstanten 9,81 m/s² och i är konintryck i mm (Wiesel et al, 1985).

Skjuvhållfastheten korrigeras med hjälp av en korrektionsfaktor, μ , enligt:

$$0,5 \leq \mu = \left(\frac{0,43}{w_L} \right)^{0,45} \leq 1,2 \quad (2.21)$$

$$\tau_{fu} = \mu \cdot \tau_k \text{ [kPa]} \quad (2.22)$$

Det bör tilläggas att även skjuvhållfastheten framtagen vid vingborrning korrigeras på motsvarande sätt.

Då den odränerade skjuvhållfastheten och konflytgränsen är kända kan förkonsolideringstrycket beräknas empiriskt, som ett komplement till ödometerförsök, utifrån följande samband enligt Hansbo:

$$\sigma'_c = \frac{\tau_{fu}}{0,45 \cdot w_L} \quad (2.23)$$

2.7.1.5 Omrörd skjuvhållfasthet, τ_R

Metoden som används för bestämning av den omrörda skjuvhållfastheten kallas enpunktsmetoden och är framtagen av SGI. Försöket utförs med konstant vattenkvot och metoden gäller för konintryck i intervallet 7-15 mm. Vid under- eller överstigande av dessa gränser ska provets vattenkvot ökas respektive minskas, antingen genom tillförsel av vatten eller genom torkning på exempelvis gipsplatta.

Skillnaden från ostört prov är att leran rörs om kraftigt samt att standardkonen 60 g 60° används. Om konintrycket överstiger 15 mm väljs en 10 g 60° kon, medan om konintrycket understiger 7 mm väljs en 100 g 30° kon. Vid detta försök är det viktigt

att avläsa värdet vid det första momentana stoppet för att inte underskatta den omrörda skjuvhållfasthet (Wiesel et al, 1985).

Slutligen beräknas den omrörda skjuvhållfastheten på samma sätt som den odränerade enligt ekvation (2.20).

2.7.1.6 Konflytgräns, w_L

Konflytgränsen anger vid vilken vattenkvot jorden övergår från fast till flytande form. Detta motsvaras av en hållfasthet på 1,5 kPa eller en nedsjunkning på 10 mm av en 60 g 60° kon i ett omrört jordprov.

Ur samma prov som den omrörda skjuvhållfastheten tas fram bestäms även konflytgränsen. För att korrigera konintrycket så att det motsvarar ett intryck på 10 mm används följande formel:

$$w_L = M \cdot w_i + N \quad [\%] \quad (2.24)$$

där M och N är korrektionsfaktorer som avläses i Tabell 4, Byggforskningens informationsblad B11:1974, och w_i är det omrörda provets vattenkvot vid konintrycket i mm (Karlsson, 1974).

2.7.1.7 Sensitivitet, S_t

Sensitiviteten definieras som kvoten mellan lerans odränerade och omrörda skjuvhållfasthet (Sällfors, 2001).

$$S_t = \frac{\tau_k}{\tau_R} \quad (2.25)$$

För att klassificera en jord med avseende på dess sensitivitet används gränserna enligt Tabell 2.3.

Tabell 2.3 Gränser för bestämning av en jords sensitivitet.

Benämning	S_t
Lågsensitiv	0-8
Mellansensitiv	8-30
Högsensitiv	30-50
Kvick	>50 samt omrörd skjuvhållfasthet < 0.4

Lerans sensitivitet i kombination med den omrörda skjuvhållfastheten ger ett mått på dess flytbenägenhet vid störning.

2.7.2 Ödometerförsök

Ödometerförsök utfördes på ostörda lerprover i Chalmers laboratorium för att bestämma jordens spännings- och deformationsegenskaper. Temperaturen i lablokalen hålls konstant på 7°C, som är en normal temperatur in situ. Tidfors och Sällfors (1989) konstaterade att om temperaturen ökar från 7°C till ca 20°C kommer förkonsolideringstrycket att minska mellan 6 och 10 % (Claesson, 2003). Även Leroueil och Marques (1996) har senare instämt i detta.

2.7.2.1 Konstant hastighet, CRS-försök

CRS-försöket, framtaget av Crawford (1965) och vidareutvecklat av Sällfors (1975), är den typ av ödometerförsök som är minst tidskrävande och som ger mest tillförlitlig information.

Som namnet CRS, Constant Rate of Strain, talar om deformerar provet under konstant hastighet. Det 20 mm tjocka lerprovet tillåts inte att deformerar i horisontalldå det innesluts av en teflonring med diametern 50 mm. Lasten påförs vertikalt, under ca 24 timmar med en hastighet av 0,0024 mm/min, och dräneringen sker enkelsidigt. Portrycket registreras kontinuerligt vid den odränerade undersidan, se Figur 2.21.



Figur 2.21 Ödometerutrustning för CRS-försök.

Med hjälp av mätvärden på kraft och portryck beräknas vertikal effektivspänning enligt:

$$\sigma' = q - \frac{2}{3} u_b \quad (2.26)$$

där u_b är portrycket som uppmäts i botten av provet och $\frac{2}{3} u_b$ är medelvärde av portrycket, som antar en parabolisk portrycksfördelning (Claesson, 2003).

Utifrån CRS-diagrammet erhålls värden på modulerna M_0 och M_L genom förstaderivatet av tangenterna enligt:

$$M = \frac{\Delta\sigma'}{\Lambda\mathcal{E}} \quad (2.27)$$

The diagram shows the compression modulus M on the vertical axis and effective stress σ' on the horizontal axis. The curve starts at a high value of M for low σ' , remains constant until a certain point, then drops sharply to a minimum value M_L at σ'_L . After this minimum, the curve rises again, approaching a dashed line that represents a linear relationship $M' = \frac{\Delta M}{\Delta \sigma'}$. The initial value of M is labeled M_0 . The point where the curve begins to drop is marked with σ'_c on the horizontal axis. The point where the curve reaches its minimum is marked with σ'_L on the horizontal axis. The vertical axis is labeled "kompressionsmodul, M" and the horizontal axis is labeled "effektivspännning, σ' ".

26 **CHALMERS**, *Civil and Environmental Engineering*, Master's Thesis 2007:127

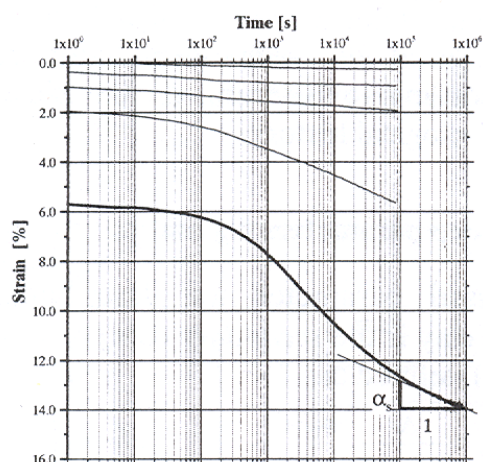
Därefter kan värdet på modultalet, M' , beräknas genom lutningen på tangenten för kurvans rätlinjiga del, och σ'_L kan avläsas. Hos svenska leror sker en kraftig reducering av kompressionsmodulen då förkonsolideringstrycket uppnås. Vid ytterligare effektivspänningsökning, då gränstrycket uppnås, ökar modulen återigen.

Utifrån portryck och deformationshastighet kan permeabiliteten, k , beräknas och därefter användas för att ta fram tidsfaktorn, c_v , enligt:

$$c_v = \frac{k \cdot M}{g \cdot \rho_w} \quad (2.28)$$

2.7.2.2 Stegvis belastning

Stegvisa belastningsförsök, s.k. krypförsök, är den typ av ödometerförsök som ger information om jordens krypegenskaper och togs fram av Terzaghi år 1925 (Claesson, 2003). Vid försöket belastas provkroppen stegvis där varje laststeg dubblas jämfört med föregående. Vanligen påförs belastningen i steg om 10, 20, 40, 80, 160 och 320 kPa, som vardera får verka under 24 timmar. Under varje laststeg registreras deformationen som funktion av tiden och redovisas i ett diagram med tiden i logaritmisk skala, se Figur 2.24.



Figur 2.24 Utvärdering av kryppparametern vid stegvisa belastningsförsök (Claesson, 2003).

Under denna tidsperiod hinner provet deformeras både på grund av portrycksutjämning och krypning. Utifrån ödometerförsök med stegvis belastning kan kryppparametern, α_s , utvärderas och sedan användas för att få fram kompressionsindex, C_α , samt tidsmotståndstalet, r_s . Utrustningen vid försöket är snarlik den som används vid CRS-försök, se Figur 2.25.



Figur 2.25 Ödometerutrustning för stegvis belastningsförsök i Chalmers laboratorium.

3 Områdesbeskrivning Götaslätten

Nedan ges en redogörelse av topografi, hydrogeologi och geologi för Götaslätten i sin helhet för att ge en övergripande bild av området. Därefter beskrivs det specifika villaområdet och hur dess förhållande är kopplade till den större helheten.

3.1 Topografi

Götaslätten karakteriseras av ett låglänt landskap med höga bergspartier i öst, på nivåer uppemot +90 m ö h, och sluttar ner mot Göta Älv i väst, som ligger på nivån ca +0,2. Markytans nivå varierar mellan omkring +18 och +20. Slätten korsas av en delvis uppfylld ravin. Ravinen sträcker sig från området mellan Lilla Edets pappersbruk och Hercules fabriksområde, väster om dåvarande Riksväg 45 och mynnar ner mot älven, se Figur 3.1. Marknivån i ravinens botten ligger på ca +12 och höjdskillnaden mot omgivande terräng uppgår till omkring 6 m.



Figur 3.1 Översiktskarta Götaslätten.

3.2 Hydrogeologi

Topografin och geologin i området utgör goda förutsättningar för artesiskt vatten i underliggande friktionsmaterial. Utförda borrhinar inom området tyder på att bottenfriktionslagret som underlagrar leran är sammanhängande från älven ända in mot dalsidan.

Efter att uppmätta porttryck i bottenfriktionen samt i det sandiga, siltiga lerskiktet studerats och jämförts har vissa slutsatser kunnat dras om grundvattenströmningen i området. Mätningarna tyder på att grundvattnet har strömmat i syd-västlig riktning ner mot älven via ravinen. Detta tycks även vara det mest troliga då både bergs- och markytan sluttar i samma riktning.

3.3 Geologi

Geologin inom Götaslätten präglas av områden med mäktiga marina leror. Djupen är endast några få meter i öst, mot bergsidan, med en kraftig tillväxt ner mot älven. På vissa håll uppgår lerdjupen till omkring 50 m. I leran återfinns ett ca 2 m tjockt genomgående sandigt, siltigt lerskikt, som i öster ligger relativt ytligt för att gå djupare ner mot älven i syd-västlig riktning. Leran underlagras av friktionsjord vilande på berg. Berget kommer upp i dagen söder, öster och norr om Götaslätten och utgörs huvudsakligen av granitisk-granodioritisk gnejs.

Leran i området har avsatts i marin miljö och har ett högt ursprungligt saltinnehåll. Marina leror har en relativt öppen struktur jämfört med lera som är avsatt i sötvatten. Den öppna strukturen medför en högre hålrumshalt, vilket gör leran mer kompressibel (Sällfors, 2001). Dränerande skikt i jordprofilen medför ofta att saltet i den överliggande leran lakas ur genom artesiskt uppåtriktat vattentryck (Alén et al, 2000). Leran förlorar då saltets stabiliserande effekt och övergår till att bli högsensitiv eller kvick. Kvikklara har en låg omrörd skjuvhållfasthet med egenskapen att den kan förlora sin hållfasthet vid markrörelser. Detta kan förklara varför leran på Götaslätten är ställvis kvick.

Grundundersökningar utförda på Götaslätten har visat på mäktiga lerlager som på sina håll är sulfidfläckig. Ren sulfidjord, lokalt kallad svartmocka, återfinns huvudsakligen längs Norrlandskusten men förekommer även i Mälardalen, längs Finlands västkust och på några andra ställen i världen. Sulfidjord utgörs av finkorniga sediment som i huvudsak bildats på botten i Litorinahavet för ca 7000-4000 år sedan och därefter. Den fortfarande pågående landhöjningen gör att sediment bildade på havsbotten kommer ovanför havsytan. Det är främst i området mellan Litorinahavets och dagens kustlinje som sulfidjordar återfinns. Bildning av sulfidjord pågår även idag i havsvikar där sediment avlagras i syrefri miljö och där tillgången på organiskt material, järn och svavel är god. Sulfidjord har låg densitet och ofta högt vatteninnehåll och högre silthalt än 60 %, samt är rik på organisk material. Detta medför att sulfidjorden är mycket sättningsbenägen vid belastning samt att den är mycket lös och har dålig bärighet (Pousette, 2007). Den sulfidfläckiga leran på Götaslätten tolkas dock inte som svartmocka utan betar sig mer likt en göteborgslara.

4 Bakgrund och problembeskrivning

Götasläätten är belägen i den dalgång som sträcker sig mellan samhällena Göta och Lilla Edet. Slätten avgränsas av Göta Älv i väster och ett bergsparti i öster. Alltsedan 1960-talet har sättningar uppmärksammats på Götasläätten. Dessa sättningar uppvisar inga tendenser att avstanna och är med tanke på befintlig och framtida bebyggelse av intresse att utreda.

4.1 Tidigare stabilitets- och sättningsproblem

I slutet av 1950-talet utfördes grundundersökningar i samband med projektering av Hercules Kemiska AB. Fabriksområdet är beläget norr om Lilla Edets pappersbruk, strax väster om dåvarande Riksväg 45, se Figur 3.1. Artesiskt grundvattentryck uppmärksammades i en intilliggande ravin vilket befarades kunna medföra stabilitetsproblem. Av denna anledning utfördes förstärkningsåtgärder i ravinen mellan år 1959 och 1960 genom kulvertering och stödfyllning kombinerad med djupdränering i filterbrunnar. Dessa filterbrunnar ska enligt uppgift från Lilla Edets kommun ha proppats.

År 1961 utfördes en stabilitetsutredning för Lilla Edets Pappersbruks AB av Norges Geotekniska Institut, NGI (Bjerrum et al, 1961). Som resultat av undersökningarna beslöts att grundvattnet skulle sänkas invid älven med hjälp av grundvattenpumpar. En första försökspump installerades år 1961 och ytterligare två stycken pumpar installerades år 1964. Samtliga grundvattenpumpar är fortfarande i drift.

Hercules fabriksbyggnader grundlades på stödpålar och redan från det att fabriken byggdes år 1960 har sättningar varit ett problem som medfört höjdsprång mellan byggnader och infarter, ledningsbrott etc. Av denna anledning kopplades Statens Geotekniska Institut, SGI, in och det beslutades att en besiktning av området skulle utföras år 1968. Efter besiktningen kom man överens om att sättningsförloppet skulle övervakas genom kontinuerliga avvägningar och att grundvattentrycket skulle mätas.

Inom samma område där de tre grundvattenpumparna installerats invid älven genomfördes år 1997 skredförebyggande åtgärder genom avschaktning med bidrag från Räddningsverket. I och med denna åtgärd skulle det eventuellt finnas möjlighet att stänga av de tre aktiva grundvattenpumparna i området utan att stabiliteten äventyras.

4.2 Nuvarande sättningsproblem

Sättningar har även uppmätts sedan mitten av 1990-talet i ett villaområde beläget på Götasläätten, strax öster om nuvarande Europaväg 45, se Figur 3.1. Under de senaste åren har sprickor uppkommit i vissa av husgrunderna till följd av sättningar. I samband med den planerade utbyggnaden av E 45 aktualiseras problemen med grundvattensänkningen i området kontra sättningsproblematiken. Lilla Edets kommun har därför givit SGI i uppdrag att utföra en utredning. Detta examensarbete utgör en del i denna utredning och syftar till att ta fram en sättningsprognos för det aktuella villaområdet.

5 Grundundersökningar

En mängd grundundersökningar har tidigare gjorts inom Götaslätten i samband med exploatering, se Ritning SGI 001. Man har länge varit medvetna om de komplicerade markförhållanden som råder här. Det material som har varit av intresse för detta examensarbete har inventerats och sammanställts. Nedan beskrivs vilka provmetoder som har utförts vid aktuell grundundersökning. Det bör dock noteras att nedan nämnda provtagningar inte har utförts i samtliga borrhållpunkter.

5.1 Tidigare utförda grundundersökningar

År 1969 utförde HSB:s riksförbunds geotekniska avdelning grundundersökningar på uppdrag av HSB i Trollhättan. Kommunen planerade att bygga bostäder inom kvarteren Spaden, Grepen och Skyffeln. Dessa tre kvarter utgör idag en del av det studerade villaområdet. I totalt 15 stycken borrhållpunkter utfördes spadborrning, viktsondering samt kolvprovtagning. Borrhållpunkterna är namngivna 1-15HSB6902. Dessa borrhållpunkter har inte funnits att tillgå i digital form och redovisas därför ej i borrhållplanen.

Göteborgs Förorter, nuvarande GF Konsult, utförde år 1971 en grundundersökning som innefattade kolvprovtagning, viktsondering samt installation av porttrycksmätare och grundvattenrör. Borrhållpunkterna är namngivna 5GF7109 och 15GF7109.

År 1973 utförde GF en geoteknisk undersökning efter att ett ras inträffat i en öppen schakt under byggnation av en fristående villa i kvarteret Slagan. Viktsondering och vingborrning gjordes i borrhållpunkterna 1-3GF7301.

GF har även gjort provtagningar i borrhållpunkterna A1-3GF7906 och E1-6GF7906 samt 16GF8304. Här har skruv- och kolvprovtagning, tryck- och vingsondering samt porttrycksmätning utförts.

Då underlag för en detaljplan togs fram för ett planerat industri- och handelsområde, Kvarteret Juno, gjorde GF Konsult en geoteknisk undersökning år 2005 väster om E 45. Det utfördes då skruvprovtagning, kolvprovtagning, vingsondering, tryck- och CPT-sondering. Även porttrycksmätare och grundvattenrör installerades. Detta avsåg borrhållpunkterna 1-4GF0505 samt GF1-60505.

I samband med projektering för utbyggnad av E 45 genomförde Vägverket i samarbete med Ramböll geotekniska undersökningar under 2005-2007, numrerade mellan 18001 och 19206. Skruvprovtagning, kolvprovtagning, vingsondering, tryck- och CPT-sondering utfördes. Även porttrycksmätare och grundvattenrör installerades i några av borrhållpunkterna, se Ritning SGI 001.

De upptagna jordproverna har rutinundersökt på laboratorium för att kunna bestämma lerans egenskaper. CRS-försök har utförts för prover upptagna från år 2005 och framåt.

5.2 Utförda sättningsmätningar

På uppdrag av Lilla Edets kommun har Lantmäteriet lagt ut ett observationsnät i samråd med SGI för att kontrollera eventuella markrörelser inom Götaslätten. Nätet lades ut år 1993 och den första kontrollmätningen utfördes samma år. Mätningar har därefter utförts under åren 1994, 1998, 2000, 2002 samt 2006.

Från år 1998 och framåt har inmätningar och beräkningar utförts av Metria med GPS-teknik. Grundmedelfelet vid dessa mätningar uppgår till 1,8 cm i höjddled.

Inmätningarna av nätet är redovisade i Lilla Edets koordinatsystem 7,5 gon V 64:0 och i höjdsystemet RH 00. Detta koordinatsystem skiljer sig från det nationella referenssystemet RT 90 genom att det ligger 18 cm lägre i höjddled.

Till en början utgjordes observationsnätet av 22 stycken mätpunkter. Därav var 4 stycken bergmarkerade fixpunkter och de övriga kontrollpunkter i marken, som bestod av 0,04 * 1,00 m galvade rör med jordförankring belagda med däxel, se Figur 5.1 För att koppla observationsnätet till det nationella systemet RT 90 har några av punkterna fungerat som referenspunkter. Efter hand har några markpunkter, bergmarkerade fixpunkter samt referenspunkter lagts till och tagits bort.

Inmätningarna har sammanställts i sättningsdiagram. Kvaliteten på inmätningarna skiljer sig kraftigt åt och endast ett fåtal kontrollpunkter visar rimliga trender på sättningskurvor. De sättningsmätningar som har varit av nytta för jämförelse med utförda beräkningar är för kontrollpunkterna 760, 972, 977 samt 978, se Ritning SGI 001.



Figur 5.1 Kontrollpunkt för sättningar i villaområdet.

5.3 Kompletterande grundundersökningar

För att komplettera de tidigare utförda grundundersökningarna på Götaslätten utfördes ytterligare fält- och laboratorieundersökningar inom villaområdet av GF Fältgeoteknik på uppdrag av både SGI och Vägverket genom Ramböll, som projekterar för utbyggnaden av E 45.

Åtta stycken borrhåsar sattes i fyra sektioner från söder till norr; Sektion A-A, B-B, C-C, D-D respektive E-E. Trycksonderingar utfördes i de grundare delarna mot öster i borrhål 1, 3, 5 och 7SGI. CPT-sonderingar utfördes i de djupare delarna ner mot vägen i borrhål 2, 4, 6 och 8SGI samt 18704. Kolvprovtagning gjordes i 8SGI och 18703.

Porttrycksmätare har installerats i 8SGI samt 18703 och grundvattenrör på två nivåer har satts i 2SGI. I 8SGI har porttrycksmätare installerats på fem nivåer och ett grundvattenrör är satt i bottenfriktionen, se Figur 5.2. I borrhål 18703 har två porttrycksmätare och ett grundvattenrör installerats.



Figur 5.2 Borrhål 8SGI där fem stycken porttrycksmätare och ett grundvattenrör har installerats.

De i fält upptagna lerproverna har vidare analyserats både i Rambölls och Chalmers laboratorium.

6 Studerat villaområde

Det aktuella villaområdet sträcker sig i plan från Lilla Edets pappersbruk till Hercules fabriksområde, som ligger på motsatt sida av vägen, se Figur 3.1, och är beläget strax nedanför en bergssluttning. Husen skyddas mot vägbuller genom bullerskyddsvallar, vilka i dagsläget är som mest en till två meter höga, se Figur 6.1.



Figur 6.1 Studerat villaområde på Götaslätten.

Villaområdet utgörs av elva stycken kvarter som byggdes mellan år 1970 och 1976. Kvarteren Slagan, Lien, Grepen, Räfsan, Krattan, Skyffeln och Spaden ligger i södra och mellersta delen av området och byggdes mellan åren 1970 och 1972. Hackan, Harven och Spettet är belägna i norra delen av området och byggdes något senare mellan åren 1972 och 1976. Kvarteret Plogan ligger allra längst norrut och byggdes år 1970. Exakt var de olika kvarteren ligger kan ses på borrhplanen, se Ritning SGI 001.

De flesta av husen i området är grundlagda med källare enligt kompensationsmetoden. Detta innebär att huset grundläggs på hel bottenplatta på ett sådant djup att vikten av byggnaden kompenseras av den för källaren undanschaktade jorden. Ett fåtal av husen är grundlagda med torpargrund.

6.1 Topografi, hydrogeologi och geologi

Markytan inom villaområdet varierar mellan ca +24 i öster, mot bergsidan och ca +19 i väster, mot E 45. I och med denna topografi sker relativt stor tillrinning från öster ner mot Göta älv. Även under villaområdet återfinns det tidigare nämnda sandiga, siltiga lerskiktet samt bottenfriktionslagret. För området varierar de största lerdjupen, i syd-nordlig riktning, mellan omkring 25 och 10 m för att i mittpartiet uppgå till drygt 45 m. Från dessa djup sluttar berget upp mot öster för att strax bakom villaområdet komma upp i dagen och där utgöra ett höjdparti som ligger på ca + 90.

6.2 Jordlagerföljd

Utifrån tryck- och CPT-sonderingar samt analyserade kolvprover har olika skikt i jordlagerprofilen kunnat lokaliseras.

Överst består jordprofilen av en ca 1-2 m tjock torrskorpa som underlagras av grålera. Denna grålera övergår i ett sandigt, siltigt lerskikt, som i de västra delarna av villaområdet, ner mot vägen, är beläget ca 7-10 m under markytan respektive 3-5 m i de östra delarna. Detta skikt underlagras av en mer sulfidrik lera. Därunder återfinns ett tunt, siltigt lerskikt som övergår i friktionsjord på berg.

6.3 Geotekniska parametrar

Nedan ges en grov beskrivning av hur de geotekniska parametrarna varierar inom villaområdet. Följande grundar sig på sammanställda diagram för respektive parameter, se Bilaga 1, tillsammans med utvärderade sonderingar, se Ritning SGI 2 respektive SGI 3.

6.3.1 Parametrar framtagna vid rutinundersökning

Densiteten, ρ , för leran i villaområdet varierar mellan ca 1,4-2,0 t/m³ för att vara som högst i de skikt där en högre silthalt förekommer, se Bilaga 1.1a respektive 1.2a. Bullervallen i området utgörs av lera med ett överlagrande jordskikt och dess densitet har antagits till 1,7 t/m³.

Den naturliga vattenkvoten, w_N , varierar för leran mellan ca 50-100 % och för de mer siltiga skikten mellan ca 25-50 %, se Bilaga 1.1b respektive 1.2b.

Konflytgränsen, w_L , för leran inom området varierar mellan 50-90 % respektive 20-50 % för de mer siltiga skikten, se Bilaga 1.1c respektive 1.2c.

Uppmätt sensitivitet, S_t , visar på en i huvudsak mellan- till högsensitiv och ställvis kvick lera, med värden som högst strax över 300, se Bilaga 1.1d respektive 1.2d.

Permeabiliteten, k , för leran tycks vara förhållandevis jämn mellan omkring $6 \cdot 10^{-10}$ till $6 \cdot 10^{-9}$ och varierar enbart med en tiopotens genom jordprofilen, se Bilaga 1.1e respektive 1.2e. Skiktet med mer sandig, siltig karaktär tycks därför inte vara nämnvärt mer dränerande än övriga lerskikt. Den trend man kan urskilja är att det är något lägre permeabilitet i de djupare lerlagren. För det underliggande friktionsmaterialet har ingen permeabilitet uppmätts.

Faktorn β_k har utvärderats som en kvot mellan permeabiliteten och den axiella töjningen som erhållits ur CRS-försök. Faktorn bedöms vara förhållandevis konstant på omkring 3,5 genom hela jordprofilen, se Bilaga 1.1k respektive 1.2k.

Den odränerade skjuvhållfastheten, τ_{fu} , har utvärderats från utförda fallkonförsök på ostörda kolvprov i laboratorie och i fält utförda vingsonderingar. Vingen ger generellt en mer tillförlitlig och något högre skjuvhållfasthet jämfört med kolven. Skjuvhållfastheten har korrigerats genom konflytgränsen enligt ekvation (2.21).

Skjuvhållfastheten är i sig ingen betydelsefull parameter ur sättningssynpunkt. Dock har skjuvhållfastheten använts vid framtagande av förkonsolideringstrycket, se Bilaga 1.1i respektive 1.2i, genom empiriska samband.

6.3.2 Moduler

Kompressionsmodulen, M_0 , har utvärderats från CRS-försök. Dessa utvärderade värden motsvarar inte verkligheten på grund av störningar och spänningsrelaxation (Sällfors, 2001). Med hänsyn till detta korrigeras modulen därför genom följande empiriska samband:

$$M_0 = 3 - 5 \cdot M_{0,CRS} \quad (6.1)$$

Modulen som har utvärderats motsvarar förhållandena i dagens situation. Med tanke på att modulen ökar med tiden p.g.a. åldring och sättningar har den undre gränsen i ekvation (6.1) använts för att uppskatta modulens storlek för obelastad mark på 1950-talet. I kommande beräkningar har alltså M_0 antagits vara tre gånger högre än den utvärderade från CRS-försök. I de översta skikten bedöms modulen vara konstant för att därefter öka mot djupet. I skiktet med sandig, siltig lera är modulen betydligt högre än i övriga lager i jordprofilen, se Bilaga 1.1f respektive 1.2f.

Kompressionsmodulen, M_L , har utvärderats från CRS-försök. I de översta skikten bedöms modulen vara konstant för att därefter öka mot djupet. I skiktet med sandig, siltig lera är modulen betydligt högre än i övriga lager i jordprofilen, se Bilaga 1.1g respektive 1.2g.

Modultalet, M' , har utvärderats från CRS-försök och varierar mellan 9-20 kPa/m, se Bilaga 1.1h respektive 1.2h.

6.3.3 Spänningssituation

Rådande effektivspänning, σ' , genom jordprofilen har beräknats utifrån totalspänning och portryck, se spänningsdiagram i Bilaga 3.1b respektive 3.2b. Effektivspänningarna har inom området ökat med tiden allteftersom portrycket har minskat till följd av avsänkning i bottenlagret. In-situspänningen år 1958 har legat till grund för att ta fram ett rimligt förkonsolideringstryck för orörd, jungfruelig mark, innan området var bebyggt och avsänkningen skett.

Förkonsolideringstrycket, σ'_c , har utvärderats utifrån CRS-försök. För att validera att dessa värden kan anses som representativa för området har förkonsolideringstrycket även tagits fram genom empiriska samband. Utifrån den okorrigerade skjuvhållfastheten som erhålls vid CPT-sondering respektive fallkonförsök kan förkonsolideringstrycket tas fram med hjälp av Hansbos formel, ekvation (2.23). Empiriskt framtagna värden på skjuvhållfastheten utifrån CPT-sonderingar bör enligt skredkommissionens anvisningar inte användas utan kompletterande undersökningar. Därför kan empiriskt framtagna värden på förkonsolideringstrycket utifrån CPT-sonderingar inte ses som helt representativa. Fallkonförsök ger erfarenhetsmässigt ofta för låga värden på skjuvhållfastheten vid djup större än 10-15 m. Detta leder till att även det empiriskt framtagna förkonsolideringstrycket blir för lågt (Skredkommissionen, 1995).

Då CRS-försök endast har utförts på nyligen upptagna lerprov från området har det ursprungliga förkonsolideringstrycket på 1950-talet fått uppskattas utifrån följande empiriska samband för jungfrueliga västsvenska leror:

$$\sigma'_c = 1,20 - 1,30 \cdot \sigma'_0 \quad (6.2)$$

Detta innebär att förkonsolideringstrycket för obelastad jord överslagsmässigt kan antas vara 20-30 % högre än effektivspänningen, d.v.s. OCR 1,2 respektive 1,3, vid motsvarande tidpunkt, se Bilaga 3.1a respektive 3.2a

Leran i området är normal- till svagt överkonsoliderad. De största krypdeformationerna uppstår för OCR mellan 1,0-1,25 vilket i dagsläget återfinns på större djup i jordprofilen, se Bilaga 3.1b samt 3.2b.

Då yttre laster i form av bebyggelse och portryckssänkningar resulterar i effektivspänningar som underskrider gränstrycket, σ'_L , har denna parameter inte utvärderats med någon större noggrannhet, se Bilaga 1.1j respektive 1.2j.

6.3.4 Kryppparametrar

Den ursprungliga tanken var att kryppparametrarna α_s och β_{as} skulle tas fram genom krypförsök utförda i Chalmers laboratorium. Parametern α_s skulle sedan användas för att beräkna tidsmotståndstalet, r_s , enligt ekvation (2.13) och utifrån dess variation utvärdera parametrarna r_0 , r_l , b_0 samt b_l . På grund av förseningar har krypförsöken inte hunnit bli färdigställda. Därför har dessa kryppparametrar tagits fram utifrån rekommendationer och empiriska samband.

6.4 Studerade sektioner

Tillgänglig information om geotekniska förhållanden för det aktuella villaområdet avseende jordlagerföljd, jordens egenskaper, portryckets förändring över tiden och sättningsmätningar har kartlagts och sammanställts.

Sättningar har därefter beräknats i två olika sektioner, belägna i villaområdets södra respektive norra del. I dessa sektioner har informationen bedömts vara tillräcklig för att bygga upp en beräkningsmodell som kan anses efterlikna verkligheten.

Sektionerna är tagna från öst till väst då lerdjupen ökar kraftigt i denna riktning, varför även sättningarnas storlek förväntas variera som mest åt detta håll. Sektionerna är belägna i den södra respektive norra delen av villaområdet och benämns härnäst Sektion A-A respektive Sektion E-E, se Figur 6.2. Djup till fast botten ökar i öst-västlig riktning från omkring 5 till 28 m för sektion A-A respektive 5 till 25 m för Sektion E-E.



Figur 6.2 Studerade sektioner i villaområdet.

Det har varit av största vikt att i båda sektionerna få med information för en längre tidsperiod. Väsentligt är att ta hänsyn till in situ-förhållandet under 1950-talet, innan dränering, pumpning och exploatering påbörjades. Från 1970-talet finns ett fåtal portrycksmätningar inom området. Dessa har använts för att få en uppfattning om grundvattensänkningen i området. Även portrycksmätningar som har utförts under de senaste två åren har studerats för att kunna prognostisera förloppet framåt i tiden.

6.4.1 Sektion A-A

Sektion A-A går i öst-västlig riktning från borrhål 7SGI till 8SGI, se Ritning SGI 001. I borrhål 7SGI finns en trycksondering tagen och i 8SGI har kolvprovtagning samt porttrycksmätning utförts, se Ritning SGI 002. Den kolv vars parametrar har viktats högst för Sektion A-A är därav 8SGI. Övriga närbelägna undersökningspunkter har endast använts för jämförelse.

Hur porttrycksmätningarna i närhet till Sektion A-A har utvärderats inför beräkningarna beskrivs närmare i Kapitel 8, stycke 8.1.

6.4.1.1 Aktuella mätpunkter

De mätpunkter inom området som har varit mest relevanta för villaområdets södra del sammanfattas i Tabell 6.1. Var dessa mätpunkter är belägna kan ses i borrhöjningsplanen, se Ritning SGI 001.

Tabell 6.1 Sammanställning över aktuella mätpunkter för Sektion A-A.

Kolv	CRS	CPT-sondering	Trycksondering	Portryck	Kontroll punkt
			7SGI		978
8SGI	8SGI	8SGI		8SGI	977
5GF7109				5GF7109	
18301	18301				
				18501	
18602	18602	18602			

6.4.2 Sektion E-E

Sektion E-E går i öst-västlig riktning från borrhål 1SGI till 2SGI, se Ritning SGI 001. I denna sektion ligger även kontrollpunkt 760. I borrhål 1SGI finns en trycksondering tagen och i 2SGI har CPT-sondering och portrycksmätning utförts, se Ritning SGI 003. Kolvprovtagning har gjorts i A1GF7906, som ligger strax intill 2SGI. Den kolv vars parametrar har viktats högst för Sektion E-E är därav A1GF7906. Övriga närbelägna undersökningspunkter har endast använts för jämförelse.

Hur portrycksmätningarna i närhet till Sektion E-E har utvärderats inför beräkningarna beskrivs närmare i Kapitel 8, stycke 8.2.

6.4.2.1 Aktuella mätpunkter

De mätpunkter inom området som har varit mest relevanta för villaområdets norra del sammanfattas i Tabell 6.2. Var dessa mätpunkter är belägna kan ses i borrhöjningsplanen, se Ritning SGI 001.

Tabell 6.2 Sammanställning över aktuella mätpunkter för Sektion E-E.

Kolv	CRS	CPT-sondering	Trycksondering	Portryck	Kontrollpunkt
			1SGI		(972)
		2SGI		2SGI	760
A1GF7906				A1GF7906	
E1GF7906				E1GF7906	
18902	18902	18902		18902	
				19105	
18903	18903				

7 Modellering

Modellering är en process där en förenklad matematisk modell skapas utifrån en mer komplex fysisk verklighet. För att kunna beskriva verkligheten på ett så noggrant sätt som möjligt tar man ofta hjälp av beräkningsprogram baserade på numeriska metoder.

Då man ska bygga upp en modell är det viktigt att börja så enkelt som möjligt. Till en början bör man ha en klar bild av vad man vill undersöka och varför. I nästa steg inhämtas information och vid behov utförs kompletterande undersökningar. Därefter byggs ofta en enkel konceptuell modell upp som verifieras med hjälp av empiri och kunskap. Denna modell vidareutvecklas kontinuerligt till att bli alltmer komplex.

Viktigt är även att verifiera erhållna resultat mot uppmätta värden från det aktuella området. Man bör inte lita blint på det beräkningsprogram som används. Därför är det bra att verifiera utförda beräkningar mot överslagsberäkningar eller mot beräkningar utförda med hjälp av liknande programvara.

För att slutligen erhålla ett resultat där den konceptuella och numeriska modellen har tillräckligt god överensstämmelse bör en känslighetsanalys utföras där en parameter i taget förändras (Barbour et al, 2004). Det ovan beskrivna tillvägagångssättet för modellering har tillämpats i detta examensarbete.

8 Områdets portryckshistoria

Vid en enklare grundundersökning som utfördes av Skånska Cementgjuteriet år 1958 konstaterades att vattentrycket i friktionsjordlagren under leran i ravinens botten motsvarade en trycknivå över markytan. Det artesiska trycket var minst invid älven med trycknivån ca 4 m över ravinens botten och ökade därifrån in mot dalsidan i öster. Strax väster om järnvägen, se Figur 3.1, låg trycknivån ca 10 m över ravinens botten. I den mätpunkt som låg närmast Hercules fabriksbyggnader motsvarade grundvattentrycket i bottenlagren en fri grundvattenyta på nivån +19,7, som i rikets höjdsystem RH 70 motsvarar nivån +19,88, d.v.s. 1,5 m under markytan inom fabriksområdet. Utifrån denna information kan därmed den ursprungliga markytan i ravinens botten sägas ligga på nivån ca +9,7, som i rikets höjdsystem RH 70 motsvarar nivån +9,88.

Ravinen fylldes ut i samband med att dränerna sattes mellan år 1959 och 1960 och ravinens botten ligger därför i nuläget på nivån ca +12,5. En portrycksmätning utförd av GF Konsult år 2005 visar att ett övertryck på 1,5 m förekommer i lerskiktet under ravinen. Dock sattes inget grundvattenrör i bottenfriktionen vid denna tidpunkt och det är därför svårt att uttala sig om trycket här.

Portrycket inom området har förändrats i och med yttre påverkan. Det är därför av yttersta intresse att kartlägga detta förlopp så noggrant som möjligt för att kunna ta hänsyn till portryckets effekter för sättningsproblematiken.

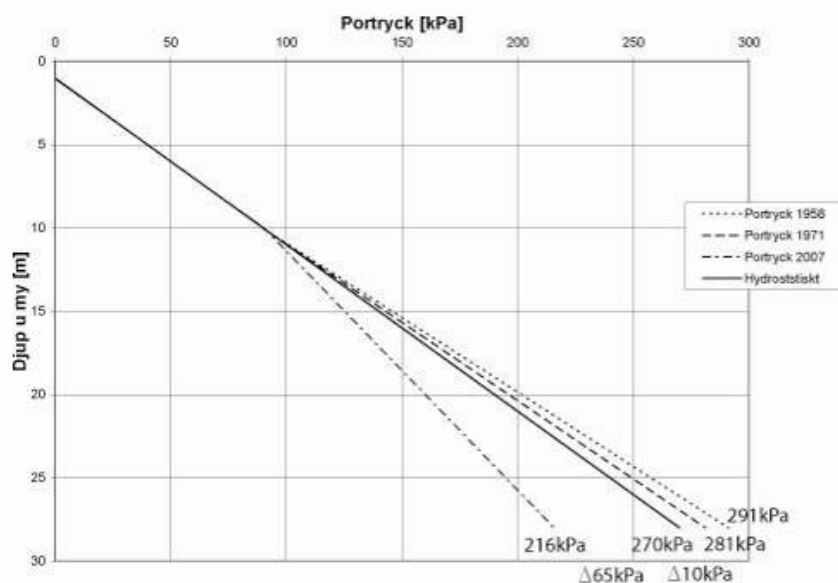
Inga omfattande mätningar av grundvattentrycket har utförts innan dräneringen och pumpningen påbörjades i området. Hur portrycksbilden såg ut inom det specifika villaområdet på 1950-talet har därför baserats på den information som togs fram år 1958 vid Hercules fabriksområde.

Utifrån de portrycksmätningar som har funnits att tillgå har en portryckshistoria tagits fram för respektive sektion som beskriver hur portrycket har förändrats från 1950-talet fram till idag.

8.1 Sektion A-A

För borrhål 7SGI saknas information om portryckets variation. På grund av den tillrinning som sker från bergspartiet i öster och den i övrigt komplexa hydrogeologin i området är det svårt att modellera portrycksförändringarna här. De ursprungliga förhållandena år 1958 baseras på ett porövertryck som antas till 10 kPa. År 1971 antas en hydrostatisk portrycksprofil för att år 2007 motsvara en avsänkning på 10 kPa jämfört med hydrostatiska förhållanden. Grundvattenytan har modellerats att ligga på 1 m respektive 2 m under markytan.

I närhet till Sektion A-A har portrycket uppmätts år 1971 samt år 2007. För år 1958 har portrycket fått antas enligt nedan. Portryckshistorian för borrhål 8SGI beskrivs nedan och illustreras i Figur 8.1.



Figur 8.1 Portryckshistoria Bh 8SGI.

8.1.1 1950-talet

Utförda grundundersökningar tyder på ett sammanhängande bottenfriktionslager genom hela området. Därför har antagandet gjorts att uppmätt trycknivå +19,88 vid Hercules fabriksområde år 1958 överslagsmässigt kan appliceras till borrhål 8SGI, i villaområdets södra del, där markytan ligger på +18,77. Då hydrostatiska förhållanden antas råda de översta metrarna har grundvattenytan genom bakåtberäkning uppskattats ligga 1 m under markytan utifrån uppmätta portryck från år 1971 respektive 2007. Med grundvattenytan på detta djup fås i en hydrostatisk profil ett portryck på 270 kPa i bottenfriktionen. Trycknivå +19,88 ger portrycket 291 kPa i bottenfriktionen, vilket resulterar i ett övertryck på 21 kPa jämfört med ett hydrostatiskt förhållande.

8.1.2 1970-talet

I närhet till borrhål 8SGI återfinns uppmätta portryck från år 1971 i borrhål 5GF7109. Då detta borrhål ligger strax intill borrhål 8SGI antas grundvattenytan även vid denna tidpunkt ligga 1 m under markytan. En hydrostatisk profil resulterar i ett portryck på 270 kPa i bottenfriktionen. Mätningar från de grundvattenrör som sattes i 5GF7109 indikerar på en trycknivå på +18,87, vilket innebär att portrycket är 281 kPa i 8SGI. Detta motsvarar ett övertryck på 11 kPa i bottenfriktionen jämfört med ett hydrostatiskt förhållande. Portrycket sänktes totalt med 10 kPa mellan år 1958 och 1971.

8.1.3 2000-talet

I nära anslutning till borrhål 8SGI har Ramböll utfört längre serier av portrycksmätningar i borrhål 18501 under år 2006 och 2007. Dessa mätningar tyder på en avsänkning i bottenfriktionen med 50 kPa jämfört med ett hydrostatiskt förhållande, vilket resulterar i en trycknivå på +12,35.

Portrycksmätare har installerats i borrhål 8SGI år 2007. En hydrostatisk profil ger ett portryck på 270 kPa i bottenlagret. Den senaste mätningen indikerar på en avsänkning

med 41 kPa i bottenfriktionen jämfört med ett hydrostatiskt förhållande. Detta motsvarar en trycknivå på +13,67. Eftersom portrycksmätaren här är satt nyligen anses den senaste mätningen med störst avsänkning ge mest representativa resultat då det tar en viss tid för trycket att ställa in sig.

