

Bilaga B.06.03

PM Geoteknik

Grundvattenbortledning Nya Rya
(Rya 2a och 2b)



Sweco Sverige AB
Uppdrag

556767-9849
Miljötillstånd Nya Rya och
utredningar Gryaab

Uppdragsnummer
Kund

30034443
Gryaab AB

Upprättad av
Granskare

Filippa Spånér
Ann-Louise Elliot

Datum

2023-11-14

Innehållsförteckning

1	Objekt och ändamål.....	4
2	Syfte	4
3	Sättningar	5
4	Underlag för utredningen.....	5
4.1	Geotekniska underlag	5
4.2	Framtida grundvattensänkning.....	6
4.3	Grundläggning i området.....	7
5	Geotekniska förutsättningar	8
5.1	Delområde 1.....	9
5.1.1	Topografiska förhållanden och ytbeskaffenhet.....	9
5.1.2	Befintliga konstruktioner	9
5.1.3	Övergripande geologi och geotekniska förhållanden	10
5.1.4	Övergripande hydrogeologi	12
5.1.5	Sättningsanalys.....	14
5.1.6	Skyddsåtgärder.....	16
5.2	Delområde 2.....	17
5.2.1	Topografiska förhållanden och ytbeskaffenheter.....	17
5.2.2	Befintliga konstruktioner	17
5.2.3	Övergripande geologi och geotekniska förhållanden	18
5.2.4	Övergripande hydrogeologi	18
5.2.5	Sättningsanalys.....	19
5.2.6	Skyddsåtgärder.....	19
5.3	Delområde 3.....	20
5.3.1	Topografiska förhållanden och ytbeskaffenheter.....	20
5.3.2	Befintliga konstruktioner och anläggningar.....	20
5.3.3	Övergripande geologi och geotekniska förhållanden	21
5.3.4	Övergripande hydrogeologi	22
5.3.5	Sättningsanalys.....	24
5.3.6	Skyddsåtgärder.....	26
5.4	Delområde 4.....	27
5.4.1	Topografiska förhållanden och ytbeskaffenheter.....	27
5.4.2	Befintliga konstruktioner	27
5.4.3	Övergripande geologi och geotekniska förhållanden	27
5.4.4	Övergripande hydrogeologi	28
5.4.5	Sättningsanalys.....	29
5.4.6	Skyddsåtgärder.....	29
5.5	Delområde 5.....	30
5.5.1	Topografiska förhållanden och ytbeskaffenheter.....	30
5.5.2	Befintliga konstruktioner och anläggningar.....	30
5.5.3	Övergripande geologi och geotekniska förhållanden	30
5.5.4	Övergripande hydrogeologi	32
5.5.5	Sättningsanalys.....	33
5.5.6	Skyddsåtgärder.....	35
6	Slutsatser och rekommendationer.....	35
	Bilagor.....	36

3 Sättningar

Sättning är när markytan sjunker på grund av att underliggande jordlager av lera komprimeras. Anledningen till att sättningar uppkommer är att en ökad belastning på jorden har uppkommit. Orsaken till den ökade belastningen som ger sättning kan antingen vara en grundvattensänkning som i detta fall, men det kan också vara markuppfyllnader, byggnadslaster etcetera.

Vid ett grundvattenuttag uppkommer en grundvattennivåsänkning som leder till att portrycket i leran sjunker med tiden. Portrycksförändringen är en process som i tät lera går långsamt, medan den går snabbare i skiktade lerjordlager med kontinuerliga skikt av grövre jord som silt eller sand. En uppkommen portryckssänkning belastar leran så att det sker en konsolidering av lerlagret, vilket innebär att en deformation genom volymminskning uppkommer, så kallad sättning.

Volymminskningen motsvarar den vattenutpressning som sker i jordprofilen. Man skiljer mellan primär och sekundär konsolidering. Med primär konsolidering avses den hydrodynamiskt fördröjda delen av volymminskningen. Med sekundär konsolidering avses volymminskning genom krypning i "jordskelettet". Primär och sekundär konsolidering sker i praktiken i stort sett samtidigt och är därför svåra att särskilja. Jord som tidigare varit utsatt för belastning (till exempel under istiden eller en tidigare långvarigt avsänkt grundvattennivå) har fått en viss överkonsolidering, vilket innebär att jorden tål att bli belastad upp till denna nivå utan att primärkonsolidering sker. Den sekundära konsolideringen (krypningen) antas uppstå i leran då effektivspänningen överskrider 80 % av förkonsolideringstrycket. I lera uppkommer även små elastiska sättningar för belastningar upp till förkonsolideringstrycket.

Generellt utbildas sättningar under lång tid, och ju större lermäktighet desto större sättning uppkommer om belastningsförutsättningarna för övrigt är de samma. Även små sättningar kan pågå under lång tid, upp till mellan 50 och 100 år. Generellt uppkommer större delen av totalsättningen under den första delen av sättningsperioden. Sättnings storlek och tidsberoende varierar med såväl jordens egenskaper, lermäktighet och grundvattennivåsänkningens varaktighet.

4 Underlag för utredningen

4.1 Geotekniska underlag

För underlag till denna PM har följande arkivmaterial inom och i anslutning till det aktuella utredningsområdet använts för bedömningen:

- *Geotekniskt utlåtande för planerad värmepumpanläggning vid Ryaverket, Gatukontoret Göteborg, 1982-03-25*
- *Energiverken i Göteborg, Värmepump vid Ryaverket, etapp 1, avloppsledning, Geoteknisk undersökning, Gatukontoret Göteborg, 1982-10-20*
- *Energiverken i Göteborg, Hetvattencentral Ryahamnen, Geoteknisk undersökning, undersökningsresultat, AB Jacobson och Widmark, 1984-01-16*
- *Energiverken i Göteborg, Ryaverket, Värmepumpanläggning etapp 3, Geoteknisk utredning, Gatukontoret Göteborg, 1984-11-30.*

- *Geoteknisk utredning avseende markområde vid Fågelrovägen, Sweco VBB VIAK AB, 2001-10-08*
- *Rya KKV, Anslutande system, Betongkulvert i Fågelrovägen, Teknisk beskrivning, geoteknik, Sweco VBB AB, 2003-12-01*
- *Göteborgs stad, Fastighetskontoret, Statoil Oljenäset, Miljöteknisk markundersökning och kostnadsbedömning, Sweco VIAK AB, 2004-02-25*
- *Gryaab, Projekt NP 2004, PM Geoteknik, Ramböll AB, 2004-06-28*
- *PM22- Uppföljning av kontrollprogram för Rya skog, Gryaab, Ramböll, 2008-08-28*
- *Göteborgs stad/Göteborg Energi AB, GoBioGas20MW, Schaktentreprenad, Sannegården 734:9, Norconsult, 2010-04-30*
- *Markteknisk undersökningsrapport (MUR)/Geoteknik, Rya bioångpanna, WSP Sverige AB, 2021-04-15*
- *Detaljplan Nya Rya, Hydrogeologisk utredning, Norconsult AB, 2022-09-30*
- *Projekterings PM, Geoteknik, Rya bioångpanna, WSP Sverige AB, 2022-10-13*
- *Markteknisk undersökningsrapport, MUR, Tekniskt vatten, etapp 5 och 6, Sweco Sverige AB, 2023-05-12*
- *Markteknisk undersökningsrapport, Gryaab tillståndsansökan, Sweco Sverige AB, 2023-08-31.*
- *Undersökningsresultat från ännu ej levererad Markteknisk undersökningsrapport, MUR, Tekniskt vatten, etapp 7, Sweco Sverige AB*
- *Markteknisk undersökningsrapport, Gryaab tillståndsansökan, Sweco Sverige AB, 2023-10-15*

4.2 Framtida grundvattensänkning

Resultatet från en separat utredning av förväntad grundvattensänkning har legat till grund för analys av eventuell sättningspåverkan, ”Grundvattenutredning Rya 2a och 2b” Sweco Sverige AB, 2023-10-20. Där visas för området en förväntad avsänkning av grundvattnet vilken har använts för att beräkna belastningen på leran till följd av grundvattensänkningen. Inom påverkansområdet ingår, förutom påverkan från anläggandet av Rya 2a och 2b, även påverkan från grundvattensänkning till följd av ny pumpstation som ska anläggas i ett tidigare skede och som innebär en grundvattensänkning i både bygg och driftskede. Avsänkningens utbredning och storlek över området och vilka fastigheter som påverkas redovisas i Figur 2. Störst avsänkning sker i anslutning till de dränerande anläggningarna där avsänkningen är upp till 10 meter. Avsänkningen minskar successivt med avståndet från anläggningarna och storleken beror av geologiska förutsättningar.

Fastigheter som berörs av grundvattensänkningen är Rödjan 727:19, Rödjan 727:12, Rödjan 727:10, Rödjan 727:38, Sannegården 734:9, Färjestaden 20:6, Färjestaden 20:1, Färjestaden 20:5, Rödjan 727:4, Rödjan 3:1 samt Rödjan 727:28.



Figur 2. Översikt grundvattenavsänkningens utbredning i plan med berörda fastigheter angivna på kartan (Sweco, 2023).

4.3 Grundläggning i området

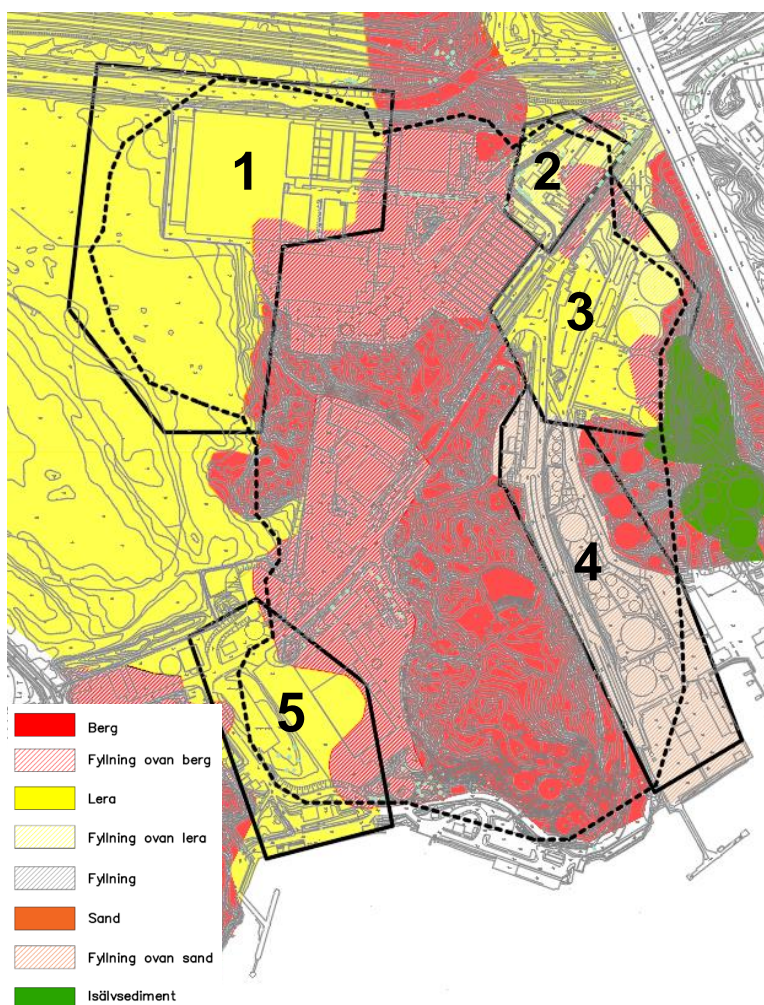
Arkivmaterial avseende byggnaders och anläggningars grundläggning som har legat till grund vid bedömning av sättningpåverkan är:

- *Ryaverket Göteborg, Markentreprenad EN 2013-BE 1, Riskanalys avseende vibrationsalstrande arbeten, Abesiktning väst AB, 2013-03-22*
- *Riskanalys 437–22157.R1, Nya Rya Göteborg, Förstudie Rya 1, Metron Miljökonsult AB, 2022-06-03*

5 Geotekniska förutsättningar

Inom påverkansområdet är det varierande geotekniska förutsättningar. Utredningsområdet består delvis av naturlig bergyta och områden där berg tidigare har sprängts bort för att bereda plats för reningsverket och andra anläggningar eller områden med lera. Utifrån underlagen listade i avsnitt 4.1 har fem områden med lera identifierats där det kan finnas potentiell risk för att sättningar uppkommer på grund av framtida grundvattenpåverkan, se Figur 3. Inom övriga områden är bedömningen att det inte finns risk för sättningar med hänsyn till förekommande geotekniska förutsättningar med berg eller fastmark.

