

SBUF-Projekt: 12852

Prognostisering av sättning från hög uppfyllnad i Högbytorp.

Numerisk-analytisk jämförelse samt uppmätta sättningar.

Ferencz Suta

Examensarbetet inom Anläggningsprojektering, 300 hp
Institutionen för Jord-och Bergmekanik
Kungliga Tekniska Högskolan, KTH

FÖRORD

Detta är ett examensarbete som omfattar 30 hp på avdelningen Jord- och bergmekanik på Kungliga Tekniska Högskolan. Examensarbetet kom till under våren 2013 för att Peab Anläggning AB ville utreda sättningsutvecklingen vid höga uppfyllnader. De uppfyllnadsnivåer som det rörde sig om hade inte tidigare utretts. Det fanns därför nu en möjlighet att studera hur olika beräkningsmodeller, med hänsyn till krypsättningar skiljer sig åt.

Underlaget till alla geotekniska undersökningar tillhandahålls av Peab Anläggning AB. Beräkningarna är utförda med Plaxis 2D AE och Novapoint GS Settlement.

Jag skulle vilja tacka Morgan Axelsson som gav mig chansen att skriva detta arbete. Arbetet har bidragit till en djupare kunskap inom området och förståelse om komplexiteten vid prognostisering av sättningar. Ett stort tack till SBUF som bidragit med finansiering till arbetet.

Ferencz Suta

2014-06-01

SAMMANFATTNING

I detta arbete har en jämförelse mellan två olika beräkningsmodeller för sättningar gjorts. Den ena modellen är Soft Soil Creep som finns implementerad i det finita element-baserade mjukvaruprogrammet Plaxis 2D AE. Den andra modellen är Chalmersmodellen som finns implementerad i programpaketet Novapoint GS Settlement.

Huvudmålet var att se hur sättningar, inklusive krypsättning, påverkar sättningsförloppen utifrån de två olika modellerna. Detta jämfördes sedan med verklig uppmätt sättning som pågått under 1,5 år.

Sättningsberäkningar har genomförts på två utvalda sektioner. Den första sektionen har valts så att en jämförelse med verklig uppmätt sättning varit möjlig. För den andra sektionen har endast de två beräkningsmodellerna jämförts. Huvudsyftet för den andra sektionen var att få så stor sättning som möjligt. Sättningen är beräknad över 100 år.

För det första fallet gav Soft Soil Creep en något högre sättning än för Chalmersmodellen. Båda modellerna visade större sättning än den verkliga sättningen gjorde. Det kan också tilläggas att 1,5 år av mätning kan vara något för kort tid för att dra några slutsatser om framtida sättningsutveckling.

I det andra fallet visade det sig att Chalmersmodellen hade utvecklat en högre sättning än Soft Soil Creep efter 100 år. Men det ska tilläggas att under de första 25 åren hade Soft Soil Creep en större sättning än Chalmersmodellen. I detta fall har inte någon verklig jämförelse gjorts då det saknats mätningar för denna sektion.

Att dra några slutsatser från detta arbete har varit svårt. Det har visat sig att mätfel förekommit vid sättningsmätningen vilket resulterade i att den verkliga sättningen efter ett år hade rörts sig uppåt jämfört med ursprungsmätningen. Detta är mindre troligt vilket också bekräftar att mätfel förekommit.

Portryckens avtagande har inte stämt bra överens mellan de två modellerna. Portrycket i Plaxis 2D AE avtar hastigare än i GeoSuit Settlement. Orsaken till detta har inte gått att hitta.

Nyckelord;

Soft Soil Creep, Chalmersmodellen, Plaxis 2D AE, GS Settlement, krypsättningar, lera, porövertryck, permeabilitet.

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

FÖRORD	1
SAMMANFATTNING.....	2
INNEHÅLLSFÖRTECKNING.....	3
1 INLEDNING.....	5
1.1 Bakgrund	5
1.2 Syfte.....	6
1.3 Avgränsningar	6
2 LITTERATURSTUDIE	9
2.1 Utvärderingsmetoder av lerans egenskaper	9
2.1.1 CRS-försök.....	9
2.1.2 Stegvisa ödometerförsök.....	10
2.1.3 Triaxialförsök.....	10
2.2 Konsolidering.....	11
2.2.1 Konsolideringsteori	11
2.2.2 Förkonsolideringstryck.....	12
2.2.3 Sekundär konsolidering.....	14
2.2.4 Kryppparametrar α_s och $C\alpha$	15
2.2.5 Tidsmotståndet R.....	16
2.3 GeoSuite Settlement med Chalmersmodellen.....	18
2.3.1 Reologisk jordmodell.....	18
2.3.2 Begränsningar i modellen.....	19
2.3.3 Claessons förbättrade kompressionsmodulkurva.....	20
2.4 Plaxis 2D AE Soft Soil Creep.....	21
3 METOD	24
3.1 Projektplatsen	24
3.1.1 Geoteknisk undersökning.....	26
3.2 Dokumentation av projektplatsen	27
3.2.1 Skapandet av en geometrisk modell	29
3.2.2 Densitetbestämning av fyllmassor	33
3.3 Parameterbestämning	37
3.3.1 Parametrar Plaxis 2D Soft Soil Creep	37
3.3.2 Parametrar GS Settlement Chalmersmodellen	41
4 Resultat.....	44
4.1 GS Settlement Chalmersmodellen	44

4.1.1	Sektion 1+05,60	44
4.1.2	Sektion 0+45,66	48
4.2	Plaxis 2D AE Soft Soil Creep.....	52
4.2.1	Sektion 1+05,60	52
4.2.2	Sektion 0+45,66	56
4.3	Verkligt uppmätta sättningar och portryck.....	60
4.3.1	Uppmätt portryck	60
4.3.2	Uppmätt sättning i område 3C Högbytorp.....	61
4.4	Jämförelse mellan Soft Soil Creep, Chalmersmodellen och verkligt uppmätt sättning och portryck	61
4.4.1	Jämförelse av portryck	61
4.4.2	Jämförelse av sättningar	63
5	Diskussion	65
6	Slutsats.....	66
6.1	Sektion 1+05,60.....	66
6.2	Sektion 0+45,66.....	67
7	Litteraturförteckning	67
8	Appendix.....	69
8.1	Bilaga A	
8.2	Bilaga B	

1 INLEDNING

Prognostisering av konsoliderings- och krypsättningar på grund av uppfyllnader är nödvändigt vid stort sätt alla dagens projekt där lera förkommer i marken. Att prognosticeringen blir korrekt har en stor betydelse för valet av åtgärd då entreprenörer samt projektörer strävar efter så kostnadseffektiva lösningar som möjligt.

De metoder som förekommer idag vid prognostisering av sättningens utveckling baseras nästan uteslutande på det svenska Constant Rate Of Strain (CRS) metoden. Den här analytiska metoden lämpar sig väl för de fall då geometrin är enkel och allmänt plana skikt förekommer. För mer komplicerade geometrier så som lutande plan eller lastspridning är denna analytiska metod troligen mindre exakt, då lutande plan förenkallas till horisontella.

1.1 Bakgrund

Med dagens sättningsberäkningsmetoder är det högst osäkert hur väl det kommer att beskriva sättningens storlek och tidsförlopp då det är fråga om uppfyllnader på 10 till 30 meter. Lerprover som tas upp från spänningsnivåer mellan 50 till 100 kPa kommer sättningsegenskaperna att förändras radikalt under tiden de belastas med en uppfyllnad på 30 meter och konsolidering sker till en högre spänningsnivå. Tid för konsolidering kan vara månader till år. De lerprover, som sättningsegenskaperna utvärderas från, belastas endast under ett dygn.

Den metod som används flitigast i Sverige vid sättningsberäkning är CRS-metoden som utvecklades under sjutio-talet av Göran Sällfors (Sällfors, 1975). Lasten ökas gradvis vilket leder till en konstant töjningshastighet av lerprovet. CRS-försöket tar en dag att genomföra, att jämföra med stegvisa ödometerförsök som tar upp till en vecka. Från spännings- och töjningsdiagrammet utvärderas sedan kompressionsmodulerna (Magnusson, et al., 1989).

Med hjälp av moderna datorprogram som GeoSuit Settlement eller Plaxis 2D AE kan även mer avancerade sättningsberäkningar genomföras. Programmen använder olika beräkningsmodeller där GS Settlement har Chalmersmodellen implementerad och för Plaxis 2D AE, som har flera modeller, är det Soft Soil Creep som kommer att behandlas i detta arbete. GS Settlement med Chalmersmodellen är ett analytiskt program som baseras på de svenska CRS-försöken medan Plaxis 2D AE med Soft Soil Creep är ett numeriskt beräkningsprogram som baseras på stegvisa ödometerförsök och triaxialförsök.

Tidigare studier gjorda om sättningsberäkningar har för de flesta fall handlat om uppfyllnader av normalstorlek på 2-6 meter. En av de mer omfattande långtidsstudierna inom detta område är SGI Rapport 70 (Larsson, 2007). I den här rapporten studeras sättnings- och konsolideringsutvecklingen under 50 år. Belastningen motsvarar ca 40 kPa, vilket kan jämföras med en uppfyllnad på 2 meter.

Studier gjorda med jämförelse mellan olika sättningsberäkningsmodeller är mer omfattande. SGI Rapport 74 (Olsson, 2010) jämför Chalmersmodellen och Soft Soil Creep(SSC), vilket även är de två tänkta modellerna som skall jämföras i denna studie.

Vidare finns "The influence of destructuration of soft clay on time- dependent settlements – a comparison of some elastic visco-plastic models" (Nash & Brown, 2013) Denna behandlar fyra olika sättningsberäkningsmodeller där två av dessa är Chalmersmodellen och SSC.

1.2 Syfte

Syftet med detta examensarbete är att

- jämföra två olika modeller, Soft Soil Creep och Chalmersmodellen, vid sättningsberäkning från höga uppfyllnader d.v.s. högre än tio meter
- jämföra de olika modellerna mot verklig uppmätt sättning

Hur väl stämmer modellerna med verkligheten och hur mycket skiljer de sig åt sinns emellan. Om det skiljer sig åt, vad kan de bero på.

1.3 Avgränsningar

De geotekniska undersökningarna som gjordes i samband med utbyggnaden av deponin har inte kompletterats. Det blev nu omöjligt att utföra fler lerprover då deponin var färdigbyggd.

Endast två sektioner har analyserats, där en förenkling av geometrin gjordes så att endast horisontella plan förekom. Den verkliga grundvattennivån undersöktes inte utan en given nivå antogs gälla året om.

Där indata till beräkningsmodellernas parametrar saknades antogs empiriska värden, för liknade förhållanden, att gälla. Varje uppfyllningssteg skedde momentant för Plaxis 2D AE medan det för GS Settlement skedde med en linjär ökning till nästa uppfyllningssteg.

Dubbelsidig vertikal dräneringen antogs gälla för beräkningsmodellerna d.v.s. uppåt och nedåt. Sättningen har analyserats under en period av 100 år.

Symbolförteckning

M	kompressionsmodul	[kPa]
M_0	ödometerm modul innan förkonsolideringstrycket är uppnått	[kPa]
M_L	ödometerm modul för spänningar större än förkonsolideringstrycket, s'_c	[kPa]
M'	linjärt ökande ödometerm modul för effektivspänningar större än, s'_L	[kPa]
s'_0	in-situ spänning	[kPa]
s'_c	förekonsolideringstryck	[kPa]
s'_L	gränstryck för effektivspänningen då kompressionsmodul M' börjar öka	[kPa]
s'	effektivspänningen	[kPa]
s_r	radialspänning	[kPa]
s_a	axialspänning	[kPa]
σ'_{vc}	medelspänning mellan förkonsolideringstryck och rådande vertikalspänning	[kPa]
σ'_v	medelvertikalspänning för det bestämda djupet i området före förkonsolideringstrycket	[kPa]
OCR	överkonsolideringsgrad	[-]
u	portryck	[kPa]
t	tid	[s]
k	permeabilitet	[m/s]
z	djup	[m]
γ_w	vattnets tunghet	[kN/m ³]
c_v	konsolideringskoefficienten	[m ² /s]
d	dräneringsväg	[m]
T_v	tidsfaktorn	[-]
U	medelkonsolideringsgrad	[%]
a_s	koefficienten för sekundär kompression	[-]
C_a	sekundärt kompressionsindex	[-]
e	portalet	[-]
e_0	initialportalet	[-]
e	töjningen	[-]
e_p	plastisk töjning	[-]
e_{cr}	kryptöjning	[-]
b	koefficienten för förändringen av a_s med kompressionen	[-]
R	tidsmotståndet	[s]
r_s, r	tidsmotståndstalet, kryptalet	[-]
t_r	referenstiden	[s]
$\dot{\epsilon}$	kryptöjningshastigheten	[1/s]
n	hastighet	[m/s]
i	hydrauliska gradienten	[-]
a_0	parameter till förbättrad modulkurva	[-]
a_1	parameter till förbättrad modulkurva	[-]
ϵ^e	elastisk töjning	[-]
$\epsilon^e_{c'}, \epsilon^e$	viskoplastisk töjning	[-]
$\epsilon^c_{c'}, \epsilon^c$	kryptöjning	[-]
σ_{p0}	förekonsolideringstrycket före konsolidering	[kPa]
σ_{pc}	förekonsolideringstrycket efter konsolidering	[kPa]
t_c	konsolideringstid	[s]

t'	effektiva kryptiden	[s]
μ^*	modifierat krypindex	[-]
κ^*	modifierat svällningsindex	[-]
λ^*	modifierat kompressionsindex	[-]
W	vattenkvot	[%]
W_L	konflytgräns	[-]
K_0	viljordtryckskoefficienten	[-]
$K_{0,OCR}$	viljordtryckskoefficienten för överkonsoliderad lera	[-]
c'	kohesion	[kPa]
φ	friktionsvinkel	[°]
n'	tvärkontraktionstal	[-]
ψ	dilationsvinkel	[°]
E'	kompressionsmodul	[kPa]
β_k	permeabilitetens förändring vid kompression	[-]

2 LITTERATURSTUDIE

I följande avsnitt presenteras bakgrundsinformation som är av intresse för följande analys. Här presenteras kortfattat utvärderingsmetoder för lerprover för att sedan fortsätta med konsolideringsteori.

Därefter behandlas krypsättningsteorins utveckling och hur den tillämpas i de olika beräkningsmodellerna. Här undersöks även utvärderingen av kryppparametrar från stegvisa Ödometerförsök vilket har används i denna studie. Avslutningsvis behandlas de olika beräkningsmodellernas uppbyggnad samt förslag på hur tillhörande parametrar bestäms.

2.1 Utvärderingsmetoder av lerans egenskaper

Vid utvärdering av lerors kompressionsegenskaper samt förkonsolideringstryck används främst ödometerförsök. Detta görs genom att jordprovet placeras i en stålcylinder som sedan belastas i vertikalled. Stålcylindern förhindrar jordprovet från att deformeras i horisontalled.

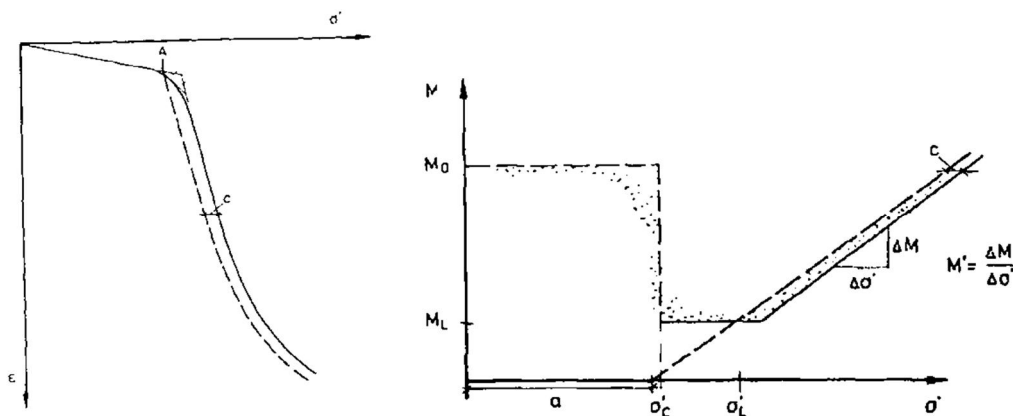
Två typer av ödometerförsök har utförts i denna studie. Den ena heter CRS-försök (Constant Rate of Strain) och den andra heter stegvisa ödometerförsök. CRS-försök är den som används mest frekvent i Sverige då den endast tar ett dygn att genomföra och anses vara relativt kostnadseffektiv. Det stegvist ödometerförsök tar upp till en vecka att genomföra (Sällfors, 1975).

En tredje metod är triaxialförsök. Denna metod är inte lika vanlig i Sverige utan används mer utomlands. I och med att numeriska beräkningsmodeller tillämpas mer och mer har intresset för denna metod ökat. I Sverige är erfarenheten, när det gäller att genomföra ett triaxialförsök, begränsad då det endast finns ett fåtal personer i landet som har kunskapen.

2.1.1 CRS-försök

CRS-försök är en metod där provet belastas med en konstant deformationshastighet. Genom att registrera portryck, last, deformation och tid kan sedan kompressionsmodulerna och hydraulisk konduktivitet utvärderas.

Efter ett utfört försök utvärderas tre kompressionsmoduler M_0 , M_L och M' . M_0 motsvarar det område där de vertikala effektivspänningarna är mindre än förkonsolideringstrycket $\sigma' < \sigma'_c$, figur 1. M_L gäller då de vertikala effektivspänningarna överstiger förkonsolideringstrycket men understiger gränsspänningen $\sigma'_c < \sigma' < \sigma'_L$. För M_0 och M_L gäller linjär töjning. M' är den del då det sker en icke linjär töjning i lerprovet $M' = \frac{\Delta M}{\Delta \sigma'}$ och gäller då den vertikala effektivspänningen överstiger gränsspänningen $\sigma'_L < \sigma'$.



Figur 1 Ödometerkurva och kompressionsmoduler (Larsson & Sällfors, 1981)

2.1.2 Stegvisa ödometerförsök

Stegvisa ödometerförsök sker genom att den vertikala lastökningen sker stegvis. Varje laststeg får verka under ett dygn. Efter ett bestämt tidsintervall avläses deformationen. Vid nästa pålastning fördubblas lasten. Då alla steg är genomförda uppritas tidsdeformationskurvan för varje laststeg samt lastdeformationskurvan. Ur lastdeformationskurvan kan förkonsolideringstrycket utvärderas med olika metoder t.ex. Casagrandemetoden (Larsson, 2008).

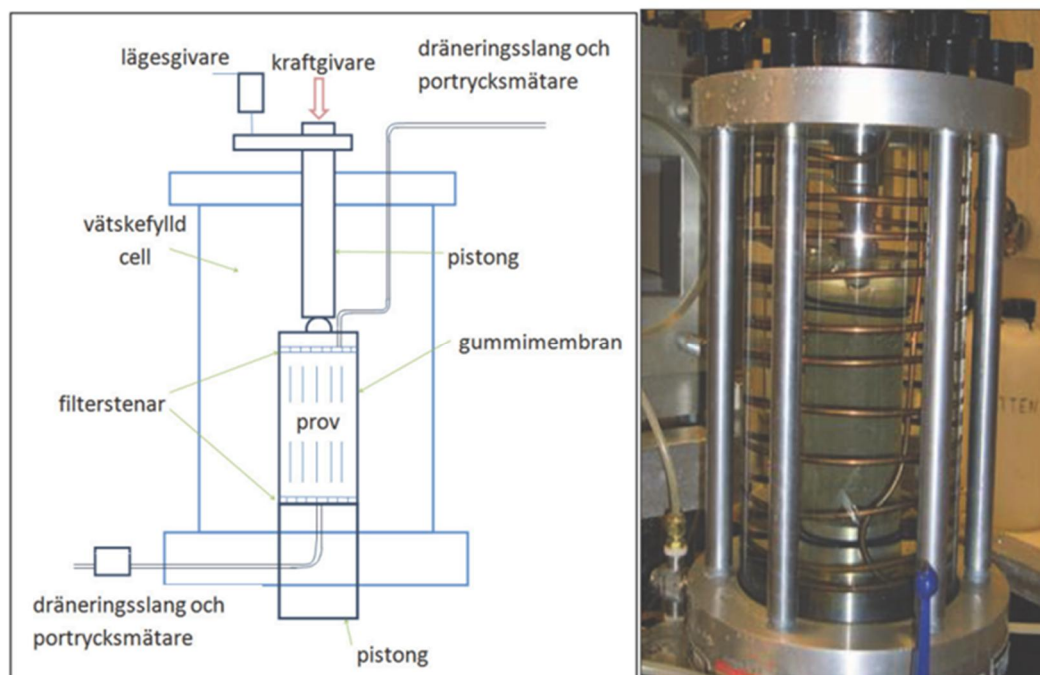
Vid utvärdering av ett stegvist ödometerförsök kan även kryppparametrar utvärderas, vilket inte går från ett CRS-försök. Då det idag ägnas mer tid åt krypsättningar har dessa försök återigen börjat tillämpas.

2.1.3 Triaxialförsök

När ett triaxialförsök genomförs är tanken att återskapa de portryck och effektivspänningar som lerprovet utsatts från dess provtagningsdjup.. Detta görs genom att provet utsätts för radiala (horisontella) spänningar σ_r och axial (vertikala) spänningar σ_a (Westerberg, et al., 2012).

Försöket går till så att provet försluts först med ett gummimembran. Detta för att hålla vätska borta från provet och att det ska förbi ostört under försöket. Sedan placeras filterstenar på ovan- och undersidan av provet. Det axiala trycket appliceras sedan av en pistong. Via pistongen styrs dränering och portrycksmätning. Det radiala trycket regleras genom att triaxcellen fylls med vätska.

Vid ett standardutförande av triaxialförsök utsätts provet först för en konsolideringsfas och sedan skjuvningsfas. Konsolideringsfasen innebär att provet utsätts för önskade radial- och axialspänningar. Normalt efterskapas in situ spänningar för lerprovet. Skjuvningsfasen sker genom att en konstant deformationshastighet påförs i axialled då konstant celltryck råder. Skjuvningsfasen kan antingen göras som dränerat eller odränerat.

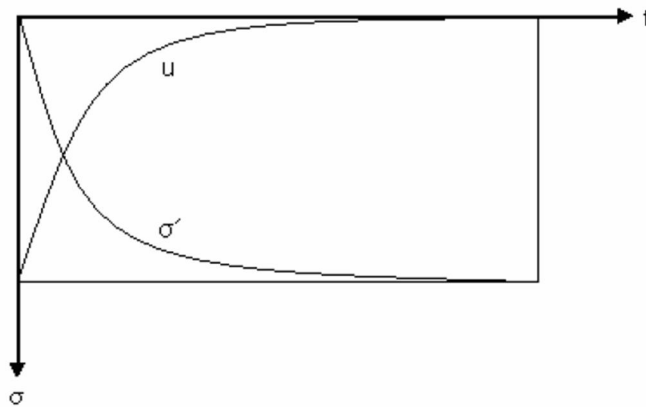


Figur 2 Principskiss samt fotot av en Triaxcell (Westerberg, et al., 2012)

Det finns två sätt att genomföra ett triaxialförsök på, aktiva- och passiva. Med ett aktivt försök menas att de axiala spänningarna är större än de radiala spänningarna, $\sigma_a > \sigma_r$. För passiva försök gäller det omvända, att de axiala spänningarna är mindre än de radiala spänningarna, $\sigma_a < \sigma_r$ (Westerberg, et al., 2012).

2.2 Konsolidering

När en lera konsolideras sker en volymminskning i form av att porvatten pressas bort ur lerans porer (Larsson, 2008). Då en lera har låg permeabilitet sker inte vattenutströmningen momentant utan med en fördröjning. Detta resulterar i att ett porövertryck skapas som sedan saktar avtar och övergår till primär konsolidering. I initialskedet tar porvattentrycket hela lastökningen för att sedan successivt övergå till kornskelettet då portrycket avtar.



Figur 3 Lastövergången mellan porvattentrycket och effektivspänningen (Kine & Andreas, 2007)

2.2.1 Konsolideringsteori

Karl von Terzaghi utvecklade den klassiska endimensionella konsolideringsteori 1923 (Terzaghi, 1943). Denna teori ligger till grund för de senare utvecklade konsolideringsmodeller som används idag. Det som skiljer sig i denna teori är att dagens teorier även behandlar sekundär konsolidering eller krypsättningar som det även kallas.

Följande antaganden gäller för denna teori:

- Jorden är homogen och vattenmättad
- Det finns två dräneringsvägar vanligtvis uppåt och nedåt
- Darcys lag tillämpas
- Jorden och vattnet är inkompressibel
- Tjörningen och porvattenflödet är endimensionellt
- Den hydrauliska konduktiviteten är konstant genom konsolideringsprocessen
- Tjörningen är endast beroende av effektivspänningen

Differentialekvationen löses med ovan uttrycka antaganden (Terzaghi, 1943).

$$\frac{\partial u}{\partial t} = \frac{M}{\gamma_w} \cdot \frac{\partial}{\partial z} \left(k \cdot \frac{\partial u}{\partial z} \right) \quad (2.1)$$

M = kompressionsmodul

u = portryck

t = tid

k = permeabiliteten

z = djup

γ_w = vattnets tunghet

Vidare förenklas ekvation (2.1) till

$$\frac{\partial u}{\partial t} = c_v \left(\frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) \quad (2.2)$$

där $c_v = \frac{M \cdot k}{\gamma_w}$ [m²/s] är konsolideringskoefficienten (Terzaghi, 1943).

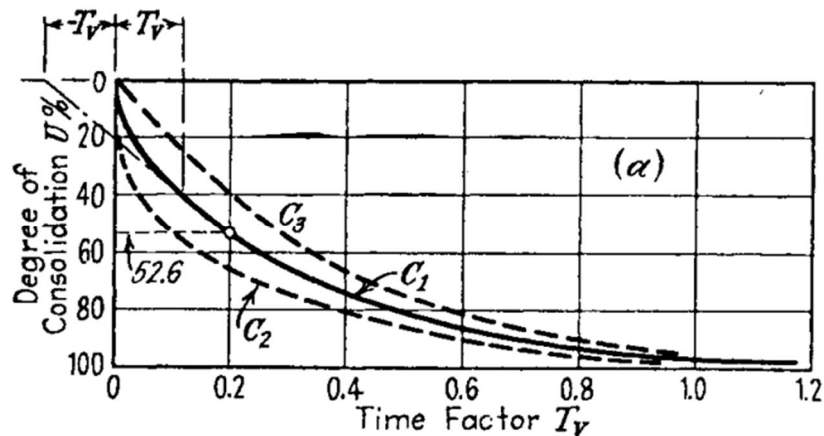
Tidsberoende sättningar kan beskrivas med följande uttryck (Terzaghi, 1943):

$$T_v = c_v \cdot \frac{t}{d^2} \quad (2.3)$$

t = tiden

d = dräneringsvägen

Tidsfaktorn T_v ger en medelkonsolideringsgrad U [%] (figur 4) vilket beskriver sättningsutvecklingen i relation till den totala sättningen.



Figur 4 Konsolideringsmedelgraden i förhållande till tidsfaktorn där C_n motsvarar olika dränerings- och lastförhållande (Terzaghi, 1943)

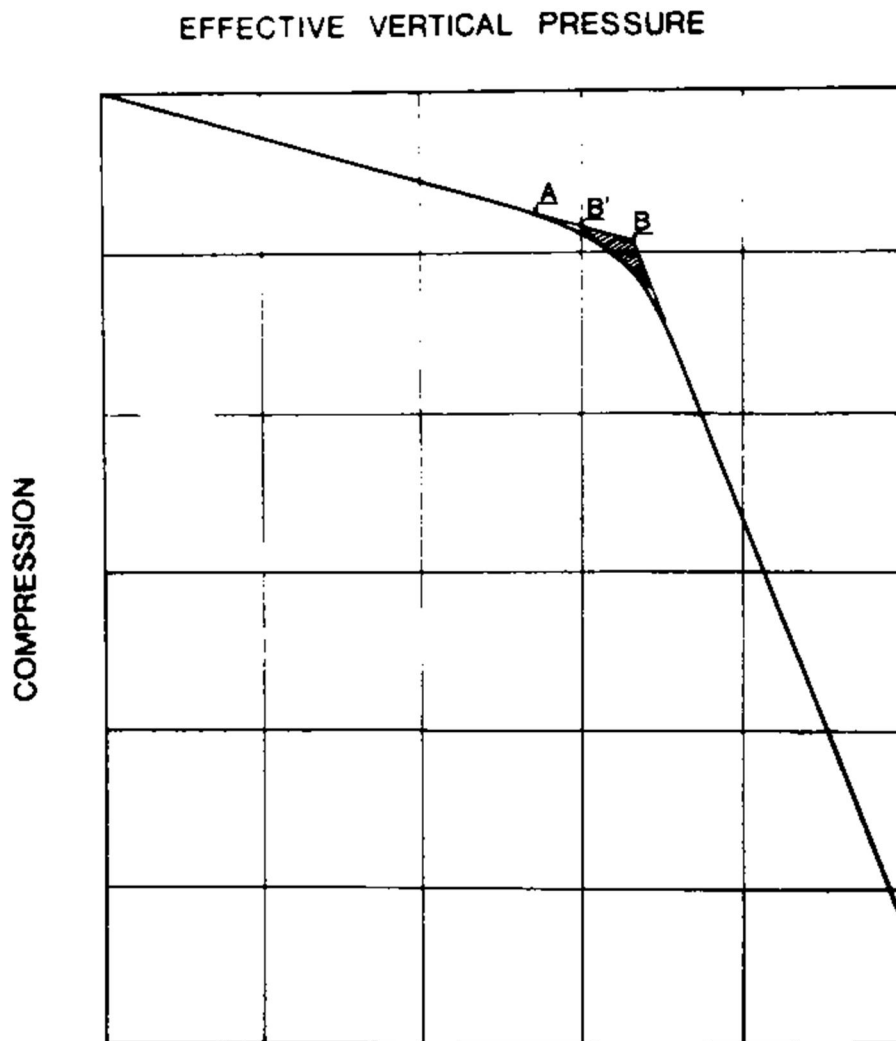
2.2.2 Förkonsolideringstryck

En lera som utsätts för en lastökning kommer att konsolidera. Det momentana porövertrycket utjämnas med tiden och plastisk och elastisk deformation sker tills jämviktstillstånd uppnåts. Detta sker under en väldigt lång tid allt från ett år till årtionden beroende på laststillskottet och lerans mäktighet. Det jordtryck som utvecklats vid jämviktstillståndet kallas förkonsolideringstryck. Detta jordtryck är det högsta jordtryck som leran varit utsatt för. Vid utvärdering av lerors förkonsolideringstryck benämns normalkonsoliderad eller överkonsoliderad. Med normalkonsoliderad avses att in-situ-spänningarna σ'_0 är det samma som förkonsolideringstrycket σ'_c medan vid överkonsoliderad gäller $\sigma'_0 < \sigma'_c$. En överkonsoliderad lera benämns ofta genom överkonsolideringsgrad $OCR = \frac{\sigma'_c}{\sigma'_0}$. Överkonsolideringsgraden kan ses som ett mått på hur mycket lastökning som kan ske utan att betydande deformation sker. Förkonsolideringstrycket kan ses som ett lastgränsvärde för hur mycket deformation som kommer att utvecklas. Understiger lastökningen och in-situ spänningen förkonsolideringstrycket ($\sigma'_0 + \Delta\sigma' < \sigma'_c$) kommer en mindre deformation att ske jämfört med om det överskrids.

Benämning	Överkonsolideringskvot OCR
Normalkonsoliderad eller lätt överkonsoliderad	1–1,5
Överkonsoliderad	1,5–10
Starkt överkonsoliderad	>10

Figur 5 Klassificering efter överkonsolideringskvot enligt SGF 1981 (Larsson, 2008)

För att kunna avgöra om en lera är överkonsoliderad räcker det inte med att bara titta på in-situ-spänningarna (Larsson, 2008). Portrycket indikerar om en konsolidering är pågående eller avslutad. Om portrycket är högre än det hydrostatiska portrycket är det högst troligt att en konsolidering är pågående vilket leder till att effektivspänningen kommer att öka vart efter porövertrycket avtar.



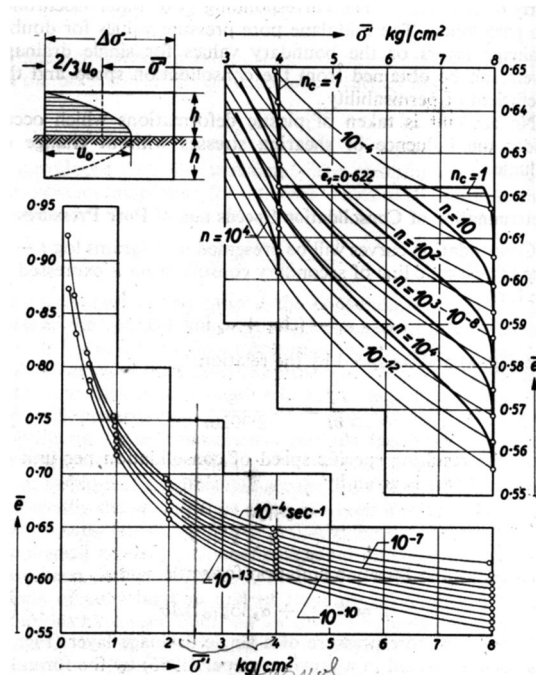
Figur 6 Utvärdering av förkonsolideringstryck B' från CRS-försök (Sällfors, 1975)

Figur 6 visar på en utvärderingsmetod av förkonsolideringstrycket. En tangent till den översta delen av grafen dras genom punkten A. Sedan dras en tangent till den undre delen av grafen genom punkt B. Mellan grafen och de två tangenterna skapas en yta i vilket en liksidig triangel upprättas och punkten B' bestäms (Sällfors, 1975).

2.2.3 Sekundär konsolidering

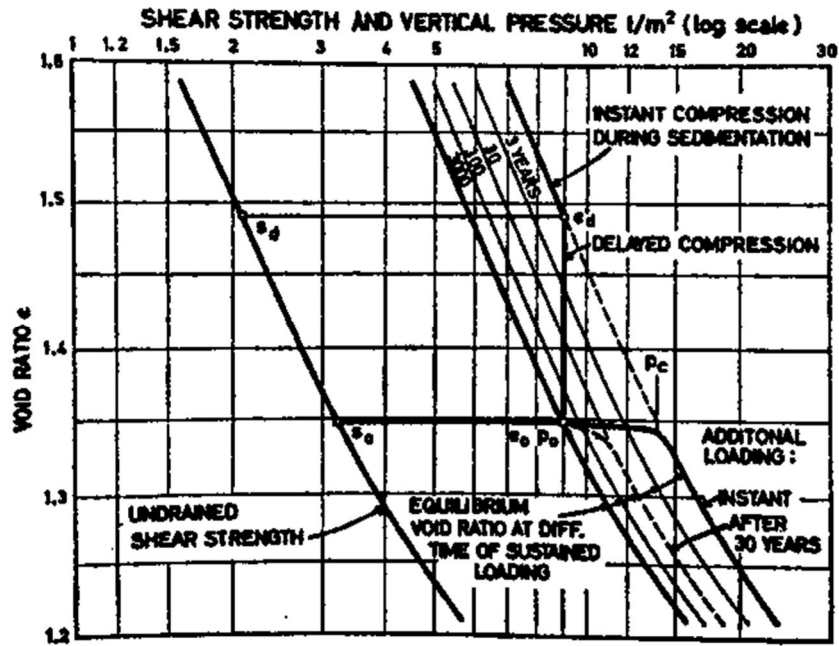
I den äldre litteraturen delas konsolideringen upp i en primär och sekundär konsolidering. Primär konsolidering sker då effektivspänningen ökas samtidigt som porövertrycket avtar. Den sekundära konsolidering definieras som en minskning i volym under konstant spänning. Detta sker så sakta att inget porövertryck genereras (Claesson, 2003).

Dagens antagande gällande sekundär konsolidering är att det är en krypdeformation som pågår samtidigt som den primära konsolideringen (Larsson, 2008). En av de första att visa detta antagande var Suklje (1957). Modellen baseras på att effektivspänningen, portalet och töjningen, bestämde konsolideringskurvan (figur 7).



Figur 7 Isotaches där varje linje beskriver en konstant töjning. n beskriver förhållandet mellan initiala lagertjockleken och provets tjocklek (Suklje, 1957).

En annan som resonerade i liknade banor var Bjerrum (1967). Han hade studerat norska leror och kunnat konstatera att sättningutvecklingen fortsatte även efter att porövertrycket avtagit i både den primära och sekundära konsolideringen. Han delade upp kompressionen i omedelbar och fördröjd kompression, vilket startade vid momentan belastning. Den fördröja kompressionen var relaterad till tiden. I figur 8 nedan visas vertikalspänning och skjuvhållfasthet i logaritmisk skala på x-axeln och portalet på y-axeln.



Figur 8 Grafen visar hur kompressionen och skjuvhållfasthet utvecklas med tiden (Bjerrum, 1967).

Han konstaterade att en normalt konsoliderad lera hade blivit lätt överkonsoliderad med tiden. Detta visualiserade han genom figur 8 där han ritat tidslinjer med olika tidsintervall.

2.2.4 Kryppparametrar α_s och C_α

De parametrarna som används vid beskrivning av kryp i lerjordar idag är koefficienten för sekundär kompression α_s eller sekundärt kompressionsindex C_α . Parametrarna avläses ur stegvisa ödometerförsök, där α_s gäller för ett tid- och töjningsdiagram, medan C_α avläses ur ett tid- och portalsdiagram. C_α är mer vanligt förekommande utanför Sverige (Claesson, 2003).

$$C_\alpha = \frac{\Delta e}{\Delta \log(t)} \quad (2.4)$$

e = portalet

t = tid

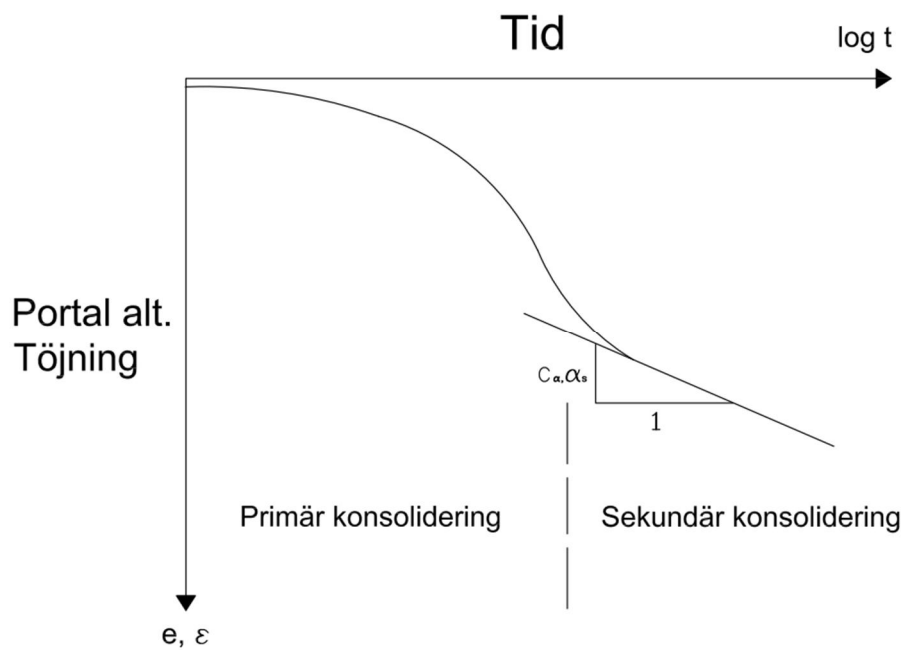
$$\alpha_s = \frac{\Delta \epsilon_{cr}}{\Delta \log(t)} \quad (2.5)$$

Förhållandet mellan dessa parameterar kan skrivas som:

$$\alpha_s = \frac{C_\alpha}{1+e_0} \quad (2.6)$$

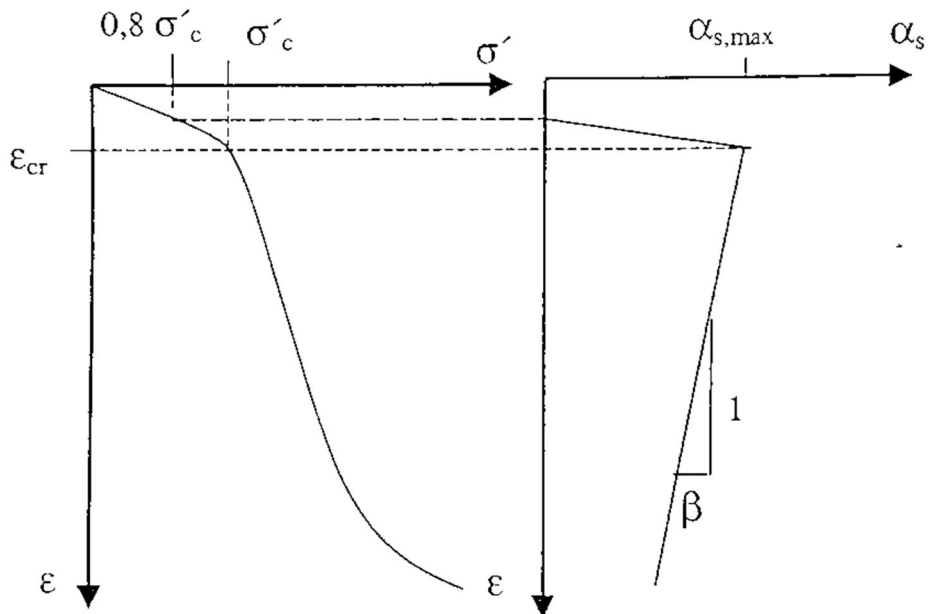
$1+e_0$ = specifika volymen, V

e_0 = initialportalet



Figur 9 Utvärdering av kryppparameterar från stegvisa ödometerförsök (Olsson, 2010)

Vid utvärdering av α_s dras en linje som följer den trend som blir efter den primära konsolideringen. Enligt figur 9 definieras α_s som $\Delta\varepsilon/\Delta\log(t)$ till den dragna linjen. Det antas att koefficienten för sekundär kompression ökas gradvis. Värdet på α_s är noll fram till 80 % av förkonsolideringstrycket därefter ökar α_s linjärt tills maximum uppnås vid förkonsolideringstrycket σ'_c . När maximum uppnåtts avtar α_s med faktorn β . Se figur 10.



