

Skapat av F. Bergström	Dokumentdatum 2024-09-20	Teknikområde Geoteknik
Projektamn Slussar i Trollhätte kanal	Objektnummer XVA300	Uppdragsnummer 10362412

# Slussar i Trollhätte kanal Lilla Edet

## Beräknings-PM Sättningar inom påverkansområde grundvatten

### Programhandling S.14+TK.T.A00-UGB.T.006

Ändringsbeteckning	Ändring avser	Ändring godkänd av	Ändringsdatum
Godkänd av J. Moberg	Datum 2024-09-20	Uppdragsansvarig A. Lager	Företag WSP Sverige AB

## Innehåll

<b>1</b>	<b>BAKGRUND OCH SYFTE</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>OMFATTNING OCH AVGRÄNSNING</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>UNDERLAG</b>	<b>4</b>
3.1.	GEOTEKNISKA UNDERSÖKNINGAR	4
3.2.	HYDROGEOLOGISKA UNDERSÖKNINGAR OCH MODELL	4
<b>4</b>	<b>GEOTEKNISKA FÖRHÅLLANDEN</b>	<b>4</b>
<b>5</b>	<b>HYDROGEOLOGISKA FÖRHÅLLANDEN</b>	<b>6</b>
<b>6</b>	<b>SÄTTNINGAR VID TRYCKSÄNKNING I UNDRE MAGASINET</b>	<b>6</b>
<b>7</b>	<b>SÄTTNINGSBERÄKNINGAR</b>	<b>7</b>
7.1.	GENOMFÖRANDE OCH PROGRAMVARA	7
7.2.	INDATA FÖR SÄTTNINGSBERÄKNINGAR	9
7.3.	BERÄKNINGSRESULTAT	28
<b>8</b>	<b>SAMMANFATTNING OCH SLUTSATS</b>	<b>32</b>
8.1.	PÅVERKAN PÅ BEFINTLIGA BYGGNADER	32
8.2.	PÅVERKAN PÅ BEFINTLIGA LEDNINGAR	32

## Bilagor

Benämning	Beskrivning	Sidor	Rev
Bilaga 1	Översikt sättningsanalys	2	
Bilaga 2	Utvärdering av materialparametrar	14	
Bilaga 3	Tolkning av lerdjup och portryck - Sektioner	12	
Bilaga 4	Sättningar längs spillvattenledning i Slottsparken	1	

## Hänvisningar dokument

Benämning	Dokumentnummer
Markteknisk undersökningsrapport (MUR) Geoteknik	S.14+TK.T.A00-UGD.T.002
Rapport arkivinventering Geoteknik	S.14+TK.T.A00-UGD.T.001
PM Hydrogeologi	S.14+TK.T.A00-UHA.T.101
PM Riskbedömning sättningar befintliga byggnader	S.14+TK.T.A00-UGA.T.006
Förslag till kontrollprogram Rörelser, grundvatten och vibrationer	S.14+TK.T.A00-VGB.T.005

## 1 Bakgrund och syfte

Inför anläggande av ny sluss i Lilla Edet analyseras risker med avseende på omgivningspåverkan i samband med projektets genomförande. Denna PM syftar till att redovisa utförda sättningsberäkningar och bedömd risk för sättningar hos befintliga byggnader och VA-ledningar inom påverkansområdet för grundvattensänkning.

## 2 Omfattning och avgränsning

Marksättning med skadliga konsekvenser till följd av grundvattensänkning kan uppstå när grundvattentrycknivån sänks i områden där det finns sättningkänsliga objekt/byggnader som är grundlagda på lera. Avgränsning av aktuellt område för sättningsanalys redovisas med röd streckad linje i Figur 1. Bedömt påverkansområde för grundvattentrycksänkning redovisas med gul linje och avser det område där den förväntade sänkningen uppgår till 0,3 m eller mer.



Figur 1. Översikt över område för sättningsanalys. Bedömt påverkansområde för grundvattensänkning redovisas med gul linje. Aktuellt område för sättningsanalys markeras med röd streckad linje.

Sättningsanalyser har utförts för förväntad grundvattentrycksänkning under anläggningsskedet. Efter anläggningsskedet förväntas grundvattentrycknivåerna inom analysområdet i stort sett återgå till de normala. Söder om Ljungskilevägen förväntas en mycket liten permanent avsänkning på ca 0,3 - 0,5 m som endast bedöms ha marginell inverkan på beräknade sättningar.

---

## 3 Underlag

### 3.1. Geotekniska undersökningar

I samband med framtagande av tillståndsansökan och systemhandling för projektet har ett stort antal geotekniska fält- och laboratorieundersökningar utförts under perioden juni 2022 – juni 2024.

Undersökningarna redovisas i "Markteknisk undersökningsrapport (MUR) Geoteknik" dokument nr. S.14+TK.T.A00-UGD.T.002.

Inventering av tidigare utförda geotekniska undersökningar har genomförts och har sammanställts i "Rapport arkivinventering Geoteknik" dokument nr. S.14+TK.T.A00-UGD.T.001.

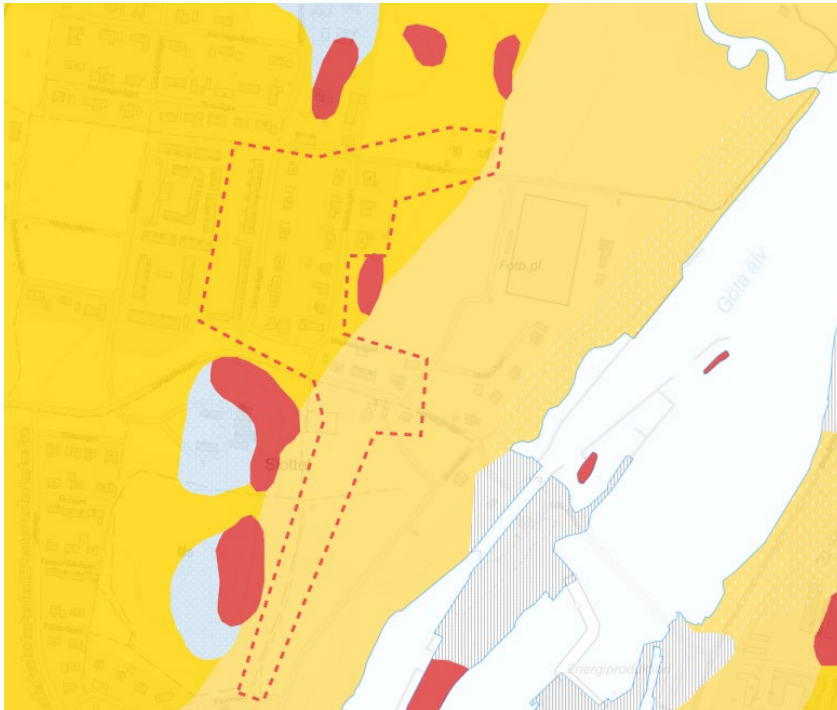
### 3.2. Hydrogeologiska undersökningar och modell

Modellering av grundvattenpåverkan i undre magasin under anläggningskede och driftskede som ligger till grund för utförda sättningsberäkningar, redovisas i "PM Hydrogeologi" dokument nr. S.14+TK.T.A00-UHA.T.101. Modelleringen baseras på mätningar i grundvattenrör och kärnborrhål samt resultat från slugtester i installerade grundvattenrör och provpumpning i berg. Utvärdering av befintligt porvattentryck i lera har gjorts utifrån portrycksmätningar som redovisas i "Markteknisk undersökningsrapport (MUR) Geoteknik" dokument nr. S.14+TK.T.A00-UGD.T.002.

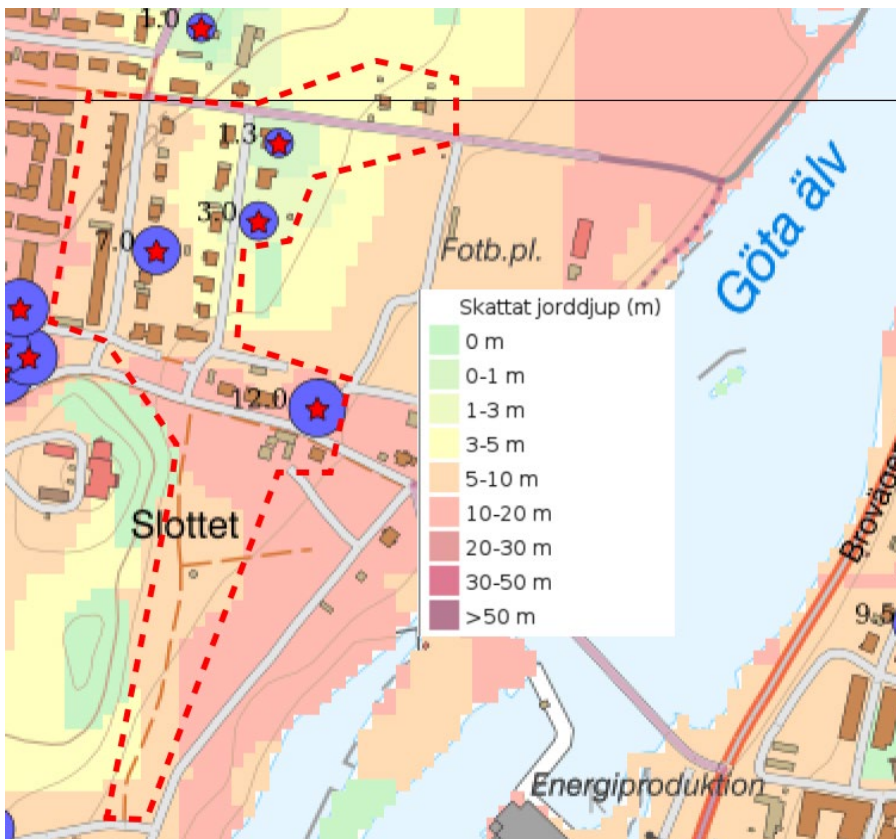
## 4 Geotekniska förhållanden

Jordlagerföljden inom analysområdet utgörs av mulljord och/eller fyllning av friktionsjord ovan lera som underlagras av morän som vilar på berg. Ytligt berg finns strax utanför undersökningsområdet. Lerlagrets tjocklek varierar inom området mellan ca 1 m och ca 13 m. Generellt utgörs leran ned till ca 2 m djup av torrskorpelera. Moränens mäktighet varierar i undersökta punkter mellan ca 4 m och ca 20 m. Jorddjupet är störst i områdets södra del. Figur 2 och Figur 3 visar utsnitt ur SGU:s jordartskarta och SGU:s jorrdjupskarta.



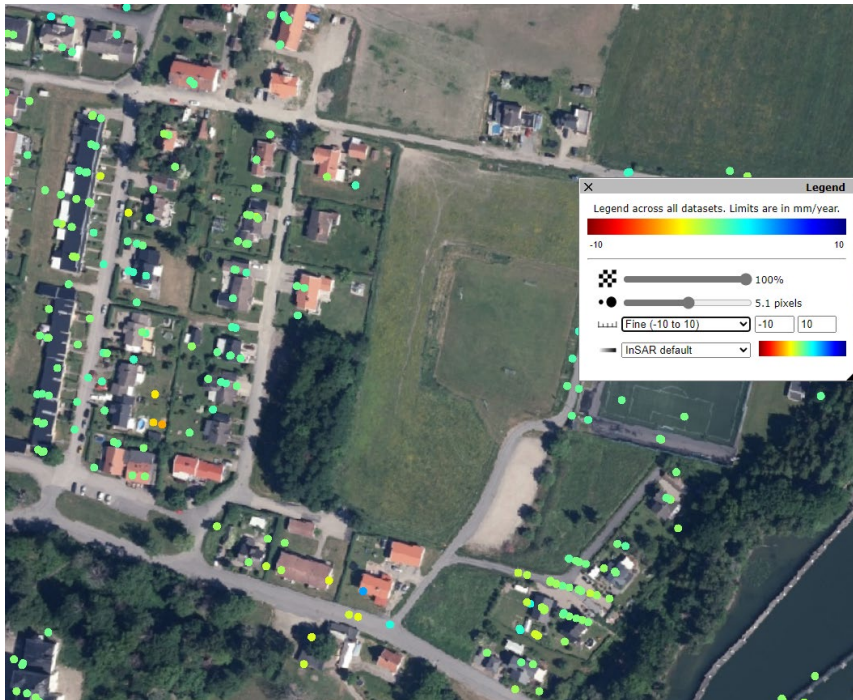


Figur 2. Utsnitt ur SGU:s jordartskarta. Gult och ljusgult visar glacial- respektive postglacial lera, rött visar yttligt berg och ljusblått visar morän. Analysområde för sättningar markeras med röstreckad linje.