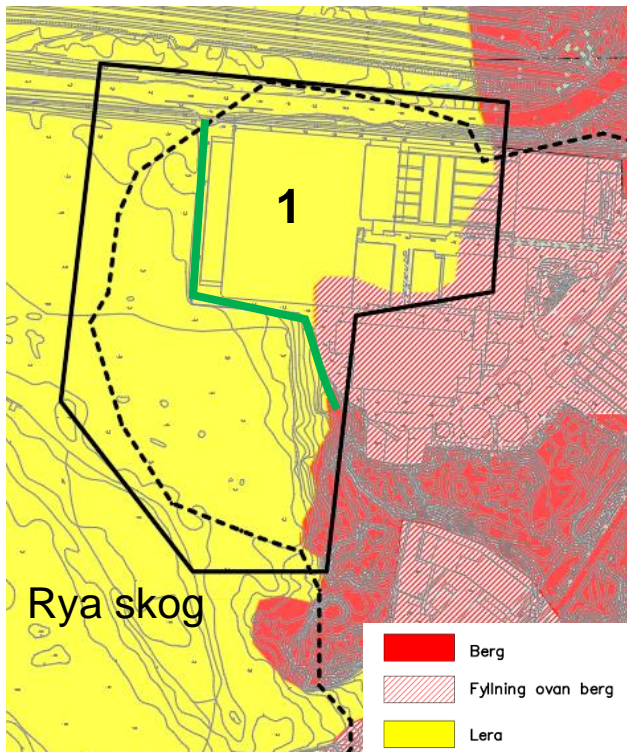
Följande kapitel behandlar separat varje delområde med lera med beskrivning av de aktuella geotekniska förhållandena samt bedömd påverkan på grund av framtida grundvattensänkning. Därefter följer översiktliga beräkningar av sättningar och bedömning av framtida sättningpåverkan för varje delområde.



Figur 3. Översikt över området med de fem delområden där lera förekommer markerade (jordlager enligt Statens Geologiska Undersökning, SGU, jordartskarta). Berört område för framtida grundvattensänkning är märkt med streckad linje.

5.1 Delområde 1

Delområde 1 är beläget inom Gryaab nordvästra del och sträcker sig även längst i väster in i Rya skogs naturreservat, se Figur 4. Delområdet begränsas av Oljevägen i norr. Inom delområdet finns sedan tidigare ett antal geotekniska undersökningar, dels för utbyggnad av Gryaab anläggningar, dels för byggnation av nytt järnvägsspår i norr samt nya ledningar norr om delområdet. Berörda fastigheter är Rödjan 727:12, Rödjan 727:38, Rödjan 727:10, Rödjan-727:19 samt Sannegården 734:9.



Figur 4. Jordlager enligt SGU:s jordartskarta där delområde 1 är markerat med svart linje och yttre begränsning för område som är påverkat av grundvattenavsänkning visas med streckad linje. Gräns mellan Gryaab och Rya skogs visas med grön linje.

5.1.1 Topografiska förhållanden och ytbeskaffenhet

Marknivåerna inom delområdet varierar vid Gryaab kring +7 till +10 och i Rya skogs naturreservat är marknivåerna mellan +5 och +6. Vid gränsen mellan Rya skog och Gryaab finns en slänt där nivån skiftar från +8,0 inne på Gryaab område ner till +5,5 vid Rya skogs naturreservat.

Inom Gryaab område finns främst olika anläggningar och kvarvarande markytor är hårdgjorda. Mellan Oljevägen i norr och det industrispår som går mot Oljehamnen finns ett stråk med gräsyta. I delområdets västra delar finns skogsmarken inom Rya skog.

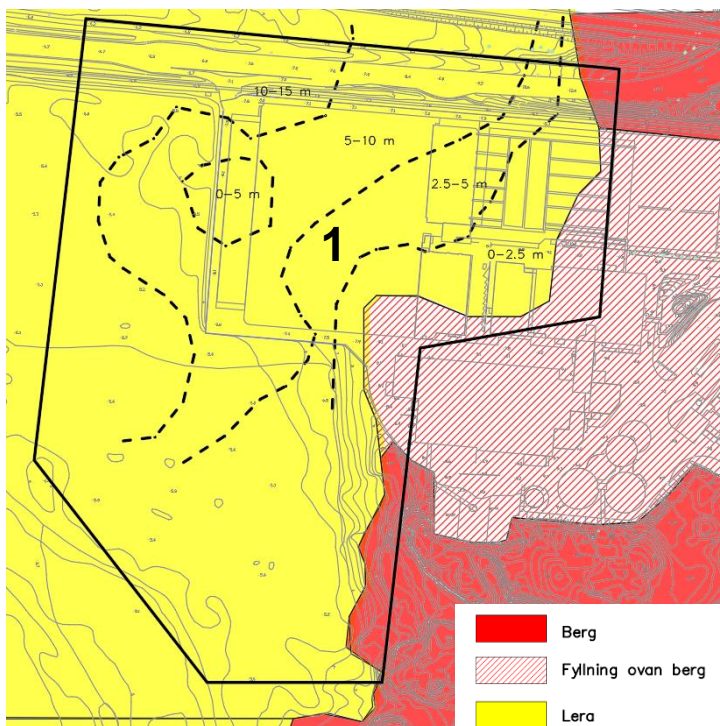
5.1.2 Befintliga konstruktioner

Inom delområdet finns ett antal av reningsverkets anläggningar belägna på fastighet Rödjan 727:38 så som skivfilterbyggnad, eftersedimentering och efterdenitrifikation. Anläggningarna är grundlagda på berg, på fyllning ovan berg eller pålade till fast botten. Tillhörande dessa byggnader finns ett antal

markförlagda ledningar och kablar. Norr om delområdet finns ett järnvägsspår som passerar genom fastigheterna Rödjan 727:19 och Sannegården 734:9 till Oljehamnen. Grundläggningen av järnvägsspåret är okänt och spåret antas i denna PM vara oförstärkt. Indikationer finns att järnvägsspåret idag kan vara påverkat av sättningar. Inom Rya skogs naturreservat finns inga kända konstruktioner.

5.1.3 Övergripande geologi och geotekniska förhållanden

Jordlagerföljden inom Gryaab utgörs generellt överst av ett lager med fyllnadsmaterial med mäktighet mellan 3–4 meter som överlagrar lera med varierande djup eller fyllning direkt på berg. Vid Oljevägen består jordlagerföljden av ett mindre lager med fyllnadsmaterial, kring 1–2 meter, som överlagrar lera med djup kring 5–10 meter. Inom Gryaabs anläggningar varierar lermäktigheten mellan 0 (i de sydöstra delarna där det är berg eller sprängstensfyllning på berg) till som mest 14 meter med lera i de nordvästliga delarna, se Figur 5. Under leran följer ett lager med friktionsjord med mäktigheter upp mot 5 meter som överlagrar berg.



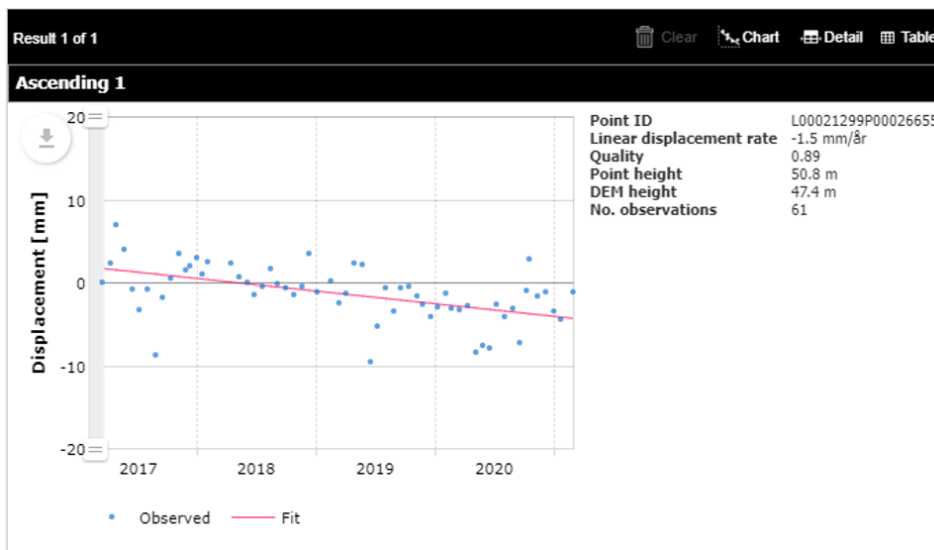
Figur 5. Översikt tolkade mäktigheter av lerlager inom delområdet.

Den lösa leran i området har från provtagning konstaterats vara högsensitiv och kvick.

I delområdet pågår idag enligt "sättningskartan.se" sättningar. I Figur 6 och Figur 7 kan det utläsas att det pågår en sättningsrörelse på 1,5 mm/år i den norra delen av området.

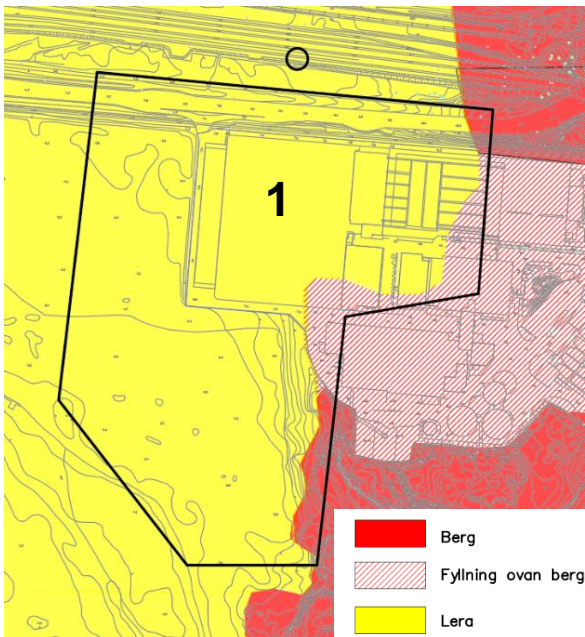


Figur 6. Överblick över punkter med sättningsrörelser (Sättningskartan.se). Vald punkt som redovisas i Figur 7 är markerad med vit pil.



Figur 7. Sättningsrörelser i vald punkt, 1,5 mm/år sedan 2017.

De geotekniska förutsättningarna för sättningsberäkningar är hämtade från belastningsförsök (CRS-försök) i punkt 6012 strax norr om delområdet, tillhörande projektet *Hamnbanan Göteborg*. Området där CRS är utförd bedöms vara avsatt under samma geologiska förhållanden som inom aktuellt delområdet och därmed ha liknande egenskaper. Punkten där CRS är utförd kan ses i Figur 8.



Figur 8. Punkt 6012 markerad med svart ring där CRS (belastningsförsök) är utfört i tidigare projekt för Hamnbanan.

CRS-försöken visar att leran är normalkonsoliderad vilket innebär att all lastökning, vilket en grundvattensänkning innebär, kommer att leda till sättningar. Sättningsparametrar från CRS-försöken kan utläsas ur Tabell 1.

Tabell 1. Sammanställning utvärderade beräkningsparametrar från CRS i punkt 6012.

Djup [m]	σ'_c [kPa]	σ'_L [kPa]	ML [kPa]	M' [kPa]	Ki [m/s]	M0* [kPa]
5	76	124	570	11,9	7E-10	9600
7	87	117	510	13,3	9E-10	10 800
10	89	137	790	15,4	6E-10	9600

*Ökade i förhållande till CRS-resultat med hänsyn till störningar och spänningsrelaxation

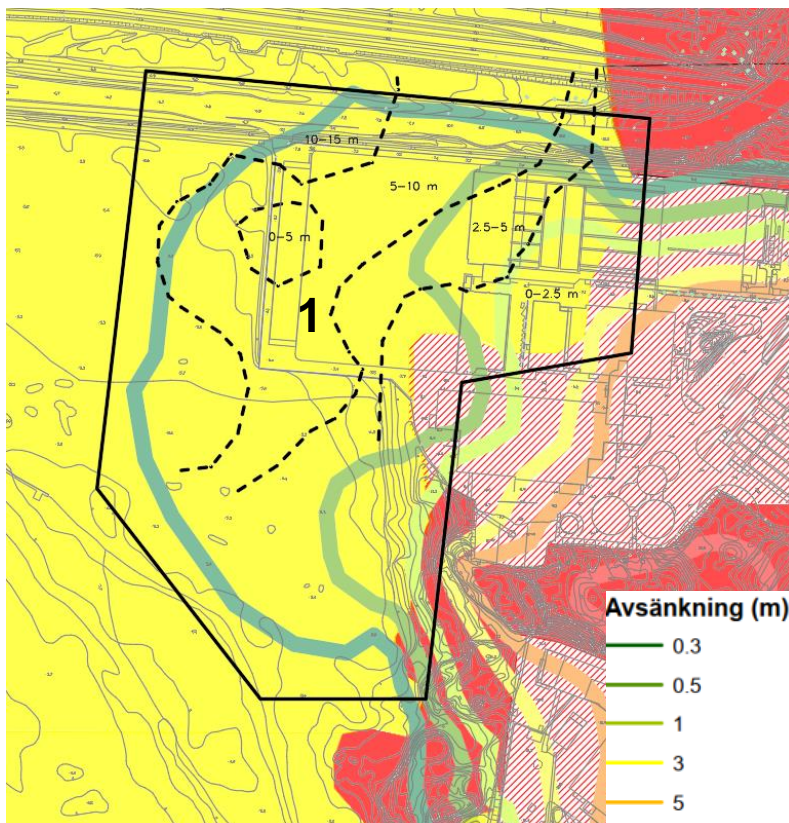
5.1.4 Övergripande hydrogeologi

I delområdet västra delar vid och i Rya skog finns ett antal grundvattenrör installerade där mätningar har utförts både tidigare och under 2023, se Figur 9. Rör finns installerade både i undre och övre grundvattenmagasin. Mätningar under relativt lång tid visar på att grundvattennivån varierar mellan +3 och +6, i huvudsak kring mellan +4 och +5. Det motsvarar en grundvattenyta mellan 3–4 meter under markytan. Norr om delområdet finns ett rör, *DG10B*, installerat till undre magasin som visar på högre värden, kring nivå +6, vilket är 3 meter under markytan i denna punkt.



