

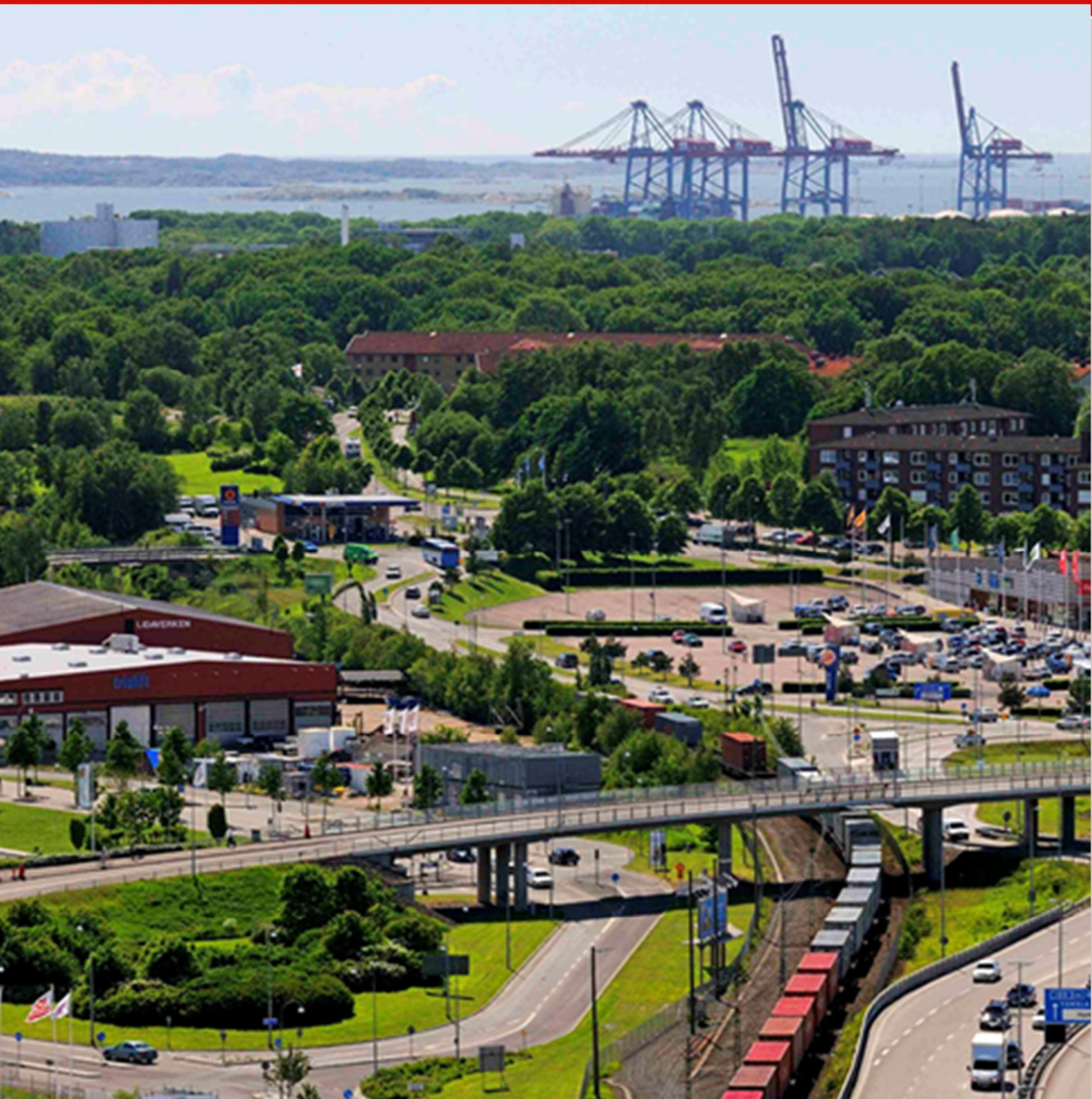
VATTENVERKSAMHET

Hamnbanan Göteborg, dubbelspår Eriksberg – Pölsebo

PM Sättningsrisker på grund av grundvattensänkning

Projektnummer: 108793

2018-05-22



Trafikverket

Postadress: Trafikverket, 405 33 Göteborg

Epost: trafikverket@trafikverket.se

Telefon: 0771-921 921

Dokumenttitel: Hamnbanan Göteborg, dubbelspår Eriksberg – Pölsebo, Vattenverksamhet, PM
Sättningsrisker på grund av grundvattensänkning

