

Bilaga B.06.03 PM Geoteknik

Revidering 1 av 1

Grundvattenbortledning Nya Rya
(Rya 2a och 2b)



Ändringsförteckning

Ver	Datum	Ändringsbeskrivning	Reviderad av	Granskad av
Revision 1 av 1	2025-03-18	Samtliga kapitel	Filippa Spånér	Ann-Louise Elliot

*Reviderade avsnitt har markerats med röd lodrät linje i dokumentets vänstermarginal

Sweco Sverige AB	556767-9849
Uppdrag	Miljö tillstånd Nya Rya och utredningar Gryaab
Uppdragsnummer	30034443
Kund	Gryaab AB
Upprättad av	Filippa Spånér
Granskare	Ann-Louise Elliot
Datum	2023-11-14, Rev. 2025-03-18

Innehållsförteckning

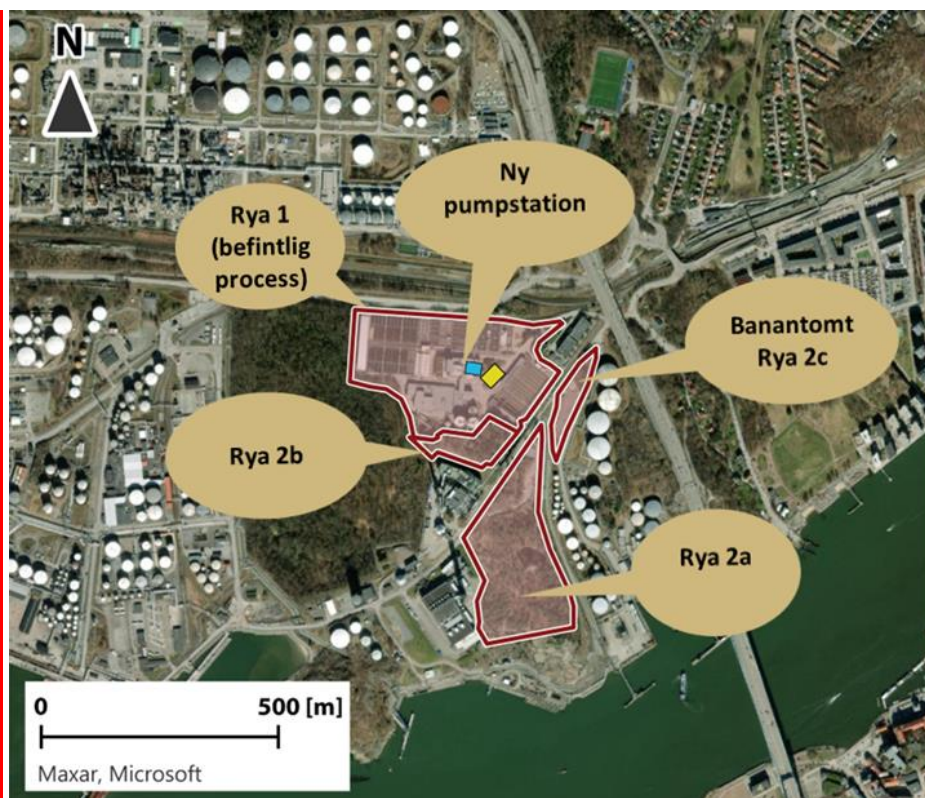
1	Objekt och ändamål.....	4
2	Syfte	5
3	Sättningar	7
4	Underlag för utredningen.....	7
4.1	Geotekniska underlag	7
4.2	Framtida grundvattensänkning.....	8
4.3	Grundläggning i området.....	9
5	Geotekniska förutsättningar	10
5.1	Delområde 1.....	11
5.1.1	Topografiska förhållanden och ytbeskaffenhet.....	12
5.1.2	Befintliga konstruktioner	12
5.1.3	Övergripande geologi och geotekniska förhållanden	12
5.1.4	Övergripande hydrogeologi	15
5.1.5	Sättningsanalys.....	17
5.1.6	Skyddsåtgärder.....	19
5.2	Delområde 2.....	20
5.2.1	Topografiska förhållanden och ytbeskaffenheter.....	20
5.2.2	Befintliga konstruktioner	20
5.2.3	Övergripande geologi och geotekniska förhållanden	21
5.2.4	Övergripande hydrogeologi	21
5.2.5	Sättningsanalys.....	22
5.2.6	Skyddsåtgärder.....	22
5.3	Delområde 3.....	23
5.3.1	Topografiska förhållanden och ytbeskaffenheter.....	23
5.3.2	Befintliga konstruktioner och anläggningar.....	23
5.3.3	Övergripande geologi och geotekniska förhållanden	24
5.3.4	Övergripande hydrogeologi	25
5.3.5	Sättningsanalys.....	27
5.3.6	Skyddsåtgärder.....	29
5.4	Delområde 4.....	30
5.4.1	Topografiska förhållanden och ytbeskaffenheter.....	30
5.4.2	Befintliga konstruktioner	30
5.4.3	Övergripande geologi och geotekniska förhållanden	30
5.4.4	Övergripande hydrogeologi	31
5.4.5	Sättningsanalys.....	32
5.4.6	Skyddsåtgärder.....	32
5.5	Delområde 5.....	33
5.5.1	Topografiska förhållanden och ytbeskaffenheter.....	33
5.5.2	Befintliga konstruktioner och anläggningar.....	33
5.5.3	Övergripande geologi och geotekniska förhållanden	33
5.5.4	Övergripande hydrogeologi	34
5.5.5	Sättningsanalys.....	36
5.5.6	Skyddsåtgärder.....	37
6	Slutsatser och rekommendationer.....	37
	Bilagor.....	38

1 Objekt och ändamål

Detta dokument utgör en reviderad bilaga till inlämnad ansökan om tillstånd till fortsatt och utökad verksamhet vid avloppsreningsverket Ryaverket. Reviderade avsnitt har markerats med röd linje i dokumentets vänstermarginal.

Revideringen görs till följd av att Gryaab AB önskar att höja grundläggningsnivåer och därför ansöker om tillstånd till en sådan utformning. Det medför att vissa schaktnivåer och byggnadshöjder justeras i höjdded, vilket kommer att påverka olika miljöaspekter i förhållande till vad som anges i inlämnad ansökan. Gryaab avser att höja grundläggningsnivån för att bland annat minska påverkan på grundvattennivån i Rya skog och angränsande fastigheter.

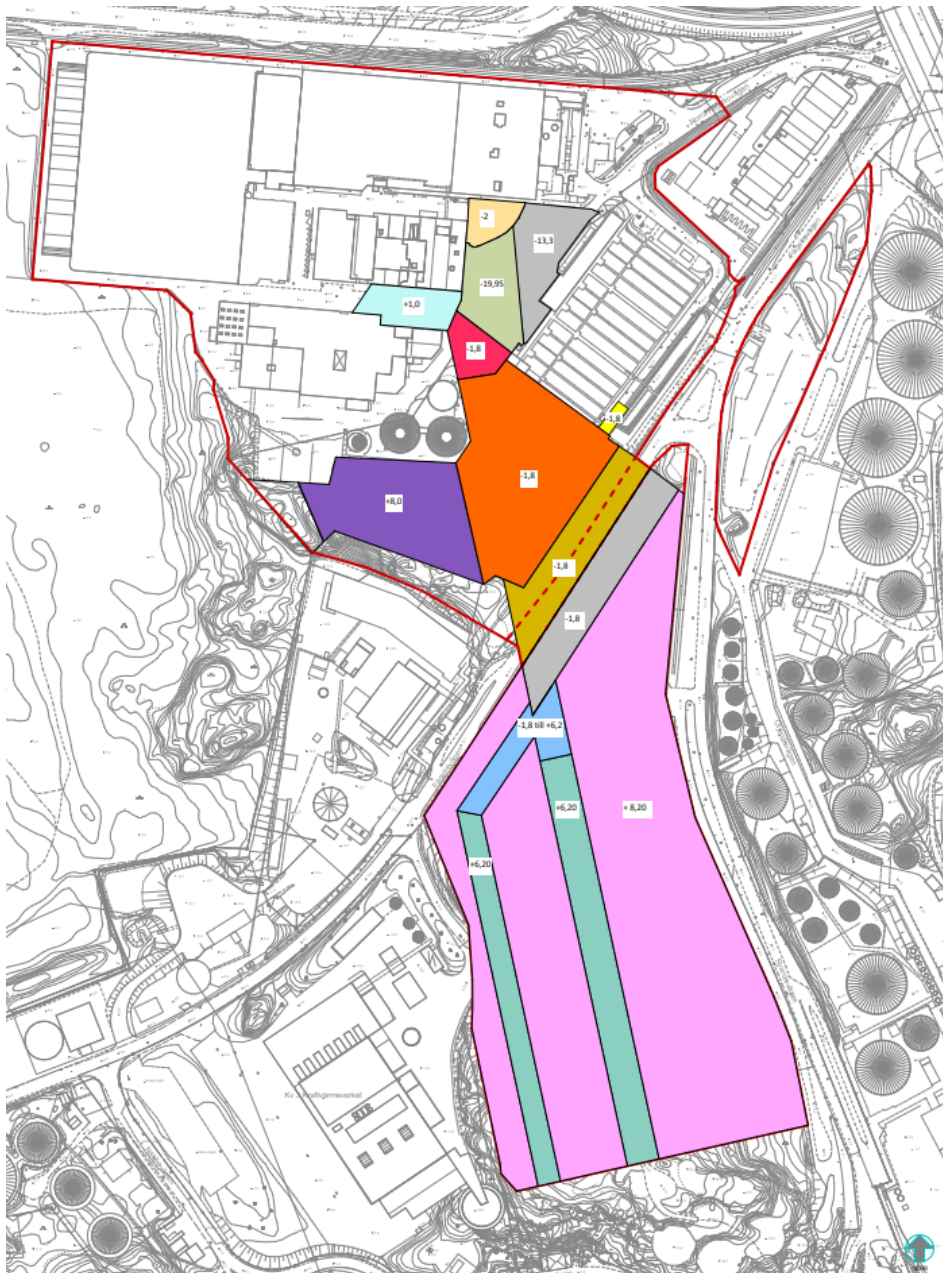
Gryaab planerar en utökning av sin verksamhet för att kunna möta en ökad befolkningsutveckling i Göteborg och kranskommunerna. Konstruktioner för den nya verksamheten kommer att anläggas djupt ner i berget under omgivande grundvattennivå och ska utföras dränerat. Grundvattenbortledning leder därför till grundvattensänkning i både bygg och driftskede för de planerade utbyggnaderna av ny pumpstation samt inom Rya 2a och 2b, se Figur 1. Inom 2c planeras ingen grundläggning under grundvattennivån och utbyggnaden bidrar därmed ej till grundvattenbortledning.