Figur 9. Översikt grundvattenrörs placering (Norconsult 2022). Rör markerat med grön är fungerande och rör markerat med rött pågår ingen mätning.

Inom påverkansområdet är lermäktigheten uppskattningsvis mellan 2,5–15 meter, med de mindre djupen i sydöst och ökande mot nord och nordväst. Området med lera påverkas av en avsänkning mellan 0,3–1 meter, där den största grundvattenavsänkningen berör de mindre lerdjupen och de största lerdjupen berörs enbart av en mindre grundvattenavsänkning, se Figur 10.



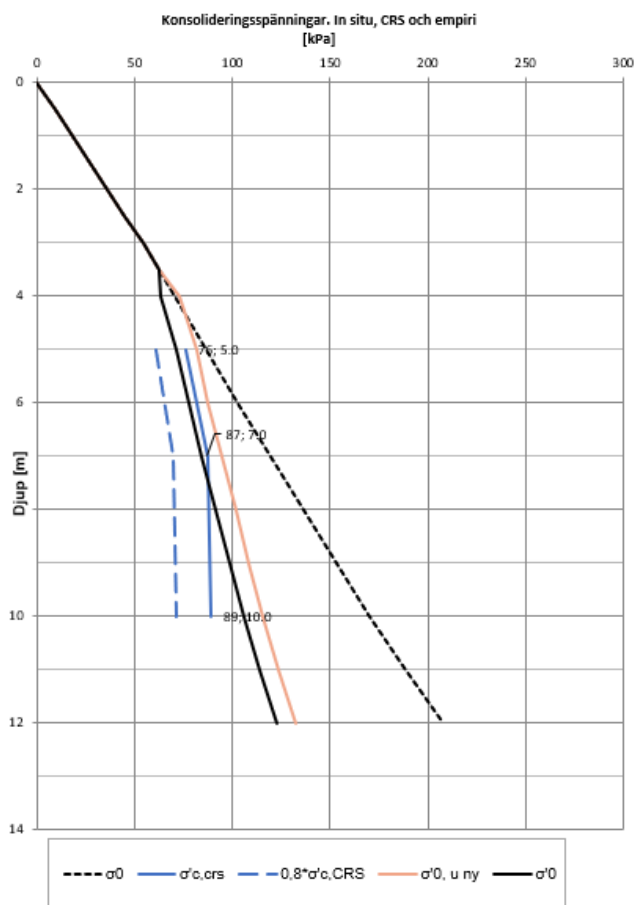
Figur 10. Grundvattenpåverkan i delområde 1. Avsänkingskurvor för grundvattensänkning kan ses i olika nyanser av orange-grön. I området med lera (markerat med gult område) ses avsänkingskurvorna med en tolkning av mäktigheten av leran.

5.1.5 Sättningsanalys

Beräkningar har utförts för att bedöma de sättningar som kan uppkomma i delområdet till följd av grundvattensänkningen. De har utförts för 3,5 meter fyllning som överlagrar en lera med varierande djup vilka är 2,5, 5 och 10 meter. Beräkningar har sedan utförts för två olika lastfall som motsvarar en grundvattensänkning mellan 2 meter och 0,3 meter.

Befintlig grundvattennivå har satts till nivå +4 vid beräkning av sättningar vilket motsvarar ca 3,5 meter under markytan vilket är i nivå med överkant av leran. Beräkningar har utförts utifrån antagandet att portrycksfördelningen i leran är hydrostatisk. Avsänkningen har konservativt antagits till att med tiden påverka hela lerlagret med samma belastning, detta för att ej underskatta sättningarna.

Nämnda beräkningsförutsättningar för 10 meter lera ger en spänningsfördelning som visas i Figur 11.



Figur 11. Spänningsfördelning för givna parametrar med resultat från CRS i punkt 6012. Den ökade lasten till följd av grundvattensänkning är 10 kPa.

Till följd av att leran är normalkonsoliderad kommer även en mindre last att leda till sättningar. Ur Figur 11 kan det utläsas att dagens lastsituation (svart heldragen linje) överskrider förkonsolideringstrycket (den last som leran tidigare varit utsatt för och markerad med heldragen blå linje) som utvärderats ur CRS från punkt 6012. Troligtvis pågår redan nu krypsättningar i området, vilket resultat från sättningskartan tyder på. Med en grundvattensänkning kommer den ökade belastningen påverka leran och ge ökade sättningar.

Resultatet visar att med konservativa ingångsvärden kommer sättningarna inom delområdet att som störst bli ca 5–10 cm, beroende på lermäktighet och verklig avsänkning. En sättning på 5 cm bedöms uppkomma där lermäktigheten är 2,5 meter och 10 cm sättning bedöms uppkomma för båda fallen där lermäktigheten antingen är 10 meter och avsänkning 0,5 meter eller vid 5 meter lermäktighet och 1 meter avsänkning. Där avsänkning är 0,3 meter och lermäktigheten är 10 meter bedöms sättningen bli upp till 5 cm. Är lermäktigheten mindre än för de beräknade fallen, minskar även storleken på sättningarna.

En sammanställning av de beräknade konsolideringssättningarna visas i Tabell 2 och redovisas i bilaga A.1.

Tabell 2. Sammanställning av beräknade sättningar för respektive fall.

Avsänkning	Mäktighet lerlager		
	2,5 m	5 m	10 m
2 m	8 cm	-	-
1 m	4 cm	10 cm	-
0,5 m	-	-	8 cm
0,3 m	-	3 cm	5 cm

Till följd av att leran är normalkonsoliderad kommer även mindre last innebära sättningar. Detta är fallet för järnvägen till Oljehamnen genom Sannegården 734:9 och Rödjan 727:19. Järnvägen är i huvudsak belägen utanför avsänkingsområdet. En mindre sträcka är dock belägen där 0,3 till 0,5 meters avsänkning kan uppkomma. Vid järnvägen motsvaras lastökningen från grundvattensänkningen 3–5 kPa vilket på sikt kan leda till sättningar i storleksordningen 5–8 cm.

Beräkningar har inte tagit hänsyn till de krypsättningar som pågår i området, det vill säga de rörelser som pågår idag, utan har endast tagit hänsyn till de sättningar som tillkommer den ökade belastningen till följd av grundvattensänkningen. Totalsättningen i området kan därmed med hänsyn till krypsättningar i området bli större över tid.

Med hänsyn till att avsänkningen inom Rya skog är begränsad kommer endast mindre sättningar att utbildas inom naturreservatet.

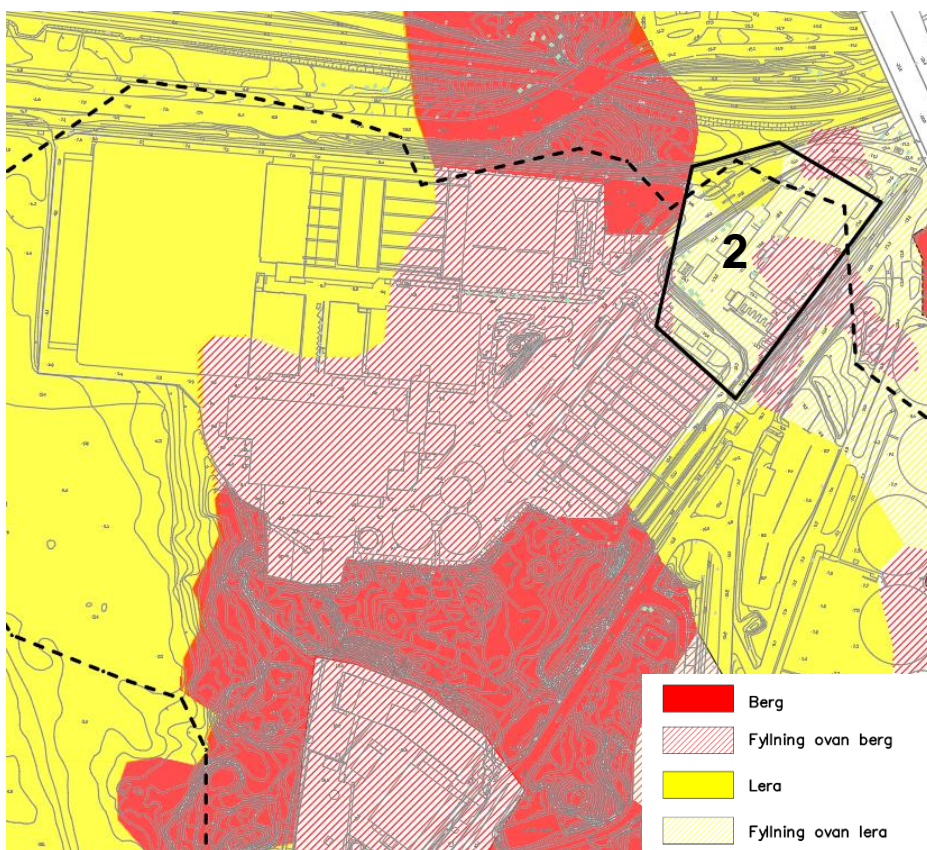
5.1.6 Skyddsåtgärder

Grundvattenavsänkningen bedöms leda till ökade sättningar i området. För att inte utsätta leran för ytterligare belastning behöver därför skyddsåtgärder så som skyddsinfiltation finnas.

Byggnaderna i området är enligt erhållna underlag grundlagda till fast botten vilket gör att ytterligare last från en grundvattensänkning endast kommer att påverka marken runt byggnaden. Övriga konstruktioner som inte är grundlagda till fast botten med pålar kommer däremot att påverkas av sättningar, till exempel ledningar eller järnvägsspåret i den norra delen av delområdet. Möjlig skyddsåtgärd för att sättningar ej ska uppkomma är skyddsinfiltation som beskrivs närmare i *Grundvattenutredning Rya 2a och 2b*.

5.2 Delområde 2

Delområde 2 är beläget i den nordöstra delen av avsänkingsområdet, se Figur 12. Området begränsas av järnväg mot Oljehamnen i norr och Gryaabs försedimenteringsbassänger i söder. Delområdet utgörs enligt SGU jordartskarta av ett mindre lerområde i den norra delen och söderut består området av fyllnadsmaterial på lera. Vid områdets norra och östra delar utgörs jordlagerföljden av fyllning ovan berg. Berörda fastigheter inom området är Rödjan 727:38 och Sannegården 734:9, där Göteborg energi har en värmepumpsanläggning.



Figur 12. Översikt delområde 2 (från SGU jordartskarta). Delområdet är markerat med svart linje och berört område som är påverkat av grundvattenavsänkning visas med streckad linje.

5.2.1 Topografiska förhållanden och ytbeskaffenheter

Stora delar av marken inom delområdet har en nivå kring +13 vilken bedöms tillkommit genom utfyllnad av marken. Mot väst och söder finns en slänt ner till nivån +10. Området består till största delen av hårdgjorda ytor så som gatumark och parkeringsytor men det finns även mindre gräsytor.