Författare: AnnLouise Elliot, Ingvar Rhen, Sweco

Dokumentdatum: 2018-05-22

Dokument ID: 108793-04-025-204

Ärendenummer: TRV 2015/42622

Projektnummer: 108 793

Projektledare: Björn Ållenberg, Trafikverket

Uppdragsledare: Lina Magnusson, Sweco

Innehållsförteckning

1	Uppdrag	6
1.1	Bakgrund	6
1.2	Syfte	6
2	Planerade anläggningsarbeten	6
2.1	Allmänt	6
2.2	Beskrivning av schaktarbeten	7
2.2.1	Järnvägsanläggningen längs aktuell sträcka	8
2.3	Grundvattensänkning vid schaktarbeten	9
2.3.1	Studerade grundvattenavsänkningar	9
3	Geotekniska och hydrogeologiska undersökningar	9
3.1	För uppdraget utförda undersökningar	9
3.2	Andra undersökningar i området	10
4	Befintliga förhållanden	10
4.1	Topografi och översiktlig områdesbeskrivning	10
4.2	Geotekniska förhållanden inom påverkansområdet	12
4.2.1	Öster om Krokängsberget	12
4.2.2	Väster om Krokängsberget, Pölsebo	13
4.3	Geotekniska parametrar	13
4.3.1	Pölsebo	13
4.3.2	Bratterås	14
4.4	Totalstabilitet	15
4.5	Hydrogeologiska förhållanden	16
4.5.1	Grundvattenmagasin	16
4.5.2	Grundvattennivåer	17
4.6	Grundvattennivåer och dess variation	17
4.6.1	Hydrauliska egenskaper	22
4.6.2	Provpumpningar och observerad påverkan	23
5	Beräkning av grundvattensänkning	24
5.1	Beräkningsmetodik vid korttidsavsänkning	24
5.2	Beräkningsmetodik vid långtidsavsänkning	24
5.2.1	Hydrauliska egenskaper för leran	25

6	Sättningar på grund av grundvattensänkning	25
6.1	Förutsättningar utifrån grundvattensänkning	25
6.1.1	Korttidsavsänkning	25
6.1.2	Långtidsavsänkning	26
6.2	Spänningsanalys	26
6.2.1	Analyserade punkter	26
6.2.2	Beskrivning av analyser	28
6.2.3	BH 4783, norr om Bratteråsberget	28
6.2.4	BH 4786, norr om Krokängsplan	28
6.2.5	BH 4788, norr om Krokängplan vid bäckravin	29
6.2.6	BH 5204, Pölsebo	30
6.2.7	Sammanfattning spänningsanalys	31
6.3	Beräkningar	31
6.3.1	Allmänna förutsättningar	32
6.3.2	Jordlagermodell vid sättningsberäkning	32
6.3.3	Beräkningsresultat	32
6.4	Känslighetsanalys	34
7	Risk- och konsekvensbedömning	35
7.1	Inventering av grundläggningsförhållanden	35
7.2	Risker för skyddsobjekt	35
7.3	Möjliga åtgärder	37
7.4	Kontrollprogram	38
7.4.1	Portrycksmätningar	38
7.4.2	Rörelsemätningar	39
8	Slutsatser	40
8.1.1	Konservativa antaganden vid analyserna	41
9	Referenser	43

Bilagor

Bilaga 1

- o Bilaga 1.1: Inventering av byggnaders grundläggningstyp
- o Bilaga 1.2: Lerdjup
- o Bilaga 1.3: Tolkning av sättningsrisker

1 Uppdrag

1.1 Bakgrund

Trafikverket har för Hamnbanan, delen Eriksberg – Pölsebo, skickat in en vattenverksamhetsansökan till Mark och Miljödomstolen.