Figur 1. Översikt av nuvarande verksamhet (Rya 1) och planerade utbyggnader Rya 2a, Rya 2b och Rya 2c samt ny inloppspumpstation.

2 Syfte

Resultatet från denna utredning har som syfte att utgöra underlag till rapport *Bilaga B.05.01_R1_Grundvattenutredning* inför tillståndsansökan om vattenverksamhet för utbyggnad av Gryaabs anläggningar vid Ryaverket. Denna PM ska utifrån tillgängliga geotekniska underlag beskriva om det inom påverkansområdet finns förutsättningar för att sättningar skulle kunna uppkomma till följd av den permanenta grundvattensänkningen som förväntas uppkomma vid anläggandet av Rya 2a och 2b samt tillsammans med avsänkning från ny pumpstation. Handlingen ämnar identifiera berörda lerområden, översiktligt beräkna sättningar som skulle kunna uppkomma och visa på potentiella konsekvenser för byggnader och anläggningar inom påverkansområdet. Även förslag till eventuella skyddsåtgärder redovisas översiktligt. Den planerade schaktplanen för kommande arbeten visas i Figur 2.



Figur 2. Schaktplan framtida arbeten och anläggning.

Föreliggande PM ska utifrån tillgängliga geotekniska underlag klarlägga om det inom påverkansområdet finns förutsättningar för att sättningar skulle kunna uppkomma till följd av den permanenta grundvattensänkningen för anläggandet av Rya 2a och 2b i kombination med avsänkning från ny pumpstation. Handlingen ämnar identifiera berörda lerområden, beräkna sättningar som eventuellt kan uppkomma och visa på möjliga konsekvenser för byggnader och anläggningar inom påverkansområdet. Även förslag till eventuella skyddsåtgärder redovisas översiktligt.

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:

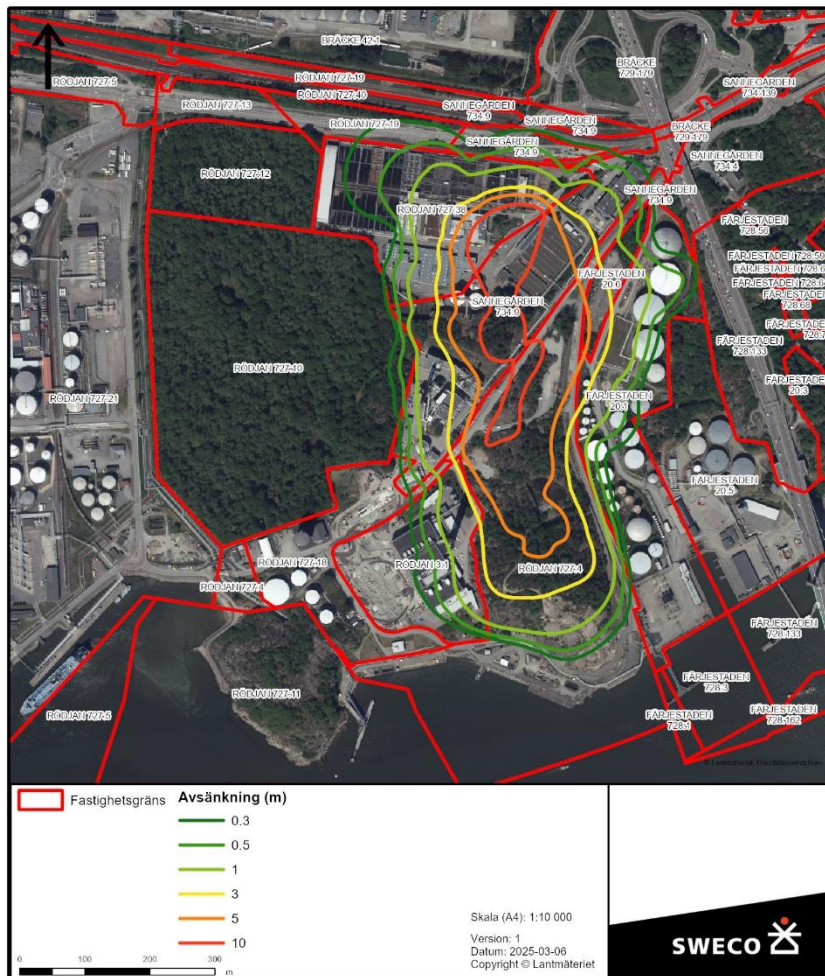
- *Geotekniskt utlåtande för planerad värmepumpanläggning vid Ryaverket, Gatukontoret Göteborg, 1982-03-25*
- *Energiverken i Göteborg, Värmepump vid Ryaverket, etapp 1, avloppsledning, Geoteknisk undersökning, Gatukontoret Göteborg, 1982-10-20*
- *Energiverken i Göteborg, Hetvattencentral Ryahamnen, 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 utredningen av förväntad grundvattensänkning har legat till grund för analys av eventuell ny sättningspåverkan, vilket beskrivs i *Bilaga B.05.01_R1_Grundvattenutredning*. Där visas en förväntad avsänkning av grundvattnet för området vilken har använts för att beräkna belastningen på leran till följd av grundvattensänkningen. Avsänkningens utbredning och storlek över området och vilka fastigheter som påverkas redovisas i Figur 3. Störst avsänkning sker i anslutning till de dränerande anläggningarna där avsänkningen är upp till ca 10 meter. Avsänkningen minskar successivt med avståndet från anläggningarna och beror av de geologiska förutsättningarna. Påverkansområdet har ansatts till motsvarande 0,3 meter avsänkning.

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



Figur 3. Översikt grundvattenavsänkningens utbredning i plan med berörda fastigheter angivna på kartan (Sweco, 2025).

4.3 Grundläggning i området

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

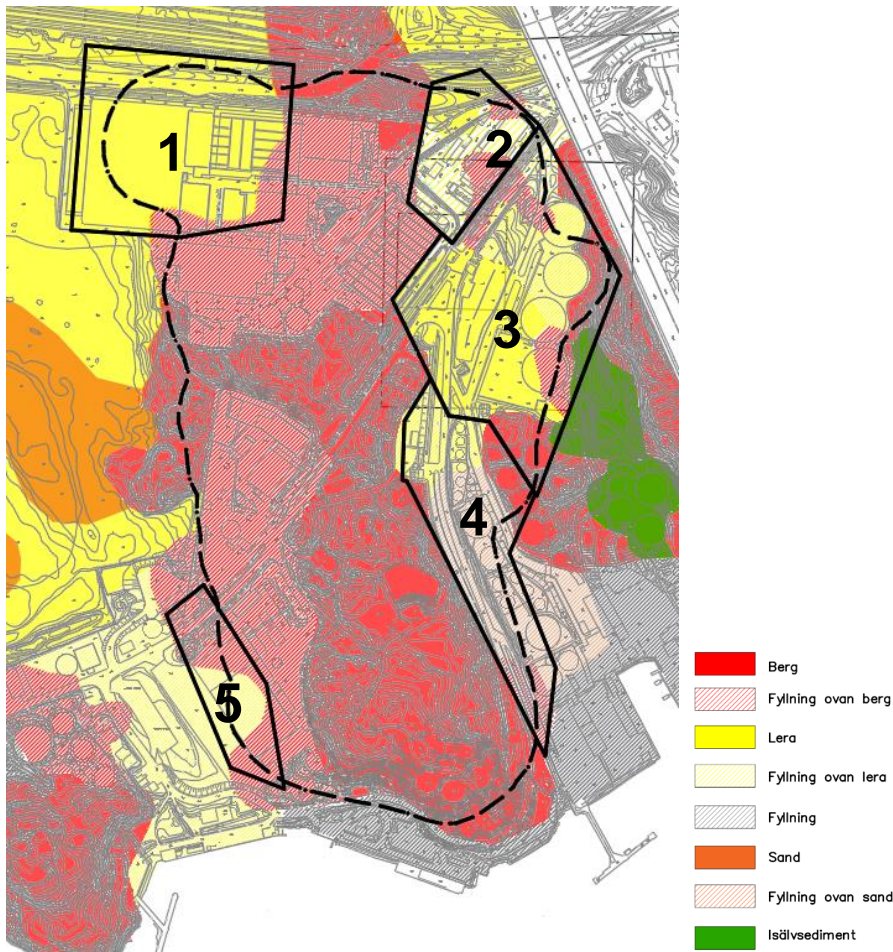
- *Ryaverket Göteborg, Markentreprenad EN 2013-BE 1, Riskanalys avseende vibrationsalstrande arbeten, Abesiktning väst AB, 2013-03-22*
- *Riskanalys 437–22157.R1, Nya Rya Göteborg, Förstudie Rya 1, Metron Miljökonsult AB, 2022-06-03*
- *Bilaga B.05.03 PM Inventering riskobjekt grundvattenpåverkan, Sweco Sverige AB, 2024-03-18, reviderad 2025-04-10*

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 varierande mäktighet av 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 4. Inom övriga områden är bedömningen att det inte finns risk för sättningar med hänsyn till förekommande geotekniska förutsättningar med berg eller fastmark.