Figur 10 Kryppparametrarnas relation till effektivspänning och töjningen (Jansson, 2001)

2.2.5 Tidsmotståndet R

Tidsmotståndet R är en kryppparameter som presenterades av Janbu (Janbu, 1967). Idén var att om en spänningsökning anses vara en handling då är töjningen en reaktion. På samma sätt menade han att om tid anses vara en handling så är kryptöjningen en reaktion. Han definierade följande som:

$$R = \frac{dt}{d\varepsilon} \quad (2.7)$$

där R = tidsmotståndet [s]
 ε = töjningen

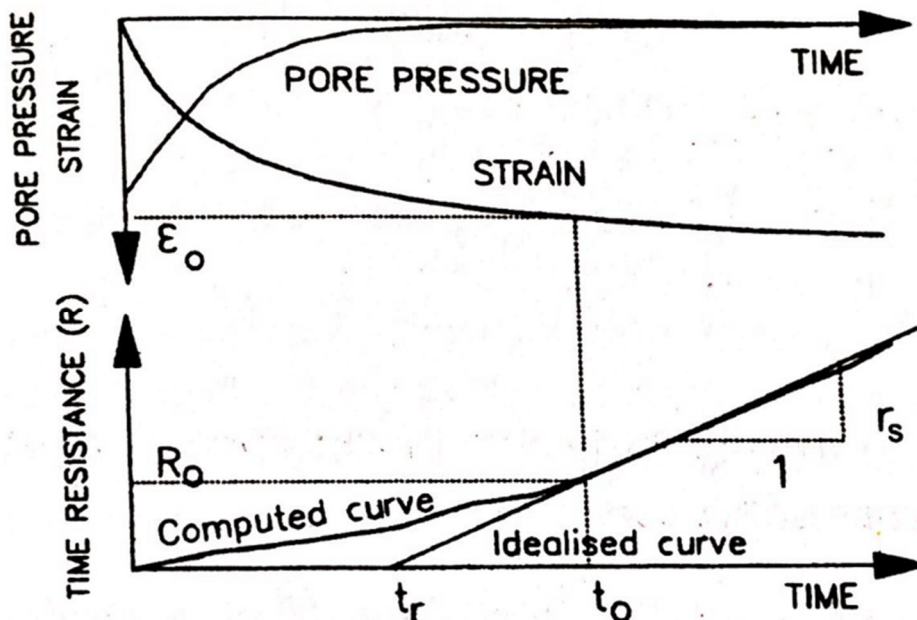
Laboratorietest har visat att tidsmotståndet i leror ökar linjärt efter den primära konsolideringen. Derivatans avseende på tiden beskriver lutningen på ökningen och kallas tidsmotståndstalet, r_s .

$$\frac{dR}{dt} = r_s \quad (2.8)$$

Vid tiden t_0 börjar R att öka linjärt med lutningen r_s och beskrivs som:

$$R = r_s \cdot (t - t_r) \quad (2.9)$$

där t = tiden
 t_r = referenstiden



Figur 11 Tidsmotståndet som en funktion av tiden (Svanö, et al., 1991)

Töjningshastigheten beskrivs som inversen av töjningsmotståndet R (figur 11).

$$\dot{\varepsilon} = \frac{\partial \varepsilon_{cr}}{\partial t} = \frac{1}{R} = \frac{1}{r_s \cdot (t - t_r)} \quad (2.10)$$

där $\dot{\varepsilon}$ = kryptöjningshastigheten [1/s]

ε_{cr} = töjningen

Genom integration av ekvation (2.10) erhålls kryptöjningen för valt tidsintervall t_0 till t .

$$\Delta \varepsilon_{cr} = \frac{1}{r_s} \int_{t_0}^t \frac{dt}{(t - t_r)} = \frac{1}{r_s} \ln \frac{t - t_r}{t_0 - t_r} \quad (2.11)$$

där t_0 = tiden då $R - t$ -kurvan ökar linjärt

ur (2.11) härleds tidsmotståndstalet r_s .

$$r_s = \frac{\partial \ln(t)}{\partial \varepsilon_{cr}} \quad (2.12)$$

Sambandet mellan koefficienten för sekundär konsolidering α_s och tidsmotståndstalet r_s är:

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

2.3 GeoSuite Settlement med Chalmersmodellen

GeoSuite Settlement är en programvara som kan hantera olika beräkningsmodeller vid prognostisering av sättning. Chalmersmodellen en av de modeller som finns implementerad i programvaran och kan hantera krypsättningar.

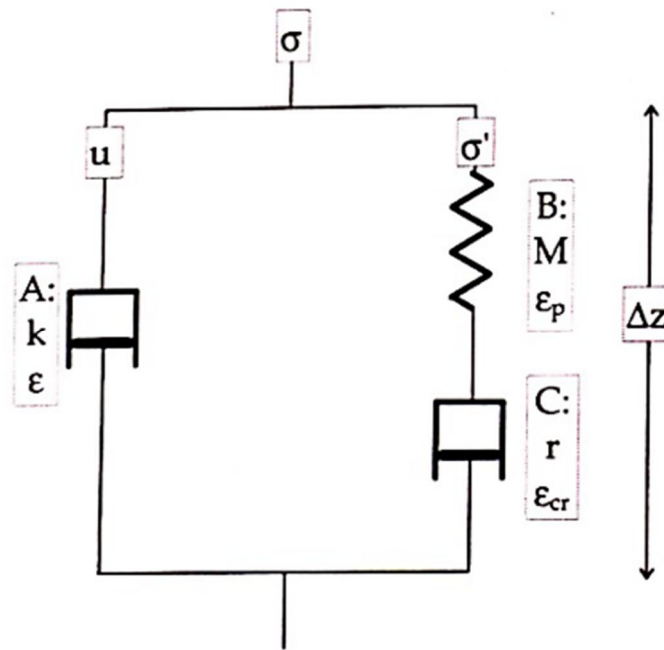
2.3.1 Reologisk jordmodell

Chalmersmodellen bygger på (Alén, 1998) reologiska jordmodell som kan delas upp i tre olika fenomen. De kan sammanfattas enligt följande:

A: Konsolidering: Porvattnet pressas ut vilket leder till att porvattenövertrycket utjämnas. Darcys lag $v = k \cdot i$ antas beskriva förloppet på ett adekvat sätt.

B: Vid en ökning av effektivspänningen sker en elastisk/plastisk deformation. Deformationen sker omedelbart vid spänningsökningen. Kompressionsmodulen M kan beskriva deformationen given en funktion relaterad till effektivspänningen $M(\sigma')$. Kompressionsmodulen utvärderas ur ödometerförsök.

C: Krypdeformation, vilken uppkommer vid konstant effektivspänning. Denna deformation är tidsberoende och beskrivs med tidsmotståndstalet r_s (Janbu, 1967), vilket finns beskrivet i avsnitt (2.2.5).



Figur 12 Reologisk jordmodell som beskriver deformation under lång tid i lera (Alén, 1998).

Fenomenen A, B och C antas ske samtidigt (figur 12). A och B påverkar varandra på så sätt att då poröverttrycket minskar i A leder det till att effektivspänningen i B ökar. C sker helt oberoende av A och B (Alén, 1998).

Sambanden beskrivna ovan leder till en differentialekvation som kan relateras till Terzaghis (Terzaghi, 1943) konsolideringsekvation i avsnitt (2.2.1) ekvation (2.1). Om k och γ_w är kontanta med djupet blir ekvationen följande:

$$\frac{1}{M} \frac{\partial u}{\partial t} = \frac{k}{\gamma_w} \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} + \frac{1}{r \cdot (t+t_r)} \quad (2.14)$$

Det som skiljer sig i ekvation (2.14) från Terzaghis (Terzaghi, 1943) ekvation (2.1) är tillägget för krypdeformationen.

2.3.2 Begränsningar i modellen

Ett problem som kan uppstå i modellen är att effektivspänningen minskar över tiden. Detta sker då krypdeformationshastigheten är högre än den totala deformationshastigheten $\frac{\partial \epsilon_{cr}}{\partial t} > \frac{\partial \epsilon}{\partial t}$. Då krypdeformation är beroende av effektivspänningen är det fysikaliskt omöjligt. Följande villkor måste uppfyllas för att modellen skall gälla:

$$\frac{\partial \epsilon_{cr}}{\partial t} = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{1}{r \cdot (t+t_r)} \\ -\frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{k}{\gamma_w} \cdot \frac{\partial u}{\partial z} \right) \end{array} \right. \quad (2.15)$$

Eftersom t_r kommer att ändras under konsolideringsförloppet, beroende på om det är permeabiliteten eller tidsmotståndstalet som styr krypdeformationshastigheten, används (Janbu, 1967) tidsmotstånd R istället för tidsmotståndstalet r .

$$\frac{\partial \epsilon_{cr}}{\partial t} = \frac{1}{r \cdot (t-t_r)} = \frac{1}{R} \quad (2.10)$$

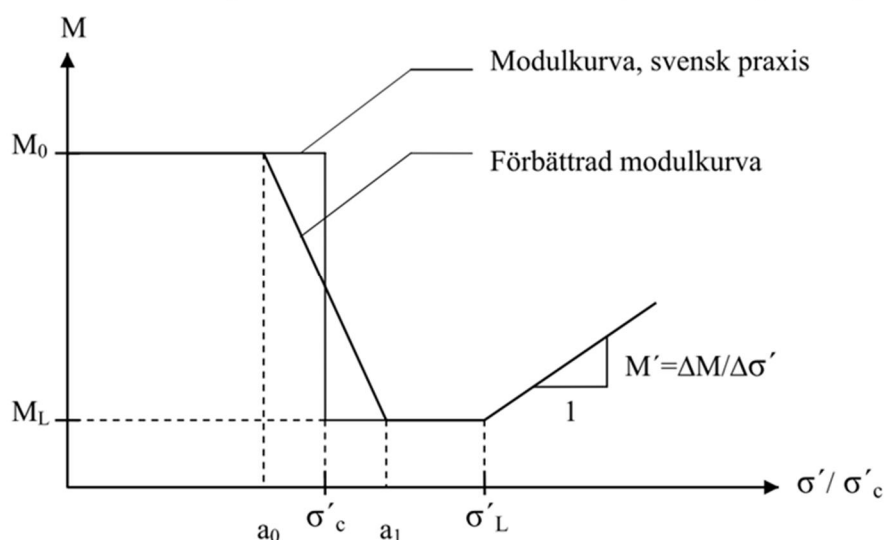
Om k och γ_w antas vara konstanta med djupet erhålls följande ekvation.

$$\frac{1}{M} \frac{\partial u}{\partial t} = \max \left\{ \frac{k}{\gamma_w} \cdot \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} + \frac{1}{R} \right\} \quad (2.11)$$

För en mer utförlig härledning se (Alén, 1998) appendix P sidan P6.

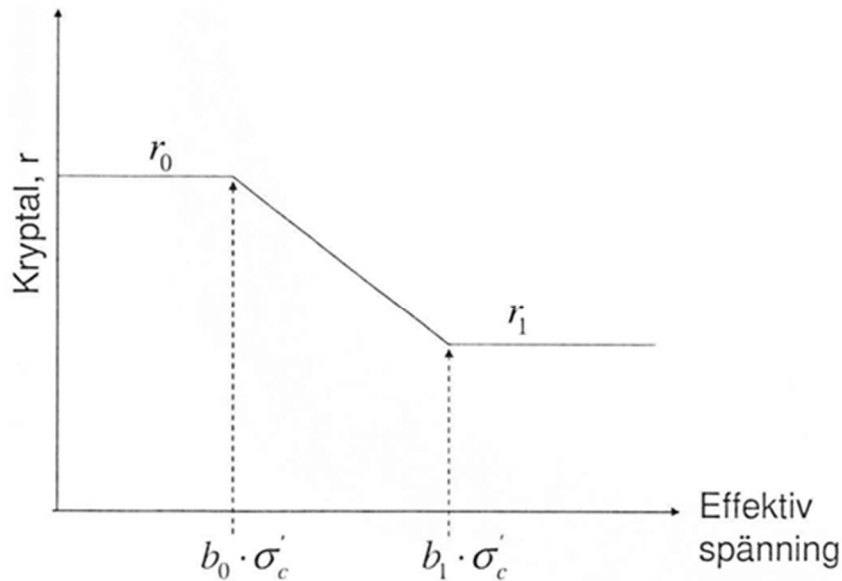
2.3.3 Claessons förbättrade kompressionsmodulkurva

En utveckling av modulkurvan gjordes av (Claesson, 2003). Från att tidigare kompressionsmodulen M_0 övergått tvärt till M_L utvecklades en jämnare linjär övergång.



Figur 13 Den utvecklade kompressionsmodulkurvan jämfört med svensk praxis (Kine & Andreas, 2007)

Parametererna a_0 och a_1 (figur 13) anges i programmet GS settlement och ges värdet 0,8 respektive 1.0.



Figur 14 Implementerad krypfunktion i GS settlement (Alén & Olsson, 2009)

Maxvärdet för tidsmotståndstalet r utvärderas från stegvisa ödometerförsök. I det tekniska PM från (Alén & Olsson, 2009) ges rekommendationer på hur kryptalet r skall utvärderas utifrån två lastfall. Det första är då spänningssituationen $\sigma'_0 + \Delta\sigma \geq \sigma'_c$ råder och det andra är $\sigma'_0 + \Delta\sigma \leq \sigma'_c$.

2.4 Plaxis 2D AE Soft Soil Creep

Soft Soil Creep (SSC) är en modell som kan hantera krypdeformationer och finns implementerad i mjukvaruprogrammet Plaxis 2D AE. Modellen bygger på tidigare arbeten inom endimensionell krypt teori från t.ex. (Bjerrum, 1967), (Garlanger, 1972) och (Mesri & Godlewski, 1977).

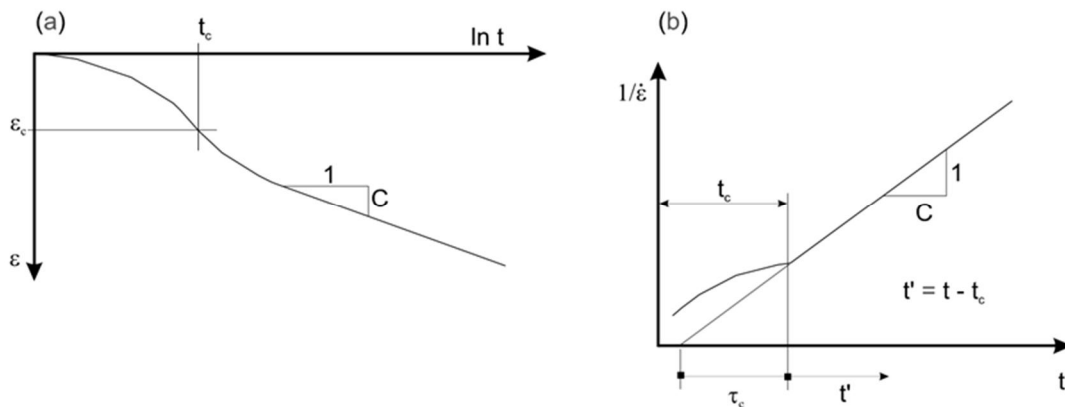
Egenskaper som SSC kan hantera är:

- spänningsberoende styvhetsmodul (logaritmisk kompressions beteende)
- särskilja på primär pålastning och av- och pålastning
- sekundär kompression
- minne av förkonsolideringstryck
- brottskriteriet enligt Mohr-Coulombs teori
- som en referensyta, används Modified Cam- Clay (cap)

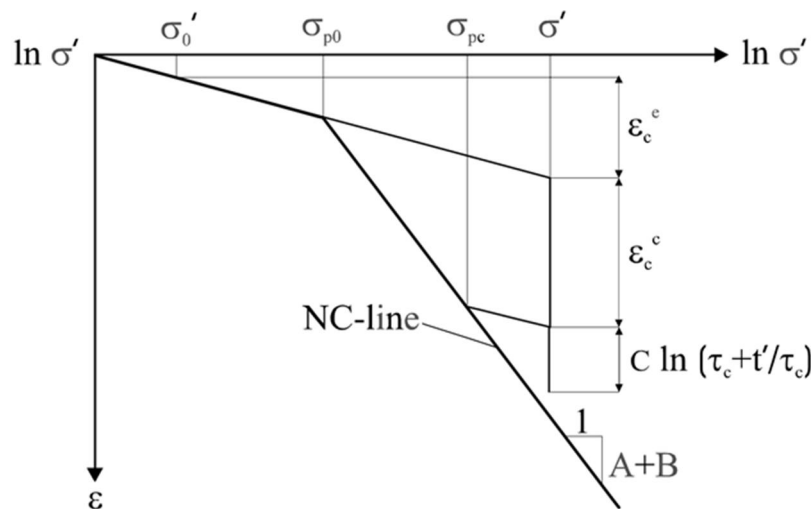
Vid beräkning av deformationer i SSC delas deformationerna upp i en elastisk och en viskoplastisk del. Det är endast den viskoplastiska delen som behandlar krypdeformationen. Följande uttryck, formulerat av bland annat (Vermeer & Neher, 1999), beskriver den totala töjningen ε :

$$\varepsilon = \varepsilon^e + \varepsilon_c^e + \varepsilon_c^c = A \ln \frac{\sigma'_t}{\sigma'_0} + B \ln \frac{\sigma_{pc}}{\sigma_{p0}} + C \ln \frac{\tau_c + t'}{\tau_c} \quad (2.12)$$

Den första termen ε^e beskriver den elastiska töjningen medan ε_c^e och ε_c^c beskriver den viskoplastiska. Förkonsolideringstrycket, före- respektive efter konsolidering, uttrycks med σ_{p0} och σ_{pc} . Den effektiva kryptiden t' är lika med den totala tiden minus konsolideringstiden $t - t_c$ (figur 15).



Figur 15 Konsolidering och kryp i ett standard ödometertest (Vermeer & Neher, 1999).



Figur 16 En idealiserad spännings- och töjningskurva från ett ödometertest där den stegvisa töjningen beskrivs av en elastisk- och kryptöjningskomponent (Vermeer & Neher, 1999).

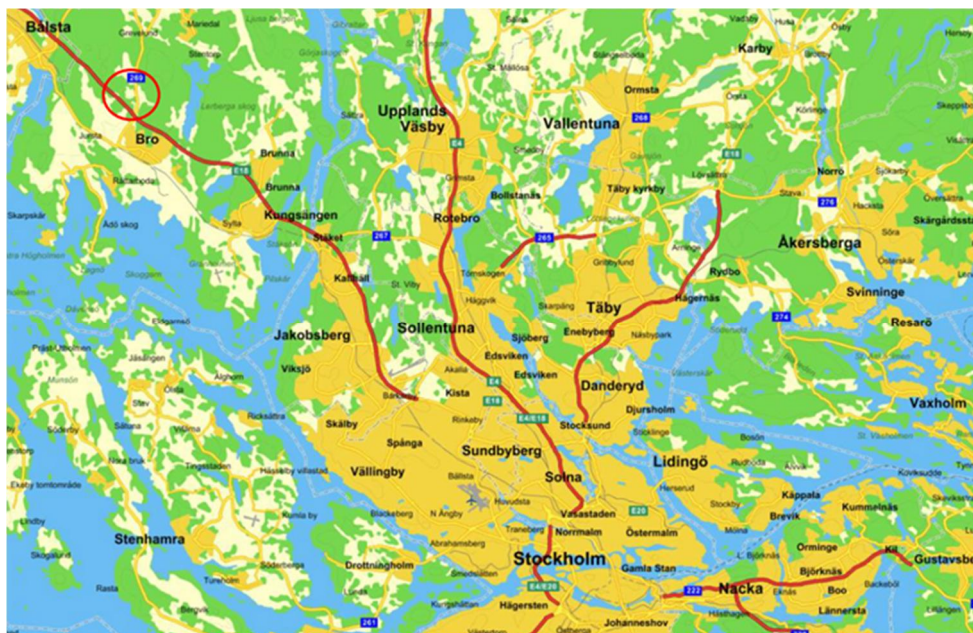
Då inget brott uppstår, som vid ett standardödometertest, tillämpar SSC Bjerrums (Bjerrum, 1967) idé om att förkonsolideringstrycket endast är beroende av mängden kryptöjning som ackumulerats över tiden. Då att jämföra med elastoplastiska modeller då den momentana plastiska töjningskomponent samverkar med kryptöjningen. För denna situation skrivs följande uttryck (Vermeer & Neher, 1999):

$$\varepsilon = \varepsilon^e + \varepsilon^c = A \ln \frac{\sigma'}{\sigma'_0} + B \ln \frac{\sigma_p}{\sigma_{p0}} \rightarrow \sigma_p = \sigma_{p0} \exp\left(\frac{\varepsilon^c}{B}\right) \quad (2.13)$$

Av ekvation (2.13) kan utläsas att ju längre jorden tillåts att krypa desto högre blir σ_p

3 METOD

3.1 Projektplatsen



Figur 17 Projektplatsen i förhållande till Stockholm (Lantmäteriet/Metria, 2014)

Projektplatsen ligger i Bro vid Högbytorp ca 30 km nordväst om Stockholm. Detta är en miljö- och avfallshanteringsstation som drivs av Ragnsells. Det som går att återvinna återvinns i högsta grad. Det som inte går att återvinna läggs på deponi t.ex. askor från fjärvärmeverk eller förorenade massor från diverse schakter i Stockholmsområdet.

Peab Anläggning AB har fått i uppdrag att bygga ut en befintlig deponi. Deponin tar emot förorenade massor d.v.s. allt från oljeförorenad mark till blåbetong och asphalt. Den befintliga delen är anlagd på fast mark medan den utbyggda delen kommer att ligga på lös lera. Tanken är att följa upp sättnings- och konsolideringsutvecklingen under uppbyggnaden av deponin. Två stycken portrycksmätare installerades, den ena på 1 meters djup och den andra på 3 meters djup. Sättningen mäts genom en slang som placerats på linern. När konsolideringen sedan sker är tanken att korrelera portrycksfallet med sättningsutvecklingen.



Figur 18 Högbytorp avfallsanläggning. Den röda ringen markerar den aktuella deponin

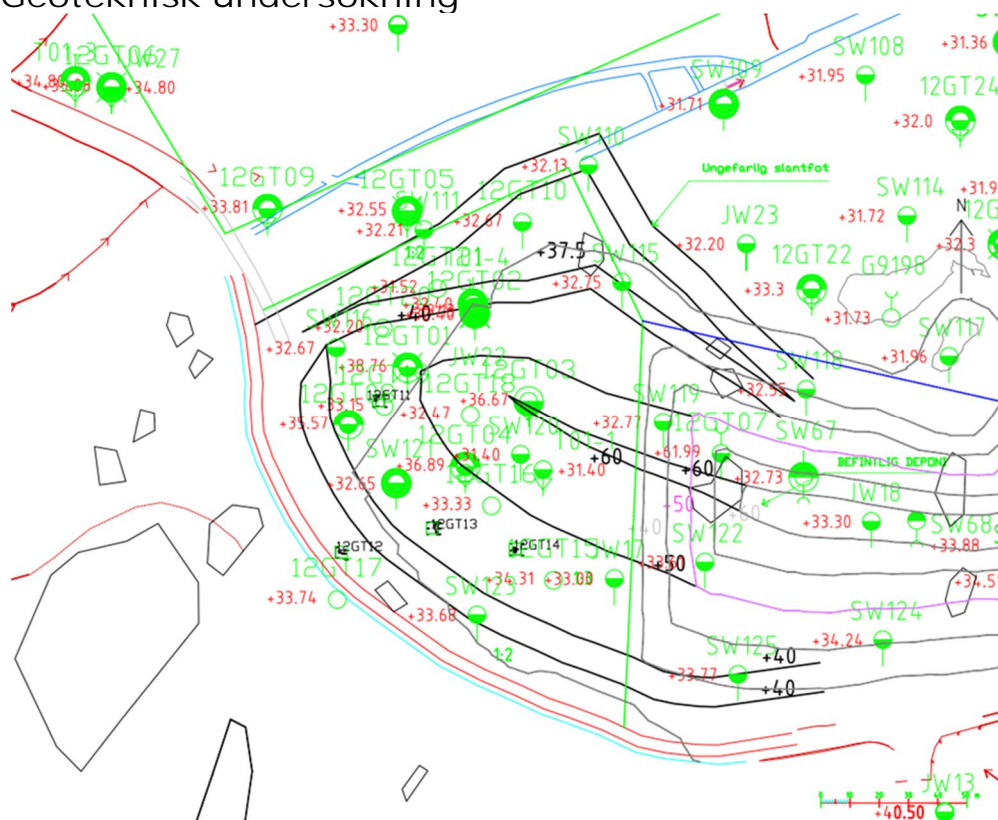
Högbytorps miljö- och avfallshanteringsstation består av flera olika deponier. I den södra delen av området finns de äldre deponierna som är förslutna och täcks idag av gräs medan i den norra delen finns de aktiva deponierna (figur 18).



Figur 19 Deponin med den planerade utbyggnaden

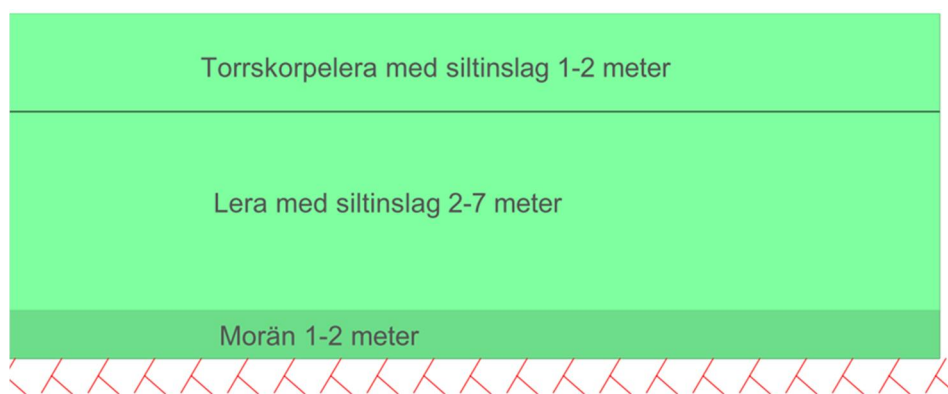
Den tänkta utbyggnaden av den befintliga deponin motsvarar en yta på cirka 14 000 m². Den röda markeringen i figur 19 visar placeringen av den utbyggda deponin.

3.1.1 Geoteknisk undersökning



Figur 20 Geotekniskundersökning av projektplatsen

Det genomfördes en geoteknisk undersökning (figur 20) av den tidigare entreprenören bestående av viktsonderingar, vingförsök, fallkonsförsök samt CPT sonderingar. Därefter har en överlast på 8 meter fyllts upp och fått ligga i sju år. I samband med att den nya entreprenören tog över genomfördes nya undersökningar bestående av kolvprovtagningar där CRS-försök och stegvisa ödometerförsök genomfördes, fem stycken skruvprovtagningar samt fyra viktsonderingar.



Figur 21 Generell tolkad jordlagerföljd med lagertjocklekar

Jordlager består av siltig lera med enstaka finsandslinser, varvlera med siltiga finsandskikt och i botten morän. Lermäktigheten ligger på mellan 4 till 9 meter där den översta delen är av torrskorpekaraktär och moränmäktigheten är mellan 1-2 meter.

3.2 Dokumentation av projektplatsen

Projektplatsen mättes in av mättekniker från den nya entreprenören och jämfördes med de marknivåer som fanns vid den första geotekniska undersökningen. På detta sätt kunde överlastens storlek bestämmas. Första momentet i deponiutbyggnaden var att schakta bort all fyllning så att endast lerskiktets överkant fanns kvar. Lermäktigheten kontrolleras med sticksonderingar. Där lermäktigheten understeg kravet fylls det upp med lera av torrskorpekaraktär tills kravet uppfylldes. På den färdiga schaktbotten rullades ett geomembran ut vilket tillsammans med leran kom att fungera som en geologisk barriär vid eventuella läckage från deponin. Geomembranet mättes in och kan illustreras i figur 26.



Figur 22 Foderrör till portryckmätare

För att kunna göra en uppföljning av sättningarna på deponin gjordes en genomföring i geomembranet (figur 22) vid lågpunkten på schaktbotten. Ett foderrör svetsades därefter fast i geomembranet. I foderröret installerades sedan två portryckmätare, den ena på 1 meters djup och den andra på 3 meters djup. Tanken var att jämföra det verkliga portrycket vid en viss tidpunkt med det i modellerna prognosticerade portrycket.



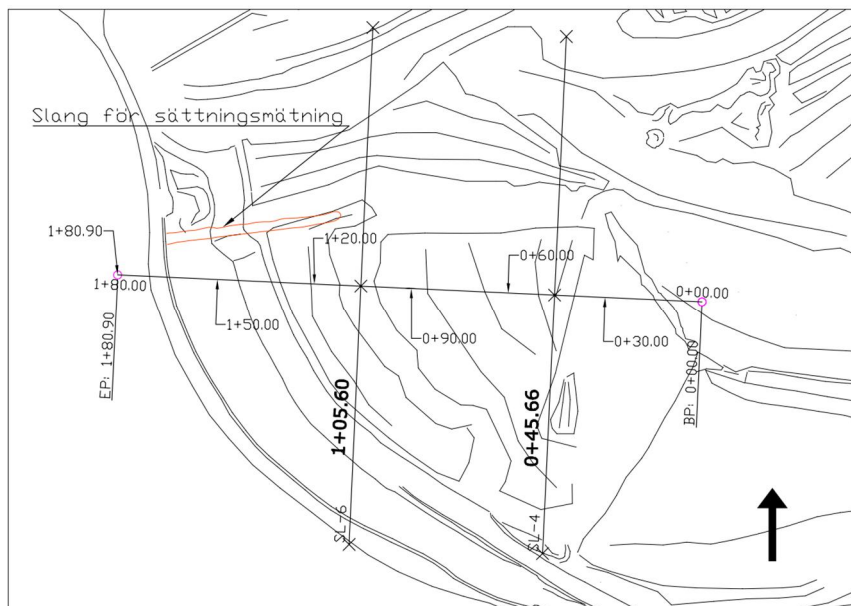
Figur 23 Portrycksmätare

Indata registrerades varje timme via en server där portryck, temperatur och atmosfärstryck kunde avläsas (figur 23).



Figur 24 Slang för sättningsmätning på geomembranet

Sättningsuppföljningen görs med slang-sättningsmätning (figur 24). En slang placeras ut på geomembranet där den får ligga medan deponin fylls upp. En gång i kvartalet mäts sedan sättningen.



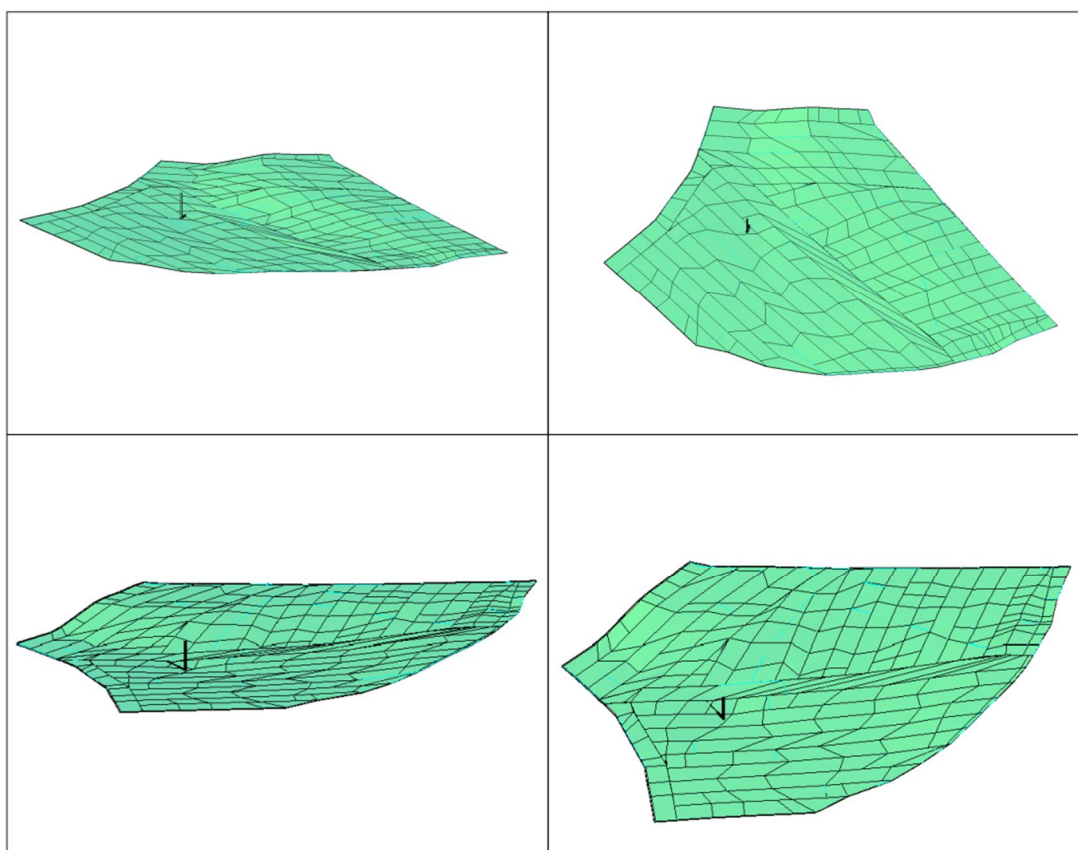
Figur 25 Områdesritning med tvärsektioner och slang för sättningsmätning

Slangens ände befann sig cirka 22 meter norr om sektion 1+05,60:s mittpunkt (figur 25). Därav kom endast en jämförelse med det verkligt uppmätta sättningarna att göras med sektion 1+05,60.

Tiden för uppfyllnaden av deponin börjar i november 2012 och vinterväder råder. Uppfyllnaden sker stegvist och mäts in med jämna mellanrum av mättekniker. Uppfyllnaden av deponin blev klar 30 september 2013.

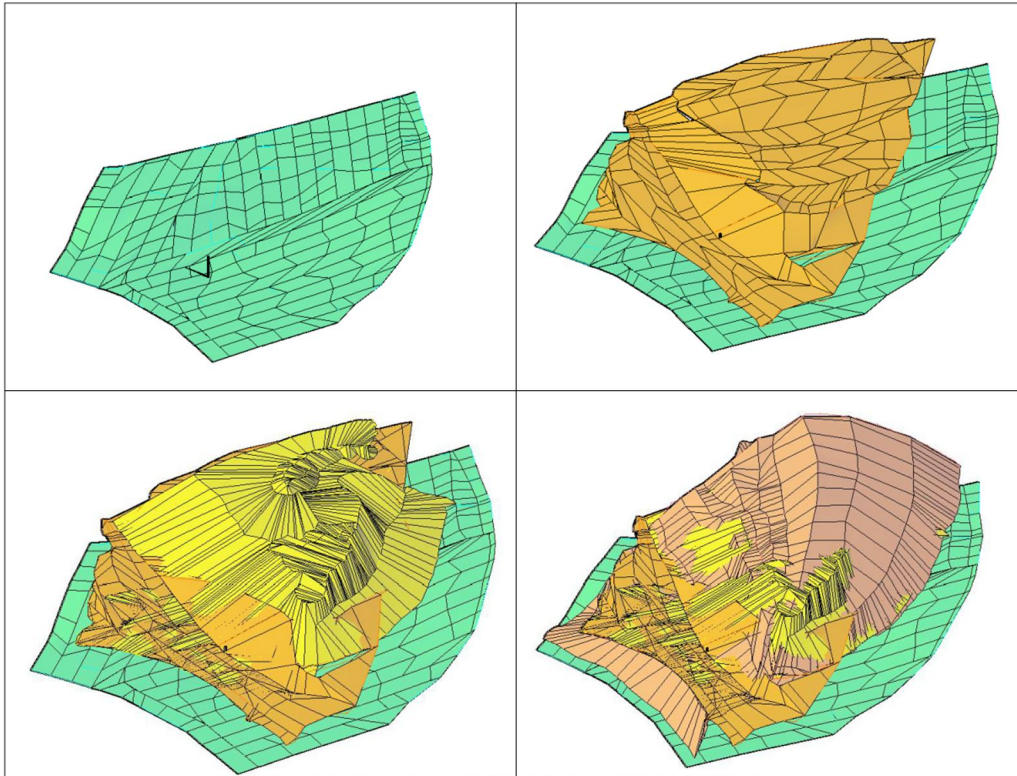
3.2.1 Skapandet av en geometrisk modell

Från den geotekniska undersökningen kommer en jordlagerföljd att tolkas. Utifrån jordlagerföljden ritas en geometrisk modell upp i 3D där varje plan skapar en yta. När alla lager är skapade tas två sektioner fram, se figur 26 och figur 27. Utifrån sektionerna görs sedan sättningsberäkningarna. Sektionerna kommer att tolkas som horisontella plan där en medelnivå på uppfyllnaden kommer att beräknas för varje laststeg. I Plaxis 2D AE är det möjligt att efterskapa sektioner med lutande plan. I detta arbete kommer dock endast helt horisontella plan att användas. Detta för att göra jämförelsen med GS Settlement så bra som möjligt.

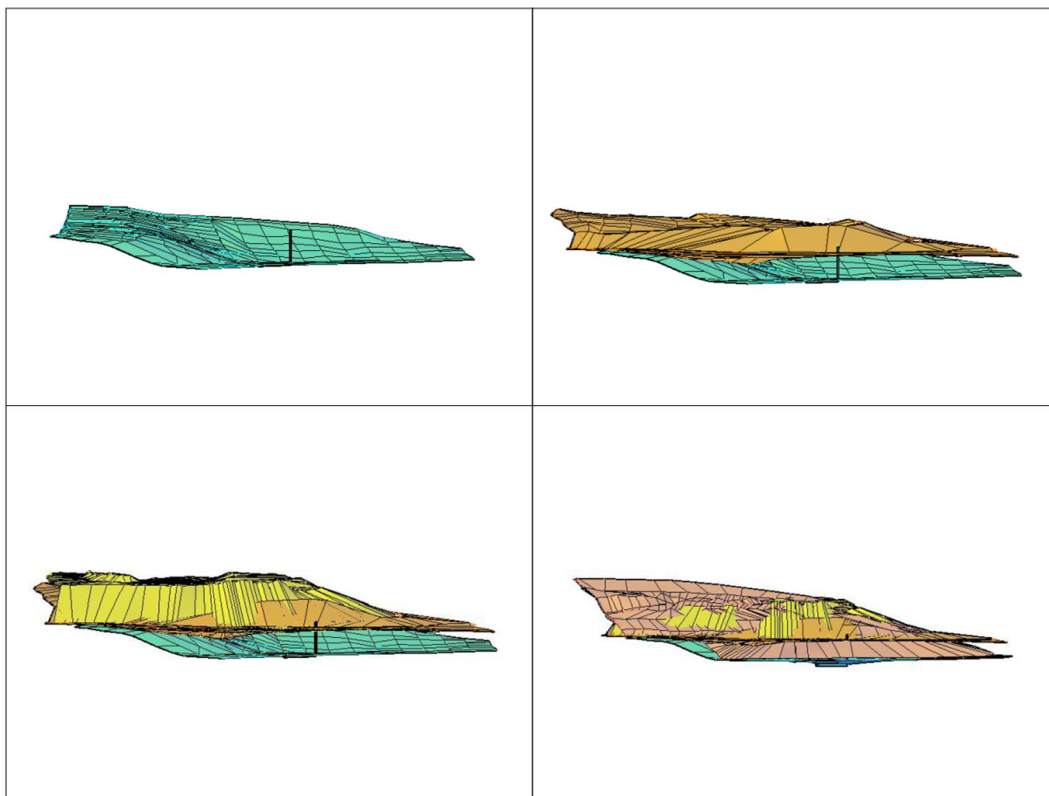


Figur 26 Schaktbotten överkant lera sett från olika vinklar

Den nya entreprenören har konstruerat en ny schaktbotten för den utbyggda deponin (figur 26) vilken kommer att ligga till grund för den geometriska modellen. Den färdiga botten av deponin är inmätt av mättekniker under byggtiden och kommer att motsvara lerans överkant. Lerans underkant bestäms genom tolkning av borrhål.

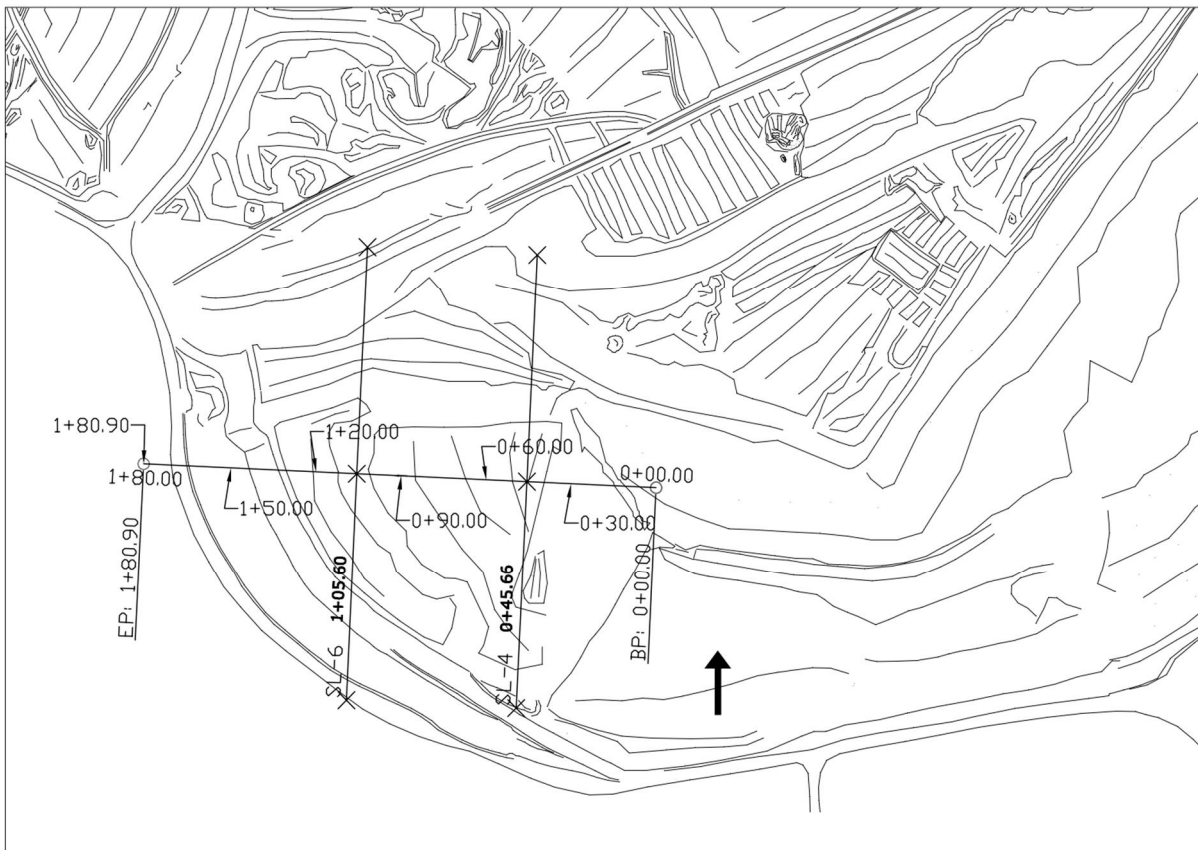


Figur 27 Schaktbotten med uppfyllnad av deponi

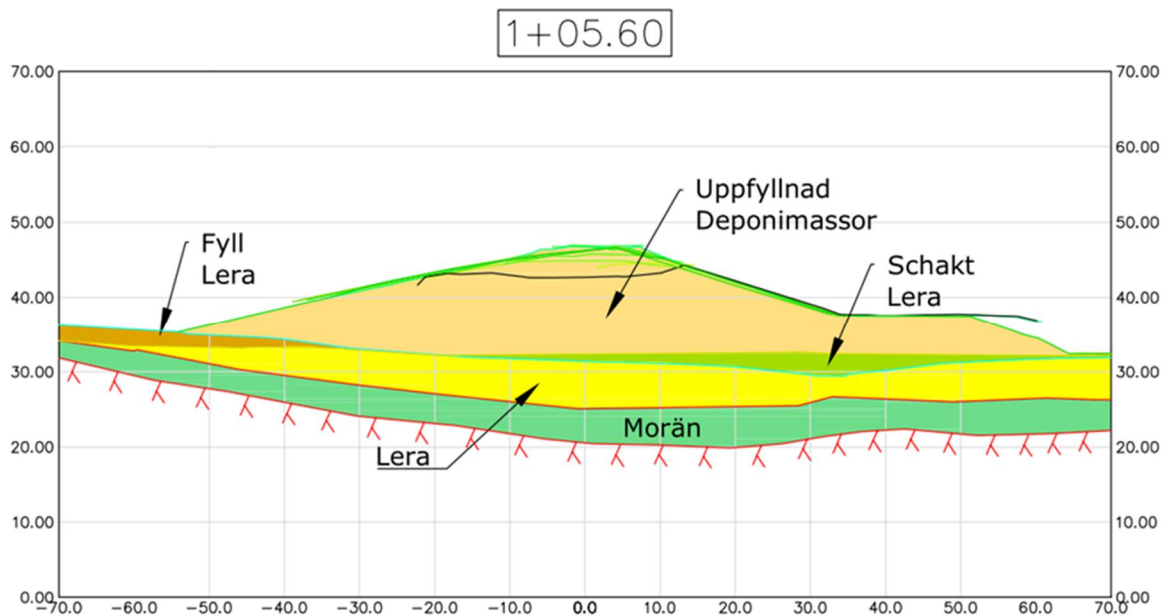


Figur 28 Schaktbotten med uppfyllnad av deponi sett i profil

Uppfyllnaden av deponin har mätts in med jämna mellanrum då deponin fyllts upp. Här registrerades tiden för varje uppfyllnad som kom att ligga till grund för beräkningsmodellen. I figur 27 och 28 illustreras uppfyllanden av deponin för olika tidssteg.