5.2.2 Befintliga konstruktioner

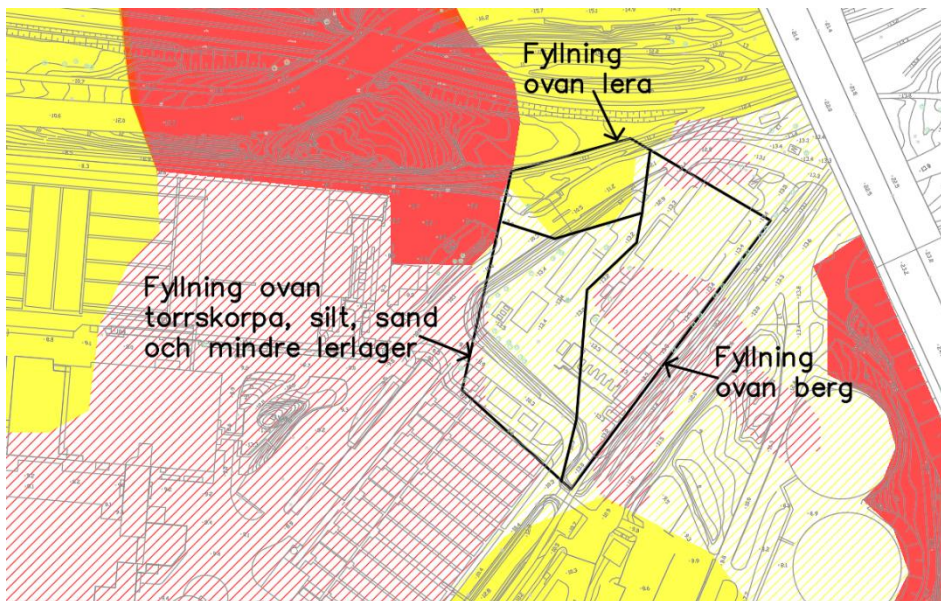
Inom delområdet finns Göteborg Energis värmepumpsanläggning med tillhörande konstruktioner och anläggningar. Delområdet gränsar i sydväst även till den norra delen av Gryaabs försedimenteringsbassäng. Försedimenteringsbassängen är enligt underlag grundlagd med platta på berg

eller på fyllning ovan berg. Strax norr om, utanför delområdet, är järnvägsspåret mot Oljehamnen beläget.

5.2.3 Övergripande geologi och geotekniska förhållanden

Delområdet kan delas in i tre underområden med olika geotekniska förhållanden, se Figur 13.

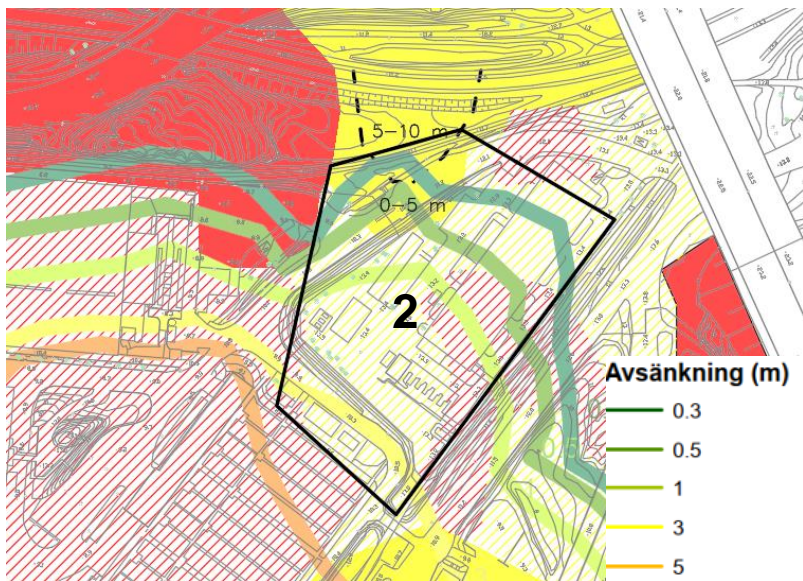
Jordlagren inom berört delområde består främst av fyllning ovan friktionsjord som har varierande mäktighet ovan berg. Enbart i nordväst finns lera vilken har upp till 10 meters mäktighet. Vid de södra och sydvästra delarna har endast tunnare lager lera påträffats under fyllningen.



Figur 13. Översikt bedömda underområden i delområdet där olika geotekniska förhållanden gäller.

5.2.4 Övergripande hydrogeologi

Inga mätningar av befintliga grundvattennivåer finns att tillgå. Grundvattennivån bedöms vara några meter under markytan. Framtida grundvattensänkning med tolkat lerdjup ses i Figur 14.



Figur 14. Grundvattenavsänkning inom delområde 2. Avsnäkningskurvor för grundvattensänkning kan ses i olika nyanser av orange-grön. I området med lera (markerat med gult område) ses avsnäkningskurvorna mot en tolkning av mäktigheten på leran som redovisas med svartstreckad linje.

5.2.5 Sättningsanalys

En överslagsberäkning har utförts för fallet där lerlagrets mäktighet är 5 meter och avsänkning är 0,5 meter. Samma sättningsparametrar har använts för beräkningar som i delområde 1. Beräkning visar att sättningen kan bli upp till 5 cm. Denna sättning kommer uppkomma i ett område där det ej finns några större konstruktioner förutom markförlagda ledningar och kablar.

Beräkningar har inte tagit hänsyn till de krypsättningar som pågår i området, det vill säga de rörelser som pågår idag, utan har endast tagit hänsyn till de sättningar som tillkommer den ökade belastningen till följd av grundvattensänkning. Totalsättningen i området kan därmed med hänsyn till krypsättningar i området bli större över tid.

Beräkningar redovisas i bilaga A.2.

5.2.6 Skyddsåtgärder

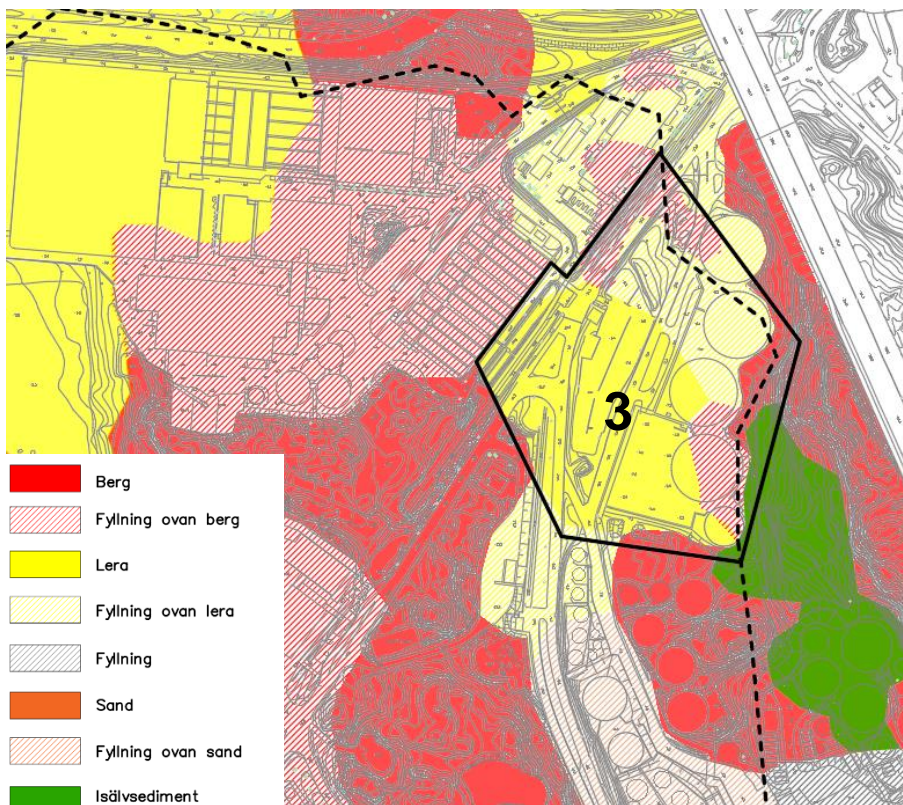
Inga skyddsåtgärder bedöms därför krävas för delområde 2.

I norr där sammanhängande lager av lera har påträffats bedöms sättningarna kunna bli kring 5 cm som kan påverka markförlagda kablar och ledningar samt gatan. Dessa anläggningar bedöms ha en viss tålighet mot dessa markrörelser då de ger jämna sättningar. Inom övriga delar finns inga sättningskänsliga jordlager.

Järnvägen mot Oljehamnen är belägen precis utanför gränsen för avsnäkningsområdet och bedöms inte påverkas.

5.3 Delområde 3

Delområde 3 är beläget öster om Gryaabs anläggningar, se svart markering i Figur 15. Delområdet begränsas i väst av Gryaabs försedimenteringsbassäng och i öst av berget mellan ST1s oljecisterner strax väster om Älvsborgsbron. Berörda fastigheter i området är Sannegården 734:9, Rödjan 727:4, Färjestaden 20:6 samt Färjestaden 20:1.



Figur 15. Översikt över delområde 3 (jordlager från SGU jordartskarta). Delområdet är markerat med svart linje och avgränsningen för grundvattensänkning visas med streckad linje.

5.3.1 Topografiska förhållanden och ytbeskaffenheter

Marknivån i delområdet varierar mellan +7 och +12 där de högre nivåerna är belägna i områdets västra delar, och de lägre i de östra delarna. Till största delen är marken hårdjord med asfalterade eller grusade ytor. I den norra delen av delområdet finns en trädunge.

5.3.2 Befintliga konstruktioner och anläggningar

Inom delområdet finns ett antal markförlagda ledningar så som gas, dricksvatten, avlopp, dagvatten samt el och opto. Inom delområdet finns även en större betongkulvert för dagvatten och andra större ledningar förlagda ovan mark. Grundläggningen för ledningarna i området är inte kända. I väst finns Gryaabs försedimenteringsanläggning vars grundläggning är platta på berg. I den östra delen av området finns oljecisterner och ledningar. Inga dokument kring grundläggning av cisternerna har i detta skede funnits tillgängligt. Cisternerna står bedömningsvis delvis på berg eller på utsprängd bergyta då den östra sidan av cisternerna består av berg som har sprängts för att bereda plats.

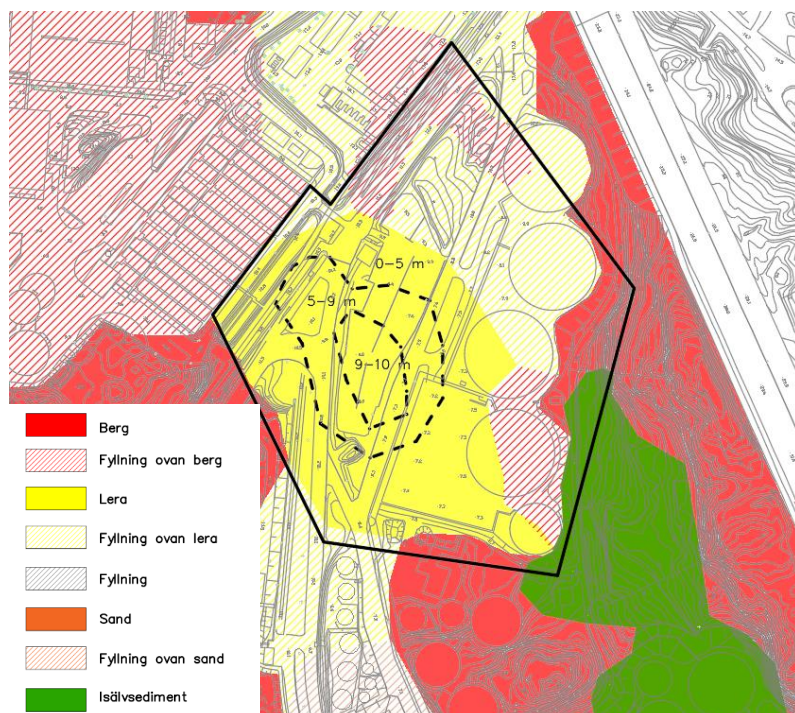
5.3.3 Övergripande geologi och geotekniska förhållanden

Jordlagerföljden utgörs generellt överst av ett 1–3 meter mäktigt lager av fyllnadsmaterial bestående av en blandning av sand, lera, silt och grus. Därunder följer en sandskiktad lera. Leran är under fyllningen gytjtig de översta två metrarna vid punkten för kolvprovtagning. Vid ca 5–7 meters djup har ett lager med sand och silt påträffats i leran vid flertalet sonderingar i området. Därunder följer ett lager friktionsjord på berg.

Vid oljecisternerna i öst är jorddjupet okänt då inte tillräckligt underlag över området finns tillgängligt. Vid skruvborrpunkter för miljöprovtagning i närheten av cisternerna har 1,5 meter fyllning påträffats överlagra lera med okänt djup till berg. Bedömningen är att lerdjupet vid oljecisternerna är mellan 0–5 meter till följd av närheten till berg.

Vid det centrala partiet av Gryaabs försedimenteringsbassänger, i kanten av delområdet, finns en svacka i berggrunden som sträcker sig österut. Det är i denna bergssvacka som de största lerdjupen påträffats. En översikt över tolkade ungefärliga mäktigheter på leran i delområdet visas i Figur 16.

Mot norr minskar jorddjupet till ca 3–4 meter och där har även berg i dagen påträffats. I dessa nordliga delar utgörs jordlagren i huvudsak av fyllning belägen direkt på berg.



Figur 16. Översikt tolkade mäktigheter på leralager inom delområdet.

Inom ramen för tidigare genomförd undersökning (MUR Geoteknik, Sweco, 2023-10-15) har belastningsförsök (CRS) utförts i punkt SW2304 för att undersöka lerans sättningsegenskaper.