Efter att [Gryaab-Ryaverket](#) anlades på 1970-talet avled [ser-verksamheten inläckande](#) grundvatten [i området för drift av från anläggningar såsom](#) berggrum, tunnlar och djupt liggande befintlig pumpstation. Denna utredning behandlar påverkan till följd av framtida grundvattensänkning och dess inverkan på framtida sättningsförhållanden utgående från befintliga grundvattennivåer i området.

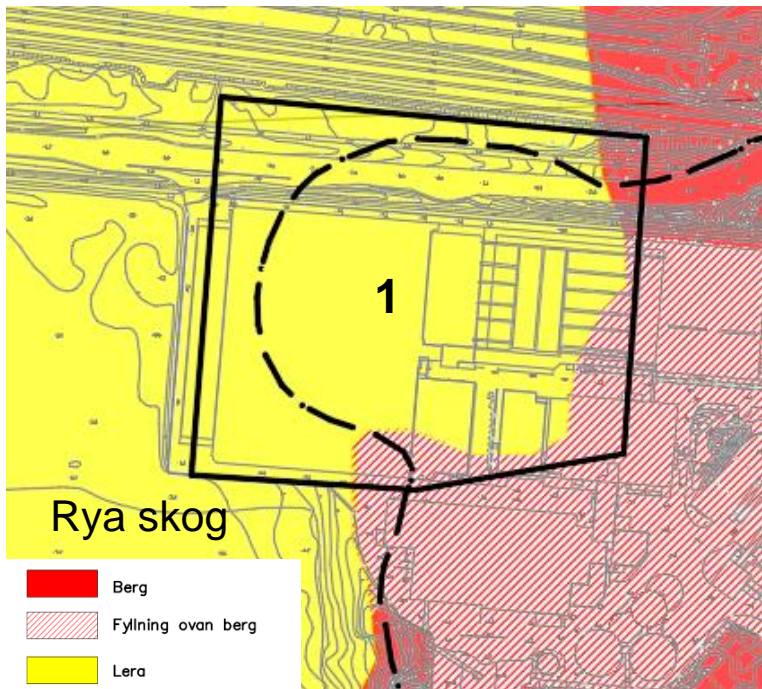
Följande kapitel behandlar separat varje delområde med lera med beskrivning av de aktuella geotekniska förhållandena samt bedömd påverkan på grund av framtida grundvattensänkning. Därefter följer översiktliga beräkningar av sättningar och bedömning av framtida sättningspåverkan för varje delområde.



Figur 4. Översikt över området med de fem delområden där lera förekommer markerade (jordlager enligt Sveriges geologiska undersökning, SGU, jordartskarta). Berört påverkansområde för framtida grundvattensänkning inom streckad linje.

5.1 Delområde 1

Delområde 1 är till största delen beläget inom Gryaabs nordvästra del, se Figur 5. Delområdet begränsas i norr av skogsområdet mellan Hamnbanan och Oljevägen. Inom delområdet finns sedan tidigare ett antal geotekniska undersökningar, dels för utbyggnad av Gryaabs anläggningar, dels för byggnation av nytt järnvägsspår i norr samt nya ledningar norr om delområdet. Berörda fastigheter är Rödjan 727:38, Rödjan 727:19 samt Sannegården 734:9.



Figur 5. Jordlager enligt SGU:s jordartskarta där delområde 1 är markerat med svart linje och påverkansområde visas med streckad linje.

5.1.1 Topografiska förhållanden och ytbeskaffenhet

Marknivåerna inom delområdet varierar främst kring +7 till +10.

Inom Gryaabs 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. Väster om delområdet finns naturreservatet Rya skog.

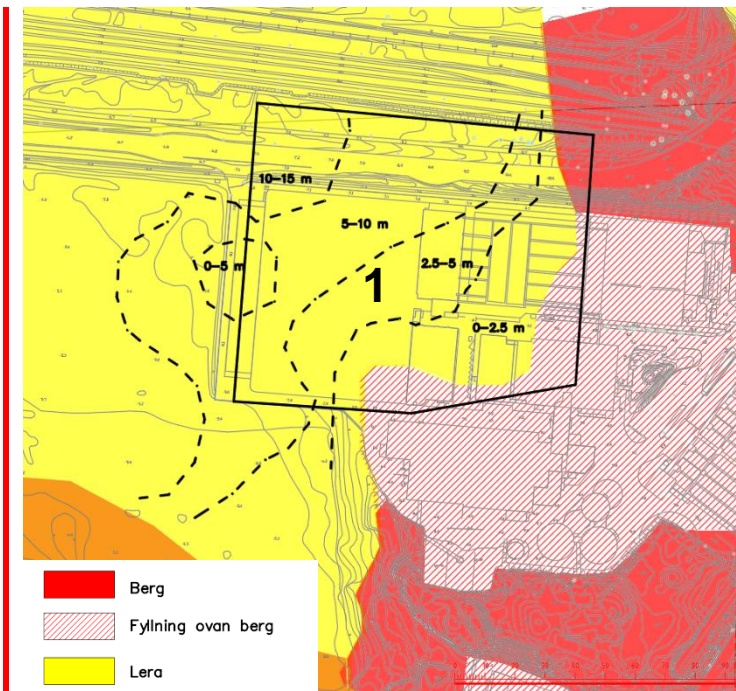
5.1.2 Befintliga konstruktioner

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. Till dessa byggnader finns ett antal markförlagda ledningar och kablar. I den norra delen av delområdet finns ett industrijärnvägsspår 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.

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 6. Under leran följer ett lager med friktionsjord med mäktigheter upp mot 5 meter som överlagrar berg.



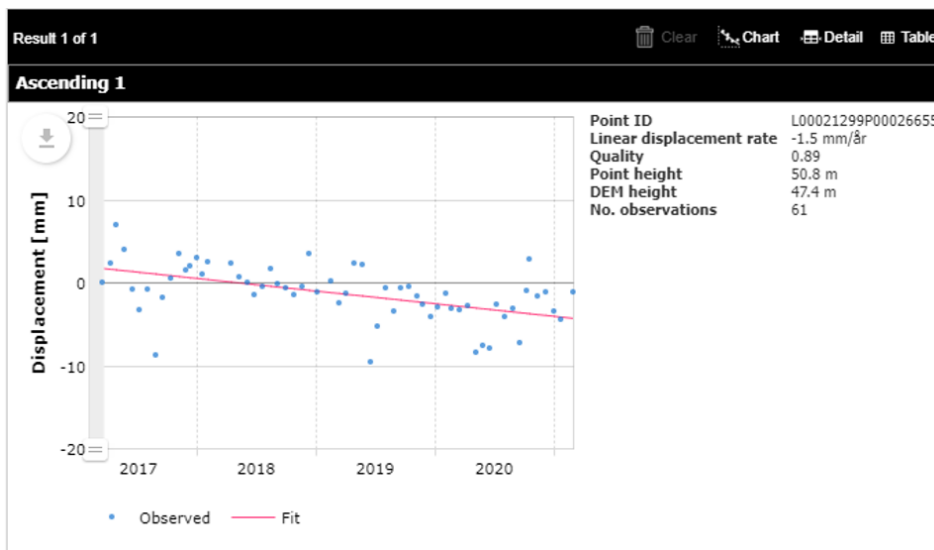
Figur 6. Översikt tolkade mäktigheter av lerlager inom delområdet.

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

I delområdet pågår idag enligt "sättningskartan.se" sättningar. I Figur 7 och Figur 8 kan det utläsas att det pågår en sättningsrörelse på ca 1,5 mm/år i den norra delen av området.

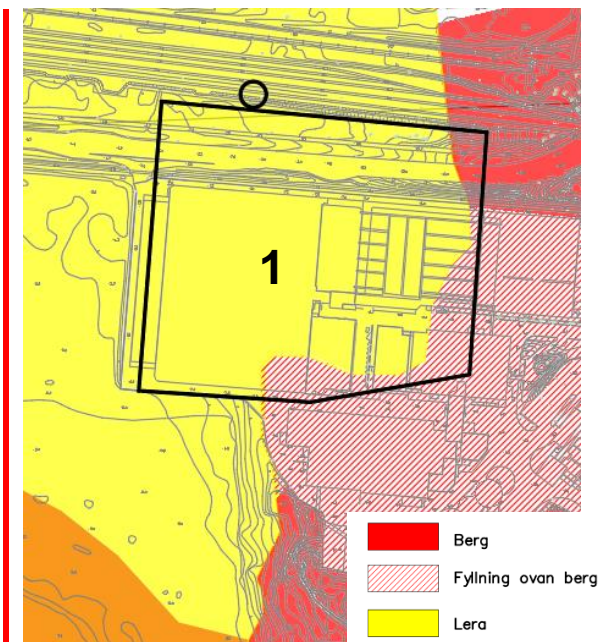


Figur 7. Överblick över punkter med sättningsrörelser (Sättningskartan.se). Vald punkt som redovisas i Figur 8 är markerad med vit pil.



Figur 8. 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 utfört bedöms vara avsatt under samma geologiska förhållanden som inom aktuellt delområdet och antas därmed ha liknande egenskaper. Undersökningspunkten kan ses i Figur 9.