1.2 Syfte

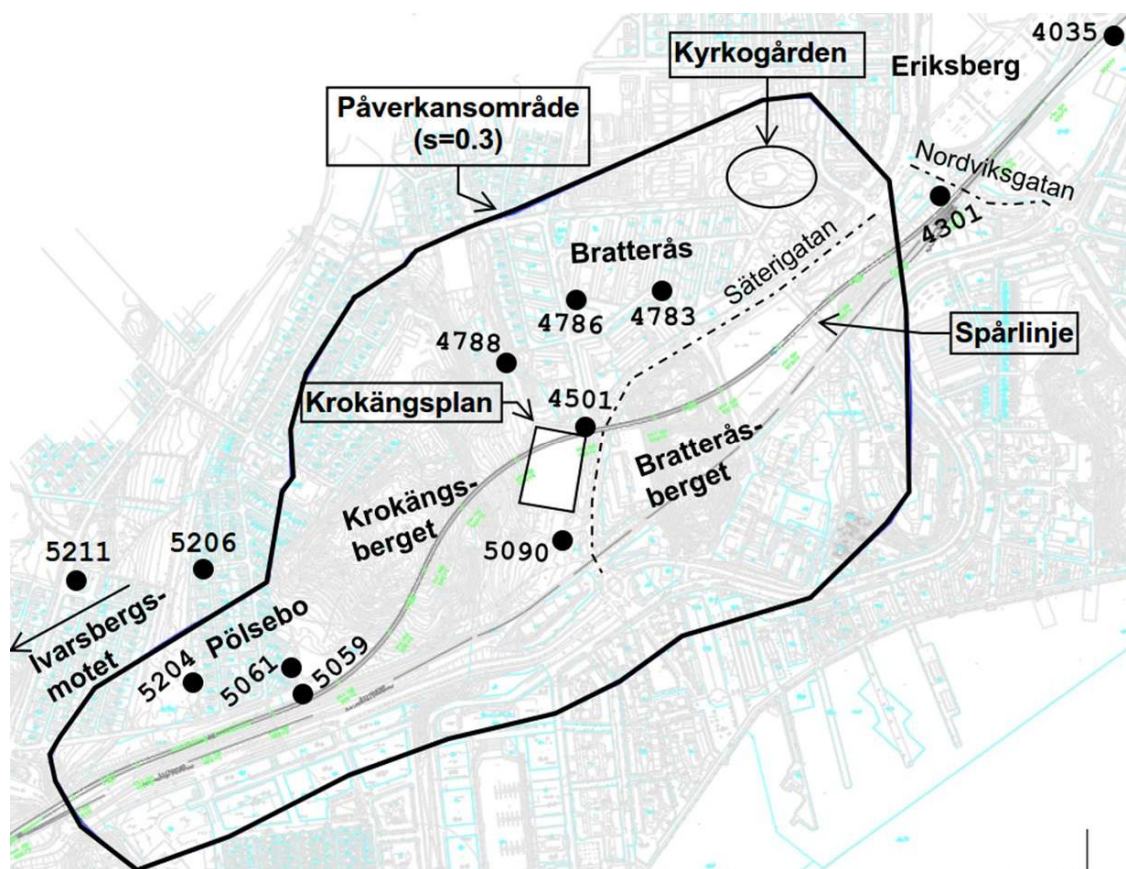
Mark och miljödomstolen (MMD) har avgett ett föreläggande om kompletteringar av vattenverksamhetsansökan för Hamnbanan 2018-02-20 (Mål nr M 2186-17 R9). Vänersborgs TR M2186-17 Aktbil 17 sammanfattar MMDs framställan om kompletteringar. Detta PM syftar till att redogöra för efterfrågade kompletteringar och klarlägganden vad avser nedanstående punkter:

- MMD 17.8 och 17.9 berör nödvändiga skyddsåtgärder för jordschakter som behöver förtydligas
- MMD 17.10 och 17.11 omfattar att sökanden ska beskriva omgivningspåverkan och upprätta en beskrivning av de geotekniska förhållandena
- MMD 17.12 att kontrollprogram ska omfatta även porttrycksmätningar och sättningmätningar
- MMD 13.4 berör grundläggningsinventering
- MMD 15.1 berör bedömning av totalstabilitet
- MMD 16.4 behandlar beskrivningen av påverkan som kan orsakas av schakterna.

2 Planerade anläggningsarbeten

2.1 Allmänt

Den aktuella utbyggnadsetappen av Hamnbanan omfattar nytt dubbelspår i ny sträckning norr om nuvarande spår. Sträckan börjar i öster i befintliga spår vid Eriksberg, viker av mot norr och går genom Bratteråsberget och Krokängsberget fram till Pölsebo i väster, där järnvägen ansluter till befintliga nyanlagda spår i höjd med Ivarsbergsmotet. Utbyggnaden sker på en sträcka av cirka 1900 meter varav knappt 300 meter utgörs av betongtråg och cirka 1100 meter går i tunnel, varav cirka tre fjärdedelar är betongtunnel. Figur 2-1 redovisar en översikt över aktuellt område samt undersökningspunkter som gett det huvudsakliga underlaget till presenterade analyser i detta PM.



Figur 2-1. Översikt över området. Punkterna anger beteckningar på undersökningspunkter.

2.2 Beskrivning av schaktarbeten

Vid byggnation av betongtunnlar, bergtunnelpåslag och tråg behöver schakter utföras inom en temporär stödkonstruktion så som spont. I kombination med spont kan tätaka på botten av schakten bli aktuellt för att begränsa inläckage av grundvatten, men inläckage kommer ändå att uppkomma vilket påverkar grundvattennivån i omgivningen. Storleken på inläckaget i schakten som medför grundvattenavsänkning utanför sponten är beroende av hur väl den temporära stödkonstruktionen tätas. Tätaka måste för arbetsskedet dragförankras, vilket görs med pålar, se exempel i Figur 2-2. I permanentskede behövs vissa av pålarna också för den förväntade belastningsökningen.

Pölsebo, väster om Krokängsberget

Anläggningen förläggs i ett cirka 280 meter långt betongtråg som innebär att schakt kommer att utföras till som mest cirka 8 meter djup. Det kan inte uteslutas att det i området kan finnas block och eventuellt även fyllnadsmassor som kan försvåra utförandet av temporära stödkonstruktioner.

2.3 Grundvattensänkning vid schaktarbeten

2.3.1 Studerade grundvattenavsänkningar

Utifrån ovan beskrivna anläggningsarbeten har två olika fall studerats vad temporär sänkning av grundvattnet skulle kunna innebära:

- Korttidsavsänkning av grundvattennivån. Avser en mycket lokal avsänkning för att åtgärda hinder i mark, till exempel ett block, vid spontslagning. Denna avsänkning bedöms möjligen bli aktuell enbart vid ett fåtal platser med hänsyn till de hinder i mark som kan finnas.
- Långtidsavsänkning av grundvattennivån. Avser tiden för hela anläggningsskedet och påverkan är direkt beroende av läckaget in i den långsträckta schakten. Avsänkningen är beroende av storleken på inläckaget, vilket är avhängigt schaktens täthet, samt eventuella infiltrationsåtgärder.

3 Geotekniska och hydrogeologiska undersökningar

3.1 För uppdraget utförda undersökningar

Geotekniska undersökningar som underlag för detta uppdrag har utförts av Ramböll. Undersökningarna har utförts norr om planerad järnvägsanläggning och omfattat Spetstrycksondering (CPT) i 19 punkter för klarläggande av i huvudsak lermäktigheter och jordlagerföljd, men även för översiktlig bedömning av lerans sättningsegenskaper.