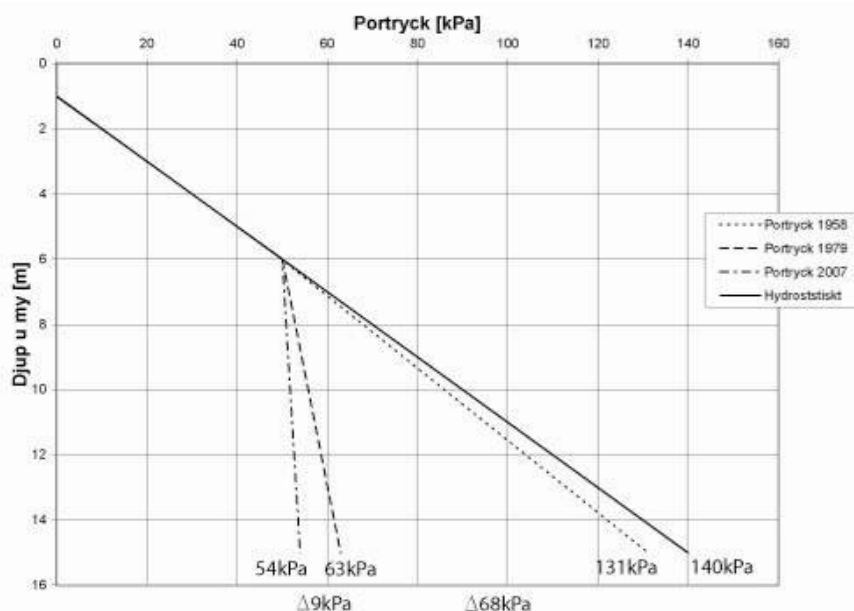
I kommande beräkningar har dock trycknivån +12,35 i borrhål 18501 använts då det grundar sig på längst mätserier samt även ger det värsta scenariot ur sättningssynpunkt. Denna trycknivå motsvarar ett portryck på 216 kPa i 8SGI och en avsänkning på 54 kPa jämfört med ett hydrostatiskt förhållande. Portrycket sänktes totalt med 65 kPa mellan år 1971 och 2007.

Den totala portrycksförändringen mellan år 1958 och 2007 uppgår till 75 kPa, vilket motsvarar en lika stor effektivspänningsökning.

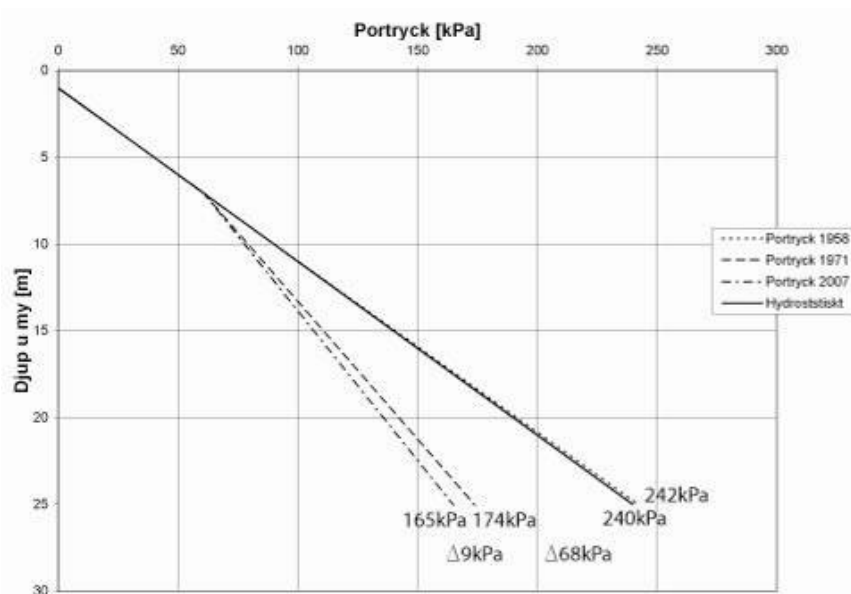
8.2 Sektion E-E

För borrhål 1SGI saknas information om portryckets variation. På grund av den tillrinning som sker från bergspartiet i öster och den i övrigt komplexa hydrogeologin i området är det svårt att modellera portrycksförändringarna här. De ursprungliga förhållandena år 1958 baseras på ett porövertryck som antas till 10 kPa. År 1979 antas en hydrostatisk portrycksprofil för att år 2007 motsvara en avsänkning på 10 kPa jämfört med hydrostatiska förhållanden. Grundvattenytan har modellerats att ligga på 1 m respektive 2 m under markytan.

I närhet till Sektion E-E har portrycket uppmätts år 1979 samt år 2007. För 1950-talet har portrycket fått antas enligt nedan. Portryckshistorian för borrhål 2SGI samt kontrollpunkt 760 beskrivs nedan och illustreras i Figur 8.2 respektive Figur 8.3.



Figur 8.2 Portryckshistoria Bh 2SGI.



Figur 8.3 Portryckshistoria kontrollpunkt 760.

8.2.1 1950-talet

Den trycknivå på +19,88 som uppmättes år 1958 vid Hercules fabriksområde, på motsatt sida om Rv 45, har valts som representativ för borrhål 2SGI där markytan ligger på +21,78. Då hydrostatiska förhållanden antas råda de översta metrarna har grundvattenytan genom bakåtberekening uppskattats ligga 1 m under markytan utifrån uppmätta portryck från år 1979 i det intilliggande borrhålet A1GF7906. En grundvattenyta på detta djup skulle i en hydrostatisk profil ge ett portryck på 140 kPa i bottenlagret. Trycknivån +19,88 ger portrycket 131 kPa i bottenlagret, vilket resulterar i en avsänkning på 9 kPa jämfört med ett hydrostatiskt förhållande.

Trycknivån +19,88 vid Hercules fabriksområde har även ansetts vara representativ för kontrollpunkt 760. Markytan ligger här på ca +20,68 och grundvattenytan antas ligga 1 m under markytan. En hydrostatisk profil skulle ge ett portryck på 240 kPa i bottenlagret. Med trycknivån +19,88 skulle portrycket i bottenlagret vara 242 kPa. Detta resulterar i ett övertryck på 2 kPa jämfört med ett hydrostatiskt förhållande.

8.2.2 1970-talet

I närhet till borrhål 2SGI finns portrycksmätningar från år 1979 i borrhål A1GF7906 samt E1GF7906. Dessa visar på en avsänkning i bottenfriktionen på 75 kPa respektive 68 kPa jämfört med ett hydrostatiskt förhållande. Dessa avsänkningar motsvarar trycknivåer på +13,08 respektive +15,80.

Trycknivån +13,08 i A1GF7906 har använts vid beräkning då detta borrhål är beläget precis intill 2SGI och dessutom innebär det värsta fallet ur sättningssynpunkt. En hydrostatisk profil ger ett portryck på 140 kPa i bottenlagret. Trycknivån +13,08 resulterar i ett portryck på 63 kPa i 2SGI med en antagen grundvattenyta 1 m under markytan. Detta motsvarar en avsänkning på 77 kPa i bottenfriktionen jämfört med ett hydrostatiskt förhållande. Portrycket sänktes totalt med 68 kPa mellan år 1958 och 1979.

Trycknivån +13,08 i A1GF7906 har ansetts vara representativ även för kontrollpunkt 760. Markytan ligger här på ca +20,68 och grundvattenytan antas ligga 1 m under markytan. En hydrostatisk profil ger ett portryck på 240 kPa i bottenlagret. Trycknivån på +13,08 ger ett portryck i bottenlagret på 174 kPa. Detta resulterar i en avsänkning på 66 kPa jämfört med ett hydrostatiskt förhållande. Portrycket sänktes totalt med 68 kPa mellan år 1958 och 1979.

8.2.3 2000-talet

I anslutning till borrhål 2SGI har Ramböll gjort längre serier av portrycksmätningar i borrhål 18902 och 19105 under år 2006 och 2007. Mätningarna tyder på en avsänkning i bottenfriktionen med 55 kPa respektive 127 kPa jämfört med ett hydrostatiskt förhållande. Dessa avsänkningar resulterar i trycknivåer på +12,47 respektive +12,02. Portrycken motsvarar uppmätta minimivärden och det värsta fallet ur sättningsynpunkt.

Under år 2007 har SGI utfört kompletterande portrycksmätningar i bottenfriktionen i borrhål 2SGI, som är närbeläget A1GF7906. Då enbart ett grundvattenrör finns installerat i denna mätpunkt är det inte möjligt att ta fram grundvattenytans läge genom bakåtberäkning. Därför har grundvattenytan antagits ligga på samma djup som i A1GF7906, d.v.s. 1 m under markytan. En hydrostatisk profil ger ett portryck på 140 kPa i bottenlagret. Mätningarna visar på ett nuvarande portryck på 54 kPa, vilket motsvarar en avsänkning i bottenfriktionen på 86 kPa jämfört med ett hydrostatiskt förhållande. Denna avsänkning resulterar i en trycknivå på +12,18.

Utifrån ovanstående resonemang grundas utförda beräkningar på uppmätta portryck i borrhål 2SGI då dess trycknivå har god överensstämmelse med det värsta uppmätta fallet i borrhål 19105. Portrycket sänktes totalt med 9 kPa mellan år 1979 och 2007.

Trycknivån +12,18 i 2SGI har även ansetts vara representativ för kontrollpunkt 760. Markytan ligger här på ca +20,68 och grundvattenytan antas ligga 1 m under markytan. En hydrostatisk profil ger ett portryck på 240 kPa i bottenlagret. Trycknivån på +12,18 ger ett portryck i bottenlagret på 165 kPa. Detta resulterar i en avsänkning på 75 kPa jämfört med ett hydrostatiskt förhållande. Portrycket sänktes totalt med 9 kPa mellan år 1979 och 2007.

Den totala portrycksförändringen mellan år 1958 och 2007 uppgår i borrhål 2SGI respektive kontrollpunkt 760 till 77 kPa, vilket motsvarar en lika stor effektivspänningsökning.

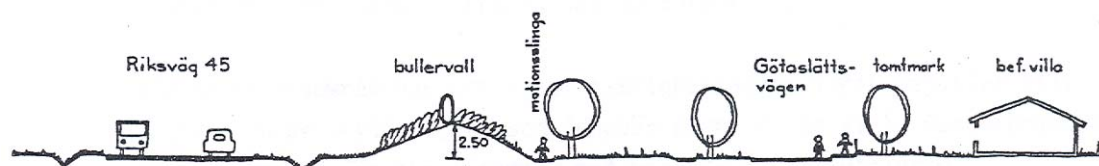
9 Områdets belastningshistoria

Väg E 45 har grundlagts genom kompensationsmetoden. Därför antas den motsvara en last på omkring 2kPa som ligger på från beräkningens början, år 1958.

Husen i villaområdet byggdes i den södra delen mellan år 1970-1972 och i den norra delen mellan år 1974-1976. Därför har det antagits att lasten från husen läggs på år 1971 i Sektion A-A respektive år 1975 i Sektion E-E. Samtliga huslaster är konstanta framåt i tiden. Då husen i dessa sektioner är grundlagda med källare enligt kompensationsmetoden ger dessa ingen större belastning på underliggande jord. Därav har en last på 5 kPa per hus ansatts.

Några år efter det att villaområdet var färdigställt anlades en skyddande bullervall som sträcker sig parallellt med E 45. De handlingar som Byggnadsnämnden i Lilla Edets kommun gav ut år 1981 beskriver bullerskyddets utformning. Utifrån detta uppskattas att bullervallen intill villaområdet anlades under år 1982.

Bullervallens ursprungliga höjd var planerad till 2,5 m och ovanpå vallen har buskar och träd planterats, se Figur 9.1. Relationshandlingar som beskriver bullervallens verkliga utförande saknas. Därför har dess övriga geometri fått uppskattas. Utifrån en höjd på 2,5 m har en toppbredd på 1 m och en bottenbredd på 11 m antagits, vilket motsvarar en släntlutning på 1:2. Enligt uppgift utgörs bullervallen av lera med ett överlagrande jordtäckte och utifrån denna information har tungheten antagits till 17 kN/m³.



Figur 9.1 Principiell sektion genom bullervall (Byggnadsnämnden i Lilla Edets kommun, 1981).

10 Beräkningar

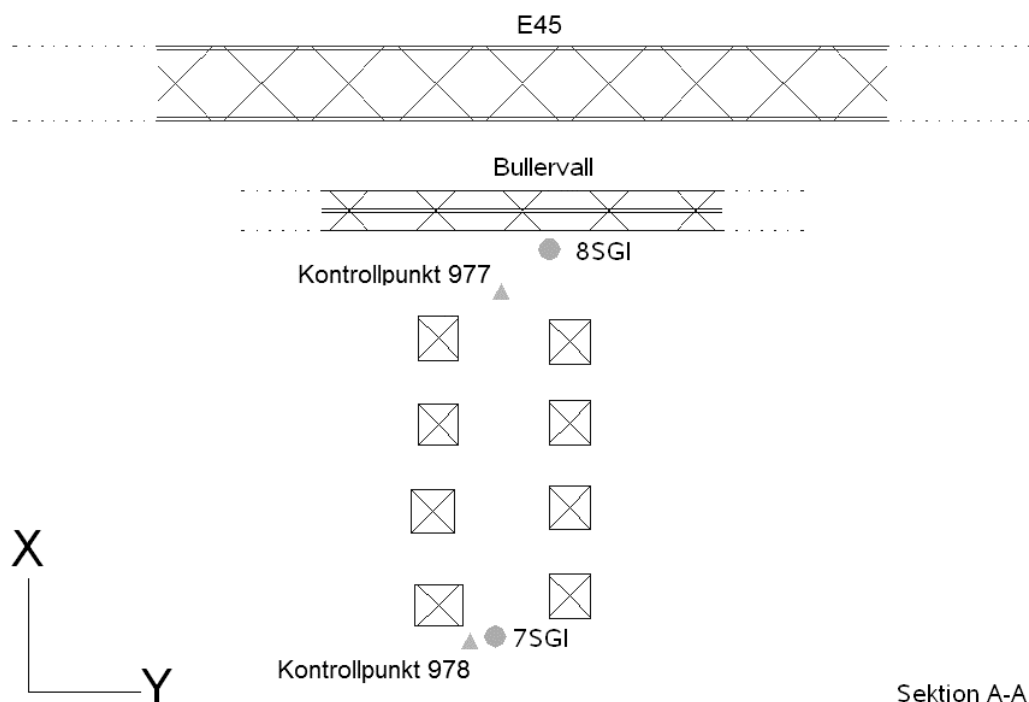
En grundmodell har byggts upp med hjälp av beräkningsprogrammet GeoSuite Settlement. Resultaten har jämförts mot uppmätta sättningar för en kortare tidsperiod. Eftersom GeoSuite är en ny programvara har dess beräkningsmodell validerats genom att även utföra beräkningar med hjälp av det etablerade programmet Embankco. Grundmodellen kan inte byggas upp på samma sätt i Embankco och därför har en s.k. jämförelsemodell skapats.

10.1 Grundmodell i GeoSuite

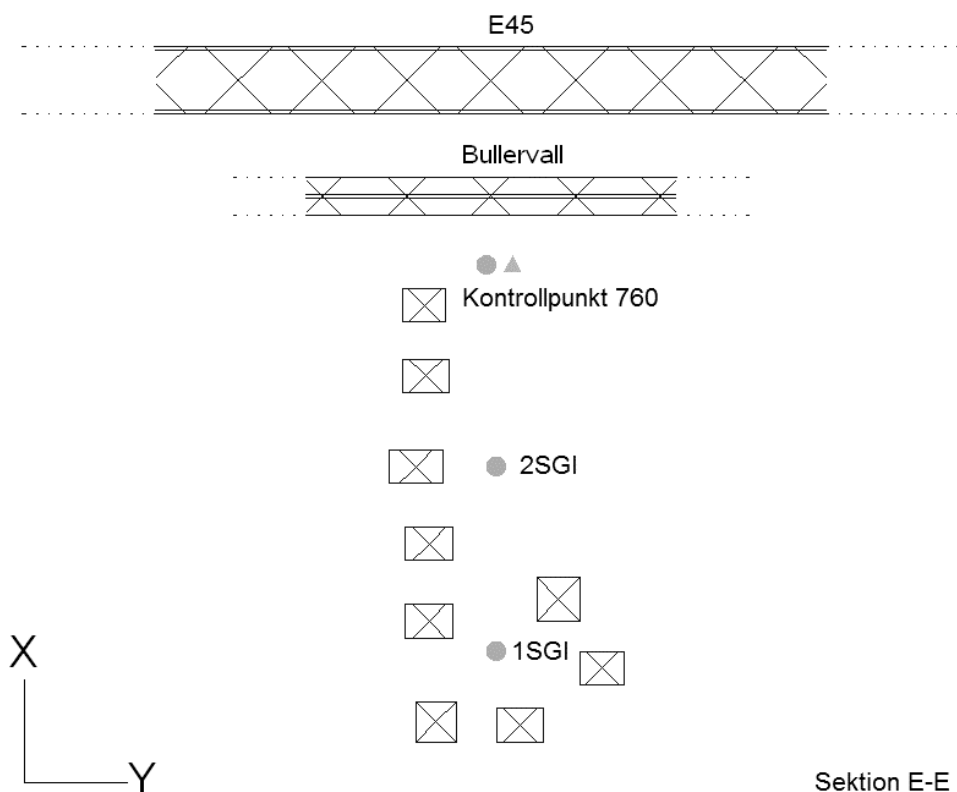
I GeoSuite har sättningsberäkningar utförts enligt beräkningsmodellerna ”Chalmers with creep” samt ”Chalmers without creep”, d.v.s. både med och utan hänsyn till krypning. Beräkningsmodellen bygger på utgångsåret 1958, med rådande naturliga förhållanden i marken innan portryckssänkningen. Sättningen beräknas från denna tidpunkt och hundra år framåt, d.v.s. fram till år 2058. Beräkningen utförs för en 100-årsperiod då husens tekniska livslängd rimligtvis är uppnådd inom denna tidsperiod.

10.1.1 Beräkningspunkter

För Sektion A-A har beräkningar utförts i 7SGI och 8SGI, se Figur 10.1. På motsvarande sätt har beräkningar utförts för Sektion E-E i 1SGI, 2SGI samt i kontrollpunkt 760, se Figur 10.2.



Figur 10.1 Modell över Sektion A-A i GeoSuite.



Figur 10.2 Modell över Sektion E-E i GeoSuite.

10.1.2 Indata-parametrar

Utifrån utvärderade geotekniska parametrar, se Bilaga 1, har indata-parametrar för beräkningarna valts, se Bilaga 2. Vissa parametrar antar konstanta värden och har därför inte illustrerats i diagramform. Dessa parametrar beskrivs nedan.

För att beskriva övergången mellan kompressionsmodulerna definieras parametrarna a_0 och a_1 till 0,8 respektive 1,0. Faktorn β_k som beskriver permeabilitetens förändring har satts konstant till 3,5 genom hela jordprofilen.

OCR 1,2 och 1,3 ger b_0 0,83 respektive 0,77. Därför har värdet på b_0 valts till 0,8 genom hela jordprofilen i båda sektionerna och för både OCR 1,2 respektive 1,3. Parametern r_0 har satts till värdet 1000 för att krypningen ska bli mycket liten då förhållandet mellan effektivspänningen och förkonsolideringstrycket understiger b_0 . Parametern r_1 har beräknats utifrån vattenkvoten utvärderad från närläggna kolvprover för respektive djup enligt ekvation (2.16), se Bilaga 2.1 (g) respektive Bilaga 2.2 (g).

10.1.3 Portryck

I GeoSuite finns möjligheten att lägga in portryck vid olika tidpunkter. En portryckshistoria har skapats för sektionerna genom att portrycken har lagts in mot utvalda djup för år 1958, 1971, 1979, samt 2007, se Kapitel 8. Förändringen mellan inlagda portryck sker linjärt i programmet.

För varje djup ställs gällande randvilkor in. "Free" används i det fall då porövertryck kan uppstå, d.v.s. då intilliggande skikt är odränerande, och innebär att programmet tillåts att själv beräkna portrycket. "Fixed" används i det fall då porövertryck ej kan uppstå, d.v.s. då intilliggande skikt är dränerande. "Drained" används på motsvarande sätt vid grundvattenytan, då ovanliggande torrskorpa är dränerande.

10.1.4 Laster

I GeoSuite finns också möjlighet att lägga in en belastningshistoria, se Kapitel 9. Bullervallen och väg E 45 har lagts in i programmet som långsträckta, oändliga ytlaster enligt Boussinesq. Husen har definierats som rektangulära ytlaster med en lastspridning 2:1.

10.1.5 Käslighetsanalys

Eftersom information om jordens spänningssituation år 1958 saknas har överkonsolideringsgraden, OCR, fått uppskattas utifrån det empiriskt sambandet som uttrycks enligt ekvation (6.2). Det innebär att OCR för västsvenska leror ligger mellan 1,2 och 1,3 för obelastad mark. Den viktigaste delen av käslighetsanalysen består därför i att jämföra hur beräkningsresultaten skiljer sig åt mellan en OCR av storleken 1,2 respektive 1,3 som motsvarar den lägsta respektive högsta överkonsolideringen enligt empirin.

Utifrån rekommendationer om att faktorn b_1 bör ligga mellan 1,0 och 1,1 har en käslighetsanalys gjorts där beräkningar utförs för båda dessa gränser med OCR 1,2 respektive 1,3.

För borrhål 8SGI och kontrollpunkt 760 har även beräkningar utförts utan bullervallen som last för fallet med OCR 1,3 och b_1 1,1. Denna analys utförs för att portryckssänkningens effekt ska kunna särskiljas från bullervallens effekt. I dessa punkter utförs även en beräkning utan hänsyn till krypning för att påvisa krypningens betydelse för sättningsförloppet.

10.2 Jämförelsemodell i Embankco

På grund av att Embankco har vissa begränsningar då det gäller att modellera portryck kan modellen inte byggas upp på exakt samma sätt som i GeoSuite. Av denna anledning måste grundmodellen i GeoSuite anpassas till en jämförelsemodell i Embankco.

Denna jämförelsemodell har tagits fram enbart för att kunna jämföra hur de båda programmen beräknar sättningar. Syftet med denna modell är alltså inte att få fram den mest realistiska sättningsprognosen.

I Embankco har sättningsberäkningar utförts med hänsyn till krypning. Sättningen beräknas från år 1975 och 100 år framåt, d.v.s. fram till år 2075.

10.2.1 Beräkningspunkter

Sättningsberäkningar har utförts i Embankco för en punkt i vardera sektion. I Sektion A-A har beräkningar gjorts för 8SGI och i Sektion E-E har beräkningar gjorts för kontrollpunkt 760.

10.2.2 Indata-parametrar

Jämförelsemodellen i Embankco har, i den grad som det har varit möjligt, byggts upp utifrån samma indata som har använts för grundmodellen i GeoSuite, se Bilaga 2.

Embankco skiljer sig från GeoSuite genom att kryppparametrarna $\alpha_{s,\max}$ och β_{α_s} används för att beskriva kryphastigheten enligt Kapitel 2, stycke 2.5.2.1. Kryppparametern $\alpha_{s,\max}$ har beräknats med hjälp av faktorn r_l utifrån ekvation (2.13). Kryppparametern β_{α_s} har valts utifrån tillhörande vattenkvot enligt tabellen i programhjälpen som även beskrivs i Information 13. Kryppparametrarna har satts konstanta för respektive skikt utifrån ett medelvärde av vattenkvoten från närbelägna kolvprover.

10.2.3 Portryck

I Embankco definieras en initiell portrycksfördelning varefter en portrycksförändring kan läggas in i förhållande till markytan. Denna portrycksförändring sker momentant i programmet och därför är det inte möjligt att lägga in en portryckshistoria som i GeoSuite.

För Sektion A-A sker den största delen av portryckssänkningen någon gång mellan år 1971 och 2007, se Figur 8.1. Motsvarande avsänkning för Sektion E-E sker mellan år 1958 och 1979, se Figur 8.2 och Figur 8.3. Med hänsyn till att portrycksförändringen måste ske momentant i programmet krävs att ett rimligt år för denna avsänkning antas. Utifrån ovanstående resonemang har därför år 1975 bedömts vara ett rimligt utgångsår för jämförelsemodellen.

För att åstadkomma den portryckssänkning som har uppstått i bottenlagret måste man i Embankco lägga till ett fridränerande skikt underst i jordlagerprofilen. Trycknivån i detta skikt definieras därefter i förhållande till markytan.

Portrycket är för de båda sektionerna hydrostatiskt i de övre skikten, ner till underkant av det sandiga, siltiga lerskiktet, varunder portryckssänkningen sker. För att programmet ska kunna ta hänsyn till detta krävs att ett fridränerande skikt läggs in strax ovanför den hydrostatiska gränsen. I detta fall har det sandiga, siltiga lerskiktet, beläget ovanför sulfidleran, ansatts som fridränerande. Portrycket uppträder då i programmet som hydrostatiskt ner till underkant av skiktet för de båda sektionerna, se Bilaga 5.1.1d respektive 5.2.1d.

10.2.4 Laster

Embankco arbetar endast med oändliga långsträckta ytlaster enligt Boussinesq. Därför har både bullervallen och husen fått modelleras som sådana laster. Till skillnad från portrycket kan man för laster lägga in en tidshistoria i programmet. Man använder sig då av laststeg där varje last beskrivs som en positiv eller negativ tilläggslast som adderas till föregående laststeg. Det är möjligt att för varje laststeg ställa in en upplastningstid. Under denna upplastningstid antas belastningen öka linjärt upp till sitt fulla värde. Bullervallen läggs på år 1982 och antas anläggas under en 100-dagarsperiod medan husen och väg E 45 antas ligga på från beräkningsstart.

10.3 Jämförelsemodell i GeoSuite

En jämförelsemodell har även byggts upp i GeoSuite utifrån motsvarande modell i Embankco. För att kunna jämföra beräkningar utförda i de båda programmen baseras modellen på samma utgångsår som valts till år 1975. Sättningen beräknas från denna tidpunkt och hundra år framåt, d.v.s. fram till år 2075.

10.3.1 Beräkningspunkter

Sättningsberäkningar har utförts i GeoSuite för en punkt i vardera sektion. I Sektion A-A har beräkningar gjorts för 8SGI och i Sektion E-E har beräkningar gjorts för kontrollpunkt 760.

10.3.2 Indata-parametrar

Jämförelsemodellen i GeoSuite har byggts upp utifrån samma indata som har använts för grundmodellen i GeoSuite, se Bilaga 2. De parametrar som skiljer sig åt beskrivs nedan.

I Embankco sätts alla kryppparametrar till noll i fridränerande skikt, vilket innebär att ingen krypning sker. I GeoSuite har därför beräkningsmodellen ”Chalmers without creep” använts i torrskorpan samt i det sandiga, siltiga lerskiktet.

För att beskriva den konstanta övergången mellan kompressionsmodulerna, som Embankco bygger på, definieras båda parametrarna a_0 och a_1 till 1,0.

Faktorerna b_0 och b_1 har satts till 0,8 respektive 1,0 för att använda samma förutsättningar för kryphastighetens linjära samband som i Embankco.

Embankco räknar inte med krypning för effektivspänningar lägre än 80 % av förkonsolideringstrycket. I GeoSuite är det inte möjligt att bortse från krypning för detta spänningsintervall. Därför har två beräkningsfall utförts för tidsmotståndstalet inom detta spänningsintervall, som definieras med hjälp av parametern r_0 . I det ena beräkningsfallet har parametern r_0 satts konstant till 10 000 för de skikt där krypning beaktas. På så vis erhålls ett högt tidsmotståndstal i GeoSuite för effektivspänningar lägre än 80 % av förkonsolideringstrycket. Tidsmotståndstalet blir dock i detta fall högre än rekommenderat för effektivspänningar mellan 80 och 100 % av förkonsolideringstrycket. I det andra beräkningsfallet har parametern r_0 satts konstant till 1000 för de skikt där krypning beaktas, vilket resulterar i att viss krypning tillåts att ske för effektivspänningar lägre än 80 % av förkonsolideringstrycket.

Parametern r_l har beräknats för respektive skikt, enligt ekvation (2.13) utifrån den krypparameter $\alpha_{s,\max}$ som har definierats i jämförelsemodellen i Embankco.

10.3.3 Portryck

För att efterlikna beräkningsmodellen i Embankco måste portryckssänkningen i GeoSuites jämförelsemodell ske momentant. Detta modelleras genom att för år 0 definiera ett initieellt poröverttryck och för år 0,0001 definiera den nya portrycksbilden efter maximal avsänkning.

Randvillkoren som definierats i GeoSuites grundmodell ändras inte i jämförelsemodellen. Eftersom det sandiga, siltiga lerskiktet måste sättas som fridränerande i Embankco sätts permeabiliteten för detta skikt i GeoSuite som mycket hög, $1 \cdot 10^{-3}$.

10.3.4 Laster

Husen och väg E 45 antas liksom i Embankco ligga på från beräkningsstart, år 1975. Bullervallen läggs på år 1982 och har en upplastningstid på 100 dagar. Detta modelleras genom att för år 7,0 sätta lastfaktorn till 0 samt för år 7,27 sätta lastfaktorn till 1. Lastökningen sker då linjärt under 100 dagar i programmet.

11 Resultat

Samtliga beräkningsresultat finns sammanställda i tabellform, se Bilaga 6. Resultaten för beräkningspunkt 1SGI samt 7SGI visar på dålig överensstämmelse mot uppmätt sättning och har därför valts att inte redovisas. Problemen i dessa punkter kan ha flera orsaker. Den tillgängliga informationen i dessa punkter kan ha varit för bristfällig för att kunna bygga upp en rimlig beräkningsmodell. Det skulle även kunna bero på att inga laster påförs vid dessa punkter. GeoSuite har vissa begränsningar vid modellering med små ytlaster då programmet kan få problem med referenstiden (Meijer et al, 2007).

11.1 Grundmodell i GeoSuite

Erhållna sättningsskurvor, portrycksfördelning, porövertryck samt töjning mot djup för grundmodellen redovisas i Bilaga 4.

I sättningsdiagrammen visas beräknad sättning mot tid samt uppmätt sättning i respektive kontrollpunkt. Sättningsmätningar har gjorts från mitten av 1990-talet då sättningar redan hade uppstått. Ett absolut värde på hur stor sättning som totalt har utbildats fram till dess att första inmätningen utfördes saknas. Därför har differenssättningar beräknats och adderats till beräknad sättning i GeoSuite. Av denna anledning sammanfaller den första uppmätta sättningen med beräknad sättning. Punkterna för uppmätta sättningar visar på en trend för sättningsförloppets hastighet.

Portrycksdiagrammen visar att portryckssänkningen i grundmodellen sker successivt. I de fall där uppmätta portryck finns har det lagts in som punkter i diagrammet för att jämföra med beräknat portryck.

I diagrammen för porövertryck kan observeras att porövertrycket blir som störst i de djupare skikten och ökar allteftersom avsänkningen sker. Då all avsänkning antas ha skett fram till idag kan man tydligt se i diagrammet att porövertrycket har börjat utjämnas mot sitt ursprungliga läge. Man kan även se att porövertrycket ökar i de övre skikten då laster, i form av hus och bullervall, läggs på.

Töjningsdiagrammet visar att de största sättningarna sker på större djup eftersom det är här den största påverkan har skett i form av portryckssänkning.

11.1.1 Beräkningspunkt 8SGI, Sektion A-A

För beräkningspunkt 8SGI finns uppmätta sättningar i den närbelägna kontrollpunkten 977 från år 1998, 2000, 2002 och 2006.

Samtliga fyra analyser, utifrån OCR och faktorn b_I , ger god överensstämmelse med trenden för uppmätta sättningar, se Bilaga 4.1.1-4.1.4. Därför är det svårt att säga vilken av de fyra analyserna som är mest rimlig. Med tiden kommer man att kunna lägga in fler inmätningar och se en tydligare trend för sättningsförloppet.

Utifrån portrycksdiagrammen kan man dock se en tydligare överensstämmelse mellan uppmätt och beräknat portryck för fallet med OCR 1,3 och faktor b_I 1,1, se Bilaga 4.1. Därav kan man dra slutsatsen att uppmätt sättning år 2002, d.v.s. inmätningsspunkt

nummer tre i serien, avviker från den övriga trenden och inte bör viktas lika högt som övriga punkter. Denna analys ger den minsta totalsättningen år 2058 på omkring 0,7 m. Enligt beräkningen har 50 % av den totala sättningen uppstått år 2006.

Eftersom de tre övriga analyserna också stämmer väl med trenden för uppmätta sättningar skulle sättningen också kunna bli större. Som mest uppgår totalsättningen till omkring 1 m år 2058, där ca 48 % av den totala sättningen har uppstått år 2006.

Det bör tilläggas att den totalsättning som redovisas för år 2058 inte kan ses som en slutlig sättning då sättningskurvorna inte visar på en utplanande trend.

Analysen som har utförts utan bullervallen som last visar att portryckssänkningen står för ca 80 % av totalsättningen år 2058 i borrhål 8SGI, se Bilaga 4.1.5. Bullervallen ger alltså förhållandevis stor lokal inverkan i denna beräkningspunkt. Därför kan dessa resultat ses som extremvärden för sättningsförloppet i villaområdet. Om enbart portryckssänkningens effekt beaktas fås en totalsättning på omkring 0,5 m år 2058, vilket borde vara ett mer representativt värde för husen i närhet till Sektion A-A.

Krypningens effekt står för ca 68 % av totalsättningen år 2058, se Bilaga 4.1.5, och därmed utgör krypdeformationerna den största delen av sättningarna.

Tabell 11.1 Resultat från grundmodell, beräkningspunkt 8SGI.

	Sättning år 2006 [mm]	Totalsättning år 2058 [mm]	Andel utbildad sättning
OCR=1,2 $b_1=1,0$	476	985	48 %
OCR=1,2 $b_1=1,1$	421	853	49 %
OCR=1,3 $b_1=1,0$	392	800	49 %
OCR=1,3 $b_1=1,1$	334	663	50 %

11.1.2 Beräkningspunkt 760, Sektion E-E

För kontrollpunkt 760 finns uppmätta sättningar från år 2000, 2002 och 2006 och därför har en beräkningspunkt valts här.

Samtliga fyra analyser, utifrån OCR och faktorn b_1 , ger relativt god överensstämmelse med trenden för uppmätta sättningar, se Bilaga 4.2.1-4.2.4. Trenden är här något mer osäker då serien endast utgörs av tre punkter. Med tiden kommer man att kunna lägga in fler inmätningar och se en tydligare trend för sättningsförloppet. Av denna anledning är det svårt att uttala sig om vilken av de fyra analyserna som är mest rimlig.

Analysen med OCR 1,3 och faktorn b_1 1,1 stämmer något bättre överens med trenden hos de uppmätta sättningarna än de övriga och ger den minsta totalsättningen år 2058 på omkring 0,75 m. Enligt beräkningen har ca 67 % av den totala sättningen uppstått år 2006.

Eftersom de övriga tre analyserna också stämmer relativt väl med trenden för uppmätta sättningar skulle sättningen också kunna bli större. Som mest uppgår totalsättningen till omkring 1,2 m år 2058, där ca 62 % av den totala sättningen har uppstått år 2006.

Det bör tilläggas att den totalsättning som redovisas för år 2058 inte heller här kan ses som en slutlig sättning då sättningskurvorna inte visar på en utplanande trend.

Analysen som har utförts utan bullervallen som last visar att portryckssänkningen står för ca 95 % av totalsättningen år 2058 i beräkningspunkt 760, se bilaga 4.2.5. Bullervallen ger alltså mindre inverkan för denna punkt då den inte ligger lika nära bullervallen som beräkningspunkt 8SGI. Erhållna resultat kan även i detta fall ses som extremvärden för sättningsförloppet i villaområdet. Om enbart portryckssänkningens effekt beaktas fås en totalsättning på omkring 0,7 m år 2058, vilket borde vara ett mer representativt värde för husen i närhet till Sektion E-E.

Krypningens effekt står för ca 61 % av totalsättningen år 2058, se Bilaga 4.2.5, och därmed utgör krypdeformationerna den största delen av sättningarna.

Tabell 11.2 Resultat från grundmodell, beräkningspunkt 760.

	Sättning år 2006 [mm]	Totalsättning år 2058 [mm]	Andel utbildad sättning
OCR=1,2 $b_1=1,0$	758	1226	62 %
OCR=1,2 $b_1=1,1$	673	1067	63 %
OCR=1,3 $b_1=1,0$	623	960	65 %
OCR=1,3 $b_1=1,1$	505	756	67 %

11.1.3 Beräkningspunkt 2SGI, Sektion E-E

För beräkningspunkt 2SGI saknas uppmätta sättningar. Kontrollpunkt 760, där sättningsmätningar har utförts år 2000, 2002 och 2006, ligger dock inte så långt ifrån och kan anses vara jämförbar för en kortare tidsperiod. En längre jämförelse mellan beräknade och uppmätta sättningar kommer inte att kunna göras då lerdjupen skiljer sig avsevärt åt. Med anledning av den höga osäkerheten gentemot uppmätta sättningar är det svårt att avgöra vilken av de fyra analyserna som ger den mest rimliga sättningsprognosen, se Bilaga 4.3.1-4.3.4.

Analysen med OCR 1,3 och faktorn b_1 1,1 ger även i detta fall den minsta totalsättningen år 2058 på omkring 0,7 m. Enligt beräkningen har ca 73 % av den totala sättningen uppstått år 2006.

Totalsättningen uppgår i beräkningarna som mest till omkring 1 m år 2058, där ca 75 % av den totala sättningen har uppstått år 2006.

Det bör tilläggas att den totalsättning som redovisas för år 2058 inte heller här kan ses som en slutlig sättning då sättningskurvorna inte visar på en utplanande trend.

Tabell 11.3 Resultat från grundmodell, beräkningspunkt 2SGI.

	Sättning år 2006 [mm]	Totalsättning år 2058 [mm]	Andel utbildad sättning
OCR=1,2 $b_1=1,0$	720	965	75 %
OCR=1,2 $b_1=1,1$	642	875	73 %
OCR=1,3 $b_1=1,0$	597	809	74 %
OCR=1,3 $b_1=1,1$	507	691	73 %

11.2 Jämförelsemodell i Embankco och GeoSuite

Erhållna sättningskurvor, portrycksfördelning samt porövertryck för jämförelsemodellen redovisas i Bilaga 5.

Sättningsdiagrammen visar sättning mot tid beräknad i GeoSuite respektive Embankco. Sättningshastigheten är inledningsvis överensstämmande mellan båda programmen. Då bullervallen läggs på, år 1982, kan man tydligt se att sättningshastigheten ökar snabbare i Embankco för beräkningspunkt 8SGI. Beräknad sättning i Embankco hamnar mellan de två beräkningsfallen för r_0 1000 respektive 10 000 i GeoSuite. Fallet där r_0 är 1000 ger något bättre överensstämmelse för samtliga analyser. Detta tycks även vara det mest rimliga fallet eftersom effektivspänningar lägre än 80 % av förkonsolideringstrycket inte bör uppstå under den studerade tidsperioden. För denna beräkningsperiod har ingen av de beräknade sättningskurvorna fått en utplanande trend. Därför kan något värde på slutsättningen inte analyseras.

Portrycksdiagrammen visar att portryckssänkningen i de båda beräkningsmodellerna sker momentant. Portryckssänkningen modelleras dock på lite olika sätt i de båda programmen. I de fall då ett uppmätt portryck har funnits har det lagts in som punkter i diagrammet för att jämföra med.

I diagrammen för porövertryck ser man att det största porövertrycket i GeoSuite uppstår längst ner i botten av profilen medan det i Embankco uppstår något högre upp

i profilen. Detta beror på att programmen beräknar lite olika. Inget porövertryck uppstår ovanför det fridränerande skiktet i Embankco-modellen. I GeoSuite har det sandiga, siltiga lerskiktet modellerats med en hög permeabilitet, vilket innebär att ett mindre porövertryck ändå kan uppstå.

Tabell 11.4 Resultat från jämförelsemodell, beräkningspunkt 8SGI.

	Sättning år 2006 [mm]	Totalsättning år 2075 [mm]
Embankco		
OCR=1,2	753	1197
OCR=1,3	579	926
GeoSuite		
OCR=1,2 $r_0=10\ 000$	601	1094
OCR=1,3 $r_0=10\ 000$	479	835
OCR=1,2 $r_0=1000$	701	1263
OCR=1,3 $r_0=1000$	614	1047

Tabell 11.5 Resultat från jämförelsemodell, beräkningspunkt 760.

	Sättning år 2006 [mm]	Totalsättning år 2075 [mm]
Embankco		
OCR=1,2	813	1389
OCR=1,3	588	1027
GeoSuite		
OCR=1,2 $r_0=10\ 000$	645	1192
OCR=1,3 $r_0=10\ 000$	489	845
OCR=1,2 $r_0=1000$	753	1341
OCR=1,3 $r_0=1000$	631	1045

12 Slutsats

Utifrån erhållna resultat kan sägas att för beräkningspunkt 8SGI i Sektion A-A bör man idag ha haft en sättning någonstans mellan 0,3 och 0,5 m. Totalsättningen år 2058 prognosticeras till någonstans mellan 0,6 och 1,0 m vilket innebär att omkring 50 % av sättningen redan har utbildats år 2006 då den senaste sättningsmätningen utfördes.

I beräkningspunkt 760 i Sektion E-E bör sättningen år 2006 ligga någonstans i spannet mellan 0,5 och 0,8 m. Totalsättningen år 2058 förväntas ligga omkring 0,7 till 1,3 m. Detta innebär att ca 60 till 70 % av sättningen har utbildats fram till år 2006 då den senaste inmätningen gjordes.

Även i beräkningspunkt 2SGI i Sektion E-E bör sättningen ha uppgått någonstans mellan 0,5 och 0,8 m. Totalsättningen kommer däremot att bli något mindre och förmodligen hamna någonstans mellan 0,6 och 1,0 m vilket ungefär motsvarar mellan 73 och 75 % utbildad sättning år 2006.

Sättningen är mer utvecklad i Sektion E-E än i Sektion A-A. I Sektion E-E är sättningen mer utbildad i beräkningspunkt 2SGI än i beräkningspunkt 760. Detta beror huvudsakligen på att lerdjupet är mindre här och därmed är dräneringsvägen kortare.

De sättningar som har beräknats i GeoSuite respektive Embankco stämmer relativt väl överens. Skillnaderna beror bland annat på att programmen bygger på olika beräkningsmodeller. GeoSuite använder sig av en finit elementmetod medan Embankco använder sig av en differensmetod.

13 Diskussion och förslag till vidare utredning

Det förkonsolideringstryck som utgör ingångsvärde för jordens spänningssituation i GeoSuite uppdateras kontinuerligt under beräkningen. Detta är dock inte möjligt att redovisa som utdata från programmet. Därmed kan man heller inte jämföra det förkonsolideringstryck som GeoSuite har beräknat fram med utvärderat förkonsolideringstryck från CRS-försök. En sådan jämförelse skulle ha kunnat ge en sättningsprognos med mindre osäkerhet med ett snävare intervall på förväntade sättningar.

Vissa slutsatser kan även dras med hänsyn till uppmätta trycknivåer inom området. Uppmätt trycknivå år 2007 i borrhål 8SGI vid Sektion A-A ligger mellan +13,27 och +14,47. Motsvarande trycknivå i borrhål 2SGI vid Sektion E-E ligger mellan +12,13 och +15,48. Trycknivåerna inom villaområdet tycks sammanfalla relativt väl med nivån för ravinens botten på ca +12,5, vilket tyder på ett sammanhängande bottenfriktionslager i hela området. Därmed skulle man kunna säga att trycknivån vid ravinen är styrande för avsänkningens storlek och därmed även för sättningsförloppet.

I och med att grundvattenrör saknas i ravinen är det svårt att säga någonting om avsänkningens storlek här. Därför krävs ytterligare undersökningar för att kunna uttala sig om den upprättade sättningsprognosen bygger på den maximala avsänkningen. Om så inte är fallet kan beräkningsmodellen enkelt uppdateras med hänsyn till den nya informationen.

Bälgslingar har installerats vid borrhål 8SGI och i mitten av villaområdet vid borrhål 18703, se Ritning SGI 001, för att kunna mäta sättningar mot djupet. De sättningar som uppmäts kan senare användas för att följa upp den upprättade sättningsprognosen och verifiera beräkningsresultaten.