Figur 9. 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

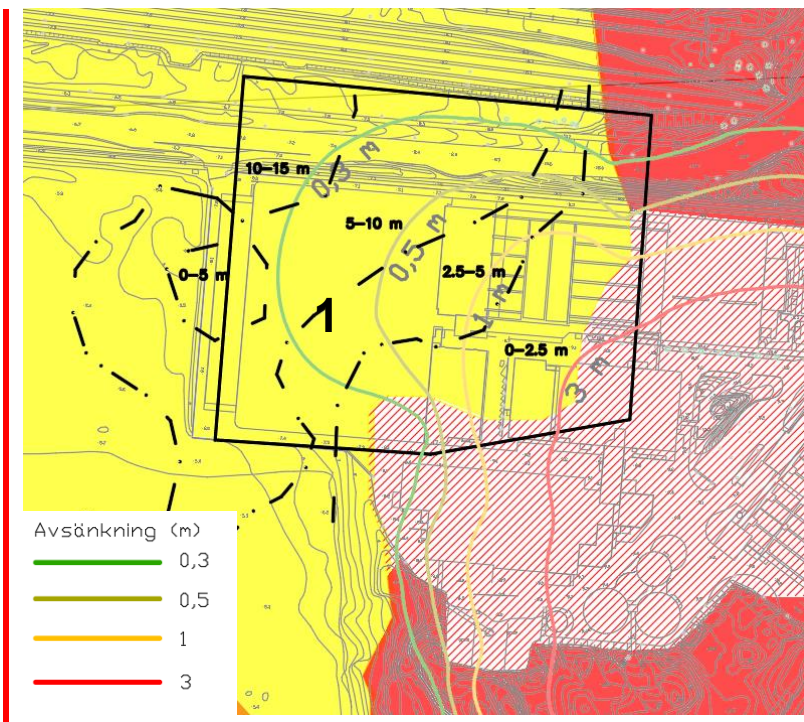
5.1.4 Övergripande hydrogeologi

I delområdets västra delar och i Rya skog finns ett antal grundvattenrör installerade där mätningar har utförts både tidigare och under 2023, se Figur 10. Rör finns installerade både i undre och övre grundvattenmagasin. Mätningar i undre magasin 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. I den norra delen av delområdet finns ett rör, *DG10B*, installerat till undre magasin som visar på högre värden, kring nivå +6, vilket motsvarar en grundvattenyta ca 3 meter under markytan i denna punkt.



Figur 10. 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 2,5–10 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 11.



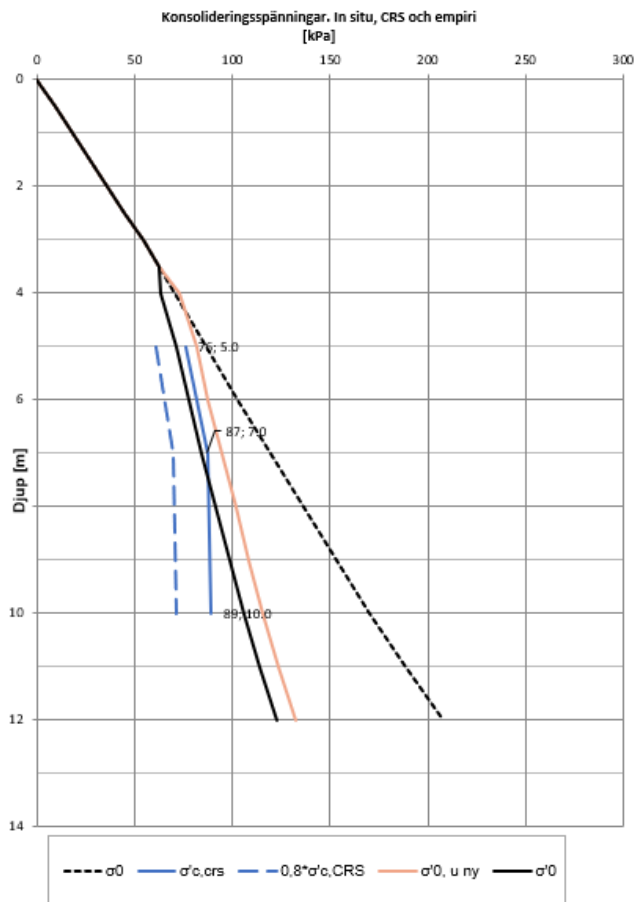
Figur 11. Grundvattenpåverkan i delområdet 1. Avsänkingskurvor för grundvattensänkning kan ses i olika nyanser av röd-grön. I området med lera (markerat med gult område) visas även en tolkning av mäktigheten av leran.

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 1 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 dagens portrycksfördelning 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 12.



Figur 12. 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 all last att leda till sättningar. Ur Figur 12 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 avsänkningen 0,5 meter eller vid 5 meter lermäktighet och 1 meter avsänkning. Där avsänkningen 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.

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

Beräkningarna visar att industrijärnvägen till Oljehamnen genom Sannegården 734:9 och Rödjan 727:19 kan påverkas. Järnvägen är i huvudsak belägen vid gränsen av avsänkingsområdet. En 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 3–8 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 konsolideringssättningar som tillkommer genom den ökade belastningen till följd av grundvattensänkningen. Totalsättningen i området kan därmed med hänsyn till krypsättningar i området bli större över tid.

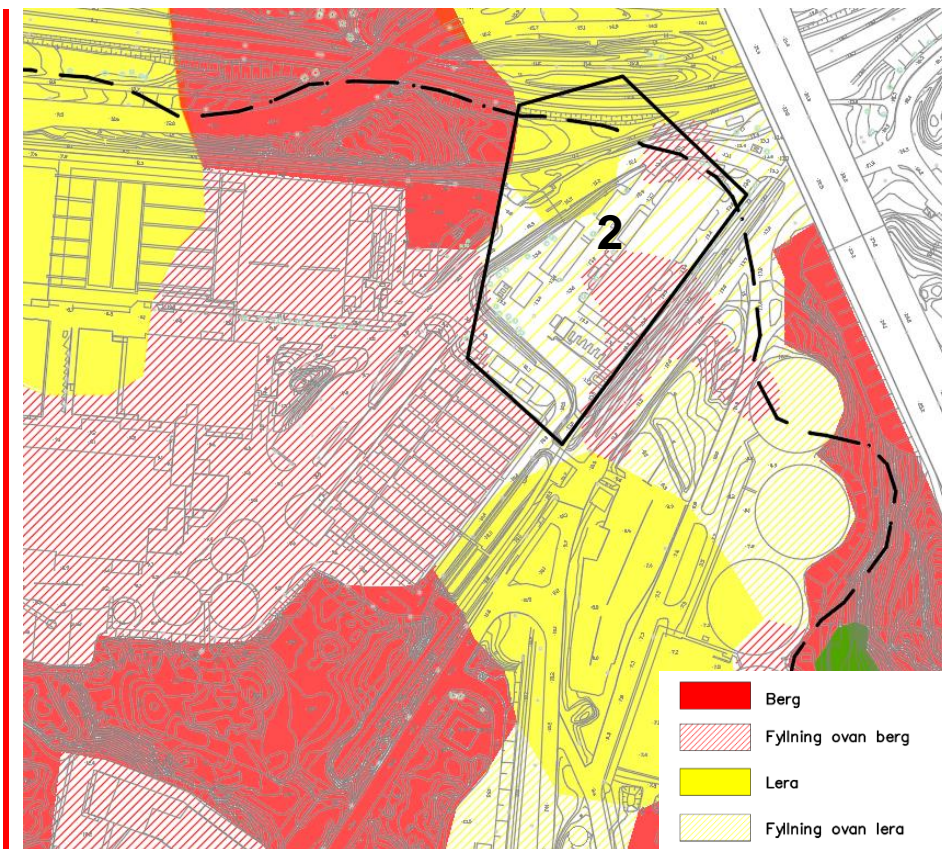
5.1.6 Skyddsåtgärder

Grundvattenavsänkningen bedöms leda till ökade sättningar i området. För att inte utsätta leran för ytterligare belastning kan därför skyddsåtgärder anläggas vid behov för att upprätthålla befintliga grundvattennivåer.

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 kunna påverkas av sättningar, till exempel ledningar eller industrijärnvägen i den norra delen av delområdet. Möjlig skyddsåtgärd för att sättningar ej ska uppkomma beskrivs närmare i *Bilaga B.05.01_R1_Grundvattenutredning*.

5.2 Delområde 2

Delområde 2 är beläget i den nordöstra delen av avsänkingsområdet, se Figur 13. Området begränsas av Hamnbanan 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 13. Översikt delområde 2 (från SGU jordartskarta). Delområdet är markerat med svart linje och påverkansområde 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. Mot norr sluttar marker ner till nivå ca 11. Området består till största delen av hårdgjorda ytor så som gatemark 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. I den norra delen av delområdet är industrijärnvägen mot Oljehamnen beläget och strax utanför påverkansområdet är Hamnbanan belägen. Industrijärnvägsspåret antas vara oförstärkt.

5.2.3 Övergripande geologi och geotekniska förhållanden

Delområdet kan delas in i tre underområden med olika geotekniska förhållanden, se Figur 14.