I fem av dessa punkter har även ostörd provtagning utförts. På utvalda prover har belastningsförsök i laboratorium (CRS) utförts för klarläggande av lerans sättningsegenskaper.

Manuella mätningar av grundvatten och portryck utförts har utförts av Ramböll i dessa fem provtagningspunkter under perioden nov 2017 – april 2018. Mätningarna av grundvattennivån har utförts i öppna grundvattenrör som har installerats både i det övre och undre magasinet, det vill säga i fyllning ovan leran respektive i friktionsjord under leran. I leran har en portrycksprofil tagits fram genom portrycksmätning på 2-4 nivåer per undersökningspunkt. Mätningar av portryck har dessutom utförts i fyra äldre undersökningspunkter med portryckspetsar.

3.2 Andra undersökningar i området

Ett stort antal undersökningar har tidigare utförts längs den aktuella sträckan för Hamnbanan vilka redovisas i Markteknisk undersökningsrapporter, Geoteknik respektive Hydrogeologi, tillhörande *Förfrågningsunderlag totalentreprenad, Hamnbanan Göteborg, dubbelspår Eriksberg-Pölsebo* upprättad av Ramböll. Handlingarna har uppdragsnummer 150176 och daterade 2018-06-01. Även delar av dessa undersökningar har legat till grund för nu utförda analyser.