Utförda CRS-försök visar på att leran är överkonsoliderad och kan bära en viss belastning (vilket en grundvattensänkning innebär) utan att större sättningar uppkommer. Sättningsparametrar från CRS-försöken kan utläsas ur Tabell 3.

Tabell 3. Sammanställning utvärderade beräkningsparametrar från CRS i punkt SW2304.

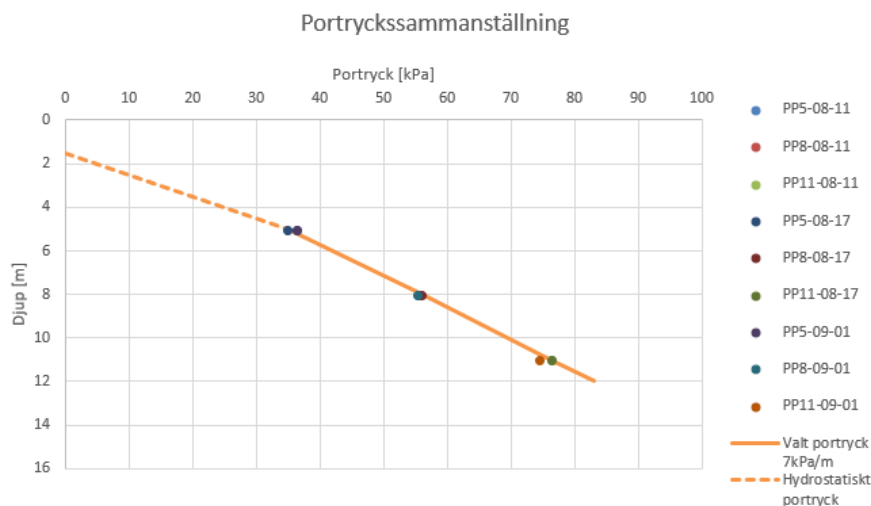
Djup [m]	$\sigma'c$ [kPa]	$\sigma'L$ [kPa]	ML [kPa]	M' [kPa]	Ki [m/s]	M0* [kPa]
4	100	185	1004	7.1	5.00E+10	6000
6	111	168	893	7.7	4.60E+10	9000
10	150	238	1692	10.3	1.40E+10	9000

*Ökade i förhållande till CRS-resultaten med hänsyn till störningar och spänningsrelaxation

5.3.4 Övergripande hydrogeologi

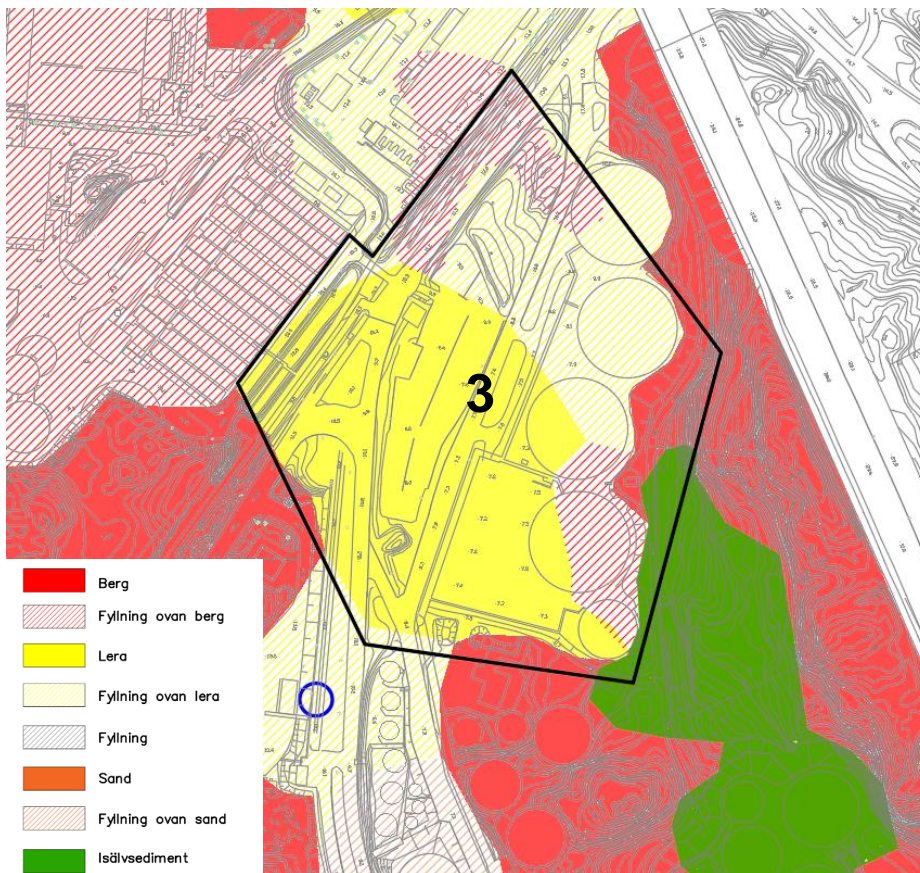
Mätning av portrycket i leran har utförts under augusti och september 2023. Sammanställning över mätresultat och valt portryck ses i Figur 17.

Mätresultaten visar att portrycket har en ökning på 7 kPa per meter från 5 meters djup. Att portrycket ej följer hydrostatisk portrycksfördelning (en ökning med 10 kPa per meter) kan tyda på att leran idag är dränerad, till exempel via sandlagren i leran eller av ett pågående grundvattenuttag ur friktionsjorden under leran. De översta metrarna har antagits följa hydrostatisk portrycksfördelning.



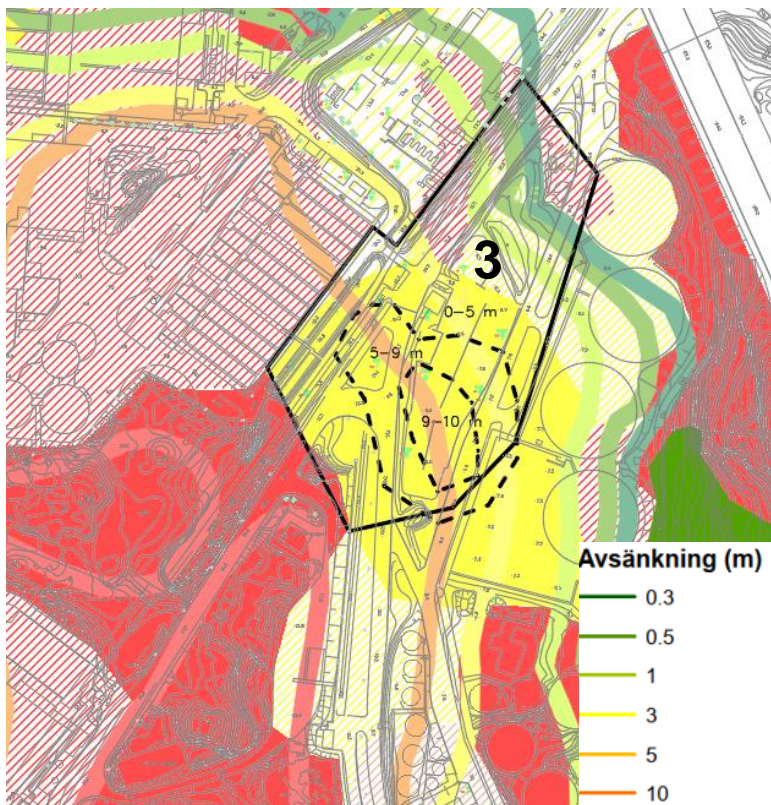
Figur 17. Sammanställning uppmätta portryck och valt värde (orange linje).

Mätningar av grundvattennivån i undre magasin har utförts i ett rör strax söder om delområdet, se Figur 18. Mätningarna visar att grundvattennivån i det undre magasinet i den punkten är kring nivå +8, vilket motsvarar en grundvattenyta ca 2 meter under markytan.



Figur 18. Översikt läge för grundvattenrör (blå ring) i undre magasin, beläget strax söder om delområdet.

Grundvattensänkning som berör delområdet varierar mellan 0,3–7 meter, se Figur 19. Den största grundvattenavsänkning sker i områdets sydvästra delar och sänkning minskar mot nordost. Figuren visar att en grundvattensänkning på ca 5 meter kommer att ske i området med mäktigast lerlager.



Figur 19. Grundvattenavsänkning inom delområde 3. Avsänkingskurvor för grundvattensänkning visas i olika nyanser av orange-grön, vilket representerar en avsänkning på 5–0,3 meter. I området med lera (markerat med gult område) ses avsänkingskurvorna mot en tolkning av mäktigheten på lera som redovisas med svartstreckad linje.

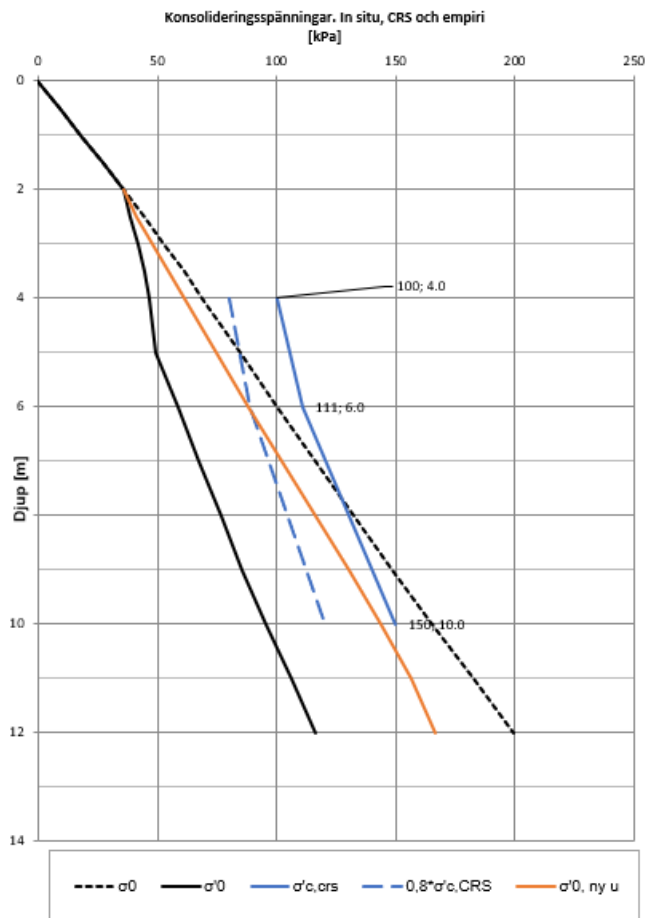
5.3.5 Sättningsanalys

Beräkningar har utförts för att bedöma sättningar som kan uppkomma i delområdet till följd av framtida grundvattensänkning. Beräkningar har utförts för en avsänkning på ca 5 meter, vilket motsvarar en lastökning på 50 kPa, samt för grundvattenavsänkning på 7 meter, 1 meter och 0,5 meter för olika jorddjup.

Generell jordmodell som använts för beräkningar är med 2 meter fyllning som överlagrar lera med antingen 10 eller 5 meters mäktighet. Beräkningar har utförts med portrycksfördelning enligt Figur 17 och avsänkningen har konservativt antagits till att med tiden påverka hela lerlagret med samma belastning, detta för att ej underskatta sättningarna. Även mäktigheten av lerlagren är konservativt antagna för att erhålla den största sättningen som skulle kunna uppkomma.

Beräkningar har utförts utifrån antagandet att portrycksfördelningen i lera är hydrostatisk.

Med nämnda förutsättningar för en avsänkning på 5 meter och ett lerlager på 10 meter erhålls en spänningsfördelning i jordprofilen enligt Figur 20.



Figur 20. Spänningsfördelning för beskrivna parametrar och lastfall, med resultat från CRS-försök från punkt SW2304.

Vid en grundvattensänkning på 5 meter kommer $0,8*\sigma'_c$ att överskridas, vilket innebär att förutom konsolideringssättningar kommer även krypsättningar att utbildas. Beräkningar visar på att sättningar upp till ca 23 cm kan uppkomma med tiden.

Beräkningar har även utförts där avsänkningen är kring 7 meter och lerlagret 5 meter, vilket är fallet längst i sydväst. Här visar beräkningar att sättningen blir ca 23 cm. Längst i nordöst där avsänkningen är 1 meter och lerlagret 5 meter, blir sättningen enligt beräkningar ca 5 cm.

Sättningen inom området kommer därmed att variera mellan ca 5–23 cm på grund av skillnader i avsänkning och lerdjup. Där jordlagerföljden endast består av fyllning ovan berg kommer ingen sättning att ske. En sammanställning över beräknade konsolideringssättningar finns i Tabell 4 och beräkningarna finns redovisade i bilaga A.3.

Tabell 4. Sammanställning beräknade sättningar för respektive fall.

Avsänkning	Mäktighet lerlager	
	5 m	10 m
7 m	23 cm	-
5 m	17 cm	23 cm
1 m	5 cm	5 cm
0,3 m	2 cm	-

Konstruktioner utanför avsänkingsområdet kommer ej att påverkas, eftersom eventuella sättningar till följd av grundvattensänkningen endast kan uppkomma inom avsänkingsområdet.