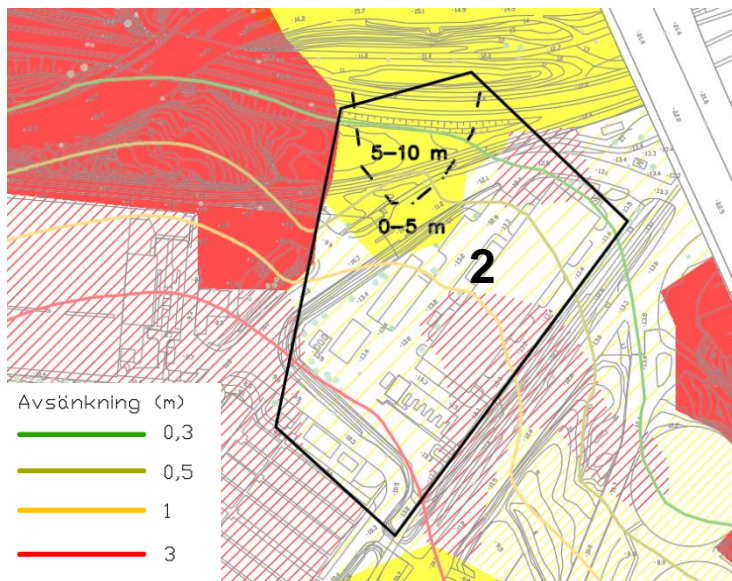
Jordlagren inom berört delområde består främst av fyllning ovan friktionsjord som har varierande mäktighet ovan berg. Enbart i nordväst finns lera vilken har upp till 10 meters mäktighet. Vid de södra och sydvästra delarna har endast tunnare lager lera påträffats under fyllningen.



Figur 14. 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 15.



Figur 15. Grundvattenavsänkning inom delområde 2. Avsänkingskurvor för grundvattensänkning kan ses i olika nyanser av röd-grön. I området med lera (markerat med gult område) visas även avsänkingskurvorna 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 avsänkningen är 0,5 meter samt för fallet med 10 meter lera och 0,3 meters avsänkning. Samma sättningsparametrar har använts för beräkningar som i delområde 1, se Tabell 2. Beräkning visar att sättningen kan bli upp till ca 5 cm för båda fallen. Denna sättning kommer uppkomma i ett område där industrijärnvägen mot Oljehamnen är belägen samt 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 grundvattensänkningen. 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

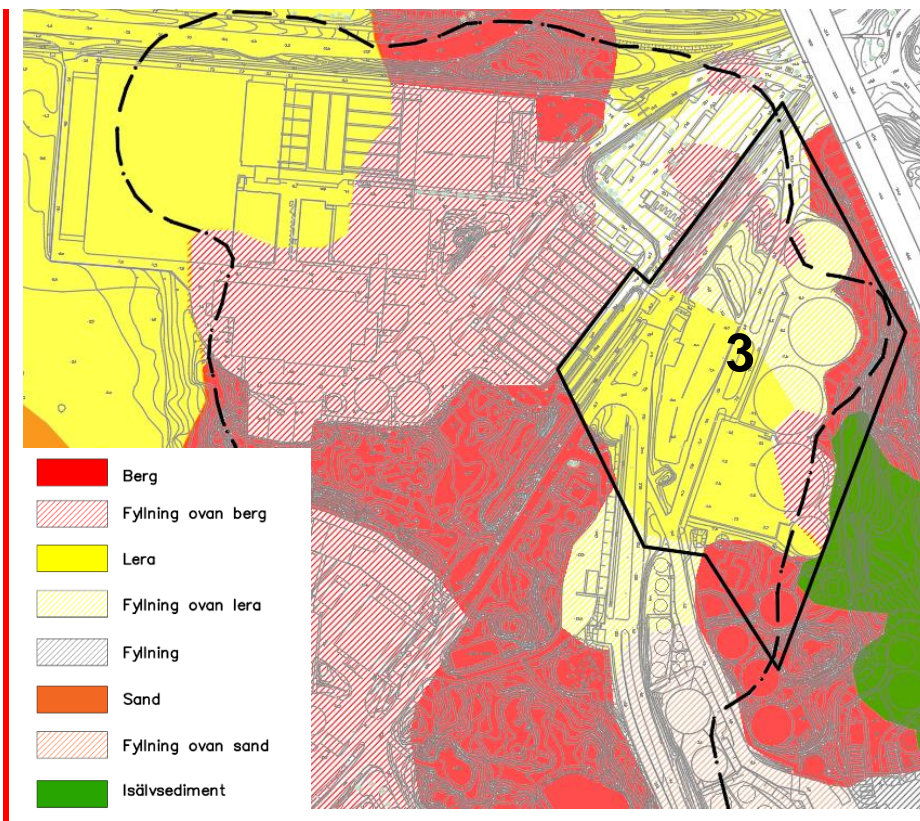
I norra delen av delområdet där sammanhängande lager av lera har påträffats bedöms sättningarna kunna bli kring 5 cm som kan påverka industrijärnvägen mot Oljehamnen, markförlagda kablar och ledningar samt gatan. Järnvägen anses vara oförstärkt och anses påverkas av den framtida grundvattensänkningen. Möjliga skyddsåtgärder för att sättningar ej ska uppkomma beskrivs närmare i *Bilaga B.05.01_R1_ Grundvattenutredning*.

Kablar och ledningar bedöms ha en viss tålighet mot dessa markrörelser då de bedöms ge jämna sättningar. Inom övriga delar finns inga sättningskänsliga jordlager.

Hamnbanan är belägen precis utanför gränsen för avsänkingsområdet och bedöms därför inte påverkas.

5.3 Delområde 3

Delområde 3 är beläget öster om Gryaabs anläggningar, se svart markering i Figur 16. Delområdet begränsas i väst av Gryaabs försedimenteringsbassäng och i öst av berget mellan ST1s oljecisterner och Älvsborgsbron. Berörda fastigheter i området är Sannegården 734:9, Rödjan 727:4, Färjestaden 20:6 samt Färjestaden 20:1.



Figur 16. Översikt över delområde 3 (jordlager från SGU jordartskarta). Delområdet är markerat med svart linje och påverkansområdet 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 hårdgjord 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 eller på sprängstensfyllning ovan berg. I den östra delen av området finns oljecisterner och ledningar. Översikt över områdets konstruktioners grundläggning finns i *Bilaga B.05.03 PM Inventering riskobjekt*

grundvattenpåverkan, reviderat 2024-04-10 där det kan utläsas att cisternerna bedömningsvis står delvis på berg eller på utsprängd bergyta.

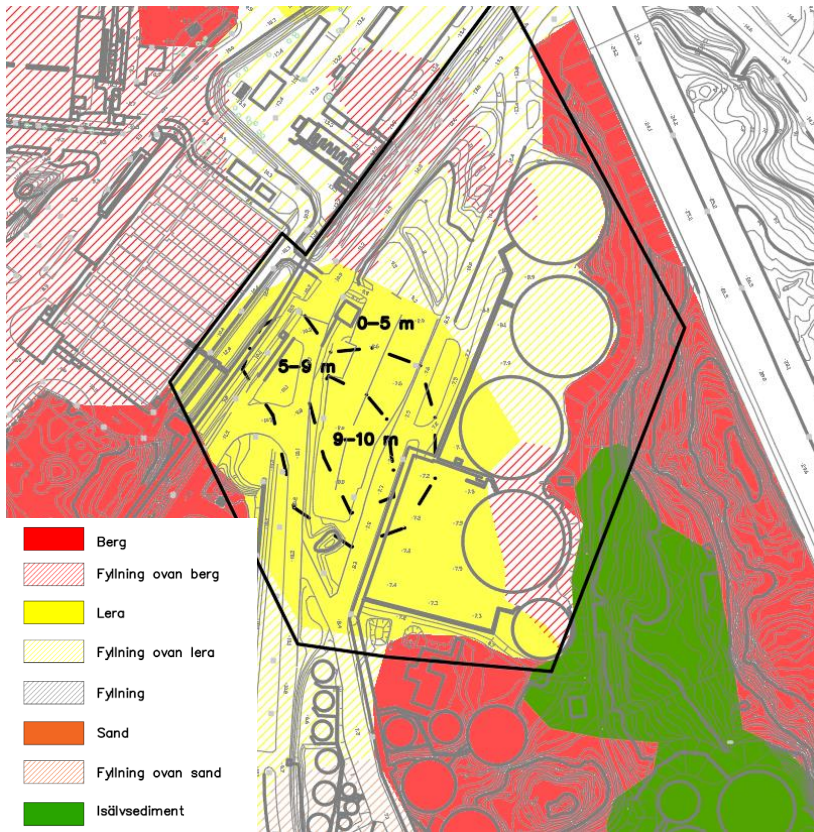
5.3.3 Övergripande geologi och geotekniska förhållanden

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 gytjig 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 delvis 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. Utifrån erhållna bygghandlingar för cisternerna så består marken kring cisternerna till stor del av fyllning, främst sten och block. Bedömningen är därmed att lerdjupet vid oljecisternerna är 0 meter, men att marken i anslutning till cisternerna kan ha mellan 0–5 meter lera.

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 17.

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 17. Översikt tolkade mäktigheter på lerlager 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]	σ'_c [kPa]	σ'_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

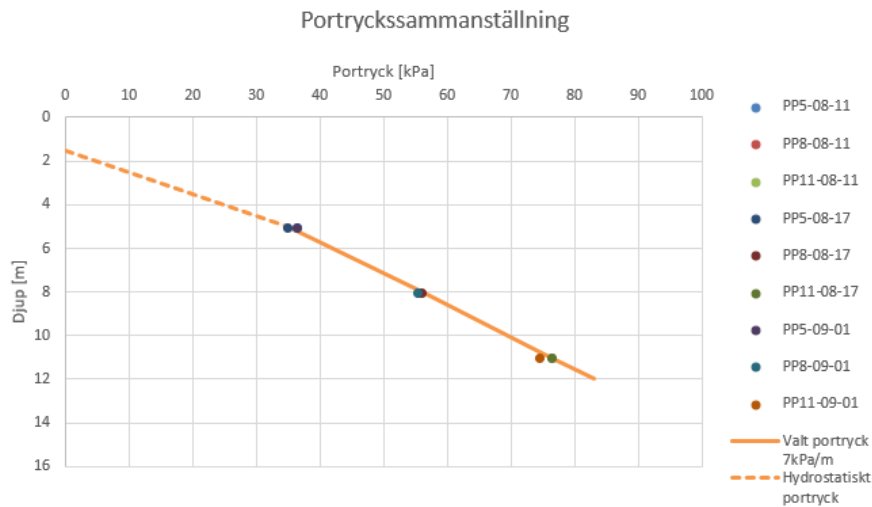
*Ökade i förhållande till CRS-resultaten med hänsyn till störningar och spänningsrelaxation

5.3.4 Övergripande hydrogeologi

Mätning av portrycket i leran har utförts under augusti och september 2023.