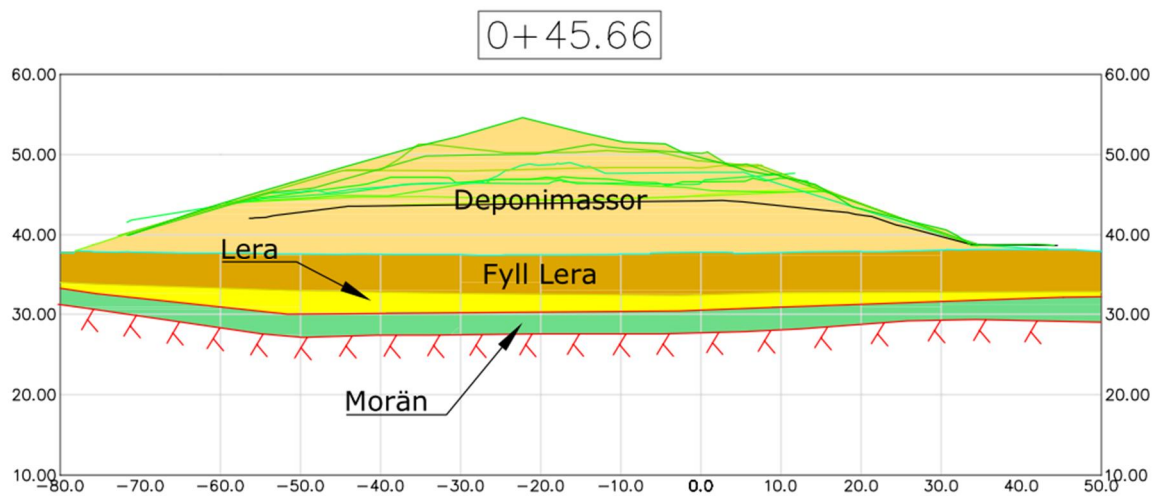
Figur 29 Områdesritning med markerade sektioner



Figur 30 Sektion 1+05.60 Jordlagerföljd med en antagen morän mäktighet samt schakt och fyll för lerlager. Deponibotten följer överkant lera. Endast en liten del består av fyllera.

I sektion 1+05,60 ligger deponibotten nästan uteslutande på ostörd lera. Endast en liten bit består av lera som transporterats dit som fyll upp deponibotten. Den uppfyllda leran består

nästan utslutande av lera med torrskorpekaraktär som transporterats dit från närliggande lerupplag. Denna sektion är vald så att portryck och sättning skall kunna jämföras med verkliga uppföljningar.



Figur 31 Sektion 0+45.66 Jordlagerföljd med antagen morän mäktighet. Deponibotten följer överkant fyll lera.

I sektion 0+45,66 ligger deponibotten helt på uppfylld torrskorpelera. Lermäktigheten är 4-5 meter. För den ostörda lera är mäktigheten cirka 2 meter. Moränlagrets mäktighet har antagits vara 1-2 meter. Moränen är av mindre betydelse i detta arbete då fokus ligger på lösa lerjordar.

Sektion 0+45,66 är vald så att en så hög uppfyllnad som möjligt kan studeras. Denna sektion går inte att jämföra med verkliga uppföljningar. Slangsättningsmätningen berör endast sektion 1+05,60. I figur 25 visar placeringen av slangen för slangsettningsmätningen.

3.2.1.1 *Dräneringsvägar*

För grundfallet i modellen har dubbelsidig dränering antagits. Vid känslighetsanalysen prövas även enksidig dränering samt dränerande skikt mitt i lerlagret. Dräneringsvägarna antas vara vertikala.

3.2.1.2 *Förenklad geometri*

För att göra det möjligt att genomföra en jämförelse kommer lerlager i modellen att förenklas till horisontella plan. Den förenklade sektionen kommer att utgå från den högsta punkten i tvärsnittet. Från den högsta punkten nedåt avläses de olika lagertjocklekarna. Jordlagren antas vara helt horisontella i beräkningsmodellen.

Uppfyllnaden bestäms genom att beräkna en medeluppfyllnad som utgår ifrån tre punkter, den högsta punkten samt två punkter som ligger 10 meter på vardera sidan om den högsta.

3.2.1.3 *Sektion 1+05,60 förenklad*

Sektionen består av, sett uppifrån nedåt:

1. Deponimassor 13,75 meter
2. Lerlager 6,3 meter
3. Morän 2 meter

3.2.1.4 *Sektion 0+45,66 förenklad*

Sektionen består av, sett uppifrån nedåt:

1. Deponimassor 15,38 meter
2. Lerlager 7,2 meter
3. Morän 2 meter

3.2.2 *Densitetbestämning av fyllmassor*

Fem provgropar har gjorts (figur 32). Varje grop fyllde fyra stycken hinkar som hade en volym på fem liter. Hinkarna numrerades och vägdes.

Ytan där provgropen togs förberedes först så att den blev så plan som möjligt. Därefter schaktades provgropen för hand. När provgropen var färdigschaktad tätades gropen med en plastfilm. Vatten fylldes på i gropen tills vattenytan var i nivå med fyllmassans plana yta och volymen registrerades med två decimalers noggrannhet.

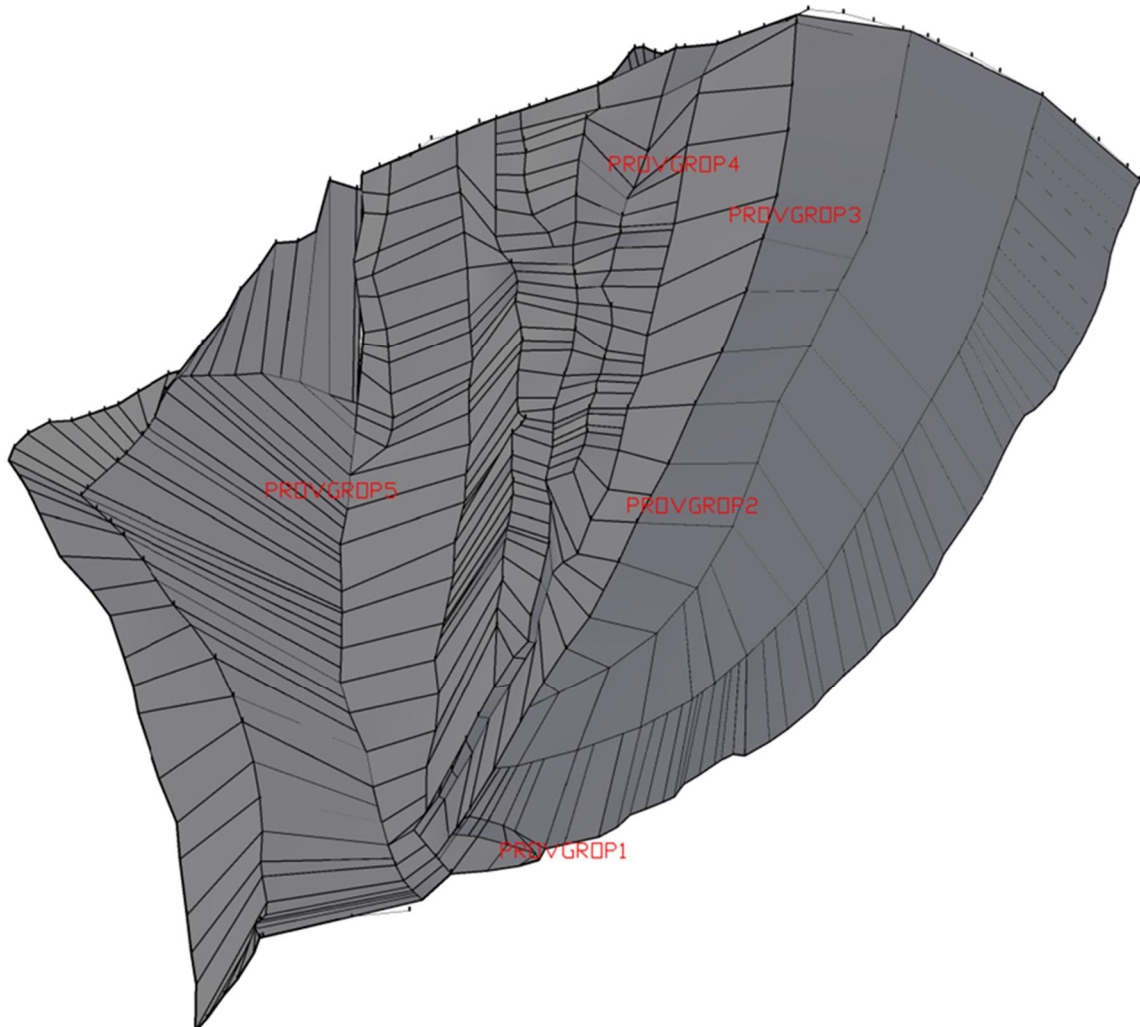
Placeringen av provgroparna kom att ske så att den varierande kompakteringsgraden av fyllmassorna representerades i så stor grad som möjligt.

För att densitetsbestämningen skulle vara genomförbar i detta arbete har följande antagande gjorts för provgroparna.

- De olika fraktionerna som förekom i fyllmassorna kom inte att ha så stor påverkan då de mest förekommande var av mindre storlek.
- Provgroparna schaktades till en volym mellan 8 till 20 liter.
- Då kompakteringsgraden var varierande i deponin, kom ett medelvärde att bestämmas av de fem olika provgroparna.



Figur 32 Densitetsbestämning



Figur 33 Högbytorp Cell 3C, provgropar för densitetsbestämning.

Figur 33 visar var de olika provgroparna gjordes på den färdigfyllda deponin. Tanken med provgroparnas placering var att få en så stor spridning av densiteten som möjligt. Provgrop 1 till 4 befinner sig på den del av deponin som har varit mest aktiv. Här förväntas en högre densitet än för provgrop 5 där deponimassorna har en lägre fyllnadshöjd och massorna är inte lika kompakterade.

Tabell 1 Densitetsbestämning

Densitet Fyllmassor Högbytorp Cell 3C

	Volym [dm ³]	Massa [kg]	Densitet [ton/m ³]	Tunghet [kN/m ³]
Provgrop 1	11,20	-	2,0	19,8
Hink 1	-	5,8	-	-
Hink 2	-	4,2	-	-
Hink 3	-	5,8	-	-
Hink 4	-	6,4	-	-
Provgrop 2	12,75	-	1,8	18,4
Hink 1	-	5,8	-	-
Hink 2	-	7,3	-	-
Hink 3	-	4,8	-	-
Hink 4	-	5,6	-	-
Provgrop 3	12,30	-	2,1	20,7
Hink 1	-	6,3	-	-
Hink 2	-	6,0	-	-
Hink 3	-	6,6	-	-
Hink 4	-	6,6	-	-
Provgrop 4	8,60	-	2,2	22,1
Hink 1	-	4,3	-	-
Hink 2	-	4,7	-	-
Hink 3	-	5,4	-	-
Hink 4	-	4,6	-	-
Provgrop 5	16,50	-	1,5	15,3
Hink 1	-	7,3	-	-
Hink 2	-	5,9	-	-
Hink 3	-	6,0	-	-
Hink 4	-	6,1	-	-
Medelvärde	-	-	-	19,3

Varje hink väger 0,2 kg vilket har dragits bort från massan

3.3 Parameterbestämning

3.3.1 Parametrar Plaxis 2D Soft Soil Creep

Kryppparametern α_s utvärderas från stegvisa ödometerförsök med ekvation (2.5) och sätts in i ekvation (3.1) (Olsson, 2010).

$$\mu^* = \frac{\alpha_s}{\ln(10)} \quad (3.1)$$

Tabell 2 Parametrar till vänster från TK Geo 11 och framtagna parametrar från stegvisa ödometerförsök till höger (Trafikverket, 2011).

Kryppparameter utvärderade från vattenkvoten					
Lera		Utvärderd från stegvisa ödometerförsök			
W[%]	α_s max	W[%]	α_s max	Borrhål	
25	0,000	26	0,00565	12GT27	stegvis
30	0,002	31	0,002	12GT03	CRS
40	0,006	48	0,0055	12GT05	CRS
-	-	48	0,0055	12GT06	stegvis

Vid bestämning av parametern, modifierat kompressionsindex λ^* , kan lutningen på den normalkonsoliderade kompressionskurvan för en jord avläsas från stegvisa ödometerförsök. Lutningen för av- och pålastningskurvan multiplicerat med faktor 2, vilket bestämmer det modifierade svällningsindex κ^* .

Om endast CRS-försök är utförda kan ekvation (3.2) och (3.3) tillämpas (Olsson, 2010).

$$\kappa^* \approx \frac{2 \cdot \sigma'_v}{M_0} \quad (3.2)$$

där σ'_v är medelvertikalspänningen för det bestämda djupet i området före förkonsolideringstrycket.

$$\lambda^* \approx \frac{1,1 \cdot \sigma'_{vc}}{M_L} \quad (3.3)$$

där σ'_{vc} är medelspänningen av förkonsolideringstrycket och den rådande vertikala effektivspänningen.

Viljordtryckskoefficienten K_0 för normalkonsoliderad lera utvärderas enligt TK Geo 2011 där den empiriska ekvationen (3.4) gäller (Trafikverket, 2011).

$$K_0 = 0,31 + 0,71(W_L - 0,2) \quad (3.4)$$

För överkonsoliderad lera gäller ekvationen (3.5).

$$K_{0,OCR} = K_0 \cdot OCR^{0,55} \quad (3.5)$$

Tabell 3 Vilojordtryckscoefficienten för olika leror

Geo-ID	Material	OCR	K_0	$K_{0,OCR}$
12GT03	Lera 1	3,2	0,452	0,857
12GT03	Lera 2	2	0,452	0,662
12GT05	Lera 3	4	0,473	1,015

3.3.1.1 Permeabiliteten

Flödesparametrarna för moränen har angetts dräneringsmodellen USDA Van Genuchten Sandy loam type K_v är 86,4 m/dag. Bankfyllningen antas ha standardmodellen för vattenflödet. För leran har permeabiliteten utvärderats från CRS-försök 12GT03 och 12GT05. För CRS-försök 12GT03 är lerproverna tagna från 7,5 meter och 9,6 meters djup och för 12GT05 är provet taget från 3,5 meters djup.

Tabell 4 Lertjocklek och konduktiviteten för de olika sektionerna.

Sektion 1+05,60

Geo-ID	Typ	Djup[m]	Tjocklek[m]	k [m/dag]
12GT03	CRS	7,5	3,8	2,16E-05
12GT03	CRS	9,6	2,5	4,06E-05

Sektion 0+45,66

Geo-ID	Typ	Djup[m]	Tjocklek[m]	k [m/dag]
12GT05	CRS	3,5	5	1,30E-05
12GT03	CRS	7,5	2,2	2,16E-05

3.3.1.2 Simulering av uppfyllnad

I Plaxis 2D AE är lastuppfyllanden simulerad genom att ange ligg tiden för varje uppfyllnad. Ligg tiden är bestämd genom inmätningar av uppfyllnaden. När simuleringen sker görs detta genom att tilldela varje steg en fas. Det startar alltid med ursprungsfasen där ingen belastning

finns. Därefter läggs första laststeget på och en odränerad plastisk fas läggs till. Liggtiden för den plastiska fasen är alltid 0 dagar. Efter den plastiska fasen kommer en konsolideringsfas där liggtiden anges och jordtypen ändras till dränerande läge. Detta sammanfattar en uppfyllnadscykel som upprepar sig tills uppfyllnadsstegen är klar. Efter att uppfyllnaden är klar sker endast konsolidering där perioden är totalt 100 år.

Tabell 5 Schema över simuleringscykeln i Plaxis 2D AE

ID	Start from	Calculation	Loading input	Time [days]
Initial phase	N/A	K_0 procedure	Unsigned	0
Phase 1, Första uppfyllnaden	0	Plastic analysis	staged construction	0
Phase 2, Konsolidering	1	Consolidation analysis	staged construction	31
Phase 3, Andra uppfyllnaden	2	Plastic analysis	staged construction	0
Phase 4, Konsolidering	3	Consolidation analysis	staged construction	31

3.3.1.3 Sektion 1+05,60

Tabell 6 Parameterar utvärderade från CRS-försök och Stegvisa ödometerförsök

Parametrar till Plaxis 2D AE Sektion 1+05,60

Geo-ID	Typ	Tjocklek[m]	γ_{sat} [kN/m ³]	κ	λ	μ	c'	$\bar{\sigma}$	OCR	v'	ψ	k [m/dag]	e _{int}	k [m/s]
12GT03	Lera 1	3,8	19,5	0,0014	0,0445	0,00239	2	30	3,2	0,15	0	2,16E-05	1	3E-10
12GT03	Lera 2	2,5	19,3	0,0029	0,0211	0,00239	2	30	2	0,15	0	4,06E-05	1	5E-10
	Typ	Tjocklek	γ_{sat} [kN/m ³]	γ_{unsat} [kN/m ³]	-	e _{int}	c'ref	φ'	E'[kPa]	v'	ψ			
-	Morän	2m	20	18	-	0,5	0,21	39,9	63325	0,4	9,6	-	-	-
-	Bankfyllning	-	19,3	19,3	-	0,5	0,21	42	50000	0,4	6	-	-	-

Tvärkontraktionstalet leran har utvärderats från (Braja, 2010) där typen av lera valdes till lös. Spannet för tvärkontraktionstalet ligger då mellan 0,15 – 0,25. För moränen valdes ur samma tabell 0,4.

Tabell 7 Uppfyllnader med tidssteg sektion 1+05,60

Plaxis 2D AE Uppfyllnader med tidssteg sektion 1+05,60

	Datum	Uppfyllnad [m]	Tunghet [kN/m ³]	Last [kPa]	tid [dagar]
1	121130	1,656	19,3	32	31
2	121231	3,312	19,3	64	31
3	130131	4,968	19,3	96	28
4	130228	6,624	19,3	128	31
5	130331	8,28	19,3	160	30
6	130430	9,936	19,3	192	23
7	130523	11,592	19,3	224	11
8	130603	12,453	19,3	240	14
9	130617	13,186	19,3	254	100
10	130930	13,747	19,3	265	21

3.3.1.4 Sektion 0+45,66

Tabell 8 Parameterar utvärderade från CRS-försök och Stegvisa ödometerförsök

Parametrar till Plaxis 2D AE Sektion 0+45,66

Geo-ID	Typ	Tjocklek[m]	γ_{sat} [kN/m ³]	κ	λ	μ	c'	ϕ	OCR	v'	ψ	k [m/dag]	e _{int}	k [m/s]
12GT05	Lera 3	5	17,6	0,0017	0,0647	0,00239	2	30	4	0,15	0	1,30E-05	1	2E-10
12GT03	Lera 1	2,2	19,5	0,0046	0,0539	0,00239	2	30	3,2	0,15	0	2,16E-05	1	3E-10
	Typ	Tjocklek	γ_{sat} [kN/m ³]	γ_{unsat} [kN/m ³]	-	e _{int}	c'ref	ϕ'	E'[kPa]	v'	ψ			
-	Morän	2m	20	18	-	0,5	0,21	39,9	63325	0,4	9,6	-	-	-
-	Bankfyllning	-	19,3	19,3	-	0,5	0,21	42	50000	0,4	6	-	-	-

Tabell 9 Uppfyllnader med tidssteg sektion 0+45,66

Uppfyllnader med tidssteg sektion 0+45,66

	Datum	Uppfyllnad [m]	Tunghet [kN/m ³]	Last [kPa]	tid [dagar]
1	121130	0,914	19,3	17,6	31
2	121231	1,828	19,3	35	31
3	130131	2,742	19,3	53	28
4	130228	3,656	19,3	70	31
5	130331	4,57	19,3	88	30
6	130430	5,484	19,3	106	23
7	130523	6,398	19,3	123	11
8	130603	6,713	19,3	129	14
9	130617	7,047	19,3	136	8
10	130625	8,918	19,3	172	43
11	130807	10,144	19,3	196	16
12	130815	10,693	19,3	206	8
13	130823	13,121	19,3	253	25
14	130930	15,3774	19,3	297	21

3.3.2 Parametrar GS Settlement Chalmersmodellen

GS Settlement utgår ifrån CRS-metoden när parametrar skall bestämmas. Från de genomförda CRS-försöken kan lerans parameterar M_0 , M_L och M' utvärderas. Då materialet är begränsat kompletteras utvärdringen med empiriska samband.

Leran har antagits vara lågplastiskt, Ur TK GEO 2011 ges följande samband $M_0 = 500 \cdot c_u$ för lågplastiska leror.

Förkonsolideringstrycket utvärderas utifrån CRS-försöken. Då ett av CRS-försöken inte kunnat påvisa förkonsolideringstrycket har (Hansbo, 1957) empiriska formel $\sigma_c = c_u \cdot 0,45 \cdot w_L$ där w_L är konflytgränsen i decimaltal.

Kryppparameteren r_s för GS Settlement bestäms från stegvisa Ödometerförsök 12GT06 genom en omskrivning av ekvation (2.13):

$$r_s = \frac{\ln(10)}{\alpha_s} \quad (3.7)$$

I (Alén & Olsson, 2009) ges förslag på hur kryppparametrarna skall väljas. Det finns 6 okända parametrar som skall bestämmas, a_0 , a_1 , b_0 , b_1 , r_0 och r_1 . För spänningar över förkonsolideringstrycket gäller följande:

- a_0 , a_1 antar värdet 0,8 respektive 1,0.
- r_1 bestäms genom ekvation (3.7) eller enligt rekommendationer från (Claesson, 2003). I detta fall har ekvation (3.7) tillämpats.
- r_0 bestäms genom formeln $r_0 = \psi \cdot (b_1 - b_0) + r_1$ där $b_0 = \frac{\sigma'_0}{\sigma'_c}$ och $\psi = 2000$ till 3000. σ'_0 beskriver in situ spänningen och σ'_c förkonsolideringstrycket. ψ beskriver lutningen mellan r_0 och r_1 .
- b_1 antas till 1,1 för båda skikten.

Lastspridningen modelleras med finite Boussinessq där ytan har storleken 20x20 meter. Ur sektion 1+05,60 och 0+45,66 beräknas en medelnivå för varje uppfyllnadssteg med bredden 20 meter.

Grundvattennivån antas ligga vid lerans överkant för sektion 1+05,60 och för sektion 0+45,66. En känslighetsanalys kommer att göras där nivån antar olika värden.

Permeabiliteten k_{int} vilket anges i m/år i GS Settlement utvärderas från CRS-försök 12GT03 på 7,5 och 9,6 meters djup. Parametern β_k beskriver permeabilitetens förändring vid kompression.

3.3.2.1 Sektion 1+05,60

Lerlagret har delats upp i två skikt där det ena skiktet har tjockleken 3,8 meter och det andra skiktet 2,5 meter. Denna sektion består av endast ostörd lera. Här har parametrarna utvärderats främst från CRS-försök 12GT03 för 7,5 och 9,6 meters djup. Kryppparametrarna utvärderas från stegvisa ödometerförsök 12GT06, se tabell 2. Permeabiliteten ligger på $2,5 \cdot 10^{-10}$ m/s för det övre lerskiktet och $4,7 \cdot 10^{-10}$ m/s för det underliggande.

Tabell 10 Parameterar utvärderade från CRS-försök och Stegvisa ödometerförsök

GS Settlement val av parametrar sektion 1+05,60

Geo id	jordtyp	Djup	M_0 [kPa]	M_L [kPa]	M'	σ'_c [kPa]	σ'_L [kPa]	r_0	r_1	b_0	b_1	\mathbf{y}	k_{in} m/år	β_k
12GT03	Lera	3,8	12500	3314	9,4	228	331	1565	419	0,64	1,1	2500	0,0079	1,8
12GT03	Lera	2,5	16250	6468	14	181	222	610	419	1,02	1,1	2500	0,0148	2,4

Tabell 11 Uppfyllnader med tidssteg sektion 1+05,60

Uppfyllnader med tidsteg sektion 1+05,60

	Datum	Uppfyllnad [m]	Tunghet [kN/m ³]	Last [kPa]	tid [år]	Delta sigma	faktor	tid GS
1	121130	1,656	19,3	32	0,0849	0	1	0,0849
2	121231	3,312	19,3	64	0,0849	32	2,0	0,1699
3	130131	4,968	19,3	96	0,0767	32	3,0	0,2466
4	130228	6,624	19,3	128	0,0849	32	4,0	0,3315
5	130331	8,28	19,3	160	0,0822	32	5,0	0,4137
6	130430	9,936	19,3	192	0,0630	32	6,0	0,4767
7	130523	11,592	19,3	224	0,0301	32	7,0	0,5068
8	130603	12,453	19,3	240	0,0384	17	7,5	0,5452
9	130617	13,186	19,3	254	0,0219	14	8,0	0,5671
10	130625	13,767	19,3	265	0,0274	11	8,3	0,5945
11	130705	14,425	19,3	278	0,0192	13	8,7	0,6137
12	130712	14,682	19,3	283	0,0712	5	8,9	0,6849
13	130807	14,191	19,3	274	0,0438	-9	8,6	0,7288
14	130930	13,747	19,3	265	0,0575	265	8,3	0,7863

3.3.2.2 Sektion 0+45,66

Lerlagret har delats upp i två skikt där det ena skiktet har tjockleken 5 meter och det andra skiktet 2,2 meter. Denna sektion består av en uppfyllnad på 5 meter lera och en ostörd del på 2,2 meter lera. Det översta lagret består av torrskorpelera som fraktats dit från intilliggande område. Det råder en viss osäkerhet kring parametrarna för denna lera därför har CRS-försök 12GT05 antagits gälla för denna lera. CRS-försök 12GT05 är tagen från 3,5 meters djup. För underliggande lerlager antas CRS-försök 12GT03 för 7,5 meters djup. Kryppparametrarna utvärderas från stegvisa ödometerförsök 12GT06, se tabell 2. Permeabiliteten ligger på $1,5 \cdot 10^{-10}$ m/s för det övre lerskiktet och $2,5 \cdot 10^{-10}$ m/s för det underliggande.

Tabell 12 Parameterar utvärderade från CRS-försök och Stegvisa ödometerförsök

GS Settlement val av parametrar sektion 0+45,66

Geo id	jordtyp	Djup	M ₀ [kPa]	M _L [kPa]	M'	σ'_c [kPa]	σ'_L [kPa]	r ₀	r ₁	b ₀	b ₁	y	k _{in} m/år	β_k
12GT05	Lera	5	11000	1169	12,5	107	150	1730	419	0,58	1,1	2500	0,0047	5,1
12GT03	Lera	2,2	12500	3314	9,4	228	331	1565	419	0,64	1,1	2500	0,0079	1,8

Tabell 13 Uppfyllnader med tidssteg sektion 0+45,66

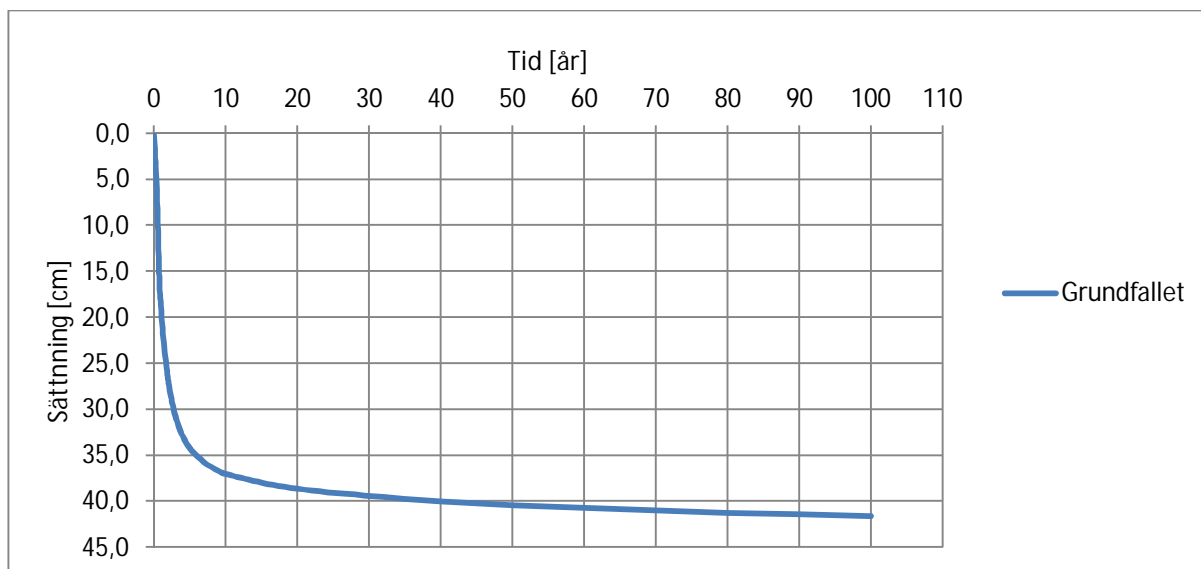
Uppfyllnader med tidsteg sektion 0+45,66

	Datum	Uppfyllnad [m]	Tunghet [kN/m ³]	Last [kPa]	tid [år]	Delta sigma	faktor	tid GS
1	121130	0,914	19,3	18	0,0849	0	1	0,0849
2	121231	1,828	19,3	35	0,0849	18	2,0	0,1699
3	130131	2,742	19,3	53	0,0767	18	3,0	0,2466
4	130228	3,656	19,3	70	0,0849	18	4,0	0,3315
5	130331	4,57	19,3	88	0,0822	18	5,0	0,4137
6	130430	5,484	19,3	106	0,0630	18	6,0	0,4767
7	130523	6,398	19,3	123	0,0301	18	7,0	0,5068
8	130603	6,713	19,3	129	0,0384	6	7,3	0,5452
9	130617	7,047	19,3	136	0,0219	6	7,7	0,5671
10	130625	8,918	19,3	172	0,0274	36	9,8	0,5945
11	130705	9,523	19,3	184	0,0192	12	10,4	0,6137
12	130712	8,941	19,3	172	0,0712	-11	9,8	0,6849
13	130807	10,144	19,3	196	0,0438	23	11,1	0,7288
14	130815	10,693	19,3	206	0,021918	11	11,7	0,7507
15	130823	13,121	19,3	253	0,0466	47	14,4	0,7973
16	130909	12,8414	19,3	248	0,0575	-5	14,0	0,8548
17	130930	15,3774	19,3	297	0,0575	49	16,8	0,9123

4 Resultat

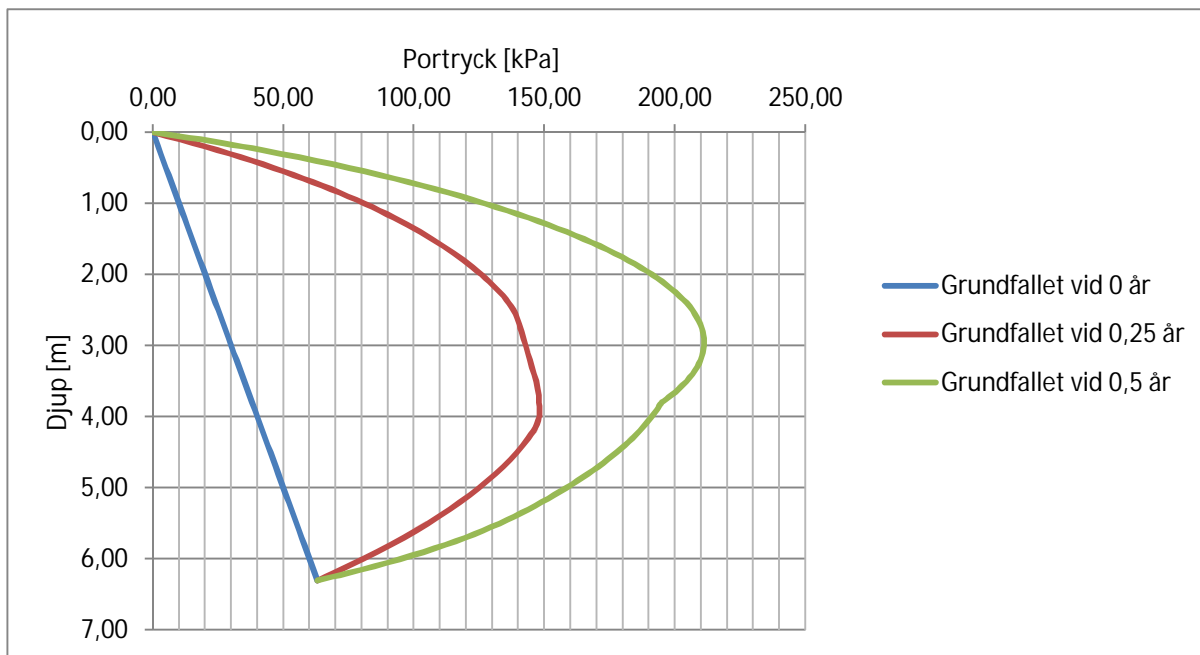
4.1 GS Settlement Chalmersmodellen

4.1.1 Sektion 1 +05,60



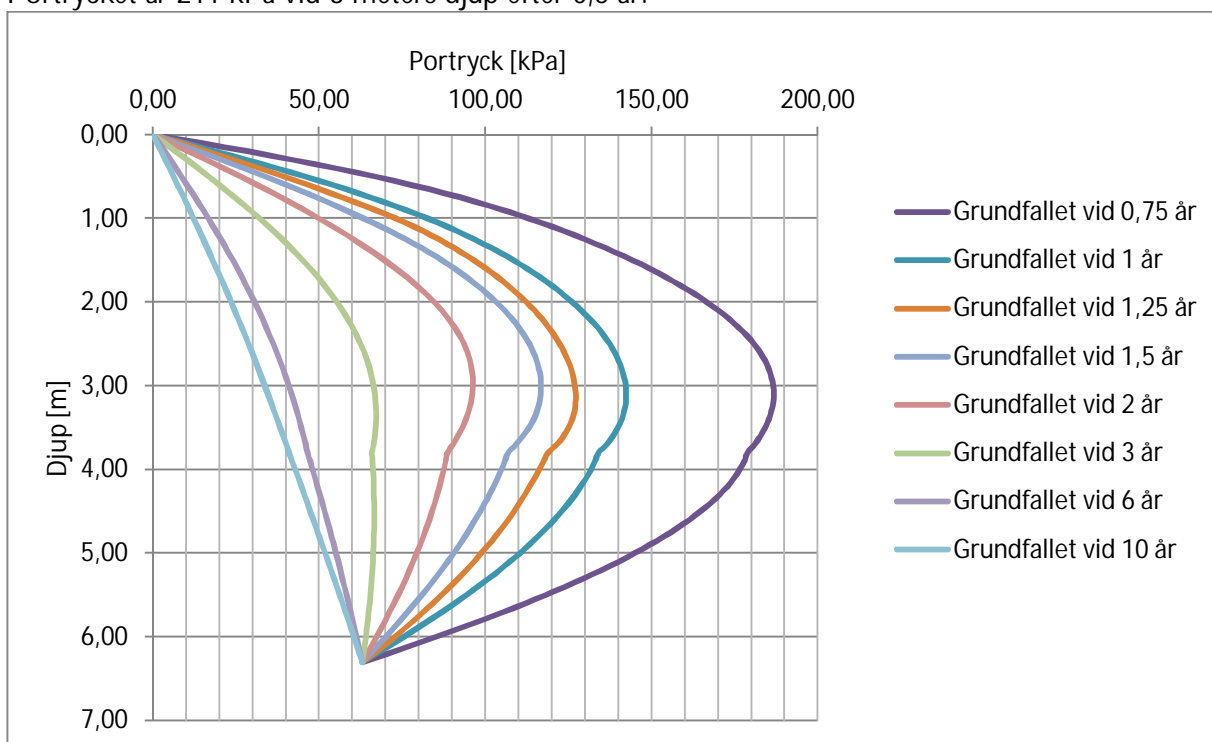
Figur 34 Sättningsutveckling 100 år, sektion1+05,60

Efter ett år är sättningen 19,3 cm. Detta motsvarar 46 procent av den totala sättningen. År två ökar sättningen till 26,9 cm som motsvarar en ökning med 19 procent jämfört med den totala sättningen. År tre och vidare sker en mer långsam sättningsutveckling. Den slutgiltiga sättningen blir 41,6 cm efter 100 år.



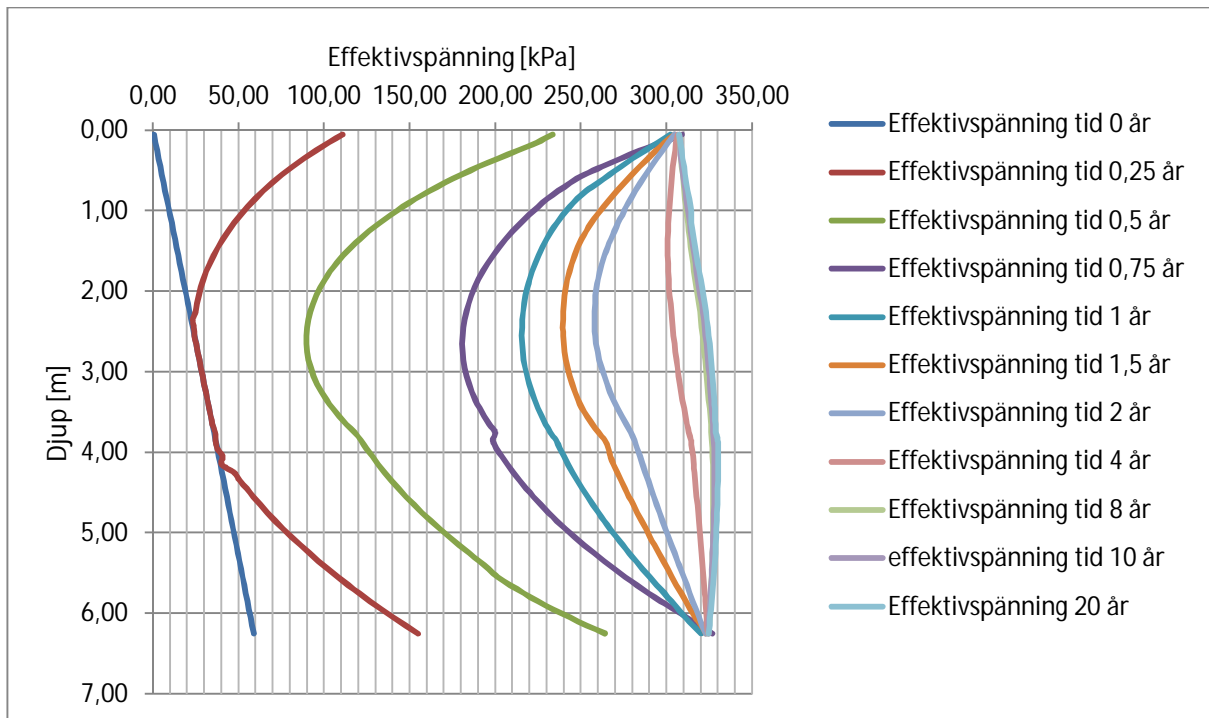
Figur 35 Portrycksutveckling fram till 0,5 år, sektion 1+05,60

Portrycket är 211 kPa vid 3 meters djup efter 0,5 år.



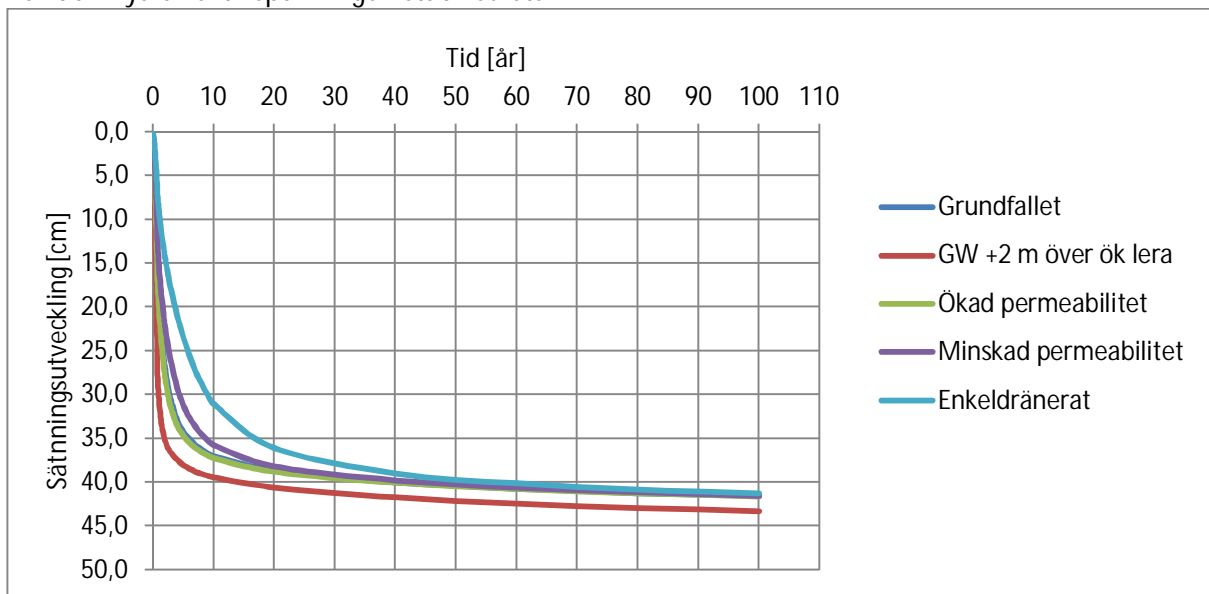
Figur 36 Portrycksutveckling fram till 10 år, sektion 1+05,60

Efter ett halvår börjar portrycket att avta. Från 0,75 år till 1 år minskar portrycket från 186 kPa till 142 kPa, vilket motsvarar en minskning av portrycket med 24 procent. Efter två år är portrycket nere i 96 kPa. Portrycket är nästan helt utjämnat efter 10 år.