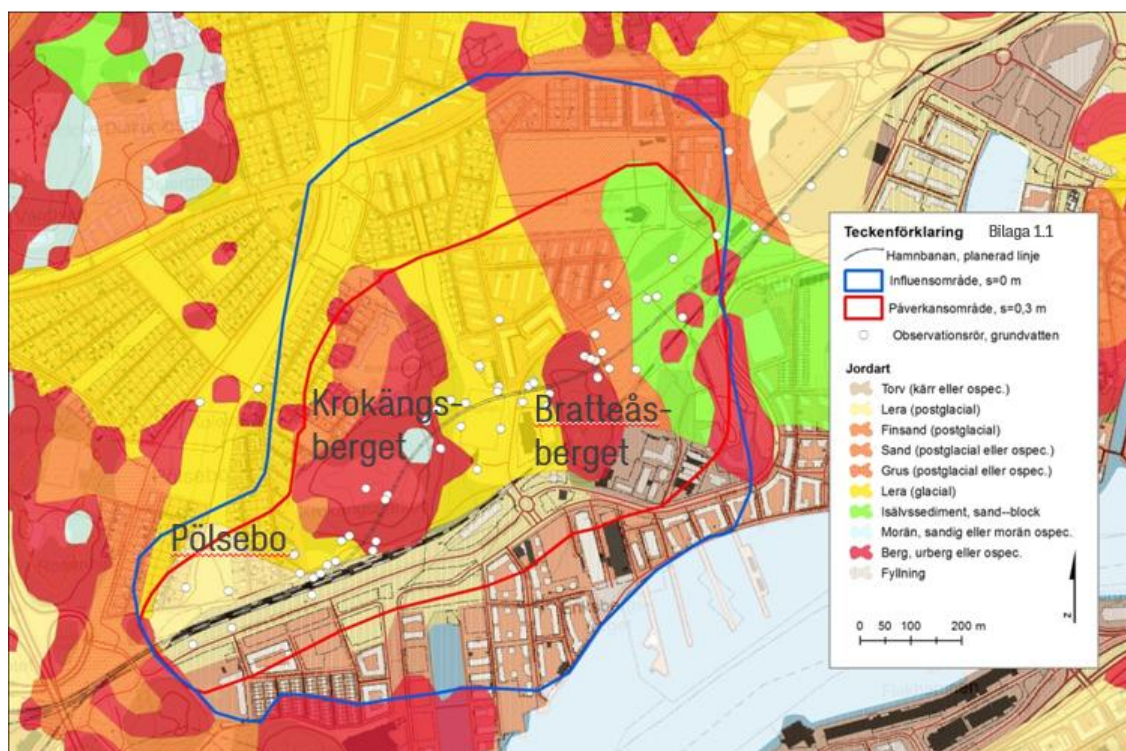
4 Befintliga förhållanden

4.1 Topografi och översiktlig områdesbeskrivning

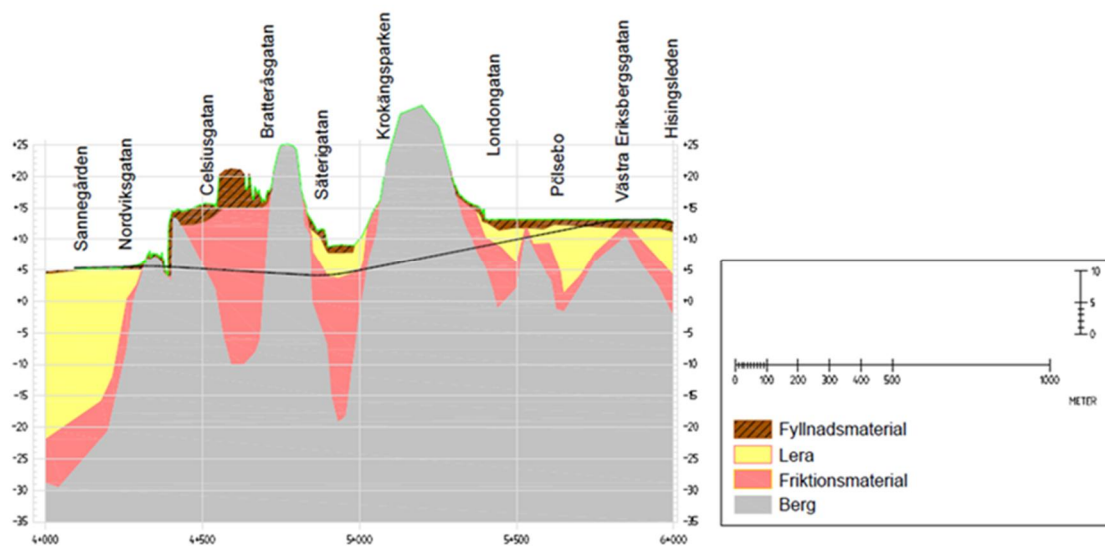
Topografin i området är varierande och utgörs omväxlande av högre liggande höjdparter, så som Bratteråsberget och Krokängsberget, och där emellan mer låglänta delar med mäktiga jordlager som huvudsakligen utgörs av lersediment med underliggande friktionsjord, som vid Pölsebo och Krokängsplan. Såväl de geotekniska förutsättningarna som grundvattenförhållanden varierar stort inom området se *Figur 4-1*. I huvudsak sluttar marken mot söder och ytligt finns vanligen fyllnadsmaterial men med varierande mäktighet.

I anslutning till järnvägsområdet finns idag både tät stadsbebyggelse och rekreationsområden. Beroende på de geotekniska förutsättningarna på platsen i kombination med grundläggningen av byggnader och anläggningar varierar känsligheten för sättningar som kan uppkomma till följd av grundvattensänkning. Inventering av fastigheters grundläggning har utförts i tre etapper. En sammanställning av detta underlag finns i *Bilaga 1.1*.

Nedan i *Figur 4-1* och *Figur 4-2* visas de geologiska förutsättningarna i plan respektive i en översiktlig profil i läget för järnvägssträckningen.