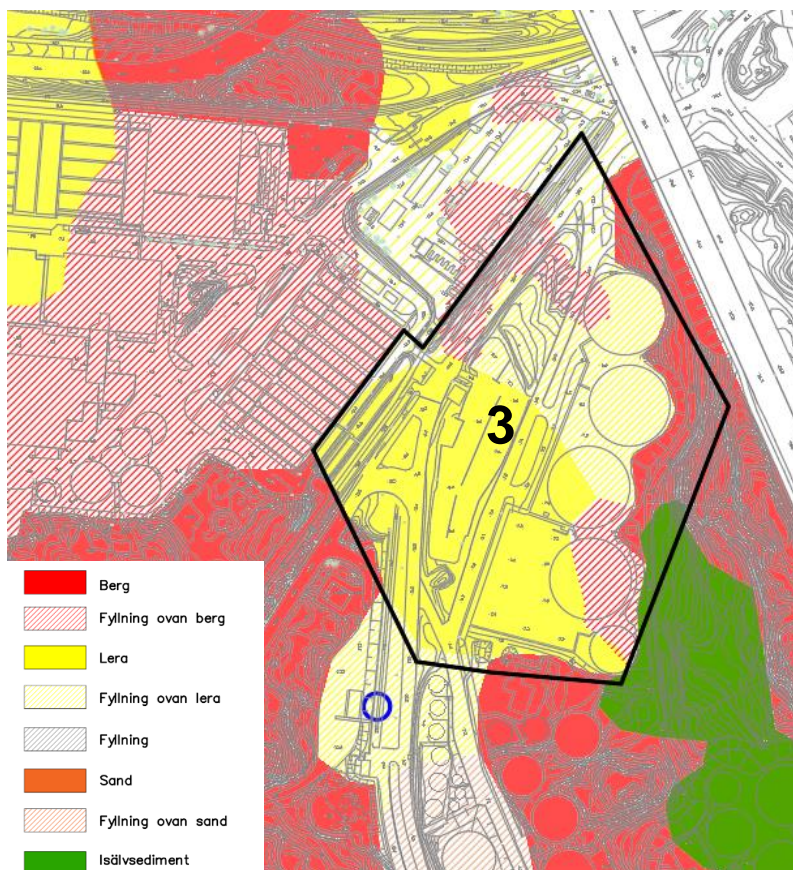
Sammanställning över mätresultat och valt portryck ses i Figur 18.

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 18. 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 19. 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 19. Översikt läge för grundvattenrör (blå ring) i undre magasin, beläget strax söder om delområdet.

Grundvattenavsänkningen som berör delområdet varierar mellan 0,3–5 meter, se Figur 20. Den största grundvattenavsänkningen sker i områdets sydvästra delar och sänkningen minskar mot nordost. Figuren visar att en grundvattenavsänkning på ca 5 meter kommer att ske i området med mäktigast lerlager.



Figur 20. Grundvattenavsänkning inom delområde 3. Avsnäkningskurvor för grundvattenavsänkning visas i olika nyanser av orange-grön, vilket representerar en avsänkning på 3–0,3 meter. I området med lera (markerat med gult område) visas även avsnäkningskurvorna mot en tolkning av mäktigheten på leran som redovisas med svartstreckad linje.

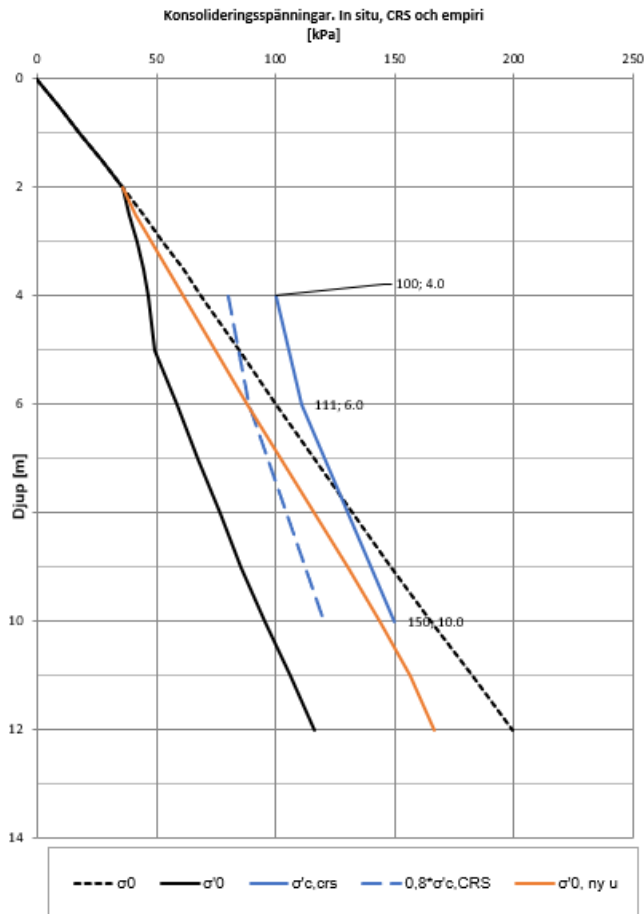
5.3.5 Sättningsanalys

Beräkningar har utförts för att bedöma sättningar som kan uppkomma i delområdet till följd av framtida grundvattenavsänkning. Beräkningar har utförts för en avsänkning på ca 5 meter, vilket motsvarar en lastökning på 50 kPa, samt för grundvattenavsänkning på 1 meter, 3 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 18 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 leran är hydrostatisk.

Med nämnda förutsättningar för en avsänkning på 5 meter och ett lerlager på 10 meter erhålls en spänningsfördelning i jordprofilen enligt Figur 21.



Figur 21. Spänningsfördelning för beskrivna parametrar och lastfall, med resultat från CRS-försök från punkt SW2304.

Vid en grundvattensänkning på 5 meter kommer $0,8 \cdot \sigma'_c$ 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. Längst i nordöst där avsänkningen är 1 meter och lerlagret 5 meter, kan sättningen enligt beräkningar bli upp till 3 cm.

Sättningen inom området kommer därmed att variera mellan ca 2–23 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.

Avsänkning	Mäktighet lerlager	
	5 m	10 m
5 m	17 cm	23 cm
3 m	10 cm	14 cm
1 m	3 cm	5 cm
0,5 m	2 cm	Ej aktuellt

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

Vid oljecisternerna är avsänkning kring 1 meter. Däremot är cisternerna grundlagda med pålar till berg eller på berg med fyllning av ej sättningsbenäget material varav cisternerna ej kommer att påverkas.

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 konsolideringssättningar som tillkommer genom den ökade belastningen till följd av grundvattensänkningen. Totalsättningen i området kan därmed med hänsyn till krypsättningar i området bli större över tid.

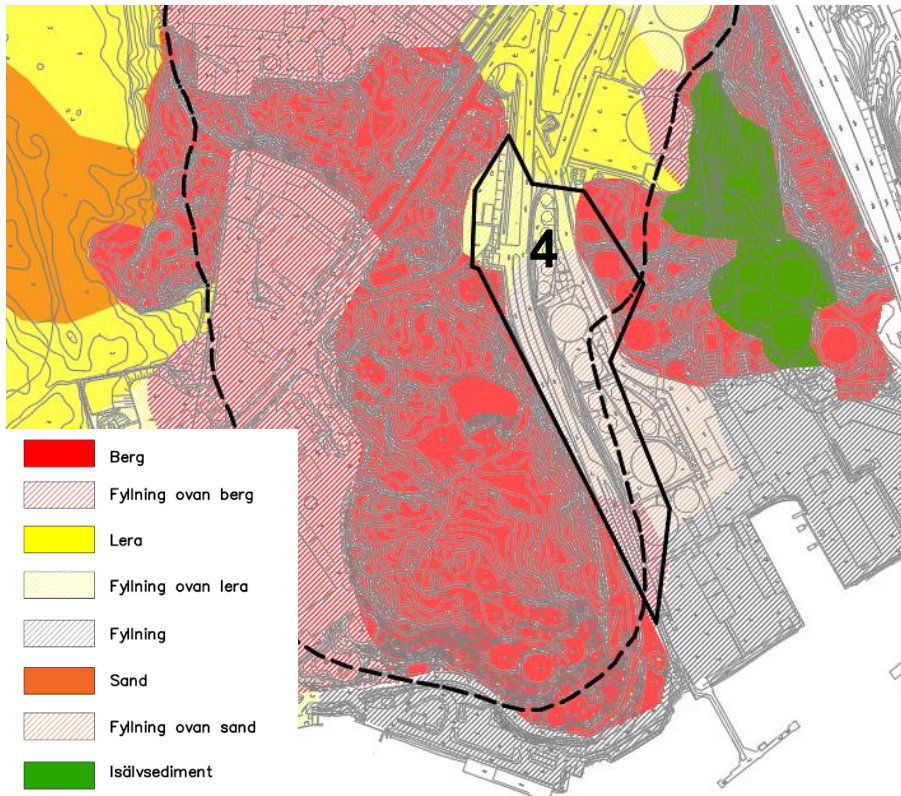
5.3.6 Skyddsåtgärder

Grundvattensänkningen bedöms leda till sättningar i området. Sättningarna kan komma att leda till differenssättningar då avsänkningen samt lerdjupen varierar inom området. Flertalet konstruktioner så som betongkulvert och ledningar är ej grundlagda till fast botten och de kan därför komma att påverkas av sättningar och/eller sättningsdifferenser och därför är de riskobjekt. Cisternerna bedöms ej vara riskobjekt till följd av deras grundläggning till berg.