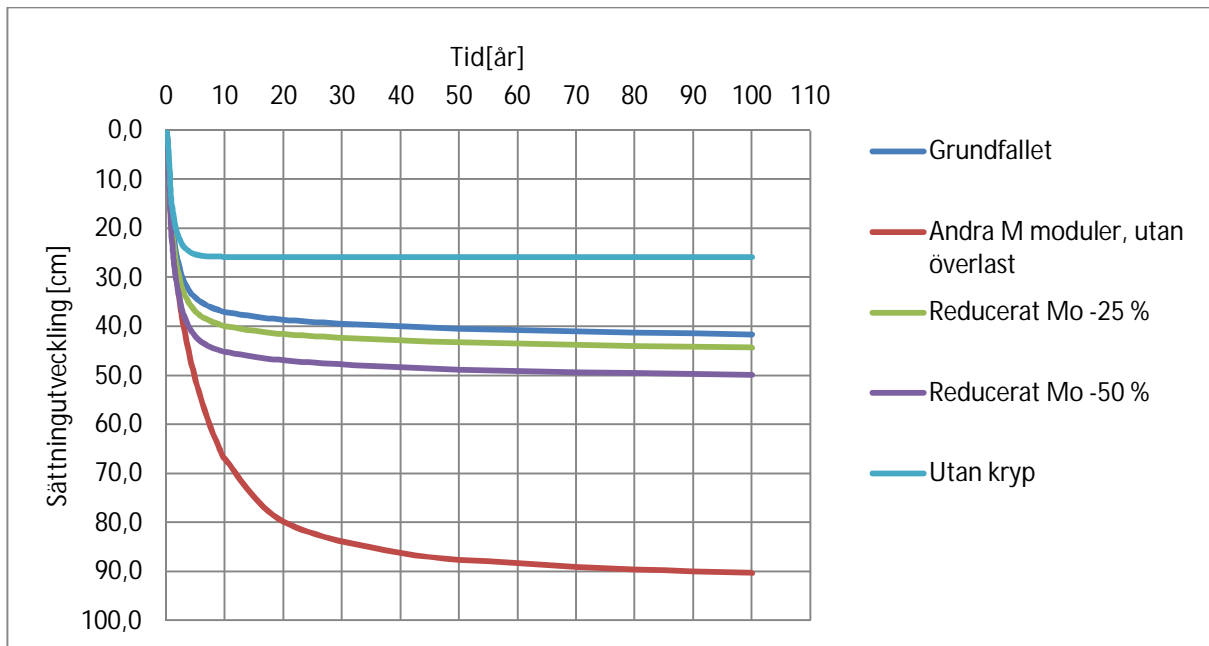


Figur 37 Effektivspänningsutveckling 10 år, sektion 1+05,60

Effektivspänningen ökar stadigt fram till 1 år för att sedan öka i någon mindre takt. Efter 20 år har den nya effektivspänningen stabiliserats.



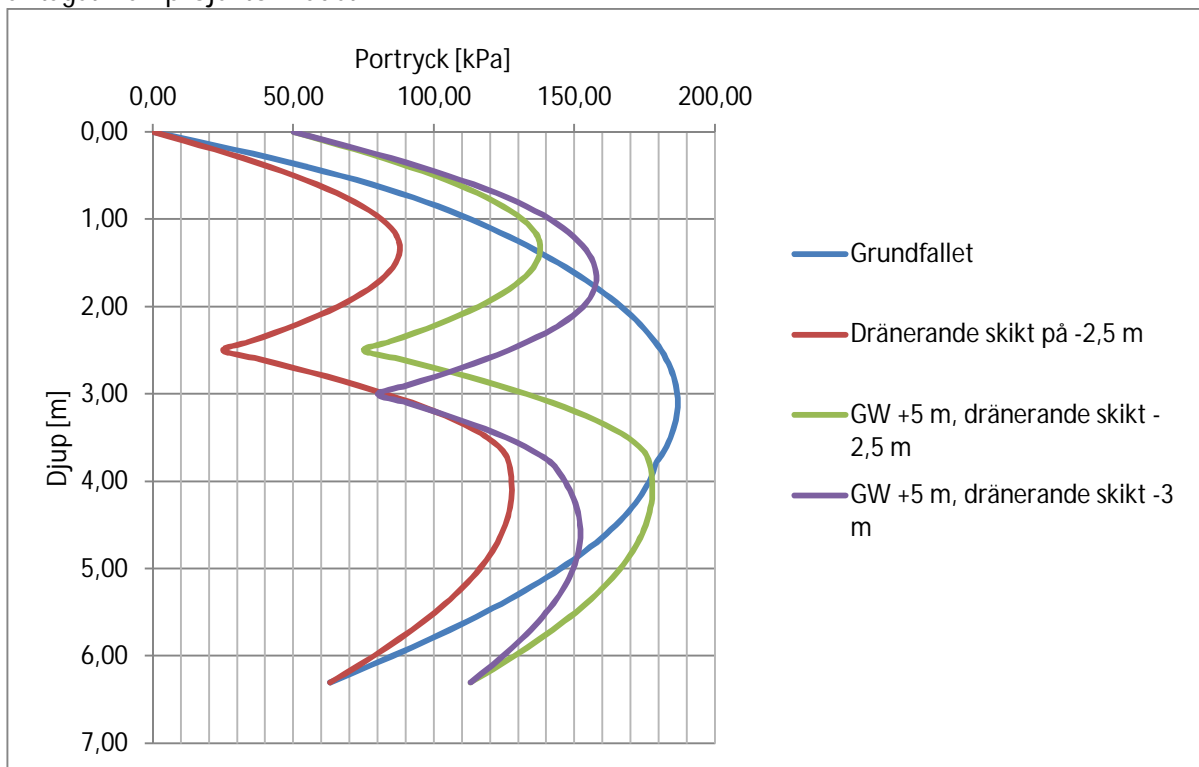
Figur 38 Sättningsutveckling med olika antaganden, sektion 1+05,60



Figur 39 Sättningsutveckling med olika antaganden, sektion 1+05,60

Figur 40 och 41 beskriver olika antaganden där parametrar ändrats från grundfallet. Sättningen utan kryp blir 25,8 cm efter 100 år. Jämfört med grundfallet där sättningen blev 41,6 cm efter 100 år kan konstatera att krypsättningen är 15,8 cm som motsvarar 38 % av den totala sättningen i grundfallet.

Den röda grafen i figur 41 beskriver ett fall baserat på CRS-försök, utan 8 meters överlast, som är taget från projektområdet.

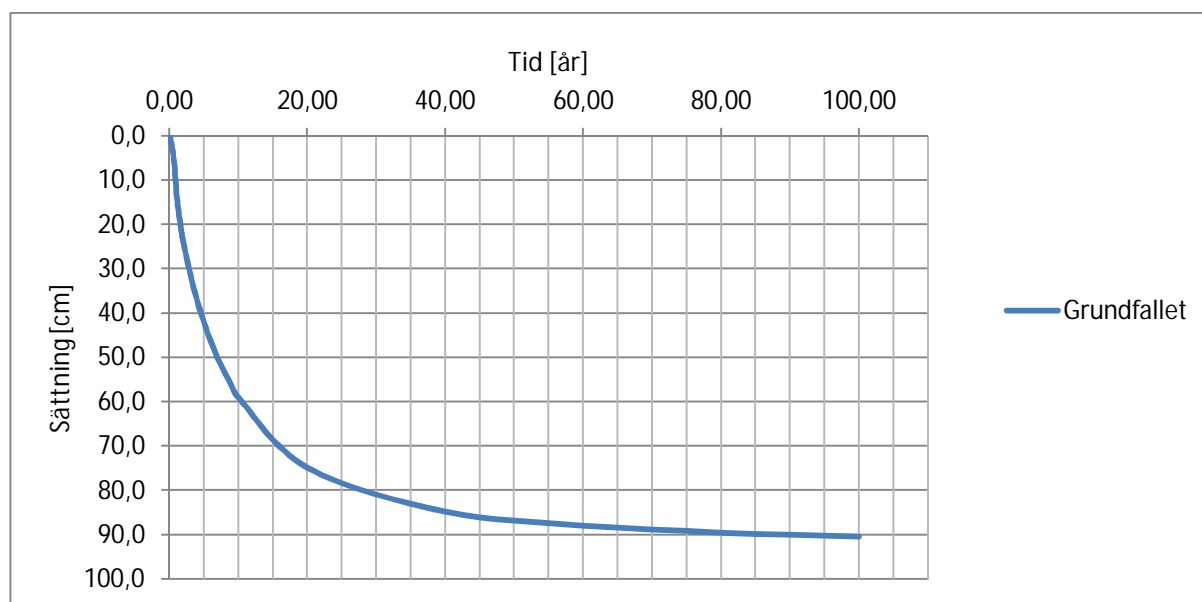


Figur 40 Portryckutveckling vid tiden 0,75 år med olika antaganden, sektion 1+05,60

Grundfallet jämförs här i figur 42 med tre olika fall där det finns ett dränerande sandskikt i mitten av lerlagret. Den röda och gröna grafen har båda ett dränerande skikt på -2,5 m.

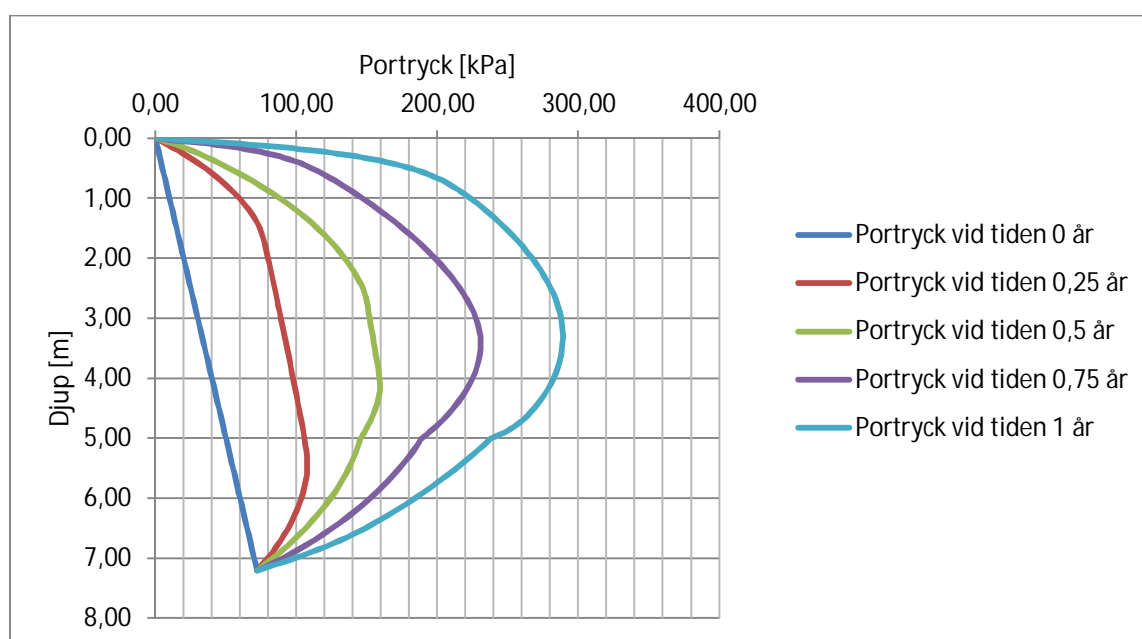
Skillnaden är endast grundvattennivån som för den röda ligger på + 0,0 m och för den gröna + 5 m. För den lila grafen ligger grundvattennivån på + 5 m och det dränerande skiktet på -3 m.

4.1.2 Sektion 0+45,66



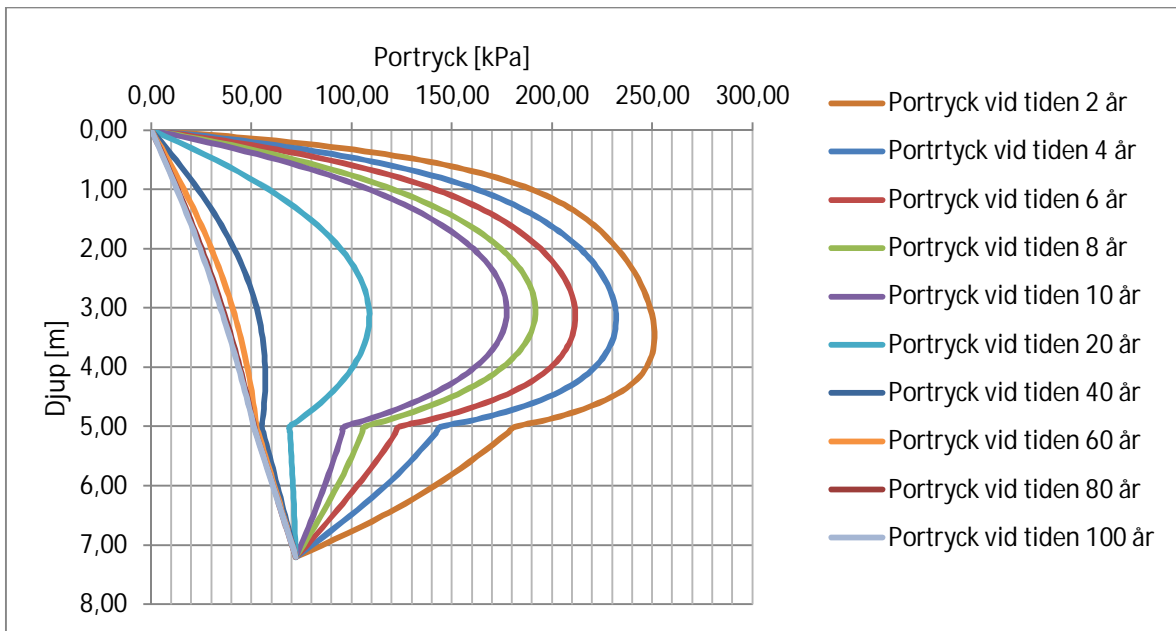
Figur 41 Sättningsutveckling 100 år, sektion0+45,66

Sättningsutvecklingen sker något mer långsamt för denna sektion, 0+45,66. Efter ett år är sättningen 12,8 cm. Detta motsvarar 14 procent av den totala sättningen. År två ökar sättningen till 23,9 cm som motsvarar en ökning med 10 procent jämfört med den totala sättningen. År tre är sättningen 31,2 cm, år 4 37,1 cm. Efter 100 år är sättningen 90,5 cm. Hela sättningsutvecklingen finns beskriven i tabell 15.



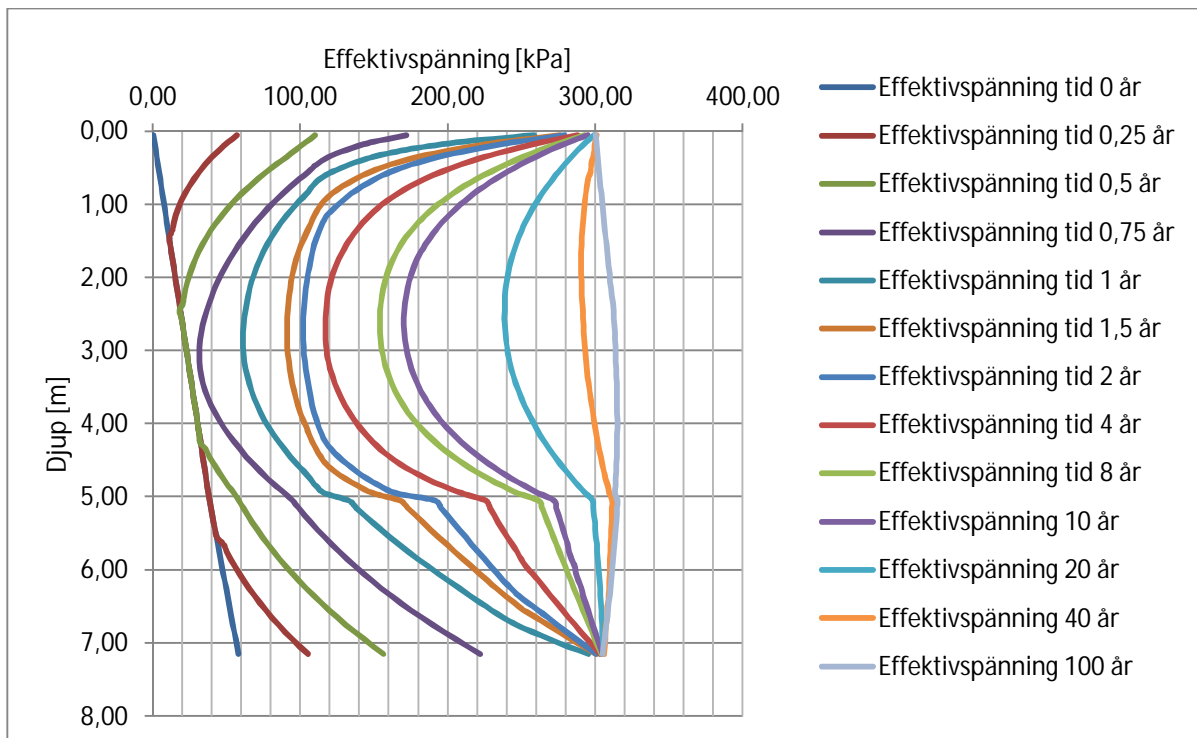
Figur 42 Portrycksutveckling 1 år, sektion0+45,66

Portrycket ökar under det första året och har ett högsta värde på 266 kPa vid 3,6 meters djup.

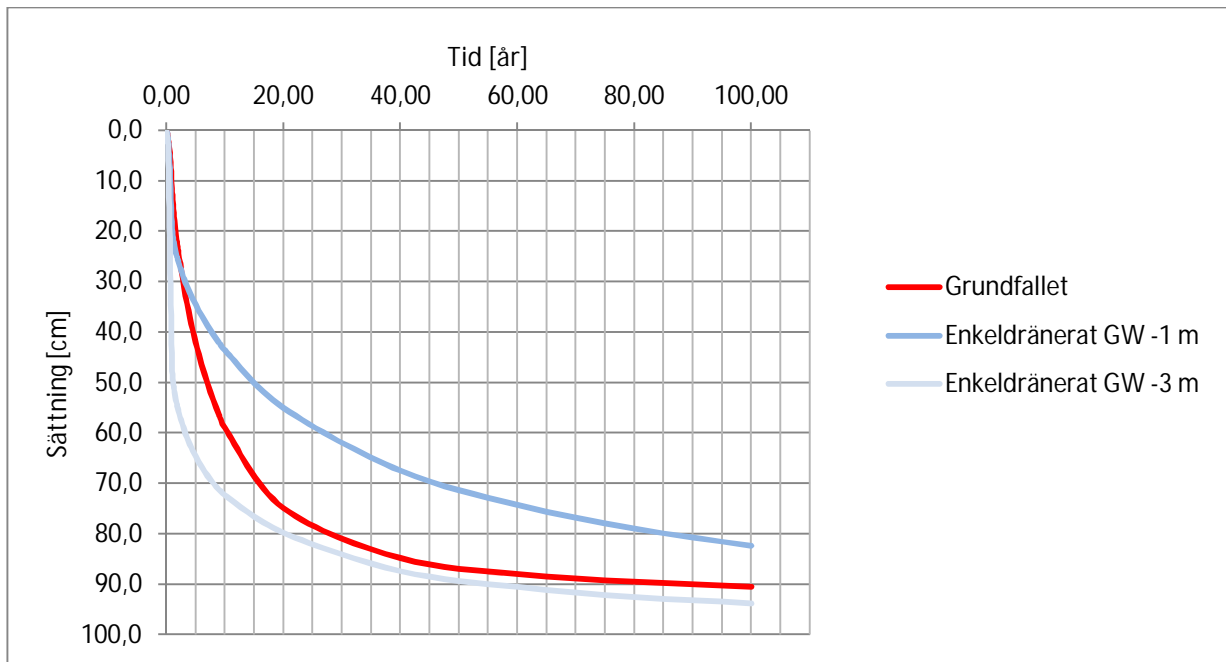


Figur 43 Portrycksutveckling 100 år, sektion0+45,66

I figur 45 visas år 2 att portrycket börjar sjunka från 250 kPa vid 3,6 meters djup till 239 kPa år 4. Portryckutjämnningen sker med ganska jämn takt fram till 100 år, då portrycket nästan är helt utjämnat.

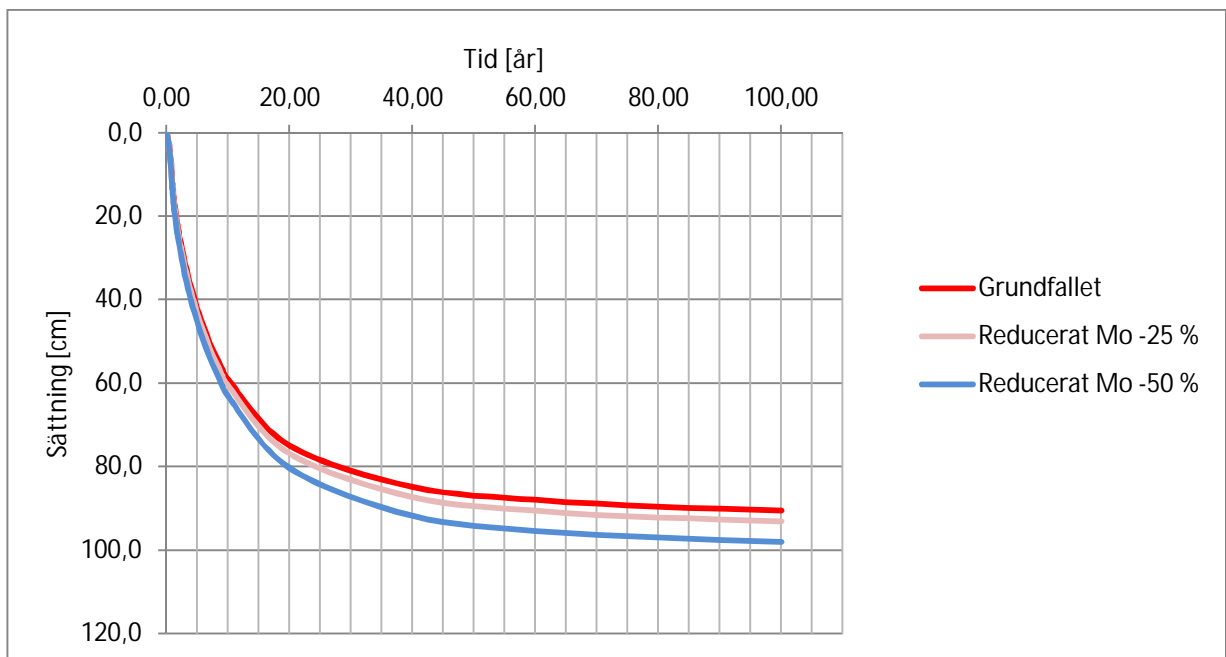


Figur 44 Effektivspänningsutveckling 20 år, sektion0+45,66



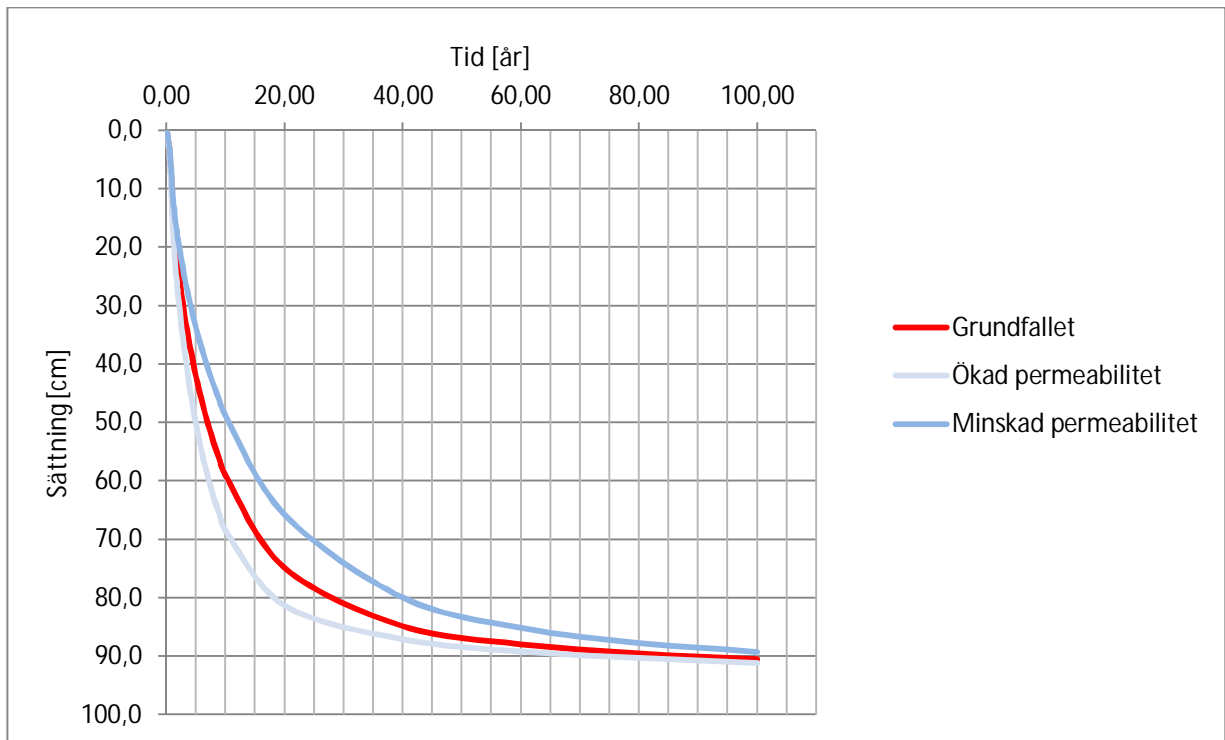
Figur 45 Sättningsutveckling med olika antaganden, sektion0+45,66

I figur 49 jämförs grundfallet med enkeldrainerat förhållanden och en varierande grundvattennivå. För enkeldrainerat GW -1 m blir sättningen 82,4 cm och för enkeldrainerat GW -3 m blir sättningen 93,8 cm.



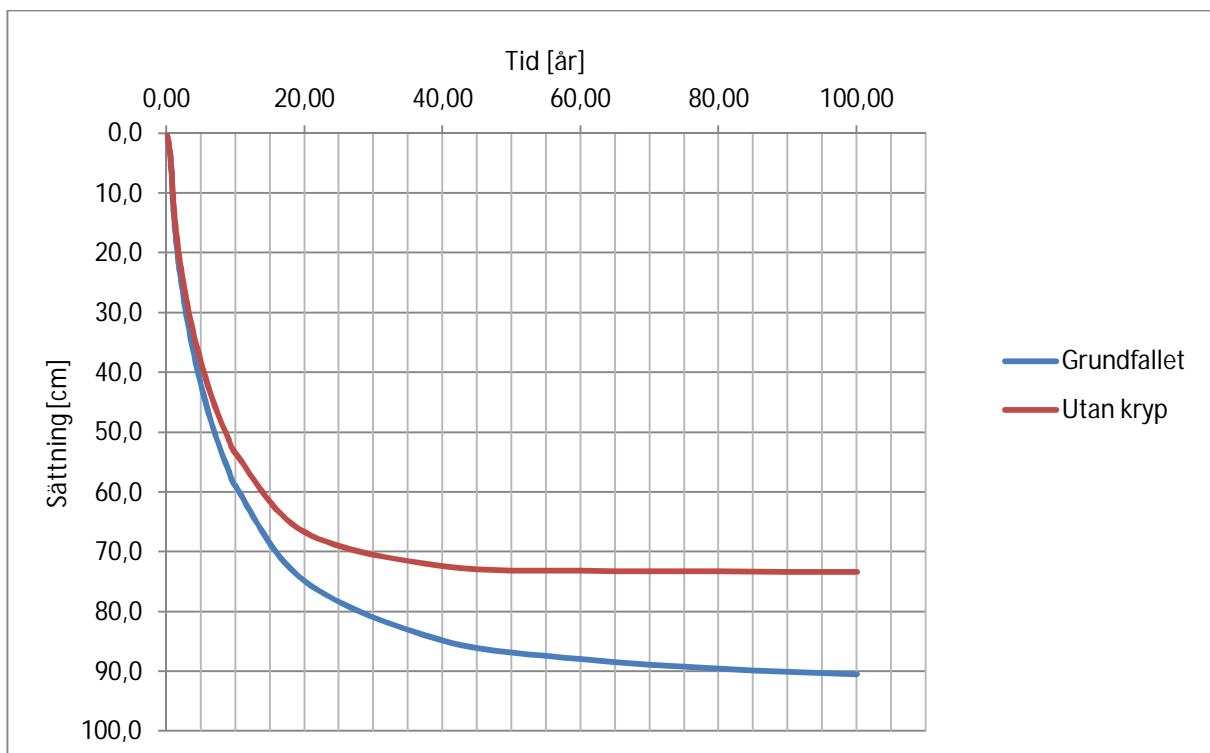
Figur 46 Sättningsutveckling med olika antaganden, sektion0+45,66

I figur 50 jämförs grundfallet med ett reducerat M_0 . Först med -25 % och sedan med -50 %. I detta fall ökar sättningen till 93,1 cm för M_0 -25 % och 98 cm för M_0 -50 %.



Figur 47 Sättningsutveckling med olika antaganden, sektion0+45,66

Figur 51 visar på skillnaden med en varierande permeabilitet. En minskad permeabilitet ger en mer flackare kurva än den med ökad.

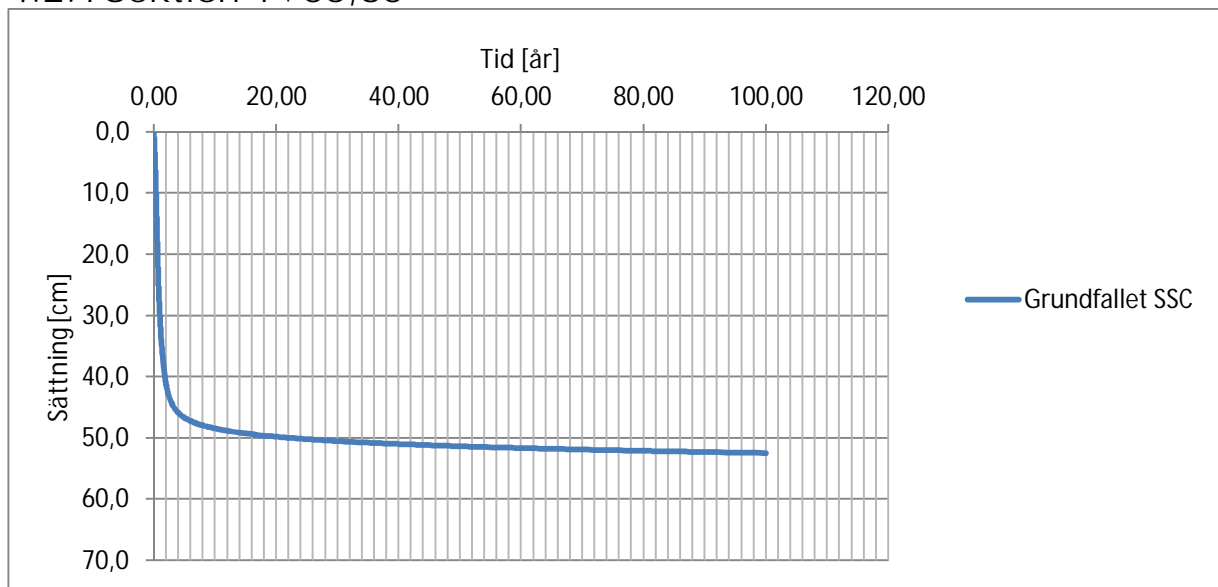


Figur 48 Sättningsutveckling med olika antaganden GS Settlement, sektion0+45,66

I figur 52 visas skillnaden på sättnigen utan kryp. Sättnigen utan kryp blir 73,3 cm, vilket är 17 cm mindre än grundfallet. Krypsättnigen är 19 % av den totala sättnigen i grundfallet.

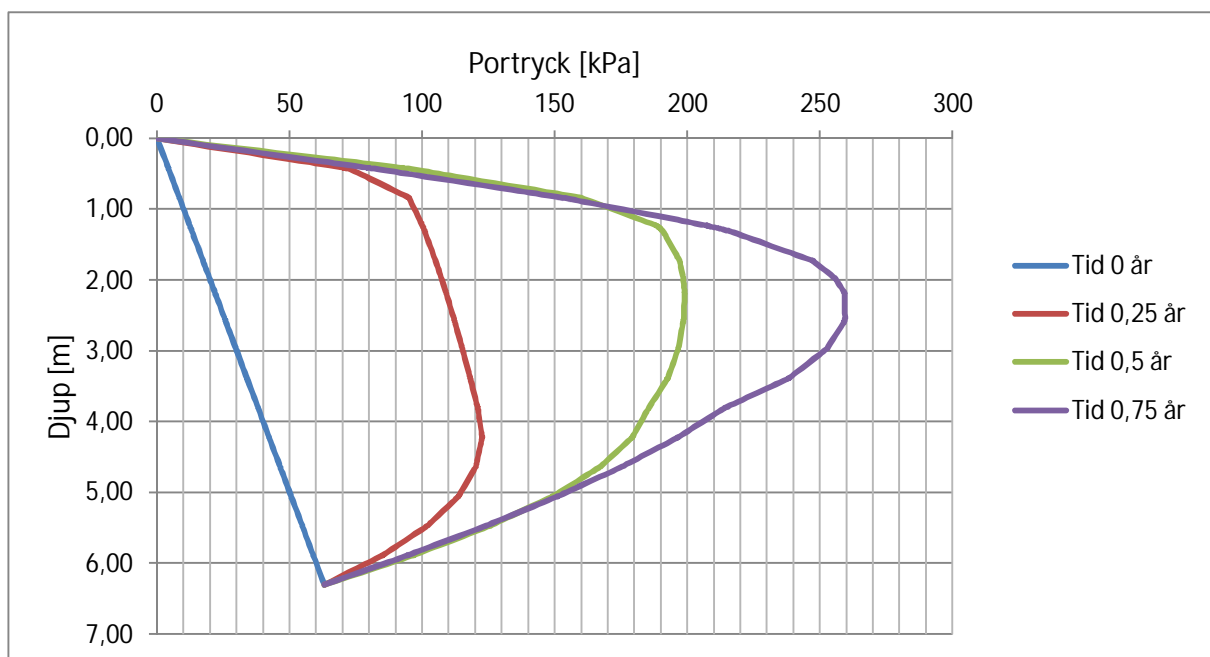
4.2 Plaxis 2D AE Soft Soil Creep

4.2.1 Sektion 1 +05,60

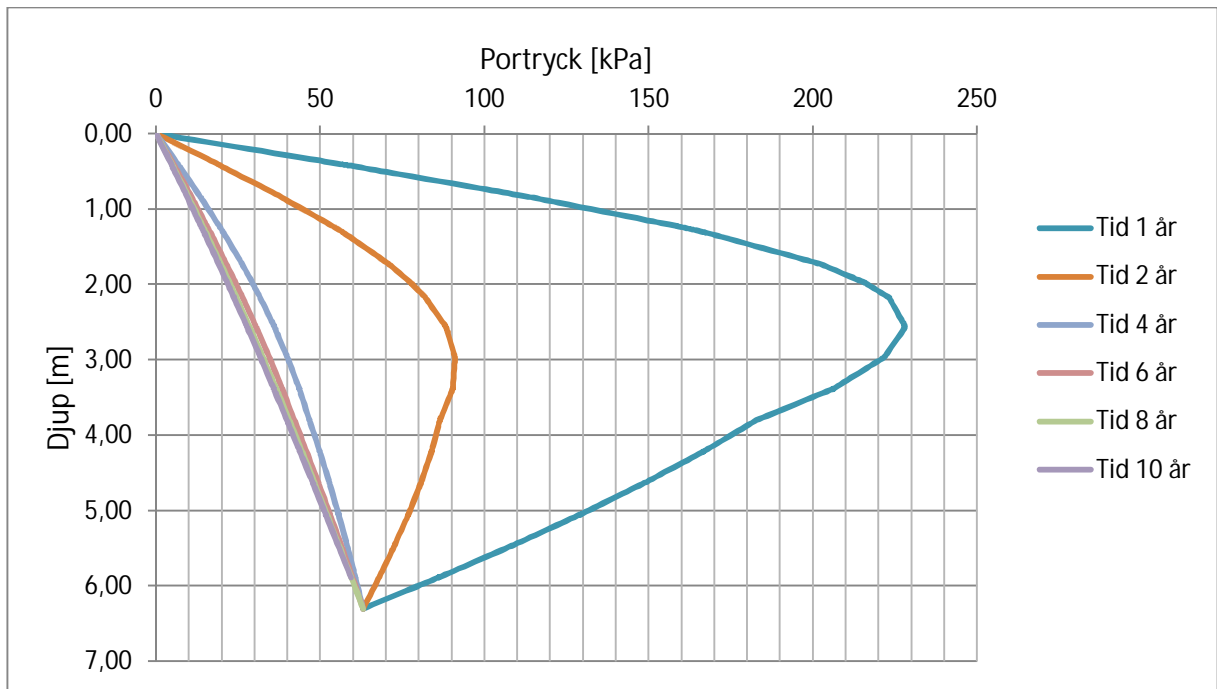


Figur 49 Sättningsutveckling 100 år, sektion 1+05,60

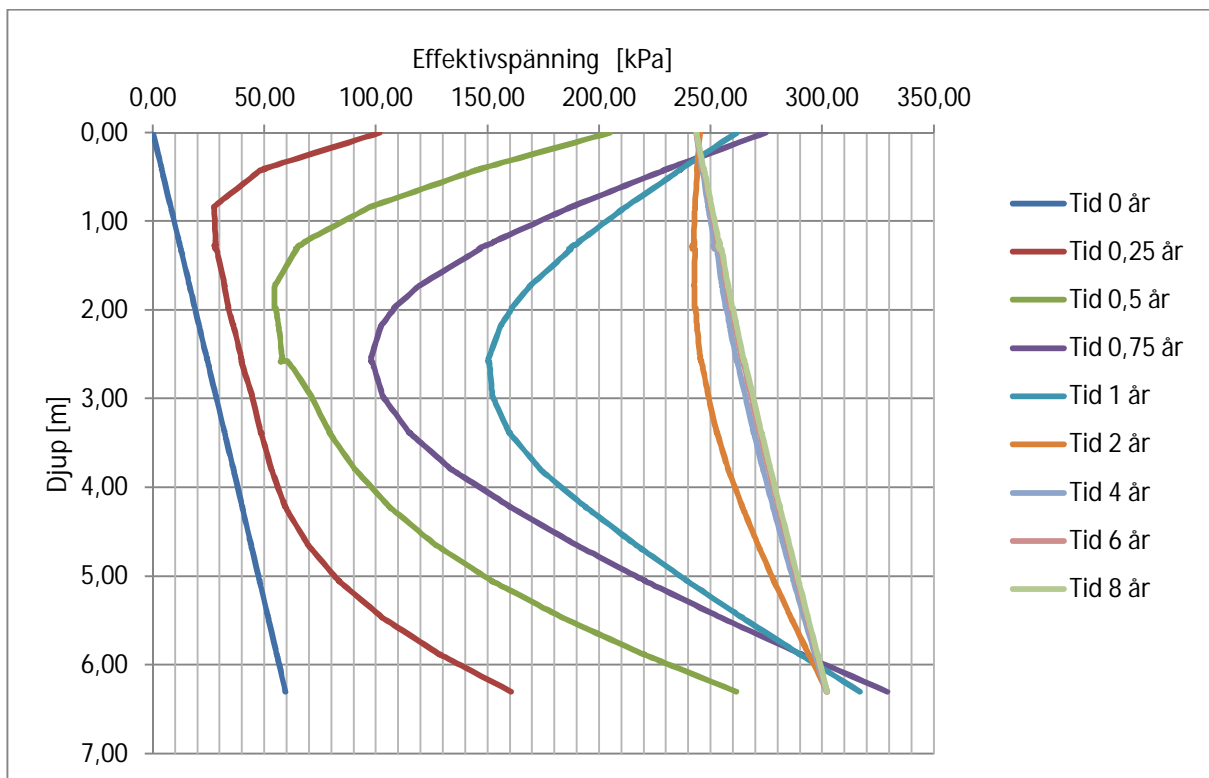
Den totala sättningen efter 100 år blir 52,4 cm. Efter ett år är sättningen 31 cm, vilket motsvarar 59 % av den totala sättningen. Efter två år är sättningen 41,4 cm. Se tabell 16 för en närmare beskrivning av sättningsutvecklingen.



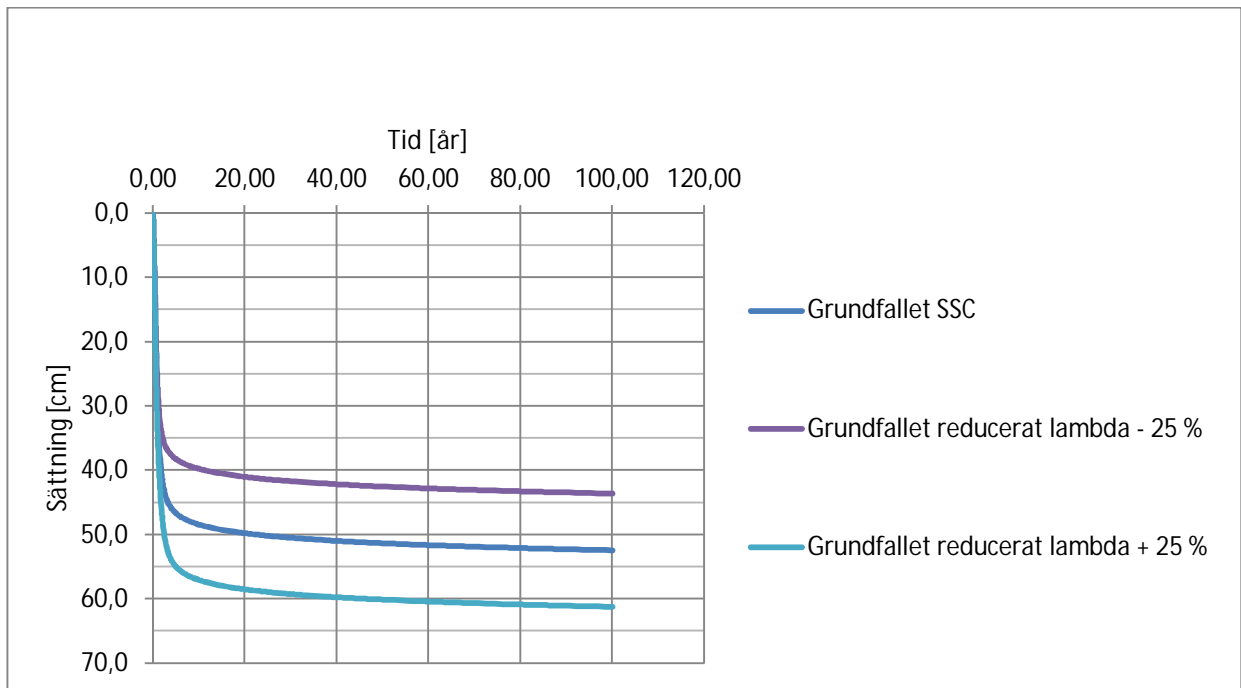
Figur 50 Portrycksutveckling fram till 0,75 år, sektion 1+05,60



Efter ett år är portrycket 228 kPa vid 2,6 meters djup. Vid år 2 har portrycket fallit till 90 kPa vid 3,4 meters djup. Vid år 6 är portrycket nästan utjämnat.