Figur 3. Utsnitt ur SGU:s jorddjupskarta. Analysområde för sättningar markeras med röstreckad linje. Jorddjupskartan är inte uppdaterad med nya sonderingar som utförts inom projektet men inom analysområdet stämmer kartan ungefärligen överens med nya utförda sonderingar. Observera att kartan visar skattat jorddjup och inte lerdjup.

I dagsläget bedöms inga, eller mycket små, marksättningar pågå i området. Leran är generellt lätt överkonsoliderad i den övre delen av jordprofilen och överkonsoliderad på större djup. Rörelser i mark enligt InSAR-mätningar, som är en teknik för att mäta markrörelser med radarbiler från satellit, redovisas i Figur 4.



Figur 4. Rörelser i mark enligt InSAR-mätningar, gröna och ljusgula punkter innebär inga- eller mycket små pågående marksättningar. Källa: InSAR Sweden (rymdstyrelsen.se)

## 5 Hydrogeologiska förhållanden

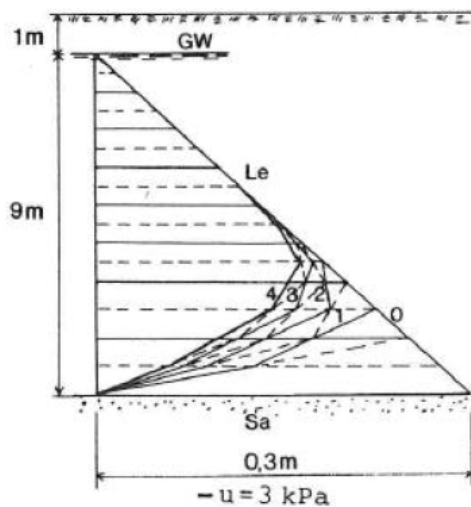
Grundvattentrycknivån i moränen, som utgör det undre grundvattenmagasinet, motsvarar i analysområdets östra del ungefärligen vattennivån i Göta älv. Trycknivån ökar mot väster och ligger i analysområdets västra del ca 2 m under markytan.

Porvattentrycket i lerans underkant sammanfaller med trycknivån i det undre grundvattenmagasinet vilket innebär att det generellt är lägre i i områdets östra del och högre i den västra.

Portryckssituationen i leran varierar dock stort mellan olika punkter inom analysområdet. Mer detaljerad beskrivning av utvärderade portryck ges i Bilaga 3 samt i kap. 7.2 nedan.

## 6 Sättningar vid trycksänkning i undre magasinet

Sättningsförloppet i leran vid en avsänkning i det undre magasinet påverkas av ett antal olika faktorer. Vid sänkning av grundvattentrycknivån i det undre magasinet kommer porvattentrycket i den ovanliggande leran att minska vilket innebär ökade effektivspänningar som i sin tur orsakar en konsolideringssättning. Trycksänkningens spridning uppåt i lerlagret förutsätter utdränering av porvatten och går därför mycket långsammare än avsänkningen i det undre grundvattenmagasinet. Detta innebär att storleken på en eventuell sättning är beroende både av storleken på avsänkningen och på hur lång tid den pågår. I Figur 5 visas en principskiss för grundvattensänkning i det undre magasinet och hur portryckssänkningen med tiden sprider sig uppåt i lerprofilen.



Figur 5. Grafisk illustration av grundvattensänkning i det undre grundvattenmagasinet med efterföljande konsolidering i ovanliggande lerlager. Figuren utgör endast en principskiss och angivna siffermått och material har ingen koppling till aktuell utredning.

Avgörande för sättningens storlek är även lerans mäktighet och lerans belastningshistoria. En lera som tidigare varit utsatt för högre spänningar än vad den är idag (överkonsoliderad lera) är mindre sättningkänslig än en lera som inte utsatts för högre spänningar tidigare (normalkonsoliderad lera). Sättningarna blir därmed betydligt större om spänningarna i leran efter sänkning av porvattentrycket överstiger lerans förkonsolideringstryck (mått på den högsta spänningen som leran tidigare utsatts för).

## 7 Sättningsberäkningar

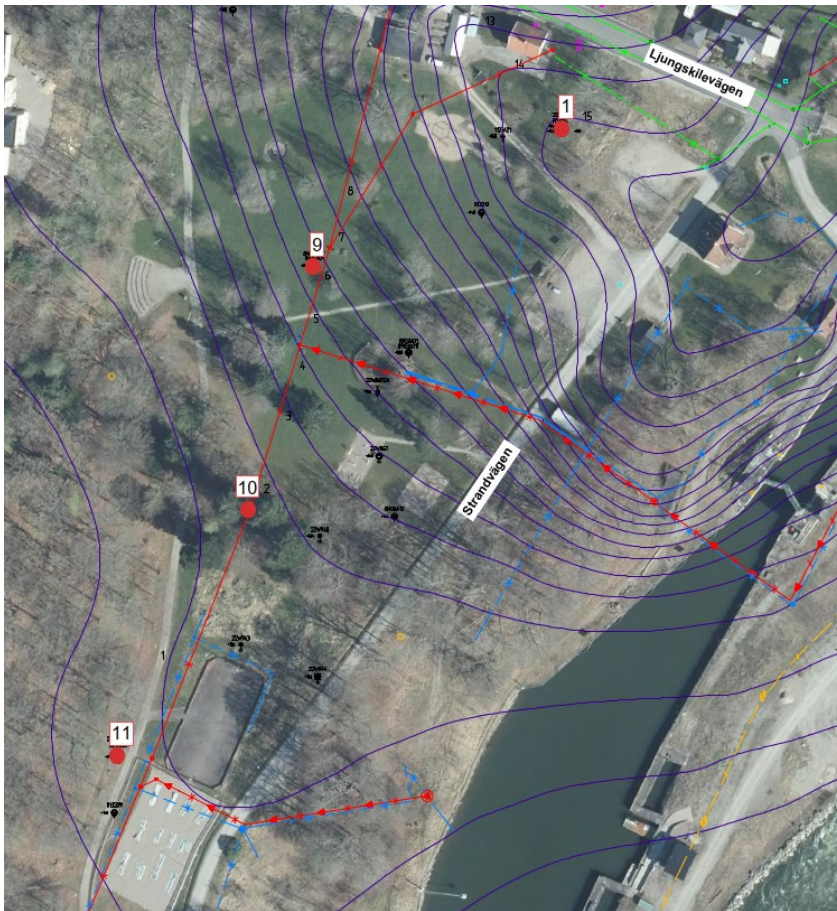
### 7.1. Genomförande och programvara

På grund av stora lokala variationer inom analysområdet har området inte kunnat delas upp i representativa delområden med liknande förutsättningar avseende lerdjup, portryck, förkonsolideringstryck samt storlek på trycksänkning i undre magasin. Sättningsberäkningar har istället utförts för ett antal olika punkter och resultaten från respektive punkt ligger till grund för en övergripande bedömning av förväntade sättningar inom analysområdet. Beräkningspunkternas lägen redovisas i Figur 6 och Figur 7 nedan. I Bilaga 1 visas punkternas lägen tillsammans med lerdjup och modellerad grundvattentrycksänkning. Beräkningspunkterna är belägna i den mellersta och södra delen av analysområdet eftersom det är där lerdjupen och grundvattentrycksänkningen är som störst, samt att flest provtagningar och sonderingar utförts i det området.





Figur 6. Översikt över beräkningspunkter, området kring Ljungskilevägen.



Figur 7. Översikt över beräkningspunkter. Södra delen av analysområdet, längs befintlig spillvattenledning.



Sättningsberäkningar har utförts med datorprogrammet GeoSuite Settlement ver. 24.0.6.0. Leran har modellerats med jordmodellerna "Chalmers without creep" och "Chalmers with creep" samt permeabilitetsmodellen "Log based strain". Krypsättningar beaktas om effektivspänningarna i jorden någon gång överstiger 80 % av förkonsolideringstrycket ( $\sigma'c$ ). Sättningar har beräknats för en avsänkning som pågår under 5 års tid, vilket motsvarar maximal förväntad anläggningstid. Efter 5 år ansätts grundvattentrycknivåer som motsvarar modellerade nivåer för driftskedet.

## 7.2. Indata för sättningsberäkningar

Materialparametrar för sättningsberäkningar har utvärderats från CRS-försök utförda på ostörda lerprover från kolvprovtagningpunkter inom, eller i anslutning till det aktuella området.  $M_o$ -modulen har utvärderats som  $250 \cdot c_u$  där  $c_u$  är valt värde för odränerad skjuvhållfasthet för Delområde 4 enligt "Beräknings-PM Släntstabilitet" dokument nr. S.14+TK.T.A00-UGB.T.001. Vid utvärderingen har området delats in i 2 st delområden, där "norra delen" avser området vid Ljungskilevägen och norrut och "södra delen" avser Slottsparken. I Tabell 1 och i Tabell 2 redovisas valda värden för materialparametrar för respektive delområde. Utvärdering av parametrar samt kolvprovtagningpunkternas lägen redovisas i Bilaga 2.

I fyllningen och torrskorpeleran bedöms sättningarna vara försumbara, därav ansätts höga värden på förkonsolideringstrycket  $\sigma'c$  och på modulerna  $M_o$  och  $M_L$ . Kryppparametrar har utvärderats med ledning av "Tekniskt PM – Val av kryptal för lösa plastiska leror" (Olsson, Alén 2009).

Tabell 1. Valda värden på materialparametrar, norra delen.