14 Referenser

- Alén, C. (1998): On probability in geotechnics. Chalmers University Of Technology, Göteborg, Sweden, 242 pp.
- Alén, C., & Bengtsson, P., Berggren, B., Johansson, L., Johansson, Å. (2000): Rapport Nr. 58.: Skredriskanalys i Göta Älvdalen - Metodbeskrivning. Linköping, Sverige.
- Andréasson, L., Sällfors, G. i samarbete med SGF:s laboratoriekommité. (1986): Kompressionsegenskaper – Geotekniska laboratorieanvisningar, del 10., Statens råd för byggnadsforskning, Byggforskningens informationsblad T2:1985, Stockholm, Sverige.
- Augustesen, A., Lade, P., Liingaard, M. (2004): *Evaluation of time-dependent behavior of soils*. International journal of geomechanics, Vol. 4, No. 3., 2004, pp. 137-156.
- Barbour, S., Krahn, J. (2004): *Numerical Modeling – Prediction or Process?*. Geotechnical News, Dec, 2004, pp. 44-52.
- Bjerrum, L., Aas, G., Eide, O. (1961): Stabilitetsforholdene ved Lilla Edets Pappersbruk. Norges Geotekniske Institutt, NGI, Rapport nr. O.778-3.2., Oslo, Norge, 23 sid.
- Claesson, P. (2003): Long term settlements in soft clays. Chalmers University Of Technology, Göteborg, Sweden, 188 pp.
- Karlsson, R. i samarbete med SGF:s laboratoriekommité. (1974): Konsistensgränser – Förslag till geotekniska laboratorieanvisningar, del 6., Statens råd för byggnadsforskning, Byggforskningens informationsblad B11:1974, Stockholm, Sverige.
- Larsson, R. (1986): Consolidation of soft soils. SGI, Report No. 29., Linköping, Sweden, 174 pp.
- Larsson, R., Bengtsson, P-E., Eriksson, L. (1994): *Sättningsprognoser för bankar på lös finkorning jord*. SGI, Information nr. 13., Linköping, Sverige, 51 sid.
- Larsson, R., Sällfors, G. (1995): *Sättningssegenskaper i lös lera på grund av geologisk avsättning och "åldring"*. Väg- och vattenbyggaren, nr. 2., 1995, s. 33-38.
- Pousette, K. i samarbete med Banverket, Luleå Tekniska Universitet och Vägverket. (2007): *Råd och rekommendationer för hantering av sulfidjordsmassor*, Remissversion, Luleå, Sverige.
- Pusch, R. i samarbete med SGF:s laboratoriekommité. (1973): Densitet, vattenhalt och portal – Förslag till geotekniska laboratorieanvisningar, del 7., Statens råd för byggnadsforskning, Byggforskningens informationsblad B5:1973, Stockholm, Sverige.

SGI, Vägverket. (1994): *User's Guide Embankco Programme*, Användarguide för beräkningsprogrammet Embankco, SGI, Vägverket, Version No. 1.02., Göteborg, Sweden, {1997}, 40 pp.

Skredkommissionen. (1995): Anvisningar för släntstabilitetsutredningar. Rapport 3:95., Linköping, Sverige, 200 sid.

Sällfors, G. (1993): Handledning till laborationer i geoteknik - Fältundersökningar. Chalmers Tekniska Högskola, Göteborg, Sverige, 29 sid.

Sällfors, G. (2001): Geoteknik, Jordmateriallära - Jordmekanik. Chalmers Tekniska Högskola, Göteborg, 2003, Sverige.

Wiesel, C-E., Hansbo, S. Broms, B. i samarbete med SGF:s laboratoriekommité. (1985): Skjuvhållfasthet – Geotekniska laboratieanvisningar, del 9., Statens råd för byggnadsforskning, Byggnadsforskningens informationsblad T2:1985, Stockholm, Sverige.

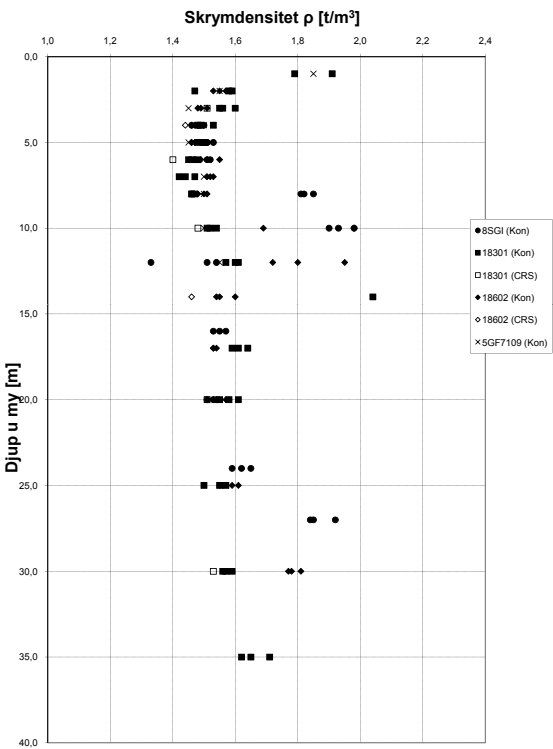
Elektroniska källor

<http://kartor.eniro.se/>, 070715

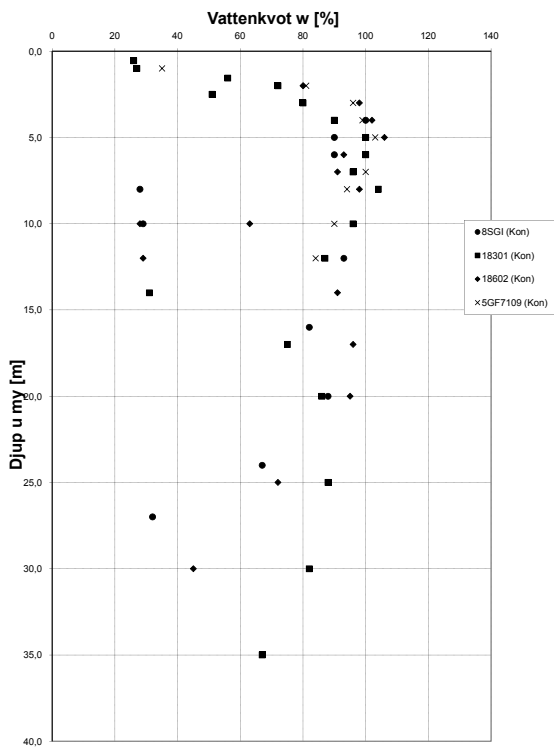
<http://www.bat-gms.com/bat-piezometer.asp>, 070713

Appendix

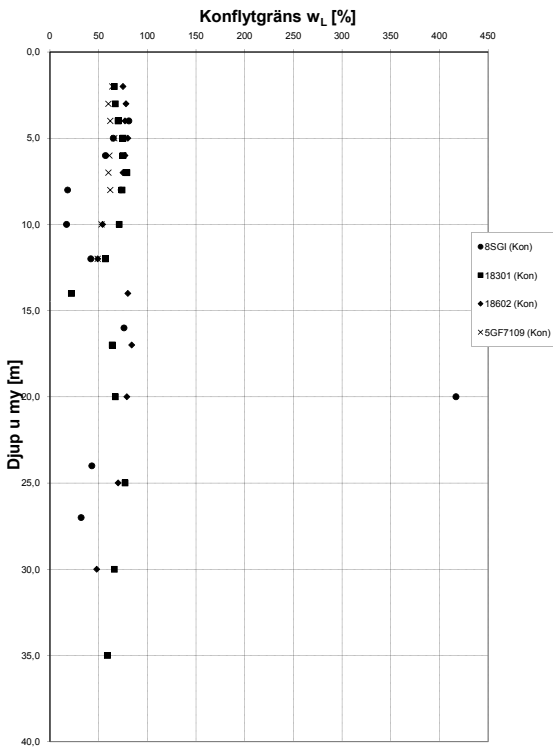
Utvärderade geotekniska parametrar	Bilaga 1
Indata-parametrar	Bilaga 2
Spänningsdiagram år 1958 respektive 2007	Bilaga 3
Beräkningsresultat GeoSuite – Grundmodell	Bilaga 4
Beräkningsresultat Embankco och GeoSuite - Jämförelsemodell	Bilaga5
Sammanställning av beräkningsresultat Embankco och GeoSuite	Bilaga 6



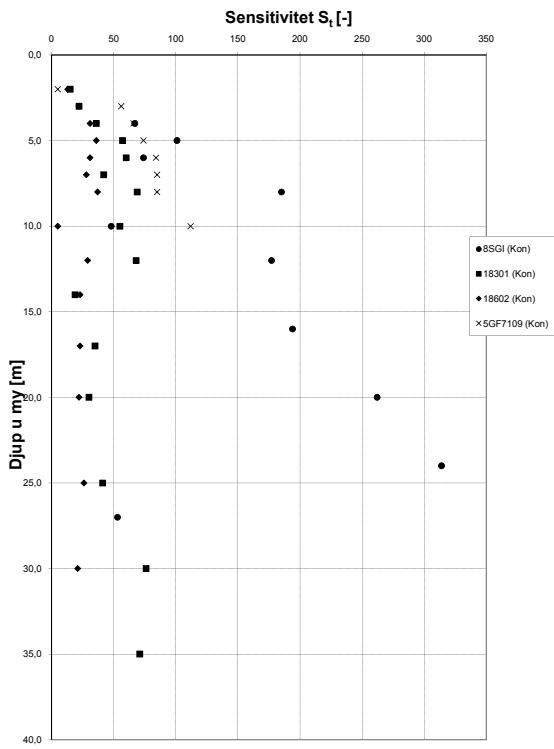
(a)



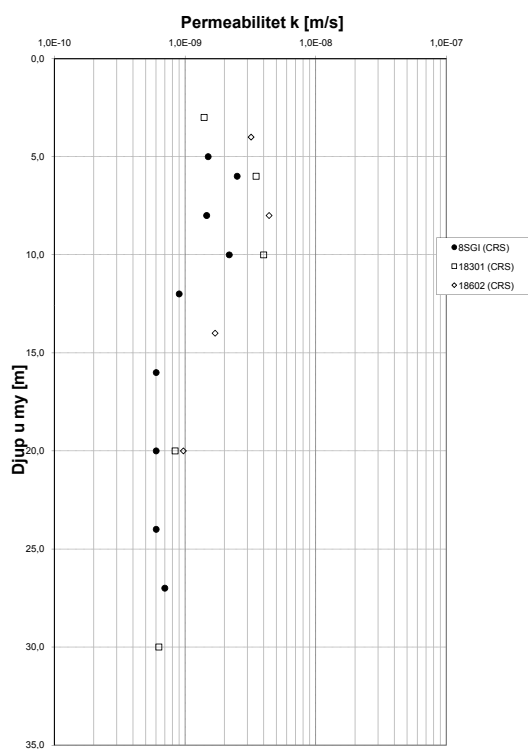
(b)



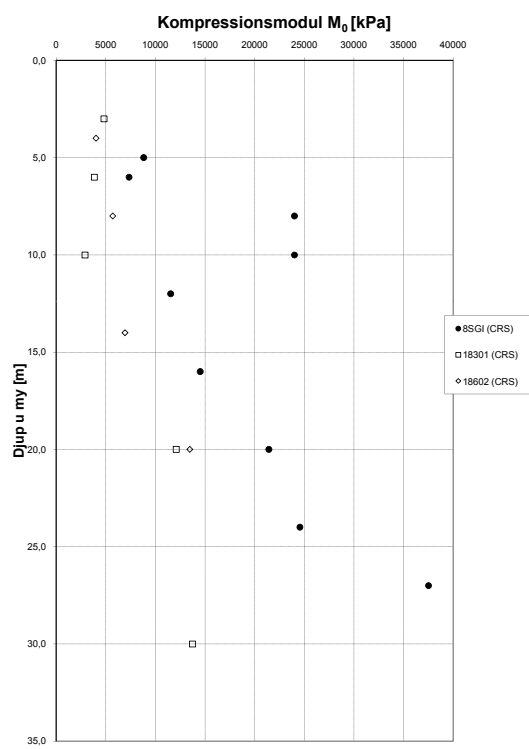
(c)



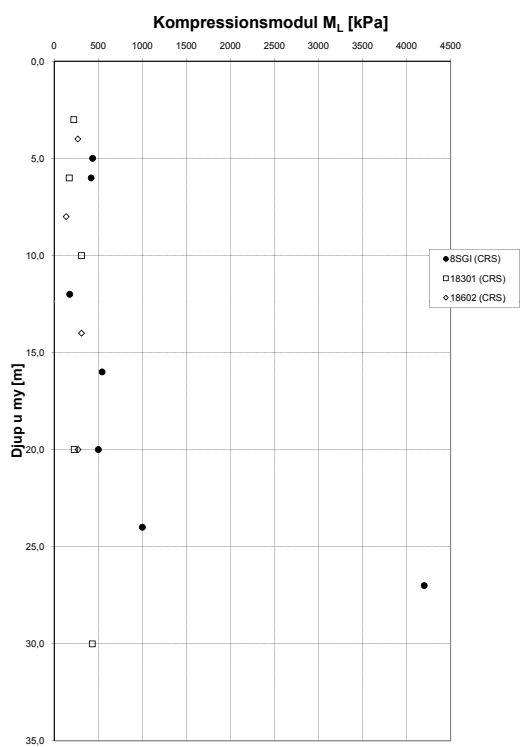
(d)



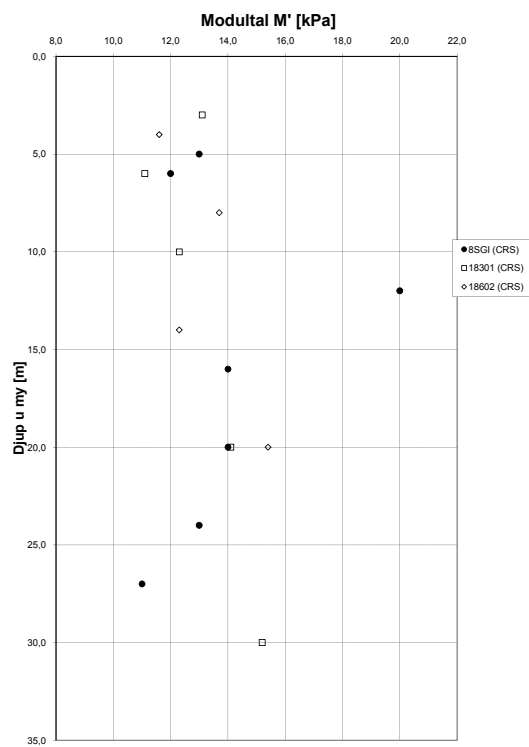
(e)



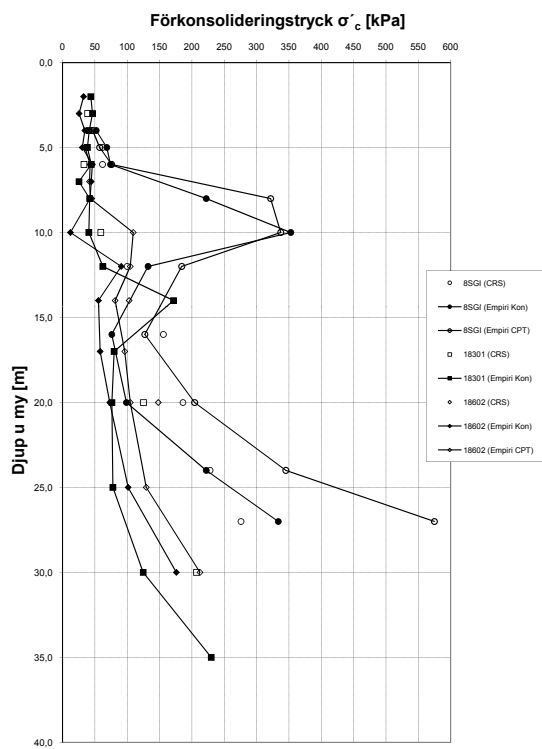
(f)



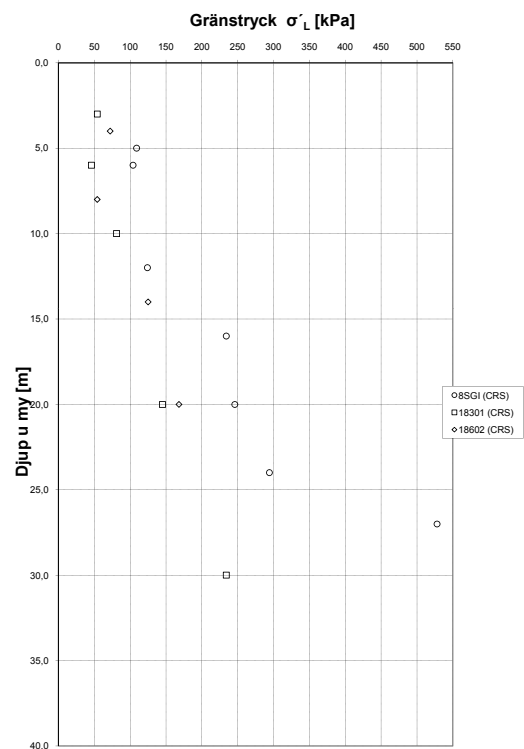
(g)



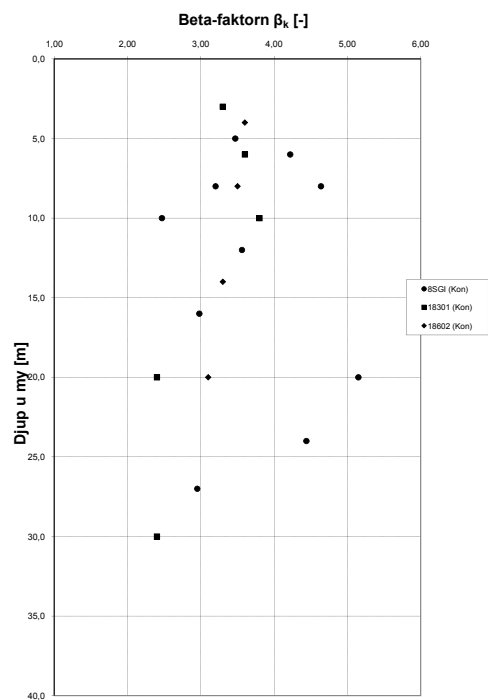
(h)



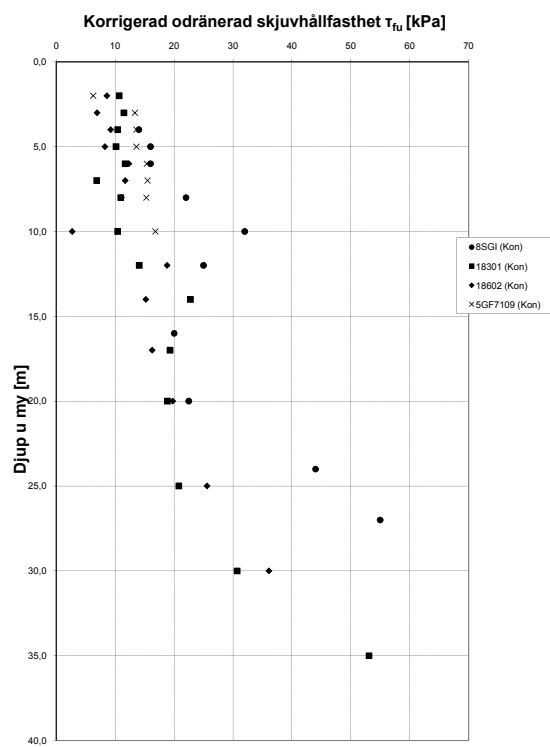
(i)



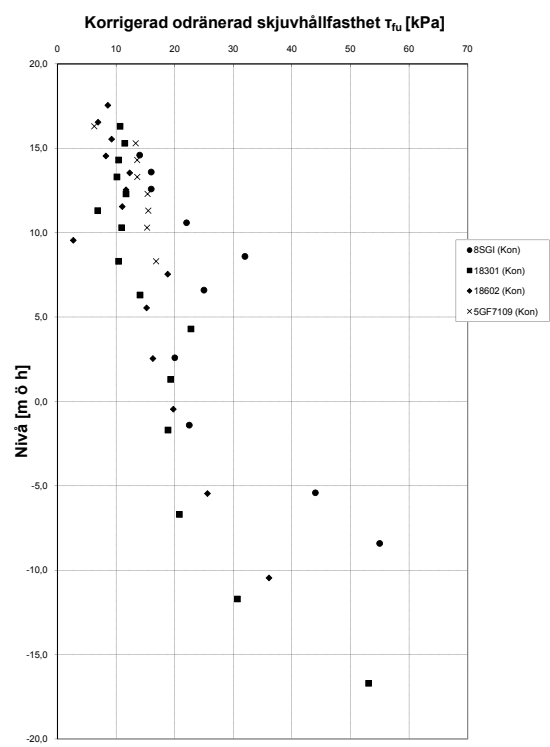
(j)



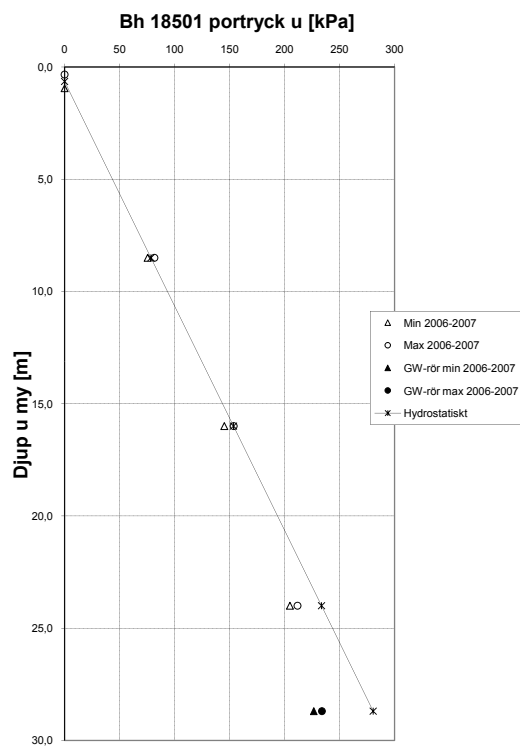
(k)



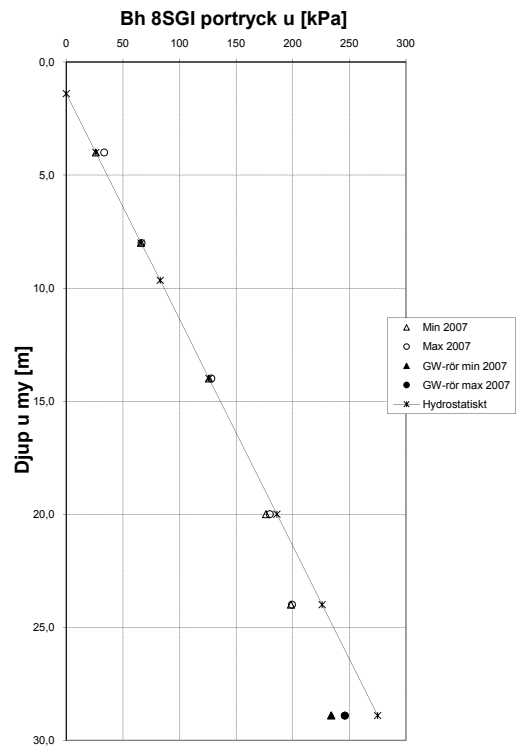
(l)



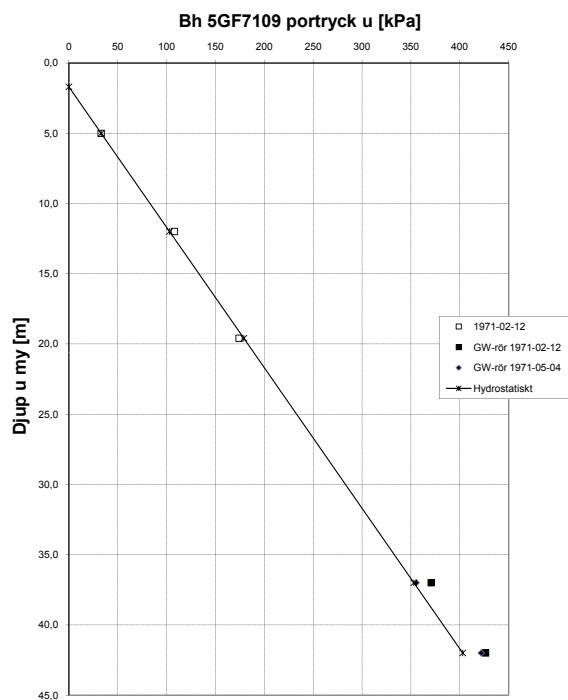
(m)



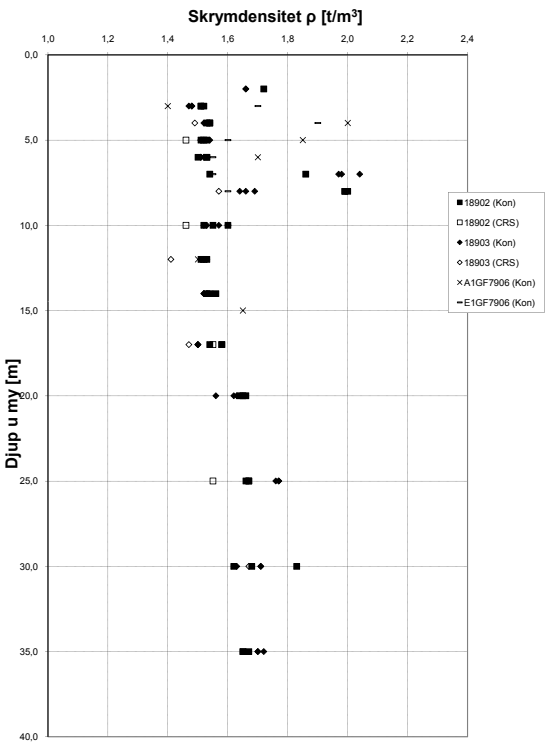
(n)



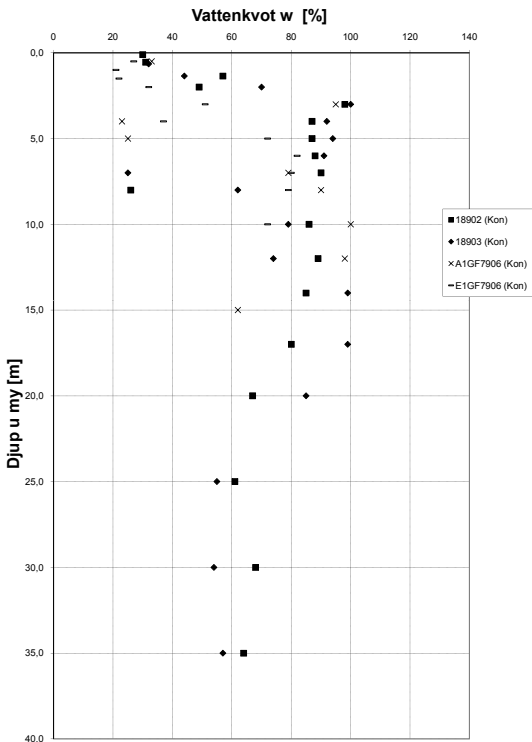
(o)



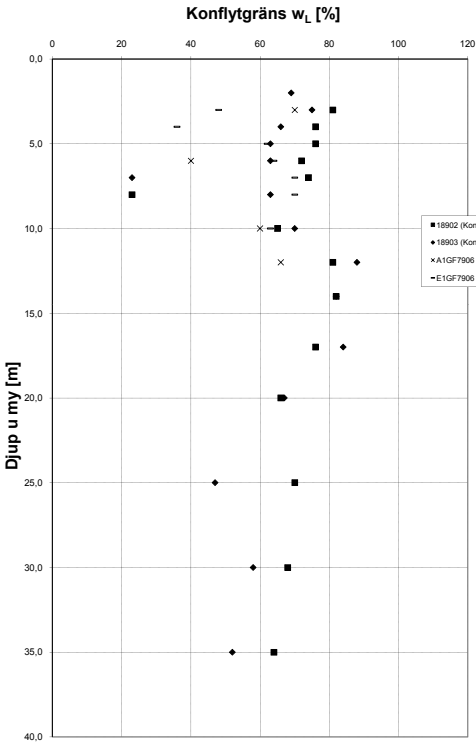
(p)



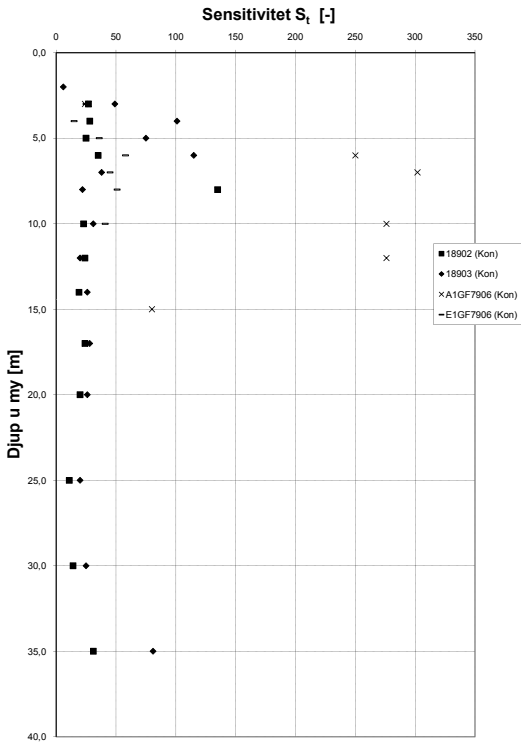
(a)



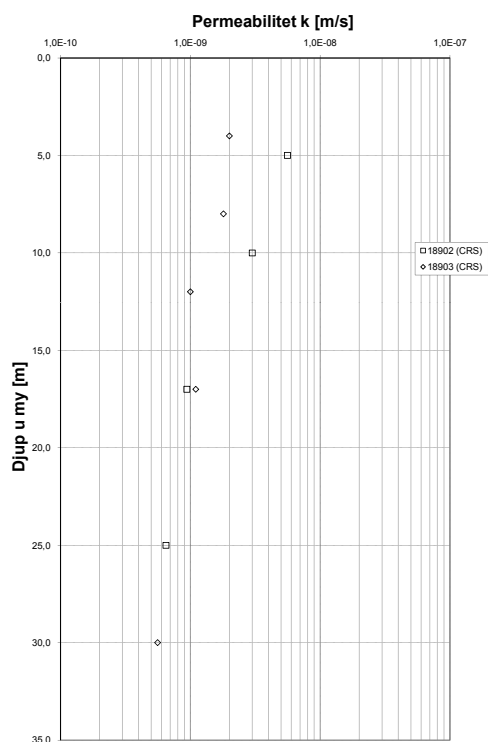
(b)



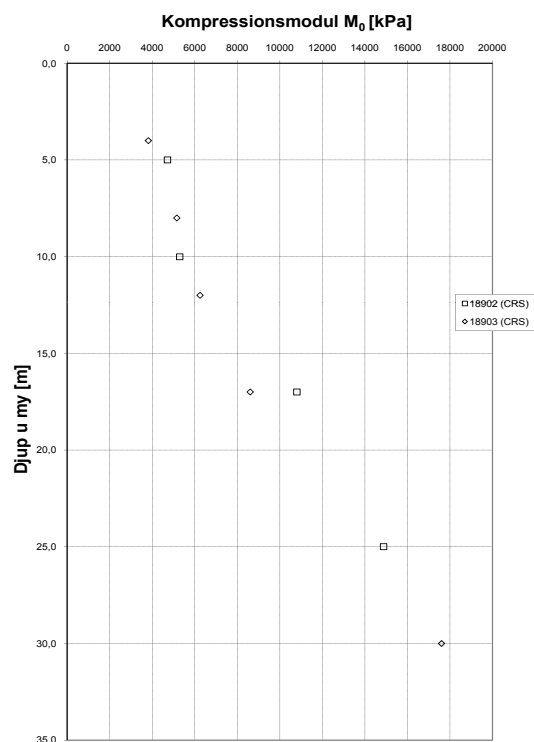
(c)



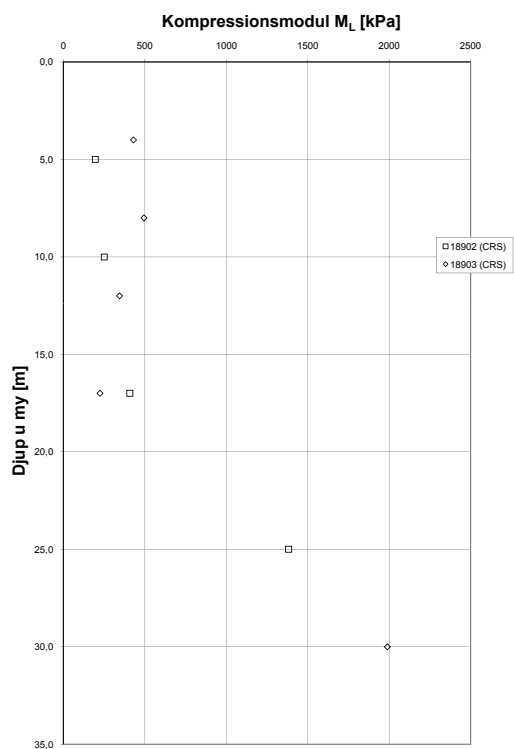
(d)



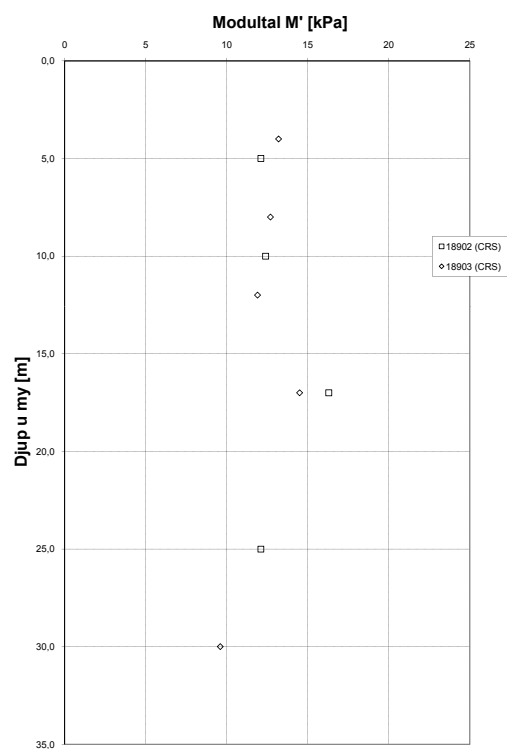
(e)



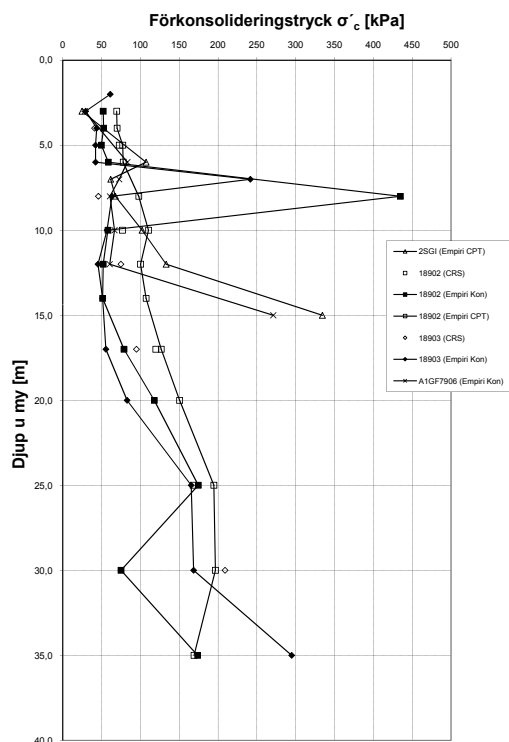
(f)



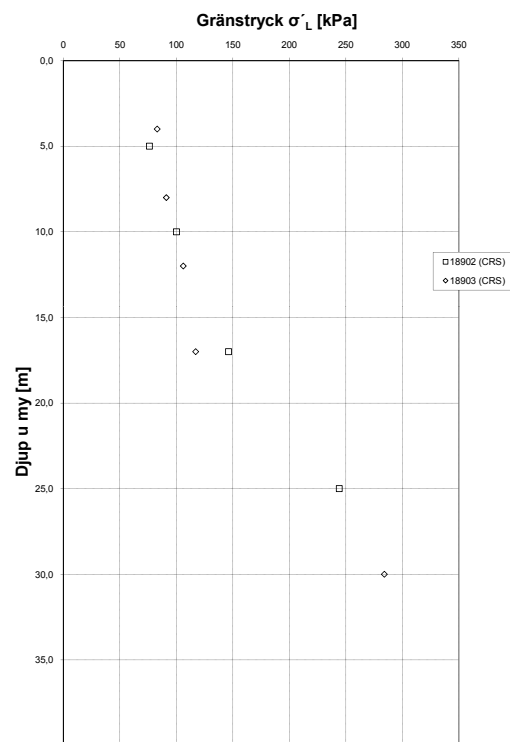
(g)



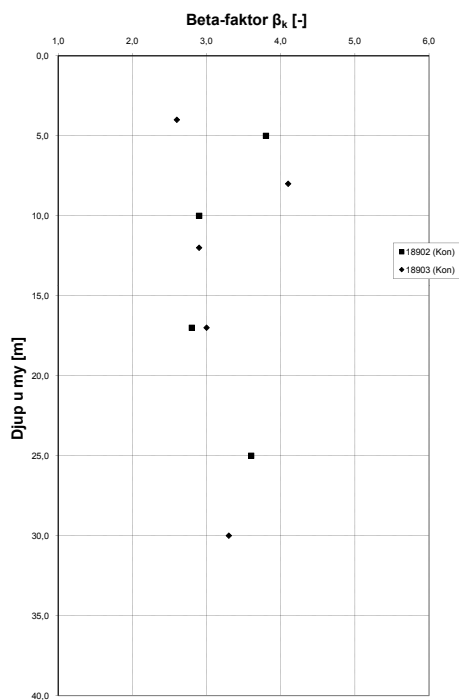
(h)



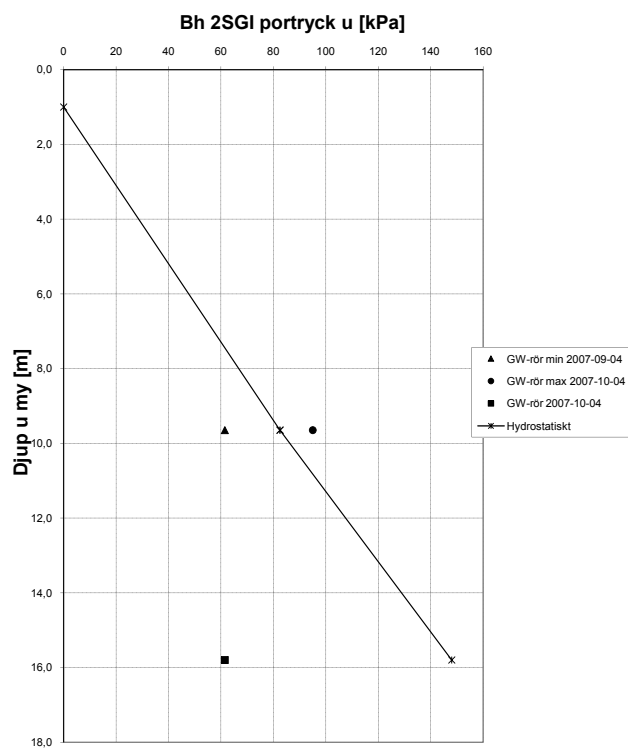
(i)



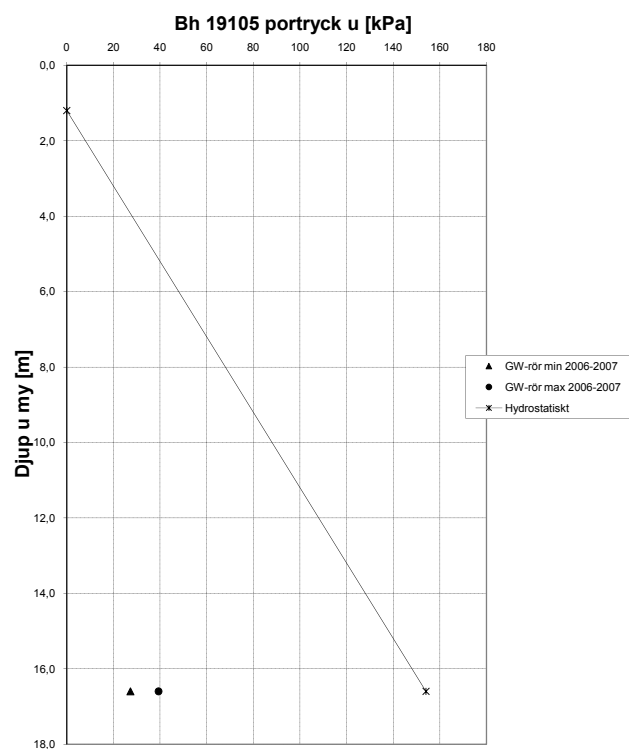
(j)



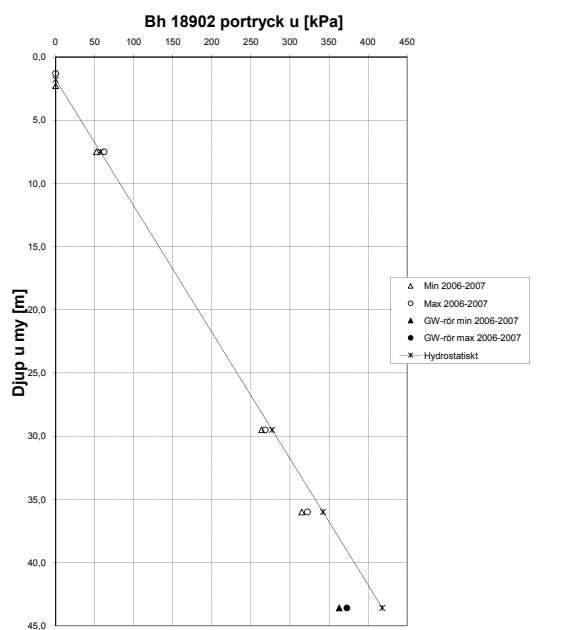
(k)



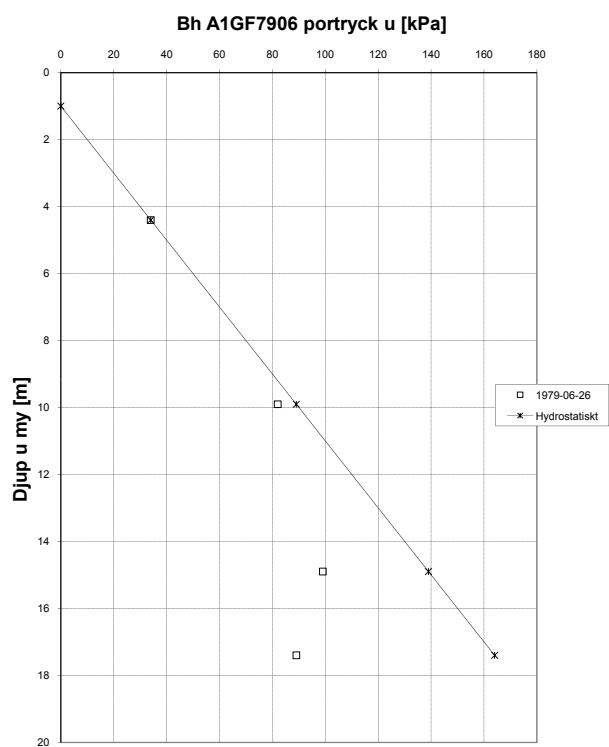
(n)



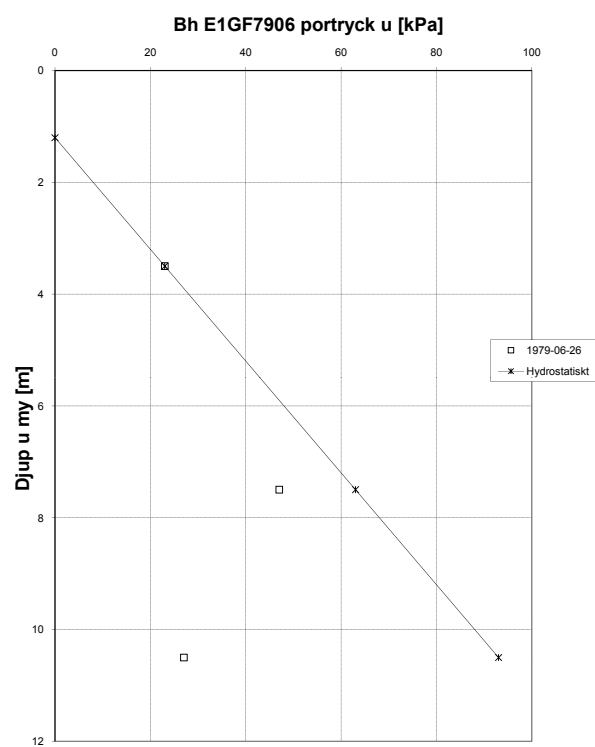
(o)