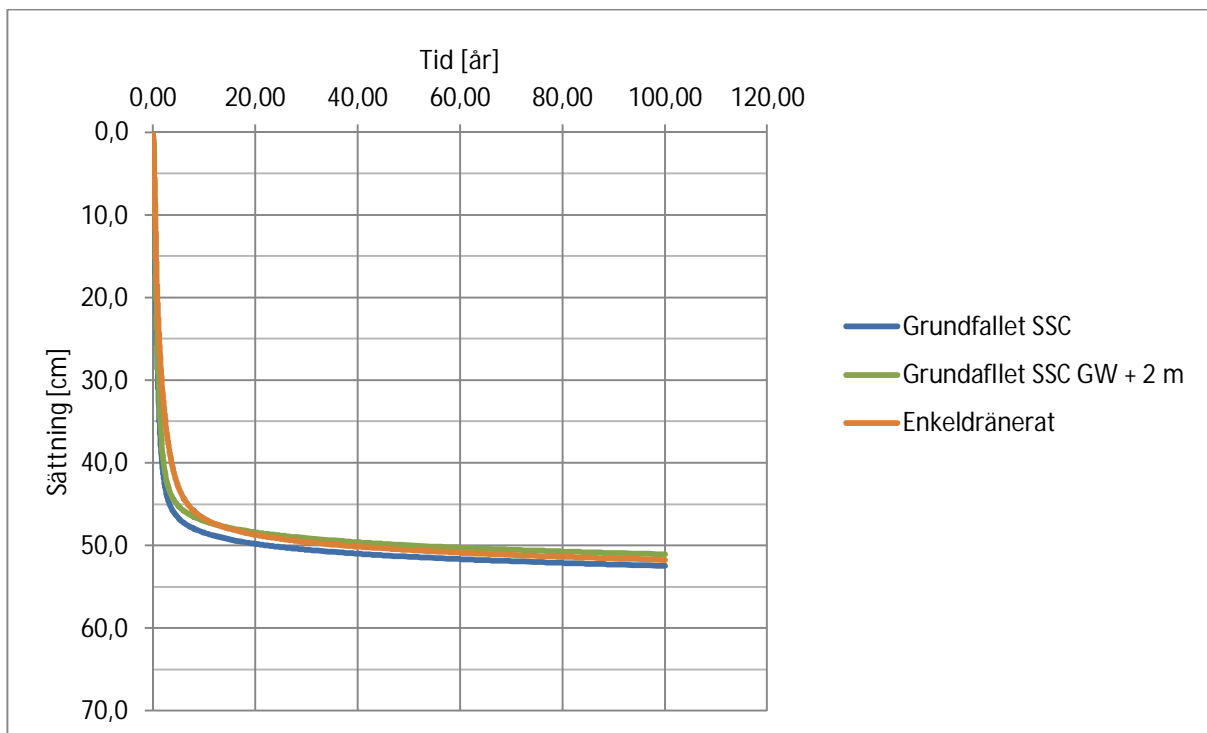


Effektivspänningen ökar konstant fram till 2 år. Därefter sker ökningen i något lägre takt. Efter 8 år har den nya effektivspänningen stabiliserats.



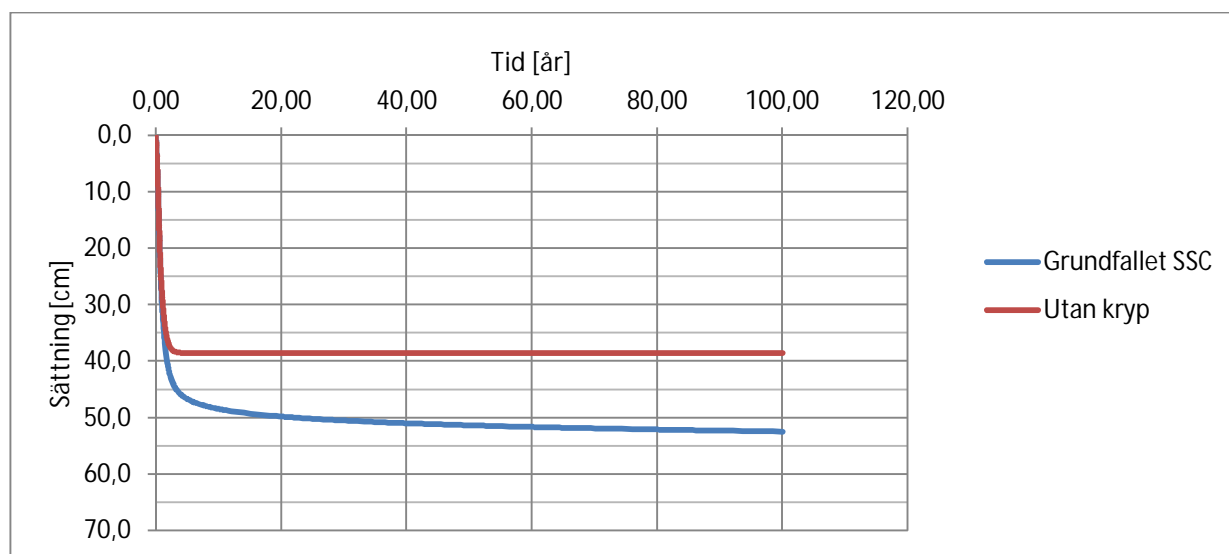
Figur 53 Sättningsutveckling med olika antaganden, sektion 1+05,60

Genom att variera lambda +/- 25 % illustreras resultatet i figur 57. Ett högre lambda ger en större sättning och ett lägre lambda ger en mindre sättning.



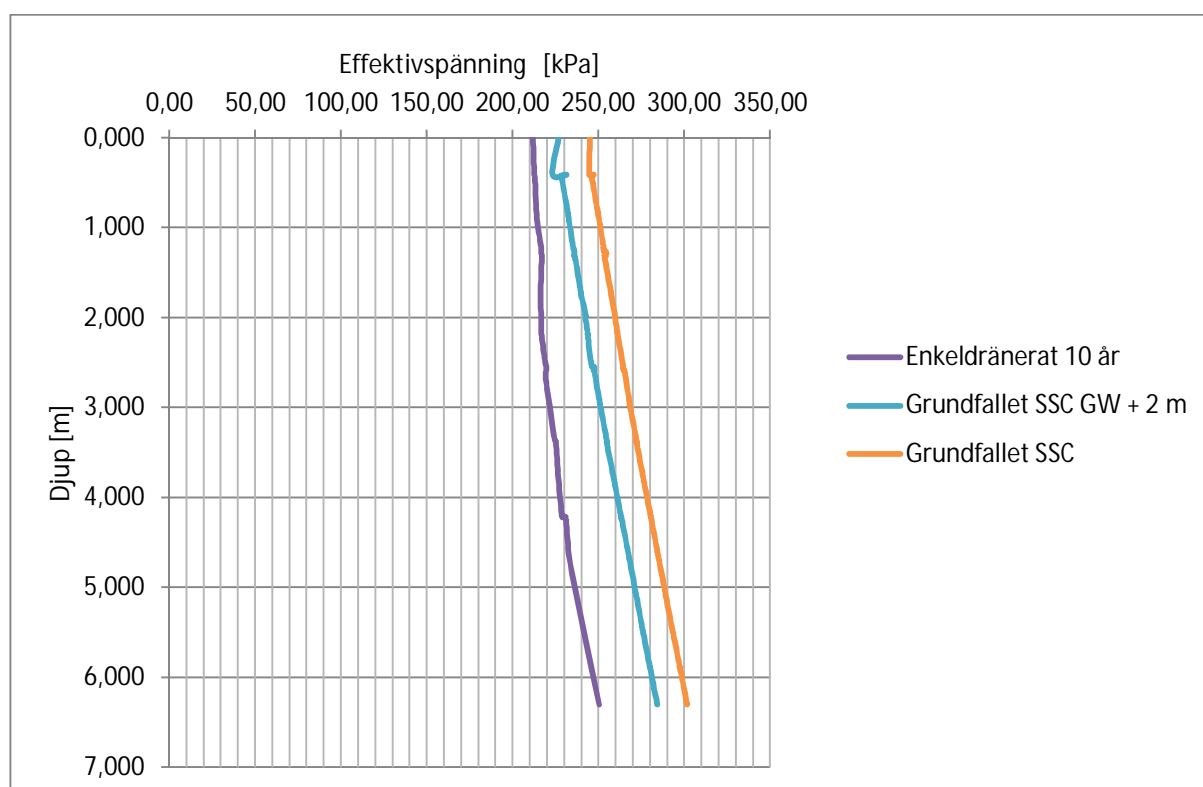
Figur 54 Sättningsutveckling med olika antaganden, sektion 1+05,60

Genom att anta olika förhållanden fördräneringsvillkoren och grundvattennivån resulterar detta i olika sättningar. För den gröna grafen GW + 2 m är sättningen 51 cm efter 100 år och för det enkeldrainerande förhållandet är sättningen 51,7 cm efter 100 år.



Figur 55 Sättningsutveckling med olika antaganden, sektion 1+05,60

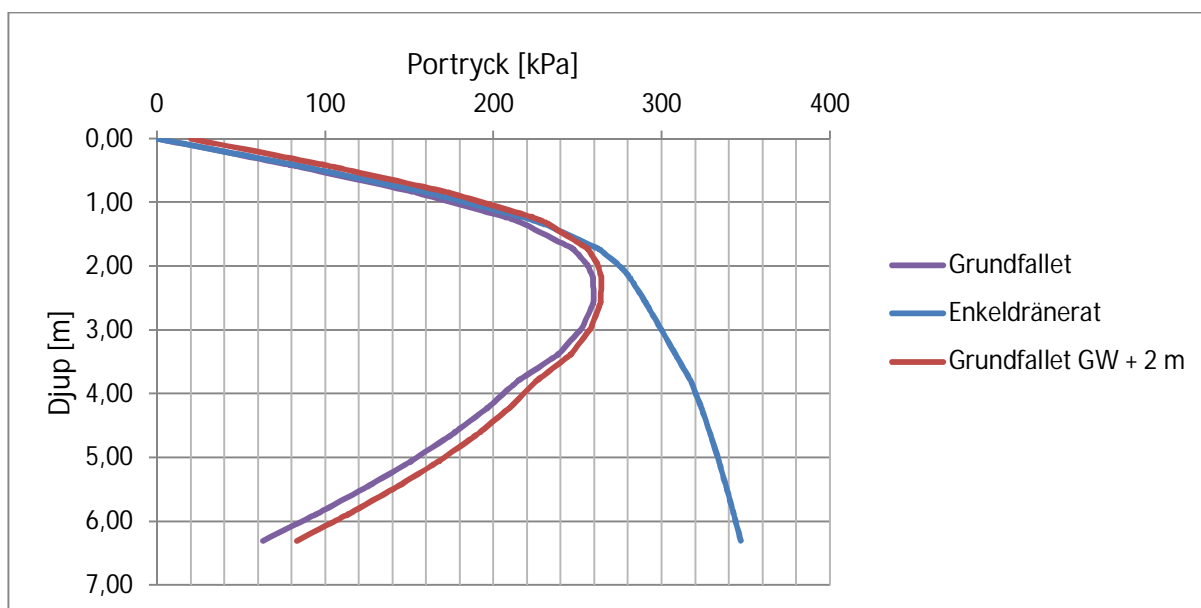
Den röda grafen visar på hur stor sättningen blir utan krypsättningar. I detta fall blir sättningen utan kryp 38,5 cm efter 100 år. Jämfört med grundfallet är krypsättningen 27 % av den totalasättningen.



Figur 56 Effektivspänningen vid olika antaganden efter 10 år, sektion 1+05,60

Efter tio år har den nya effektivspänningen antagits. I figur 62 visas två olika antaganden jämfört med grundfallet. Vid enkeldrainerat antagande blir effektivspänningen 50 kPa lägre på 3 meters djup än vid grundfallet.

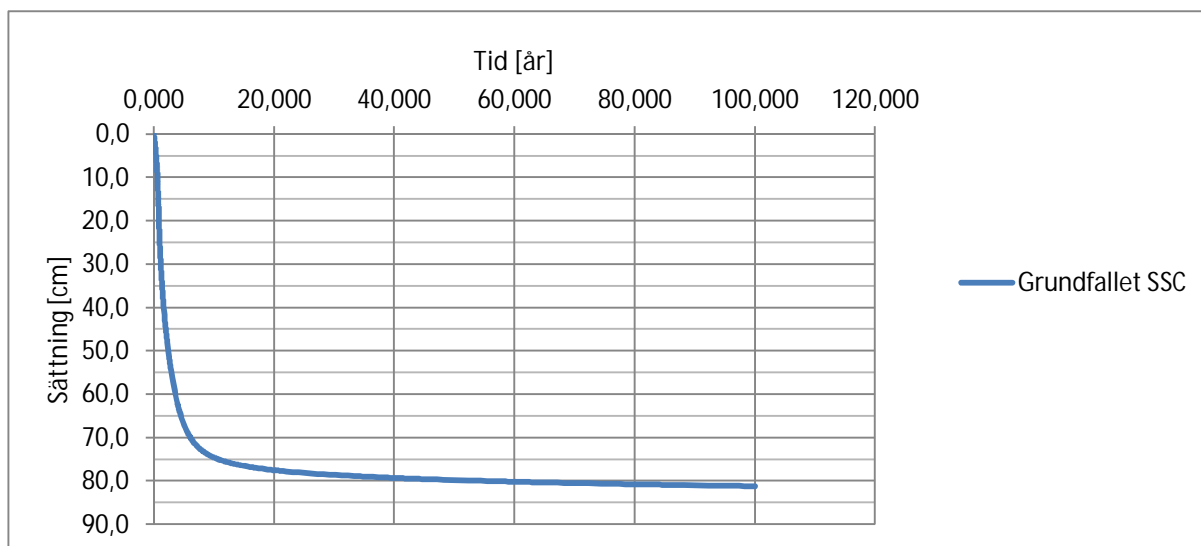
Genom att höja grundvattennivån med 2 meter, som den blå grafen visar, sjunker effektivspänningen med 20 kPa jämfört med grundfallet.



Figur 57 Portrycket med olika antaganden vid 0,75 år, sektion 1+05,60

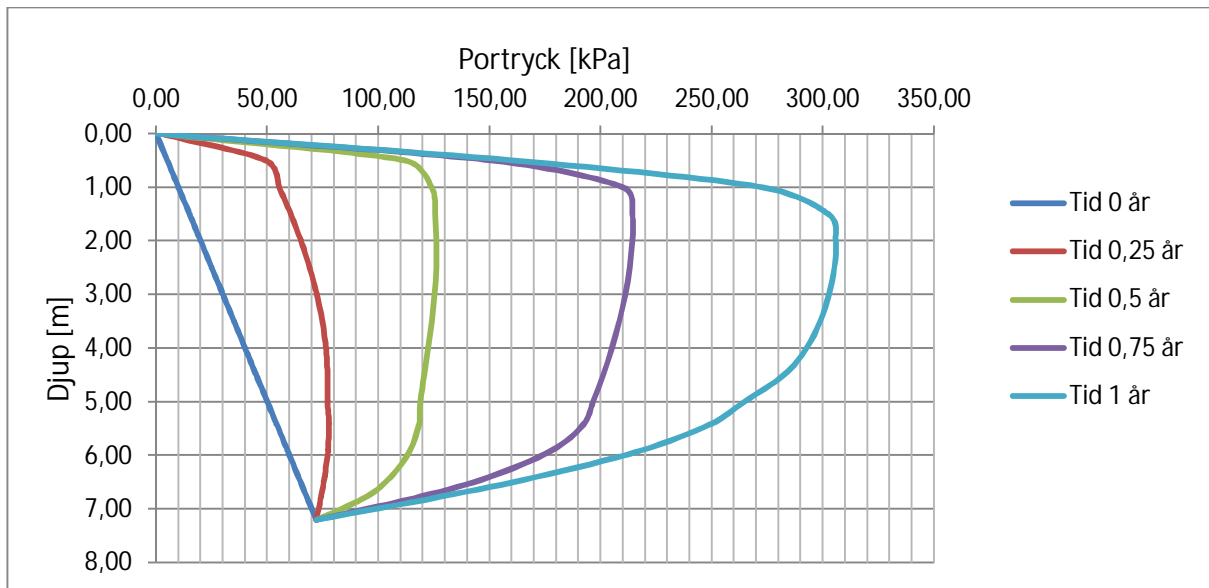
Skillnaden i portrycket blir som mest tydligast i det enkeldränerande fallet. Där skapas ett övertryck närmast lerlagrets botten som är 347 kPa då att jämföra med grundafallets om ligger på 63 kPa. För det enkeldränerande fallet tar det nästan 20 år för portrycket att utjämna sig.

4.2.2 Sektion 0+45,66

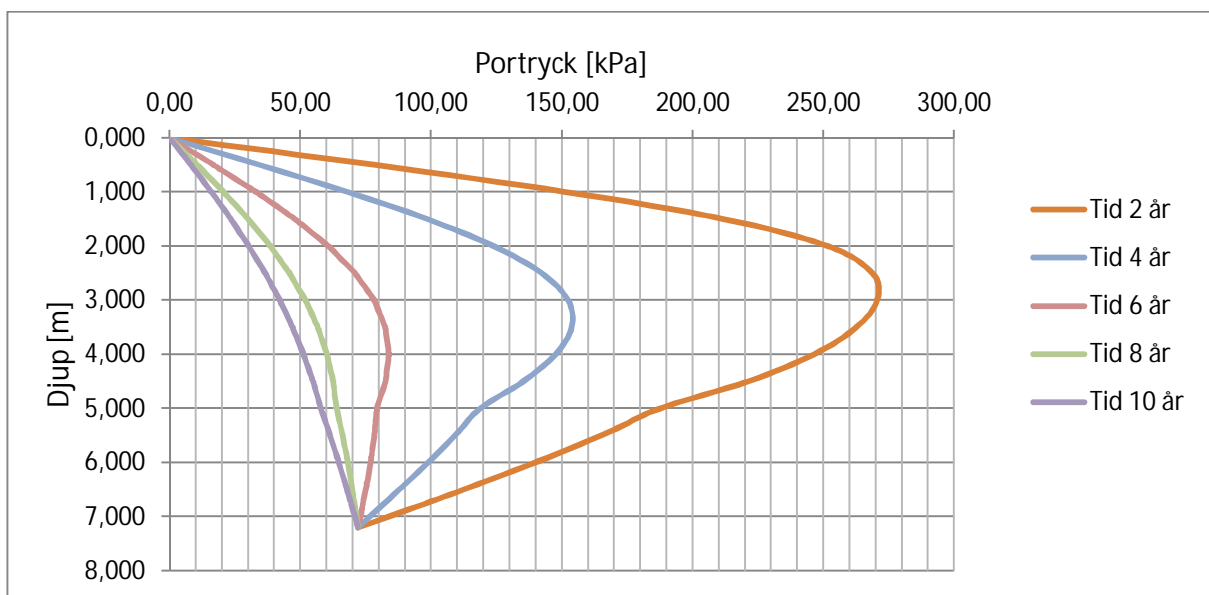


Figur 58 Sättningsutvecklingen under 100 år, sektion 45,66

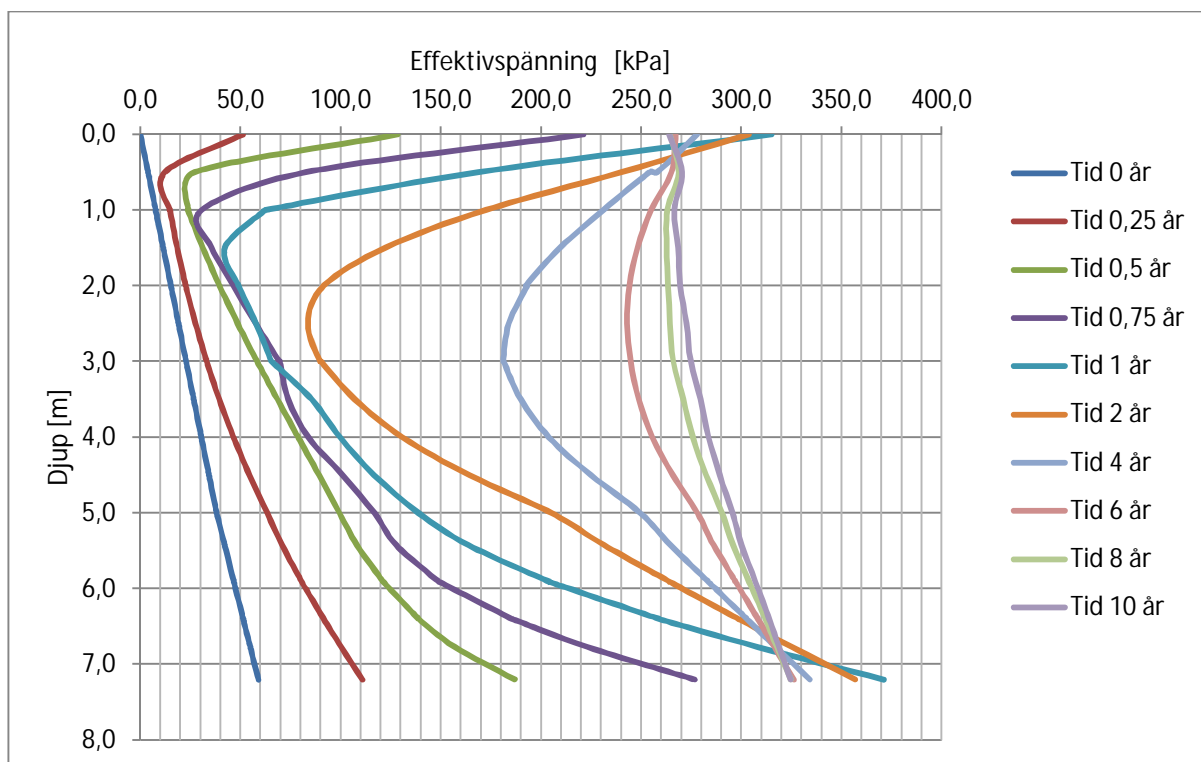
Sättningsutvecklingen för sektion 0+45,66 är som mest aktiv under de första tio åren. År 1 är sättningen 26,5 cm vilket motsvarar 33 % av den totala sättningen efter 100 år. År 2 är sättningen 45,4 cm vilket motsvarar 51 % av den totala sättningen. Efter tio år är sättningen 77,5 cm och motsvarar 92 % av den totala sättningen. Hela sättningsutvecklingen visas i tabell 17.



Portrycksutvecklingen sker med ökande trend fram till år 1 då portrycket är 306 kPa vid 2 meters djup.

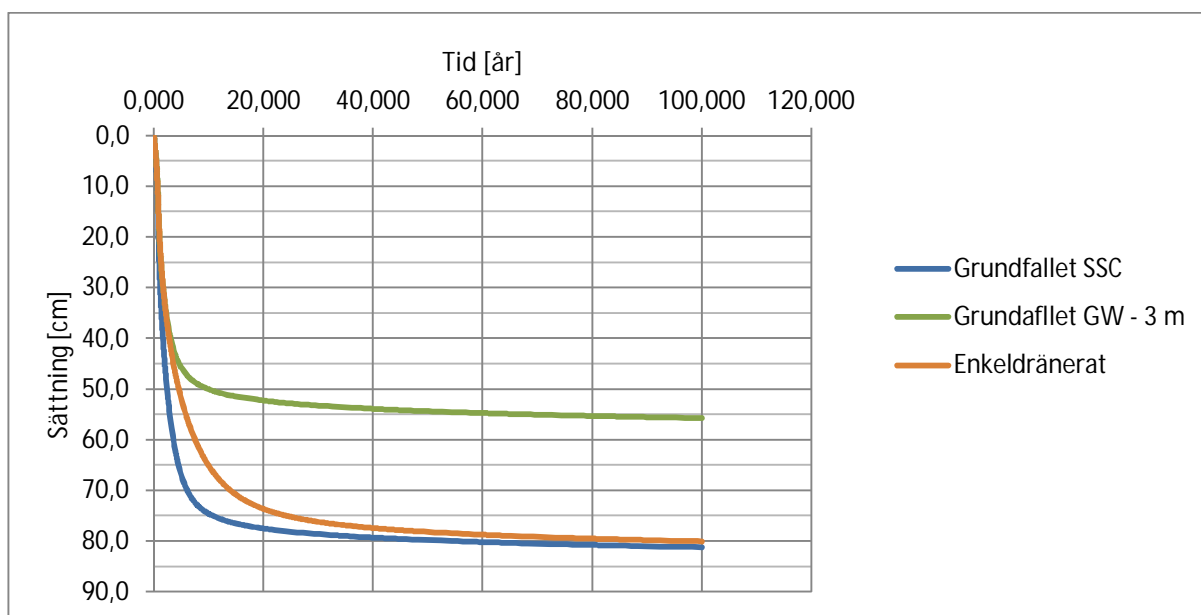


Efter år 1 börjar portryckstrenden att bli avtagande och år 2 är portrycket nere på 270 kPa vid cirka 3 meters djup. År 4 har portrycket fallit ner till 154 kPa vid 3,5 meters djup. År 10 är portrycket nästan helt utjämnats till sitt startvärde.



Figur 61 Effektivspänningen fram till år 10, sektion 45,66

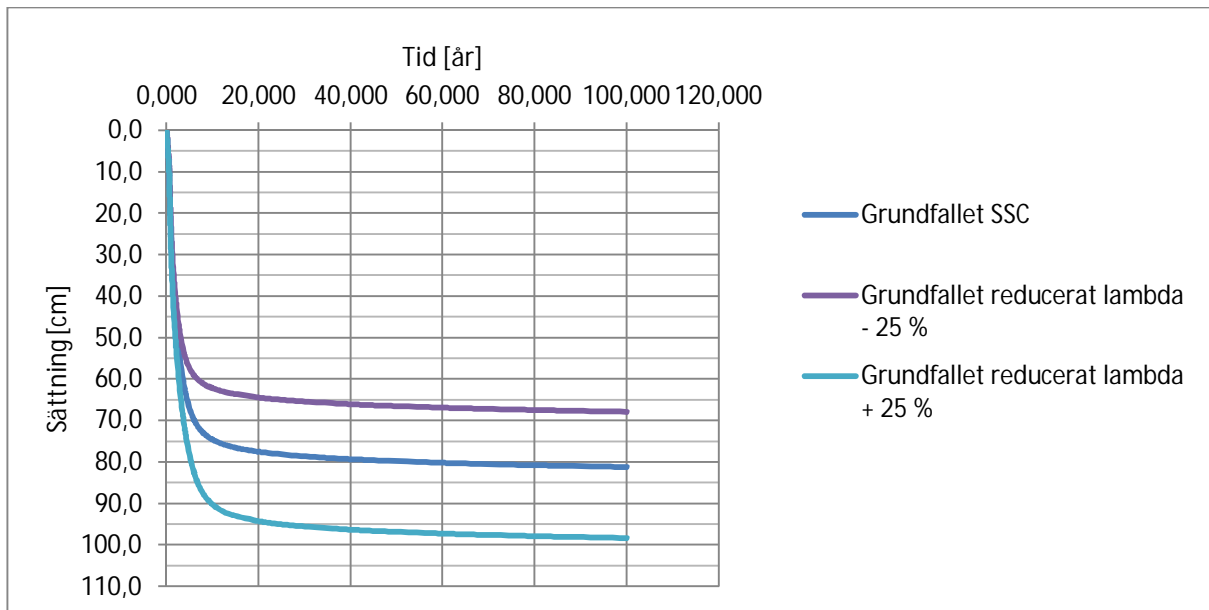
I figur 69 går det att följa effektivspänningsutvecklingen för sektion 0+45,66. Det som framgår är att den nya effektivspänningen efter 10 år nästa helt infinnit sig.



Figur 62 Sättningsutveckling med olika antaganden, sektion 45,66

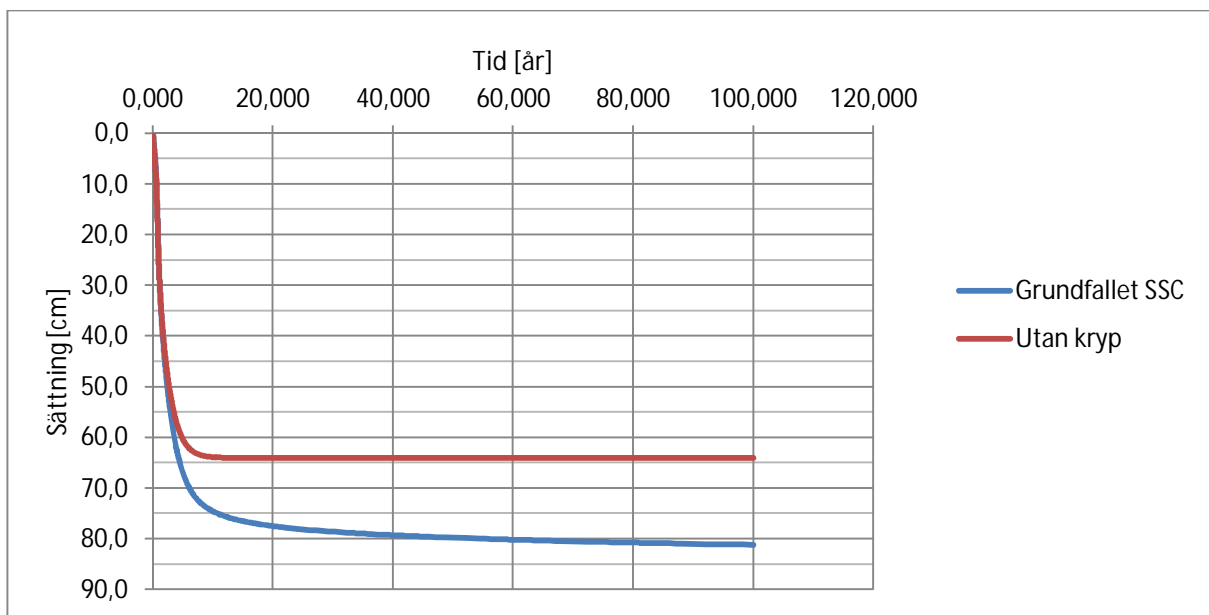
Den gröna grafen i figur 70 visar sättningsutvecklingen för grundfallet med en grundvattennivå som är 3 meter lägre än det ursprungliga. Detta ger en sättning på 55,7 cm då att jämföra med grundfallet som är 81,2 cm.

För det enkeldrainerande fallet sker sättningen mer utdraget jämfört med grundfallet.



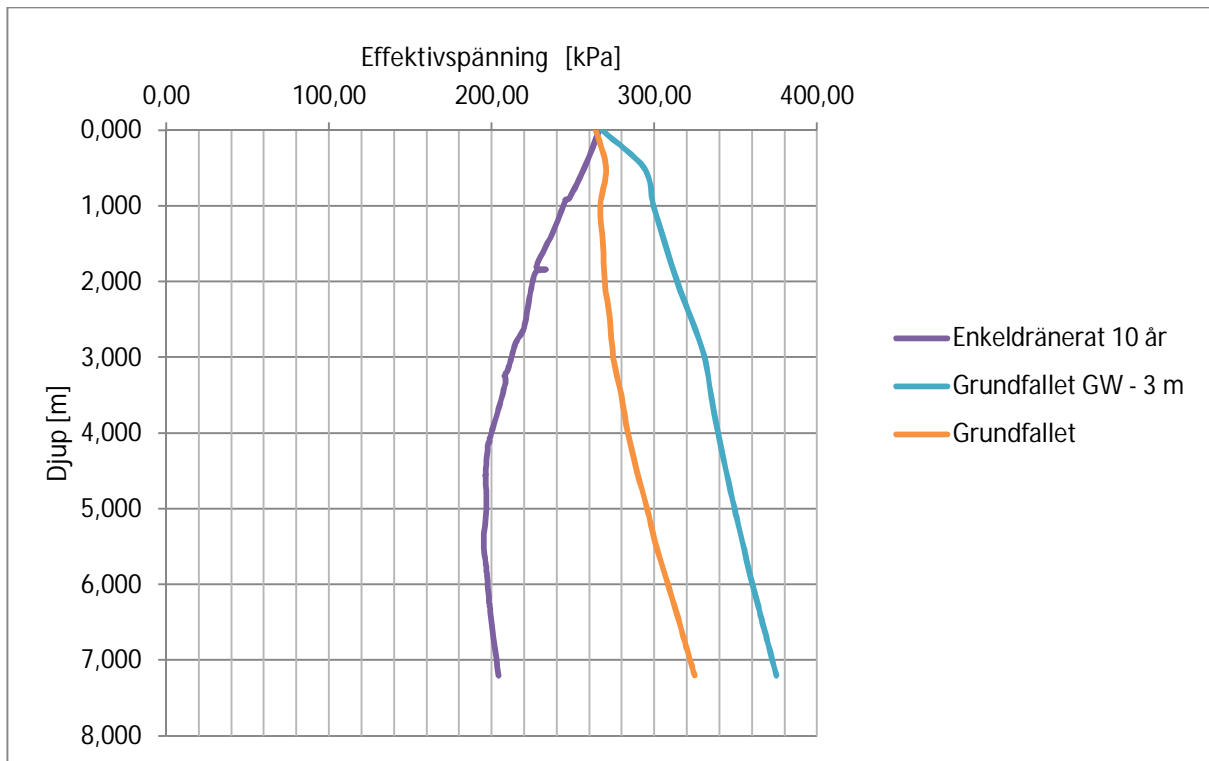
Figur 63 Sättningsutveckling med olika antaganden, sektion 45,66

Genom att variera lambda +/- 25 % illustreras resultatet i figur 71. Ett högre lambda ger en större sättning och ett lägre lambda ger en mindre sättning.



Figur 64 Sättningsutveckling med olika antaganden, sektion 45,66

Sättningen utan kryp blir 64 cm och är 17,2 cm mindre än grundfallet. Krypsättningen är cirka 21 % av den totala sättningen efter 100 år.



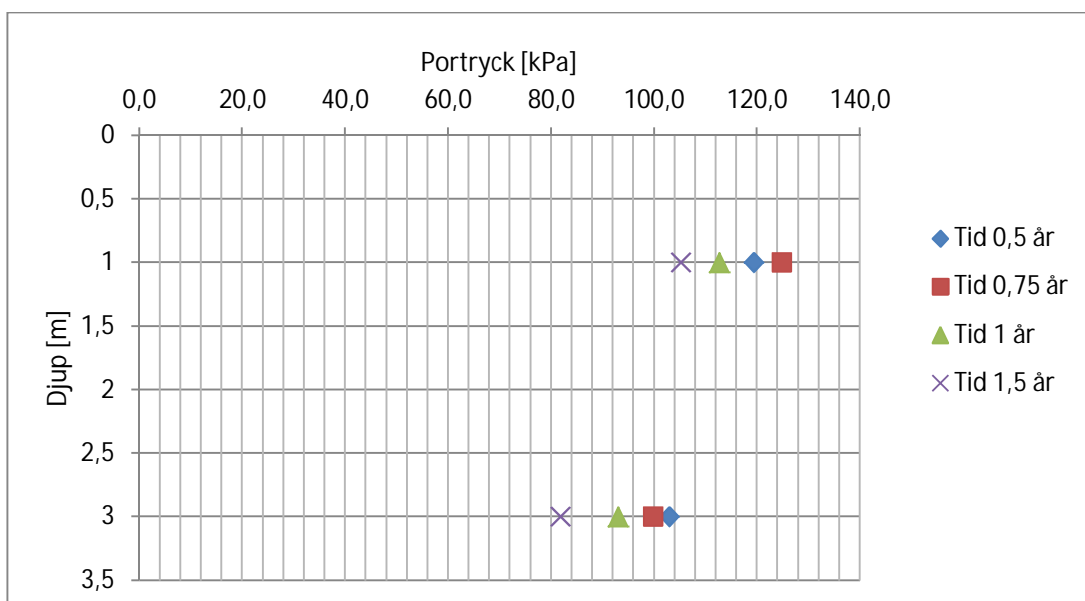
Figur 65 Effektivspänning med olika antaganden efter 10 år, sektion 45,66

Figur 73 visar effektivspänningen efter 10 år för tre olika fall. I det enkeldränerande fallet tar det långre tid för effektivspänningen att anta sin nya spänningsfördelning.

Genom att anta en lägre grundvattennivå än grundfallet, blir effektivspänningen cirka 30 kPa högre än grundfallet.

4.3 Verkligt uppmätta sättningar och portryck

4.3.1 Uppmätt portryck



Figur 66 Portrycksutveckling område 3C Högbytorp

Ett halvår efter att uppfyllnaden av deponin startat finns första portrycksmätningen registrerad. Tabell 18 visar portrycksutvecklingen fram till 1,5 år.

4.3.2 Uppmätt sättning i område 3C Högbytorp

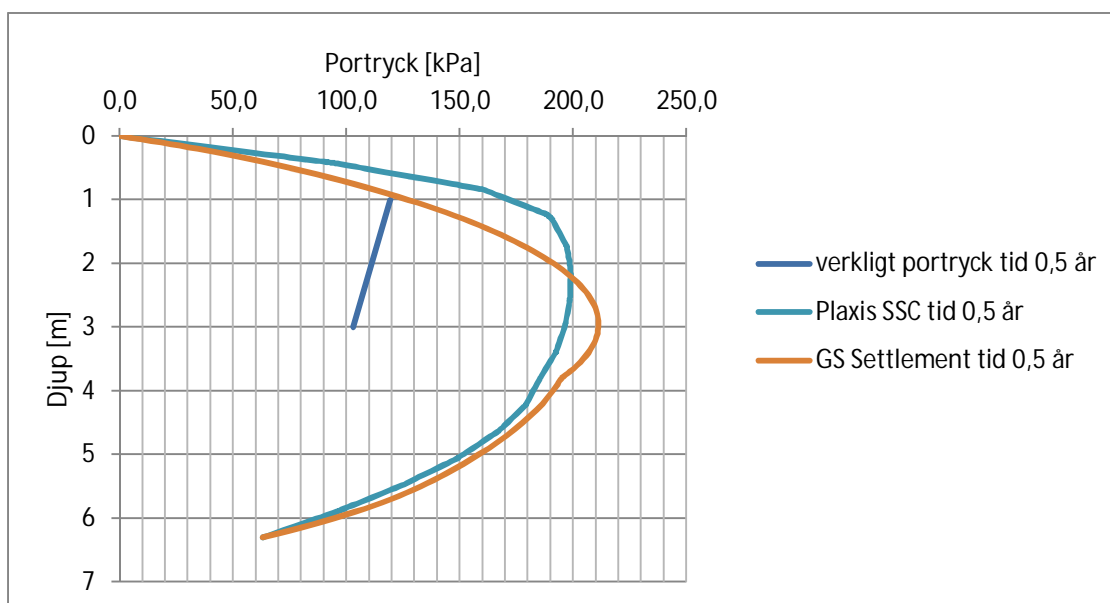
Datum	Tid [år]	Plushöjd [m]	Sättning [cm]
2012-11-28	0	30,190	0,0
2013-02-18	0,22	30,161	2,9
2013-05-20	0,47	30,144	4,6
2013-07-05	0,6	30,136	5,4
2013-08-15	0,7	30,119	7,1
2013-11-29	1	30,191	-0,1
2013-12-02	1	30,200	-1,0
2014-02-13	1,2	30,142	4,8
2014-05-22	1,5	30,060	13,0

Tabell 14 Sättningsmätning område 3C Högbytorp

4.4 Jämförelse mellan Soft Soil Creep, Chalmersmodellen och verklig uppmätt sättning och portryck

4.4.1 Jämförelse av portryck

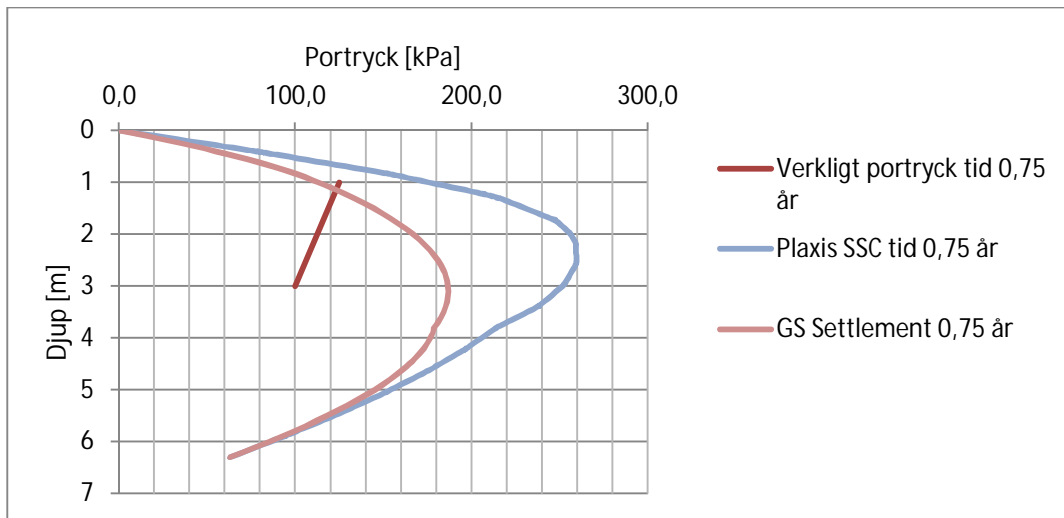
Det uppmätta verkliga portrycket kommer endast att jämföras med beräkningarna för sektion 1+05,60 då mitten av slangen är närmast denna sektion.



Figur 67 Jämförelse av portryck 0,5 år, sektion 1+05,60

Efter ett halvår skiljer sig inte portrycken märkbart. Den övre portrycksmätaren visar vid 1 meters djup 119 kPa. GS Settlement med chalmersmodellen visar 127 kPa vid 1 meters djup. Plaxis 2D SSC ligger något över de andra med 174 kPa vid 1 meters djup.

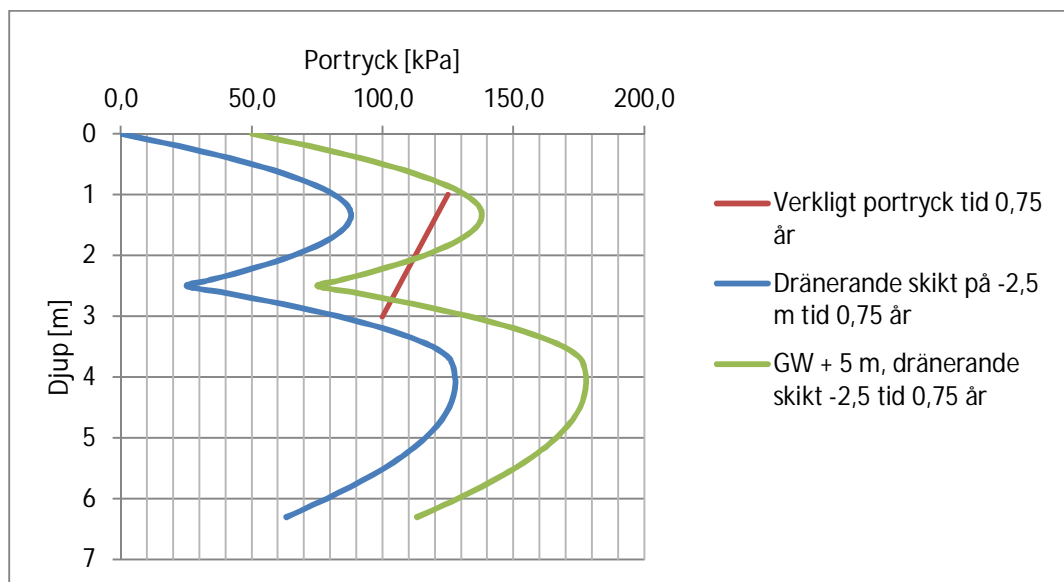
Vid 3 meters djup ligger det verkliga portrycket på 103 kPa vilket skiljer sig en del från de andra två modellerna. Plaxis 2D SSC har ett portryck på 196 kPa och GS Settlements med Chalmersmodellen har 211 kPa vid 3 meters djup. Se figur 75.