Nivå	Egenskap	Valda värden
+15 > z > +10	Tunghet	$\gamma = 16 \text{ kN/m}^3$ $\gamma_m = 16 \text{ kN/m}^3$
	Styvhet	$M_o = 4500$ $M_L = 1300 - 160 \cdot d \text{ kPa (d=0 vid nivå +15)}$ $M' = 12 [-]$
	Förkonsolideringstryck och gränsspänning	$\sigma'c = 60 + 23,3 \cdot d \text{ kPa (d=0 vid nivå +14)}$ $\sigma'_L = 100 + 30 \cdot d \text{ kPa (d=0 vid nivå +14)}$
	Permeabilitet	$k_{init} = 0,0315 \text{ [m/år]}$ ; (dvs. $1 \cdot 10^{-9} \text{ [m/s]}$ ) $\beta_k = 4 [-]$
+10 > z > +5	Tunghet	$\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$ $\gamma_m = 18 \text{ kN/m}^3$
	Styvhet	$M_o = 4500 + 458 \cdot d \text{ kPa (d=0 vid nivå +10)}$ $M_L = 500 - 20 \cdot d \text{ kPa (d=0 vid nivå +10)}$ $M' = 12 [-]$
	Förkonsolideringstryck och gränsspänning	$\sigma'c = 60 + 23,3 \cdot d \text{ kPa (d=0 vid nivå +14)}$ $\sigma'_L = 100 + 30 \cdot d \text{ kPa (d=0 vid nivå +14)}$
	Permeabilitet	$k_{init} = 0,0315 \text{ [m/år]}$ $\beta_k = 4 [-]$

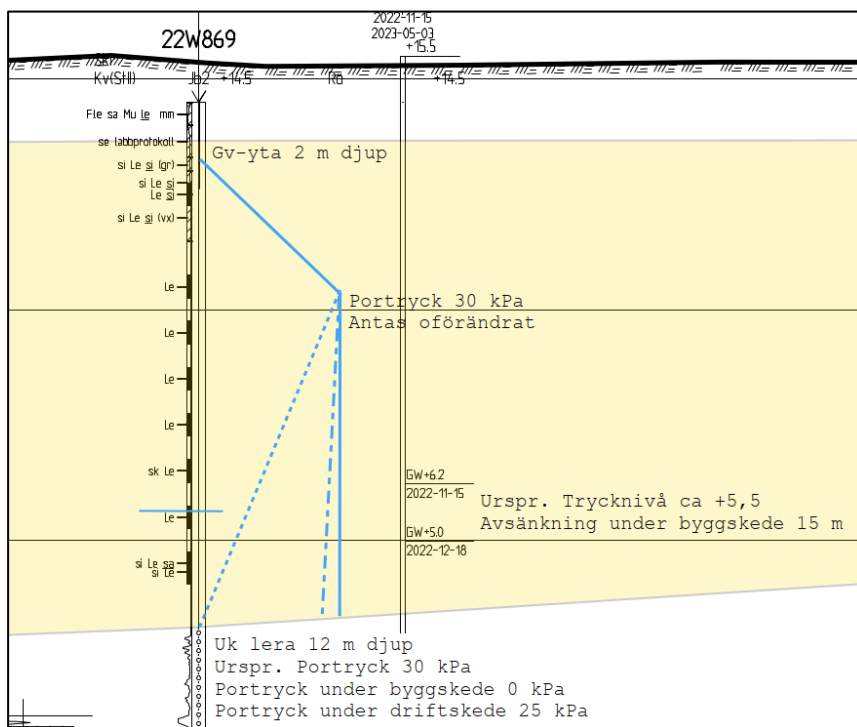
Tabell 2. Valda värden för materialparametrar, södra delen.

Nivå	Egenskap	Valda värden
+15 > z > +10	Tunghet	$\gamma = 16,3 \text{ kN/m}^3$ $\gamma_m = 16,3 \text{ kN/m}^3$
	Styvhet	$M_o = 4500$ $M_L = 1300 - 160 \cdot d \text{ kPa (d=0 vid nivå +15)}$ $M' = 8 [-]$
	Förkonsolideringstryck och gränsspänning	$\sigma'_c = 60 + 10 \cdot d \text{ kPa (d=0 vid nivå +12)}$ $\sigma'_L = 100 \text{ kPa}$
	Permeabilitet	$k_{\text{init}} = 0,0473 \text{ [m/år]}$ $\beta_k = 4,8 [-]$
+10 > z > 0	Tunghet	$\gamma = 15,7 \text{ kN/m}^3$ $\gamma_m = 15,7 \text{ kN/m}^3$
	Styvhet	$M_o = 4500 + 458 \cdot d \text{ kPa (d=0 vid nivå +10)}$ $M_L = 500 - 20 \cdot d \text{ kPa (d=0 vid nivå +10)}$ $M' = 15 [-]$
	Förkonsolideringstryck och gränsspänning	$\sigma'_c = 80 + 20 \cdot d \text{ kPa (d=0 vid nivå +10)}$ $\sigma'_L = 100 + 25 \cdot d \text{ kPa (d=0 vid nivå +10)}$
	Permeabilitet	$k_{\text{init}} = 0,0473 \text{ [m/år]}$ $\beta_k = 4,8 [-]$

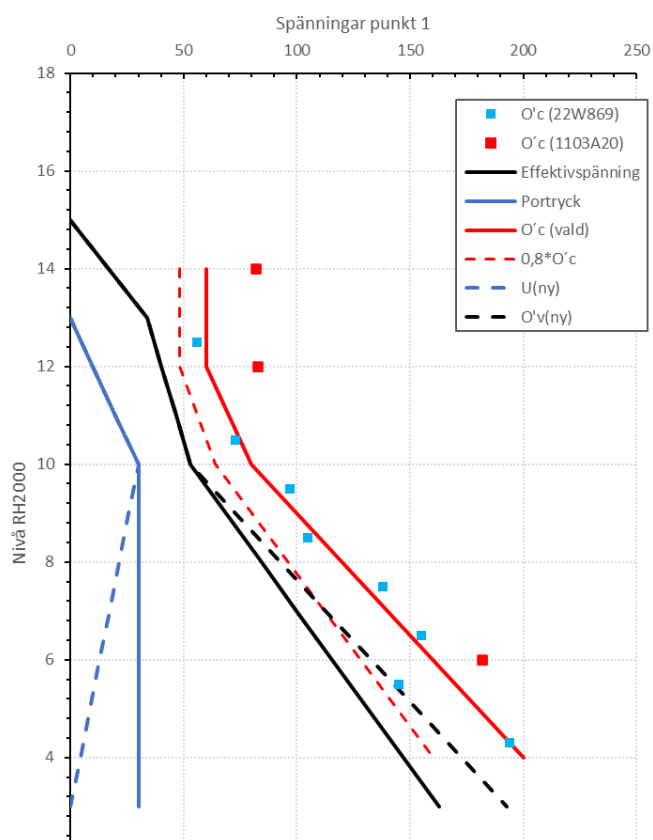
Nedan redovisas detaljerade förutsättningar och indata för respektive beräkningspunkt.

### 7.2.1. Beräkningspunkt 1

Vid punkt 1 ligger marknivån på ca +15 och lerdjupet är ca 12 m. Vid befintliga förhållanden bedöms portrycket, baserat på närliggande mätningar, öka hydrostatiskt från 2,5 till 5 m djup för att därunder vara konstant och vid lerlagrets underkant sammanfalla med trycknivån i den underliggande moränen. Förväntad trycksänkning innebär fullständig dränering vid lerlagrets underkant, d.v.s 0 kPa i portryck. Vid avsänkningen antas portrycket i leran vara oförändrat ned till ca 5 m djup. Principskiss över antagna portrycksförhållanden visas i Figur 8. Utvärderade portryck och spänningar för befintliga förhållanden samt efter avsänkning i undre magasin redovisas i Figur 9. Indata för sättningsberäkningar redovisas i Tabell 3.



Figur 8. Principskiss portrycksprofil beräkningspunkt 1. Heldragen linje avser befintliga förhållanden. Streckad linje avser antagen portrycksprofil efter långvarig avsänkning i undre magasinet. Punktstreckad linje avser portrycksprofil under driftskedet.



Figur 9. Spänningar och portryck för punkt 1. Helt dragna svarta och blå linjer visar effektivspänning och portryck vid befintliga förhållanden. Streckade svarta och blå linjer visar effektivspänning och portryck efter långvarig trycksänkning i undre magasin.

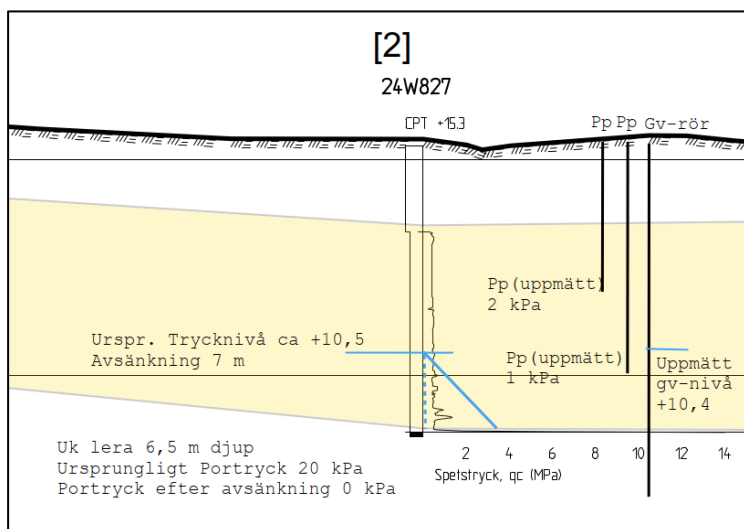


Tabell 3. Indata för sättningsberäkningar för punkt 1.

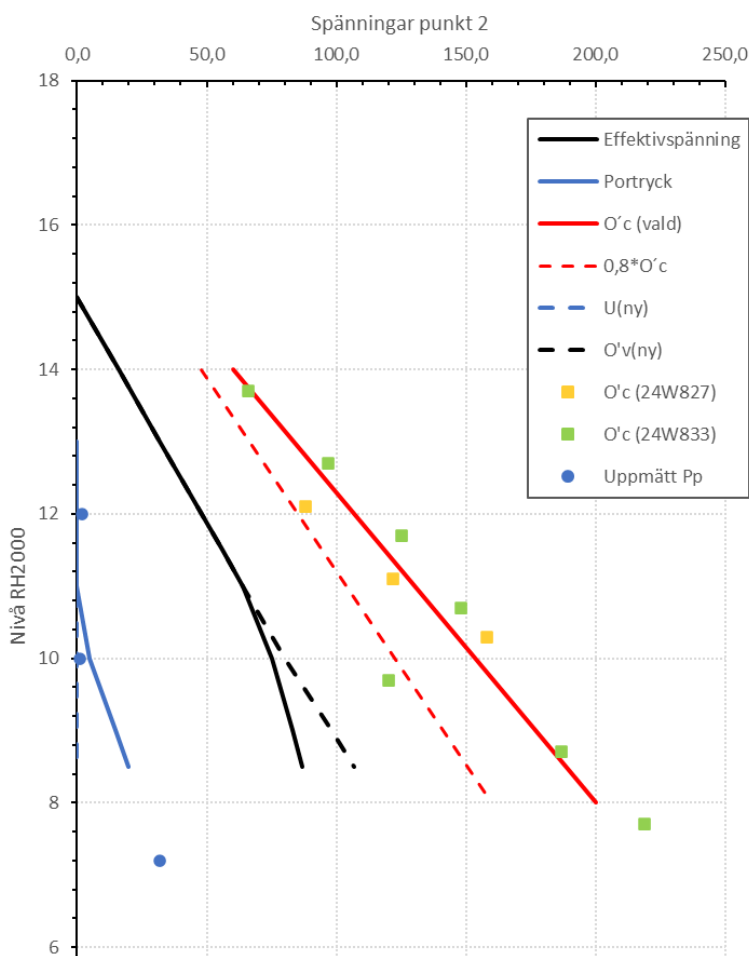
Jordlager	Djup [m]	Tunghet [kN/m <sup>3</sup> ]	Mo [kPa]	ML [kPa]	M' [-]	$\sigma'_c$ [kPa]	$\sigma'_L$ [kPa]	r <sub>0</sub> [-]	r <sub>1</sub> [-]	b <sub>0</sub> [-]	b <sub>1</sub> [-]	k <sub>init</sub> [m/år]	$\beta_k$ [-]
Let	0	17	20000	1300	8	500	1000	-	-	-	-	0,0473	4,8
	2,0	17	20000	980	8	500	1000	-	-	-	-	0,0473	4,8
Le1	2,0	16,3	4500	980	8	60	100	-	-	-	-	0,0473	4,8
	3,0	16,3	4500	820	8	60	100	-	-	-	-	0,0473	4,8
Le2	3,0	16,3	4500	820	8	60	100	-	-	-	-	0,0473	4,8
	5,0	16,3	4500	500	8	80	100	-	-	-	-	0,0473	4,8
Le3	5,0	15,7	4500	500	15	80	100	6334	116	0,75	1,1	0,0473	4,8
	12,0	15,7	7706	360	15	220	275	2500	116	0,75	1,1	0,0473	4,8

### 7.2.2. Beräkningspunkt 2

Vid punkt 2 ligger marknivån på ca +15 och lerdjupet är ca 6,5 m. Portrycks- och grundvattenmätningar i den aktuella punkten visar på mycket låga portryck i leran och en trycknivå vid lerlagrets underkant på ca 20 kPa. Förväntad trycksänkning i undre magasin innebär fullständig dränering vid lerlagrets underkant under byggtiden, d.v.s 0 kPa i portryck. Principskiss över antagna portrycksförhållanden visas i Figur 10. Utvärderade portryck och spänningar för befintliga förhållanden samt efter avsänkning i undre magasin redovisas i Figur 11. Indata för sättningsberäkningar redovisas i Tabell 4.