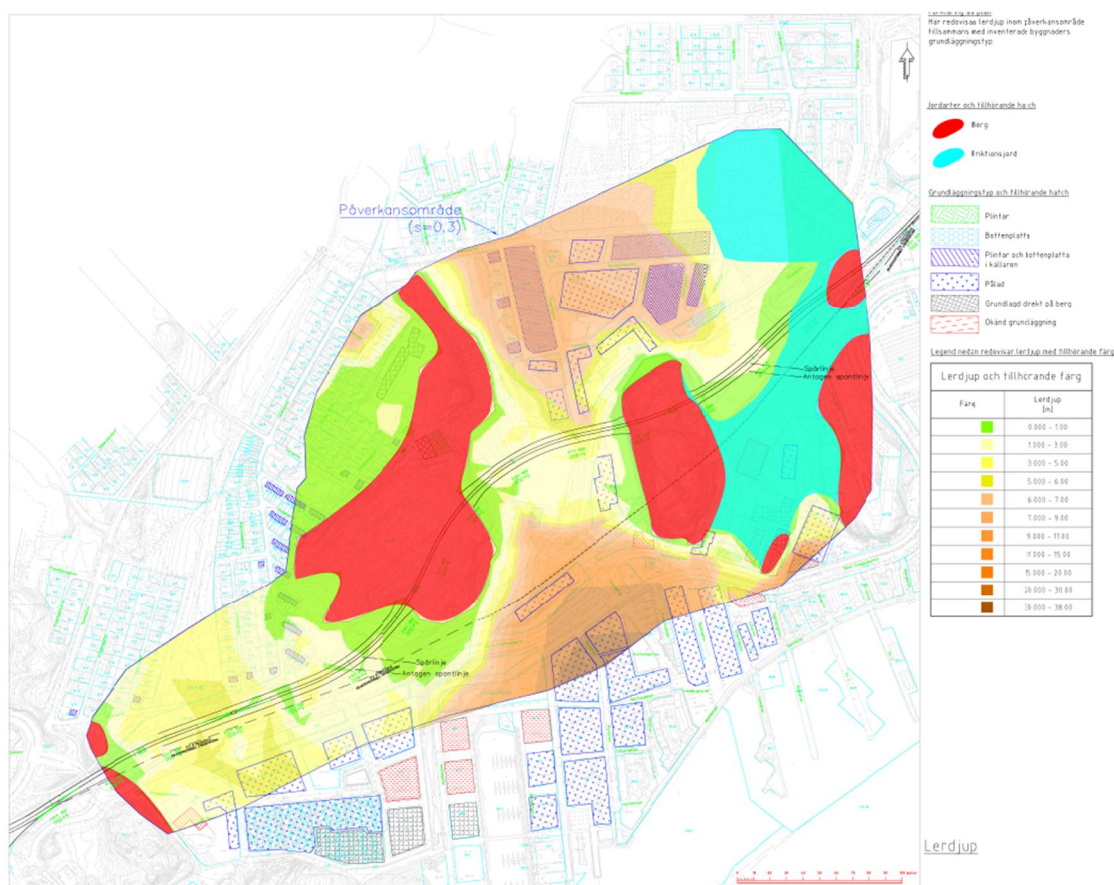
Figur 4-1. Kvartärgeologisk översikt över området (SGU). Jordlager och berg i dagen längs den nya järnvägssträckningen mellan Eriksberg i öster och Pölsebo i väster. Vid angivet influensområde beräknas avsänkning under byggskele vara 0 meter medan vid linjen för påverkansområde beräknas avsänkning kunna maximalt bli cirka 0.3 m.



Figur 4-2. Kvartärgeologisk översikt i läget för planerad järnväg, Hamnbanan, Eriksberg – Pölsebo från öster till väster.

4.2 Geotekniska förhållanden inom påverkansområdet

Geotekniska undersökningar har i huvudsak utförts i närområdet till den planerade järnvägssträckan. Inom de delar där det finns mer begränsat med undersökningar inom påverkansområdet har för beskrivning av förhållanden även nyttjats jordartskarta från SGU (Sveriges geologiska undersökning) samt jordartskarta från SBK (Stadsbyggnadskontoret Göteborgs Stad). I den senare finns även djupuppgifter från äldre sonderingar. I *Bilaga 1.2* redovisas framtagna lerdjupskurvor inom påverkansområdet utifrån ovan angivna underlag, se urklipp i Figur 4-3. För mer detaljerad beskrivning av lerans egenskaper som nu undersökts se *Kapitel 6*.