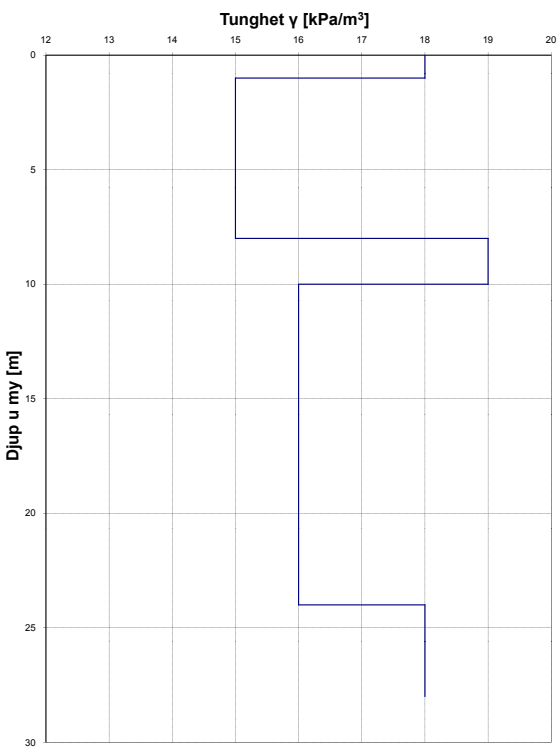
(p)



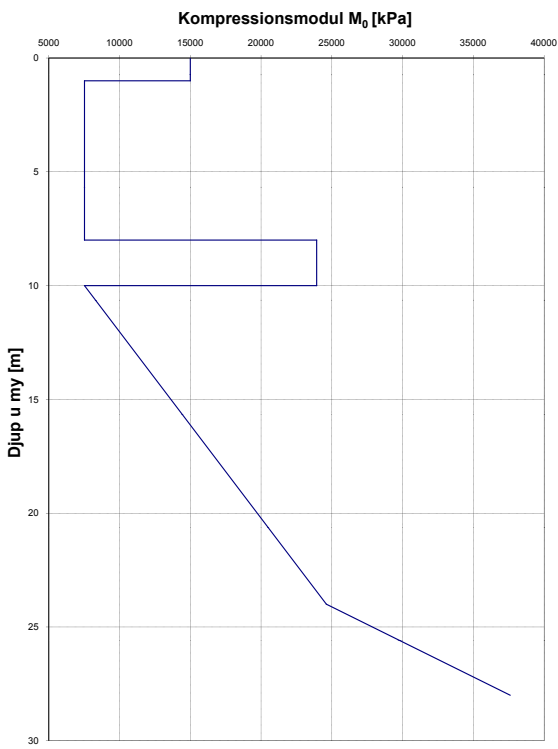
(q)



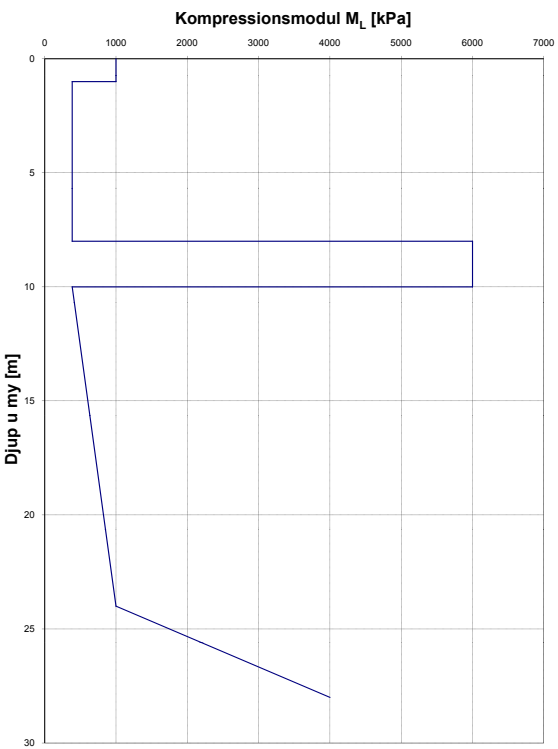
(r)



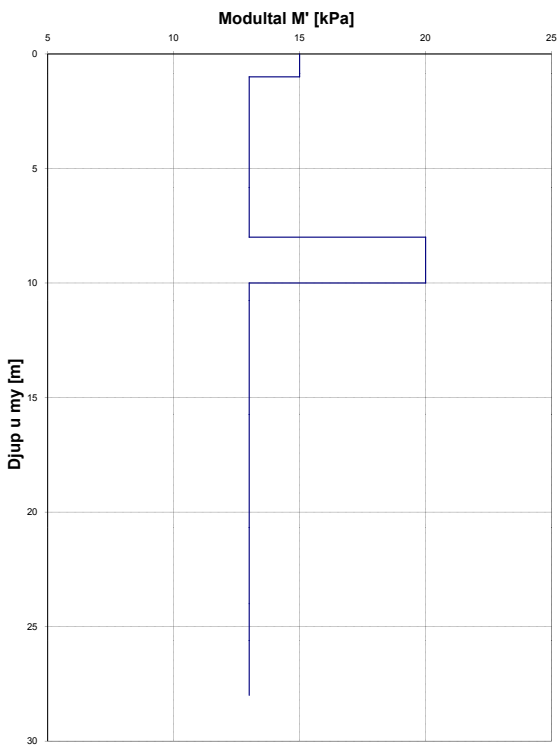
(a)



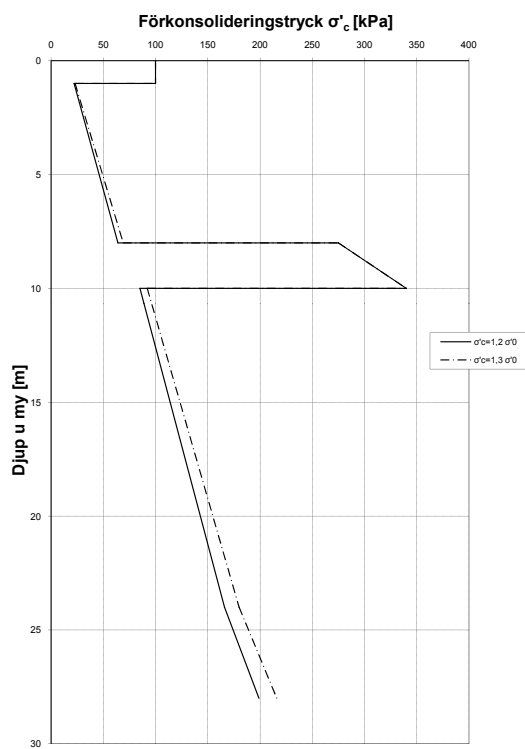
(b)



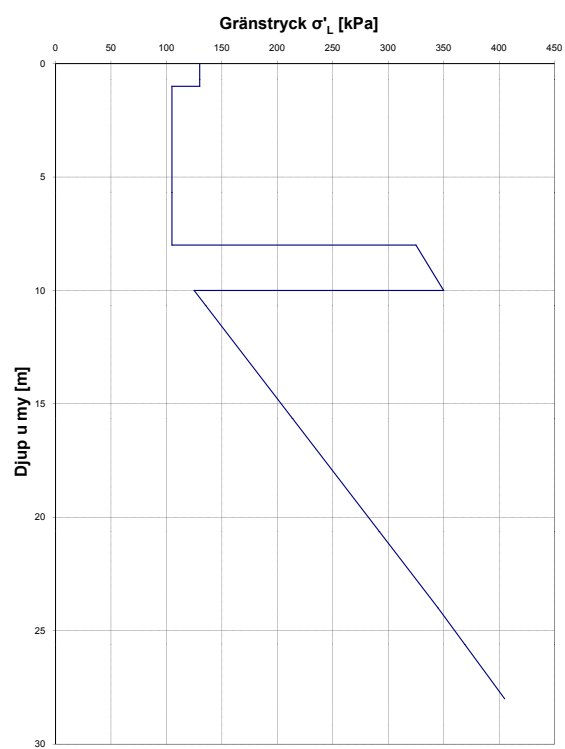
(c)



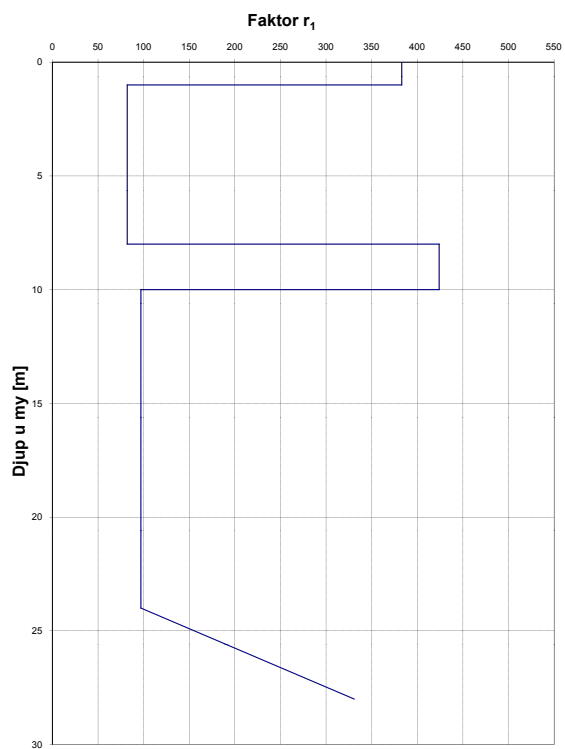
(d)



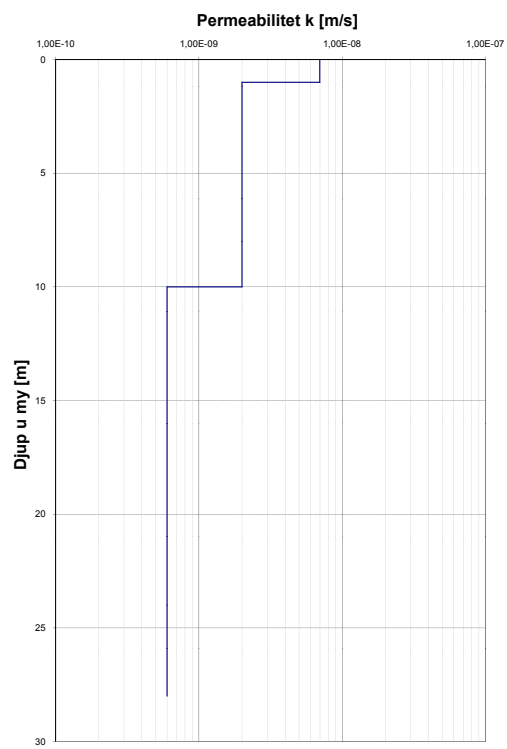
(e)



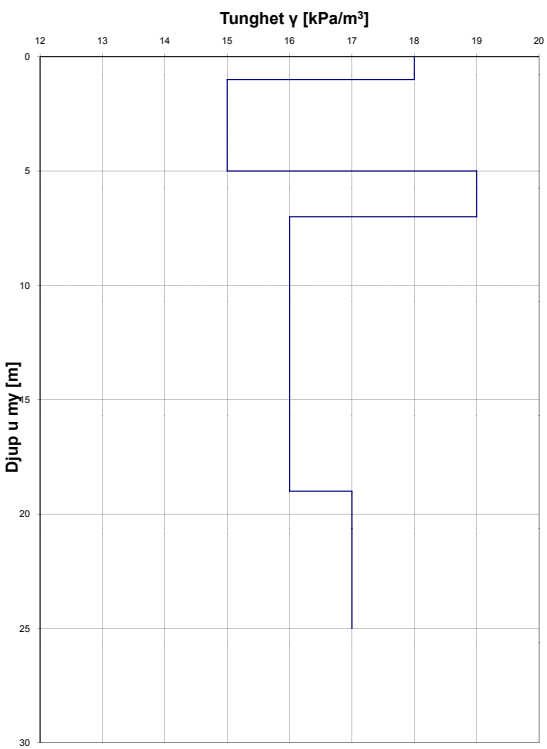
(f)



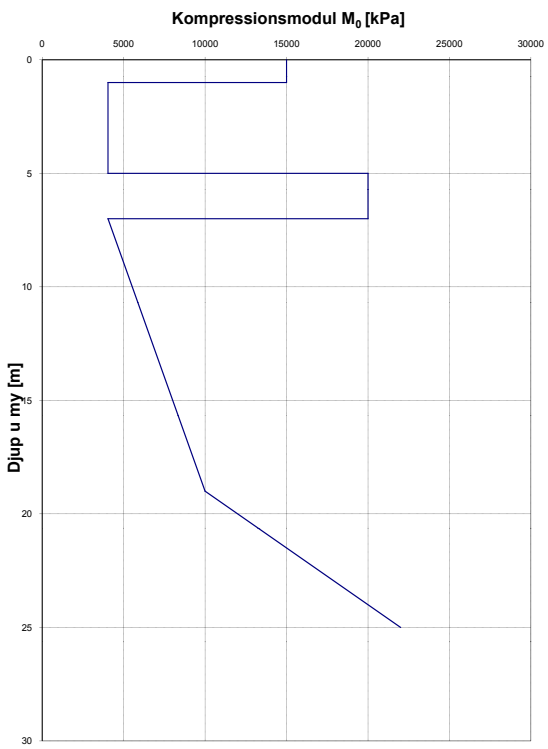
(g)



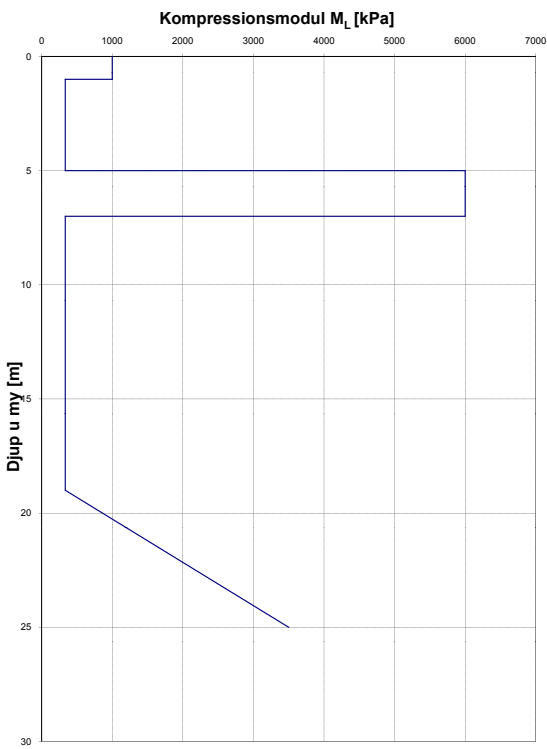
(h)



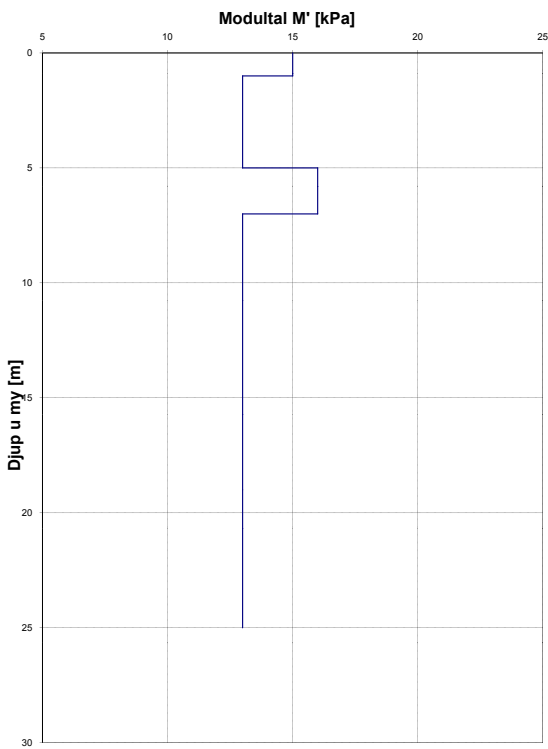
(a)



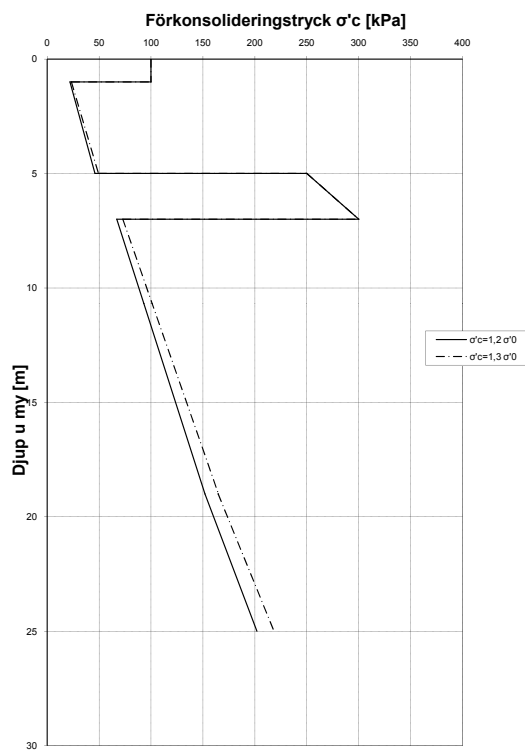
(b)



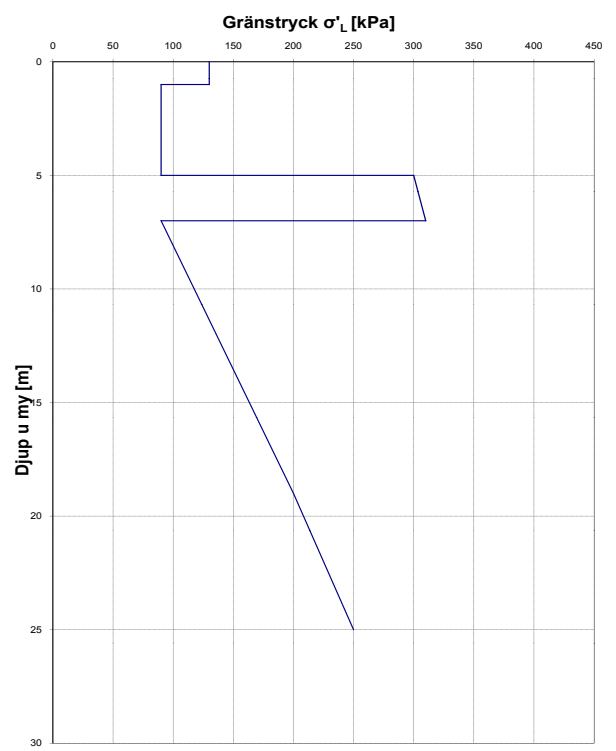
(c)



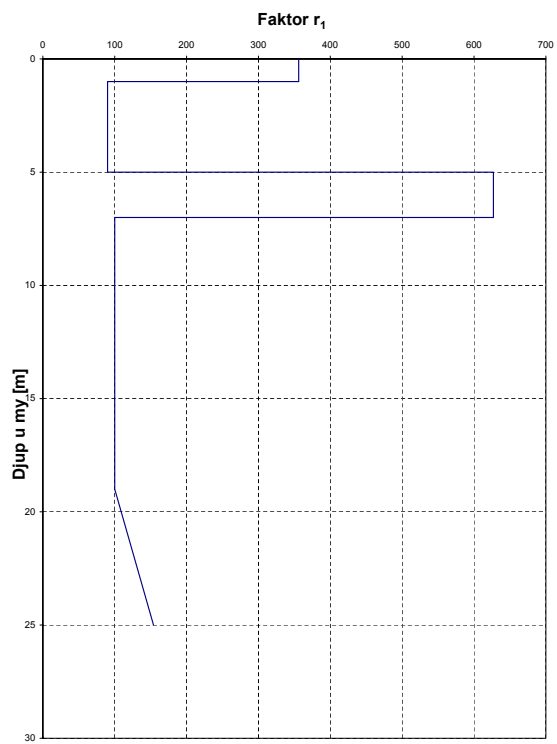
(d)



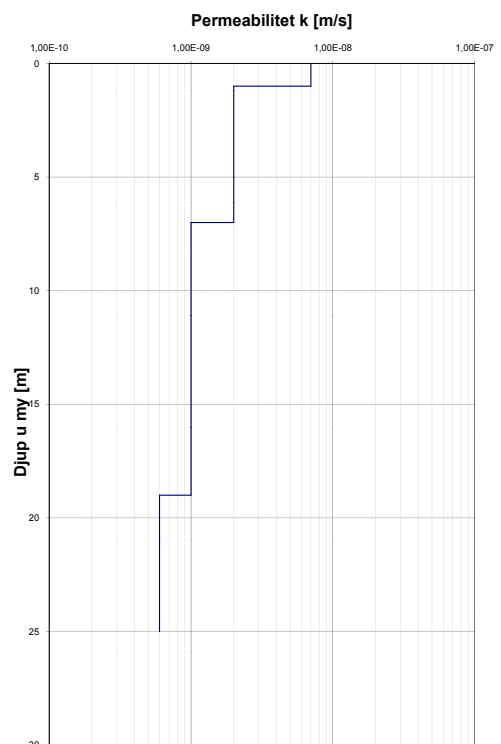
(e)



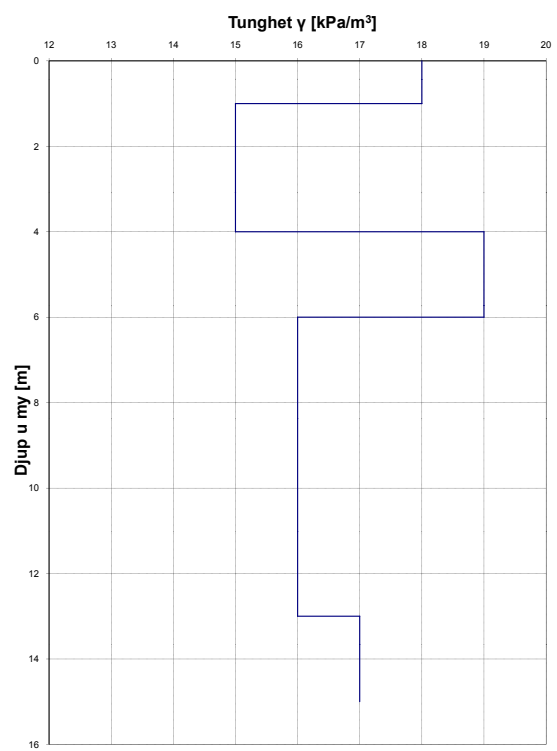
(f)



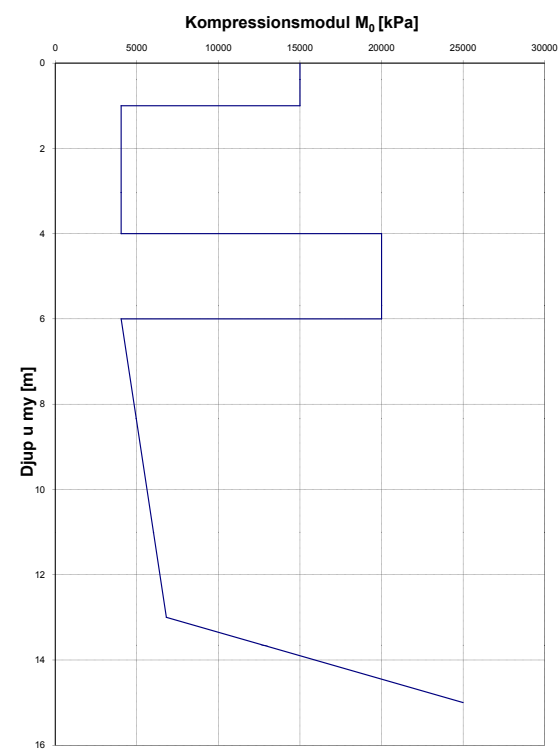
(g)



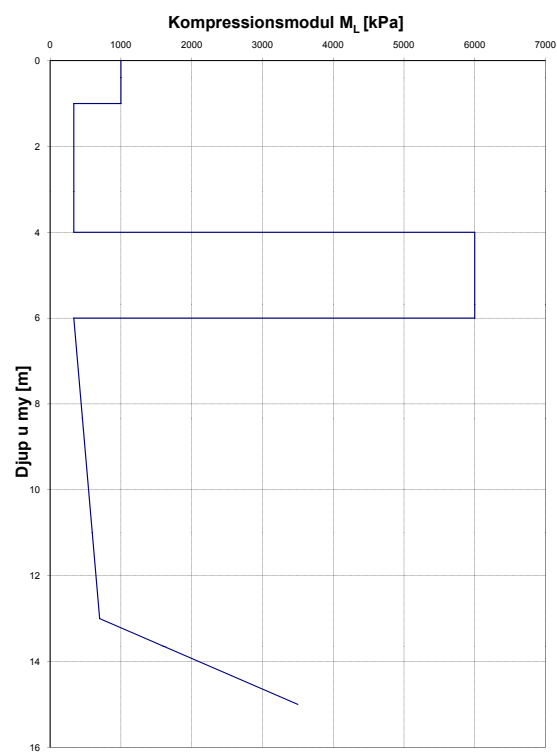
(h)



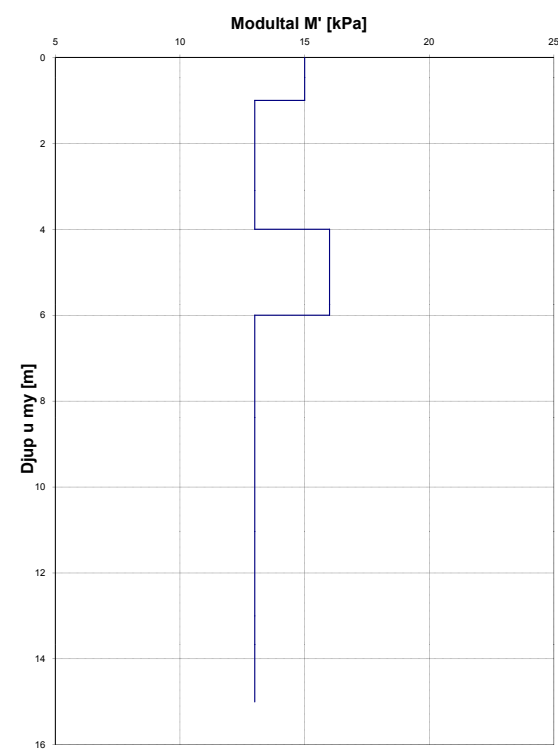
(a)



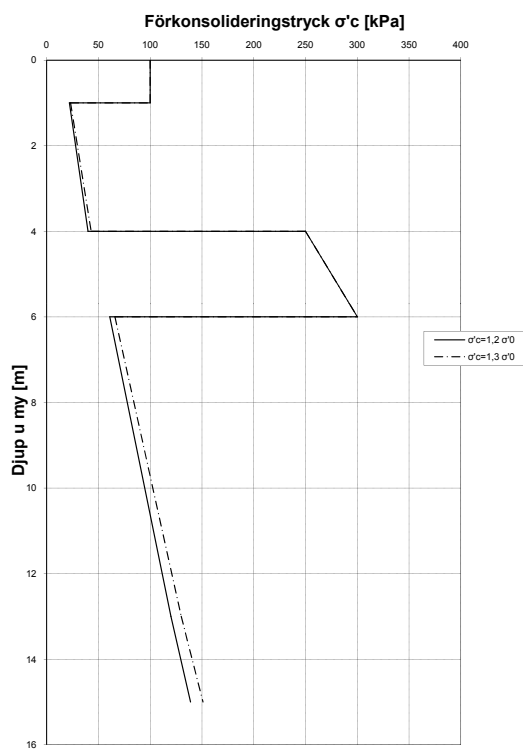
(b)



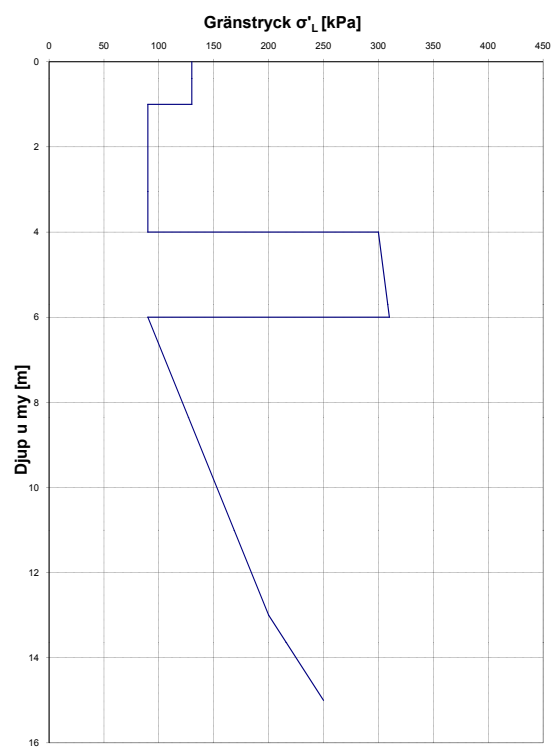
(c)



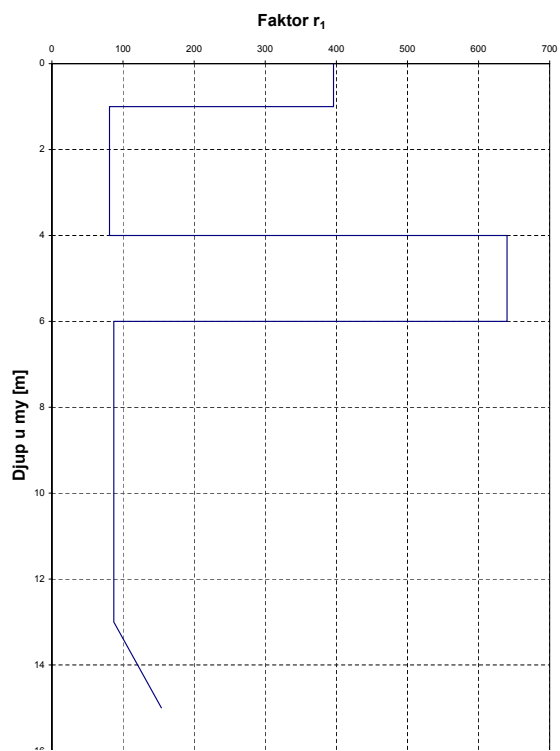
(d)



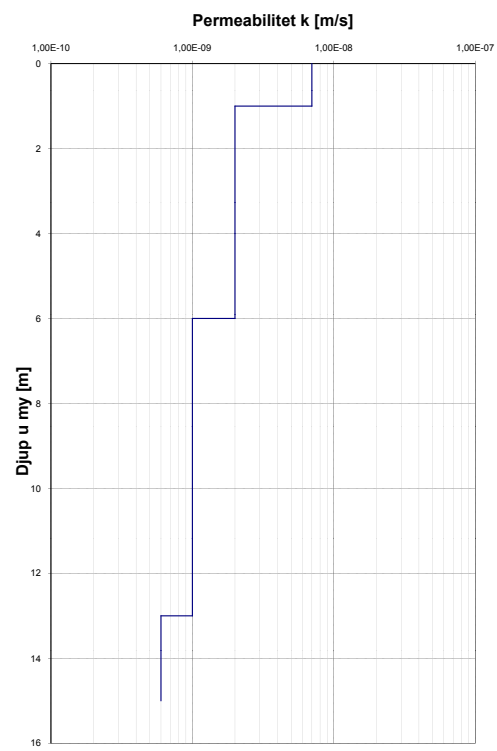
(e)



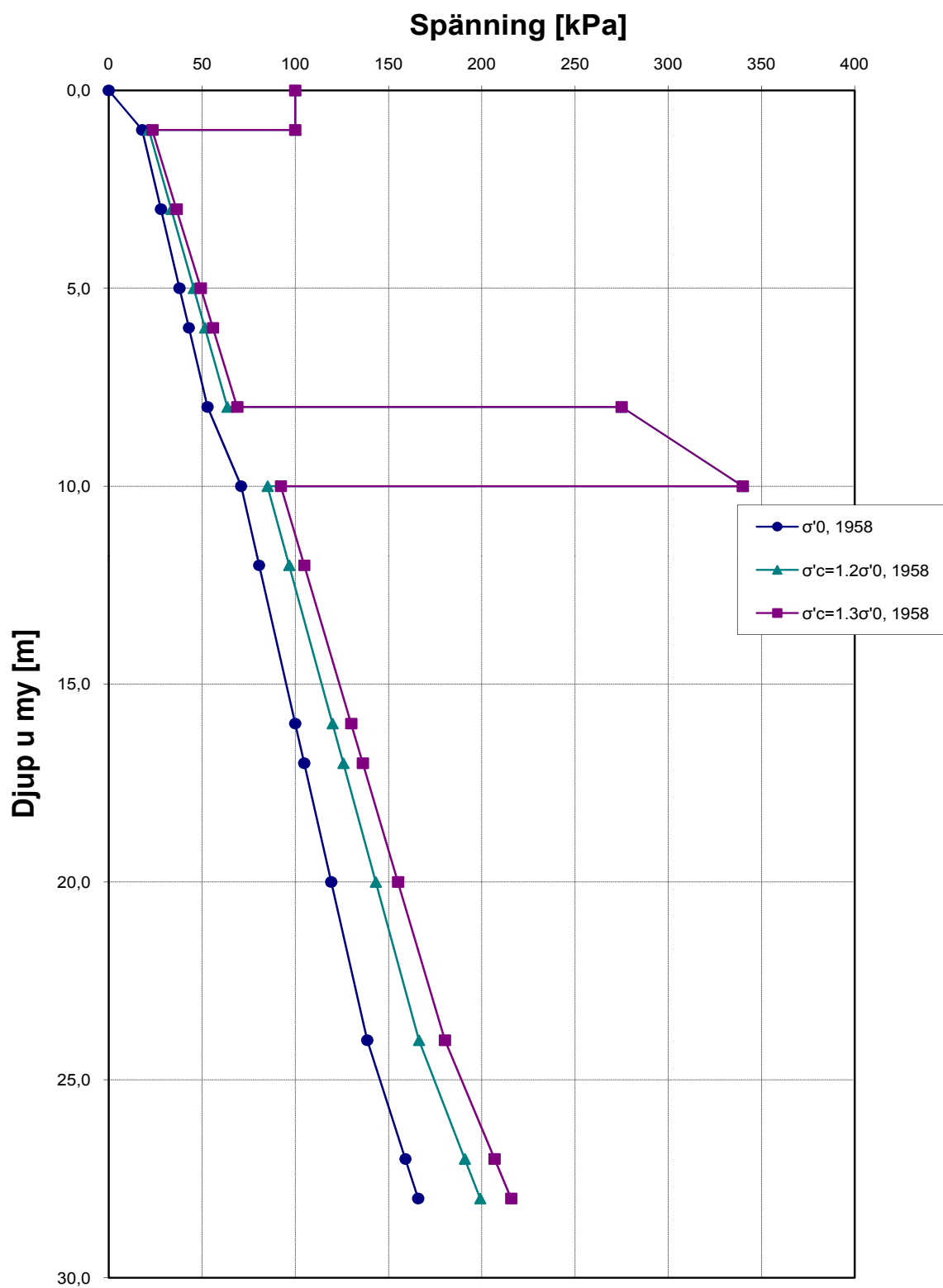
(f)



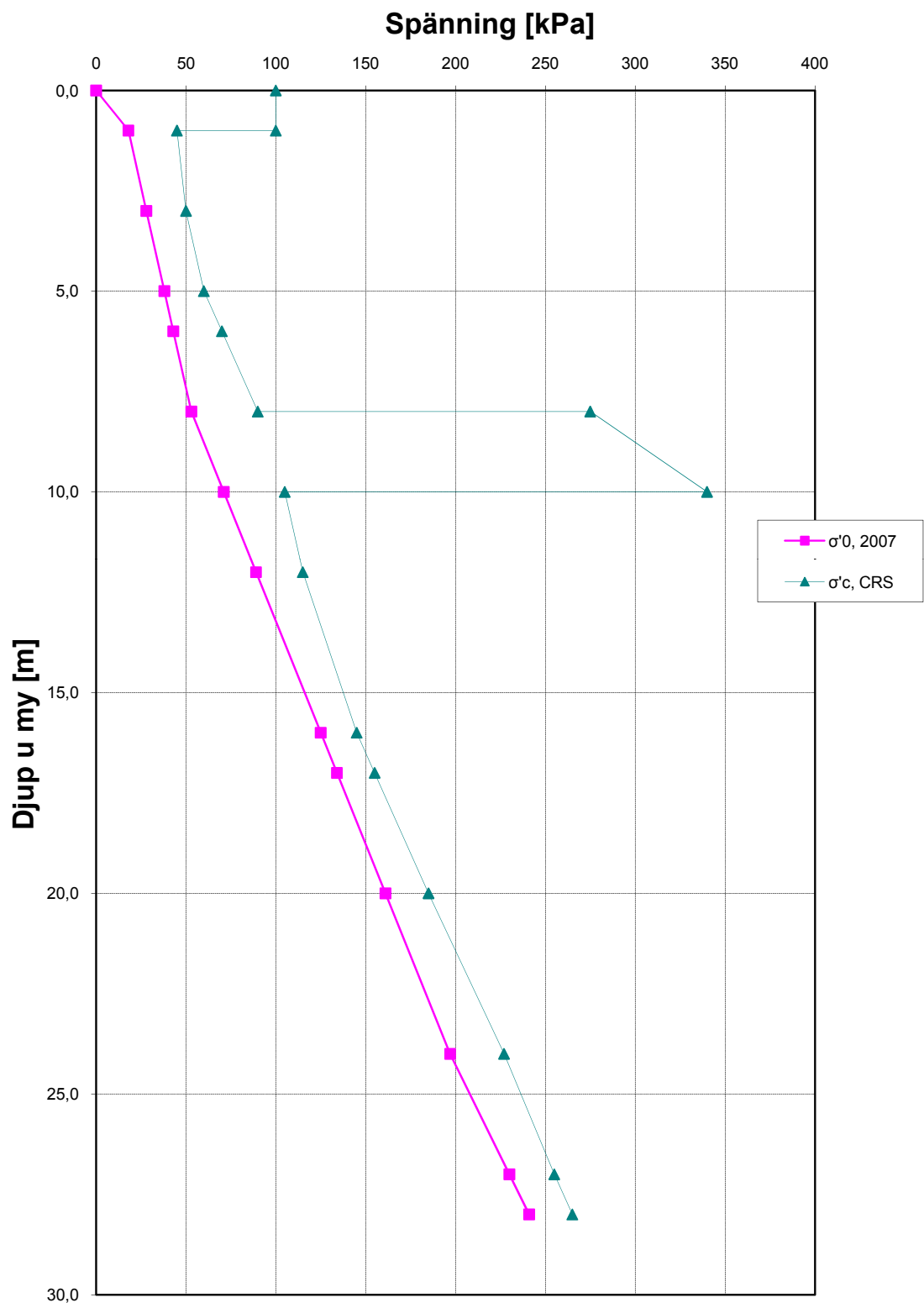
(g)



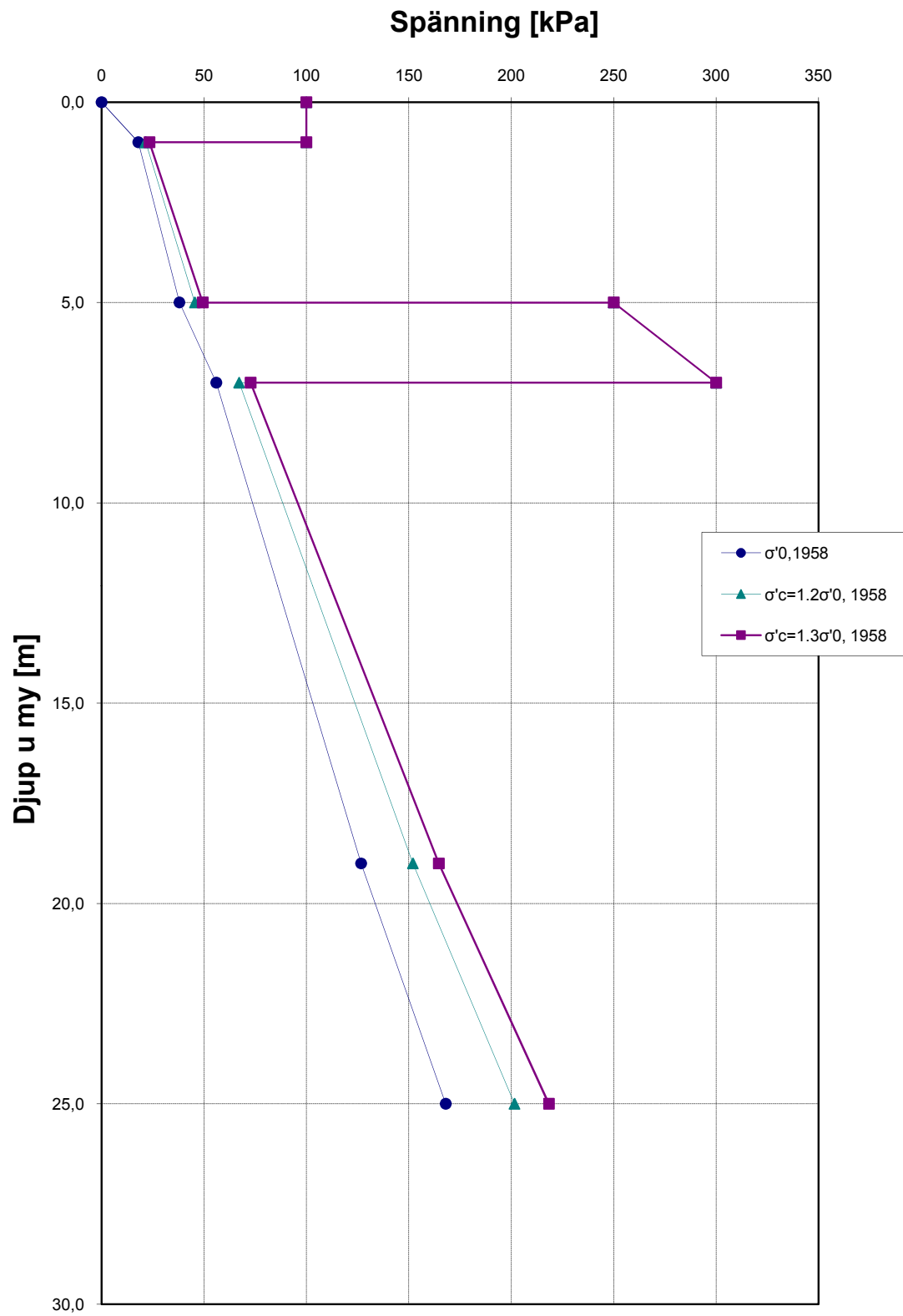
(h)