Skyddsåtgärder rekommenderas vid behov, till exempel skyddsinfiltration, vilket beskrivs närmare i *Bilaga B.05.01_R1_Grundvattenutredning*.

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 22. Berörda fastigheter är Färjestaden 20:1 och Rödjan 727:4.



Figur 22. 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.

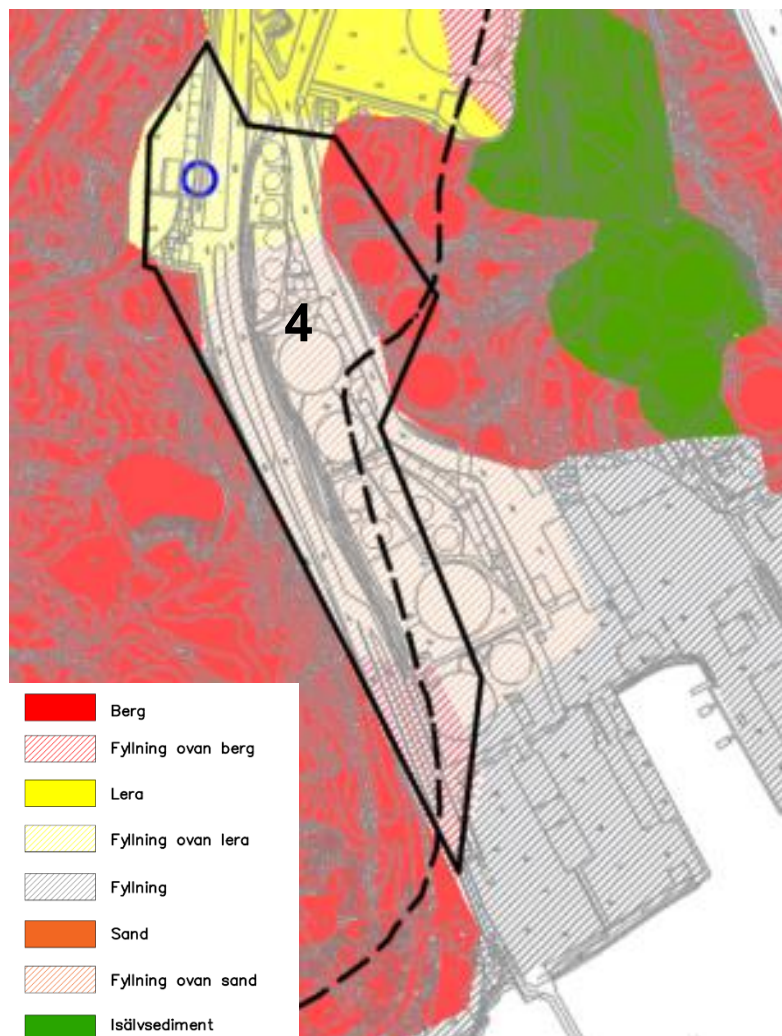
5.4.3 Övergripande geologi och geotekniska förhållanden

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.

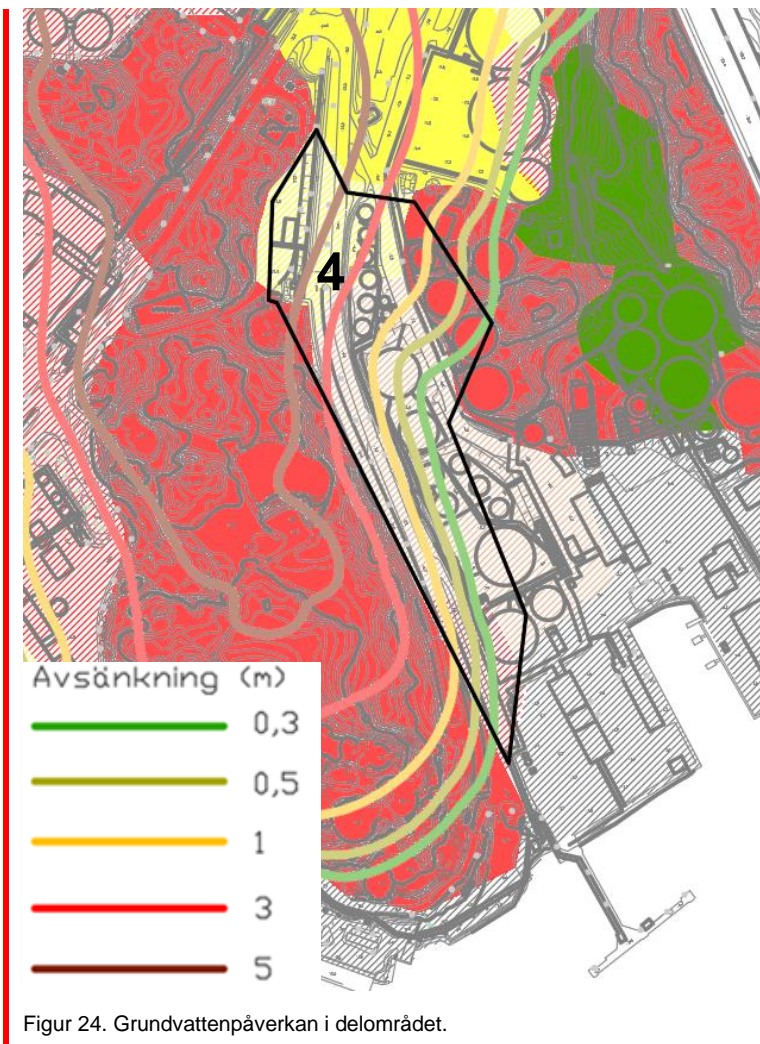
5.4.4 Övergripande hydrogeologi

Mätningar av grundvattennivån i undre magasin har utförts i den norra delen av delområdet, se Figur 23. Mätningar visar att grundvattennivån i det undre magasinet är kring nivå +8, vilket motsvarar en yta ca 2 meter under markytan.



Figur 23. Översikt läge för grundvattenrör (blå ring) i undre magasin, beläget i den norra delen av delområdet.

Grundvattensänkning som berör delområdet varierar mellan 0,3–5 meter, se Figur 24.



Figur 24. Grundvattenpåverkan i delområdet.

5.4.5 Sättningsanalys

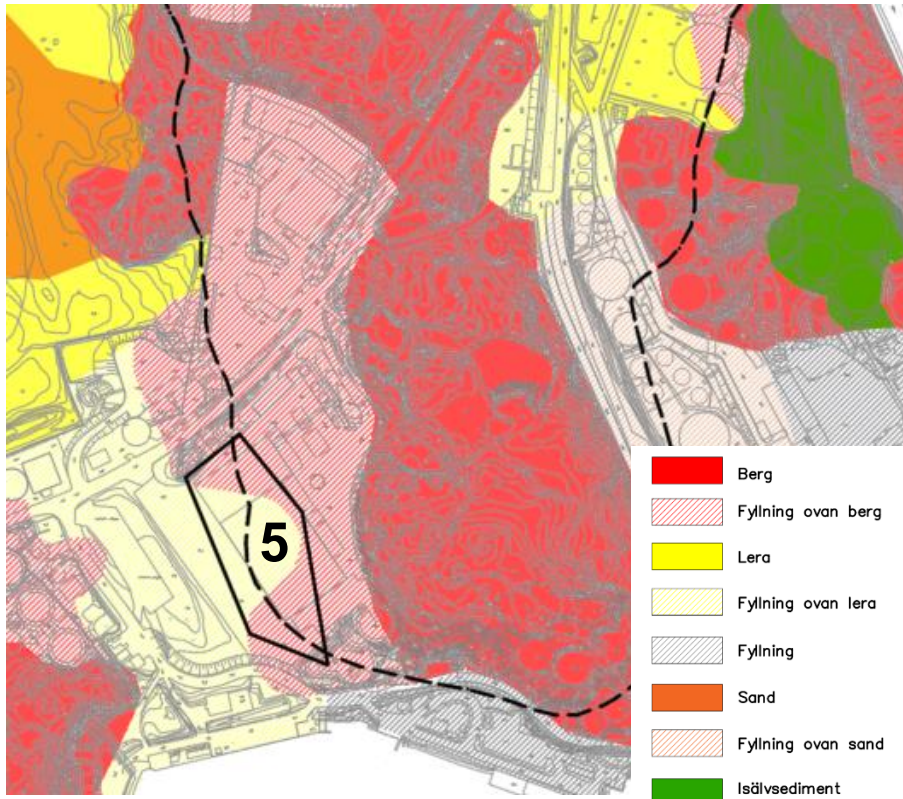
Inga sättningsberäkningar har utförts för detta delområde då det utifrån arkivmaterial inte bedöms finnas några sättningskänsliga jordlager.

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 25. 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.



Figur 25. 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 +8 i nordöst till ca +6 i söder.