Vid oljecisternerna är avsänkning som störst kring 1 meter och till följd av saknade underlag avseende grundläggningsförutsättningar har lerdjupet vid cisternerna bedömts vara mellan 0–5 meter. Därmed kan cisternerna påverkas av en differenssättning upp till 5 cm om de ej är grundlagda till berg.

Beräkningar har inte tagit hänsyn till de krypsättningar som pågår i området, det vill säga de rörelser som pågår idag, utan har endast tagit hänsyn till de sättningar som tillkommer den ökade belastningen till följd av grundvattensänkningen. Totalsättningen i området kan därmed med hänsyn till krypsättningar i området bli större över tid.

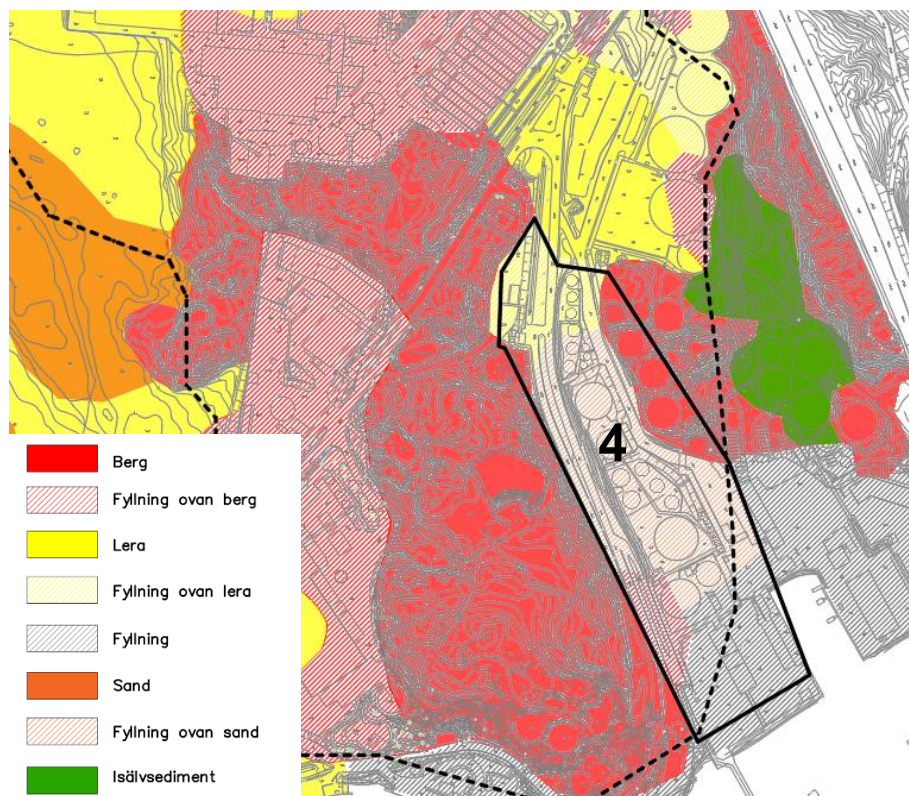
5.3.6 Skyddsåtgärder

Grundvattensänkningen bedöms leda till sättningar i området. Sättningarna kommer att leda till differenssättningar då avsänkningen samt lerdjupen varierar inom området. Flertalet konstruktioner så som betongkulvert och ledningar är ej grundlagda till fast botten kommer de att påverkas av sättningar och/eller sättningsdifferenser och är därför riskobjekt. Även cisternerna bedöms vara riskobjekt eftersom inga handlingar avseende grundläggningen har funnits tillgängliga. Det innebär att det finns osäkerheter kring hur de kan påverkas av en eventuell grundvattensänkning.

Skyddsåtgärder rekommenderas, till exempel skyddsinfiltration, vilket beskrivs närmare i *Grundvattenutredning Rya 2a och 2b*.

5.4 Delområde 4

Delområde 4 är beläget mellan två bergspartier och sträcker sig från delområde 3 i norr till Göta älv i söder, se Figur 21. Berörda fastigheter är Färjestaden 20:1, Rödjan 727:4 samt en mindre del av Färjestaden 20:5.



Figur 21. Översikt över delområde 4 (jordlager från SGU jordartskarta). Delområdet är markerat med svart linje och avgränsningen för grundvattenavsänkning visas med svartstreckad linje.

5.4.1 Topografiska förhållanden och ytbeskaffenheter

Området är till stor del hårdgjort och består mestadels av asfalterade eller grusade ytor. Nivåerna varierar från ca +10 i den norra delen av området, till ca +2 i den södra delen mot Göta älv.

5.4.2 Befintliga konstruktioner

Inom delområdet finns ett antal cisterner belägna. Ett flertal ledningar ovan mark finns även i området samt industrilokaler mot älven. Från tidigare undersökningar har det nämnts att cisternerna troligtvis står på berg eller på fast mark men underlag kring cisternernas grundläggning har ej erhållits. Grundläggning av konstruktionerna ner mot älven är okänd.

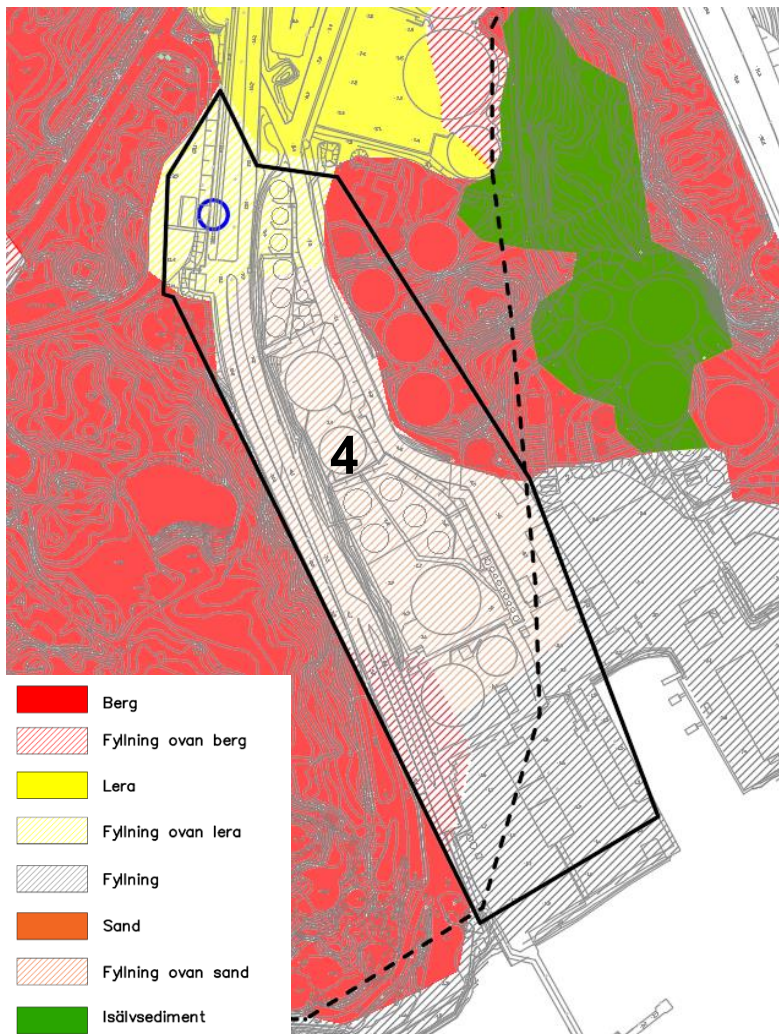
5.4.3 Övergripande geologi och geotekniska förhållanden

Delområdet består främst av fyllning de översta metrarna. Sonderingar visar på jorddjup från ca 1,5 meter till ca 15 meter lokalt, mestadels kring 5–10 meter. Utifrån tidigare geotekniska sonderingar utgörs jordlagren främst av silt och friktionsjord, med endast enstaka tunnare lerlager. Leran finns oftast överst i jordlagerföljden. Bedömningen är att leran vid grundläggning av cisternerna har schaktats bort.

I den norra delen av delområdet, angränsande till delområde 3, har inga sonderingar eller annat arkivmaterial funnits för att bestämma jordlagerföljd eller jorddjup. Utifrån topografi bedöms den norra delen ha liknande jordlagerföljd med friktionsjord, som övriga delområdet.

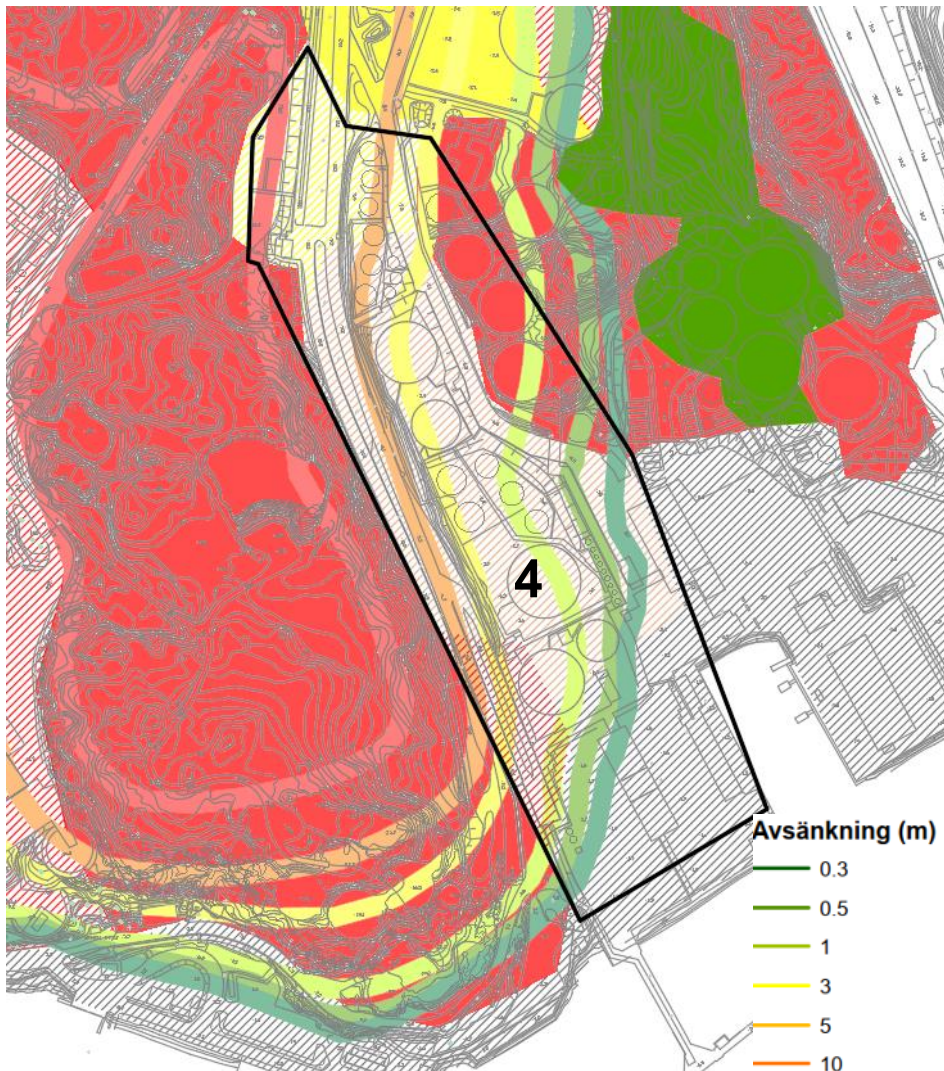
5.4.4 Övergripande hydrogeologi

Mätningar av grundvattennivån i undre magasin har utförts i den norra delen av delområdet, se Figur 22. Mätningar visar att grundvattennivån i det undre magasinet är kring nivå +8, vilket motsvarar en yta ca 2 meter under markytan.



Figur 22. Översikt läge för grundvattenrör (blå ring) i undre magasin, beläget i den norra delen av delområdet.

Grundvattensänkning som berör delområdet varierar mellan 0,3–10 meter, se Figur 23.



Figur 23. Grundvattenpåverkan i delområdet.