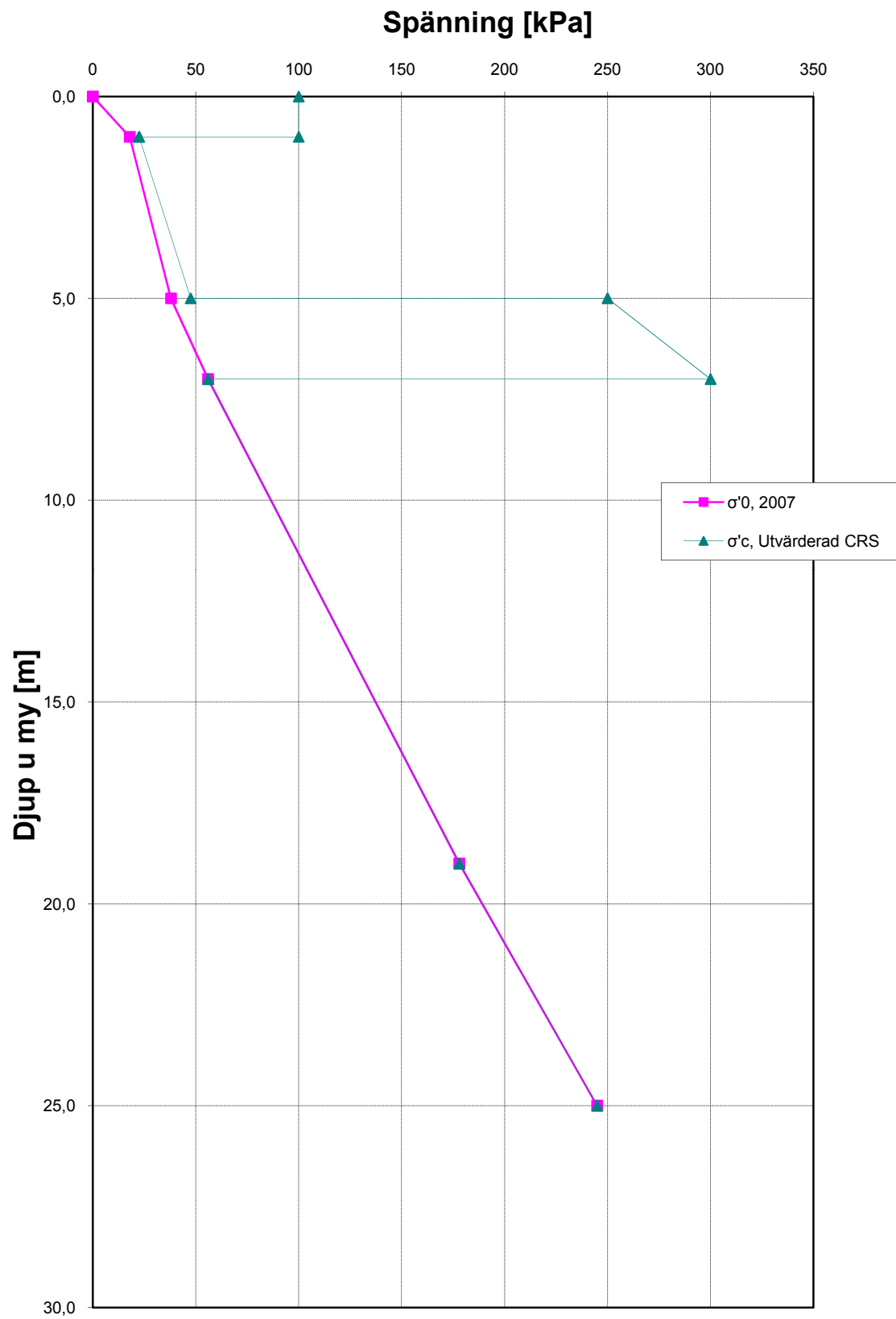
(a)

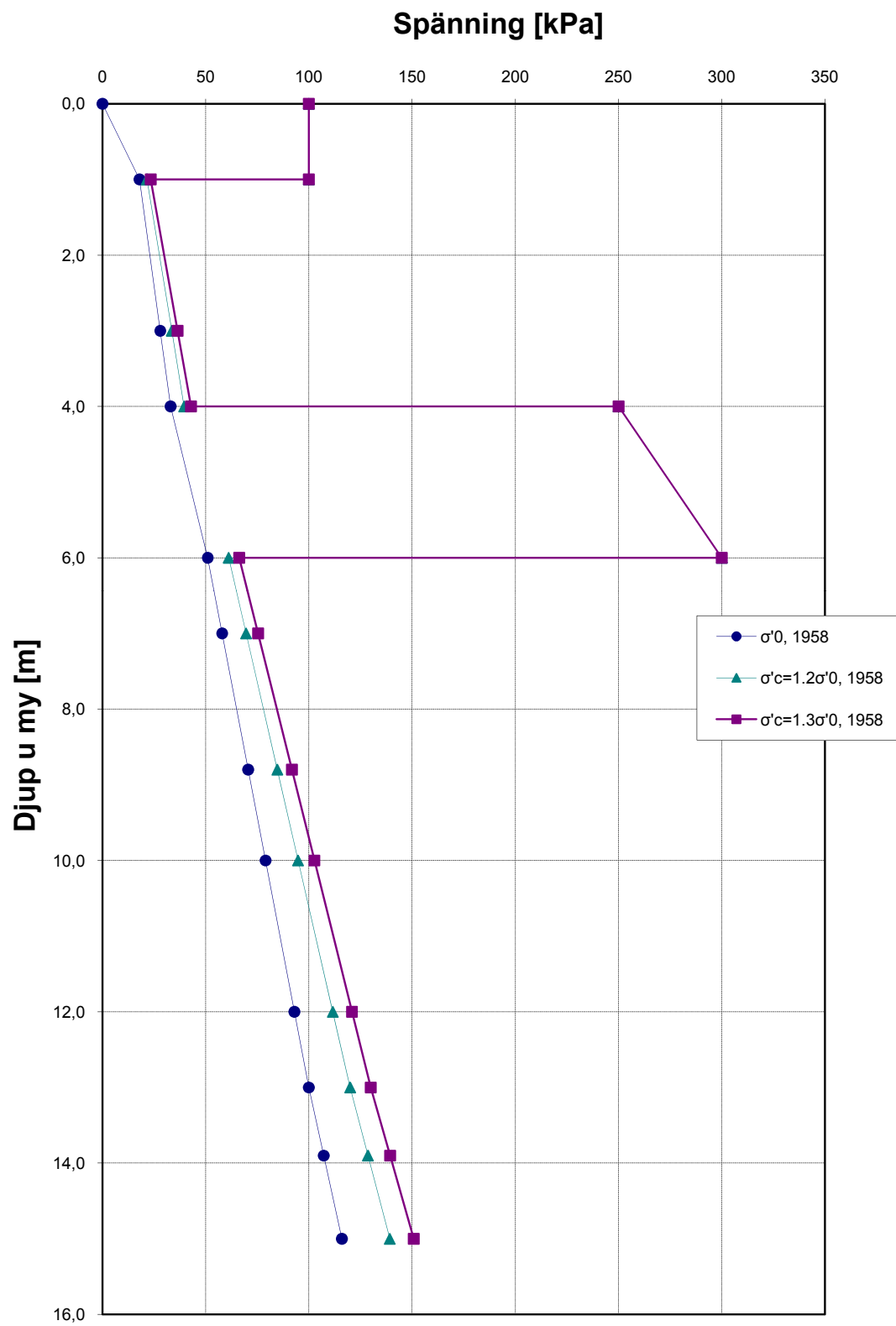


(b)

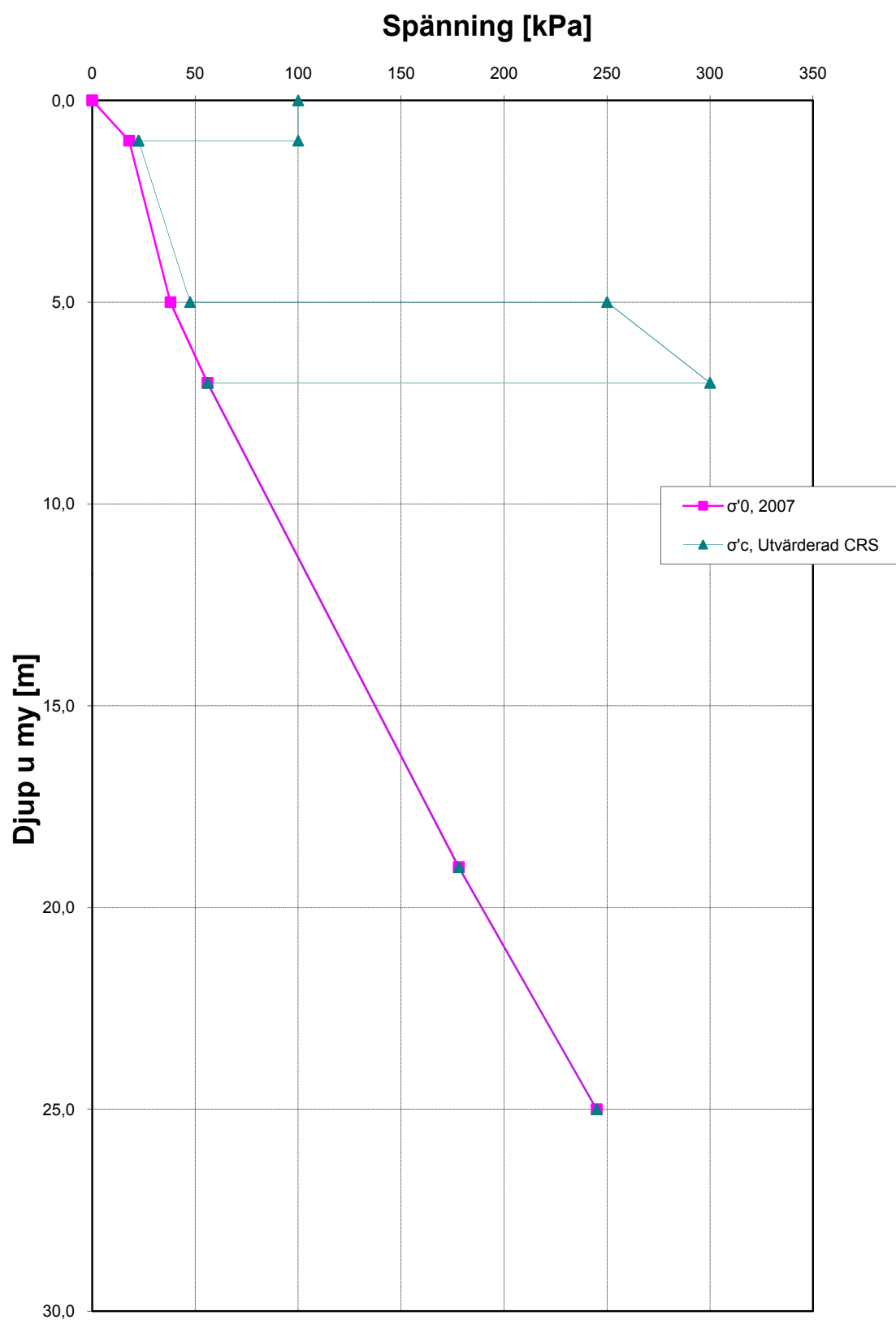


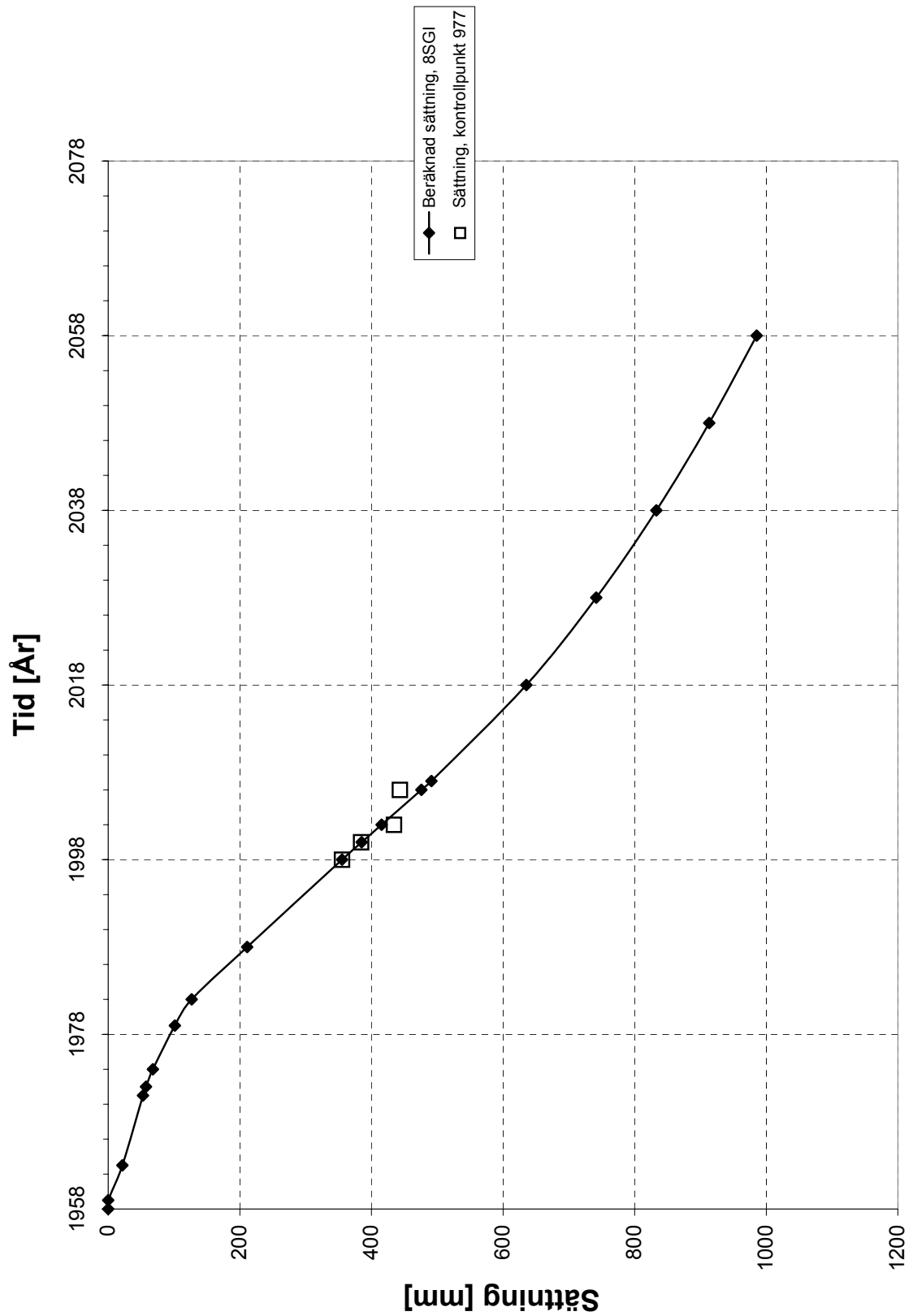
(a)



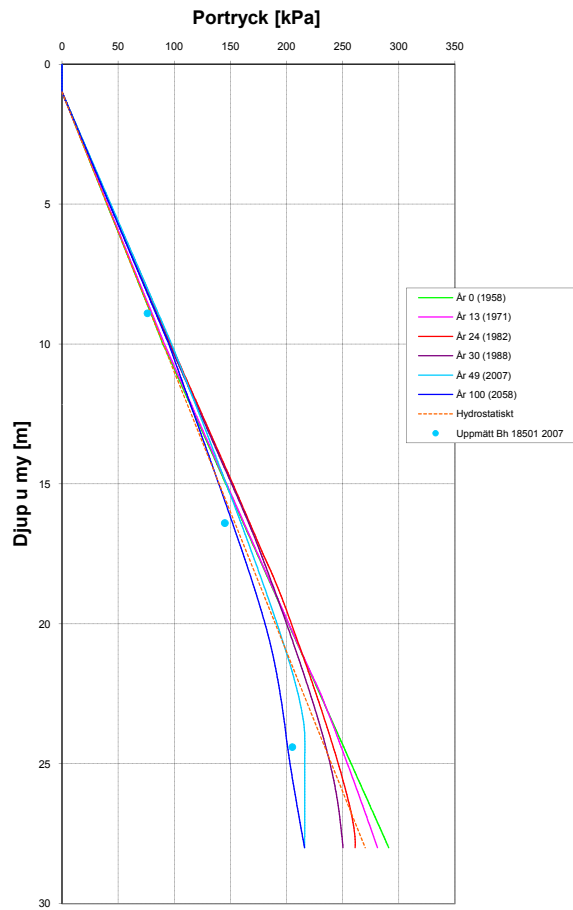


(a)

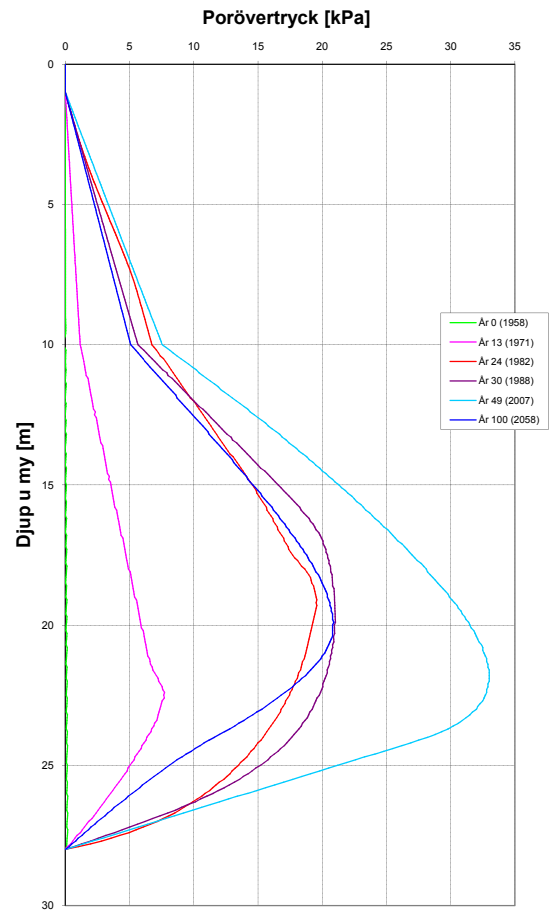




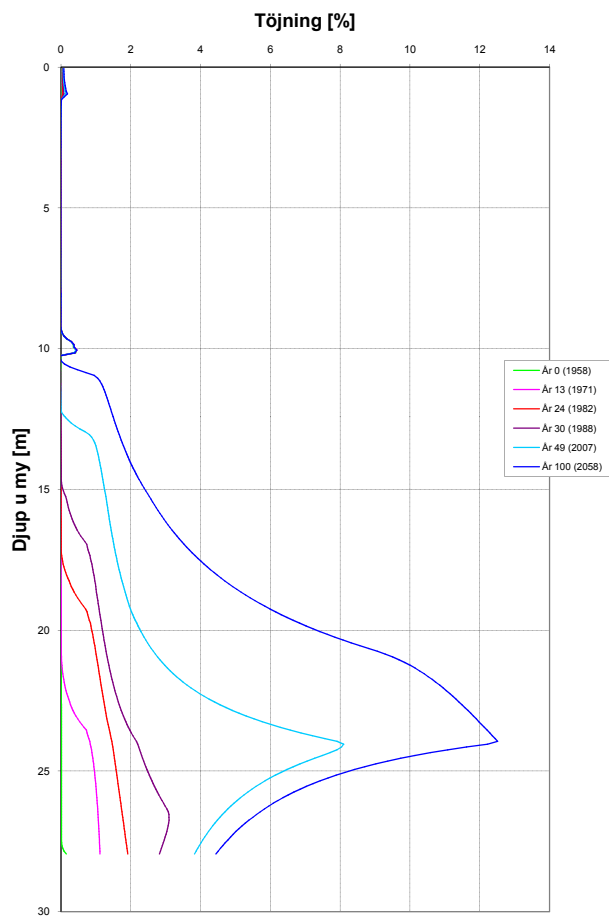
(a)



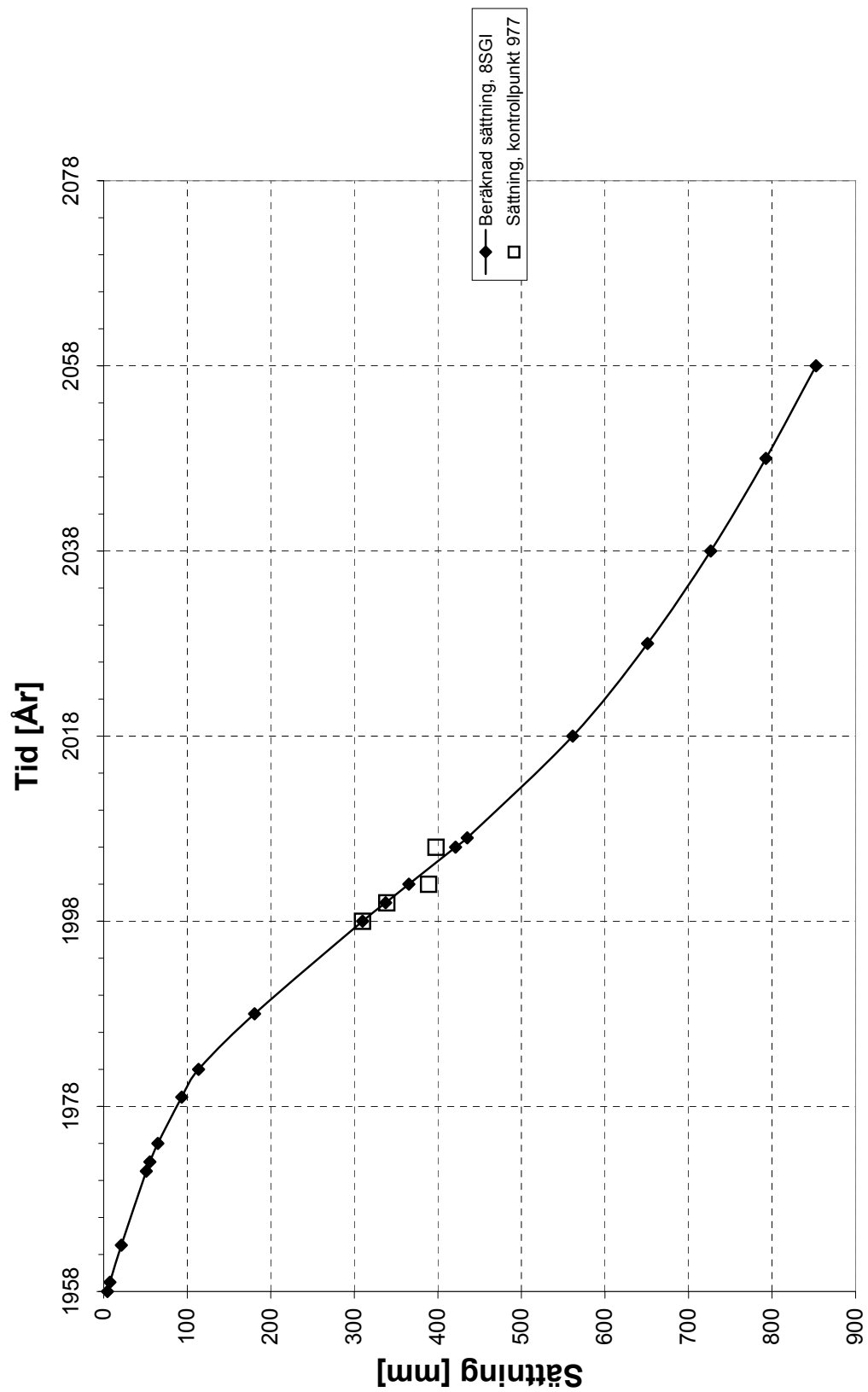
(b)



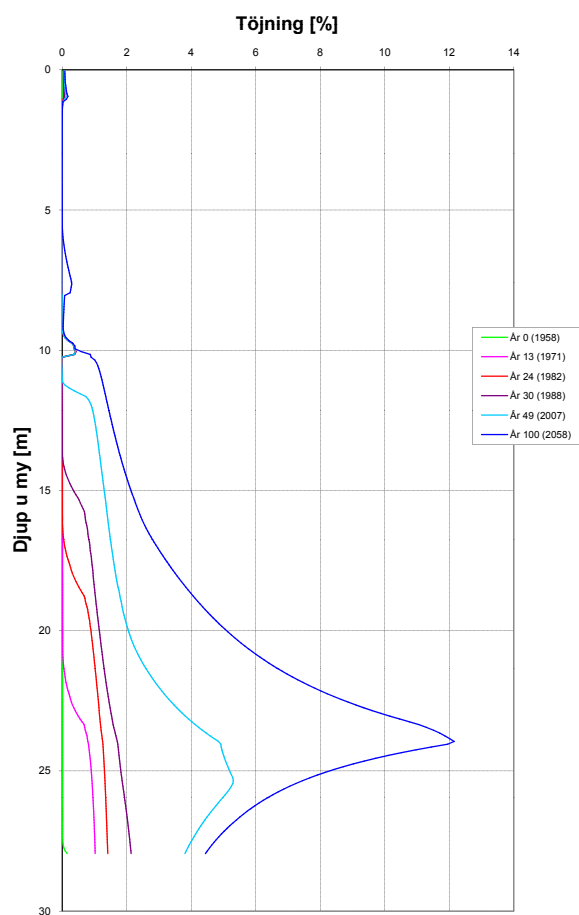
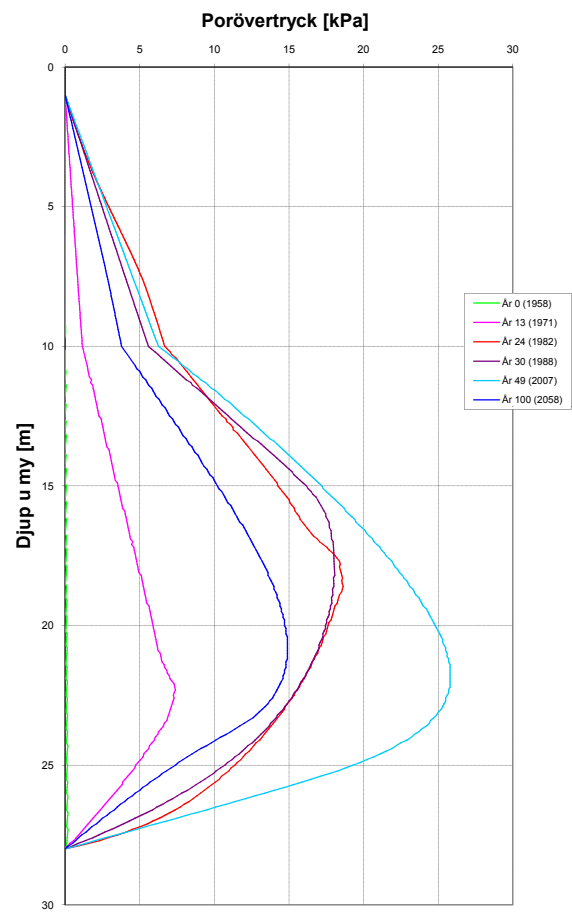
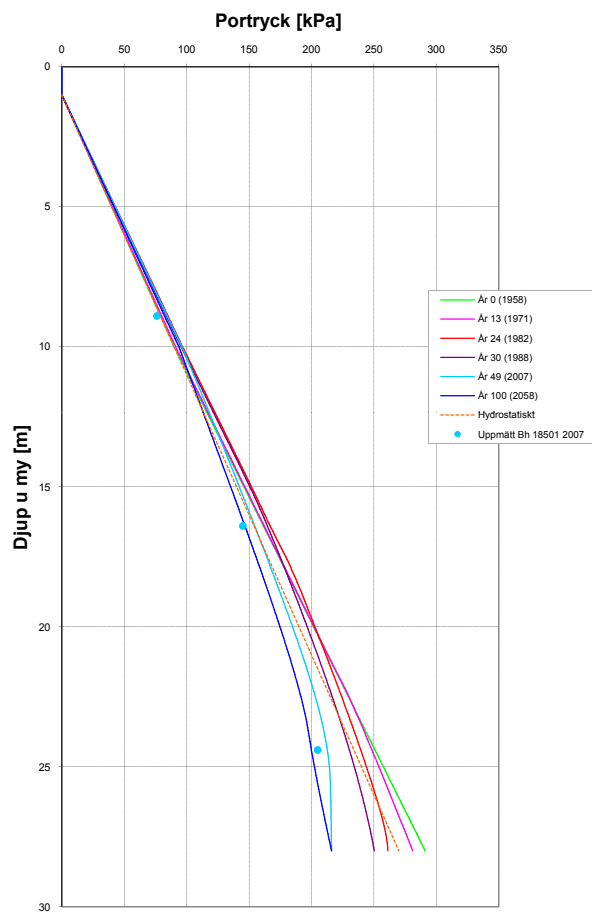
(c)

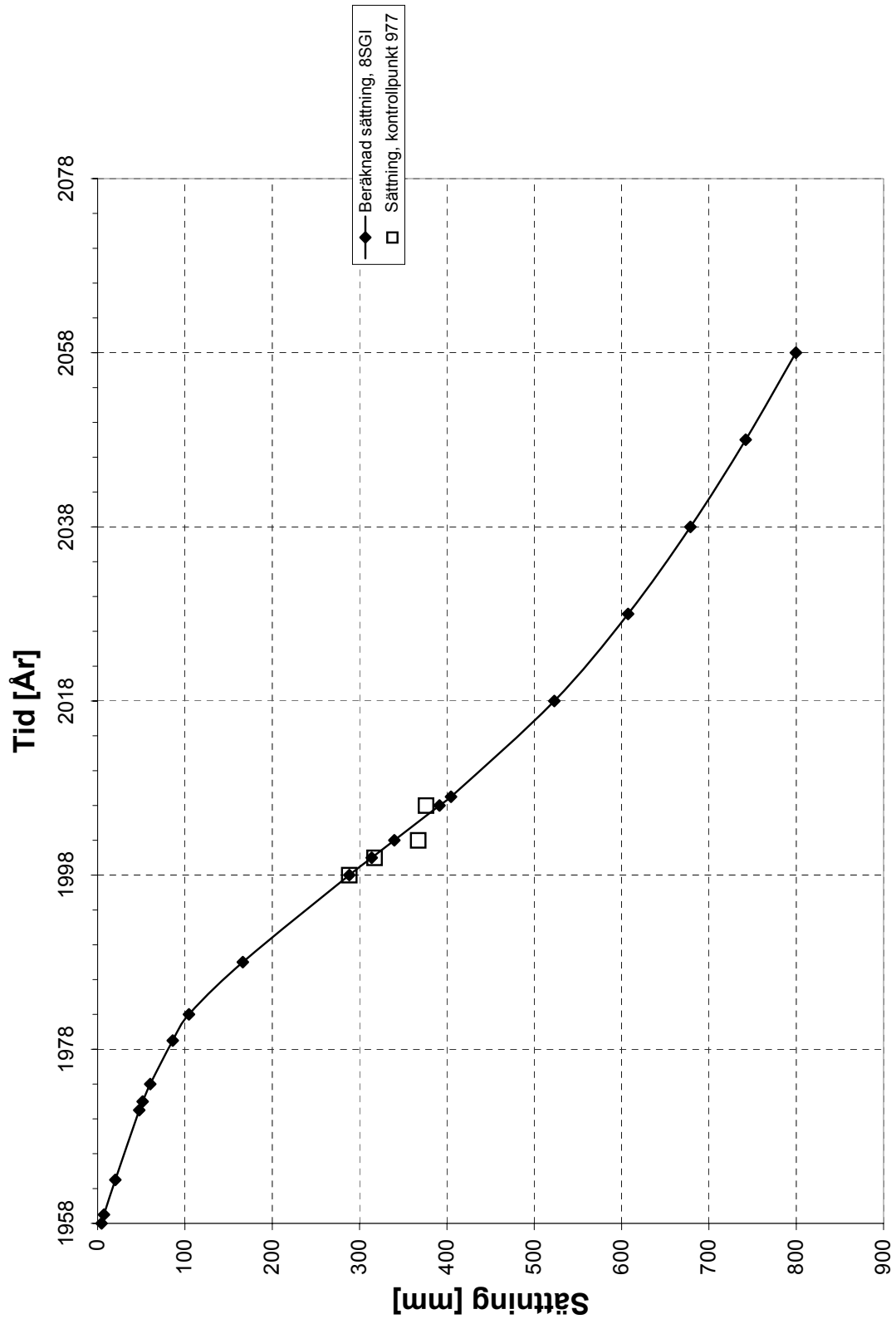


(d)

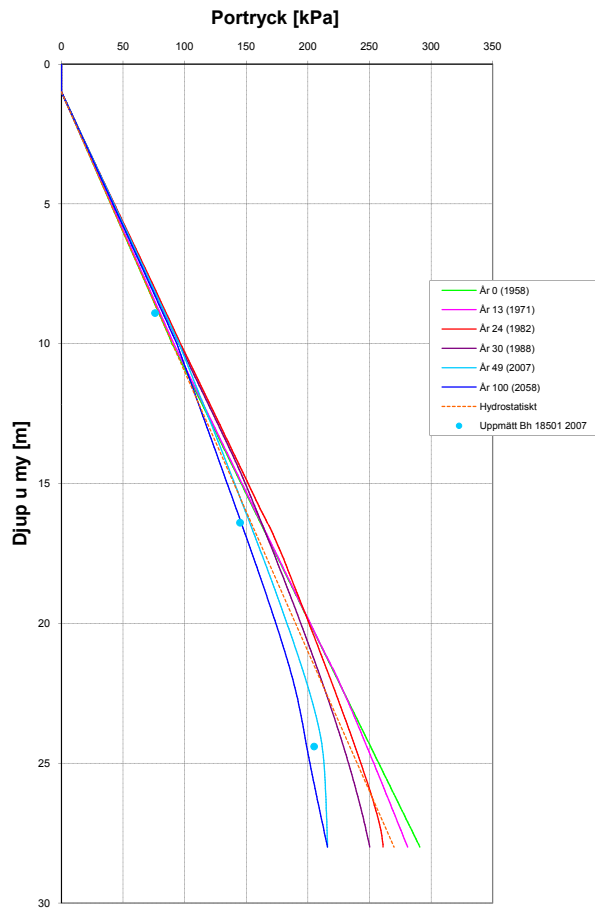


(a)

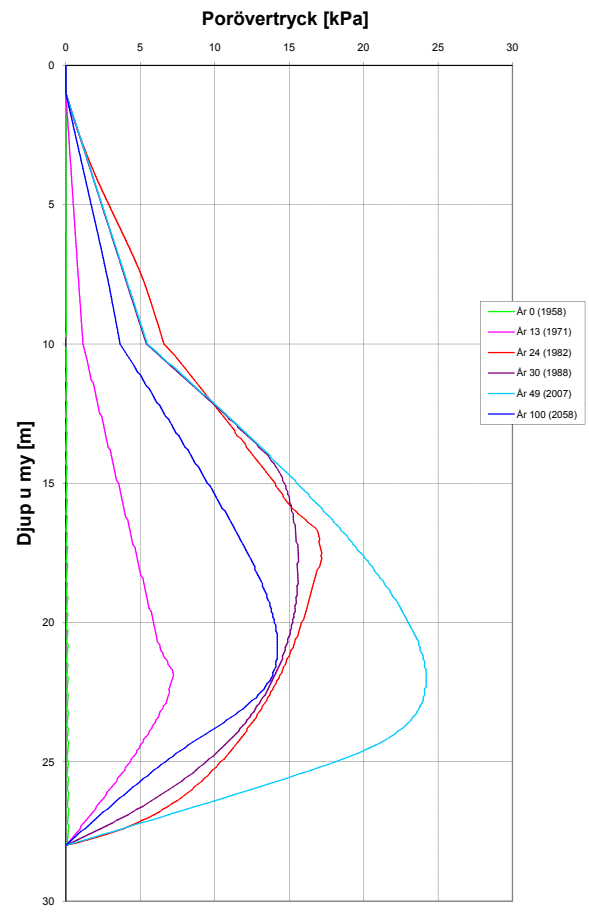




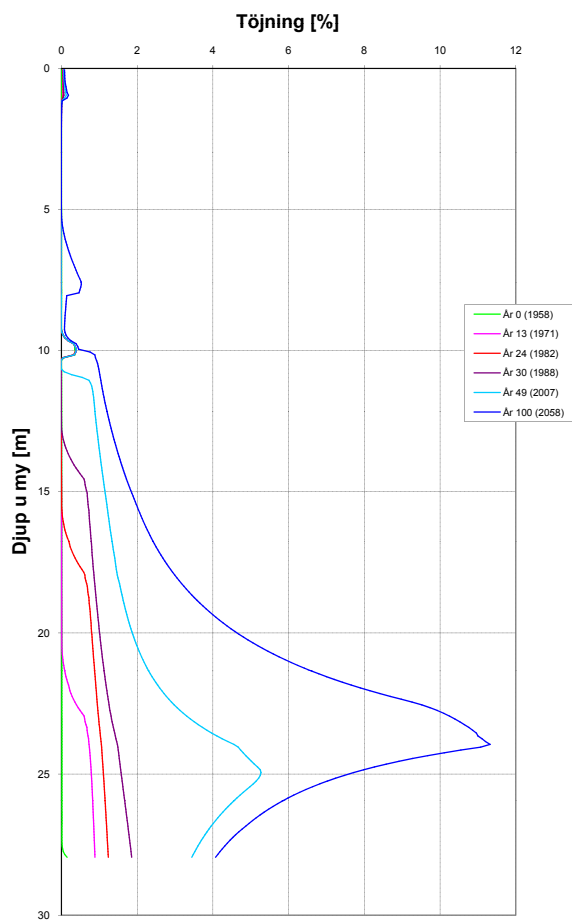
(a)



(b)



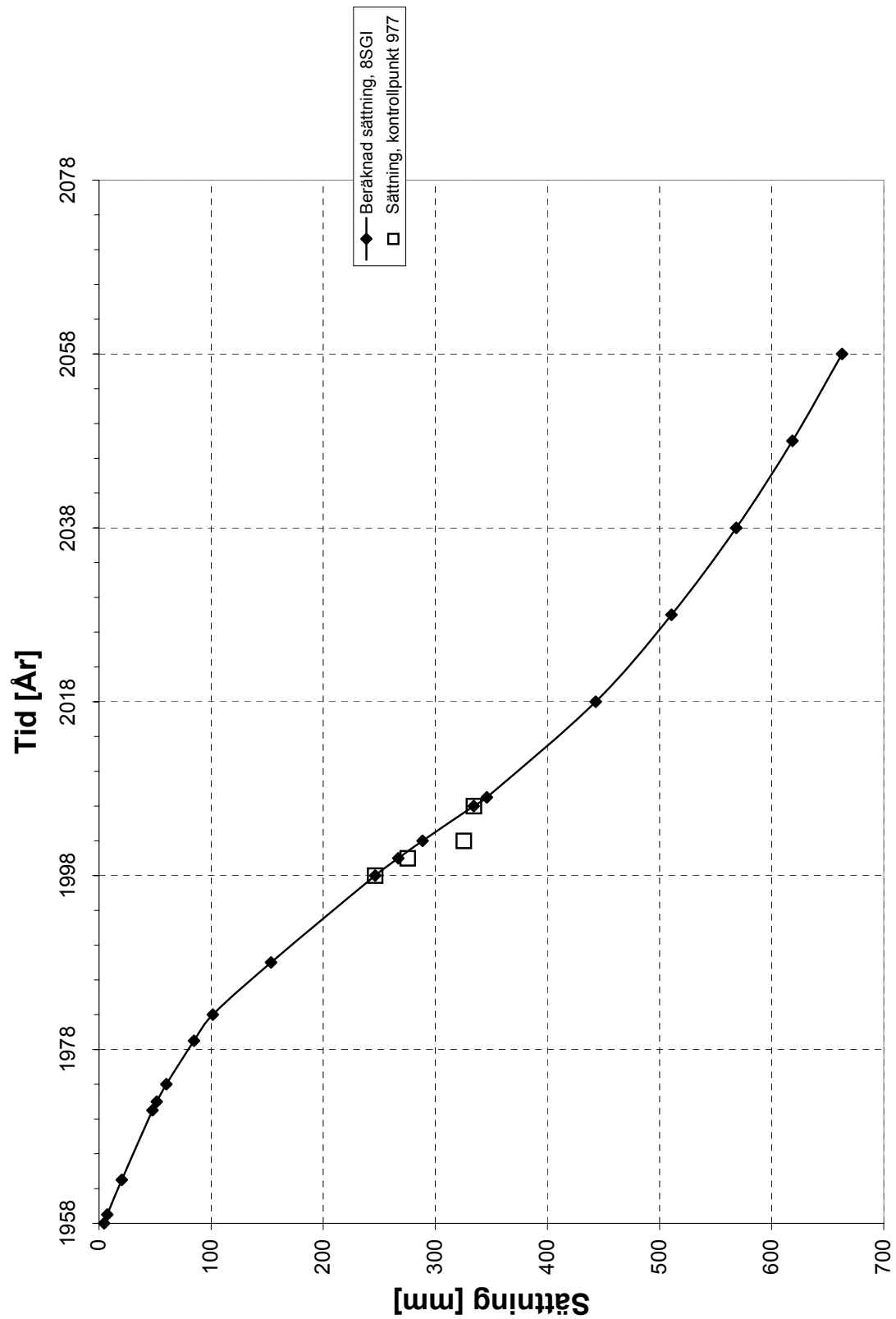
(c)



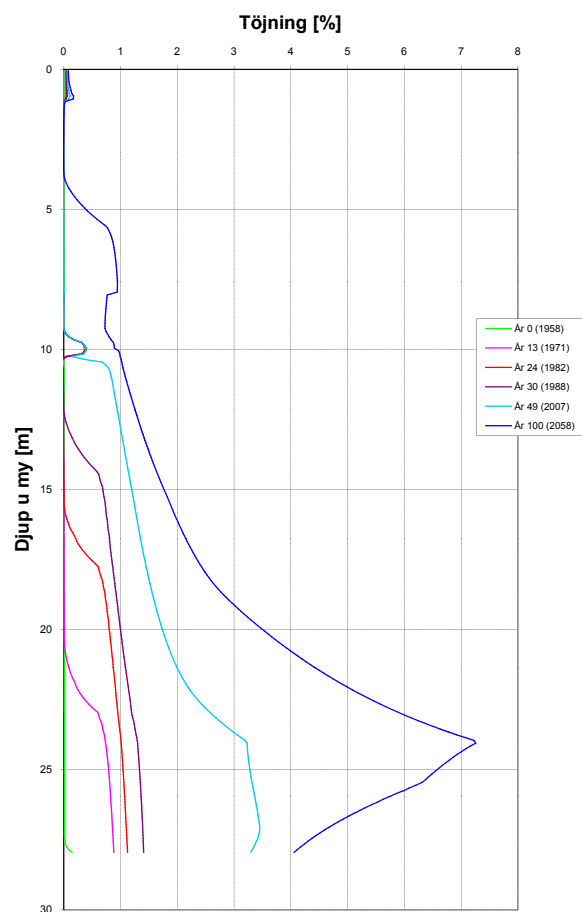
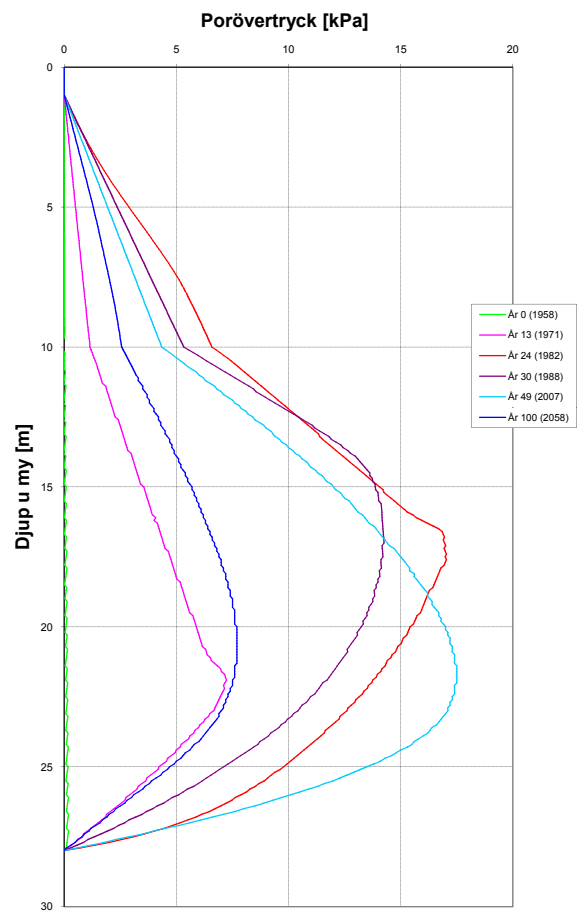
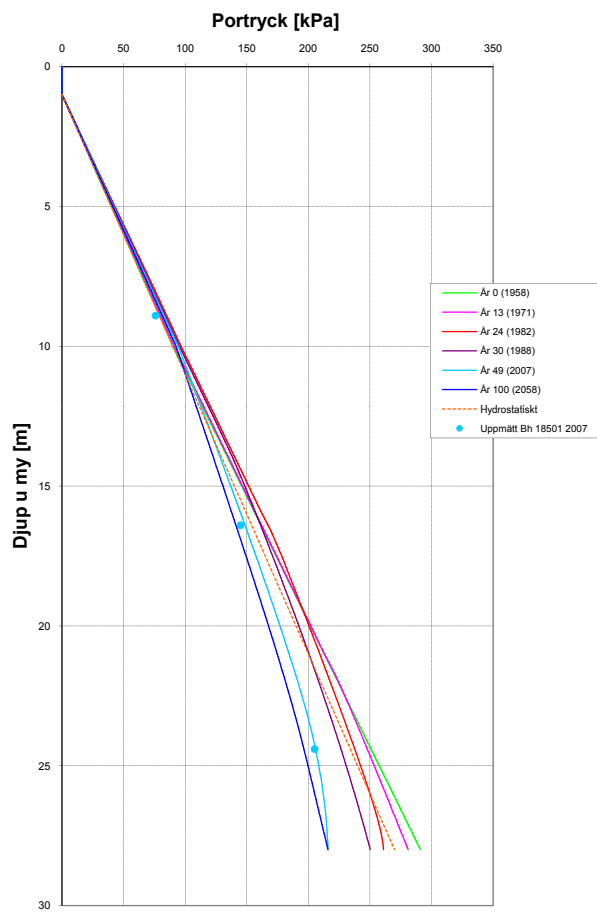
(d)