Figur 68 Jämförelse av portryck 0,75 år, sektion 1+05,60

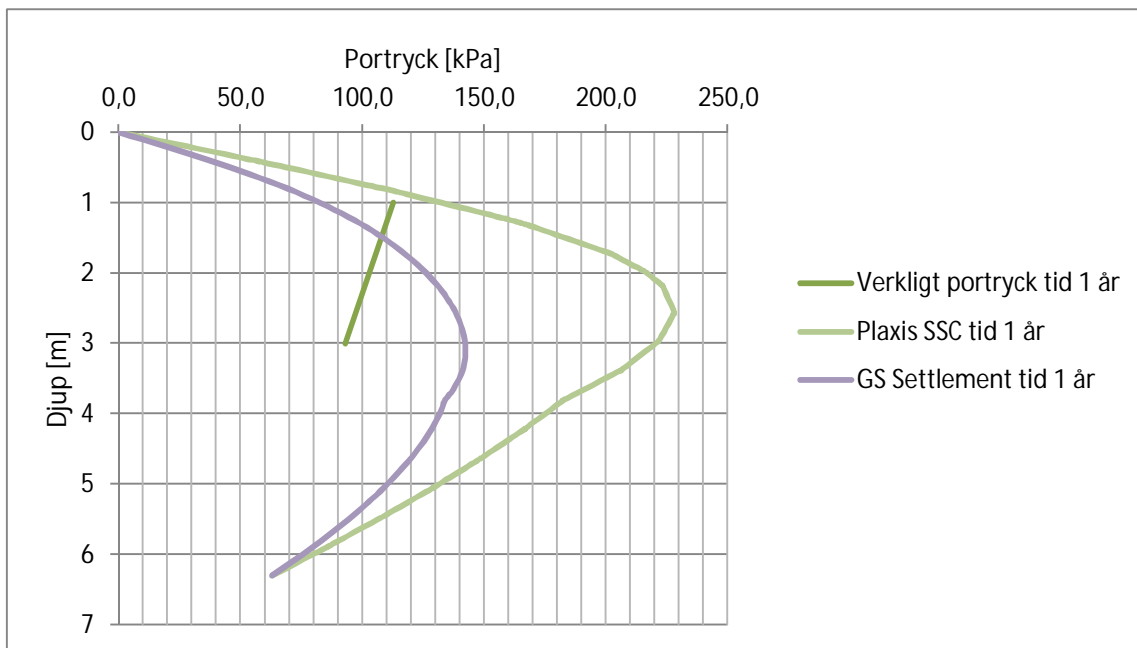
Efter 0,75 år vid 1 meters djup är det verkliga portrycket på 125 kPa, Plaxis 2D SSC har ett portryck på 180 kPa och GS Settlement med Chalmersmodellen 113 kPa. Vid 3 meters djup är det verkliga portrycket 99 kPa, Plaxis 2D SSC 253 kPa och GS Settlement med Chalmersmodellen 186,5 kPa.

Portrycket vid 3 meters djup skiljer sig en hel del mellan de olika modellerna och verkliga mätningen. Därför jämförs det verkliga portrycket med antagandet om ett dränerande skikt finns vid 2,5 meters djup. Detta antagande har bara modellerats i GS Settlement, därför kommer endast den jämförelsen att göras. Se figur 77.



Figur 69 Jämförelse av portryck 0,75 år, sektion 1+05,60

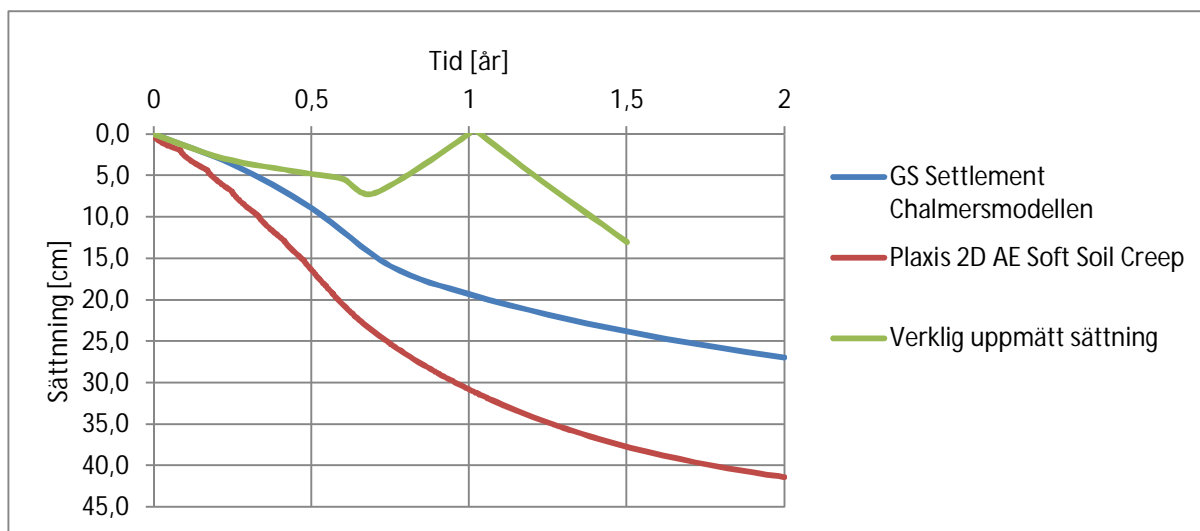
För antagandet GW + 5 m med ett dränerande skikt på 2,5 meter stämmer det verkliga portrycket bättre. Vid 1 meters djup är det verkliga portrycket 125 kPa och GS Settlement med Chalmersmodellen 131,5 kPa. Vid 3 meters djup är det verkliga portrycket 99 kPa och GS Settlement med Chalmersmodellen 132 kPa. Se figur 77.



Figur 70 Jämförelse av portryck 1 år, sektion 1+05,60

Efter 1 år vid 1 meters djup har det verkliga portrycket sjunkit till 113 kPa, Plaxis 2D SSC ligger på 136 kPa och GS Settlement med Chalmersmodellen 83 kPa. Vid 3 meters djup ligger det verkliga portrycket på 93 kPa, Plaxis SSC har 214 kPa och GS Settlement 142 kPa.

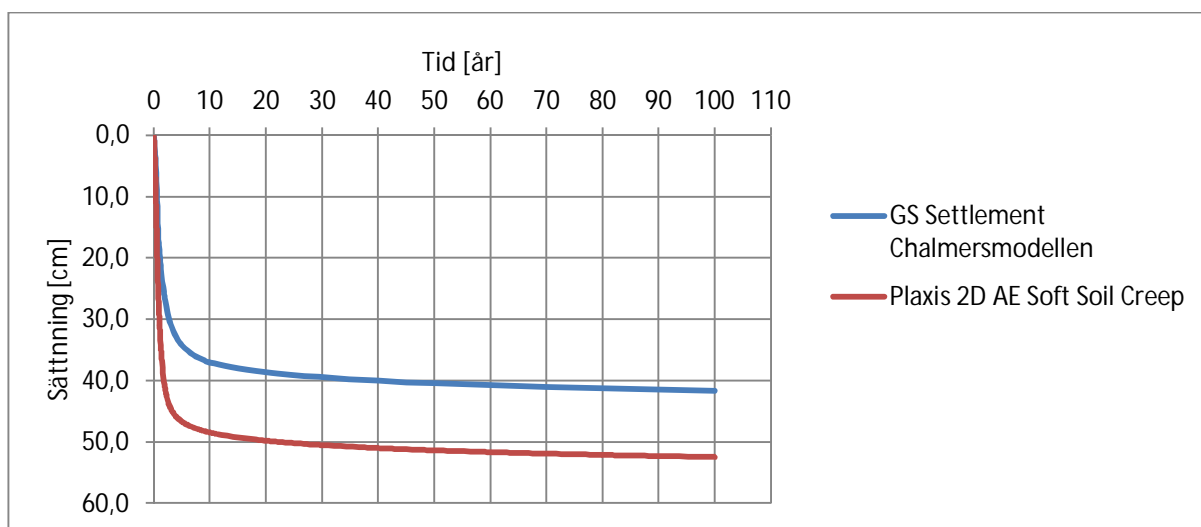
4.4.2 Jämförelse av sättningar



Figur 71 Jämförelse av sättningsutvecklingen sektion 1+05,60

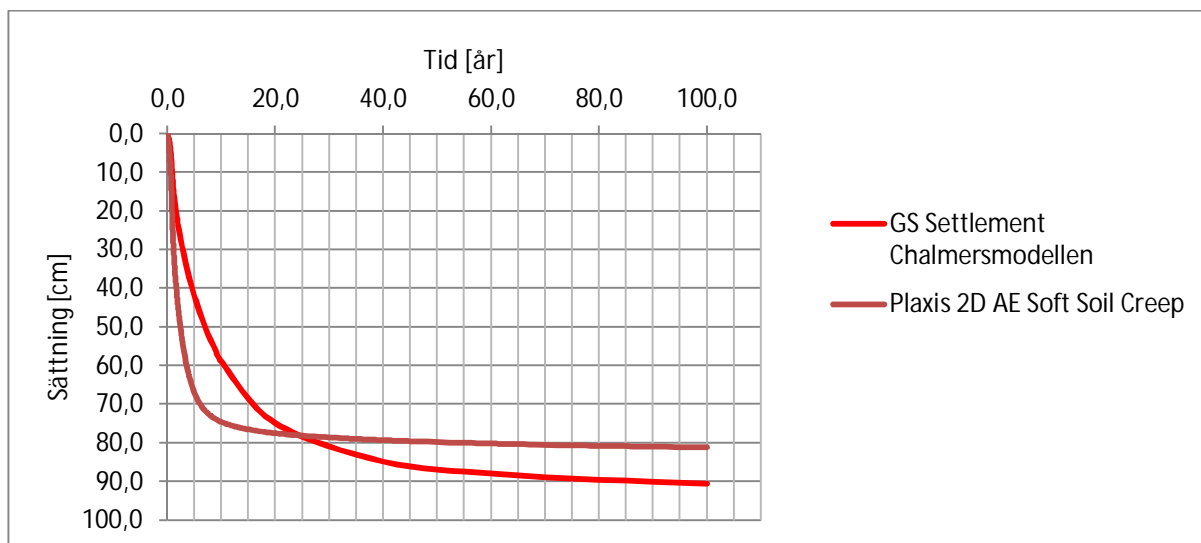
Då den verkliga sättningen pågått under drygt 1,5 år går det endast att titta på en liten del av sättningsutvecklingen. I figur 79 visas de tre olika fallen av sättningsutveckling. För den verkliga sättningen får det antas att mätfel förekommer. Den verkliga sättningen är efter 1 år högre än vad den var efter första mätningen vilket inte verkar rimligt. I mätningen i februari 2014 har sättningen rört sig ner mot nivåer den hade efter cirka 0,25 år.

De båda modellerna ligger lägre än den verkliga sättningen. Plaxis 2D SSC har en sättning på drygt 30 cm efter ett år då att jämföra med GS Settlement Chalmersmodellen som ligger på cirka 20 cm. Efter 1,5 år är den verkliga sättningen 13 cm.



Figur 72 Jämförelse av sättningsutvecklingen sektion 1+05,60

Jämförelsen mellan de olika modellerna visar att för sektion 1+05,60 prognosticerar Soft Soil Creep en större sättning jämför med Chalmersmodellen. Sättningen blev 52,4 cm för Soft Soil Creep och 41,6 cm för Chalmersmodellen.



Figur 73 jämförelse av sättningsutvecklingen sektion 0+45,66

I sektion 0+45,66 blir resultatet lite oväntat. Här ligger Soft Soil Creep lägre än Chalmersmodellen under de 25 första åren. SSC har en större sättningsutveckling i början för att sedan öka marginellt efter 25 år. Chalmersmodellen har ett mer utdraget sättningsförlopp och går om SSC efter 25 år och har en sättning efter 100 år på 90,5 cm, att jämföra med SSC som har en sättningen 81,2 cm.

5 Diskussion

Detta har varit ett spännande arbete att genomföra där praktik blandats med teori på ett mycket givande sätt. Tanken från början var att försöka modellera geometrierna så likt verkligheten som möjligt. Detta kändes dock inte så aktuellt då det endast gick att modellera lutande plan i ett av mjukvaruprogrammen nämligen Plaxis 2D AE. I GS Settlement går det endast att skapa horisontella plan. Därför bestämdes att en förenkling av geometrierna med helt horisontella plan skulle bli utgångspunkten i geometrin.

Att ta fram parametrar har inte varit helt enkelt då stora osäkerheter har funnits. Två stycken geotekniska undersökningar fanns till förfogande där den första utfördes sju år före den senare. Där emellan har området varit täckt med en överlast på 8 meter. Den senaste geotekniska undersökningen blev den som gav de parameterar som sättningsberäkningarna grundat sig på. Det fanns en idé om att bakåträkna parametrarna, men detta kändes inte aktuellt då ingen sättningsuppföljning av överlasten hade gjorts under de sju åren. Många parametrar grundar sig på empiriska antaganden då parametrar inte verkar vara rimliga. De undersökningar som gjordes var CRS-försök och stegvisa ödometerförsök. CRS-försöken och stegvisa ödometerförsök ger de parameterar som krävs i GS Settlement med Chalmersmodellen. Däremot för Plaxis 2D AE Soft Soil Creep har olika omvandlingsekvationer används för att överhuvudtaget kunna använda modellen.

Själva användandet av mjukvarorprogrammen har skilt sig en del. GS Settlement är ett lättarbetat program som grundar sig på CRS-försöken som används mycket flitigt här i Sverige. Menyer och känslighetsanalyser är helt överlägsna sin konkurrent. Både användarmässigt och tidsmässigt är GS Settlement att föredra. Det negativa är den begränsning som finns med geometrierna. Endast horisontella plan går att skapa. Frågan är då om det spelar så stor roll, när det finns så stora osäkerheter i underlaget? De förenklingar som görs kanske ändå inte skjuter så långt från målet och tid sparas.

Plaxis 2D AE är ett väldigt komplext program där valmöjligheterna är stora. Här går det mesta att skapa om kunskapen finns. Då valmöjligheterna är stora medför det även risken att något blir fel. Känslighetsanalys är mer omständigt att genomföra och tar längre tid. Användarmässigt och tidsmässigt känns Plaxis 2D AE mindre attraktivt. Om något går fel i beräkningarna rinner timmarna lätt iväg.

Resultatet för sektion 1+05,60 känns rimligt. Att det skulle förekomma ett dränerande skikt mellan de två porttryckmätarna samt att grundvattennivå är något högre än det antagna grundfallet. Detta stämmer bra överens med den modell som skapades. Då skapandet av den modell som kallas grundfallet gjordes antogs dubbelsidig dränering i toppen och botten. Kanske skulle mer tid lagts på den senare modellen med ett dränerande skikt i mitten. Sättnings storlek påverkas i mindre utsträckning av de dränerande skikten. En jämförelse mellan modellerna har ändå gått att jämföra fast det kanske skiljer sig från verkligheten. Något som kan påverka sättningsutvecklingen kan vara temperaturen i marken. Tiden då uppfyllnaden av deponin började rådde det vinterklimat och tjäle hade börjat bildas. Problemen som uppstod när porttryckgivarna skulle installeras pekar även det på tjälbildning. Det gick helt enkelt inte att få ner givarna då rören frusit. Med hjälp av värmekablar gick det till slut att få ner porttrycksgivarna. Temperaturgivaren från porttryckmätaren visade en temperatur på cirka 2 grader Celsius och den temperaturen har i stort sätt varit oförändrad sedan mätningen började. Hur en tjälbildning påverkar sättningsutvecklingen skulle det kunna ägnas mer tid åt i en fortsatt studie av projektet.

Vid analysen av krypsättningarna framkom det att modellerna är likartade. För sektion 1+05,60 blev krypsättningen för Chalmersmodellen 38 % av den totala sättningen och för Soft Soil Creep

27 % av den totala sättningen. Chalmersmodellen resulterade i en lägre sättning än vad utfallet blev för Soft Soil Creep. I detta fall utvecklar Soft Soil Creep en större plastisk sättning än Chalmersmodellen.

Krypsättningen i sektion 0+45,66 visade att Chalmersmodellen hade en krypsättning på 19 % av den totala sättningen och Soft Soil Creep hade en krypsättning på 21 % av den totala sättningen. Jämförelsen av den totala sättningen visade att Chalmersmodellen hade utvecklat en större sättning än Soft Soil Creep efter 100 år. De 25 första åren har Soft Soil Creep utvecklat en större sättning än Chalmersmodellen. Efter 25 år sker en marginell ökning av sättningen för Soft Soil Creep medan sättningen för Chalmersmodellen fortsätter att öka. För sektion 0+45,66 går det att se på sättningskurvorna att permabiliteten ser ut att vara jämförelsevis olika för de två modellerna. Samma parametrar har används för modellerna och inget fel har hittats.

Tankar jag hade innan arbetet började var både skrämmande och lockande. Då detta är ett avslut på min pågående ingenjörsutbildning på Kungliga Tekniska Högskolan måste jag ändå säga att det varit det mest givande under hela min utbildning. Att få vara med i ett sådant pågående projekt har varit mycket givande där jag fått agerar mättekniker och ingenjör (problemlösare) ute i fält.

6 Slutsats

6.1 Sektion 1 + 05,60

Efter 1,5 år är den verkliga sättningen 13 cm, vilket inte så stämmer bra överens med de två modellerna som används. Slangsättningsmätningen sker cirka 22 meter från sektionens mittpunkt. Detta betyder att en mindre sättning borde utvecklas här, vilket det gör, jämfört med beräkningsmodellerna. Soft Soil Creep visar en något högre sättning än Chalmersmodellen. Sättningen efter 100 år blev för Soft Soil Creep 52,4 cm och för Chalmersmodellen 41,6 cm. Krypsättningen motsvarar för Soft Soil Creep 27 % av den totala sättningen och för Chalmersmodellen 38 % av den totala sättningen

Porövertryckutjämnningen tar något längre tid för Chalmersmodellen än för SSC. Portrycket är utjämnat efter cirka 10 år. Däremot så utvecklar SSC ett högre portryck än Chalmersmodellen och ligger efter 0,75 år 259 kPa på 2,6 meters djup, vilket är 73 kPa högre än Chalmersmodellen.

Jämförelsen med det verkliga portrycket stämde bra överens med modellerna på 1 meters djup. På 3 meters djup skilde sig portrycken mycket. Det verkliga portrycket låg efter 0,75 år på 99 kPa, då att jämföra med SSC 253 kPa och Chalmersmodellen 186,5 kPa. Antagandet att det skulle kunna förekomma ett dränerande skikt på -2,5 m samt att grundvatten nivån var justerad uppåt till + 5 m verkar rimlig. Med följande antagande blev portrycket för Chalmersmodellen 131,5 kPa respektive 132 kPa för 1 och 3 meters djup. Se figur 76.

Att dra några slutsatser av de analysers som gjorts är svårt att göra. Dels på grund av de mätfel som visat sig vid slangsettningsmätningen samt att modellen inte är uppbyggd i området vid slangsettningsmätningen. Den geometriska modellen gjordes vid den del av banken där den högsta uppfyllnaden fanns. Ursprungligen var det tänkt att den största uppfyllnaden skulle ske där slangen placerades. Men detta ändrades under arbetets gång och därför bestämdes det att titta på det område där det i nuläget har den högsta uppfyllnaden. Portrycken för de två modellerna avtar olika. Dessa borde följa varandra åt. Orsaken till detta har inte gått att lösa men de funderingar som finns är att problemen ligger i Plaxis 2D AE -modellen. Plaxis 2D AE är ett

väldigt komplext program där det gäller att god kunskap om programmet, annars är möjligheten att göra fel stor.

6.2 Sektion 0+45,66

En verklig jämförelse med denna sektion har inte varit möjlig då den ligger för långt bort från portryckstationen och slangställningsmätningen. Därför jämförs endast Chalmersmodellen och Soft Soil Creep för denna sektion.

Sättningsutvecklingen efter 100 år visar att Chalmersmodellen utvecklar en sättning på 90,5 cm och Soft Soil Creep 81,2 cm. Sättningsförloppet skiljer sig åt för de olika modellerna. För Chalmersmodellen sker sättningsutvecklingen mer utdraget och under de 25 första åren har en lägre sättning utvecklats med Chalmersmodellen än med Soft Soil Creep. Se figur 80. Krypsättningen motsvara för Chalmersmodellen 19 % av den totala sättningen och för Soft Soil Creep 21 % av den totala sättningen.

Porövertrycksutjämnningen skiljer sig mellan de olika modellerna. För Chalmersmodellen sker portrycksutjämnningen mer långsamt. Efter 20 år finns det fortfarande ett porövertryck på 79 kPa på 2,8 meters djup. Hela porövertrycket är utjämnat efter 80 år.

För Soft Soil Creep sker hela porövertrycksutjämnningen snabbare. Från år 2 till år 4 faller porövertrycket från 243 kPa till 122 kPa. Efter 20 år är porövertrycket 2,7 kPa, vilket kan ses som nästan helt utjämnat. Detta förklarar varför sättningsutvecklingen ser ut som den gör för de olika fallen. Den hydrauliska konduktiviteten verkar inte vara samma för de olika fallen. Samma parametrar har använts och något fel har inte gått att hitta. Däremot kan det röra sig om ett transformationsfel då parametrarna har omvandlats till gällande modell. I och med att den hydrauliska konduktiviteten ter sig olika för de två modellerna får det följdfel i effektivspänningen. För Soft Soil Creep antas den nya effektivspänningen snabbare än det gör för Chalmersmodellen.

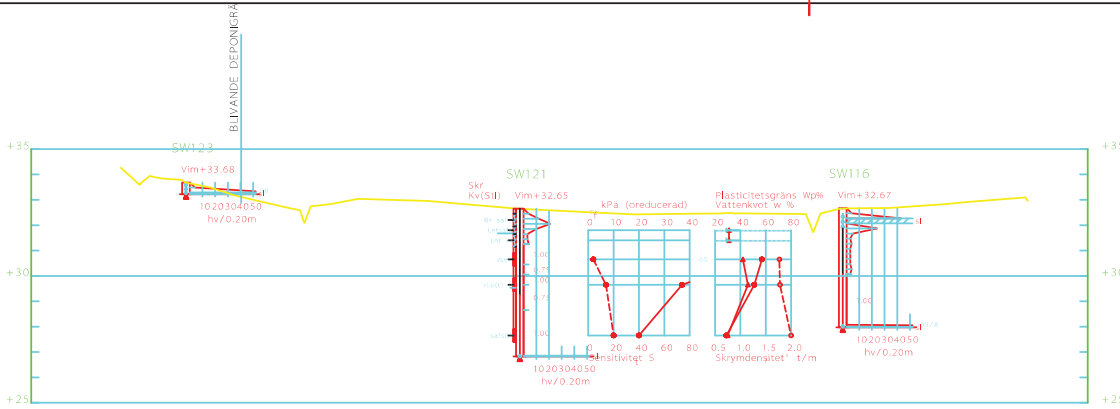
Även i detta fall går det inte att dra några slutsatser då portrycken avtar för de i modellerna avtar olika fort. Som tidigare beskrivet i sektion 1+05,60 har orsaken till detta inte gått att hitta. Plaxis 2D AE ser ut som den tillämpar horisontala dräneringsvägar fast den inte borde det. Att sättningen blir högre för chalmersmodellen i detta fall är även det märkligt.

7 Litteraturförteckning

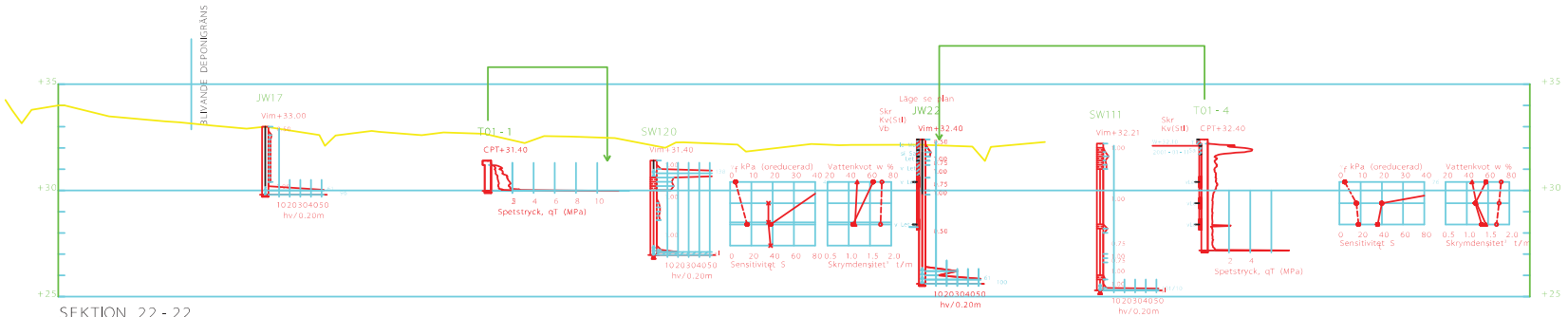
- Alén, C., 1998. *On probability in geotechnics*. Göteborg: Department of geotechnical engineering.
- Alén, C. & Olsson, P., 2009. *Tekniskt PM*. Göteborg(Västra Götalands län): Chalmers tekniska högskola.
- Bjerrum, L., 1967. Engineering geology of Norwegian normally-consolidated marine clays as related to settlements of buildings. *The seventh Rankine Lecture Géotechnique Vol. 17, 2*, pp. 81-118.
- Claesson, P., 2003. *Long term settlements in soft clays*. Göteborg: Chalmers university of technology.
- Garlanger, J. E., 1972. The consolidation of soils exhibiting creep under. *Geotechnique*, 22 1, pp. 71-78.
- Hammensten, S. A., 2013. *Effekt av överlastpå förstärkt jord*, Stockholm: Kungliga Tekniska Högskolan.
- Hansbo, S., 1957. *A New Approach to the Determination of Shear Strength of Clay by the Fall-cone Test*. Stockholm: Sveriges Geotekniska Institut.

- Janbu, N., 1967. *The resistance concept applied to deformations of soils*. Mexico, u.n., p. 191.
- Jansson, P., 2001. *Analys av sättningar för vägbank i Hanhals*. Göteborg: Chalmers tekniska högskola.
- Kine, M. & Andreas, Å., 2007. *Krypsättningar i lera – en jämförelse mellan två datorprogram*, Göteborg: Chalmers Tekniska Högskola.
- Lantmäteriet/Metria, 2014. *Eniro*. [Online]
Available at: <http://kartor.eniro.se/>
[Använd 08 04 2014].
- Larsson, R., 2007. *Långtidsobservationer av konsolideringsprocesser*, Linköping: Statens geotekniska institut.
- Larsson, R., 2008. *Jords egenskaper*, Linköping: Statens geotekniska institut.
- Larsson, R. & Sällfors, G., 1981. Beräkning av sättningar i lera. *Väg- och vattenbyggaren*, 3, pp. 39-42.
- Magnusson, O., Sällfors, G. & Rolf, L., 1989. *Ödometerförsök enligt CRS-metoden*, Stockholm: Statens råd för byggnadsforskning.
- Mesri, G. & Godlewsk, P. M., 1977. Time and Stress-Compressibility Interrelationship. *Journal of the Geotechnical Engineering Division*, pp. 417-430.
- Nash, D. & Brown, M., 2013. *The influence of destructuration of soft clay on time-dependent settlements – a comparison of some elastic visco-plastic models*, Washington: American Society of Civil Engineers.
- Olsson, M., 2010. *Calculating long-term settlement in soft clays – with special focus on the Gothenburg region*, Linköping: Statens Geotekniska Institut.
- Suklje, L., 1957. *The analysis of the consolidation process by the isotaches Method*. London, Butterworths Scientific Publications, pp. 200-206.
- Svanö, G., Christensen, S. & Nordahl, S., 1991. *A soilmodel for consolidation and creep*. Florens, u.n., pp. 269-272.
- Sällfors, G., 1975. *Preconsolidation pressure of soft, high-plastic clays*. Stockholm: LiberTryck .
- Terzaghi, K. v., 1943. *Theoretical Soil Mechanics*. New York London: John Wiley and sons inc..
- Trafikverket, 2011. *TRV Geo, trafikverkets tekniska krav för geokonstruktioner*, Stockholm: Trafikverket.
- Vermeer, P. & Neher, H., 1999. *A soft soil model that accounts for creep*. Stuttgart: Institute of geotechnical engineering, University of Stuttgart, Germany.
- Westerberg, B., Sölve, H. & Holmén, M., 2012. *Triaxialförsök-En vägledning*, Linköping: Svenska Geotekniska Föreningen.

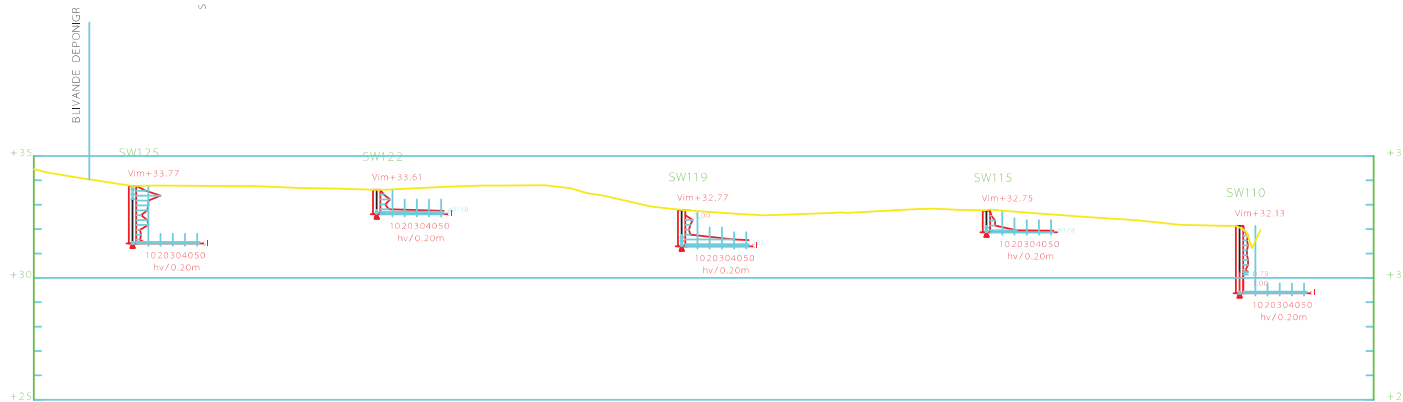
8 Appendix



SEKTION 21-21
H: 1:100 L: 1:400



SEKTION 22-22
H: 1:100 L: 1:400



SEKTION 23-23
H: 1:100 L: 1:400

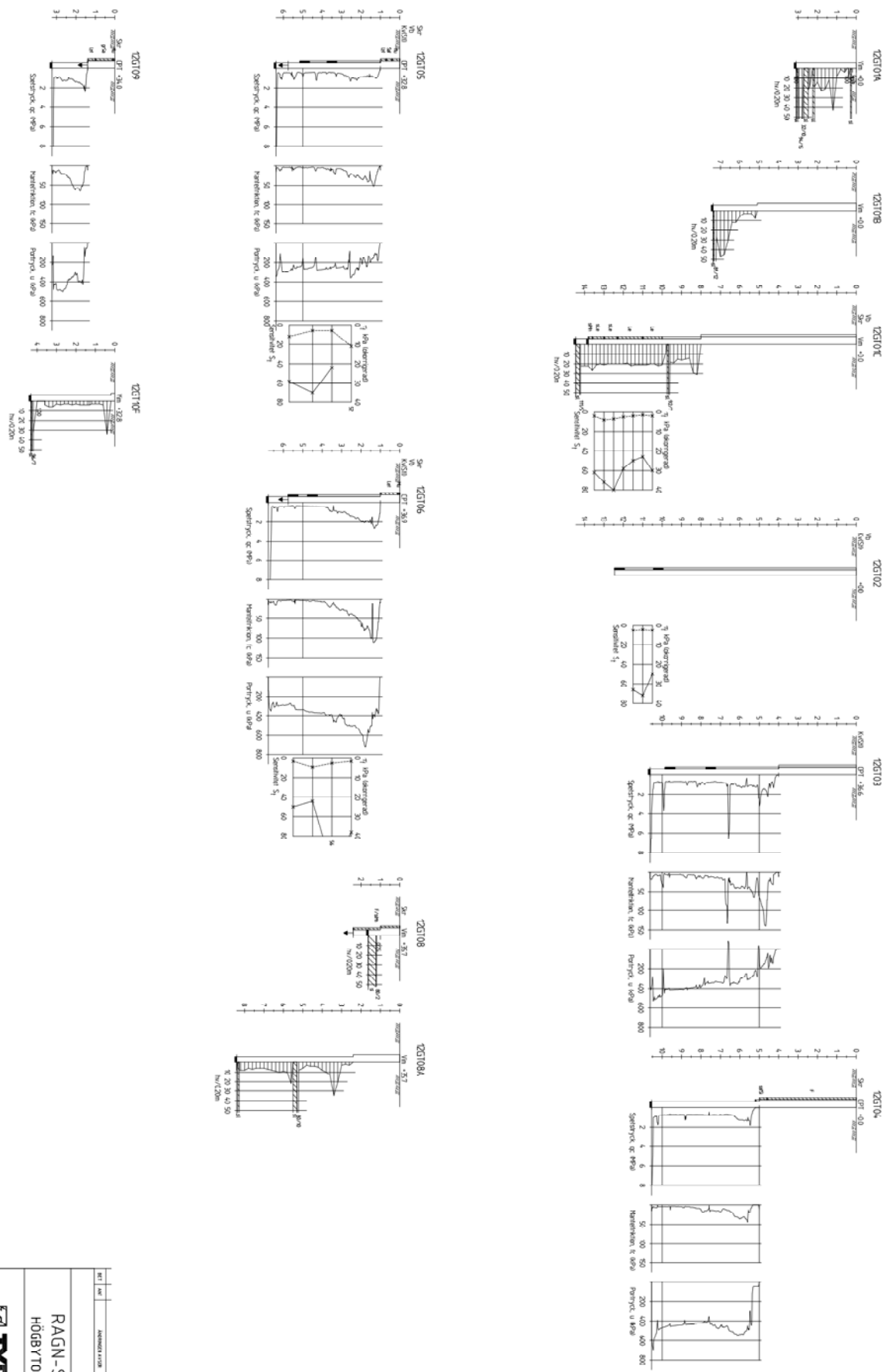
FÖRKLARINGAR

SW120 BORRPUNKTENS ID-NUMMER
BORRHÄLENS LÄGE SE PLAN RITNING G101
ÖVRIGA FÖRKORTNINGAR/BETECKNINGAR
ENLIGT SGF:S BETECKNINGSBOK
JW13 - JW13 FÖRDA AV J&W (1990)
SW1 - SW13 FÖRDA AV SWECO V&B (2002)
T01-1 - T01 FÖRDA AV TYRÉN (2001)
GOLDER3 UTFÖRDA AV GOLDER (1990)

ANVISNINGAR

KOORDINATSYSTEM I PLAN: ST 74
KOORDINATSYSTEM I HOJD: RH 00

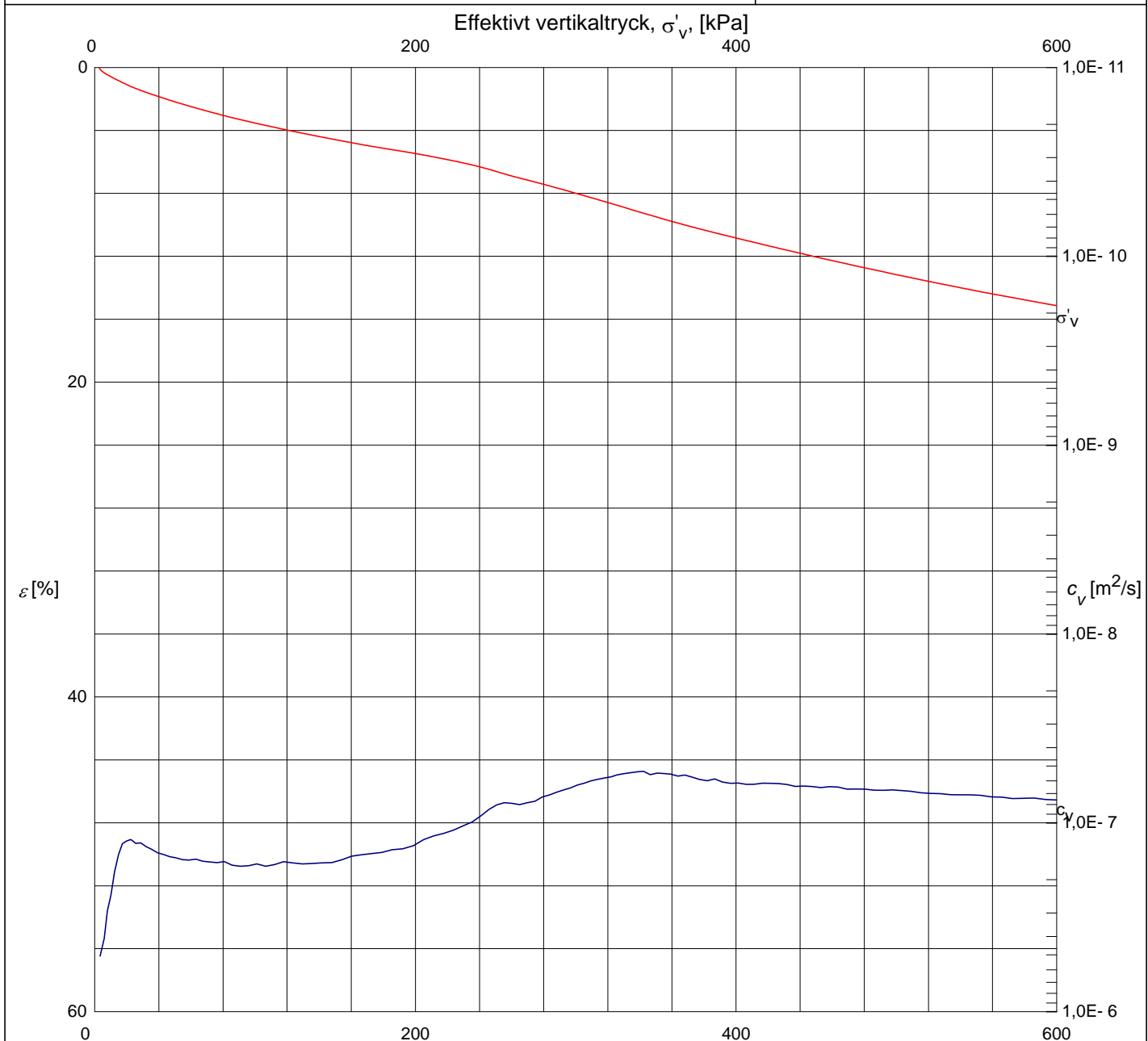
FÖRFRÅGNINGSUNDERLAG		
RAGNÄ SELL		
ANFALLSBEHANDLING AB Sveco V&B AB		
SWECO V&B		
Sveco V&B AB Göteborgsgränd 22, Box 30044, 402 28 Skövde Telefon 08 695 60 00, Fax 08 695 60 10		
6283160	ABAS	KARN LINDSTEN
11-02-17	ANDERS ELIASSON	
UPPLANDS - BRO KOMMUN		
HÖGBYTORP, OMRÅDE 3		
DEONIANLÄGGNING		
GEOTEKNIK UNDERSÖKNING SEKT. 21,22 & 23		
ANG.	A1	G 321



REF	AVR	ANMÄRKNINGAR	STATUS	SKALA
RAGN-SELLS				
HÖGBYTORP TIPP				
TYRENS				
POSTADRESS: INOM ÅKERSTADEN, TEL. 0814121000 ÅKERSTADEN 1, 141 86 24179 HÄRNAS, SVEBODÄLEN 2012-03-22 PER HEJMAN GEOTEKNISKA UNDERSÖKNINGAR ENSTAKA BORRPLUNKTER SKALA: G 11 02 00 1:100 (A)				

Redovisning av ödometerförsök, CRS-försök

Projekt: Högbytorp, Ragnsells		
Uppdragsnummer:	Uppdragsgivare: Peab Sverige AB, Göteborg	Datum/Sign: 2012-04-17 Löp-nr/Gransk.: 24246
Sektion/borrhål: 12GT03	Djup: 7,5 m	Ödometer nr: 4
Densitet: 1,95 t/m ³	Vattenkvot: 31 %	Provnings-temp.: 20 °C
Benämning: Varvig lera m siltiga finsandskikt, roströr, skred		Provdiameter: 50 mm Provhöjd: 20 mm Def.hastighet: 0,72 %/h



Försöket är utfört och utvärderat enligt Svensk Standard SS 027126. Vid utvärdering av c_v och k har korrektion utförts så att värdena motsvarar en temperatur av 7 °C. Utrustningens egendeformation är beaktad. För utvärdering se bilagda diagram sid 2 - 4.

σ'_c , kPa	M_L , kPa	σ'_L , kPa	M'	$c_{v, min}$, m ² /s	k_i , m/s	β_k
228	3314	331	9,4	5,3E-8	2,5E-10	1,8

Anm.



Utvärdering av modultal och kontroll av portryck

Projekt: **Högbytorp, Ragnsells**

Uppdragsnummer:

Uppdragsgivare:

Datum/Sign: 2012-04-17

Peab Sverige AB, Göteborg

Löp-nr/Gransk.: 24246

Sektion/borrhål: 12GT03

Djup: 7,5 m

Ödometer nr: 4

Densitet: 1,95 t/m³

Vattenkvot: 31 %

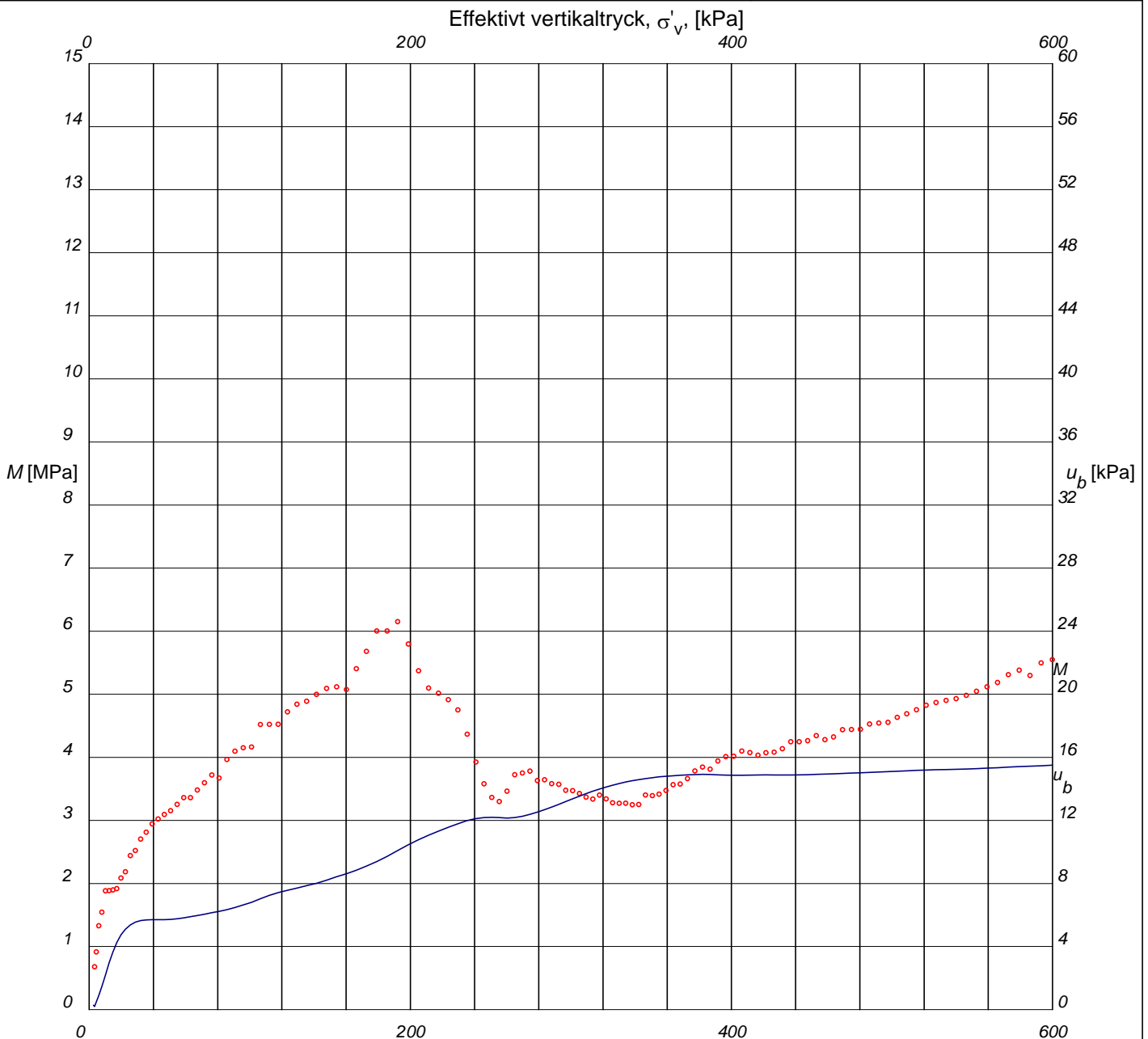
Provningstemp.: 20 °C

Provdiameter: 50 mm

Benämning: Varvig lera m siltiga finsandskikt, roströr, skred

Provhöjd: 20 mm

Def.hastighet: 0,72 %/h



Försöket är utfört och utvärderat enligt Svensk Standard SS 027126. Utrustningens egendeformation är beaktad.