Figur 10. Principskiss portrycksprofil beräkningspunkt 2. Heldragen linje avser befintliga förhållanden. Streckad linje avser antagen portrycksprofil efter långvarig avsänkning i undre magasin.



Figur 11. Spänningar och portryck för punkt 2. Heldragna svarta och blå linjer visar effektivspänning och portryck vid befintliga förhållanden. Streckade svarta och blå linjer visar effektivspänning och portryck efter långvarig trycksänkning i undre magasin.

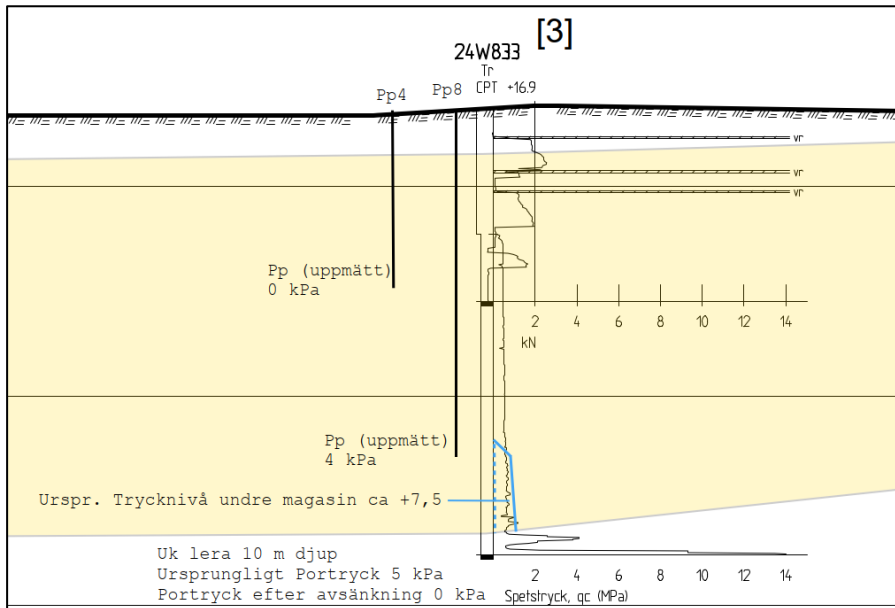
Tabell 4. Indata för sättningsberäkningar för punkt 2.

Jord-lager	Djup	Tunghet	Mo	ML	M'	$\sigma'c$	$\sigma'L$	k_init	$\beta k$
	[m]	[kN/m <sup>3</sup> ]	[kPa]	[kPa]	[-]	[kPa]	[kPa]	[m/år]	[-]
Let	0	17	20000	1300	12	500	1000	0,0315	4
	2,0	17	20000	980	12	500	1000	0,0315	4
Le1	2,0	16	4500	980	12	83,3	130	0,0315	4
	5,0	16	4500	500	12	153	220	0,0315	4
Le2	5,0	18	4500	500	12	153	220	0,0315	4
	6,5	18	5187	470	12	188	265	0,0315	4

### 7.2.3. Beräkningspunkt 3

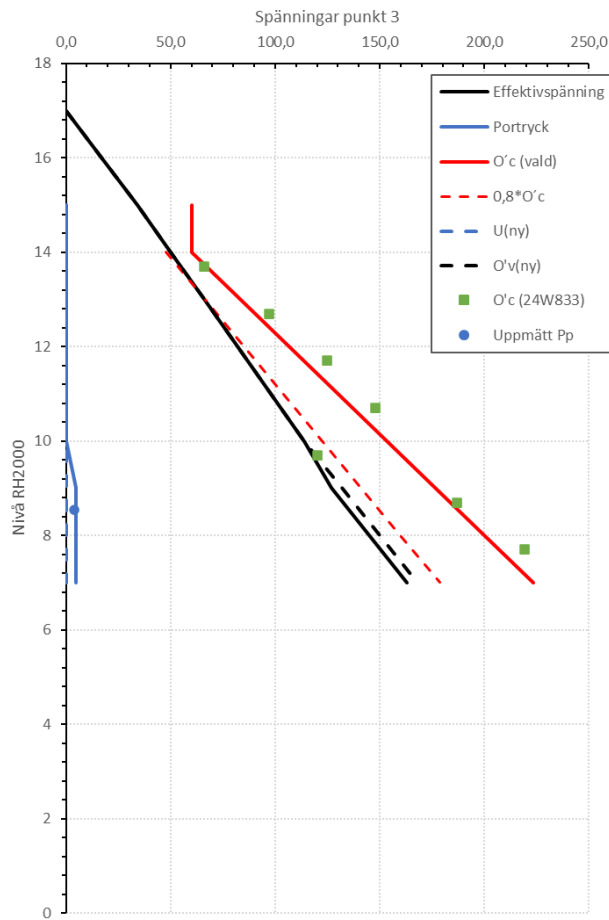
Vid punkt 3 ligger marknivån på ca +17 och lerdjupet är ca 10 m. Portrycks- och grundvattenmätningar i den aktuella punkten visar på mycket låga portryck i leran som vid lerlagrets underkant är ca 5 kPa vid befintliga förhållanden. Förväntad grundvattenstrycksänkning i undre magasin innebär fullständig dränering vid lerans underkant. P.g.a det låga befintliga portrycket i leran kommer dock trycksänkningen endast ge marginellt ökade effektivspänningar som inte förväntas orsaka några sättningar. Principskiss över antagna portrycksförhållanden visas i Figur 12. Utvärderade

portryck och spänningar för befintliga förhållanden samt efter avsänkning i undre magasin redovisas i Figur 13.



Figur 12. Principskiss portrycksprofil beräkningspunkt 3. Heldragen linje avser befintliga förhållanden. Streckad linje avser antagen portrycksprofil efter långvarig avsänkning i undre magasin.

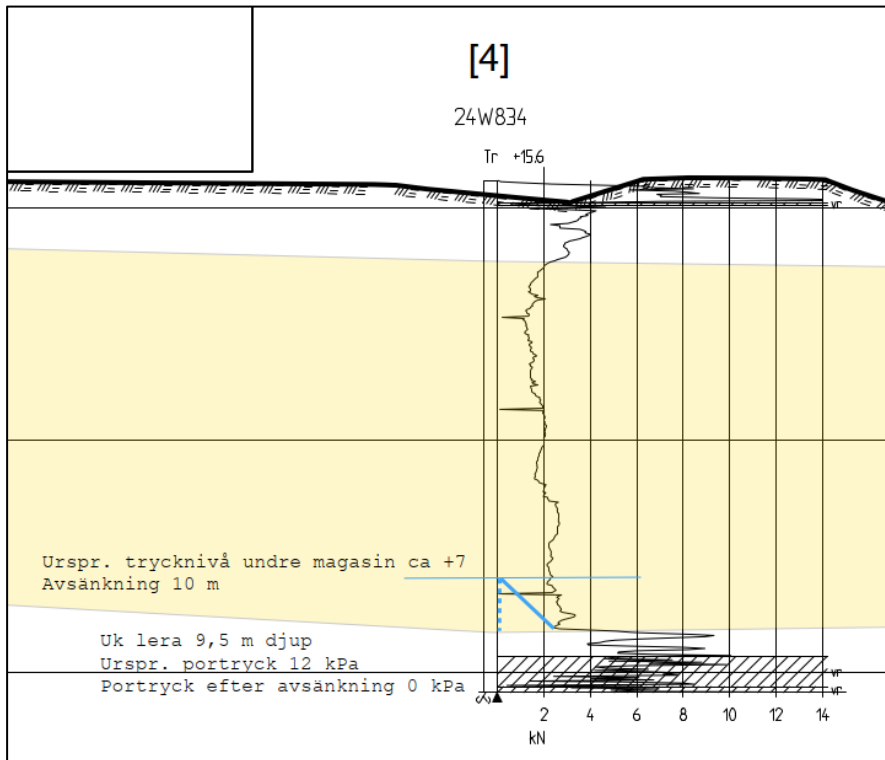




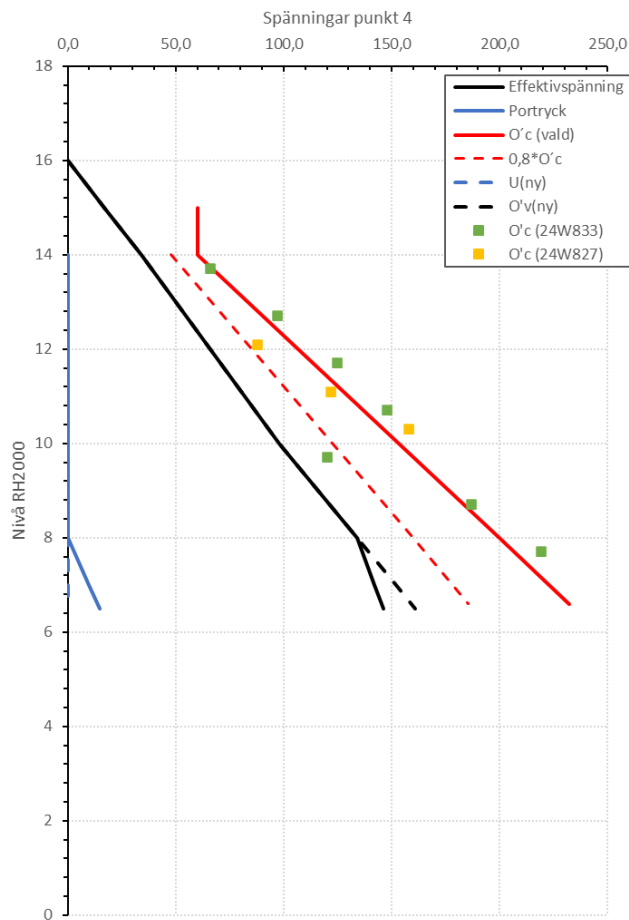
Figur 13. Spänningar och portryck för punkt 3. Heldragna svarta och blå linjer visar effektivspänning och portryck vid befintliga förhållanden. Streckade svarta och blå linjer visar effektivspänning och portryck efter långvarig trycksänkning i undre magasin.

#### 7.2.4. Beräkningspunkt 4

Vid beräkningspunkt 4 ligger marknivån på ca +16 och lerdjupet är ca 9,5 m. Portrycksförhållandena i leran bedöms likna de i punkt 2 och 3, d.v.s mycket låga befintliga portryck. Förväntad trycksänkning i undre magasin innebär fullständig dränering vid lerlagrets underkant, vilket dock endast medför en marginell effektivspänningsökning som bedöms ge mycket små sättningar. Principskiss över antagna portrycksförhållanden visas i Figur 14. Utvärderade portryck och spänningar för befintliga förhållanden samt efter avsänkning i undre magasin redovisas i Figur 15.



Figur 14. Principskiss portrycksprofil beräkningspunkt 4. Heldragen linje avser befintliga förhållanden. Streckad linje avser antagen portrycksprofil efter avsänkning i undre magasin.