5.4.5 Sättningsanalys

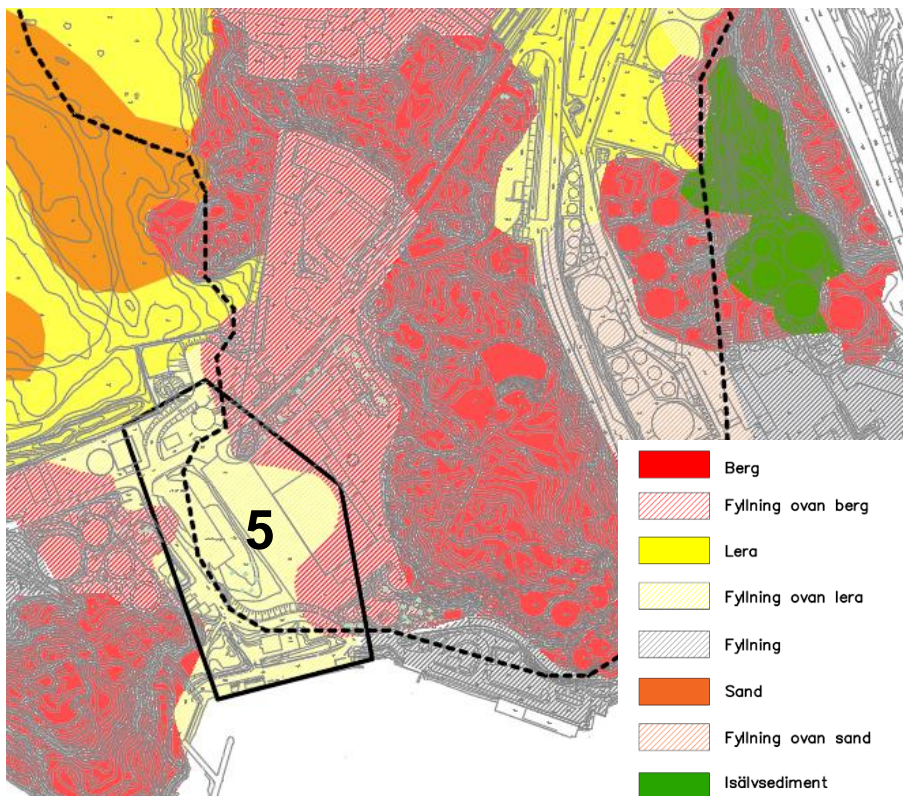
Inga sättningsberäkningar har utförts för detta delområde då det utifrån arkivmaterial inte bedöms innehålla sättningskänsliga jordlager.

5.4.6 Skyddsåtgärder

Inga skyddsåtgärder bedöms behövas då de översiktliga underlagen visar att jordlagren inte är sättningsbenägna.

5.5 Delområde 5

Delområde 5 är beläget vid Rya kraftvärmeverk i de södra delarna av avsänkingsområdet, se Figur 24. Området begränsas av bergspartier både i öst och väst och av Göta älv i söder. Nordväst om delområdet är Rya skogs naturreservat beläget. Berörda fastigheter är Rödjan 3:1 samt Rödjan 727:18.



Figur 24. Översikt över delområde 5 (från SGU jordartskarta). Delområdet är markerat med svart linje och berört område för grundvattenavsänkning visas med svartstreckad linje.

5.5.1 Topografiska förhållanden och ytbeskaffenheter

Inom delområdet består marken delvis av hårdgjorda ytor för gatumark och parkeringsytor och delvis av öppna gräsbeklädda områden. Markytan i området sluttar från norr mot söder och nivåerna varierar från ca +12 i nordöst till ca +2 i söder vid älven.

5.5.2 Befintliga konstruktioner och anläggningar

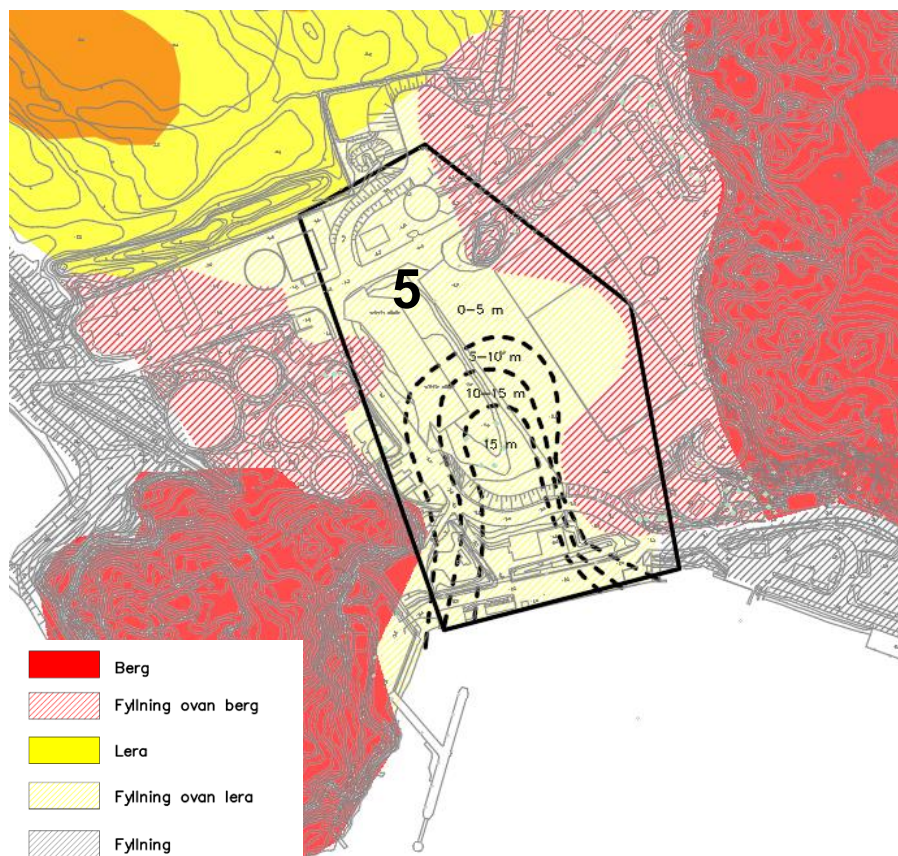
Inom delområdet finns Rya kraftvärmeverk med tillhörande byggnader, industrilokaler och silos. Grundläggningen av dessa byggnader är okänt. Rya kraftvärmeverk är delvis grundlagt på bortsprängt berg och resterade delar av värmeverket antas därmed vara grundlagt till berg. Flertalet markförlagda ledningar och kablar finns också i området. Det finns framtida planer på att anlägga Rya bioångpanna centralt i delområdet som idag är en öppen gräsyta.

5.5.3 Övergripande geologi och geotekniska förhållanden

Enligt jordartskartan består området överst av fyllnadsmassor. Utifrån tidigare utförda sonderingar och provtagningar består jordlagren generellt av fyllning följt av ett lerlager med varierande mäktighet mellan 2–15 meter ovan friktionsjord

på berg. Jorddjupet och lerans mäktighet ökar i riktning mot älven. Tidigare utredning visar att för befintliga förhållanden är stabiliteten tillfredsställande men vid framtida utbyggnad i området behöver förstärkningsåtgärder utföras. En grundvattensänkning kommer inte försämra stabiliteten i området.

Delområdet omgärdas av fastmark med berg eller sprängt berg förutom mot norr och Rya skog. I områdets kantpartier minskar jorddjupen förutom mot älven där jorddjupet är större. Tolkade lerdjupslager kan ses i Figur 25.



Figur 25. Översikt tolkade mäktigheter på lerlager inom delområdet.

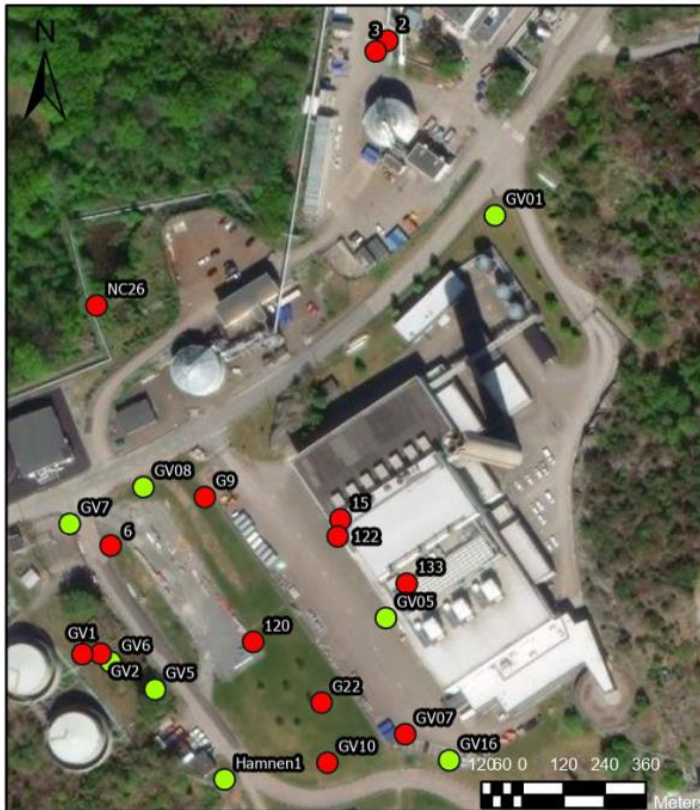
Från tidigare projekt, "Rya bioångpanna, WSP, 2022", har belastningsförsök (CRS-försök) utförts på kolvprover i en punkt benämnd 21W02 belägen där lerdjupet är kring 15 meter i Figur 25. Sättningsparametrar från CRS-försöken kan utläsas ur Tabell 5.

Tabell 5. Sammanställning utvärderade beräkningsparametrar från CRS.

Djup	σ'_c [kPa]	σ'_L [kPa]	ML [kPa]	M' [kPa]	Ki [m/s]	M0 [kPa]
8	101	151	676	11,8	8,6*E-10	3160
10	115	167	681	13,2	6,7*E-10	3901
15	140	204	951	13,8	3,7*E-10	4413

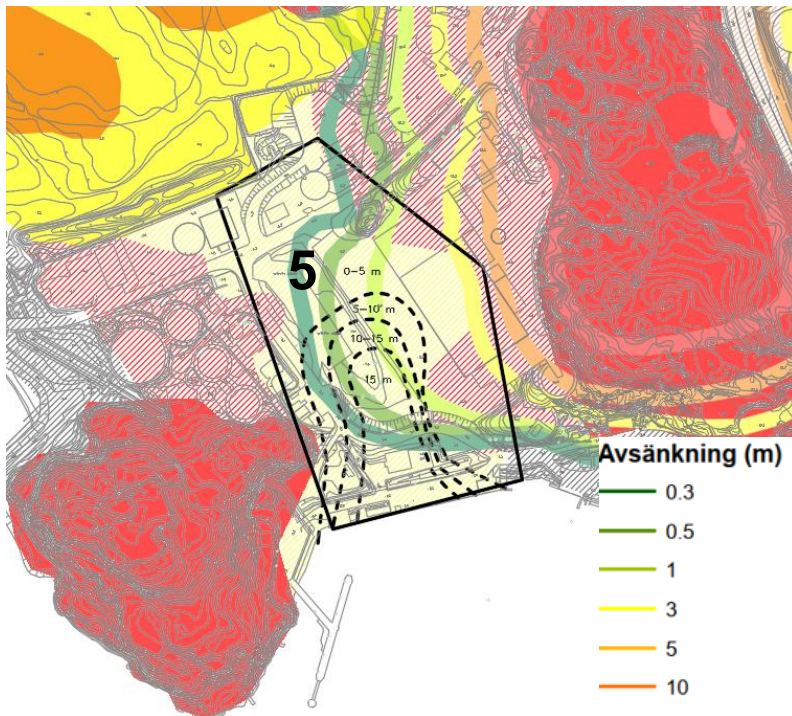
5.5.4 Övergripande hydrogeologi

Mätningar av grundvattennivån i under magasin har utförts i ett antal rör i delområdet, se Figur 26. För tidigare utbyggnad av Rya bioångpanna har även porttrycksrör installerats i en punkt. Porttrycksmätningarna visar på hydrostatiska förhållanden från en grundvattennivå ca 2 meter under markytan.



Figur 26. Översikt grundvattenrörs placering (Norconsult 2022). Rör markerat med grön är fungerande och för rör markerat med rött pågår ingen mätning.

Grundvattenavsänkningen som berör delområdet varierar mellan 0,3 meter och 3 meter där den största avsänkningen kommer ske i områdets östliga delar, se Figur 27.