Beräkningsresultat GeoSuite successiv portryckssänkning
Bh 8SGI, Sektion A-A
OCR=1.3 $b_1=1.1$

Bilaga 4.1.4

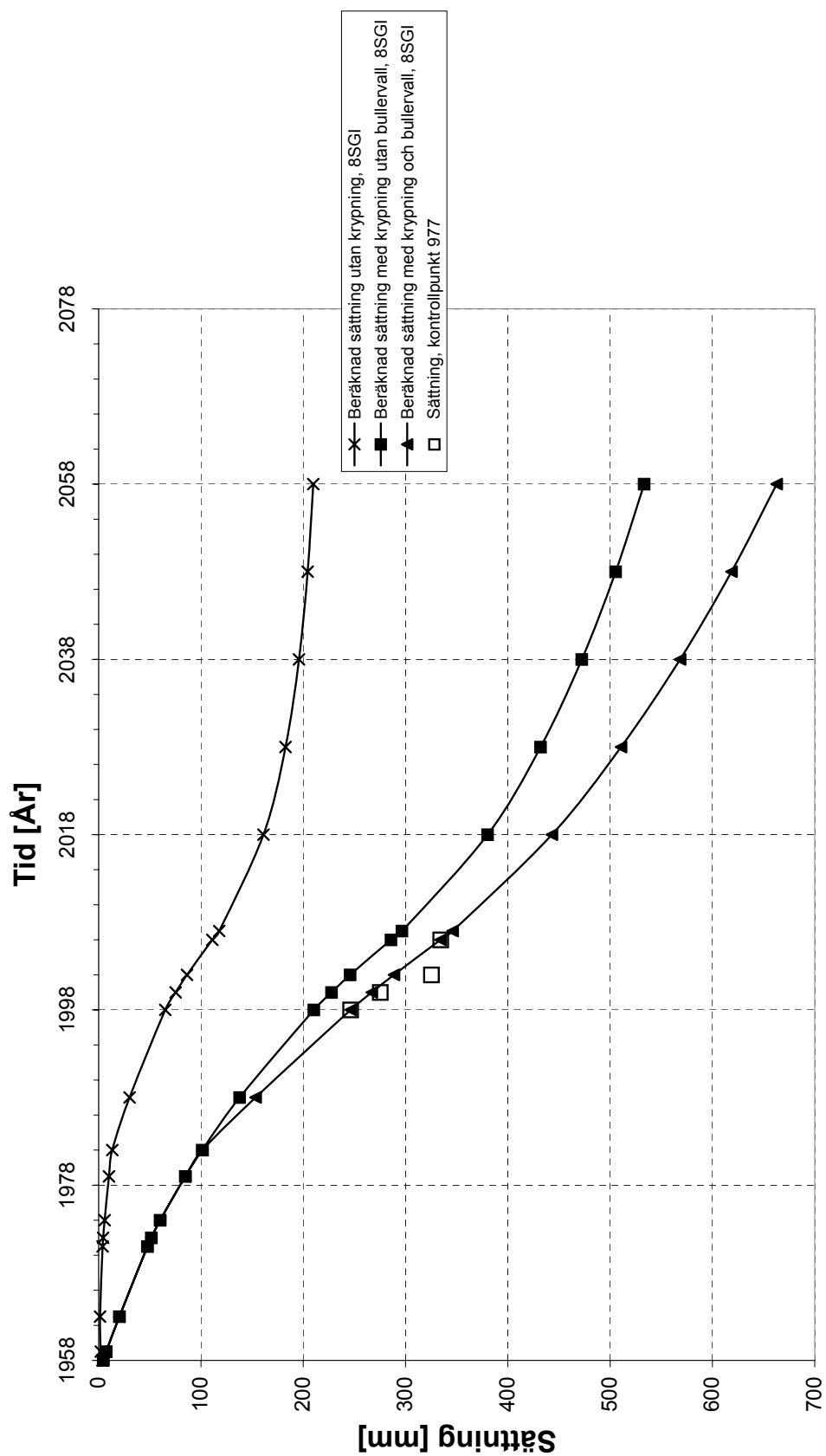


(a)



Beräkningsresultat GeoSuite successiv portryckssänkning
Bh 8SGI, Sektion A-A
OCR=1.3 $b_1=1.1$ med/utan krypning respektive bullervall

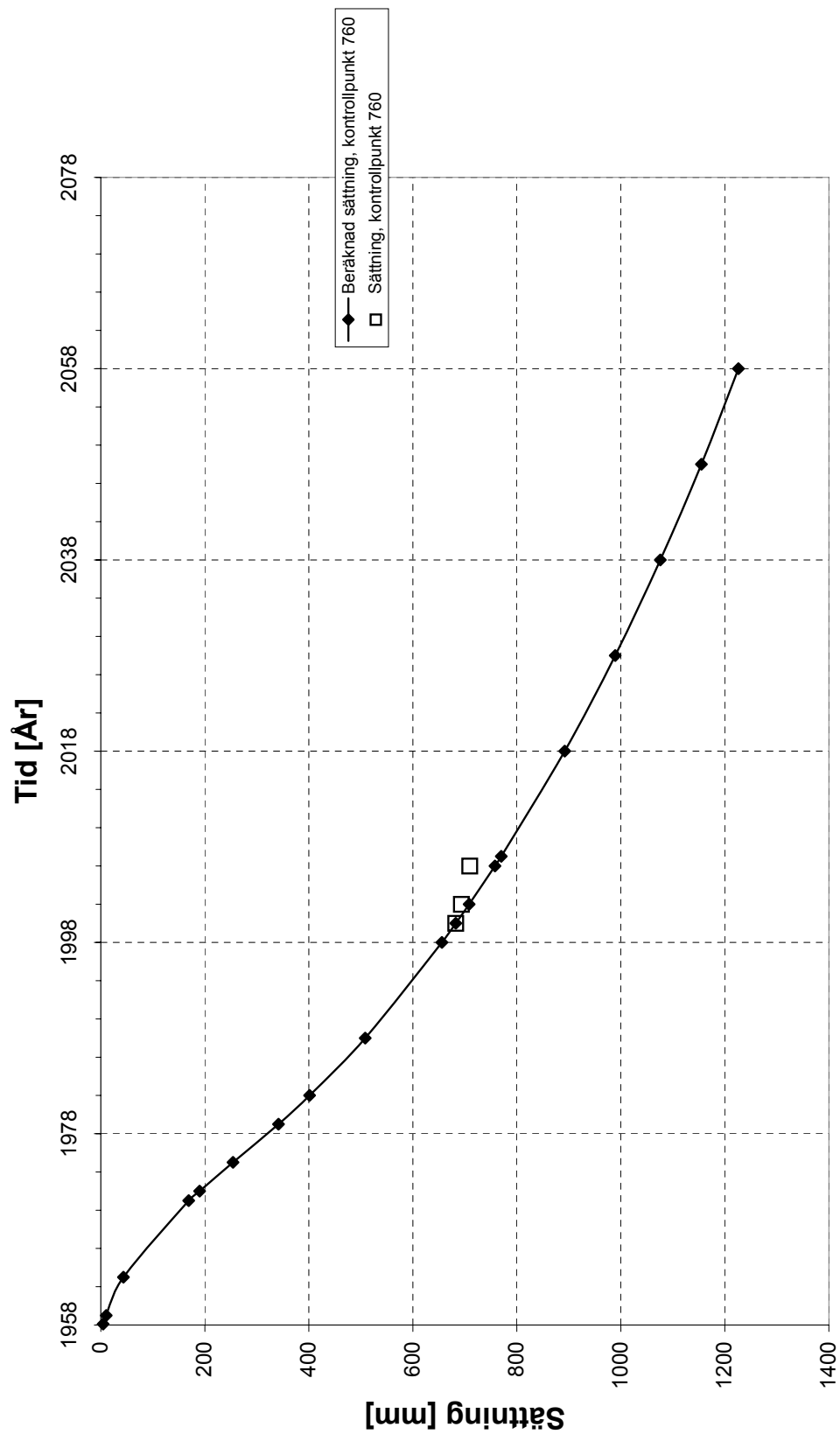
Bilaga 4.1.5

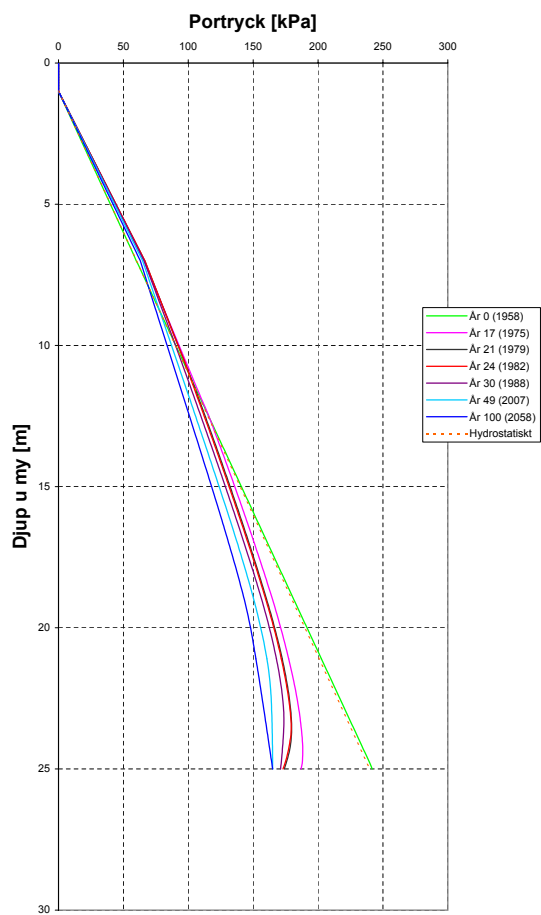


(a)

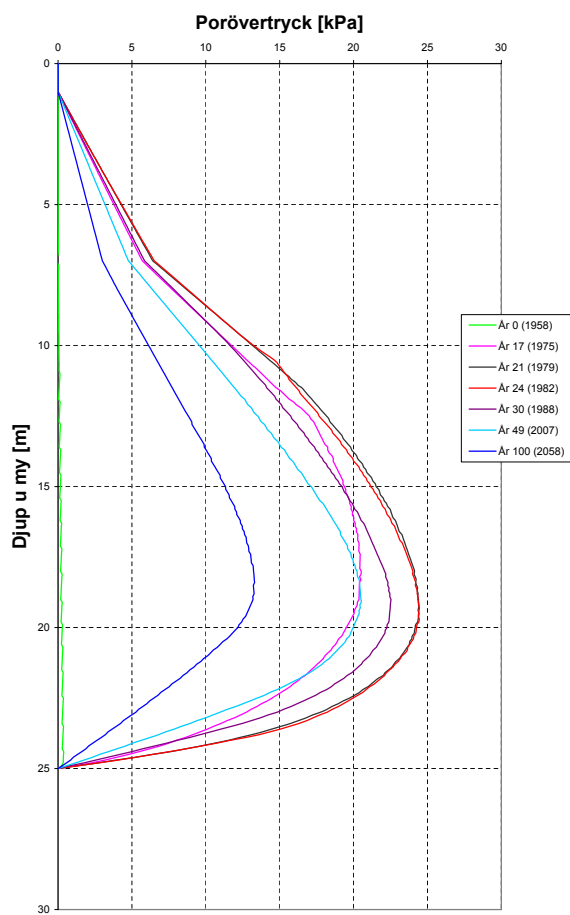
Beräkningsresultat GeoSuite successiv portryckssänkning
Kontrollpunkt 760, Sektion E-E
OCR=1.2 $b_1=1.0$

Bilaga 4.2.1

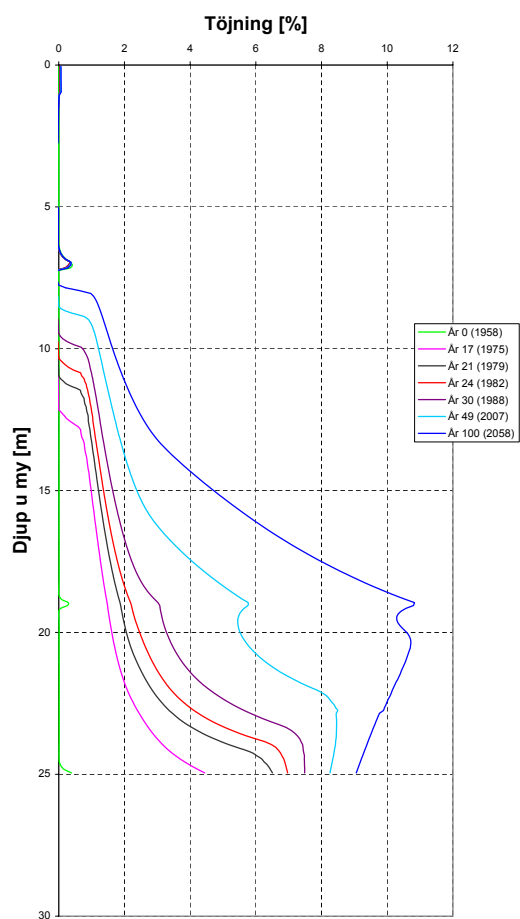




(b)



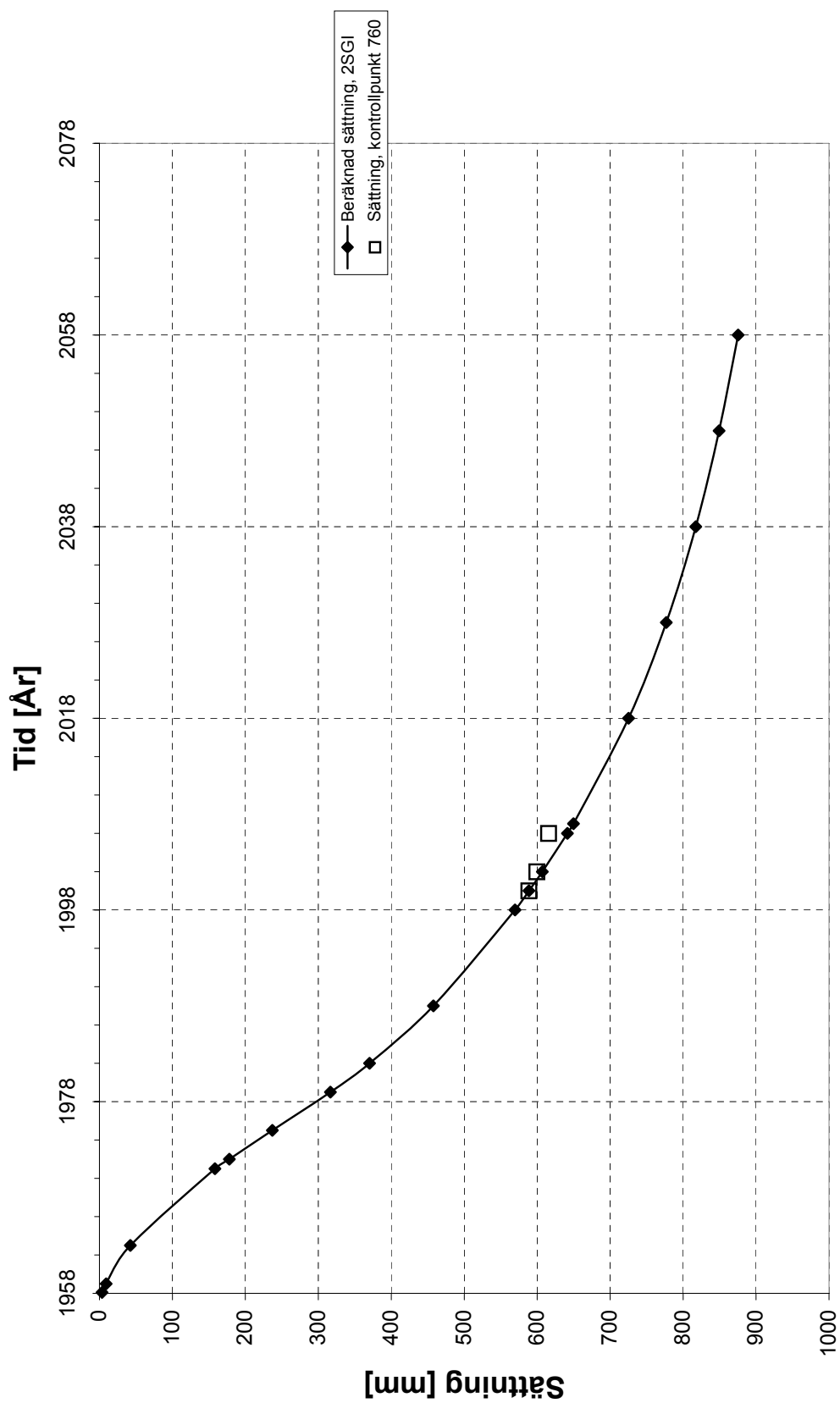
(c)



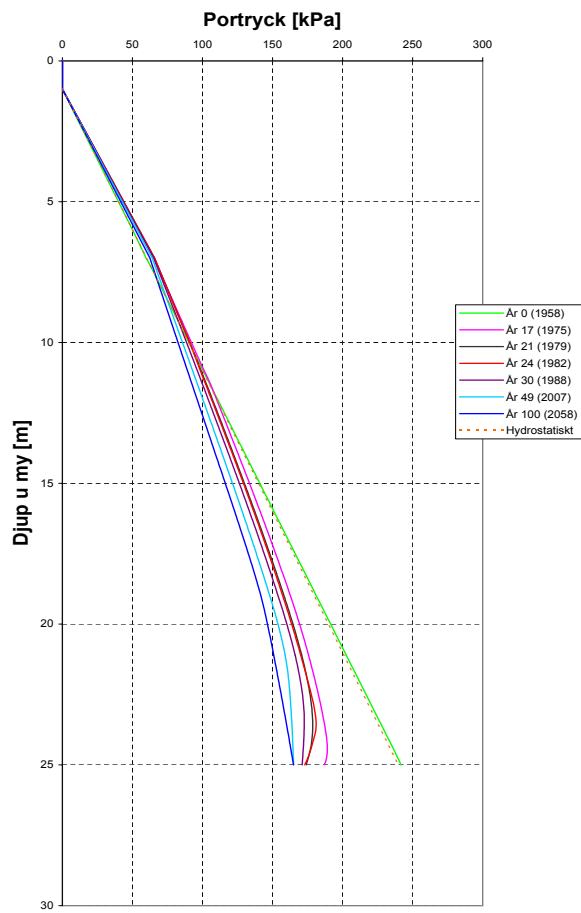
(d)

Beräkningsresultat GeoSuite successiv portryckssänkning
Kontrollpunkt 760, Sektion E-E
OCR=1.2 $b_1=1.1$

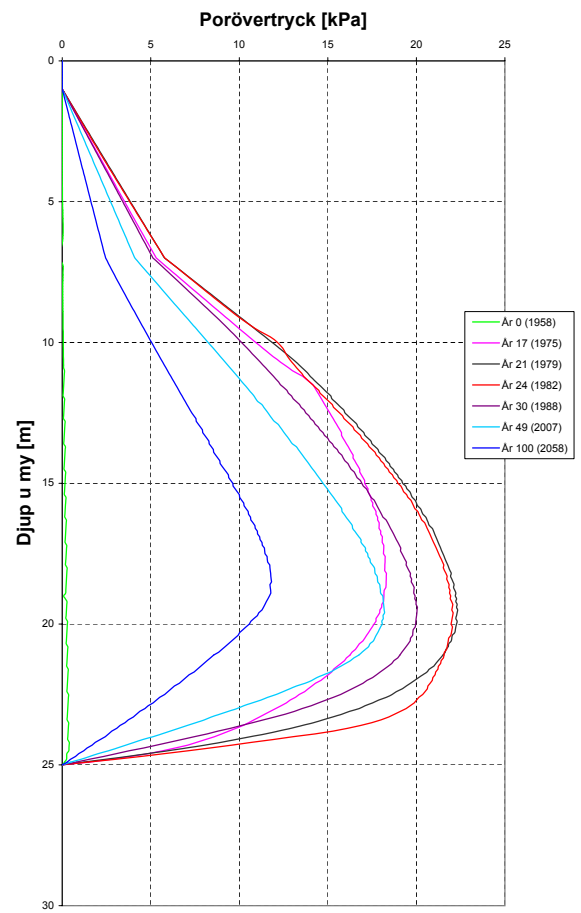
Bilaga 4.2.2



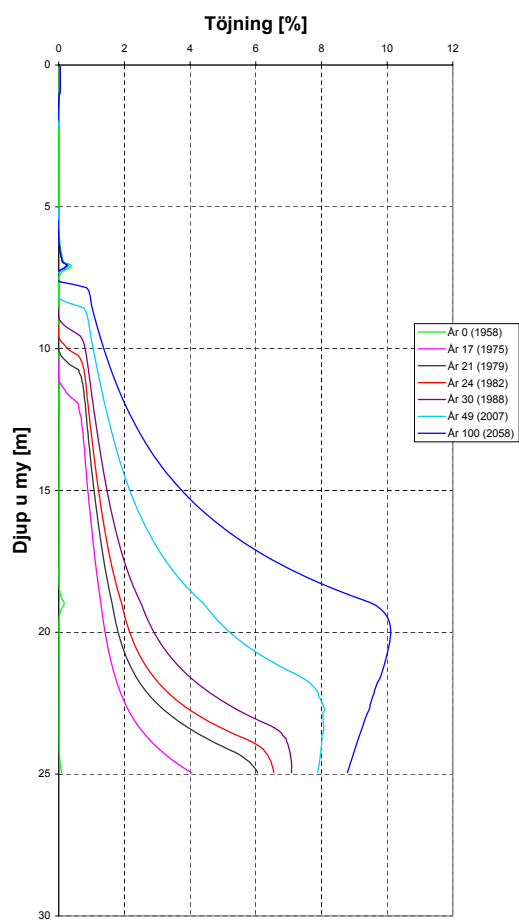
(a)



(b)



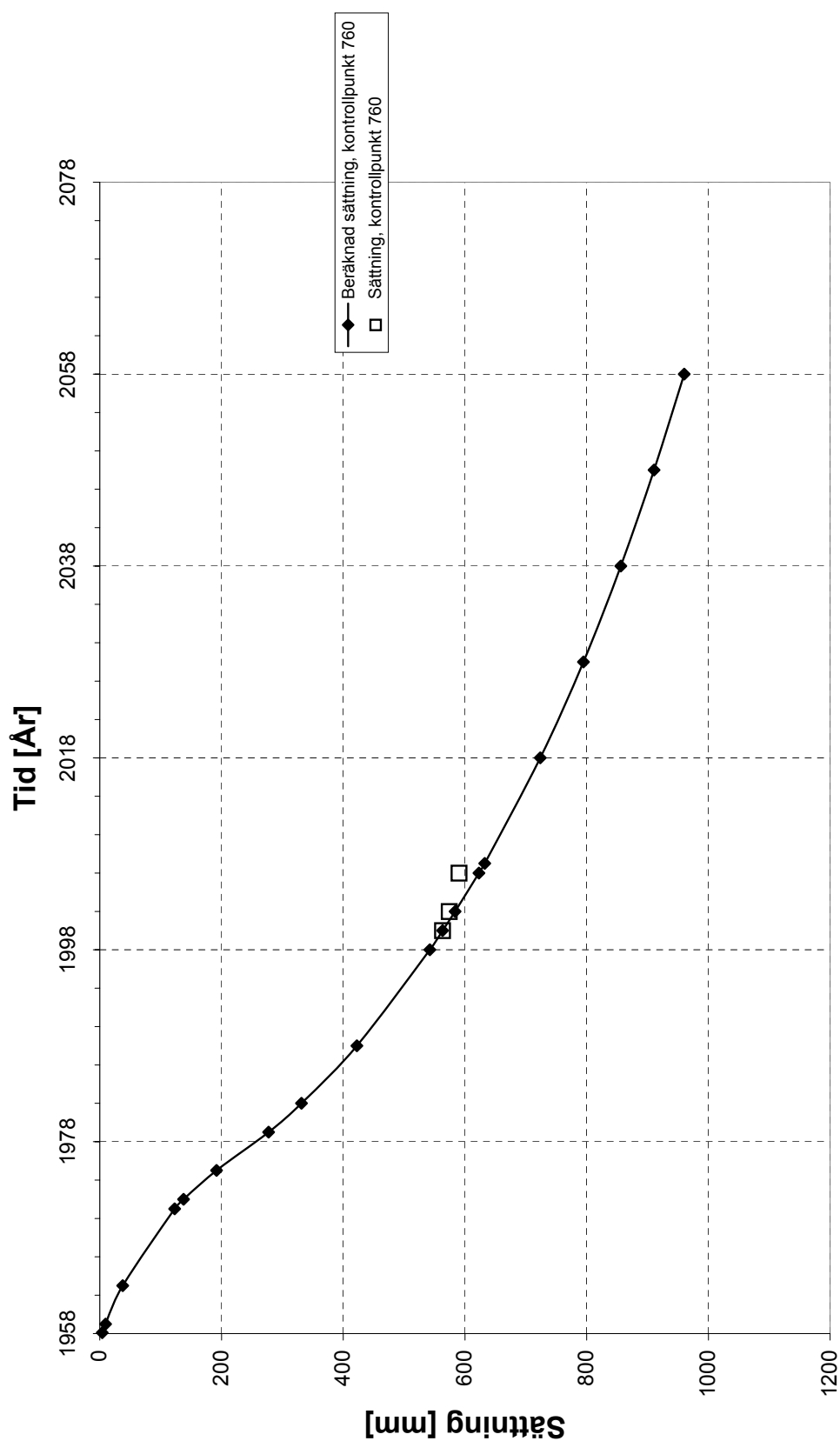
(c)



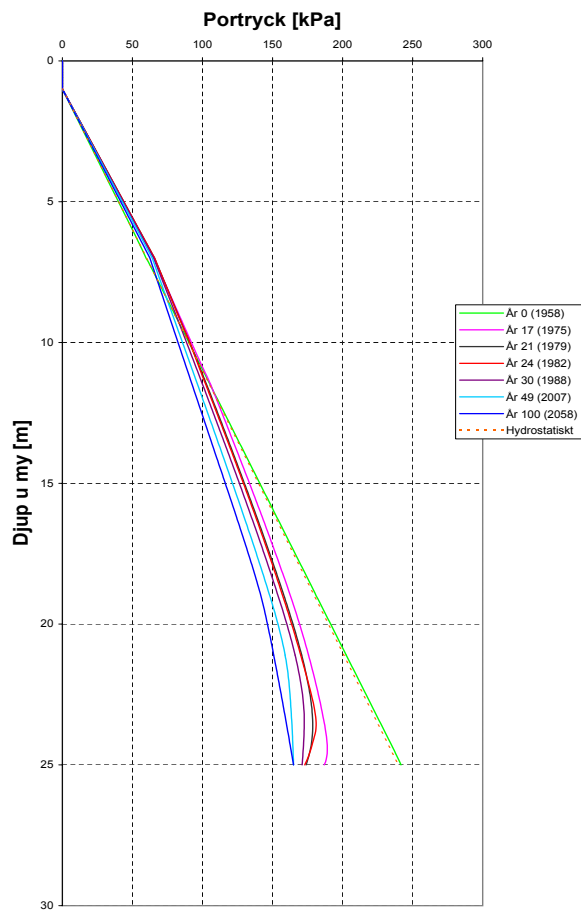
(d)

Beräkningsresultat GeoSuite successiv portryckssänkning
Kontrollpunkt 760 Sektion E-E
OCR=1.3 $b_1=1.0$

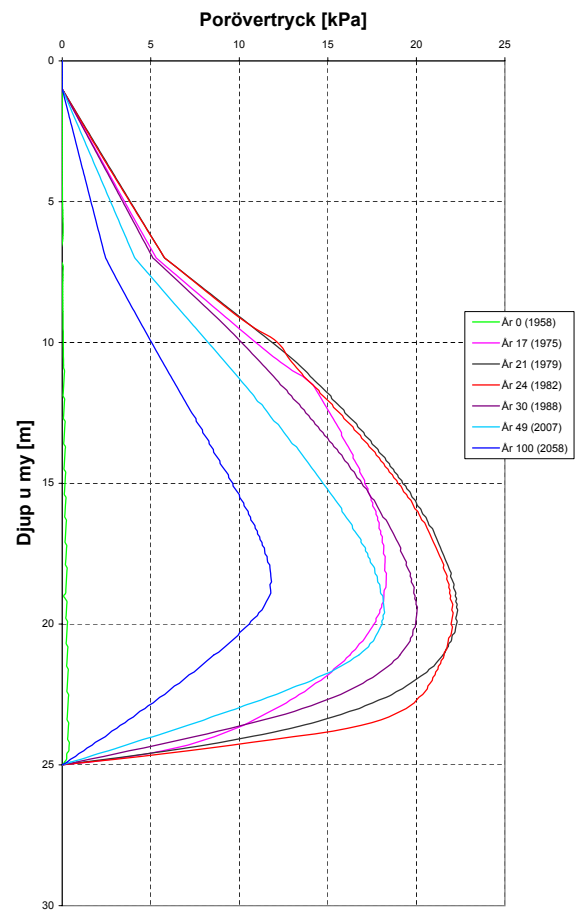
Bilaga 4.2.3



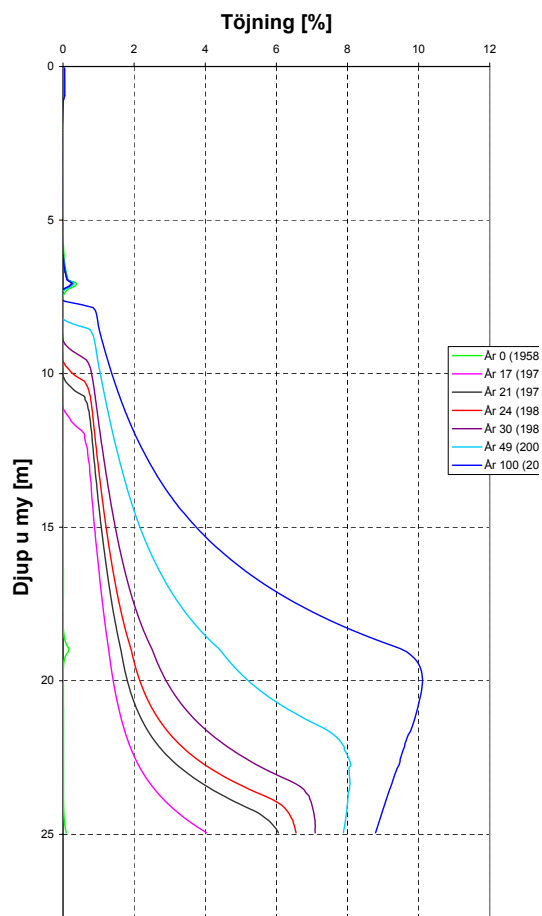
(a)



(b)



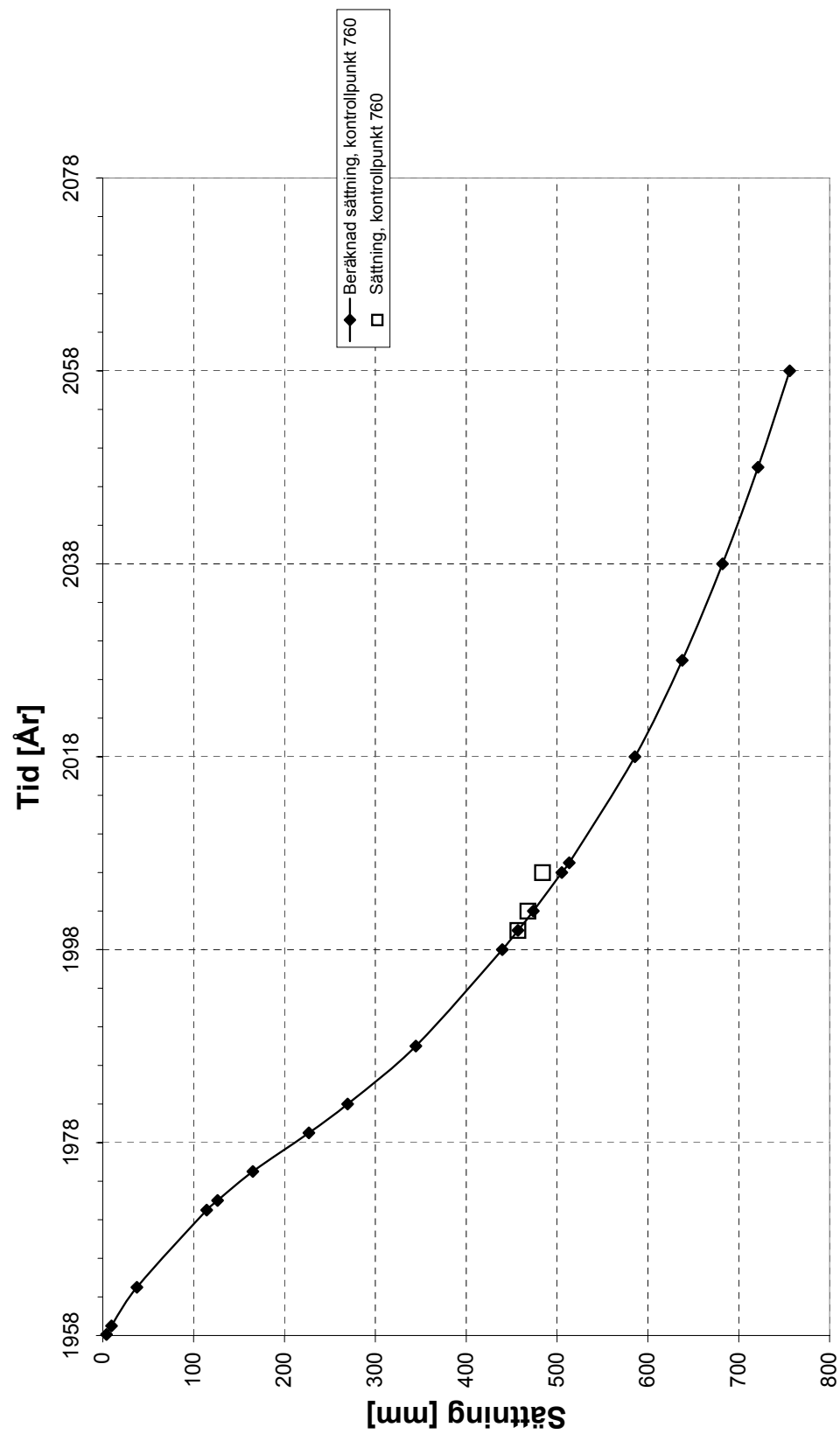
(c)



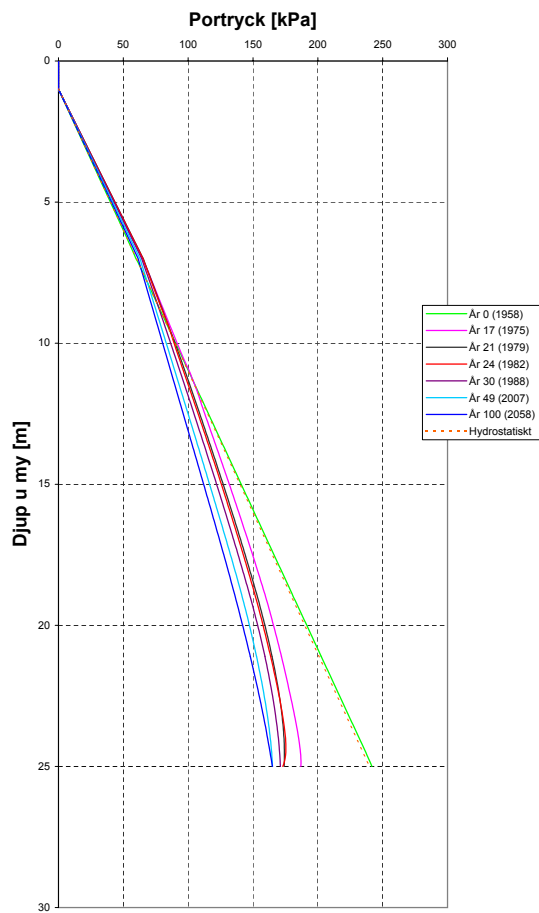
(d)

Beräkningsresultat GeoSuite successiv portryckssänkning
Kontrollpunkt 760, Sektion E-E
OCR=1.3 $b_1=1.1$

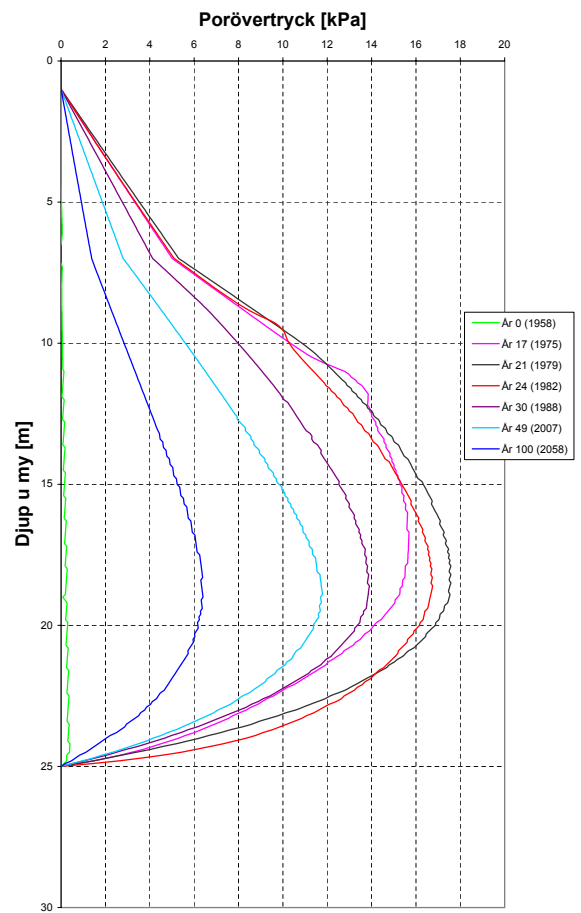
Bilaga 4.2.4



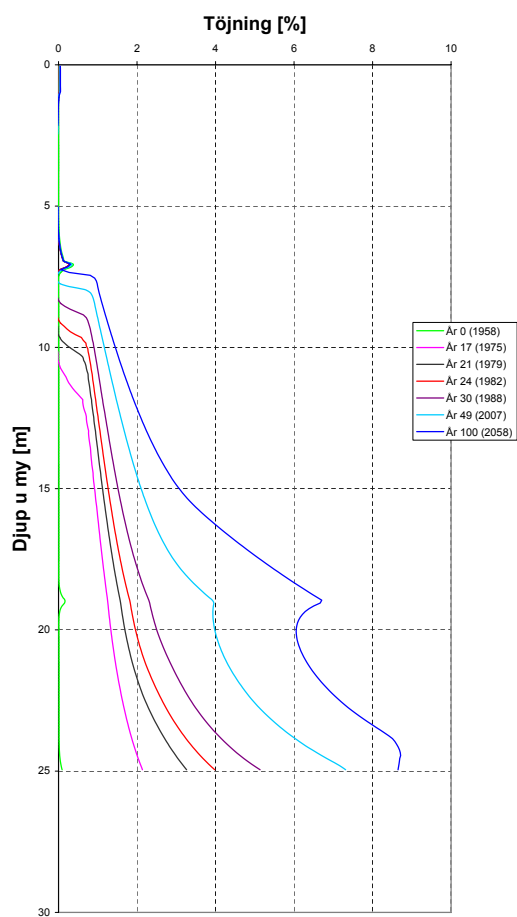
(a)



(b)



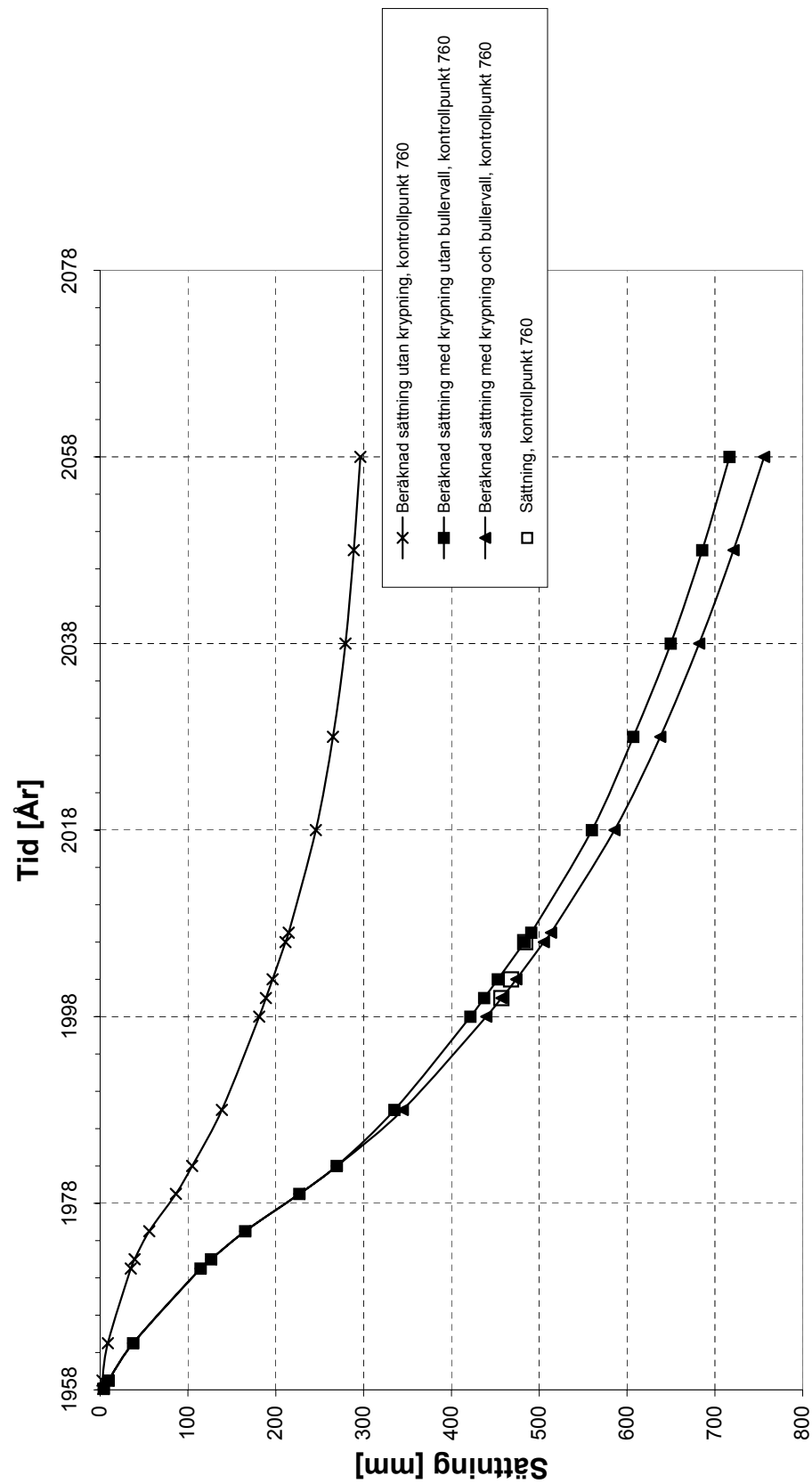
(c)