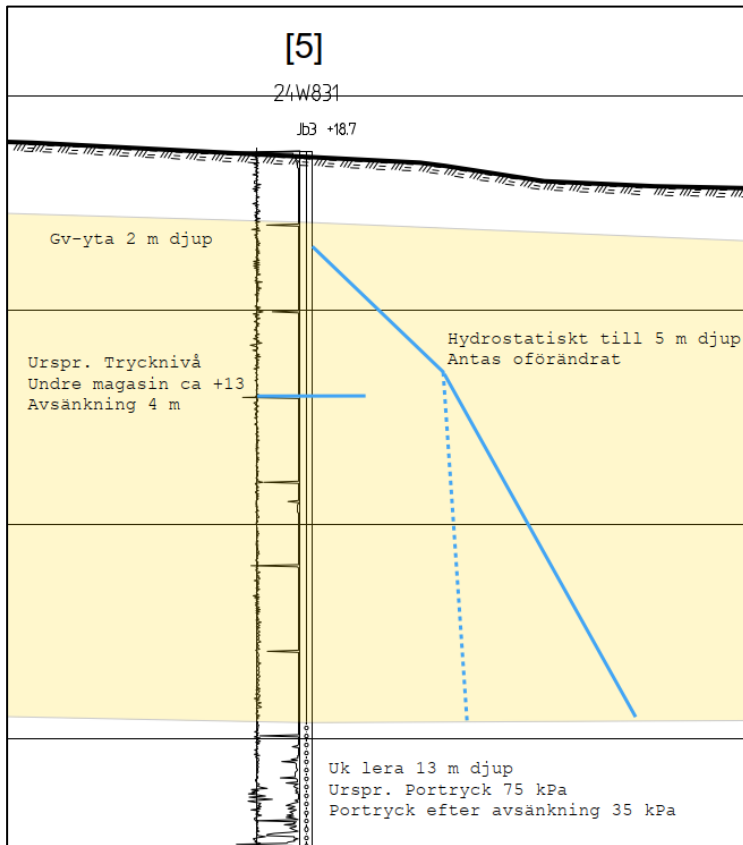


Figur 15. Spänningar och portryck för punkt 4. Heldragna svarta och blå linjer visar effektivspänning och portryck vid befintliga förhållanden. Streckade svarta och blå linjer visar effektivspänning och portryck efter långvarig trycksänkning i undre magasin.

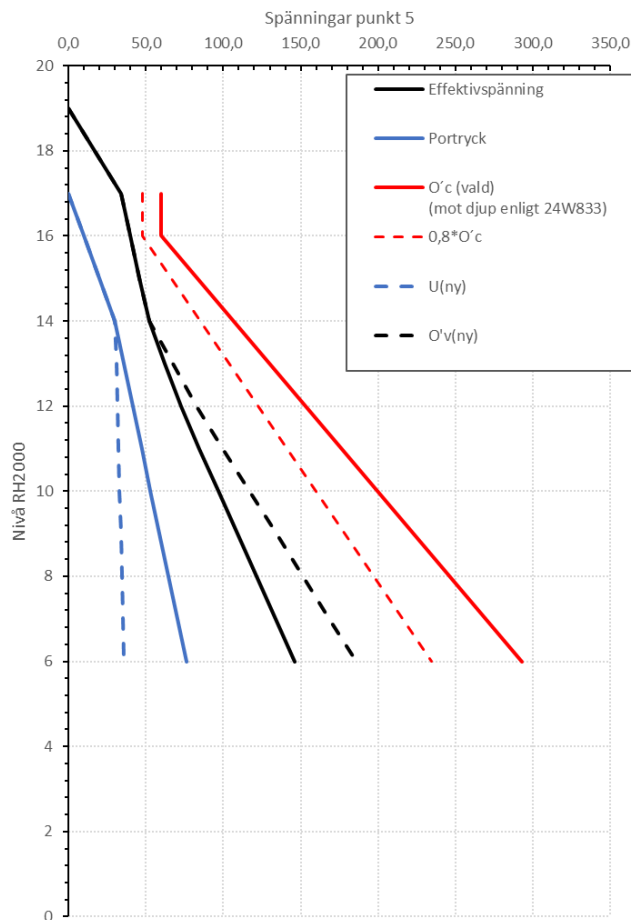
#### 7.2.5. Beräkningspunkt 5

Vid beräkningspunkt 5 ligger marknivån på ca +19 och lerdjupet är ca 13 m. I den övre delen av jordprofilen bedöms portrycket i leran öka hydrostatiskt till ca 5 m djup för att därunder öka med djupet till ca 75 kPa vid lerlagrets underkant. Förväntad trycksänkning i undre magasin är ca 40 kPa. Principskiss över antagna portrycksförhållanden visas i Figur 16. Både marknivån och lerans underkant ligger vid denna beräkningspunkt högre än vid kolvprovtagningss punkterna. Förkonsolideringstrycket och övriga sättningssparametrar antas variera med djupet på liknande sätt som vid provtagningss punkterna och ansätts därför mot djup likt vid punkt 24W833. Utvärderade portryck och spänningar för befintliga förhållanden samt efter avsänkning i undre magasin redovisas i Figur 17.





Figur 16. Principskiss portrycksprofil beräkningspunkt 5. Heldragen linje avser befintliga förhållanden. Streckad linje avser antagen portrycksprofil efter avsänkning i undre magasin.



Figur 17. Spänningar och portryck för punkt 5. Heldragna svarta och blå linjer visar effektivspänning och portryck vid befintliga förhållanden. Streckade svarta och blå linjer visar effektivspänning och portryck efter långvarig trycksänkning i undre magasin.

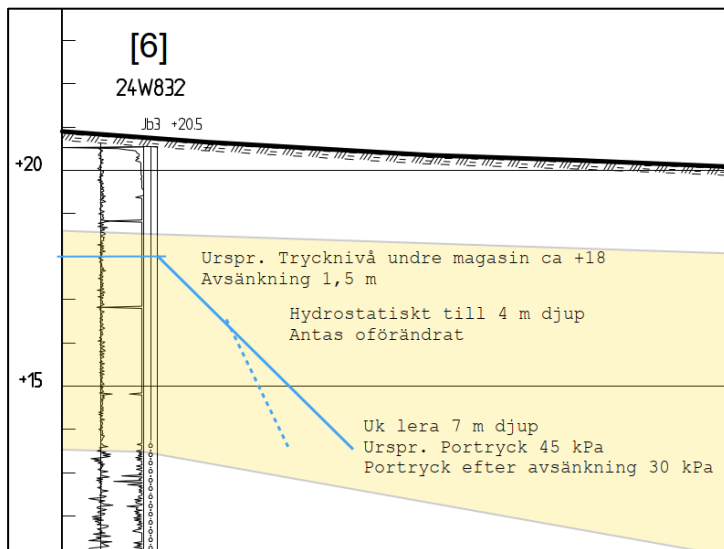
Tabell 5. Indata för sättningsberäkningar för punkt 5.

Jordlager	Djup	Tunghet	Mo	ML	M'	σ'c	σ'L	k_init	βk
	[m]	[kN/m <sup>3</sup> ]	[kPa]	[kPa]	[-]	[kPa]	[kPa]	[m/år]	[-]
Let	0	17	20000	1300	12	500	1000	0,0315	4
	2,0	17	20000	1300	12	500	1000	0,0315	4
Le1	2,0	16	4500	1300	12	60	100	0,0315	4
	3,0	16	4500	1300	12	60	100	0,0315	4
Le2	3,0	16	4500	1300	12	60	100	0,0315	4
	7,0	16	4500	660	12	153	220	0,0315	4
Le3	7,0	18	4500	660	12	153	220	0,0315	4
	13,0	18	7248	380	12	293	400	0,0315	4

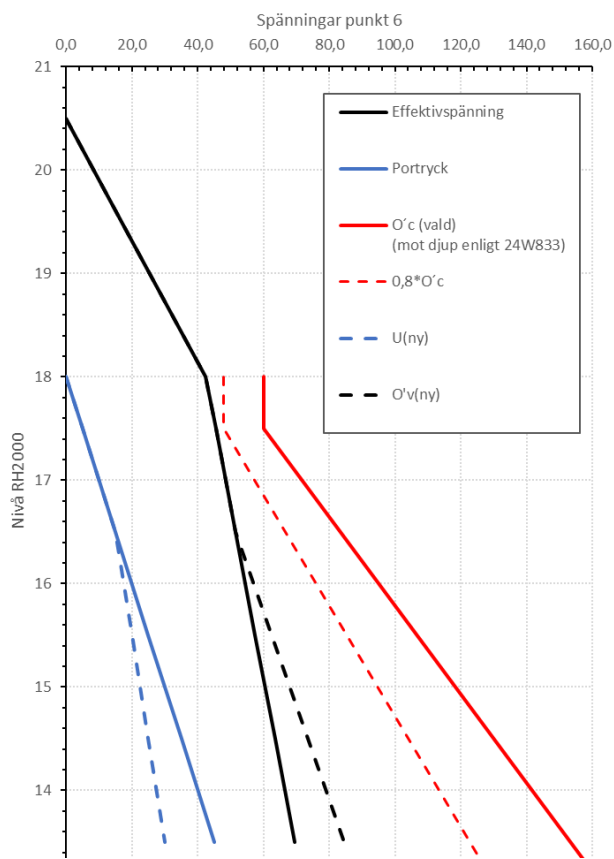
### 7.2.6. Beräkningspunkt 6

Vid beräkningspunkt 6 ligger marknivån på ca +20,5 och lerdjupet är ca 7 m. Grundvattentrycket i undre magasin motsvarar en trycknivå ca 2,5 m under markytan och portrycket i leran bedöms öka hydrostatiskt mot djupet från denna nivå. Förväntad trycksänkning i undre magasin är ca 15 kPa.

Principskiss över antagna portrycksförhållanden visas i Figur 18. Utvärderade portryck och spänningar för befintliga förhållanden samt efter avsänkning i undre magasin redovisas i Figur 19. Både marknivån och lerans underkant ligger vid denna beräkningspunkt högre än vid kolvprovtagningarna. Förkonsolideringstrycket och övriga sättningsparametrar antas variera med djupet på liknande sätt som vid provtagningarna och ansätts därför mot djup likt vid punkt 24W833.



Figur 18. Principskiss portrycksprofil beräkningspunkt 6. Helledragen linje avser befintliga förhållanden. Streckad linje avser antagen portrycksprofil efter långvarig avsänkning i undre magasin.



Figur 19. Spänningar och portryck för punkt 6. Heldragna svarta och blå linjer visar effektivspänning och portryck vid befintliga förhållanden. Streckade svarta och blå linjer visar effektivspänning och portryck efter långvarig trycksänkning i undre magasin.

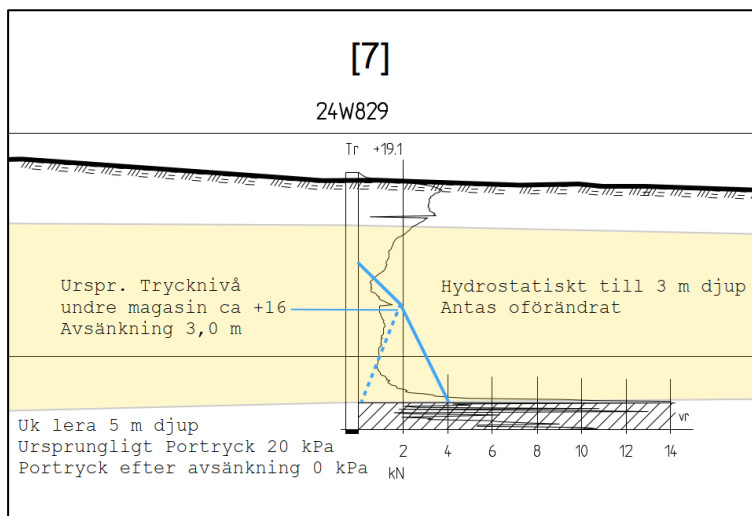
Tabell 6. Indata för sättningsberäkningar för punkt 6.