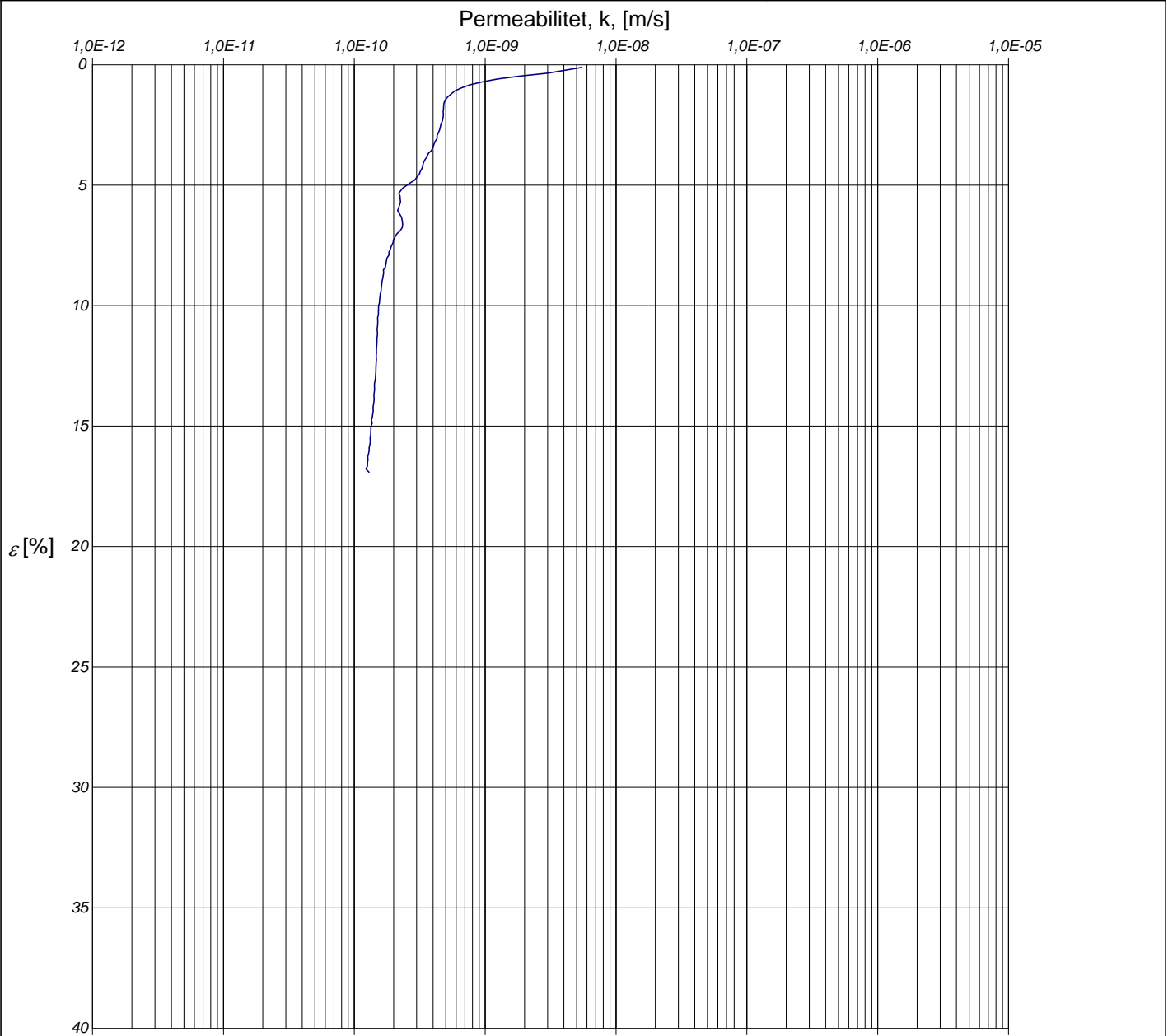
M'	$\sigma'_{L,}$ kPa
9,4	331

Anm.



Utvärdering av permeabilitet

Projekt: Högbytorp, Ragnsells		
Uppdragsnummer:	Uppdragsgivare: Peab Sverige AB, Göteborg	Datum/Sign: 2012-04-17 Löp-nr/Gransk.: 24246
Sektion/borrhål: 12GT03	Djup: 7,5 m	Ödometer nr: 4
Densitet: 1,95 t/m ³	Vattenkvot: 31 %	Provdiameter: 50 mm
Benämning: Varvig lera m siltiga finsandskikt, roströr, skred		Provhöjd: 20 mm
		Def.hastighet: 0,72 %/h



Redovisning enligt SGF:s Laboratoriekommittés rekommendationer.

Försöket är utfört och utvärderat enligt Svensk Standard SS 027126. Vid utvärdering av permeabiliteten k har korrektion utförts så att värdena motsvarar en temperatur av 7 °C.

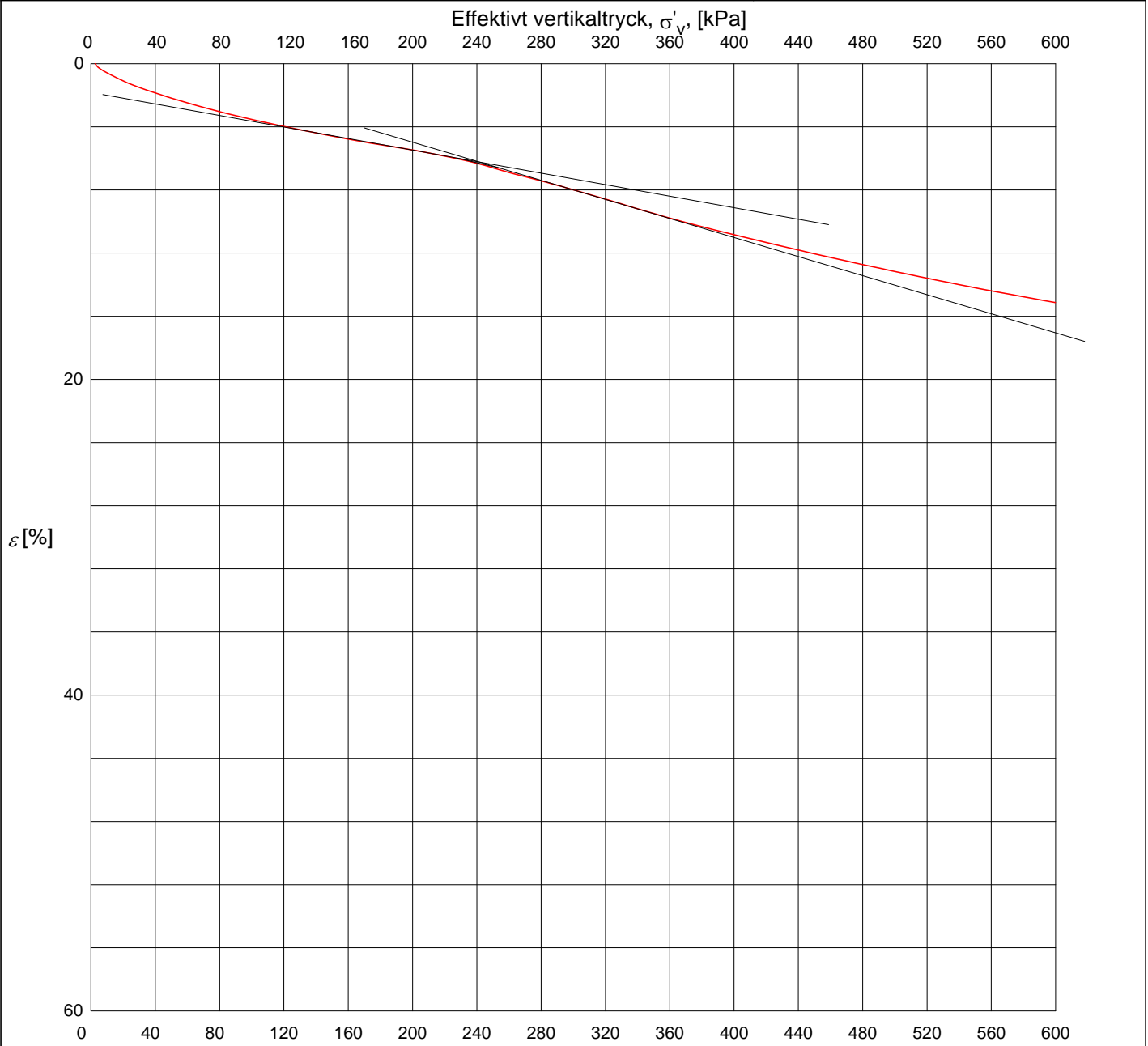
$k_j, m/s$	β_k
2,5E-10	1,8

Anm.



Utvärdering av förkonsolideringstryck och linjär modul

Projekt: Högbytorp, Ragnsells		
Uppdragsnummer:	Uppdragsgivare: Peab Sverige AB, Göteborg	Datum/Sign: 2012-04-17 Löp-nr/Gransk.: 24246
Sektion/borrhål: 12GT03	Djup: 7,5 m	Ödometer nr: 4
Densitet: 1,95 t/m ³	Vattenkvot: 31 %	Provdiameter: 50 mm
Benämning: Varvig lera m siltiga finsandskikt, roströr, skred		Provhöjd: 20 mm
		Def.hastighet: 0,72 %/h



Försöket är utfört och utvärderat enligt Svensk Standard SS 027126. Utrustningens egendeformation är beaktad.

σ'_c kPa	M_L kPa	σ'_L kPa
228	3314	331

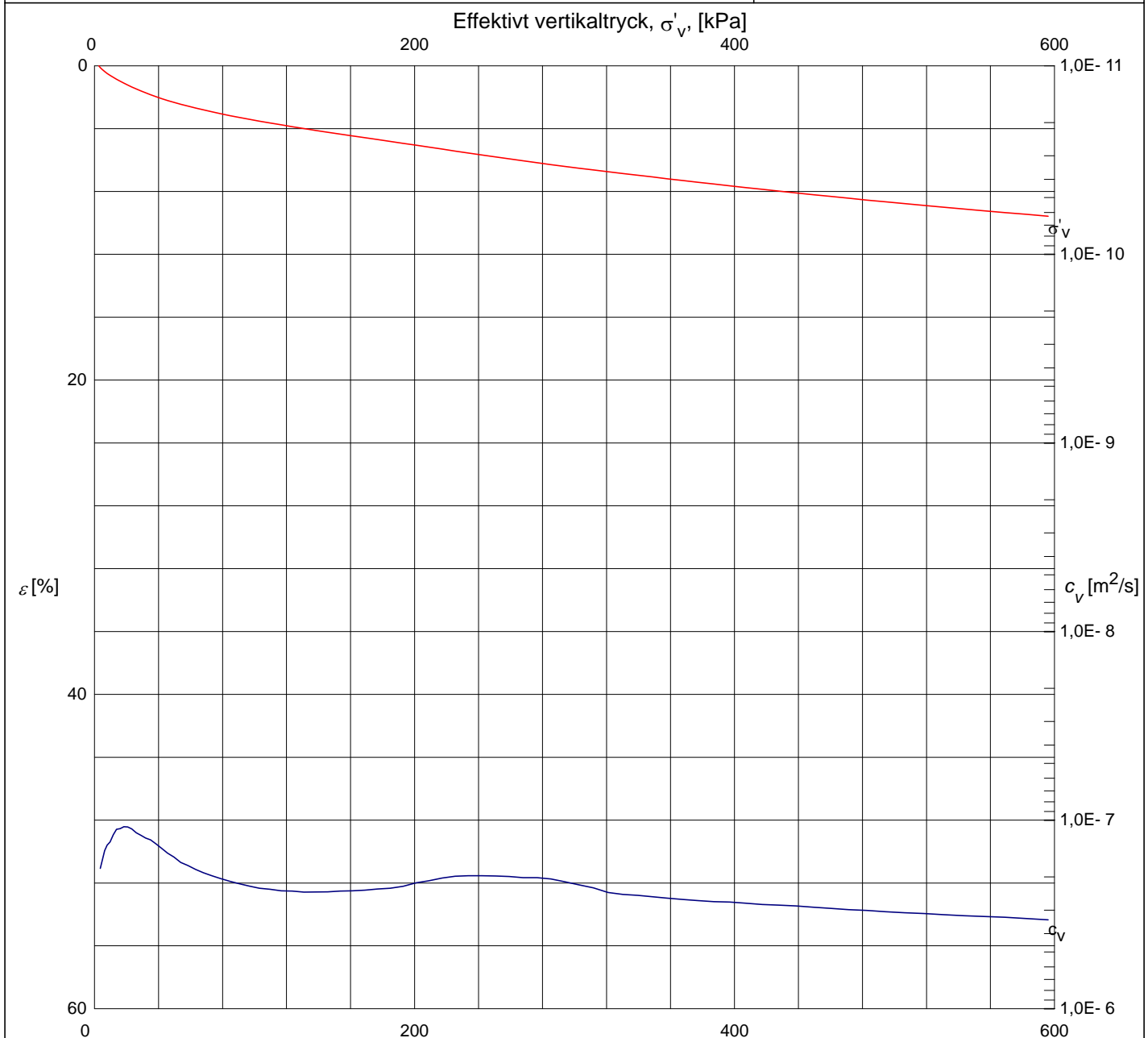
Anm.



Redovisning enligt SGF:s Laboratoriekommittés rekommendationer.

Redovisning av ödometerförsök, CRS-försök

Projekt: Högbytorp, Ragnsells		
Uppdragsnummer:	Uppdragsgivare: Peab Sverige AB, Göteborg	Datum/Sign: 2012-04-17 Löp-nr/Gransk.: 24246
Sektion/borrhål: 12GT03	Djup: 9,6 m	Ödometer nr: 5
Densitet: 1,93 t/m ³	Vattenkvot: 32 %	Provningstemp.: 20 °C
Benämning: Varvig lera m tunna finsandsskikt, skredt.		Provdiameter: 50 mm Provhöjd: 20 mm Def.hastighet: 0,68 %/h



Försöket är utfört och utvärderat enligt Svensk Standard SS 027126. Vid utvärdering av c_v och k har korrektion utförts så att värdena motsvarar en temperatur av 7 °C. Utrustningens egendeformation är beaktad. För utvärdering se bilagda diagram sid 2 - 4.

σ'_c , kPa	M_L , kPa	σ'_L , kPa	M'	$c_{v, min}$, m ² /s	k_j , m/s	β_k
	(6468)	222	14,0	1,9E-7	4,7E-10	2,4

Anm.



Utvärdering av modultal och kontroll av portryck

Projekt: **Högbytorp, Ragnsells**

Uppdragsnummer:

Uppdragsgivare:

Datum/Sign: 2012-04-17

Peab Sverige AB, Göteborg

Löp-nr/Gransk.: 24246

Sektion/borrhål: 12GT03

Djup: 9,6 m

Ödometer nr: 5

Densitet: 1,93 t/m³

Vattenkvot: 32 %

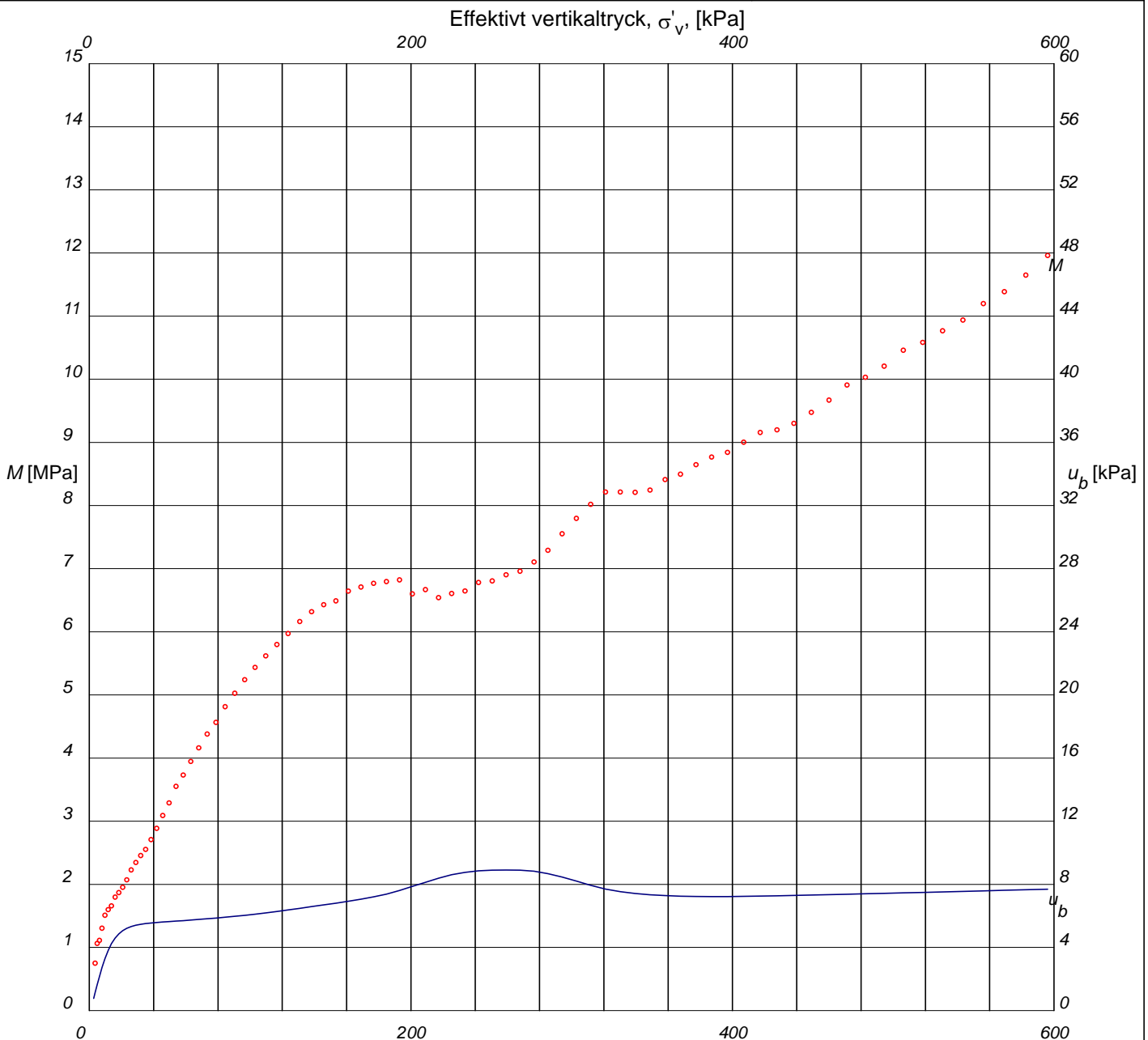
Provningstemp.: 20 °C

Provdiameter: 50 mm

Benämning: Varvig lera m tunna finsandsskikt, skredt.

Provhöjd: 20 mm

Def.hastighet: 0,68 %/h



Försöket är utfört och utvärderat enligt Svensk Standard SS 027126. Utrustningens egendeformation är beaktad.

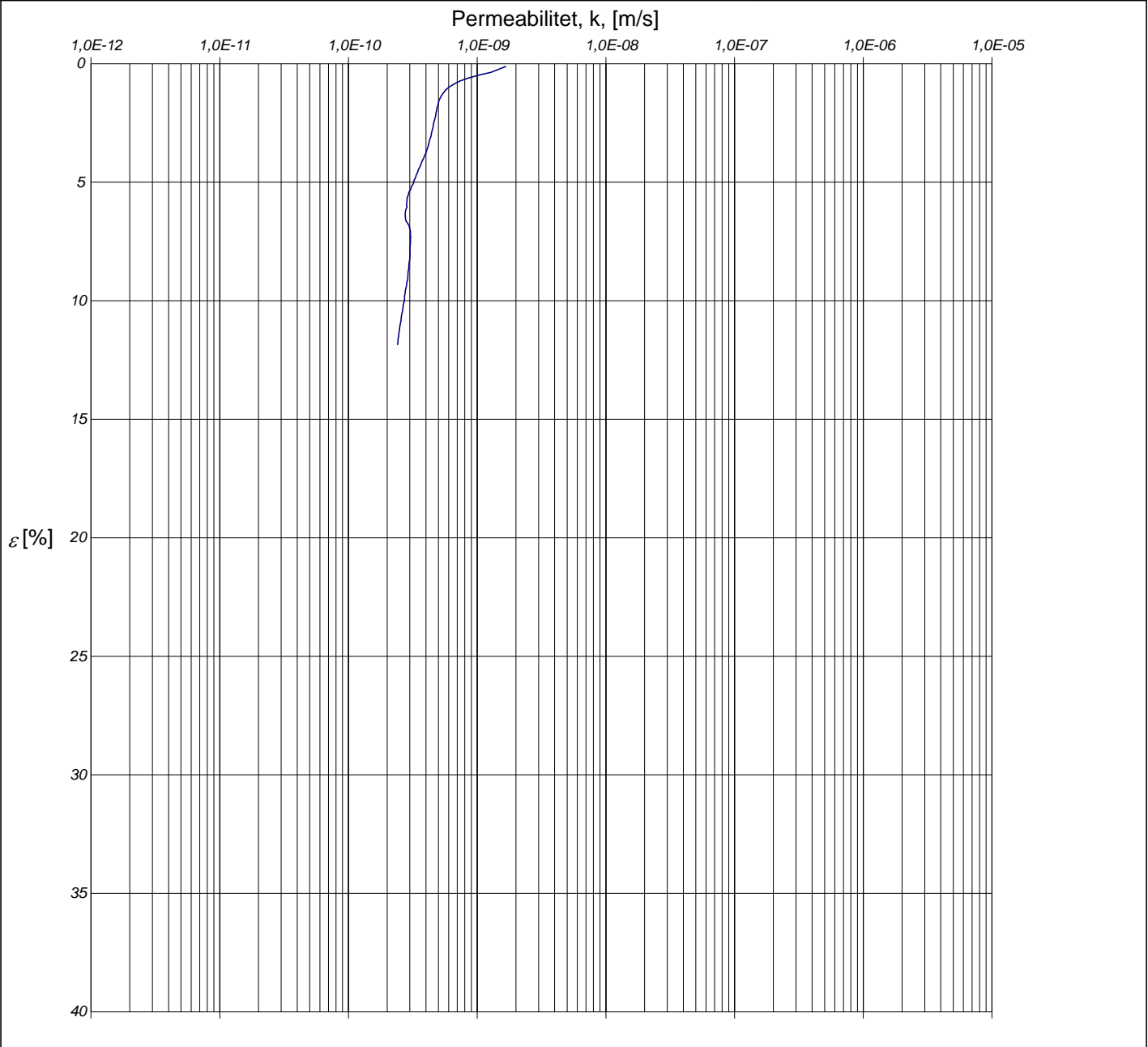
M'	$\sigma'_{L'}$, kPa
14,0	222

Anm.



Utvärdering av permeabilitet

Projekt: Högbytorp, Ragnsells		
Uppdragsnummer:	Uppdragsgivare: Peab Sverige AB, Göteborg	Datum/Sign: 2012-04-17 Löp-nr/Gransk.: 24246
Sektion/borrhål: 12GT03	Djup: 9,6 m	Ödometer nr: 5
Densitet: 1,93 t/m ³	Vattenkvot: 32 %	Provnings-temp.: 20 °C
Benämning: Varvig lera m tunna finsandsskikt, skredt.		Provdiameter: 50 mm Provhöjd: 20 mm Def.hastighet: 0,68 %/h



Redovisning enligt SGF:s Laboratoriekommittés rekommendationer.

Försöket är utfört och utvärderat enligt Svensk Standard SS 027126. Vid utvärdering av permeabiliteten k har korrektion utförts så att värdena motsvarar en temperatur av 7 °C.

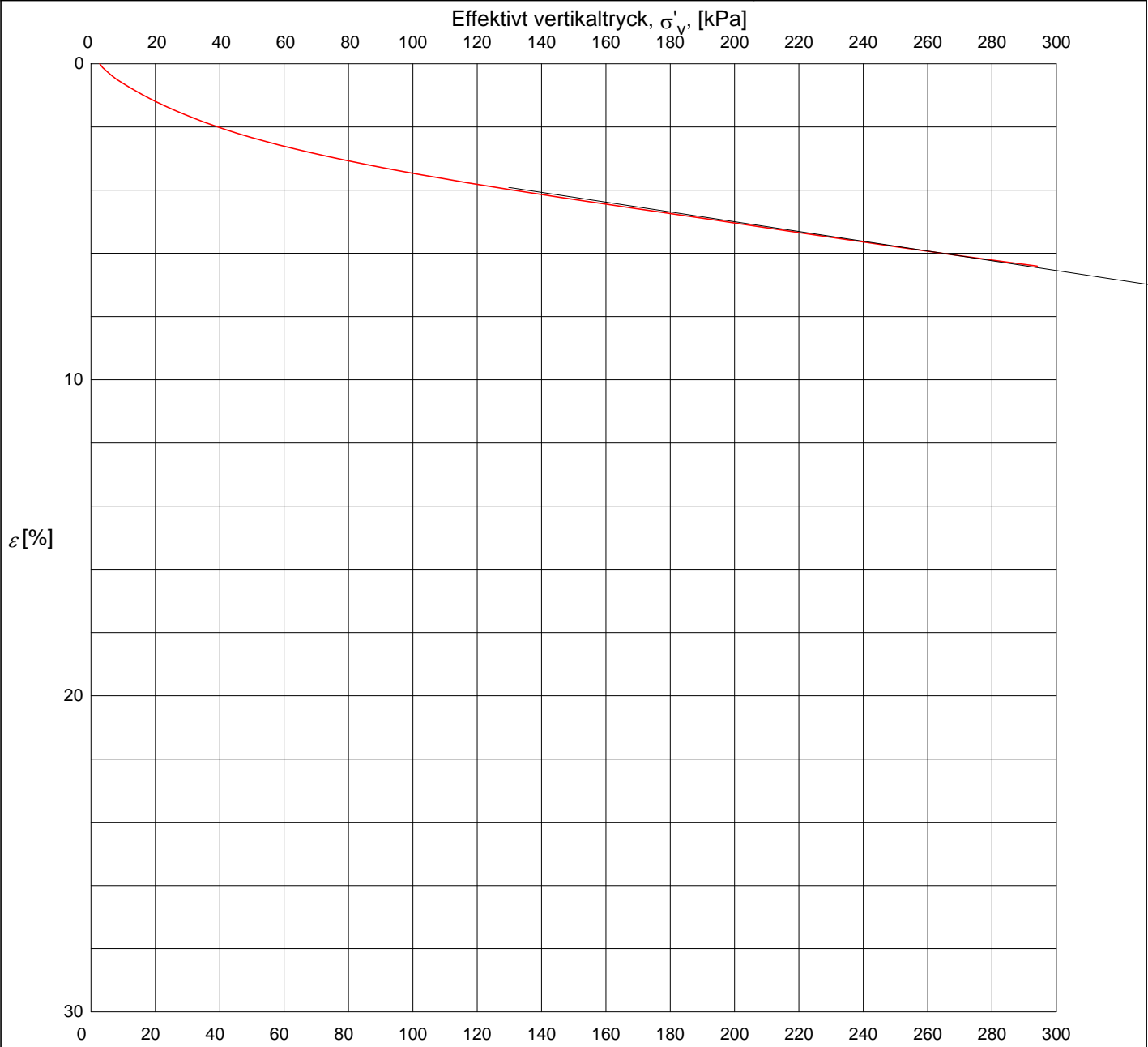
$k_j, m/s$	β_k
4,7E-10	2,4

Anm.



Utvärdering av förkonsolideringstryck och linjär modul

Projekt: Högbytorp, Ragnsells		
Uppdragsnummer:	Uppdragsgivare: Peab Sverige AB, Göteborg	Datum/Sign: 2012-04-17 Löp-nr/Gransk.: 24246
Sektion/borrhål: 12GT03	Djup: 9,6 m	Ödometer nr: 5
Densitet: 1,93 t/m ³	Vattenkvot: 32 %	Provdiameter: 50 mm
Benämning: Varvig lera m tunna finsandsskikt, skredt.		Provhöjd: 20 mm
		Def.hastighet: 0,68 %/h



Försöket är utfört och utvärderat enligt Svensk Standard SS 027126. Utrustningens egendeformation är beaktad.

σ'_c kPa	M_L kPa	σ'_L kPa
	(6468)	222

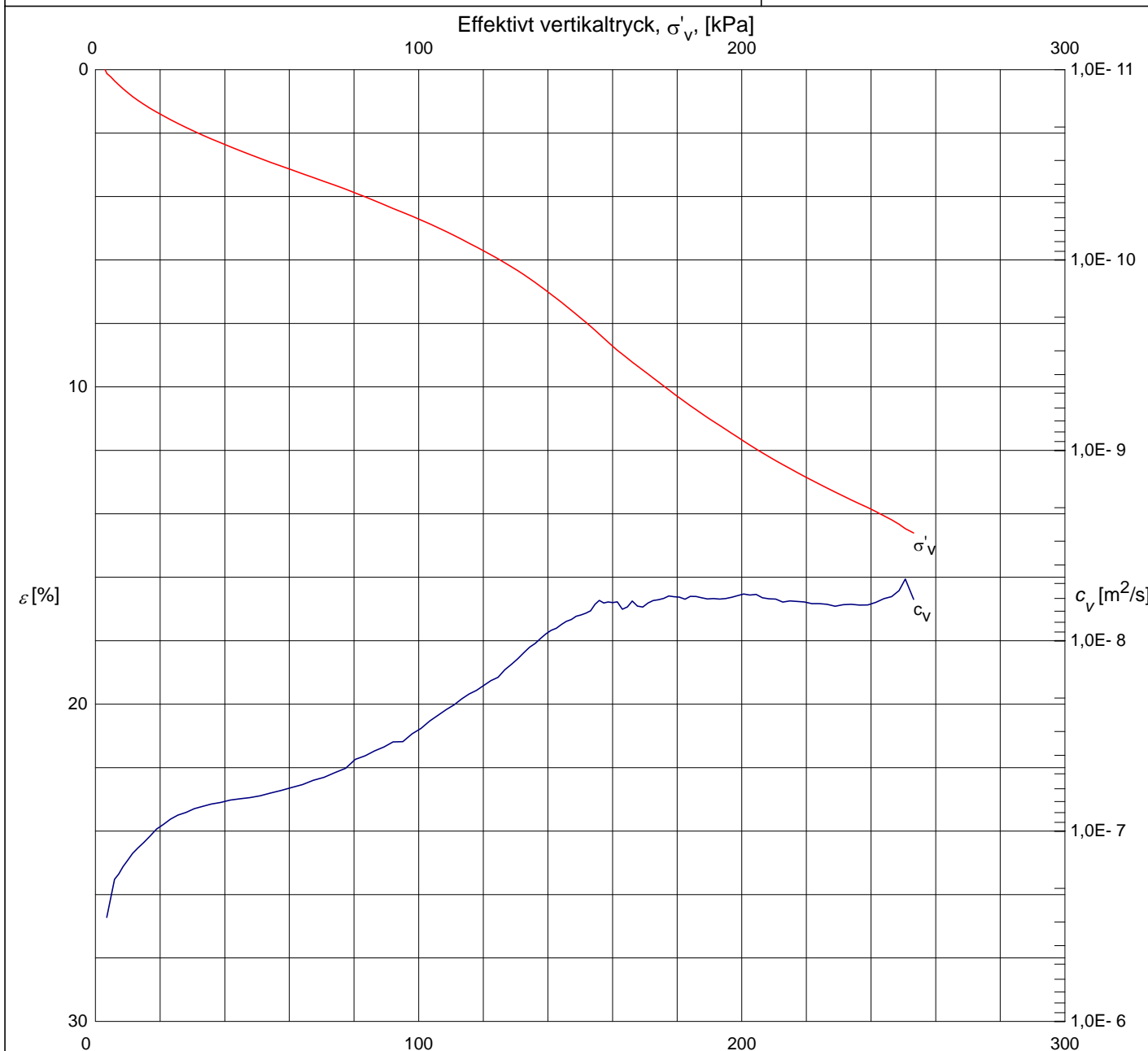
Anm.



Redovisning enligt SGF:s Laboratoriekommittés rekommendationer.

Redovisning av ödometerförsök, CRS-försök

Projekt: Högbytorp, Ragnsells		
Uppdragsnummer:	Uppdragsgivare: Peab Sverige AB, Göteborg	Datum/Sign: 2012-04-16 Löp-nr/Gransk.:
Sektion/borrhål: 12GT05	Djup: 3,5 m	Ödometer nr: 6
Densitet: 1,76 t/m ³	Vattenkvot: 42 %	Provningstemp.: 20 °C
Benämning: Varvig lera med enst. tunna siltiga finsandsskikt		Provdiameter: 50 mm Provhöjd: 20 mm Def.hastighet: 0,72 %/h



Försöket är utfört och utvärderat enligt Svensk Standard SS 027126. Vid utvärdering av c_v och k har korrektion utförts så att värdena motsvarar en temperatur av 7 °C. Utrustningens egendeformation är beaktad. För utvärdering se bilagda diagram sid 2 - 4.

σ'_c , kPa	M_L , kPa	σ'_L , kPa	M'	$c_{v, min}$, m ² /s	k_i , m/s	β_k
107	1169	150	12,5	5,7E-9	1,5E-10	5,1

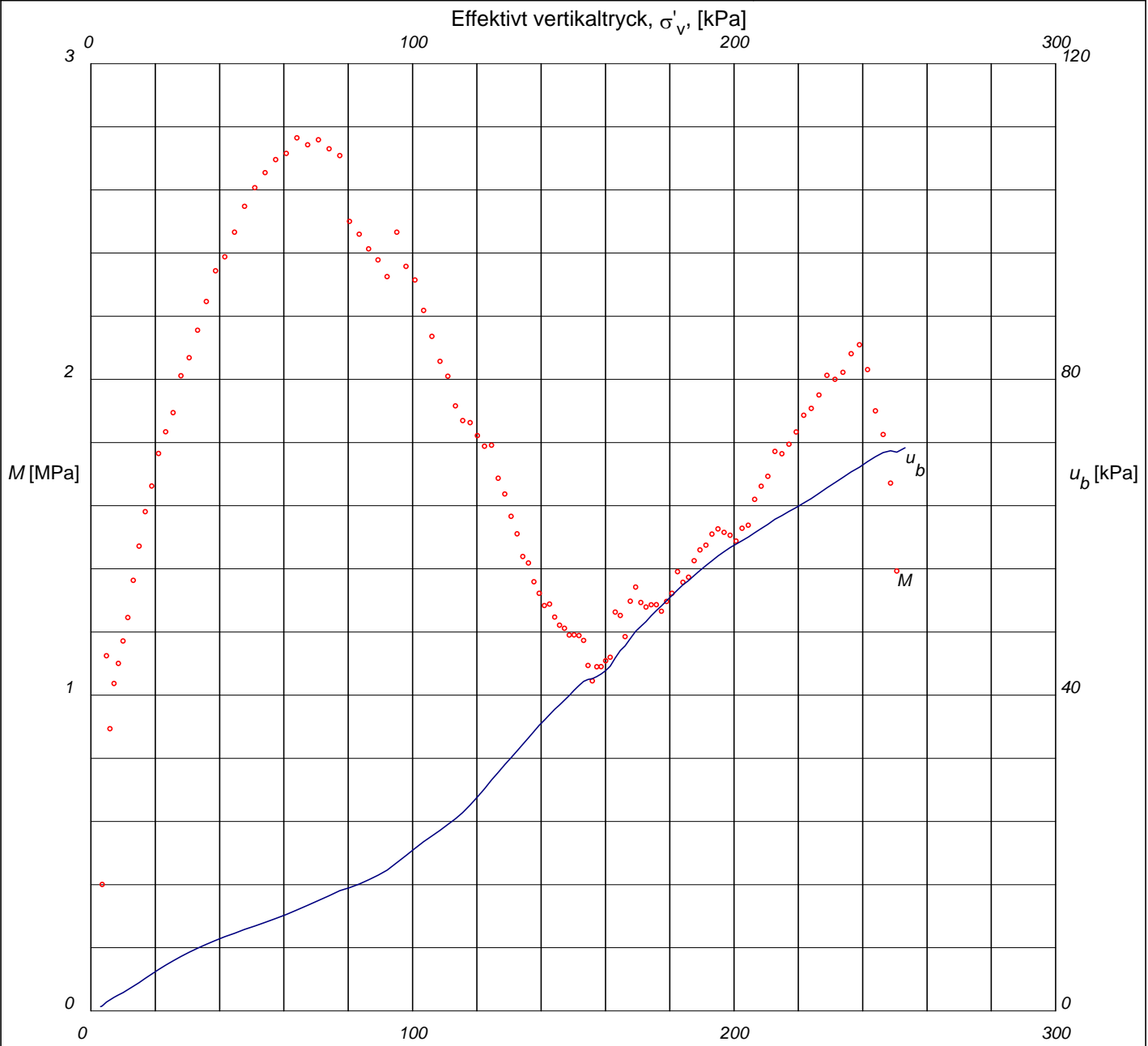
Anm.

Skalan i diagrammet avviker från den av SGF:s Laboratoriekommitté satta rekommendation.



Utvärdering av modultal och kontroll av portryck

Projekt: Högbytorp, Ragnsells		
Uppdragsnummer:	Uppdragsgivare: Peab Sverige AB, Göteborg	Datum/Sign: 2012-04-16 Löp-nr/Gransk.:
Sektion/borrhål: 12GT05	Djup: 3,5 m	Ödometer nr: 6
Densitet: 1,76 t/m ³	Vattenkvot: 42 %	Provdiameter: 50 mm
Benämning: Varvig lera med enst. tunna siltiga finsandsskikt		Provhöjd: 20 mm
		Def.hastighet: 0,72 %/h



Försöket är utfört och utvärderat enligt Svensk Standard SS 027126. Utrustningens egendeformation är beaktad.

M'	σ' _L , kPa
12,5	150

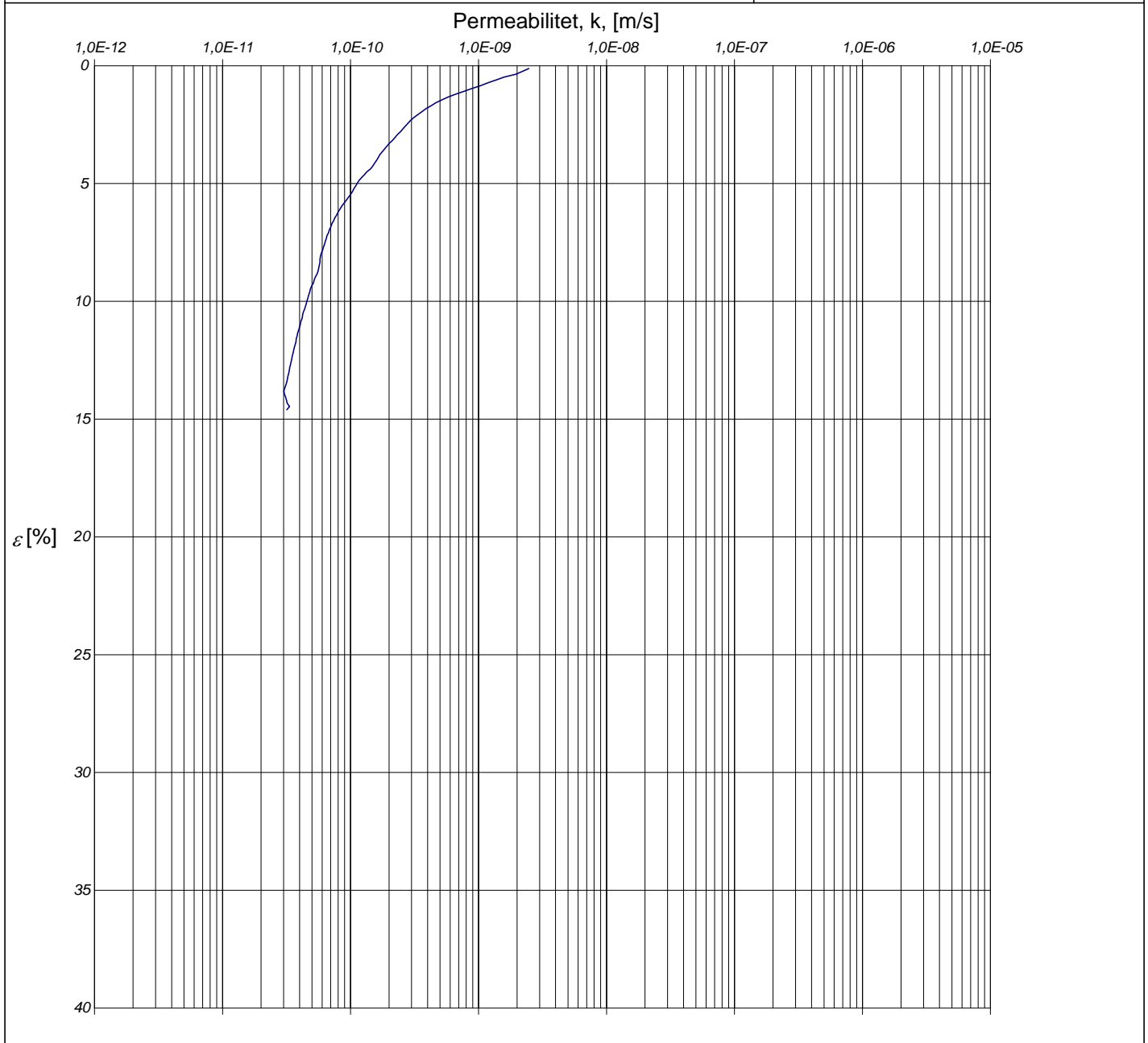
Anm.



Redovisning enligt SGF:s Laboratoriekommittés rekommendationer.

Utvärdering av permeabilitet

Projekt: Högbytorp, Ragnsells		
Uppdragsnummer:	Uppdragsgivare: Peab Sverige AB, Göteborg	Datum/Sign: 2012-04-16 Löp-nr/Gransk.:
Sektion/borrhål: 12GT05	Djup: 3,5 m	Ödometer nr: 6
Densitet: 1,76 t/m ³	Vattenkvot: 42 %	Provdiameter: 50 mm
Benämning: Varvig lera med enst. tunna siltiga finsandsskikt	Provningstemp.: 20 °C	Provhöjd: 20 mm
		Def.hastighet: 0,72 %/h



Försöket är utfört och utvärderat enligt Svensk Standard SS 027126. Vid utvärdering av permeabiliteten k har korrektion utförts så att värdena motsvarar en temperatur av 7 °C.