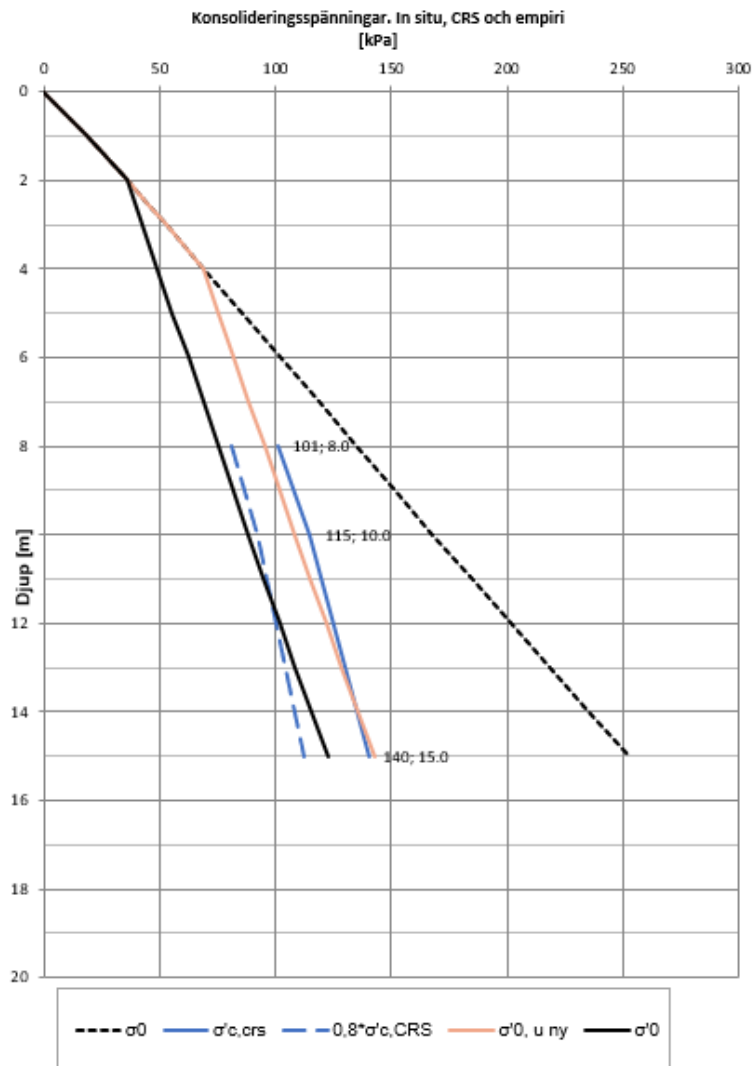
Figur 27. Grundvattenpåverkan i delområdet och tolkat lerdjup som redovisas med svartstreckade linjer.

5.5.5 Sättningsanalys

Med hänsyn till de varierande förutsättningarna har beräkningar utförts för flera olika fall för att få fram de sättningar som kan uppkomma i delområdet till följd av grundvattensänkning. Dels har beräkningar utförts för den maximala avsänkning inom lerområdet på ca 2 meter vilket motsvarar en lastökning på leran med 20 kPa, dels har även beräkningar utförts med avsänkning 1 meter och 0,5 meter vilket motsvarar lastökningar på 10 kPa respektive 5 kPa. Beräkningar har utförts för 5, 10 och 15 meters mäktighet på lerlagret.

Generell jordmodell som använts för beräkningar består av en fyllning på 2 meter som överlagrar en lera av varierande mäktighet. Beräkningar har utförts utifrån antagandet att portrycksfördelningen i leran är hydrostatisk från 2 meters djup. Avsänkning har konservativt antagits till att med tiden påverka hela lerlagret med samma belastning, detta för att ej underskatta sättningarna.

Med nämnda förutsättningar för 15 meters lerdjup erhålls en spänningsfördelning i jordprofilen enligt Figur 28.



Figur 28. Spänningsfördelning för beskrivna parametrar och lastfall med resultat från CRS-försök i punkt 21W02.

Från figuren över spänningsfördelningen kan det utläsas att dagens obelastade situation (svart streck) överskrider $0,8 \cdot \sigma'_c$ (streckat blått) från 11 meters djup och leran är därmed normalkonsoliderad och all belastning kommer att leda till sättningar.

Beräkningar visar att för det fall när grundvattnet sänks med 2 meter och lerdjupet är 5 meter, kan sättningarna bli upp mot 14 cm. När lerdjupet är 15 meter och avsänkningen 1 meter blir sättningarna kring 19 cm. Sättningarna inom området är således mellan ca 4–19 cm till följd av grundvattensänkningen.

En sammanställning över beräknade sättningar finns i Tabell 6 och beräkningarna redovisas i bilaga A.4.

Tabell 6. Sammanställning beräknade sättningar för respektive fall.

Avsänkning	Mäktighet lerlager		
	5 m	10 m	15 m
2 m	14 cm	-	-
1 m	-	14 cm	19 cm
0,5 m	4 cm	7 cm	10 cm

Beräkningar har inte tagit hänsyn till de krypsättningar som pågår i området, det vill säga de rörelser som pågår idag, utan har endast tagit hänsyn till de sättningar som tillkommer den ökade belastningen till följd av grundvattensänkningen. Totalsättningen i området kan därmed med hänsyn till krypsättningar i området bli större över tid.

5.5.6 Skyddsåtgärder

Grundvattensänkningen bedöms leda till sättningar i området som kan påverka befintliga och framtida anläggningar och därmed fordras skyddsåtgärder. Sättningarnas storlek kommer att variera och därmed leda till differenssättningar då avsänkningen samt lerdjupen varierar inom området.

Skyddsåtgärder rekommenderas, till exempel skyddsinfiltration, vilket beskrivs närmare i *Grundvattenutredning Rya 2a och 2b*.

6 Slutsatser och rekommendationer

Inom påverkansområdet kan sättningar uppkomma till följd av den prognosticerade grundvattensänkningen inom delområde 1, delområde 2, delområde 3 samt delområde 5. Inom dessa områden bedöms det finnas lera som är sättningkänslig vid en grundvattensänkning. Bedömningen är att det redan idag pågår sättningar inom delar av avsänkingsområdet och den permanenta sänkningen av grundvattnet kommer ytterligare belasta leran.

För att upprätthålla befintlig grundvattennivå behöver skyddsåtgärder utföras vilket beskrivs i *Grundvattenutredning Rya 2a och 2b*. Skyddsåtgärder behövs för att undvika skador på närliggande konstruktioner så som järnvägen i norr, anslutande ledningar, anläggningar i området. I Rya skog är avsänkningen begränsad och endast mindre sättningar bedöms kunna uppkomma inom naturreservatet.

För de resterande områdena inom påverkansområdet utgörs jordlagren av fasta jordlager som ej är sättningkänsliga, så som berg eller fyllning på berg. Inom dessa områden med fasta jordlager kommer inga sättningar att uppkomma vid en permanent grundvattensänkning. Inga områden utanför påverkansområdet kommer att påverkas av grundvattensänkningen.

Bilagor

A. Sättningsberäkningar

- A.1 Delområde 1
- A.2 Delområde 2
- A.3 Delområde 4
- A.4 Delområde 5

Sättningsberäkningar delområde 1

Höjd lerlager

Avsänkning (motsvarande tryck)

$$h_{2.5} := 2 \text{ m}$$

$$a_{0.3} := 3 \text{ kPa}$$

$$h_5 := 5 \text{ m}$$

$$a_{0.5} := 5 \text{ kPa}$$

$$h_{10} := 10 \text{ m}$$

$$a_1 := 10 \text{ kPa}$$

$$a_2 := 20 \text{ kPa}$$

Eftersom $0.8 \cdot$ överkonsolideringstrycket överskrids så beräknas sättningar enligt formeln:

$$\delta := h \cdot \frac{\Delta\sigma}{ML}$$

Valt värde ML

$$ML_1 := 500 \text{ kPa}$$

Mellan 0-5 meters lerdjup

$$ML_2 := 800 \text{ kPa}$$

Mellan 5-15 meters lerdjup

Vid 2.5 meters lerlager

$$\delta := h_{2.5} \cdot \frac{a_2}{ML_1} = 0.08 \text{ m}$$

$$\delta := h_{2.5} \cdot \frac{a_1}{ML_1} = 0.04 \text{ m}$$

Vid 5 meters lerlager

$$\delta := h_5 \cdot \frac{a_1}{ML_1} = 0.1 \text{ m}$$

$$\delta := h_5 \cdot \frac{a_{0.3}}{ML_1} = 0.03 \text{ m}$$

Vid 10 meters lerlager är maximala avsänkningen ca 0.5 meter

$$\delta := h_5 \cdot \frac{a_{0.5}}{ML_1} + h_5 \cdot \frac{a_{0.5}}{ML_2} = 0.081 \text{ m}$$

$$\delta := h_5 \cdot \frac{a_{0.3}}{ML_1} + h_5 \cdot \frac{a_{0.3}}{ML_2} = 0.049 \text{ m}$$

Sättningsberäkningar delområde 2

Höjd lerlager

Avsänkning (motsvarande tryck)

$$h_5 := 5 \text{ m}$$

$$a_{0.5} := 5 \text{ kPa}$$

$$a_{0.3} := 3 \text{ kPa}$$

Eftersom $0.8 \cdot$ överkonsolideringstrycket inte överskrids så beräknas sättningar enligt formeln:

$$\delta := h \cdot \frac{\Delta\sigma}{M_0}$$

Valt värde M_0

$$M_0 := 500 \text{ kPa}$$

Vid 5 meters lerlager är maximala avsänkningen 0.5 meter

$$\delta := h_5 \cdot \frac{a_{0.5}}{M_0} = 0.05 \text{ m}$$

Sättningsberäkningar delområde 3

Höjd lerlager

Avsänkning (motsvarande tryck)

$$h_{10} := 10 \text{ m}$$

$$a_5 := 50 \text{ kPa}$$

$$a_{3.5} := 35 \text{ kPa}$$

$$h_5 := 5 \text{ m}$$

$$a_3 := 30 \text{ kPa}$$

$$h_3 := 3 \text{ m}$$

$$a_2 := 20 \text{ kPa}$$

$$h_2 := 2 \text{ m}$$

$$a_1 := 10 \text{ kPa}$$

$$a_{0.5} := 5 \text{ kPa}$$

$$a_{0.3} := 3 \text{ kPa}$$

Eftersom $0.8 \cdot$ överkonsolideringstrycket överskrids vid ca 5 meters djup så beräknas sättningar enligt formeln:

$$\delta := h_1 \cdot \frac{\Delta\sigma}{ML} + h_2 \cdot \frac{\Delta\sigma}{M_0}$$

Valda värden ML

$$ML_1 := 1000 \text{ kPa}$$

Mellan 0-5 meters lerdjup

$$ML_2 := 1300 \text{ kPa}$$

Mellan 5-10 meters lerdjup

Valdt värde M_0

$$M_{01} := 6000 \text{ kPa}$$

Mellan 0-5 meters lerdjup

$$M_{02} := 9000 \text{ kPa}$$

Mellan 5-10 meters lerdjup

Beräkningar görs med det medelvärde för avsänkning som fås för varje lager

Vid 10 meters lerlager är maximala avsänkningen 5 meter

$$\delta := h_5 \cdot \frac{a_5}{M_{01}} + h_5 \cdot \frac{a_5}{ML_2} = 0.234 \text{ m} \quad \delta := h_5 \cdot \frac{a_1}{M_{01}} + h_5 \cdot \frac{a_1}{ML_2} = 0.047 \text{ m}$$

Vid 5 meters lerlager är maximala avsänkningen ca 7 meter

$$\delta := h_2 \cdot \frac{a_5 + a_2}{M_{01}} + h_3 \cdot \frac{a_5 + a_2}{ML_1} = 0.233 \text{ m} \quad \delta := h_2 \cdot \frac{a_5}{M_{01}} + h_3 \cdot \frac{a_5}{ML_1} = 0.167 \text{ m}$$

Vid 5 meters lerlager är minsta avsänkningen ca 1 meter

$$\delta := h_5 \cdot \frac{a_1}{ML_1} = 0.05 \text{ m} \quad \delta := h_5 \cdot \frac{a_{0.3}}{ML_1} = 0.015 \text{ m}$$

Sättningsberäkningar delområde 5

Höjd lerlager

$$h_{10} := 10 \text{ m}$$

$$h_5 := 5 \text{ m}$$

Avsänkning (motsvarande tryck)

$$a_2 := 20 \text{ kPa}$$

$$a_1 := 10 \text{ kPa}$$

$$a_{0.5} := 5 \text{ kPa}$$

$$a_{0.3} := 3 \text{ kPa}$$

Eftersom $0.8 \cdot$ överkonsolideringstrycket överskrids så beräknas sättningar enligt formeln:

$$\delta := h \cdot \frac{\Delta\sigma}{ML}$$

Valda värden ML

$$ML_1 := 700 \text{ kPa}$$

$$ML_2 := 1000 \text{ kPa}$$

Mellan 0-10 meters lerdjup

Mellan 10-15 meters lerdjup

Beräkningar görs med det medelvärde för avsänkning som fås för varje lager

Vid 15 meters lerbager:

$$\delta := h_{10} \cdot \frac{a_1}{ML_1} + h_5 \cdot \frac{a_1}{ML_2} = 0.193 \text{ m}$$

$$\delta := h_{10} \cdot \frac{a_{0.5}}{ML_1} + h_5 \cdot \frac{a_{0.5}}{ML_2} = 0.096 \text{ m}$$

Vid 10 meters lerbager:

$$\delta := h_{10} \cdot \frac{a_1}{ML_1} = 0.143 \text{ m}$$

$$\delta := h_{10} \cdot \frac{a_{0.5}}{ML_1} = 0.071 \text{ m}$$

Vid 5 meters lerbager

$$\delta := h_5 \cdot \frac{a_2}{ML_1} = 0.143 \text{ m}$$

$$\delta := h_5 \cdot \frac{a_{0.5}}{ML_1} = 0.036 \text{ m}$$