Jord-lager	Djup	Tunghet	Mo	ML	M'	$\sigma'c$	$\sigma'L$	k_init	$\beta k$
	[m]	[kN/m <sup>3</sup> ]	[kPa]	[kPa]	[-]	[kPa]	[kPa]	[m/år]	[-]
Let	0	17	20000	1300	12	500	1000	0,0315	4
	2,0	17	20000	1300	12	500	1000	0,0315	4
Le1	2,0	16	4500	1300	12	60	100	0,0315	4
	3,0	16	4500	1140	12	60	100	0,0315	4
Le2	3,0	16	4500	1140	12	60	100	0,0315	4
	7,0	16	4500	500	12	153	220	0,0315	4

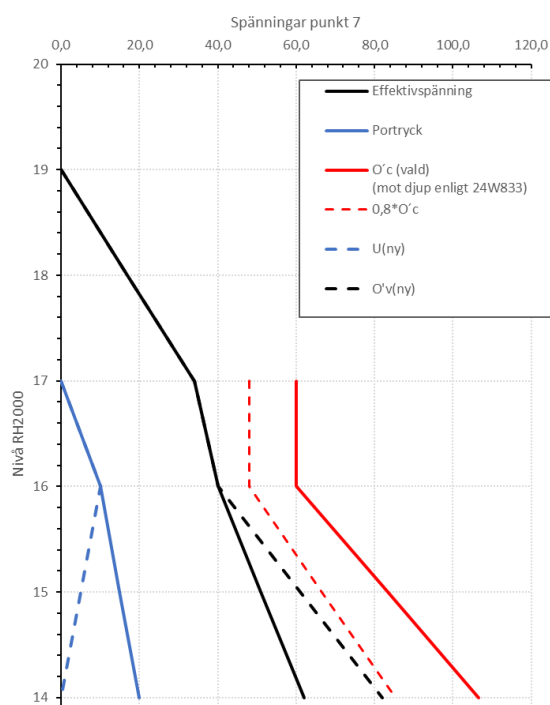
### 7.2.7. Beräkningspunkt 7

Vid beräkningspunkt 7 ligger marknivån på ca +19 och lerdjupet är ca 5 m. I den övre delen av jordprofilen bedöms portrycket i leran öka hydrostatiskt från ca 2 m djup till ca 3 m djup för att därunder öka med djupet till ca 20 kPa vid lerlagrets underkant. Förväntad trycksänkning i undre magasin innebär fullständig dränering vid lerlagrets underkant. Principskiss över antagna portrycksförhållanden visas i Figur 20. Utvärderade portryck och spänningar för befintliga förhållanden samt efter avsänkning i undre magasin redovisas i Figur 21. Indata för sättningsberäkningar redovisas i Tabell 7. Både marknivån och lerans underkant ligger vid denna beräkningspunkt högre än vid kolvprovtagningarna. Förkonsolideringstrycket och övriga

sättningsparametrar antas variera med djupet på liknande sätt som vid provtagningspunkterna och ansätts därför mot djup likt vid punkt 24W833.



Figur 20. Principskiss portrycksprofil beräkningspunkt 7. Heldragen linje avser befintliga förhållanden. Streckad linje avser antagen portrycksprofil efter långvarig avsänkning i undre magasin.



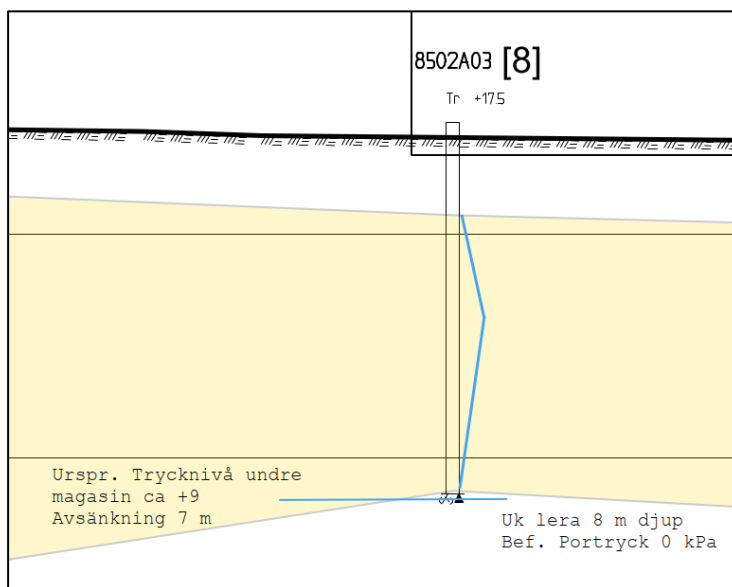
Figur 21. Spänningar och portryck för punkt 7. Helt dragna svarta och blå linjer visar effektivspänning och portryck vid befintliga förhållanden. Streckade svarta och blå linjer visar effektivspänning och portryck efter långvarig trycksänkning i undre magasin.

Tabell 7. Indata för sättningsberäkningar för punkt 7.

Jord-lager	Djup	Tunghet	Mo	ML	M'	$\sigma'c$	$\sigma'L$	k_init	$\beta k$
	[m]	[kN/m <sup>3</sup> ]	[kPa]	[kPa]	[-]	[kPa]	[kPa]	[m/år]	[-]
Let	0	17	20000	1300	12	500	1000	0,0315	4
	2,0	17	20000	1300	12	500	1000	0,0315	4
Le1	2,0	16	4500	1300	12	60	100	0,0315	4
	3,0	16	4500	1140	12	60	100	0,0315	4
Le2	3,0	16	4500	1140	12	60	100	0,0315	4
	5,0	16	4500	820	12	107	160	0,0315	4

### 7.2.8. Beräkningspunkt 8

Vid punkt 8 är lerdjupet ca 8 m. I denna punkt ligger ursprunglig trycknivå i undre magasin på samma nivå som lerlagrets underkant. Portrycket i leran bedöms där vara nära 0 kPa, likt utförda portrycksmätningar visat vid närliggande punkt 3. Portrycket i leran påverkas således inte av en sänkning av trycknivån i undre magasin vilket innebär att inga sättningar förväntas uppstå. Principskiss över antagna portrycksförhållanden visas i Figur 22.

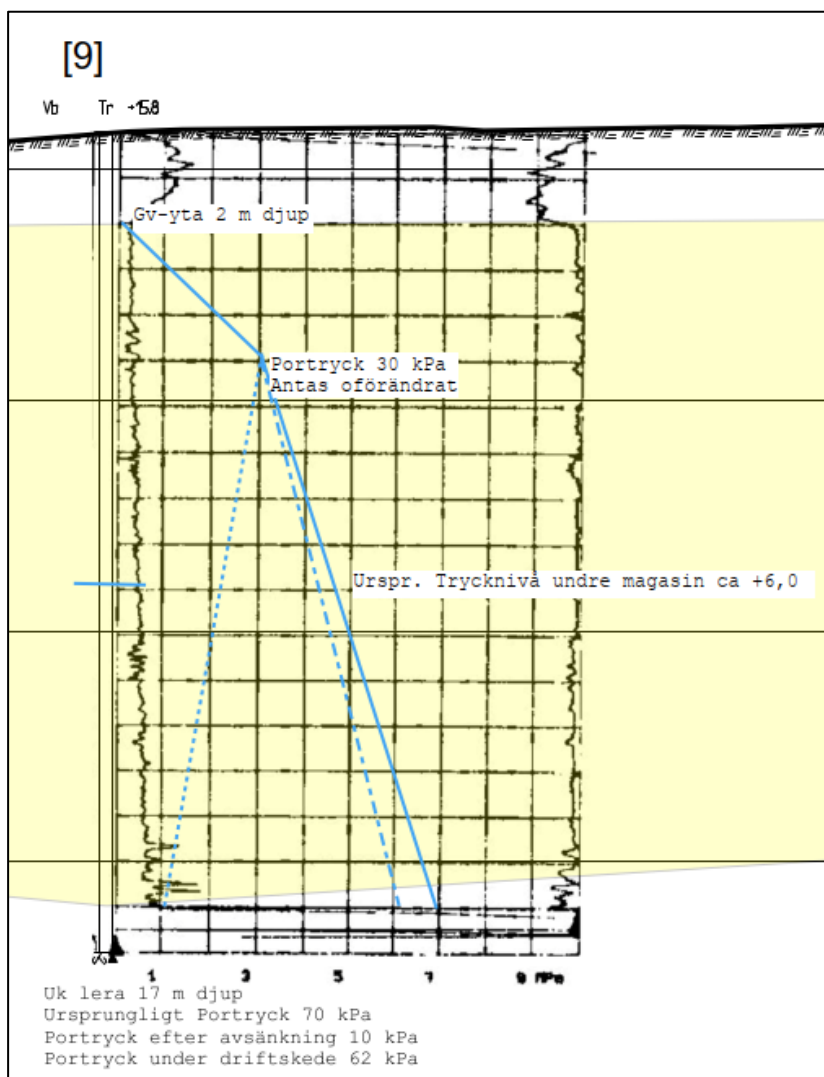


Figur 22. Principskiss portrycksprofil beräkningspunkt 8. Heldragen linje avser befintligt portryck, som bedöms vara mycket lågt i hela jordprofilen.

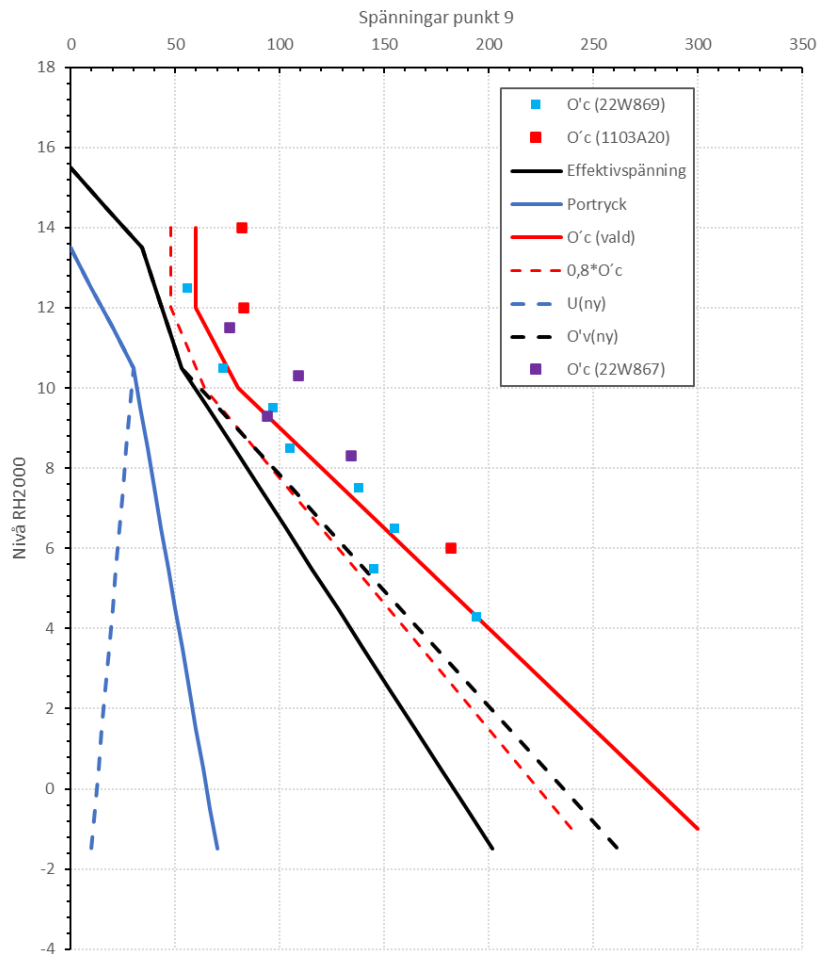


### 7.2.9. Beräkningspunkt 9

Vid punkt 9 ligger marknivån på ca +15,5 och lerdjupet är ca 17 m. Vid befintliga förhållanden bedöms portrycket, baserat på närliggande mätningar, öka hydrostatiskt från 2 m till 5 m djup och därunder öka med ca 3,3 kPa/m och vid lerlagrets underkant sammanfalla med trycknivån i den underliggande moränen. Förväntad trycksänkning vid lerlagrets underkant är ca 60 kPa. Vid avsänkningen antas portrycket i leran vara oförändrat ned till ca 5 m djup. Principskiss över antagna portrycksförhållanden visas i Figur 23. Utvärderade portryck och spänningar för befintliga förhållanden samt efter avsänkning i undre magasin redovisas i Figur 24. Indata för sättningsberäkningar redovisas i Tabell 8.