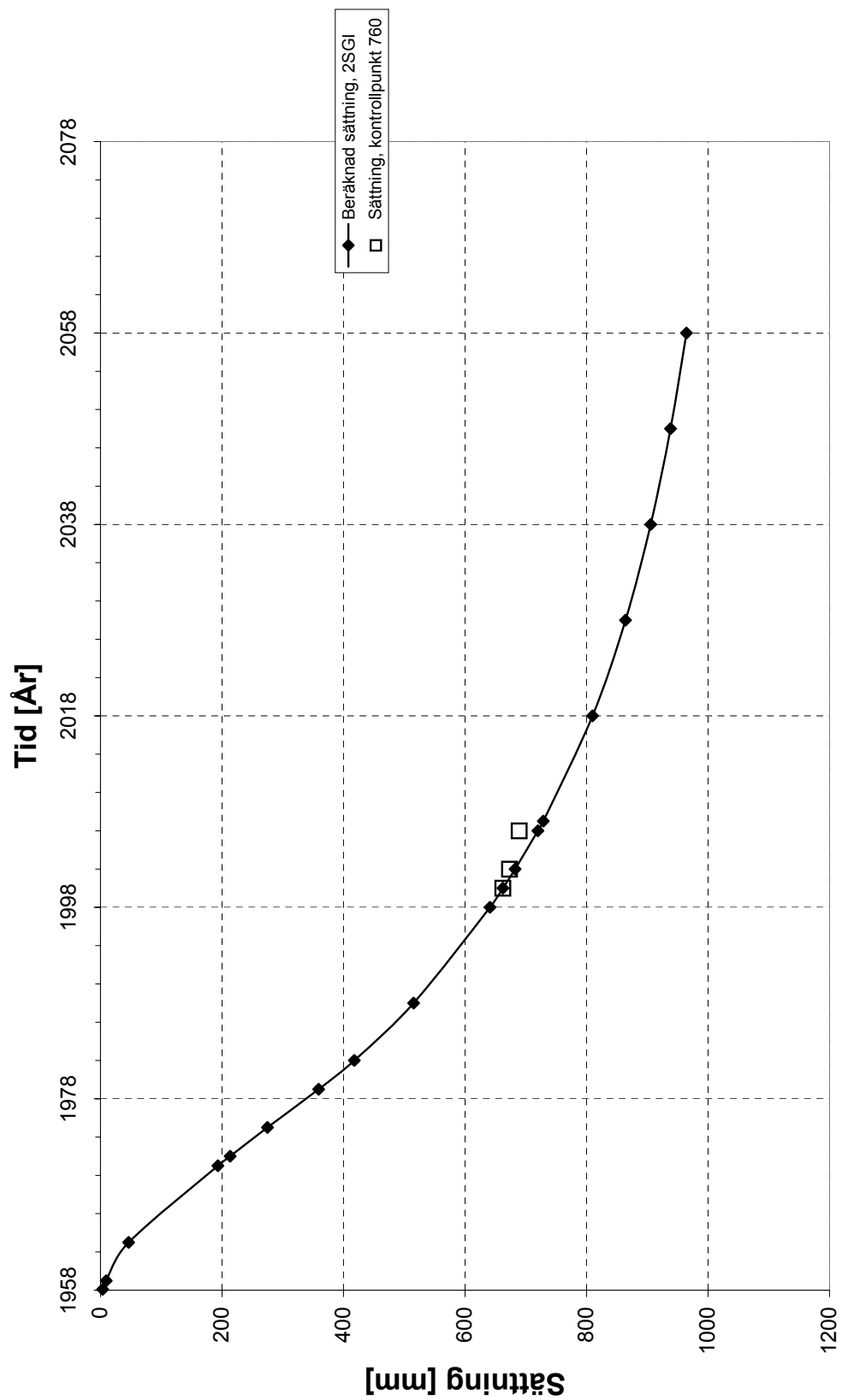
(d)

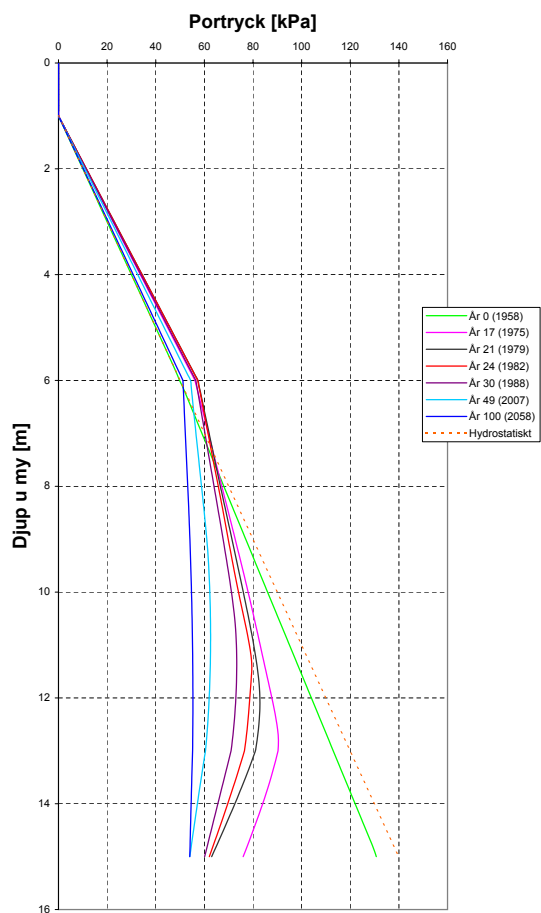
Beräkningsresultat GeoSuite successiv portryckssänkning
Kontrollpunkt 760, Sektion E-E
OCR=1.3 $b_1=1.1$ med/utan krypning respektive bullervall

Bilaga 4.2.5

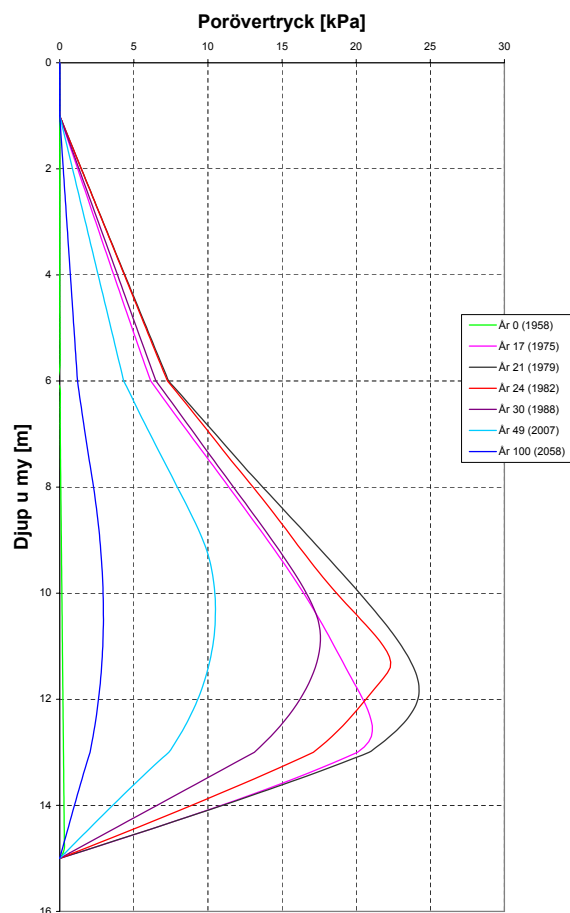


(a)

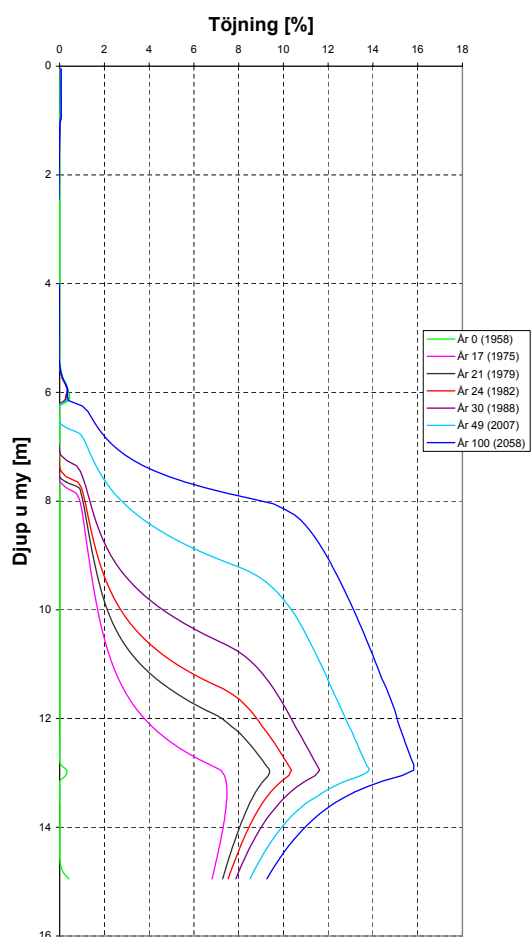




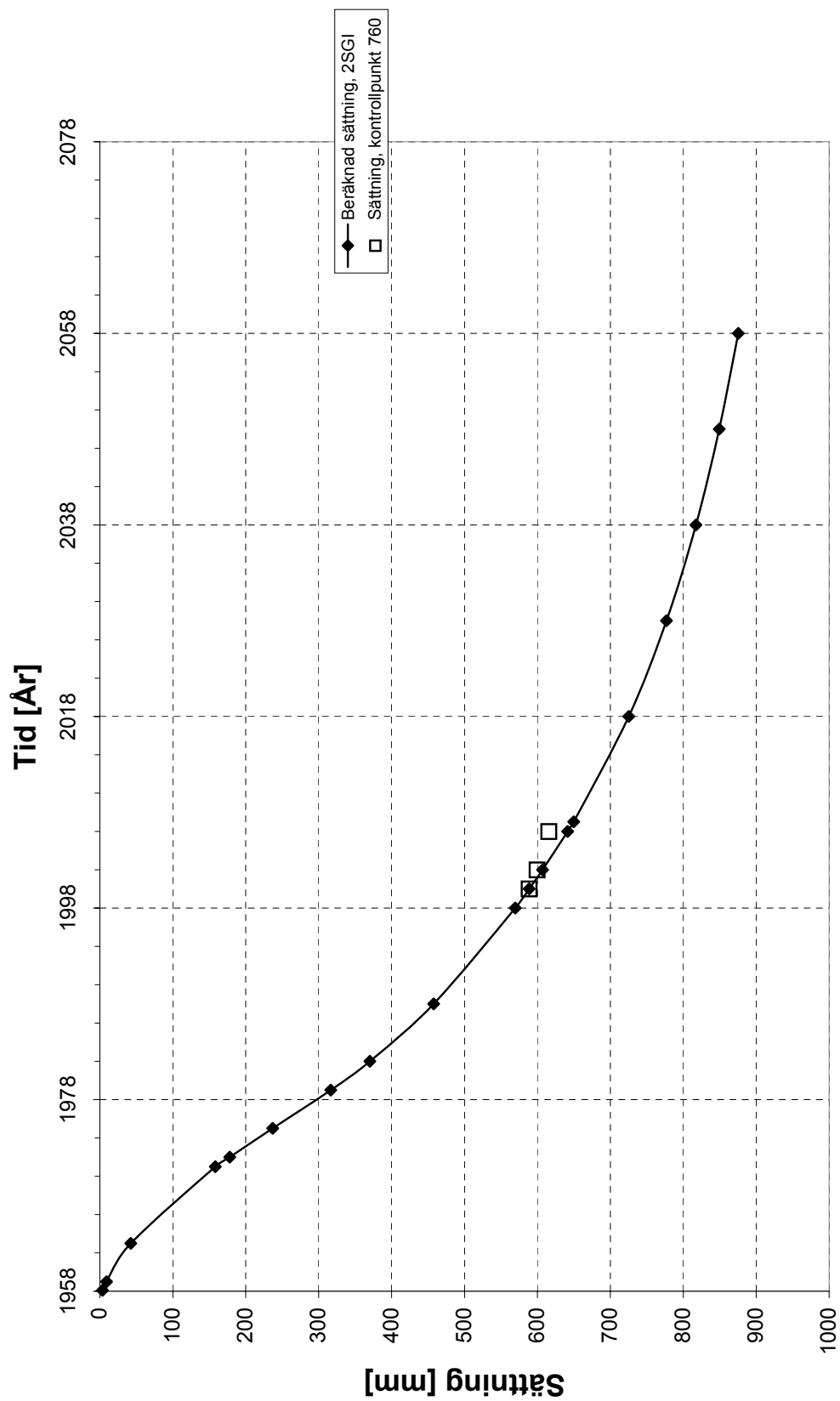
(b)



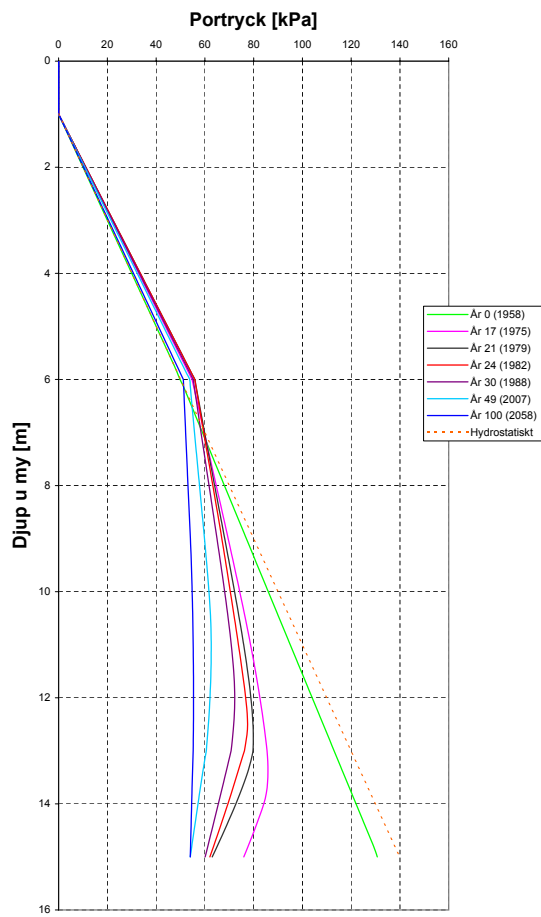
(c)



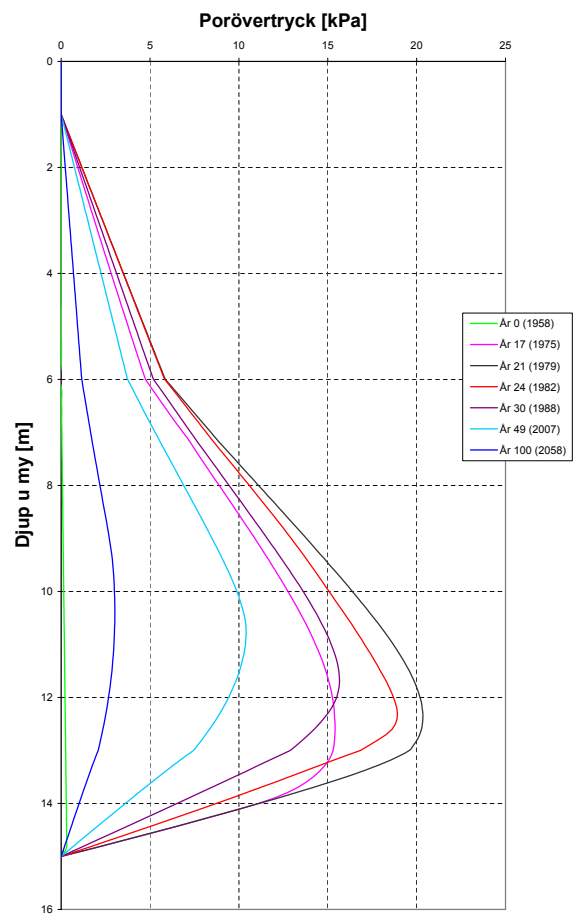
(d)



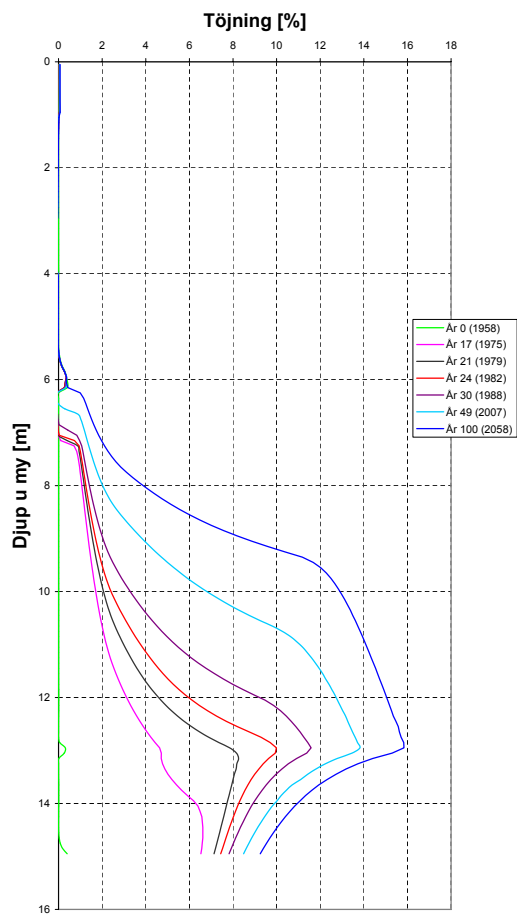
(a)



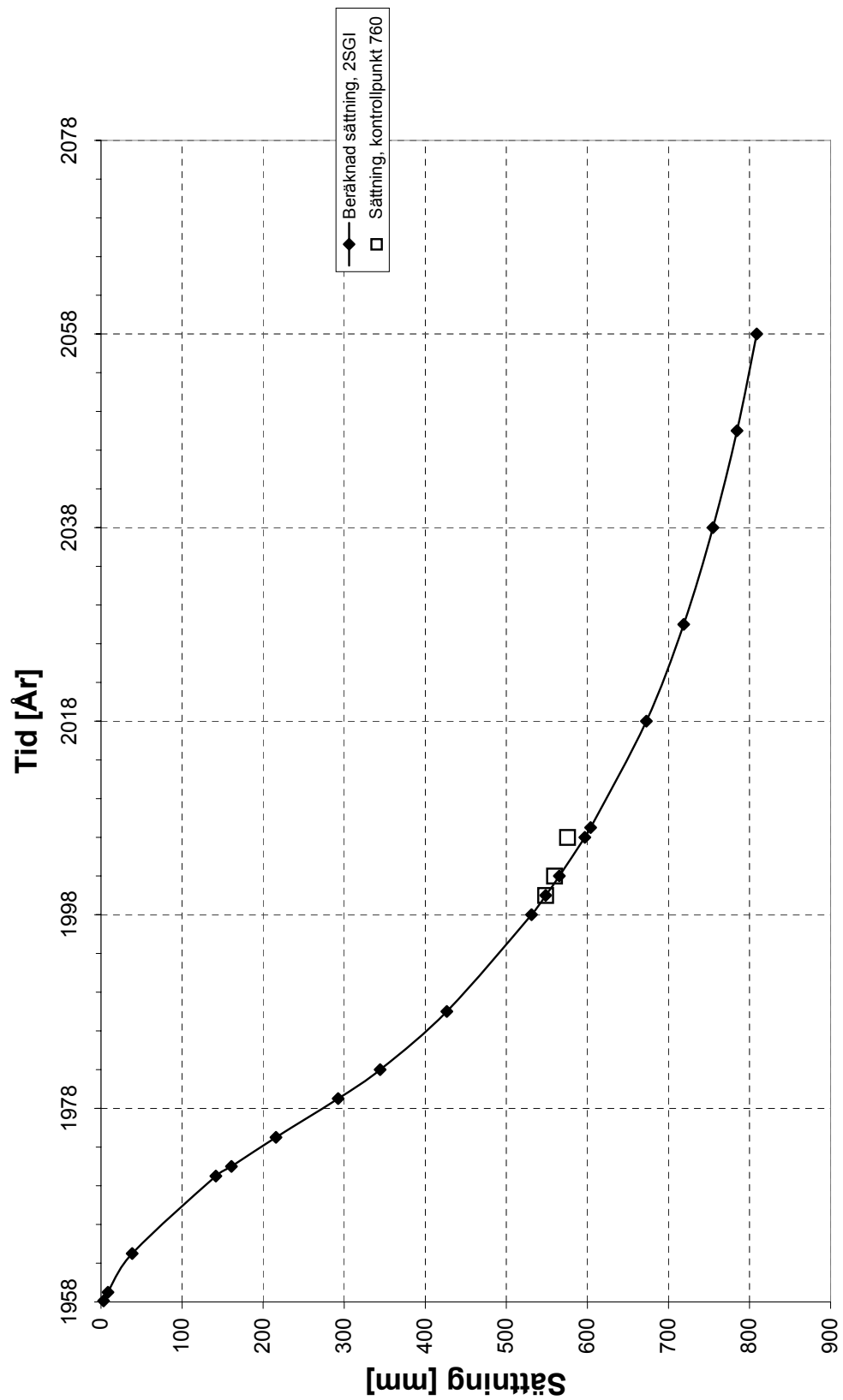
(b)



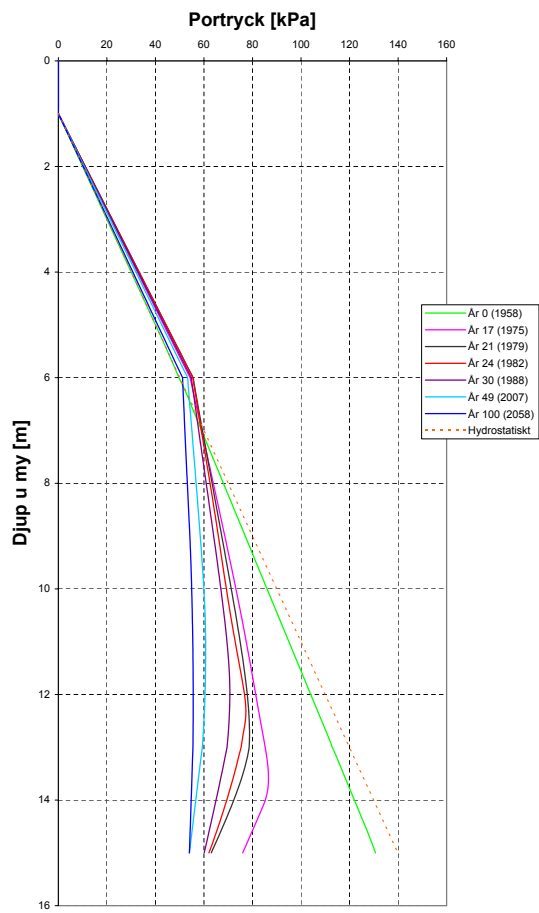
(c)



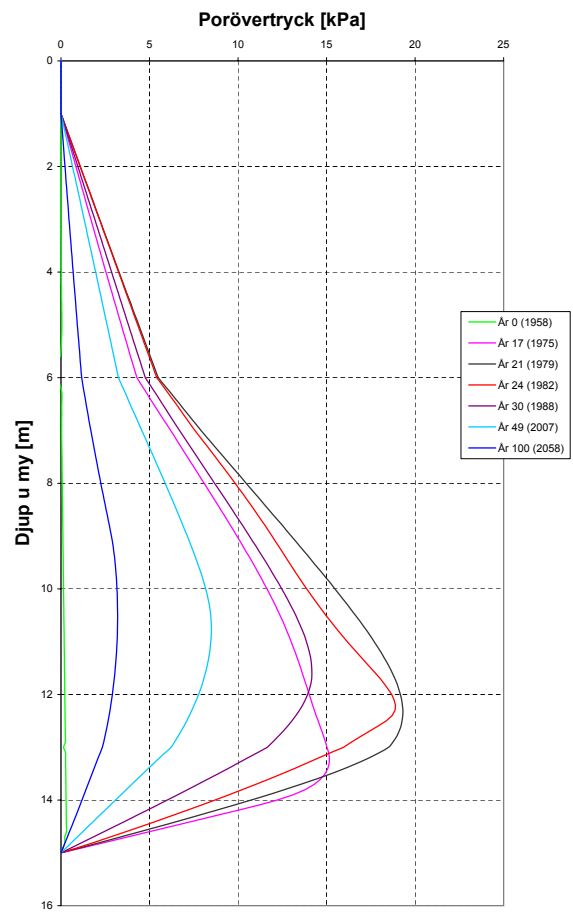
(d)



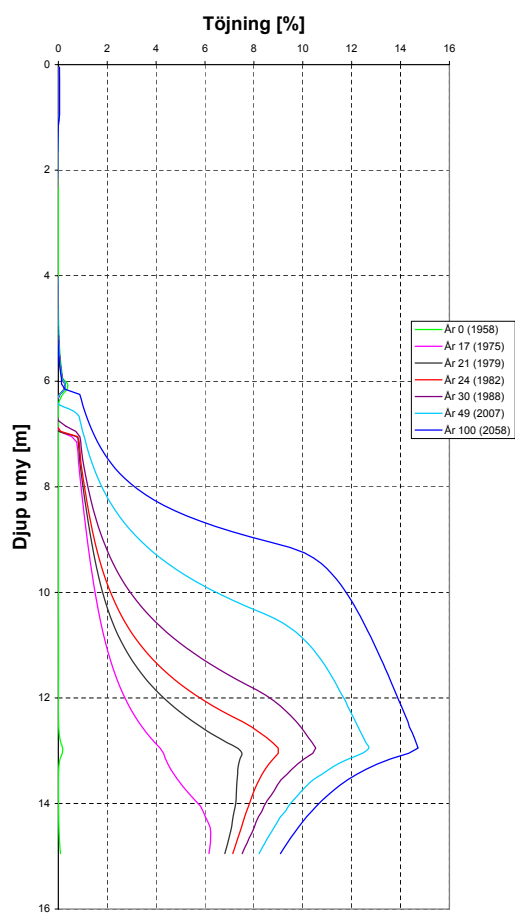
(a)



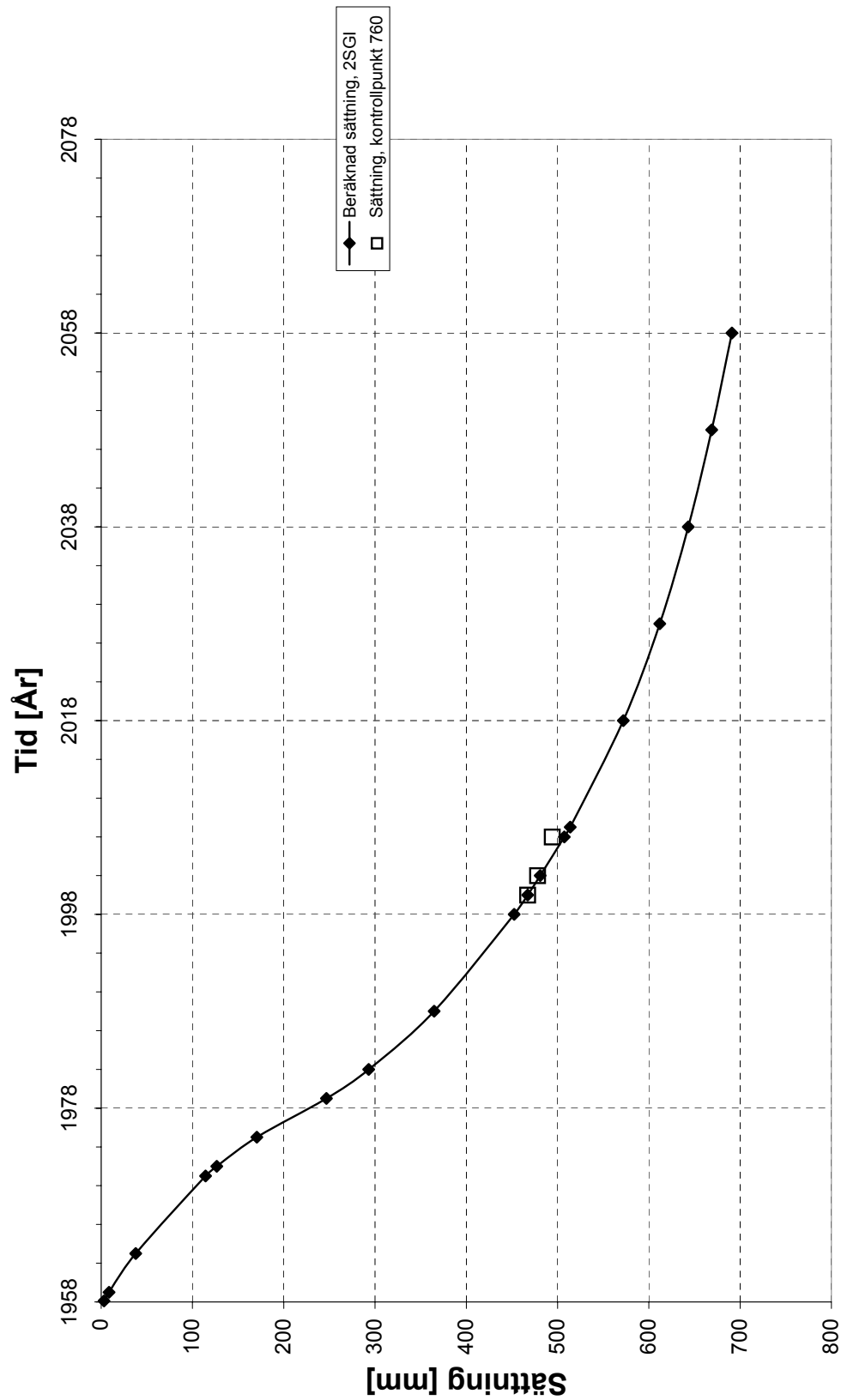
(b)



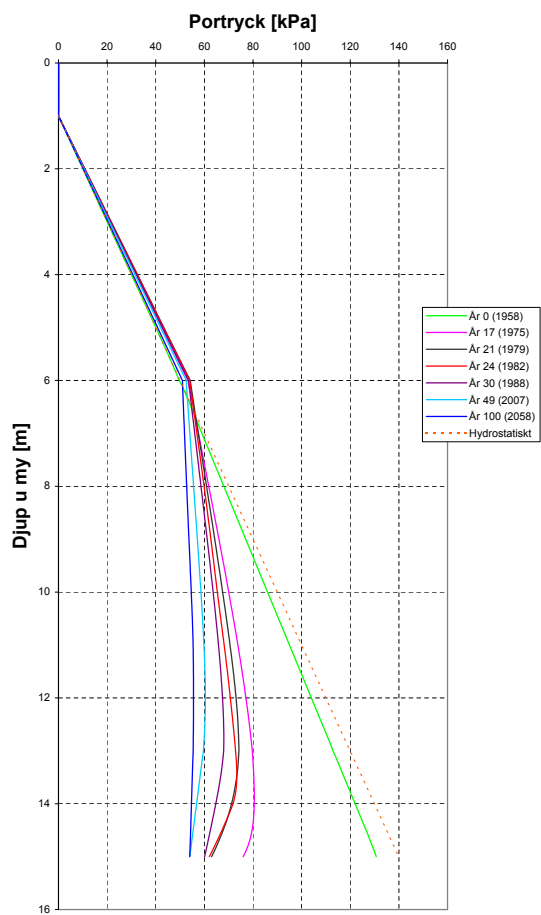
(c)



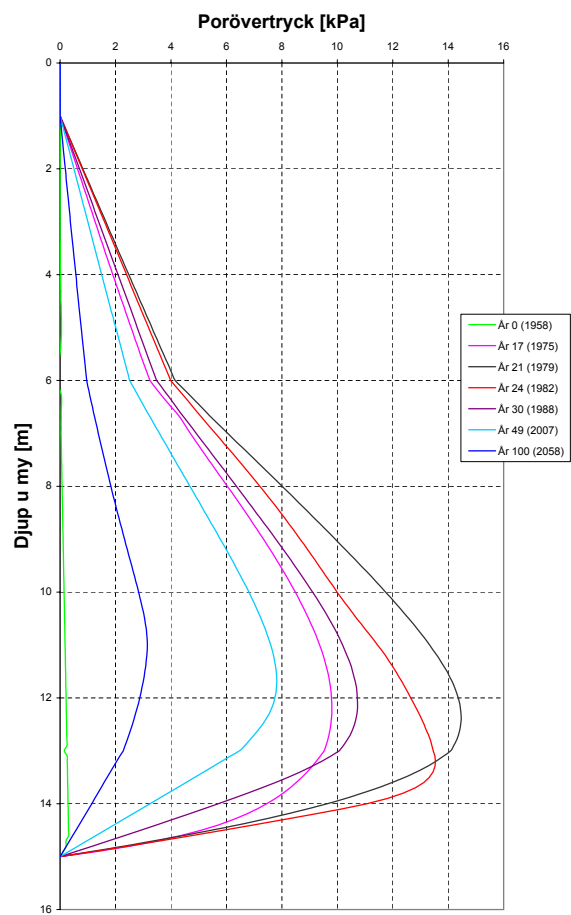
(d)



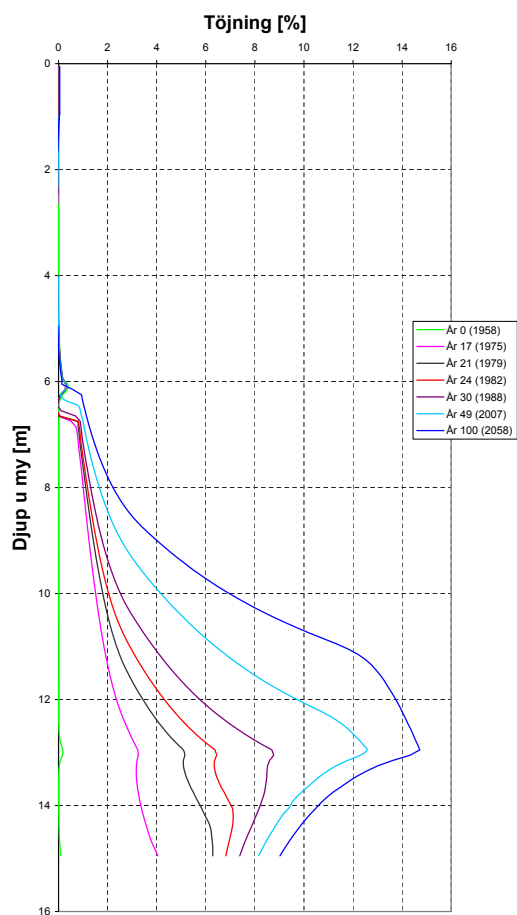
(a)



(b)



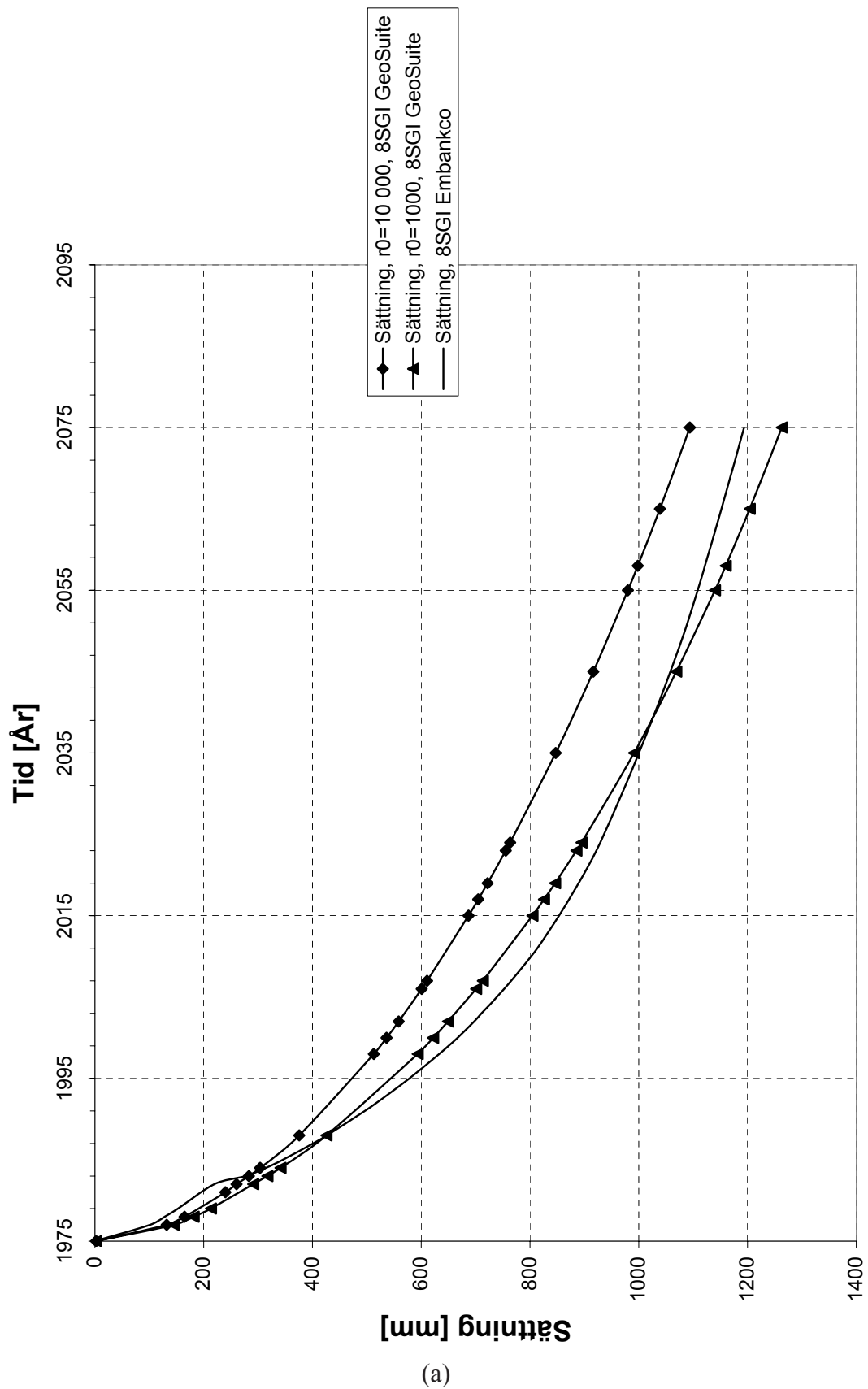
(c)



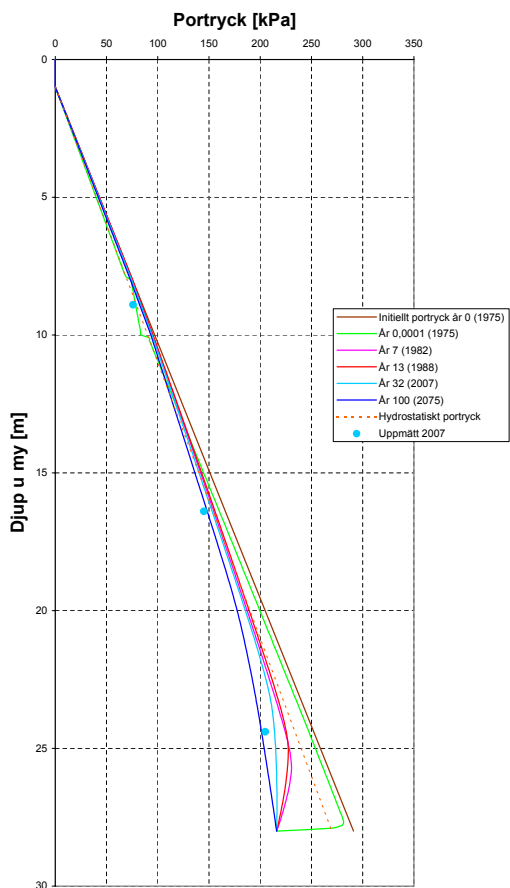
(d)

Beräkningsresultat GeoSuite momentan portryckssänkning
Bh 8SGI, Sektion A-A
OCR=1.2 $b_1=1.0$

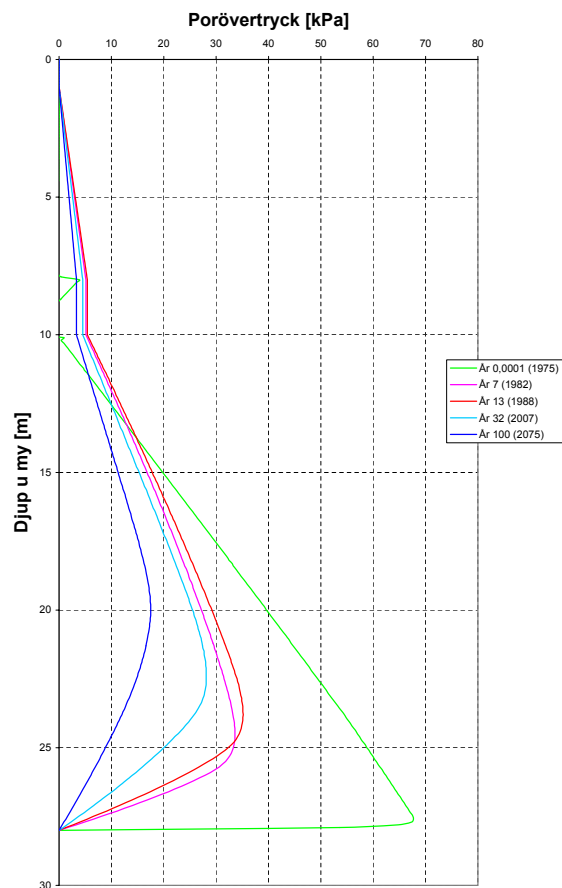
Bilaga 5.1.1



Utdata GeoSuite

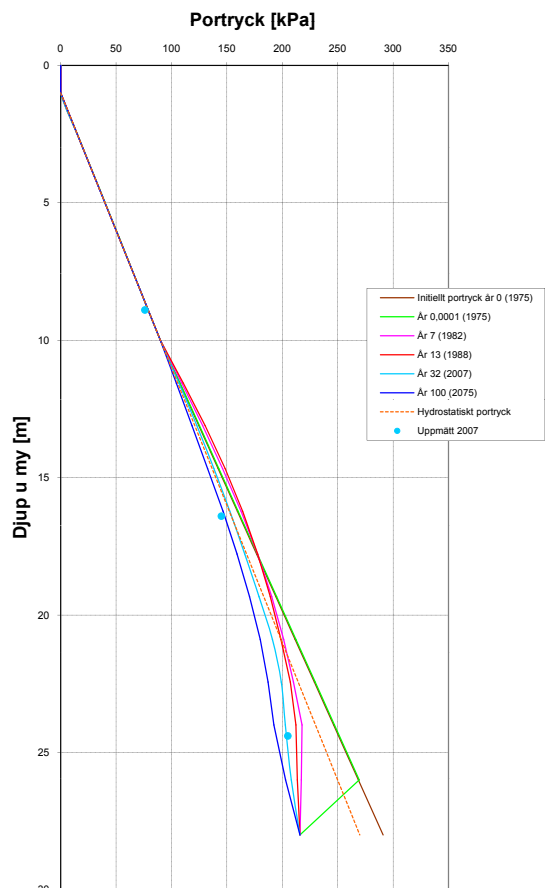


(b)

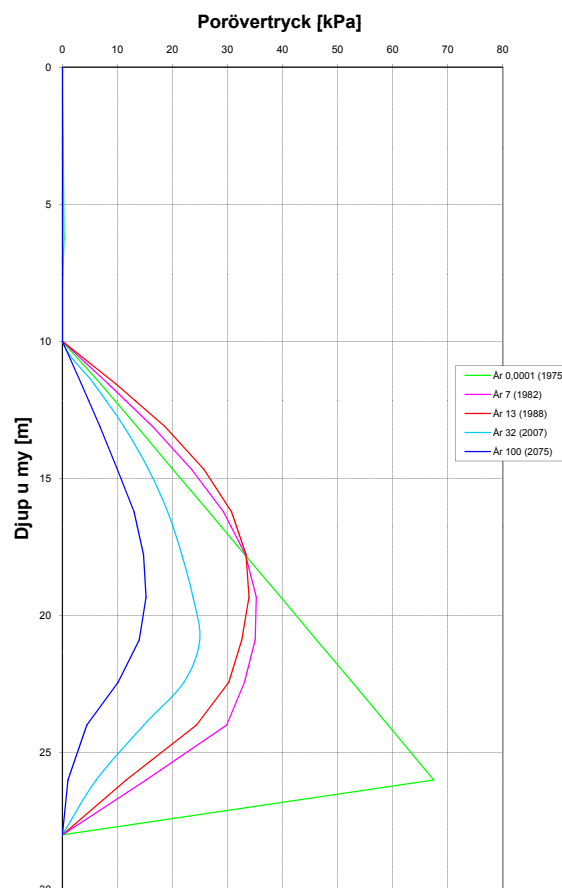


(c)