5.5.2 Befintliga konstruktioner och anläggningar

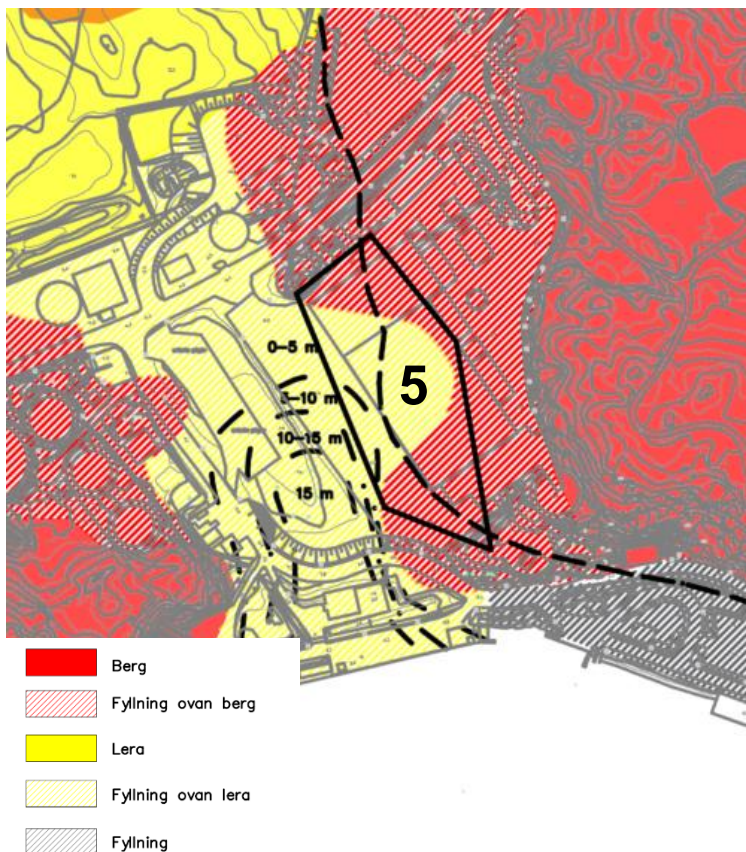
Inom delområdet finns Rya kraftvärmeverk med tillhörande byggnader. Rya kraftvärmeverk är delvis grundlagd på bortsprängt berg och fyllning på berg. Flertalet markförlagda ledningar och kablar finns också i området. Det finns framtida planer på att anlägga Rya bioångpanna strax väster om delområdet på det område som idag är en öppen gräsyta.

5.5.3 Övergripande geologi och geotekniska förhållanden

Enligt jordartskartan består området överst av fyllnadsmassor ovan berg eller lera. Utifrån tidigare utförda sonderingar och provtagningar i anslutning till delområdet 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.

Tolkade lerdjupslager kan ses i Figur 26 där det kan utläsas att lerdjupet inom delområdet är mellan ca 0 och 5 meter.



Figur 26. Översikt tolkade mäktigheter på lerslager 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 26. Sättningsparametrar från CRS-försöken kan utläsas ur Tabell 5.

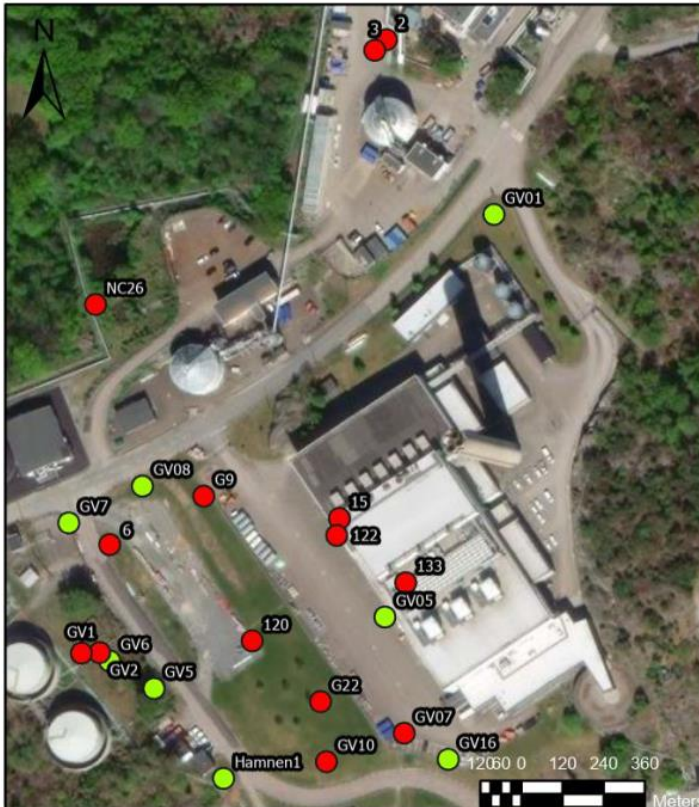
Tabell 5. Sammanställning utvärderade beräkningsparametrar från CRS.

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

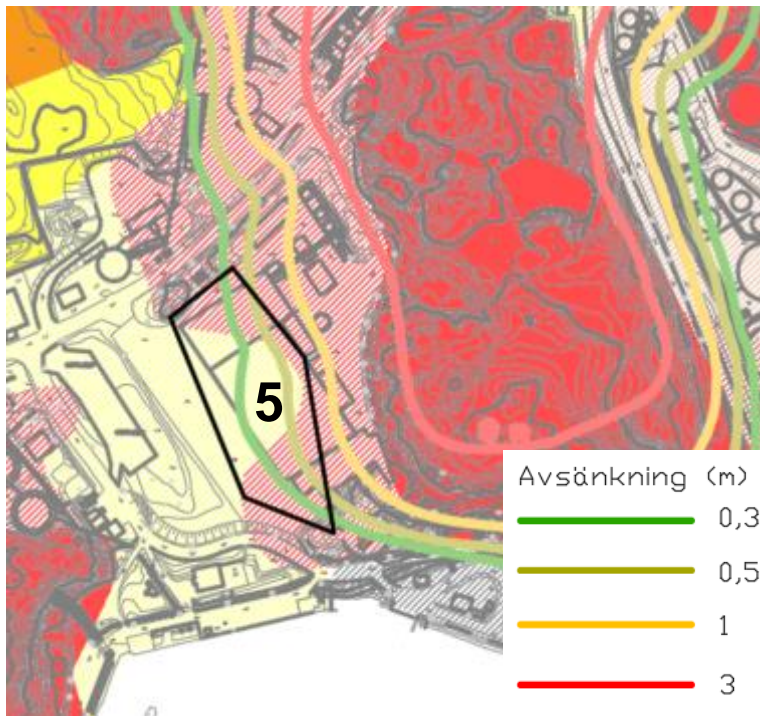
Mätningar av grundvattennivån i under magasin har utförts i ett antal rör i delområdet, se Figur 27. För tidigare utbyggnad av Rya bioångpanna har även

portrycksrör installerats i en punkt. Portrycksmätningarna visar på hydrostatiska förhållanden från en grundvattennivå ca 2 meter under markytan.



Figur 27. Översikt grundvattenrörs placering (Norconsult 2022). Rör markerat med grön är fungerande och rör markerat med rött pågår ingen mätning.

Grundvattenavsänkningen som berör delområdet varierar mellan 0,3 meter och 0,5 meter där den största avsänkningen kommer ske i områdets östliga delar, se Figur 28.



Figur 28. Grundvattenpåverkan i delområdet-

5.5.5 Sättningsanalys

Lerlagret inom delområde 5 är som mest ca 5 meter och avsänkningen ca 0,3 meter. Beräkningar har därmed utförts för detta fall som leder till en lastökning på 3 kPa, samt även för fallet med 0,5 meter avsänkning.

Generell jordmodell som använts för beräkningar består av en fyllning på 2 meter som överlagrar en lera med 5 meter mäktighet. Beräkningar har utförts utifrån antagandet att tryckfördelningen i leran är hydrostatisk från 2 meters djup. Avsänkningen har konservativt antagits till att med tiden påverka hela lerlagret med samma belastning, detta för att ej underskatta sättningarna.

En sammanställning över beräknade sättningar finns i Tabell 6 och beräkningarna redovisas i bilaga A.4. Beräkningar visar att sättningarna kommer bli ca 2 cm till följd av grundvattensänkningen.

Tabell 6. Sammanställning beräknade sättningar för respektive fall.

Avsänkning	Mäktighet lerlager		
	5 m	10 m	15 m
0,5 m	4 cm	Ej aktuellt	Ej aktuellt
0,3 m	2 cm	Ej aktuellt	Ej aktuellt

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 kunna leda till sättningar i storleksordningen ca 2 cm, maximalt ca 4 cm, inom delområde 5. Den konstruktion som är inom påverkansområdet och som skulle kunna påverkas av sättningar är grundlagd på berg samt på fyllning på berg. Fyllningens sammansättning är ej känd och sättningskänsliga jordlager kan ej helt uteslutas. Bedömningen är att byggnaden troligtvis ej är grundlagd på sättningskänsliga jordlager utan grundförstärkning, men det är ej bekräftat. Kan byggnadens grundläggning ej bekräftas, kan skyddsåtgärd ej uteslutas inom delområde 5.

6 Slutsatser och rekommendationer

Inom påverkansområdet bedöms ökade sättningar kunna uppkomma inom delområde 1, delområde 2, delområde 3 samt delområde 5 till följd av den prognosticerade grundvattensänkningen. Inom dessa delområden bedöms det finnas lera som är sättningskänslig. Bedömningen är att det redan idag pågår sättningar inom delar av avsänkingsområdet och den prognosticerade sänkningen av grundvattnet kommer ytterligare belasta leran.

För att upprätthålla befintlig grundvattennivå behöver skyddsåtgärder utföras vid behov vilket beskrivs i *Bilaga B.05.01_R1_Grundvattenutredning*. Skyddsåtgärder bedöms behövas för att undvika skador på närliggande konstruktioner så som järnvägen i norr, anslutande ledningar och anläggningar i området.

För de resterande områdena inom påverkansområdet utgörs jordlagren av fasta jordlager som ej är sättningskänsliga, 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 bedöms komma påverkas av grundvattensänkningen.

Bilagor

A. Sättningsberäkningar

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