Figur 23. Principskiss portrycksprofil beräkningspunkt 9. Heldragen linje avser befintliga förhållanden. Streckad linje avser antagen portrycksprofil efter långvarig avsänkning i undre magasin. Punktstreckad linje avser portrycksprofil under driftskedet.



Figur 24. Spänningar och portryck för punkt 9. Heldragna svarta och blå linjer visar effektivspänning och portryck vid befintliga förhållanden. Streckade svarta och blå linjer visar effektivspänning och portryck efter långvarig trycksänkning i undre magasin.

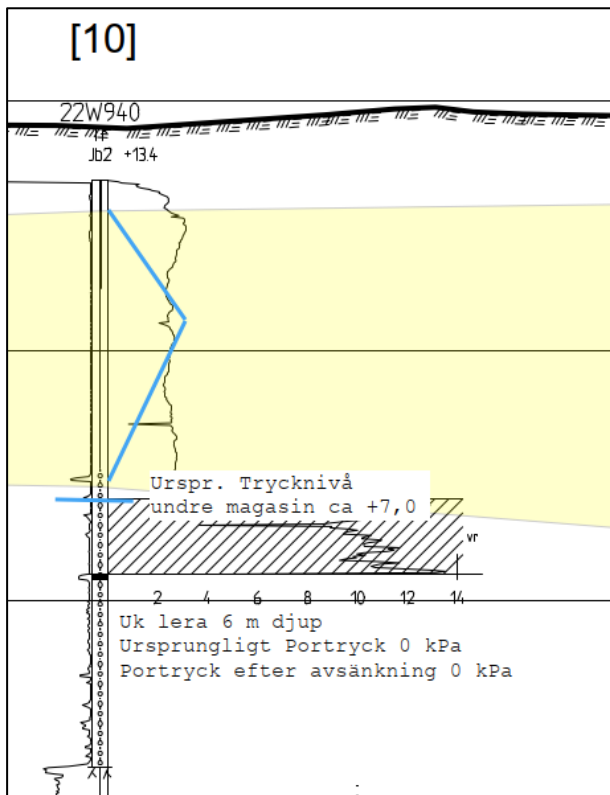
Tabell 8. Indata för sättningsberäkningar för punkt 9.

Jord-lager	Djup [m]	Tunghet [kN/m <sup>3</sup> ]	Mo [kPa]	ML [kPa]	M' [-]	$\sigma'c$ [kPa]	$\sigma'L$ [kPa]	r <sub>0</sub> [-]	r <sub>1</sub> [-]	b <sub>0</sub> [-]	b <sub>1</sub> [-]	k <sub>init</sub> [m/år]	$\beta k$ [-]
Let	0	17	20000	5000	8	500	1000	-	-	-	-	0,0473	4,8
	2,0	17	20000	5000	8	500	1000	-	-	-	-	0,0473	4,8
Le1	2,0	16,3	4500	1060	8	60	100	-	-	-	-	0,0473	4,8
	5,5	16,3	4500	500	8	80	100	-	-	-	-	0,0473	4,8
Le2	5,5	15,7	4500	500	8	80	100	-	-	-	-	0,0473	4,8
	8,0	15,7	5645	450	15	130	162	-	-	-	-	0,0473	4,8
Le3	8,0	15,7	5645	450	15	130	162	5290	116	0,70	1,1	0,0473	4,8
	17,0	15,7	9767	270	15	310	387	4110	360	0,67	1,1	0,0473	4,8

### 7.2.10. Beräkningspunkt 10

Vid punkt 10 är lerdjupet ca 6 m. I denna punkt ligger ursprunglig trycknivå i undre magasin på samma nivå som lerlagrets underkant. Portrycket i leran bedöms där vara nära 0 kPa. Portrycket i

leran påverkas således inte av en sänkning av trycknivån i undre magasin vilket innebär att inga sättningar förväntas uppstå. Principskiss över antagna portrycksförhållanden visas i Figur 25.



Figur 25. Principskiss portrycksprofil beräkningspunkt 10. Hildragen linje avser befintligt portryck.

#### 7.2.11. Beräkningspunkt 11

Vid punkt 11 är lerdjupet ca 7 m. Enligt utförda portrycksmätningar är portrycket i leran ca 30 kPa på 4 m djup och minskar därunder till 0 kPa vid lerans underkant. Portrycket i leran påverkas således inte av en sänkning av trycknivån i undre magasin vilket innebär att inga sättningar förväntas uppstå. Principskiss över antagna portrycksförhållanden visas i Figur 26.



### 7.3. Beräkningsresultat

Sammanfattning av resultat från utförda sättningsanalyser redovisas i Tabell 9. Översikt över förväntade sättningar för olika punkter inom analysområdet redovisas i Bilaga 1. Mer detaljerad beskrivning av beräknade sättningar ges i kap 7.3.1 - 7.3.9 nedan.

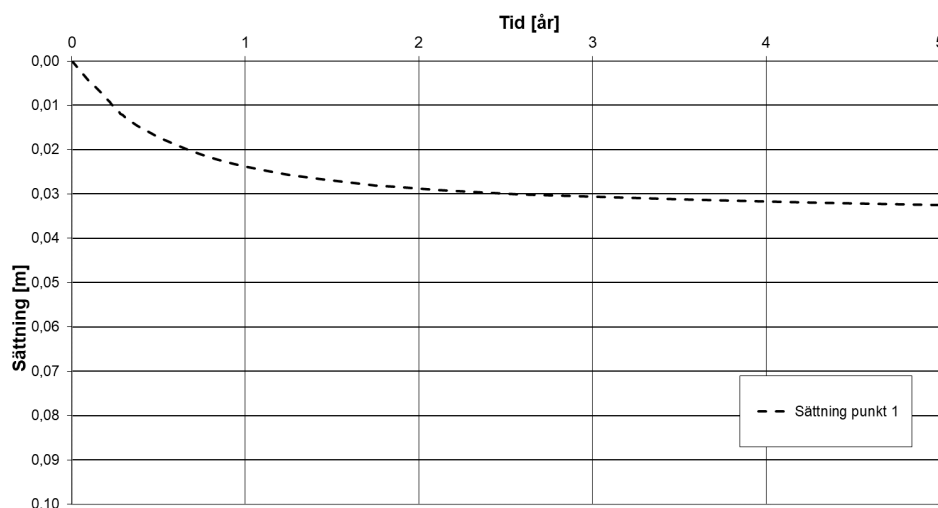
Tabell 9. Sammanfattning av resultat från sättningsberäkningar.

Beräkningspunkt	Förväntad sättning
1	3 cm*
2	0,5 cm*
3	0 cm*
4	0 cm*
5	2,5 cm
6	0,5 cm
7	0,5 cm*
8	0 cm*
9	6,5 cm
10	0 cm*
11	0 cm*

\* Förväntad grundvattentrycksänkning i undre magasin innebär i denna punkt fullständig dränering vid lerlagrets underkant. En större trycksänkning skulle därför inte innebära ytterligare sättning.

#### 7.3.1. Beräkningspunkt 1

Vid punkt 1 uppgår beräknad marksättning efter trycksänkning i undre magasin under 5 års tid till ca 3 cm. Sättningarna sker i den undre delen av lerlagret och huvuddelen av sättningarna förväntas utbildas under det första året efter trycksänkningen varefter sättningstakten avtar. Efter att grundvattentrycket i undre magasin återgår till normala nivåer avstannar sättningarna helt. Beräknat sättningsförlopp vid punkt 1 redovisas i Figur 27.

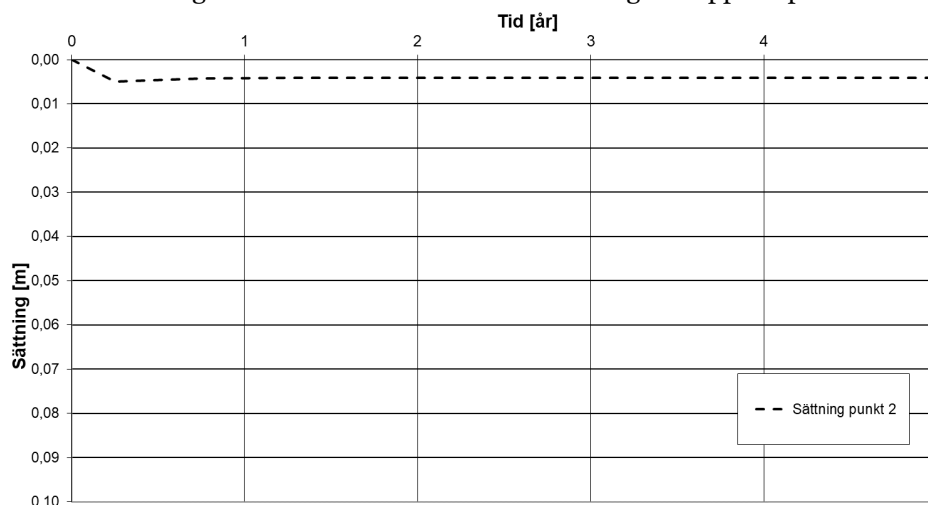


Figur 27. Beräknad sättning punkt 1.

#### 7.3.2. Beräkningspunkt 2

Vid punkt 2 uppgår beräknad marksättning efter trycksänkning under 5 års tid till ca 0,5 cm. Eftersom portrycksänkningen, och därmed sättningarna, endast sker i den nedersta metern av lerprofilen

utbildas sättningarna relativt snabbt. Inom det första halvåret efter trycksänkningen i undre magasin beräknas sättningarna ha avstannat. Beräknat sättningsförlopp vid punkt 2 redovisas i Figur 28.



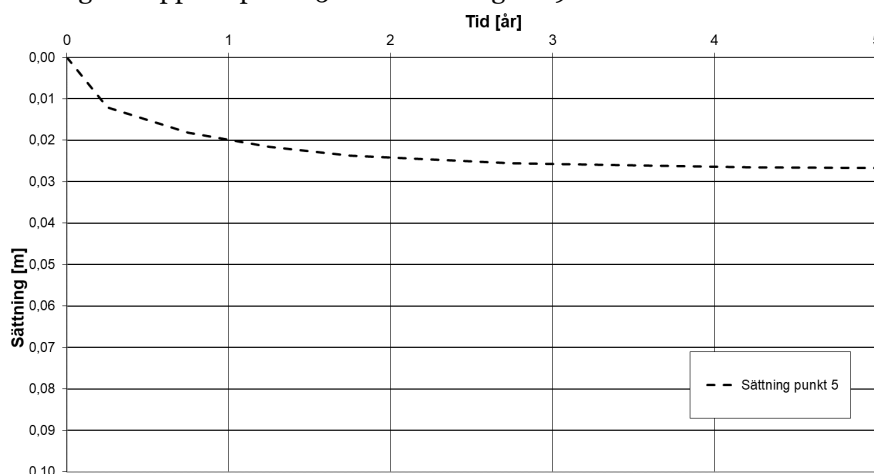
Figur 28. Beräknad sättning punkt 2.