Utdata Embankco



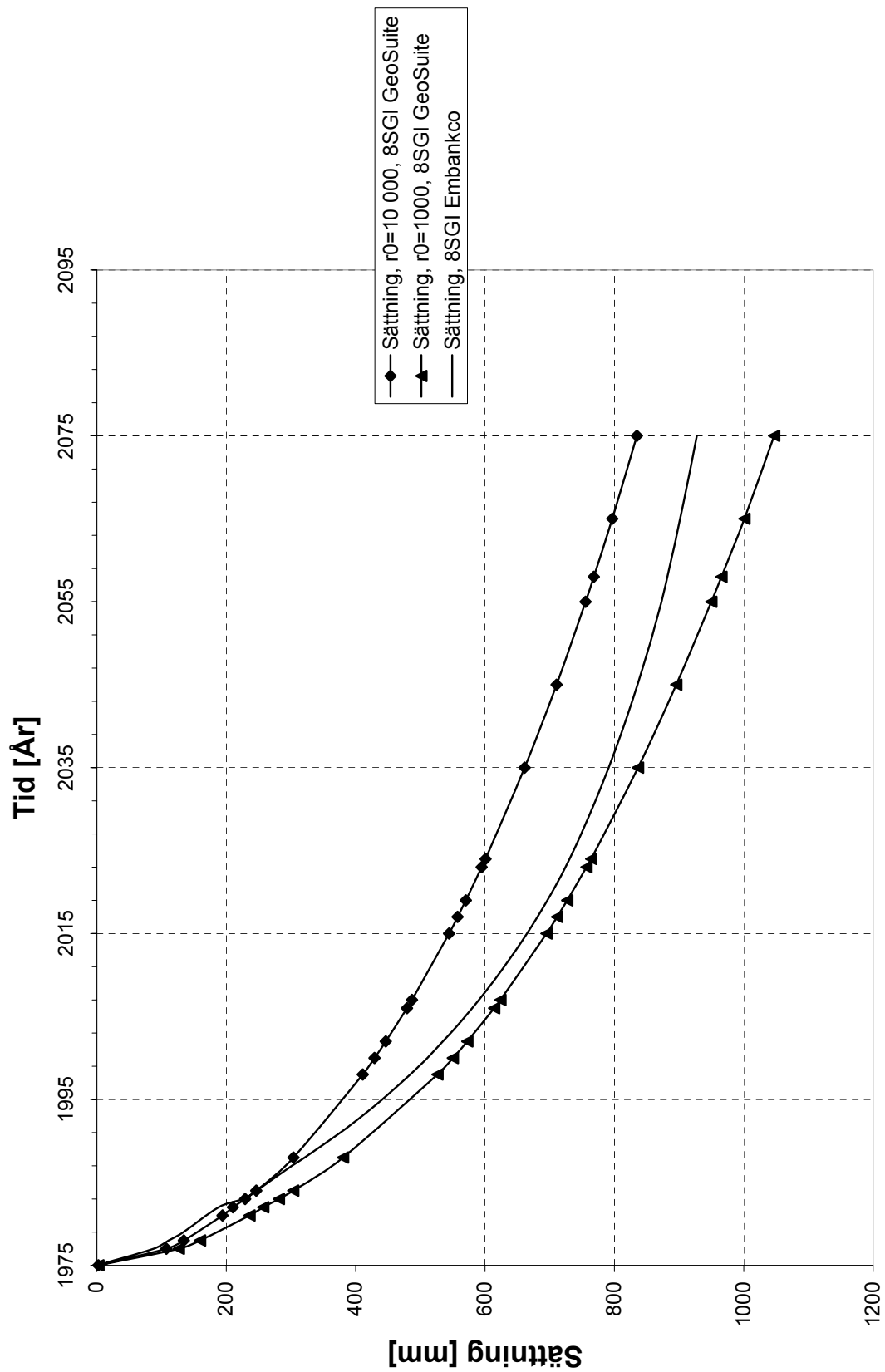
(d)



(e)

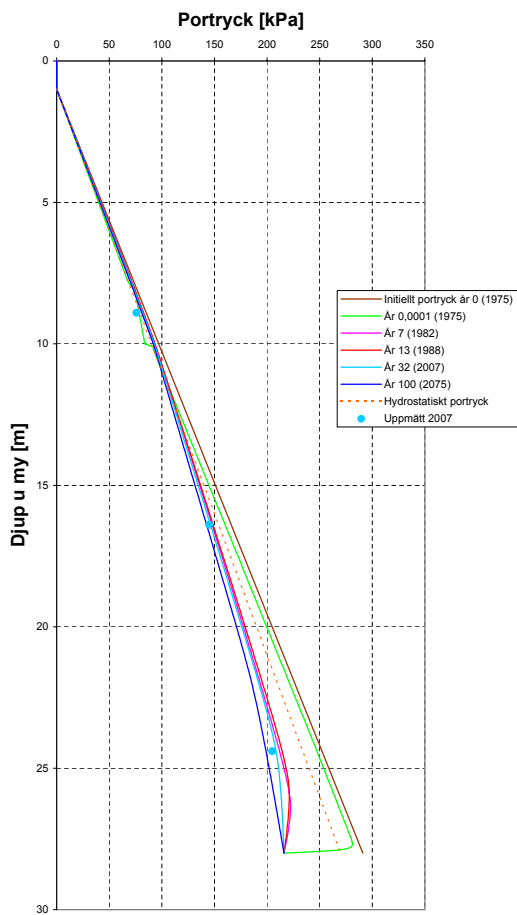
Beräkningsresultat GeoSuite momentan portryckssänkning
Bh 8SGI, Sektion A-A
OCR=1.3 $b_1=1.0$

Bilaga 5.1.2

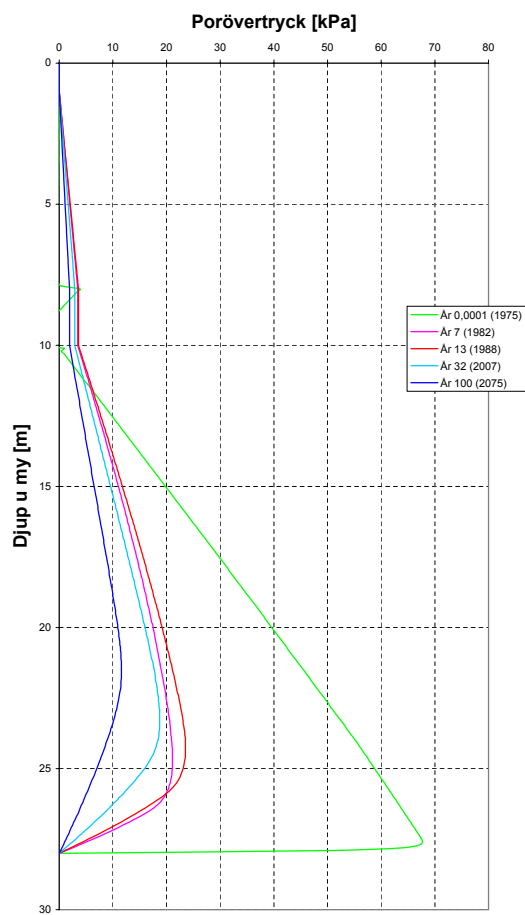


(a)

Utdata GeoSuite

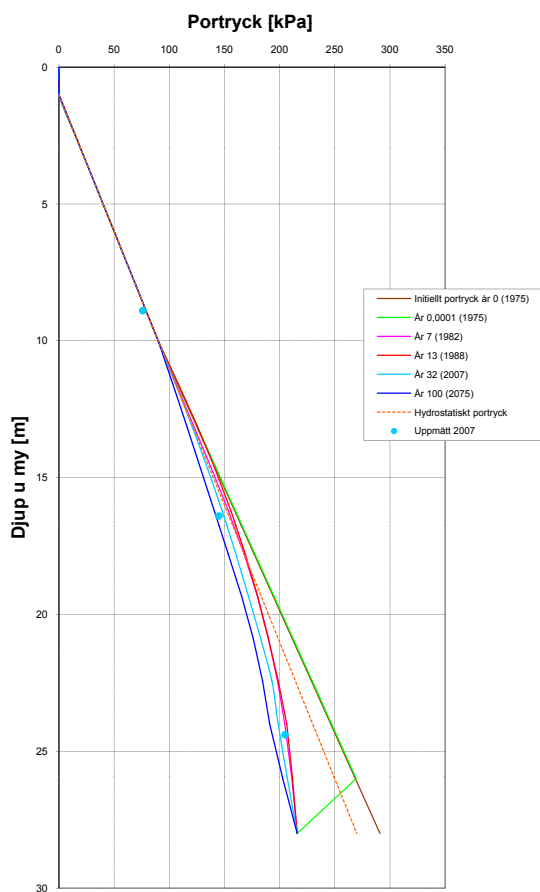


(b)

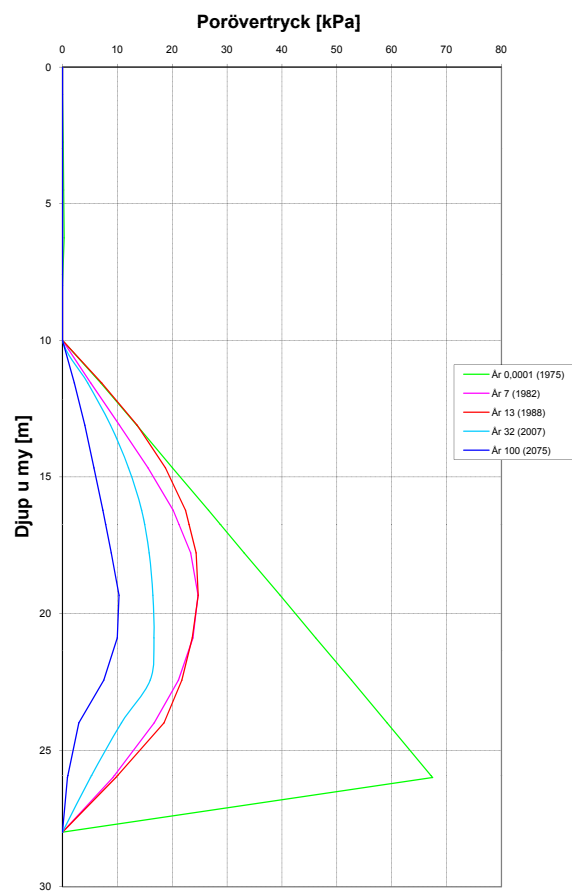


(c)

Utdata Embankco



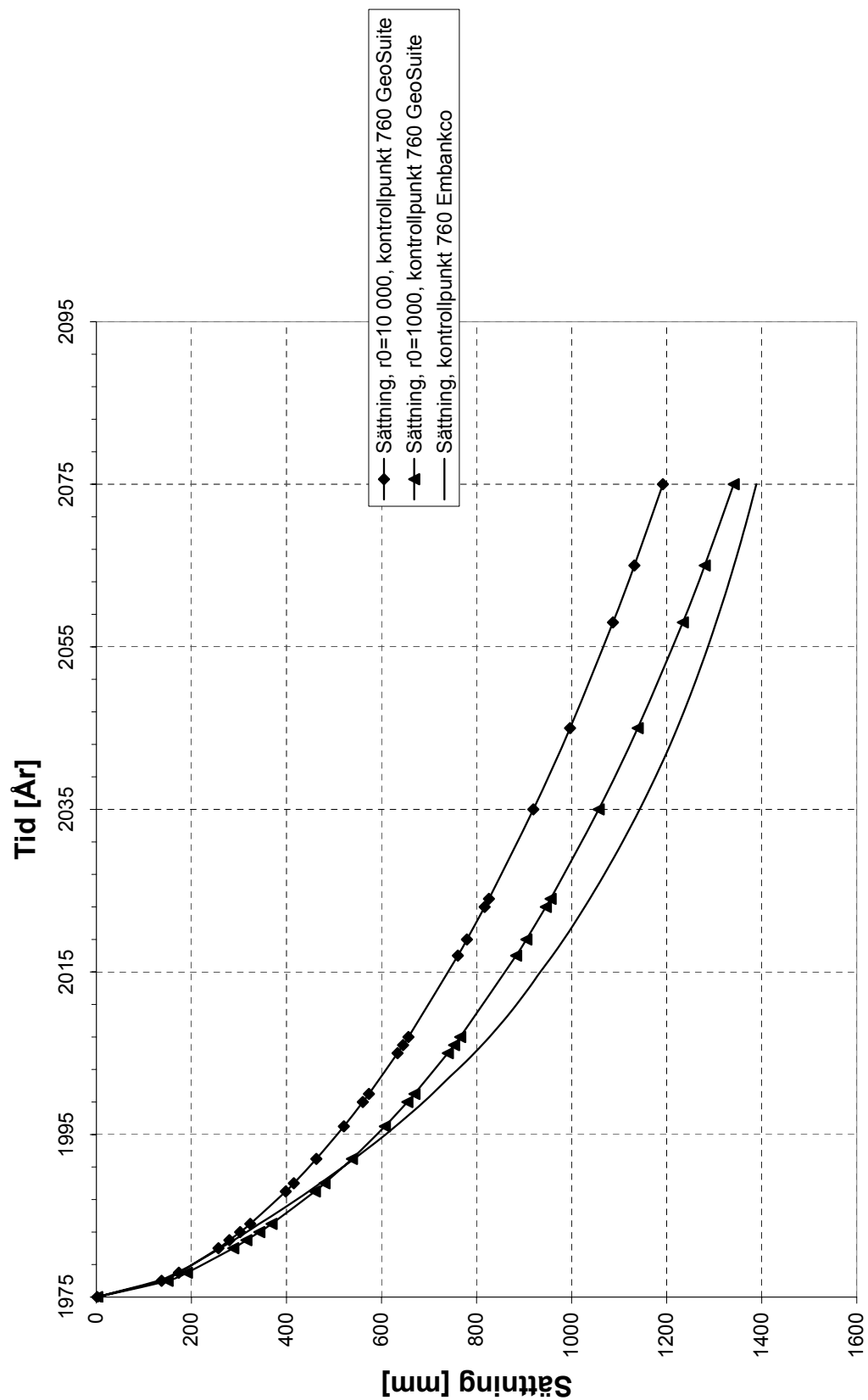
(d)



(e)

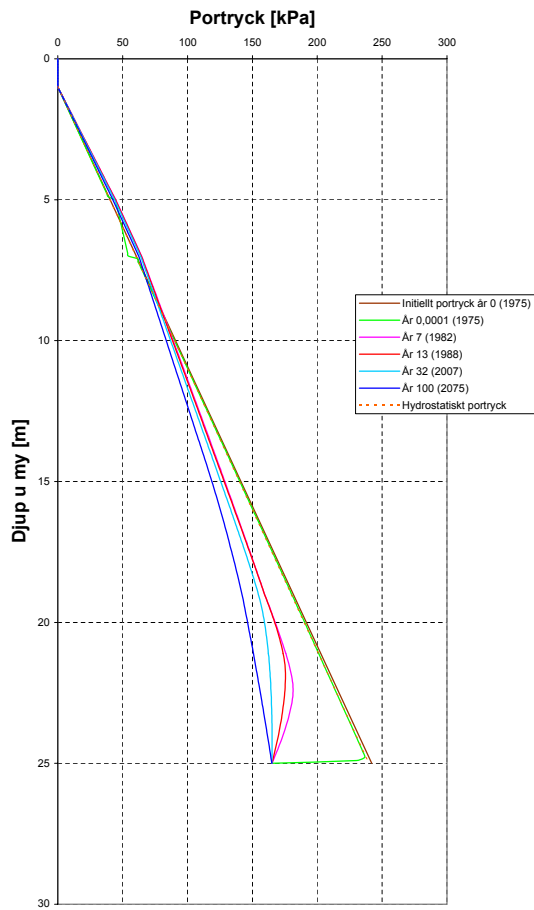
Beräkningsresultat GeoSuite momentan portryckssänkning
Kontrollpunkt 760, Sektion E-E
OCR=1.2 $b_1=1.0$

Bilaga 5.2.1

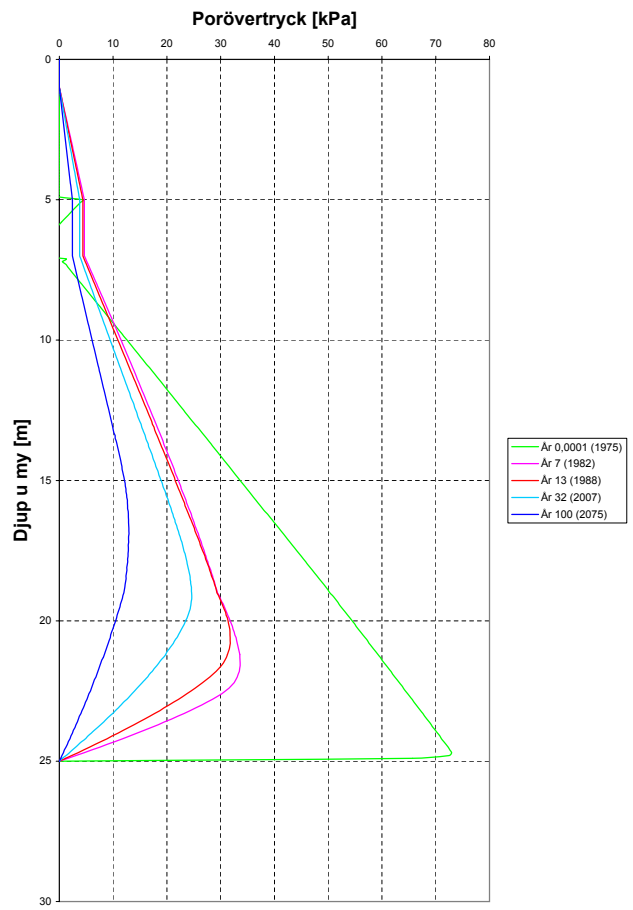


(a)

Utdata GeoSuite

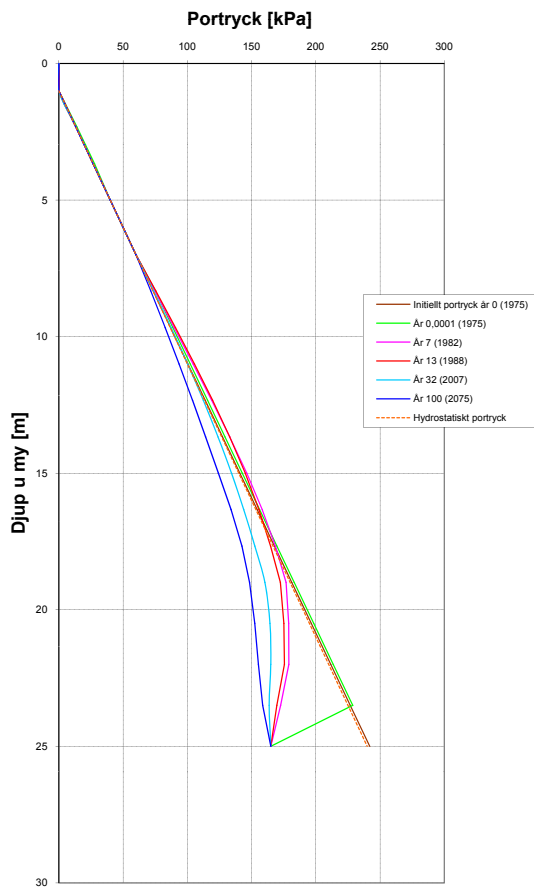


(b)

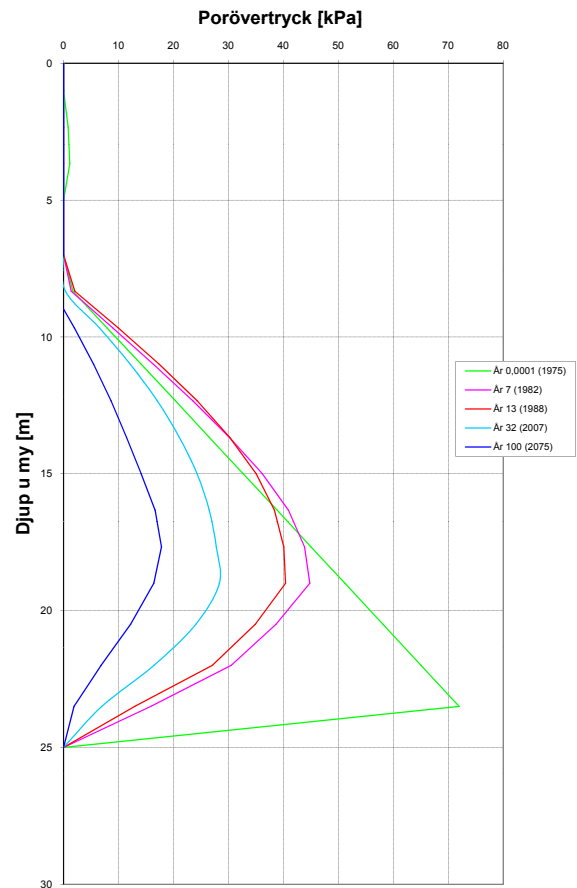


(c)

Utdata Embankco



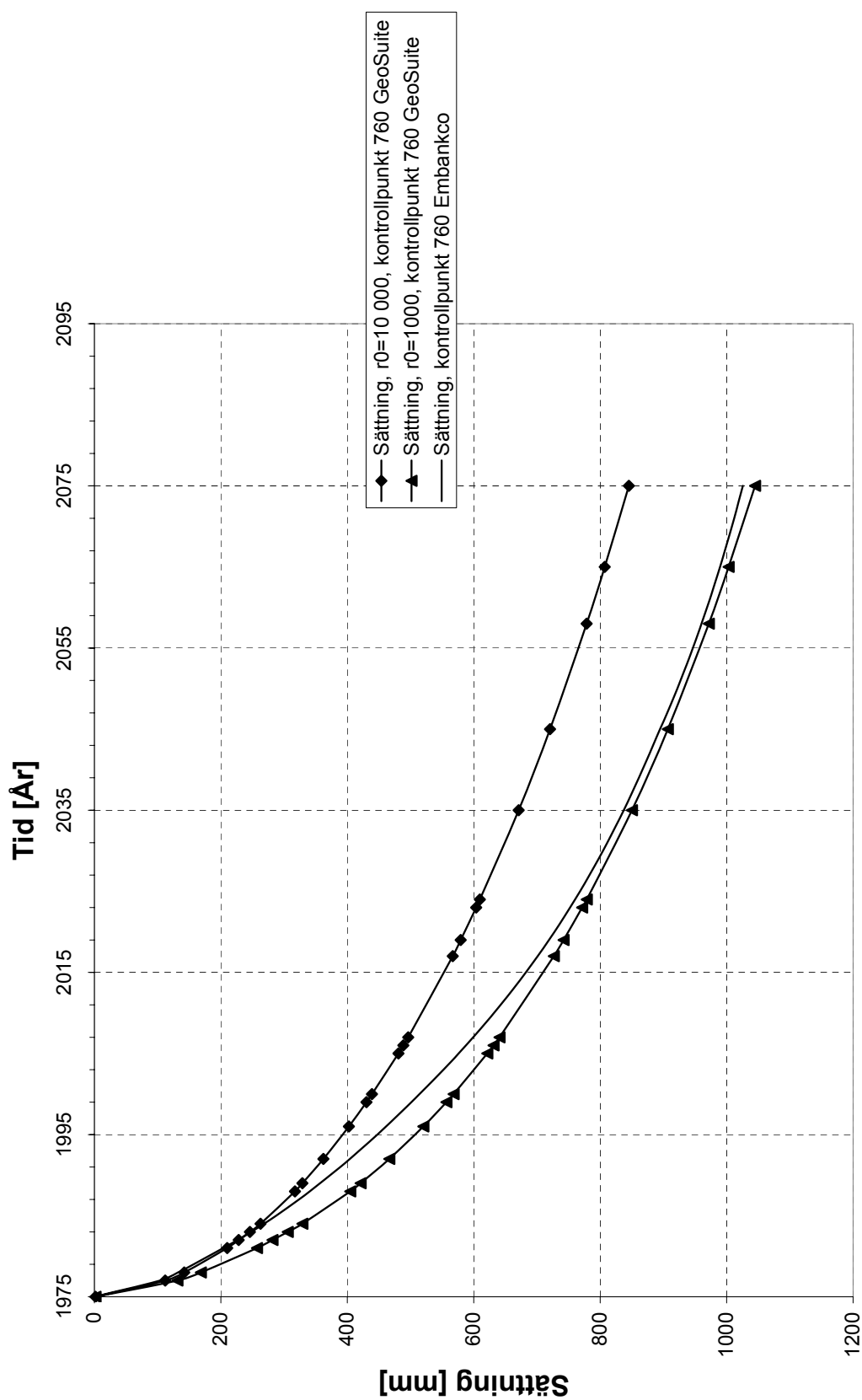
(d)



(e)

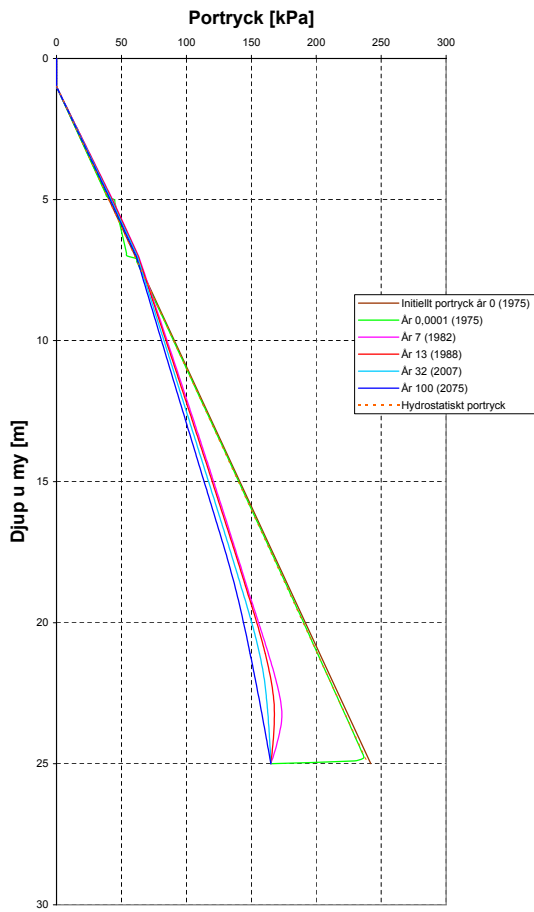
Beräkningsresultat GeoSuite momentan portryckssänkning
Kontrollpunkt 760, Sektion E-E
OCR=1.3 $b_1=1.0$

Bilaga 5.2.2

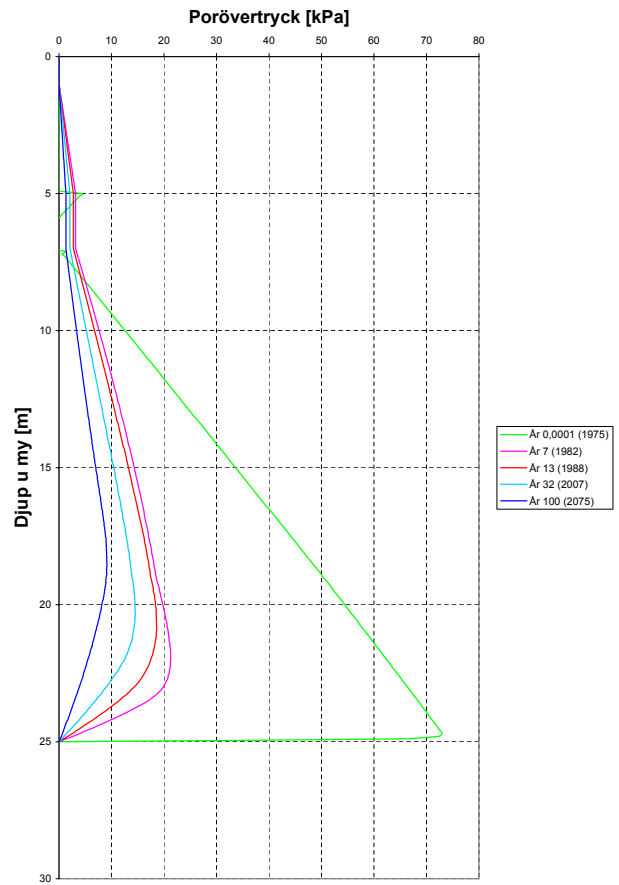


(a)

Utdata GeoSuite

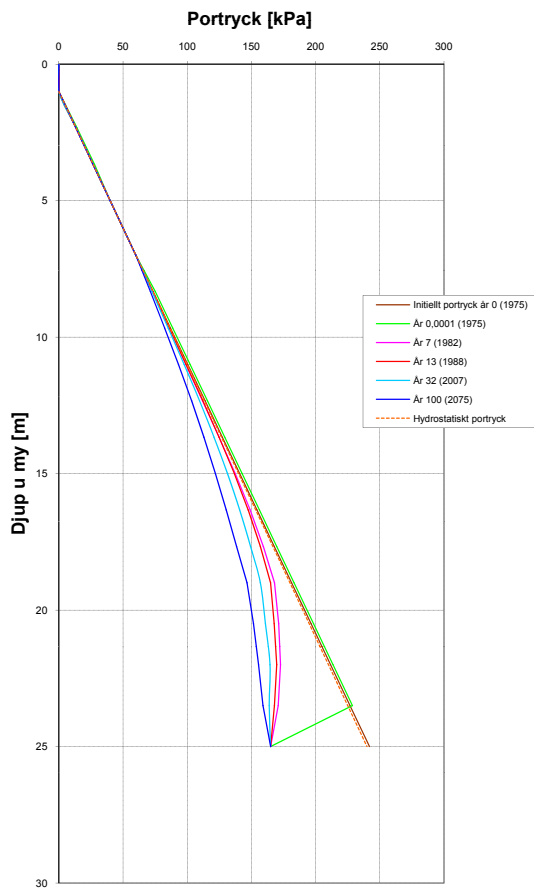


(b)

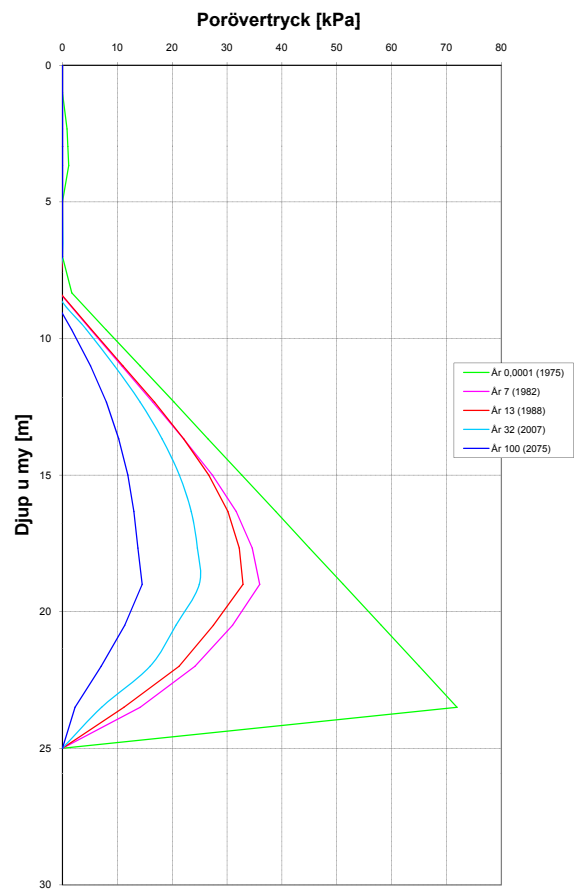


(c)

Utdata Embankco



(d)



(e)

Sammanställning av beräkningsresultat
GeoSuite och Embankco
Bh 8SGI, Sektion A-A

Bilaga 6.1

Sättning Bh 8SGI [mm]	Ar 1998	Ar 2006	Ar 1998-2006	Ar 2058	Ar 2075	Anmärkning
Uppmätt sättning i kontrollpunkt 977			88			
Grundmodell i GeoSuite - Avsänkning successivt mellan år 1958-2007						
OCR=1.2 $b_1=1.0$	355	476	121	985		
OCR=1.2 $b_1=1.1$	310	421	111	853		
OCR=1.3 $b_1=1.0$	288	392	103	800		
OCR=1.3 $b_1=1.1$	246	334	88	663		
OCR=1.3 $b_1=1.1$ utan bullervall (portryckssänkningens effekt)	210	286	75	533		80% av totalsättningen år 2058
Bullervallens effekt	36	48	12	130		
OCR=1.3 $b_1=1.1$ utan krypning	65	111	46	210		68% av totalsättningen år 2058
Krypningens effekt	181	223	42	453		
Jämförelsemodell i GeoSuite - Avsänkning momentant 1975						
OCR=1.2 $r_0=10\ 000$	513	601	88	998	1094	Fridränderande SaSiLE-skikt
OCR=1.3 $r_0=10\ 000$	411	479	88	768	835	$a_0=a_1=1.0$ $b_0=0.8$ $b_1=1.0$
OCR=1.2 $r_0=1000$	593	701	100	1160	1263	
OCR=1.3 $r_0=1000$	527	614	88	966	1047	
Jämförelsemodell i Embankco - Avsänkning momentant 1975						
OCR=1.2	632	753	121	1125	1197	Fridränderande SaSiLE-skikt
OCR=1.3	484	579	95	880	926	

Sammanställning av beräkningsresultat
GeoSuite och Embankco
Kontrollpunkt 760, Sektion E-E

Bilaga 6.2

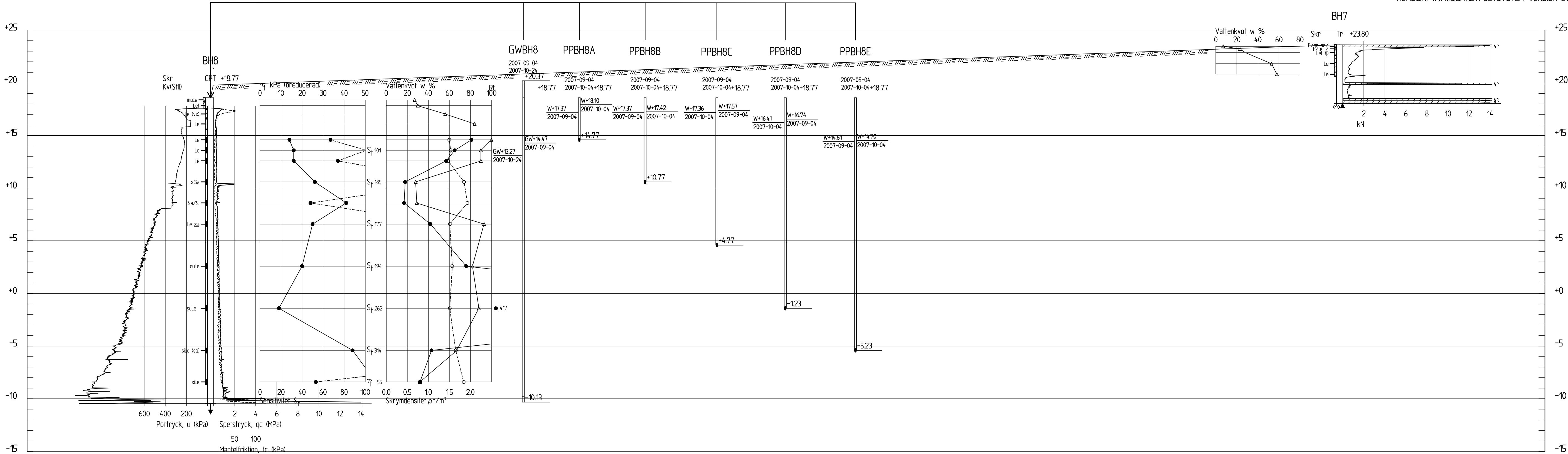
Sättning kontrollpunkt 760 [mm]		Ar 2000	Ar 2006	Ar 2000-2006	Ar 2058	Ar 2075	Anmärkning
Uppmätt sättning i kontrollpunkt 760				27			
Grundmodell i GeoSuite - Avsänkning successivt mellan år 1958-2007							
OCR=1.2 $b_1 = 1.0$ OCR=1.2 $b_1 = 1.1$	683	758	1226	75			
	607	673	1067	66			
OCR=1.3 $b_1 = 1.0$ OCR=1.3 $b_1 = 1.1$	563	623	960	60			
	457	505	756	48			
OCR=1.3 $b_1 = 1.0$ utan bullervall (portryckssänkningens effekt) Bullervallens effekt	437	483	717	46			80% av totalsättningen år 2058
	20	22	39	2			
OCR=1.3 $b_1 = 1.0$ utan krypning Krypningens effekt	189	211	296	22			68% av totalsättningen år 2058
	268	294	460	26			
Jämförelsemodell i GeoSuite - Avsänkning momentant år 1975							
OCR=1.2 $t_0 = 10\ 000$ OCR=1.3 $t_0 = 10\ 000$	573	645	1087	72			Fridrainerande SaSiLE-skikt $a_0 = a_1 = 1.0$ $b_0 = 0.8$ $b_1 = 1.0$
	439	489	779	50			
OCR=1.2 $t_0 = 1000$ OCR=1.3 $t_0 = 1000$	669	753	1234	84			
	568	631	972	63			
Jämförelsemodell i Embankco - Avsänkning momentant år 1975							
OCR=1.2 OCR=1.3	708	813	1305	105			Fridrainerande SaSiLE-skikt
	515	588	962	73			

Sammanställning av beräkningsresultat
 GeoSuite och Embankco
 Bh 2SGI, Sektion E-E

Sättning Bh 2SGI [mm]	Ar 2000	Ar 2006	Ar 2000-2006	Ar 2058
Uppmätt sättning i kontrollpunkt 760			27	
Grundmodell i GeoSuite - Avsänkning successivt mellan år 1958-2007				
OCR=1.2 b ₁ =1.0	662	720	58	965
OCR=1.2 b ₁ =1.1	589	642	53	875
OCR=1.3 b ₁ =1.0	549	597	48	809
OCR=1.3 b ₁ =1.1	467	507	40	691

Ritningar

Situations- och borrhplan, Götaslätten	SGI 001
Sektion A-A – B-B	SGI 002
Sektion C-C – E-E	SGI 003

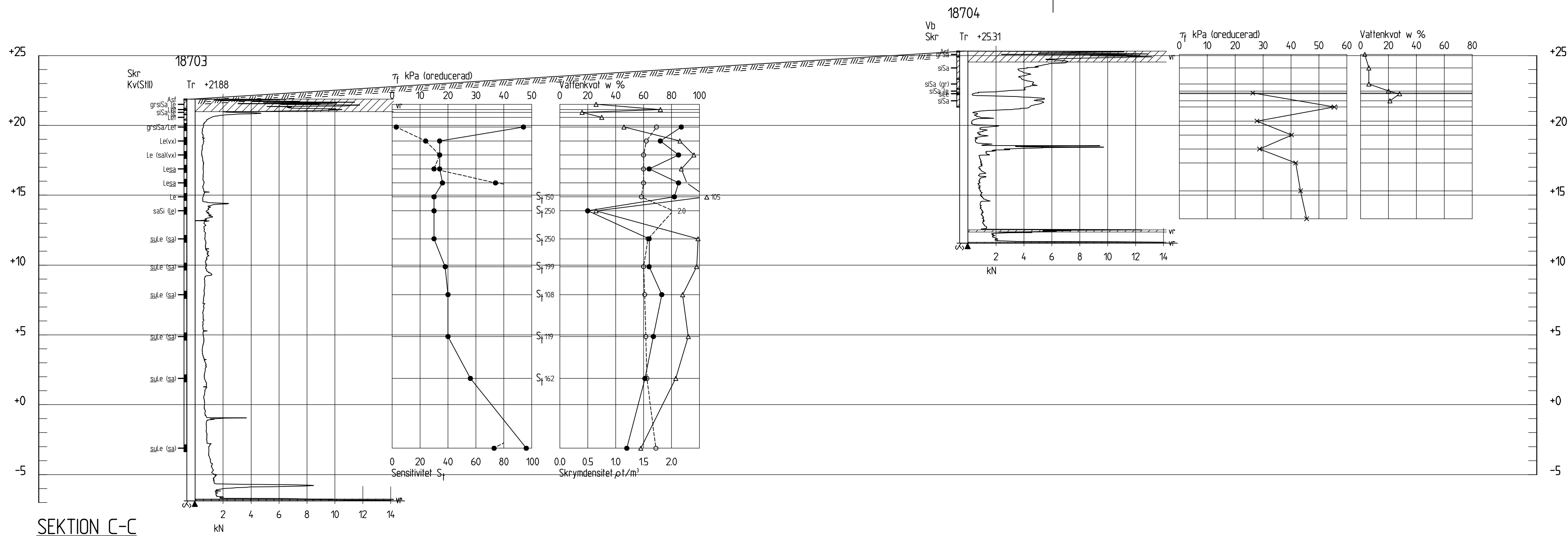


BET	ANT	ÄNDRINGEN AVSER	DATUM	SIGN
-----	-----	-----------------	-------	------

Villaområde Götaslätten, Lilla Edet

Ramböll Sverige AB Vädersgatan 6 Box 5343 402 27 GÖTEBORG Tfn 031-335 33 00 Fax www.ramboll.se		RITAD/KONSTR AV S LINDER HANDLÄGGARE		SEKTION A-A, B-B GEOTEKNISK UNDERSÖKNING	
UPPRAG NR	071130	ANSVARIG	J MOBERG, H KARLSTRÖM	SKALA	A3 1:400
NUMMER	SGI 002	BET			

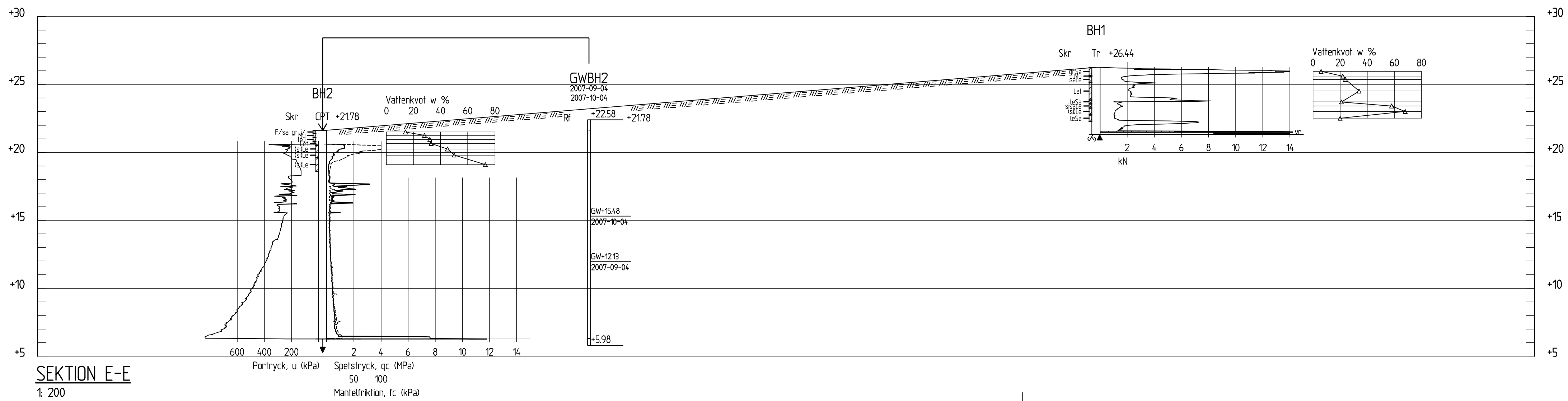
\\XREF: ..\MODELL\SGI\SEKT1 07-11-22 09:16
..MODELL\SGI\SEKT 07-11-26 13:23
..MODELL\G00905 07-11-08 11:45



SEKTION C-C
1: 200



SEKTION D-D
1: 200



SEKTION E-E
1: 200

BETECKNINGAR

BETECKNINGSSYSTEM: SGF/BGS
HEMSIDA: www.SGF.NET/BETSYSTEM VERSION 200112

BET	ANT	ÄNDRINGEN AVSER	DATUM	SIG
-----	-----	-----------------	-------	-----

Villaområde Götaslätten, Lilla Edet

Ramböll Sverige AB
Vädersgatan 6
Box 5343
402 27 GÖTEBORG

RAMBOLL

Tfn 031-335 33 00
Fax:
www.ramboll.se

Knowledge taking people further...

UPPDRAG NR

RITAD/KONSTR AV

SEKTION C-C, D-D, E-E

DATUM

HANDLAGGARE

GEOTEKNISK UNDERSÖKNING

071130

ANSVARIG
J MOBERG, H KARLSTRÖM

SKALA

A3 1:400

NUMMER

SGI 003

Plottad: 07 11 26 13:24
Fil: V:\45\05\515091\546320\1\G\ritad\SGI_003.dwg