$k_i, m/s$	β_k
1,5E-10	5,1

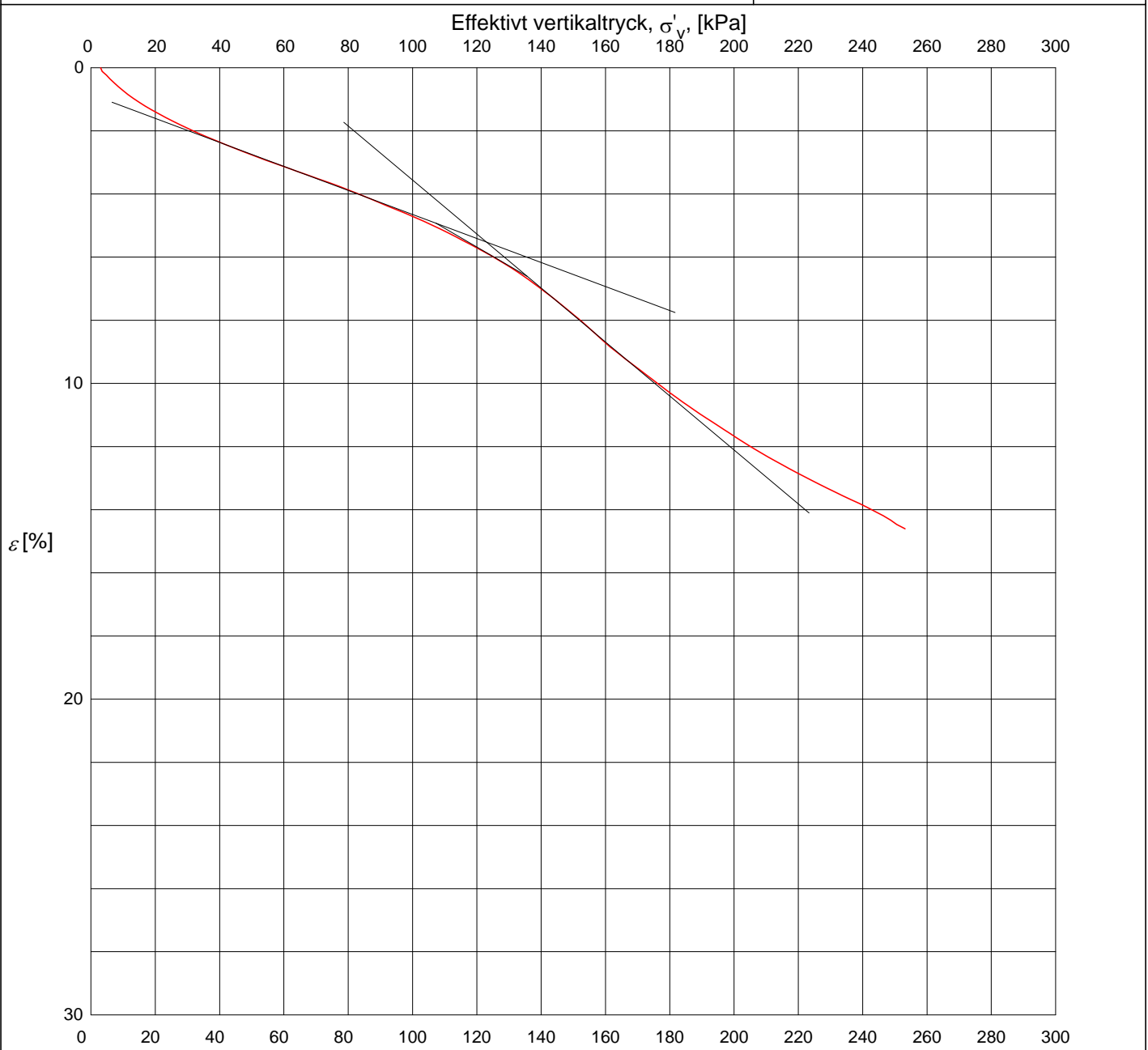
Anm.

Redovisning enligt SGF:s Laboratoriekommittés rekommendationer.



Utvärdering av förkonsolideringstryck och linjär modul

Projekt: Högbytorp, Ragnsells		
Uppdragsnummer:	Uppdragsgivare: Peab Sverige AB, Göteborg	Datum/Sign: 2012-04-16 Löp-nr/Gransk.:
Sektion/borrhål: 12GT05	Djup: 3,5 m	Ödometer nr: 6
Densitet: 1,76 t/m ³	Vattenkvot: 42 %	Provningstemp.: 20 °C
Benämning: Varvig lera med enst. tunna siltiga finsandsskikt		Provdiameter: 50 mm Provhöjd: 20 mm Def.hastighet: 0,72 %/h



Försöket är utfört och utvärderat enligt Svensk Standard SS 027126. Utrustningens egendeformation är beaktad.

σ'_c , kPa	M_L , kPa	σ'_L , kPa
107	1169	150

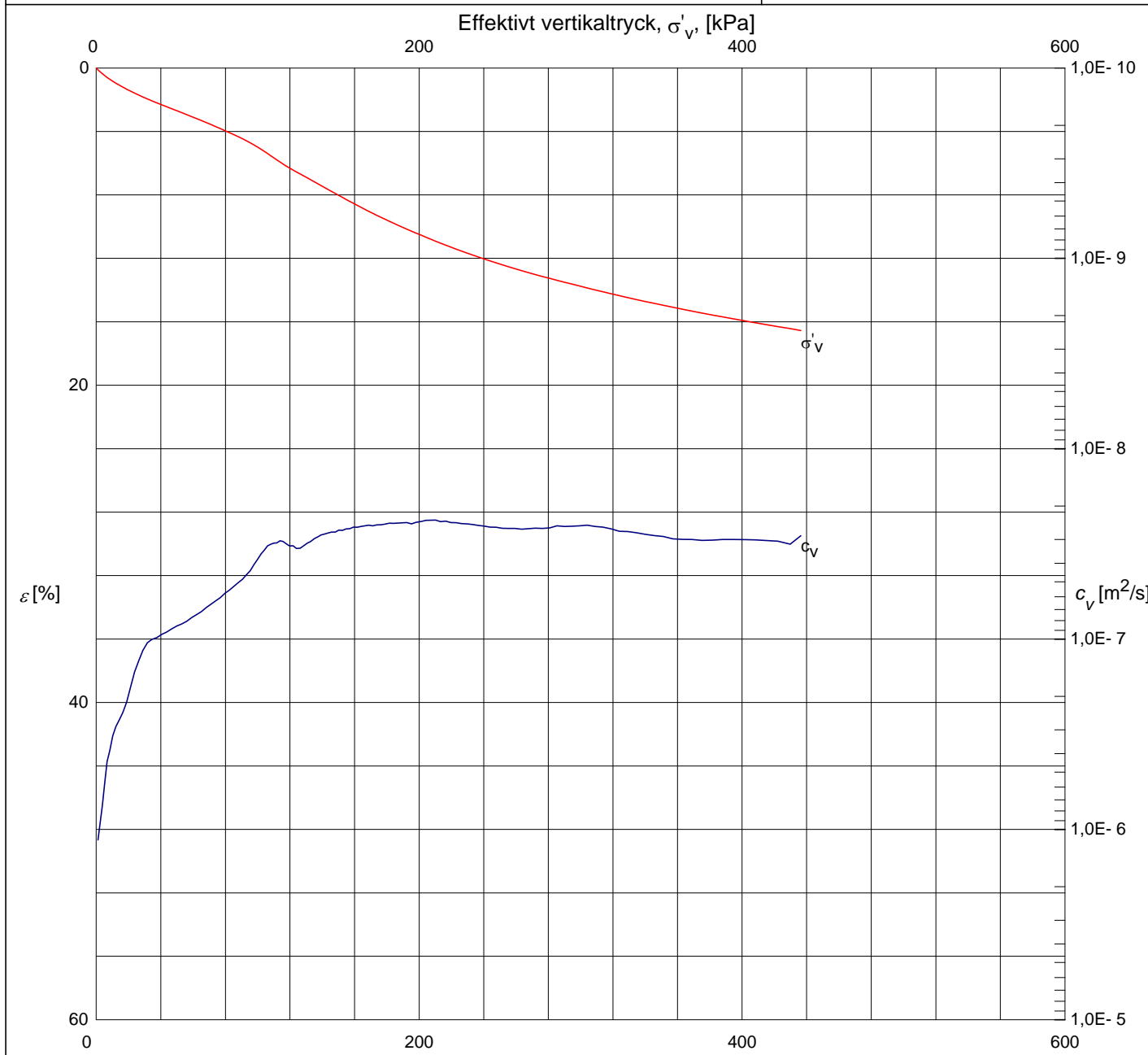
Anm.



Redovisning enligt SGF:s Laboratoriekommittés rekommendationer.

Redovisning av ödometerförsök, CRS-försök

Projekt: Högbytorp, Ragnsells		
Uppdragsnummer:	Uppdragsgivare: Peab Sverige AB, Göteborg	Datum/Sign: 2012-04-17 Löp-nr/Gransk.: 24246
Sektion/borrhål: 12GT05	Djup: 5,9 m	Ödometer nr: 6
Densitet: 1,74 t/m ³	Vattenkvot: 48 %	Provningstemp.: 20 °C
Benämning: Varvig lera med enstaka tunna finsandsskikt		Provdiameter: 50 mm Provhöjd: 20 mm Def.hastighet: 0,72 %/h



Redovisning enligt SGF:s Laboratoriekommittés rekommendationer.

Försöket är utfört och utvärderat enligt Svensk Standard SS 027126. Vid utvärdering av c_v och k har korrektion utförts så att värdena motsvarar en temperatur av 7 °C. Utrustningens egendeformation är beaktad. För utvärdering se bilagda diagram sid 2 - 4.

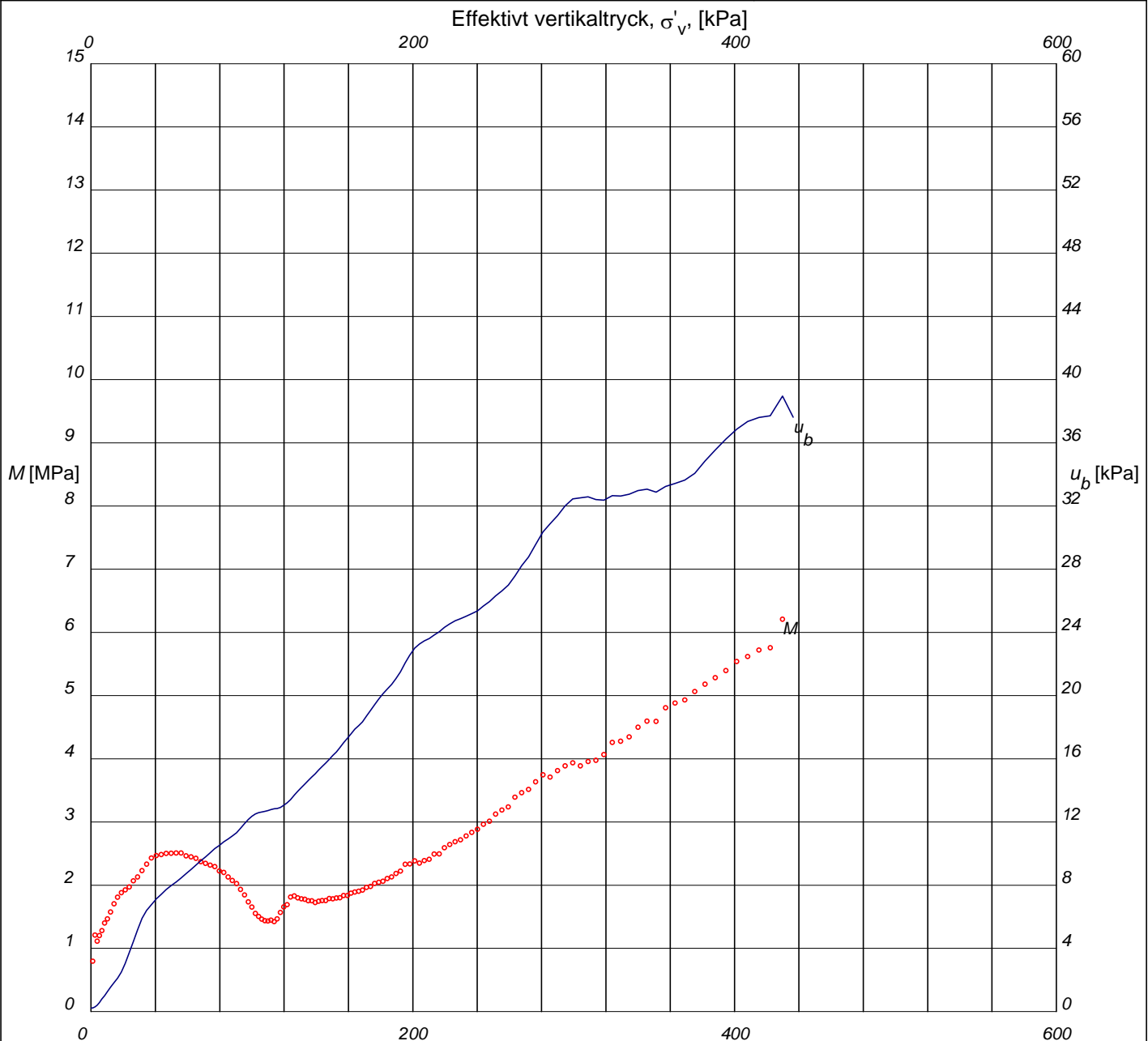
σ'_c , kPa	M_L , kPa	σ'_L , kPa	M'	$c_{v, min}$, m ² /s	k_j , m/s	β_k
82	1618	121	13,7	2,4E-8	4,4E-10	6,0

Anm.



Utvärdering av modultal och kontroll av portryck

Projekt: Högbytorp, Ragnsells		
Uppdragsnummer:	Uppdragsgivare: Peab Sverige AB, Göteborg	Datum/Sign: 2012-04-17 Löp-nr/Gransk.: 24246
Sektion/borrhål: 12GT05	Djup: 5,9 m	Ödometer nr: 6
Densitet: 1,74 t/m ³	Vattenkvot: 48 %	Provningstemp.: 20 °C
Benämning: Varvig lera med enstaka tunna finsandsskikt		Provdiameter: 50 mm Provhöjd: 20 mm Def.hastighet: 0,72 %/h



Försöket är utfört och utvärderat enligt Svensk Standard SS 027126. Utrustningens egendeformation är beaktad.

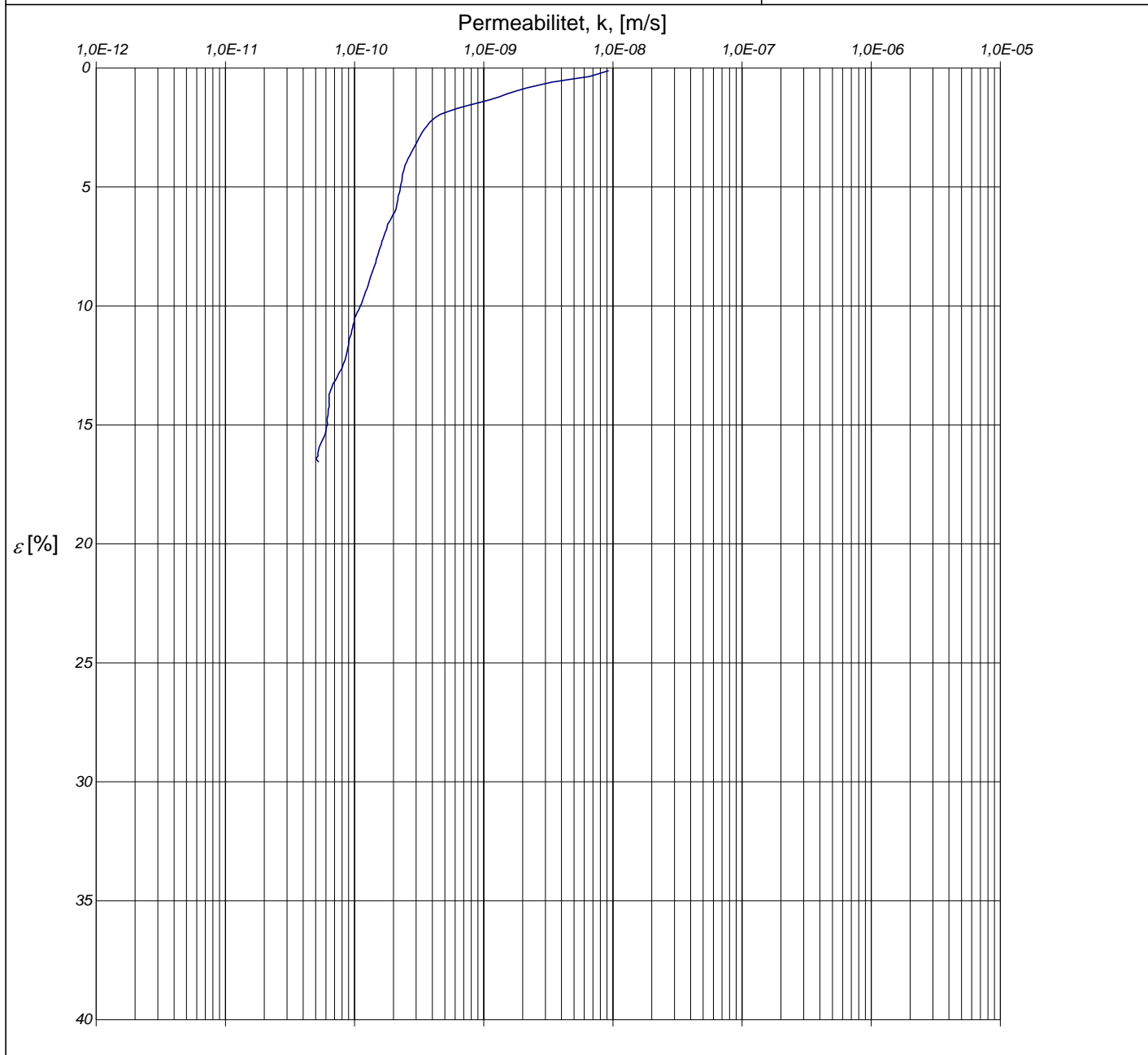
M'	$\sigma'_{L'}$, kPa
13,7	121

Anm.



Utvärdering av permeabilitet

Projekt: Högbytorp, Ragnsells		
Uppdragsnummer:	Uppdragsgivare: Peab Sverige AB, Göteborg	Datum/Sign: 2012-04-17 Löp-nr/Gransk.: 24246
Sektion/borrhål: 12GT05	Djup: 5,9 m	Ödometer nr: 6
Densitet: 1,74 t/m ³	Vattenkvot: 48 %	Provnings-temp.: 20 °C
Benämning: Varvig lera med enstaka tunna finsandsskikt		Provdiameter: 50 mm Provhöjd: 20 mm Def.hastighet: 0,72 %/h



Försöket är utfört och utvärderat enligt Svensk Standard SS 027126. Vid utvärdering av permeabiliteten k har korrektion utförts så att värdena motsvarar en temperatur av 7 °C.

k_i , m/s	β_k
4,4E-10	6,0

Anm.

Redovisning enligt SGF:s Laboratoriekommittés rekommendationer.



Utvärdering av förkonsolideringstryck och linjär modul

Projekt: **Högbytorp, Ragnsells**

Uppdragsnummer:

Uppdragsgivare:

Datum/Sign: 2012-04-17

Peab Sverige AB, Göteborg

Löp-nr/Gransk.: 24246

Sektion/borrhål: 12GT05

Djup: 5,9 m

Ödometer nr: 6

Densitet: 1,74 t/m³

Vattenkvot: 48 %

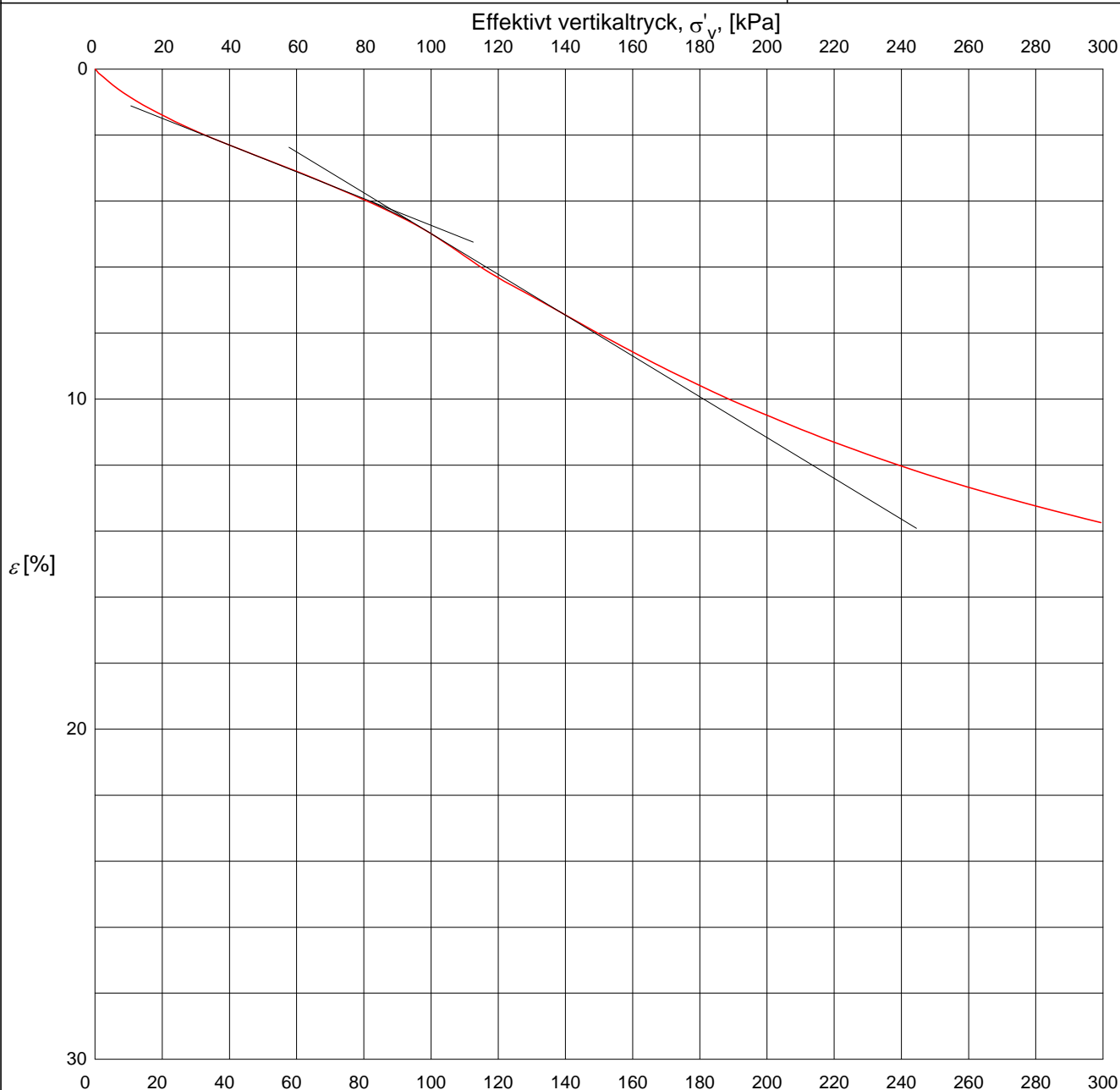
Provningstemp.: 20 °C

Provdiameter: 50 mm

Benämning: Varvig lera med enstaka tunna finsandsskikt

Provhöjd: 20 mm

Def.hastighet: 0,72 %/h



Försöket är utfört och utvärderat enligt Svensk Standard SS 027126. Utrustningens egendeformation är beaktad.

σ'_c , kPa	M_L , kPa	σ'_L , kPa
82	1618	121

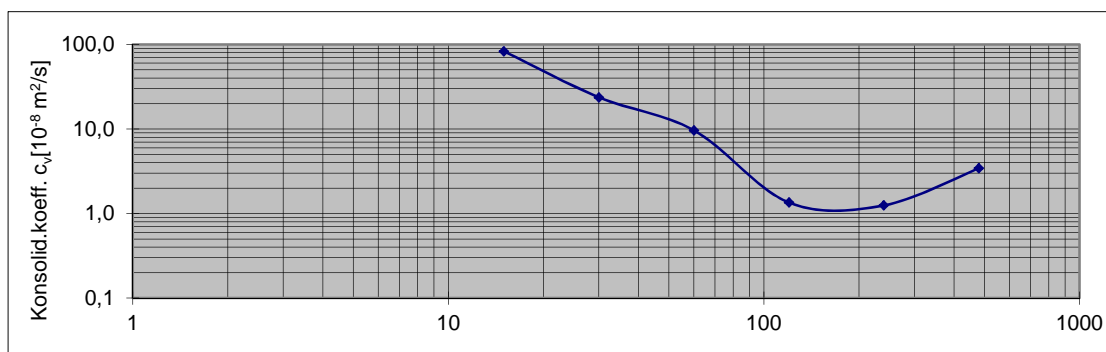
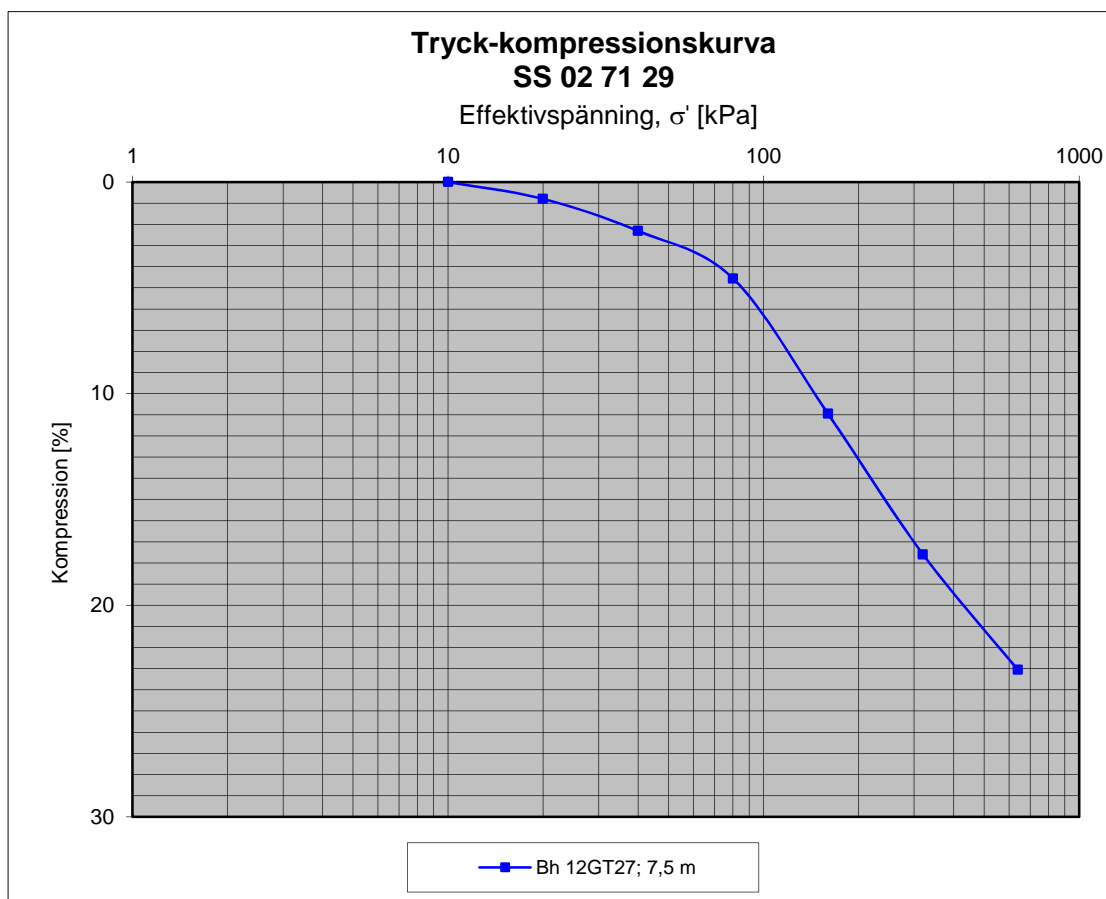
Anm.

Redovisning enligt SGF:s Laboratoriekommittés rekommendationer.



Ödometerförsök med stegvis pålastning

Projekt Högbytorp		
<i>Uppdragsnummer</i>	<i>Uppdragsgivare</i>	<i>Gransk./Tabell</i>
7481079, 4891	Peab Sverige AB, Göteborg	<i>Löp-nr</i> 25313
<i>Provtagningsdatum</i>	<i>Provtagningsredskap / Analysmetod</i>	<i>Datum/Sign</i> 2013-01-31
2012-11-22	Kv St I ø 50 mm	<i>Undersökningsdatum</i>
		2012-12-12 - 2013-01-16



Borrhål/sektion	Djup [m]	Geoteknisk benämning	σ'_c [kPa]
12GT27	7,5	Siltig lera med enstaka finsandslinser	83

Provdata: ursprungshöjd 20 mm; ø 50 mm; densitet 1,99 g/cm³; vattenkvot 26 %.

Standardödometer nr 9, fast ring, dubbelsidig dränering. Provningsstemperatur 20 °C.

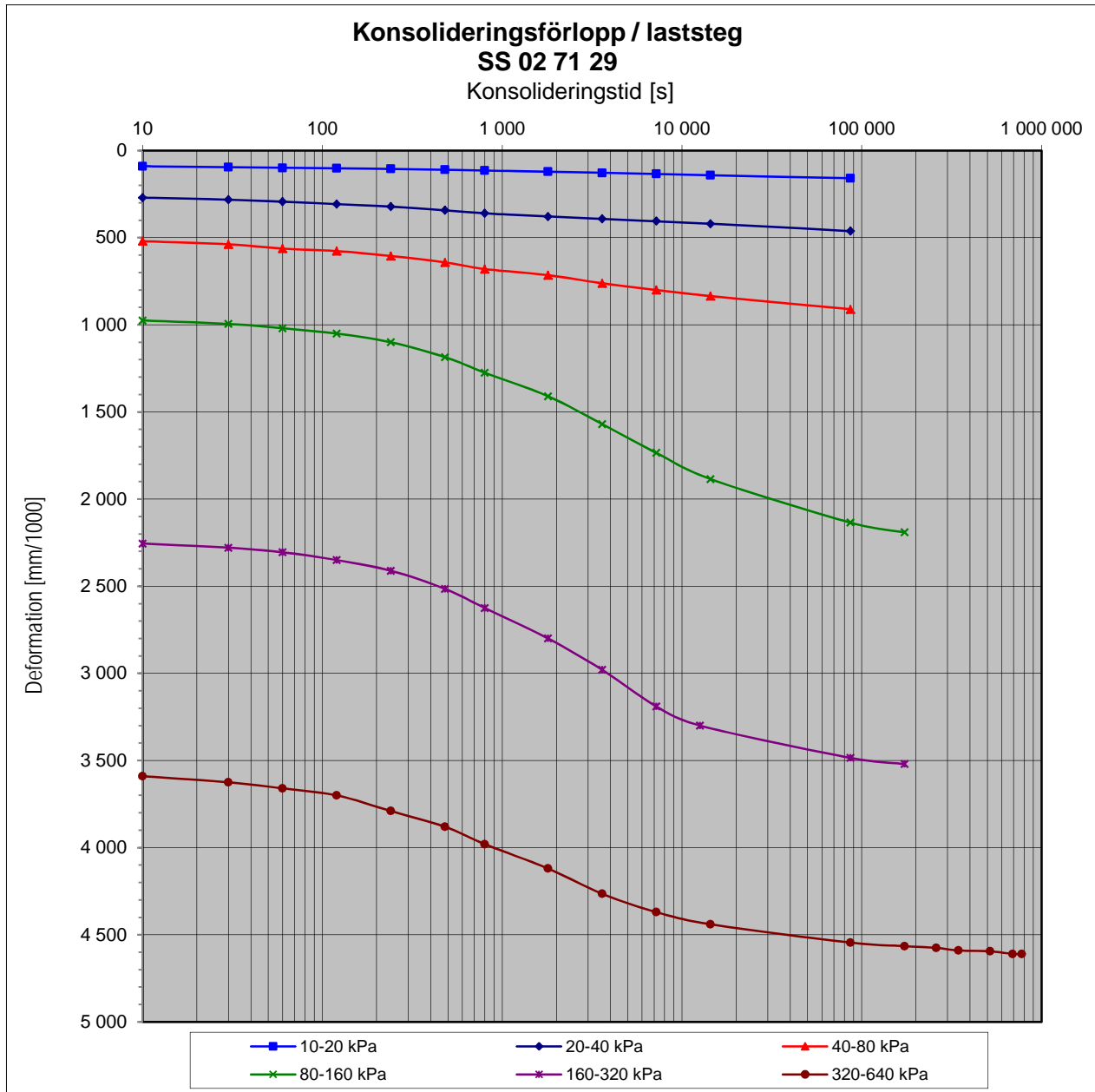
Konsolideringskoefficient enligt Taylor.

P:\2172\Uppdrag 2013\25313\Öd-A 12GT27 7,5m 130131.xlsx



Ödometerförsök med stegvis pålastning

Projekt Högbytorp		
<i>Uppdragsnummer</i> 7481079, 4891	<i>Uppdragsgivare</i> Peab Sverige AB, Göteborg	<i>Gransk./Tabell</i> <i>Löp-nr</i> 25313
<i>Provtagningsdatum</i> 2012-11-22	<i>Provtagningsredskap / Analysmetod</i> Kv St I ø 50 mm	<i>Datum/Sign</i> 2013-01-31 <i>Undersökningsdatum</i> 2012-12-12 - 2013-01-16



<i>Borrhål/sektion</i>	<i>Djup [m]</i>	<i>Geoteknisk benämning</i>
12GT27	7,5	Siltig lera med enstaka finsandslinser

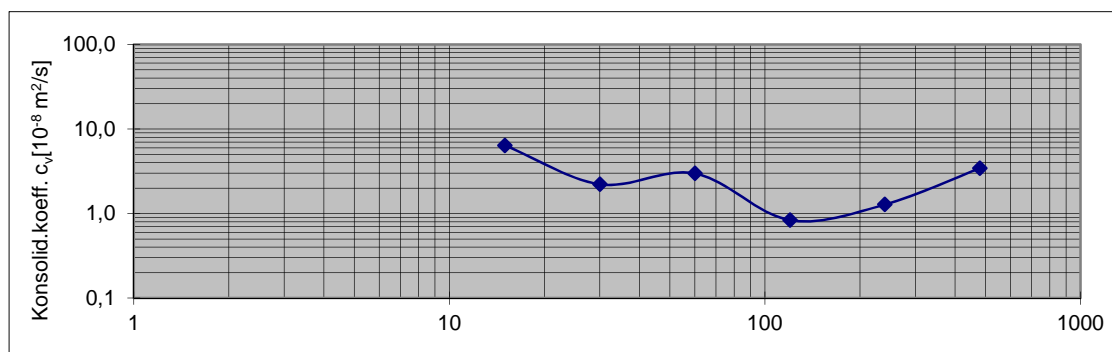
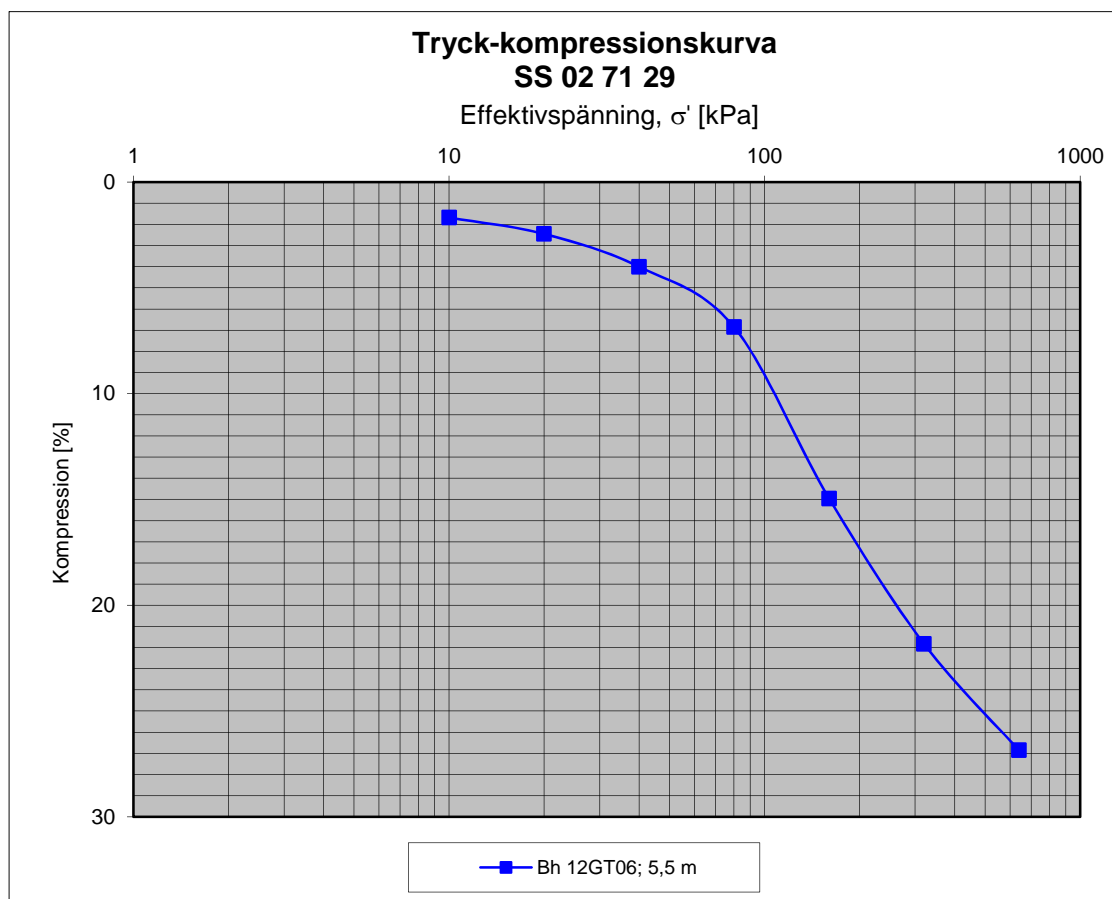
Provdata: ursprungshöjd 20 mm; ø 50 mm; densitet 1,99 g/cm³; vattenkvot 26 %.

Standardödometer nr 9, fast ring, dubbelsidig dränering. Provningsstemperatur 20 °C.



Ödometerförsök med stegvis pålastning

Projekt Högbytorp, Ragnsells		
<i>Uppdragsnummer</i>	<i>Uppdragsgivare</i>	<i>Gransk./Tabell</i>
	Peab Sverige AB, Göteborg	<i>Löp-nr</i> 24246
<i>Provtagningsdatum</i>	<i>Provtagningsredskap / Analysmetod</i>	<i>Datum/Sign</i> 2012-04-26
	Kv St I ø 50mm	<i>Undersökningsdatum</i>
		2012-04-13 - 2012-04-25



Borrhål/sektion	Djup [m]	Geoteknisk benämning	σ'_c [kPa]
12GT06	5,5	Varvig lera med tunna finsandsskikt	80

Provdata: ursprungshöjd 20 mm; ø 50 mm; densitet 1,75 g/cm³; vattenkvot 48 %.

Standardödometer nr 1, fast ring, dubbelsidig dränering. Provningsstemperatur 20 °C.

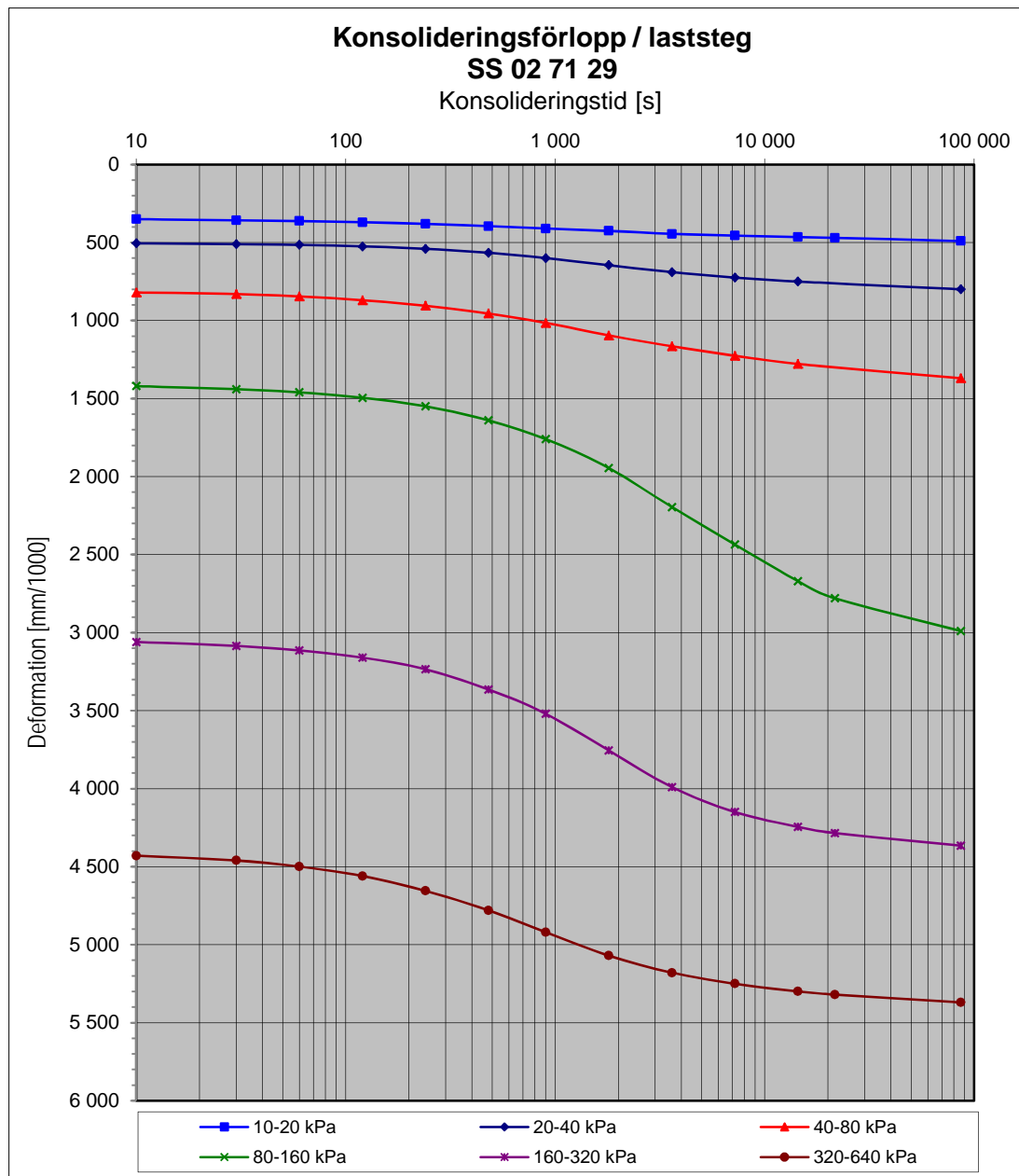
Konsolideringskoefficient enligt Taylor.

P:\2172\Uppdrag 2012\24246[Ödometer 12GT06 5,5m 120426.xlsx]



Ödometerförsök med stegvis pålastning

Projekt Högbytorp, Ragnsells		
<i>Uppdragsnummer</i>	<i>Uppdragsgivare</i>	<i>Gransk./Tabell</i>
	Peab Sverige AB, Göteborg	<i>Löp-nr</i> 24246
<i>Provtagningsdatum</i>	<i>Provtagningsredskap / Analysmetod</i>	<i>Datum/Sign</i> 2013-11-19
	Kv St I ø 50mm	<i>Undersökningsdatum</i>
		2012-04-13 - 2012-04-25



<i>Borrhål/sektion</i>	<i>Djup [m]</i>	<i>Geoteknisk benämning</i>
12GT06	5,5	Varvig lera med tunna finsandsskikt

Provdata: ursprungshöjd 20 mm; ø 50 mm; densitet 1,75 g/cm³; vattenkvot 48 %.

Standardödometer nr 1, fast ring, dubbelsidig dränering. Provningsstemperatur 20 °C.