### 7.3.3. Beräkningspunkt 3 och 4

Mot bakgrund av utförda spänningsanalyser förväntas ingen sättning uppstå i punkterna 3 och 4, se kap 7.2.3 och kap 7.2.4.

### 7.3.4. Beräkningspunkt 5

Vid punkt 5 uppgår beräknad marksättning efter trycksänkning i undre magasin under 5 års tid till ca 2,5 cm. Sättningarna sker mellan ca 6 och 13 m djup och huvuddelen av sättningarna förväntas utbildas under det första året efter trycksänkningen, varefter sättningstakten avtar. Efter att grundvattentrycket i undre magasin återgår till normala nivåer avstannar sättningarna helt. Beräknat sättningsförlopp vid punkt 5 redovisas i Figur 29.



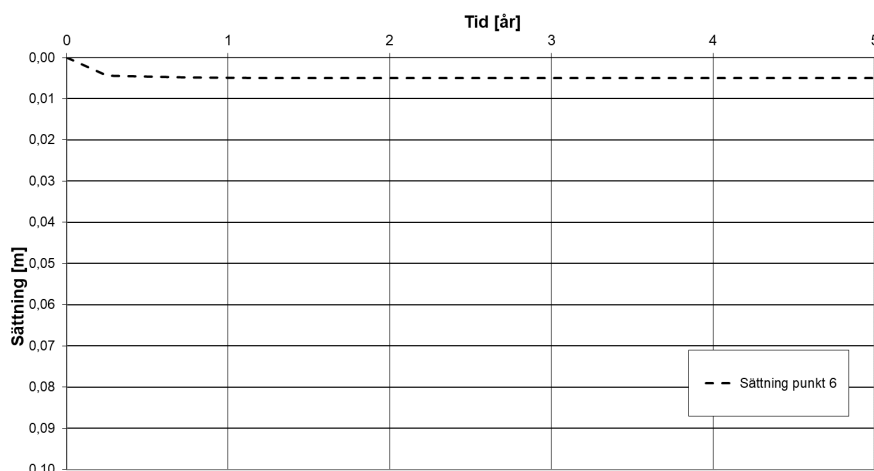
Figur 29. Beräknad sättning punkt 5.

### 7.3.5. Beräkningspunkt 6

Vid punkt 6 uppgår beräknad marksättning till ca 0,5 cm. Sättningarna utbildas snabbt eftersom porttrycksänkningen endast påverkar en liten del av lerprofilens nedre del. Inom det första halvåret



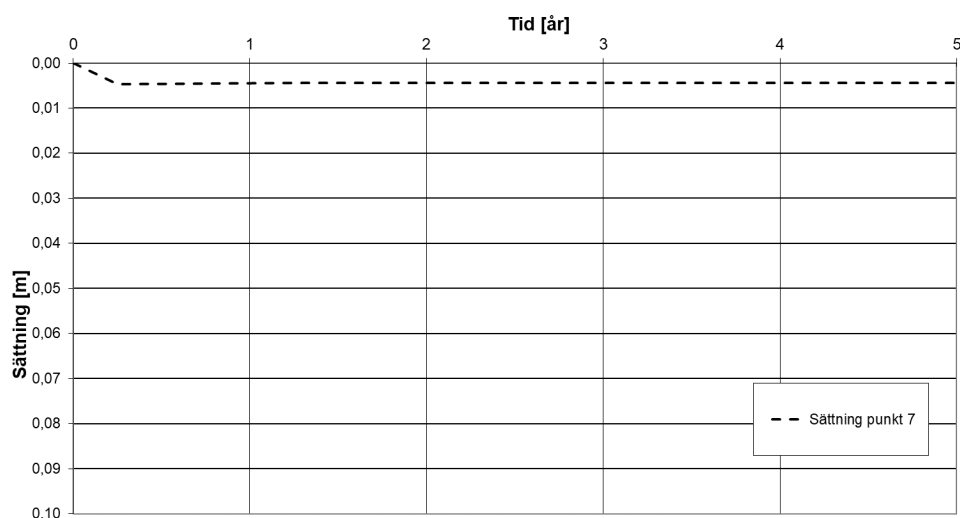
efter trycksänkningen i undre magasin beräknas sättningarna ha avstannat. Beräknat sättningsförlopp vid punkt 6 redovisas i Figur 30.



Figur 30. Beräknad sättning punkt 6.

### 7.3.6. Beräkningspunkt 7

Vid punkt 7 är förutsättningarna liknande de vid punkt 6 och förväntad marksättning är även där ca 0,5 cm. Inom det första halvåret efter trycksänkningen i undre magasin beräknas sättningarna ha avstannat. Beräknat sättningsförlopp vid punkt 6 redovisas i Figur 31.



Figur 31. Beräknad sättning punkt 7.

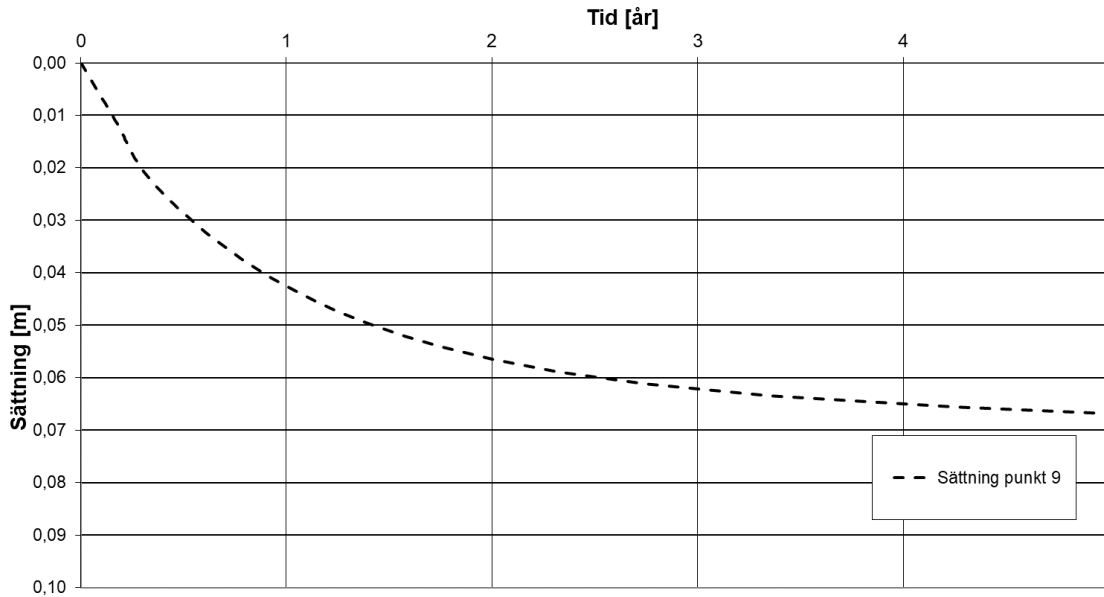
### 7.3.7. Beräkningspunkt 8

Eftersom ursprunglig trycknivå i undre magasin i denna punkt ligger på samma nivå som lerlagrets underkant förväntas inga sättningar uppstå. Se även kap. 7.2.8.

### 7.3.8. Beräkningspunkt 9

Vid punkt 9 uppgår beräknad marksättning efter trycksänkning i undre magasin under 5 års tid till ca 6,5 cm. Sättningarna sker i den undre halvan av lerlagret och huvuddelen av sättningarna förväntas utbildas under 1-2 år efter trycksänkningen varefter sättningstakten avtar. Efter byggtiden när

grundvattentrycket i undre magasin höjs till förväntad nivå för driftskedet avstannar sättningarna. Beräknat sättningsförlopp vid punkt 9 redovisas i Figur 32.



Figur 32. Beräknad sättning punkt 9.

### 7.3.9. Beräkningspunkt 10 och 11

Eftersom ursprunglig trycknivå i undre magasin ligger under eller i nivå med lerlagrets underkant förväntas inga sättningar uppstå i dessa punkter. Se även kap. 7.2.10 och kap. 7.2.11.

## 8 Sammanfattning och slutsats

Grundvattentrycksänkningen under anläggningsskedet förväntas endast medföra små marksättningar, i storleksordningen 0 cm till ca 3 cm, med undantag för mitten av Slottsparken där beräknad marksättning uppgår till ca 6,5 cm. Att sättningarna generellt blir relativt små trots stora avsänkningar av trycknivån i moränen under leran förklaras av att porvattentrycket i leran sänks från befintligt låga nivåer samt att leran generellt är överkonsoliderad på djupet. Det låga uppmätta porvattentrycket i leran bedöms vara rimligt mot bakgrund av det undre magasinets hydrauliska kontakt med älven som medför låga grundvattentrycknivåer i moränen. Förutsättningar avseende lerdjup, portryck, förkonsolideringstryck samt storlek på trycksänkning i undre magasin varierar stort inom området, vilket innebär att även de beräknade sättningarna varierar mellan relativt närliggande beräkningspunkter. Sättningsanalyser har främst utförts vid fastigheterna längs Ljungskilevägen samt längs befintlig spillvattenledning i Slottsparken eftersom avsänkningen i undre magasin förväntas bli som störst, samt att flest provtagningar och sonderingar utförts i det området. Vid fastigheterna kring Inlandsvägen, Strömsvägen och Roddvägen är jorddjupen samt trycksänkningen i undre magasin mindre än vid Ljungskilevägen. Sättningarna bedöms därför vid dessa fastigheter maximalt uppgå till ca 1 cm. Vid samtliga beräkningspunkter förutom punkterna 5, 6 och 9 medför den förväntade grundvattentrycksänkningen fullständig dränering vid lerlagrets underkant. Detta innebär att ytterligare trycksänkning utöver den förväntade inte skulle medföra större sättningar vid de aktuella beräkningspunkterna än de nu beräknade.

De beräknade sättningarna är utöver eventuella pågående sättningar men de pågående sättningarna är så små att de inte har någon betydelse för bedömningarna av påverkan på befintliga byggnader och ledningar.

### 8.1. Påverkan på befintliga byggnader

Bedömning av de beräknade sättningarnas påverkan på befintliga byggnader görs i "PM Riskbedömning sättningar befintliga byggnader" dokument nr. S.14+TK.T.A00-UGA.T.006.

### 8.2. Påverkan på befintliga ledningar

Ledningar som riskerar påverkas negativt av marksättningar utgörs av dagvatten- och spillvattenledningar med självfall. Inom analysområdet finns den typen av ledningar i Ljungskilevägen med anslutande gator samt i Slottsparken. Befintliga ledningar i Ljungskilevägen och norrut som fortsatt kommer vara i drift inom påverkansområde för grundvattentrycksänkning bedöms inte påverkas av förväntade sättningar. Bedömningen grundar sig på att ledningarna är i gott skick och har bra kapacitet samt att de lutningsförändringar som sättningarna förväntas ge upphov till är mindre än bedömda toleranser för de aktuella ledningarna.

Befintlig spillvattenledning med självfall i Slottsparken är i sämre skick och har sämre lutning än övriga ledningar. Därav finns risk för en försämrad funktion till följd av minskad lutning som sättningar förväntas ge upphov till. Beräknade sättningar längs den aktuella ledningssträckan och förväntade nivåförändringar på grund av sättningarna illustreras i Bilaga 4.

Befintliga ledningar inom påverkansområde för grundvattentrycksänkning behöver följas upp med avseende på sättningar under anläggningsskedet. Rekommenderade kontroller redovisas i "Förslag till kontrollprogram Rörelser, grundvatten och vibrationer" dokument nr. S.14+TK.T.A00-VGB.T.005