Figur 4-3. Lerdjupskurvor inom påverkansområdet utifrån utförda undersökningar samt kartmaterial från SGU och SBK, se *Bilaga 1.2.*.

4.2.1 Öster om Krokängsberget

I bäckravinen mellan Bratteråsberget i öster och Krokängsberget i väster löper en bäck från norr mot söder. Vid Krokängsplan är den kulverterad och ligger därefter centralt i dalgången. Jordlagren utgörs, under fyllnadsmassor, av skiktad siltig lera med som mest 10-12 meter mäktighet norr om planerad järnvägslinje. Leran underlagras av skiktad friktionsjord med störst mäktigheter centralt i området på mellan 15-20 meter. Mot fastmarkspartierna, Krokängsberget i väster och Bratteråsberget i öster, avtar jordmäktigheten successivt. Från planerad järnvägslinje och söderut minskar först lerdjupen och undersökningar antyder en fastmarksrygg med friktionsjord i öst-

västlig riktning belägen ungefär i mitten på Krokängsplanen, och efter denna ökar åter lermäktigheten fortlöpande mot söder. Lerdjupen vid befintlig järnväg är ungefär 15-20 meter. Söder om befintlig järnväg är leran mer homogen och lerans mäktighet ökar fortsatt succesivt till 30-40 meter mot älven. Mäktigheten på friktionsjorden under leran är söder om fastmarksryggen osäker men bedöms vara minst 2-5 meter.

Öster om Bratteråsberget finns i den nordöstra delen vid kyrkogården fastmark med enbart någon meters jordmäktighet. Därifrån ökar mäktigheten mot söder och väster. Vid Säterigatan återfinns lera till drygt 10 meters djup, som underlagras av friktionsjord vilken även ökar i mäktighet söder och västerut. I läget för befintlig järnväg bedöms jordlagren utgöras av enbart friktionsjord med upptill 20 meters mäktighet som avtar mot söder där även mindre uppstickande bergsryggar förekommer. Söder om tar åter lera vid, i höjd med gränsen för påverkansområdet, se *Figur 4-1*.

4.2.2 Väster om Krokängsberget, Pölsebo

Området karakteriseras av kraftigt skiktade jordlager och undersökningar visar även på stora variationer i jordmäktighet. I anslutning till Krokängsberget finns tunna lager av friktionsjord som ökar successivt i mäktighet mot sydväst. Närmare Pölsebo överlagras friktionsjorden av lera med 2-4 meter mäktighet. I dalgången mellan bebyggelsen i Pölsebo har jordmäktigheten ökat till cirka 15 meter, varav cirka 6 meter utgörs av lera som underlagras av skiktad friktionsjord. Lermäktigheten är omkring 5 meter söder om järnvägen och friktionsjordens mäktighet avtar. Söder om påverkansområdet finns berg i dagen.

Leran är kraftigt silt- och sandskiktad. Även den underlagrande friktionsjorden är inhomogen och visar på stora variationer i sammansättning och lagringstäthet.

För mer detaljerad beskrivning av lerans egenskaper som nu undersökts se *Kapitel 6*. I *Bilaga 1.3* redovisas framtagna lerdjupskurvor utifrån befintliga undersökningsresultat i området.

4.3 Geotekniska parametrar

I detta avsnitt redovisas geotekniska parametrar för Pölsebo samt Bratterås.

4.3.1 Pölsebo

Jordlagerföljden inom Pölsebo utgörs överst generellt av fyllning alternativt organisk jord följt av torrskorpelera, som underlagras av lösare lera. Leran vilar på ett lager friktionsjord ovan berg. I huvudsak har den översta metern av leran torrskorpekaraktär. Gyttja på tre till fem meters djup har påträffats relativt lokalt i angränsning till järnvägssträckan.

Fyllningen har en uppmätt densitet 1,8-2,0 t/m³, vattenkvoten cirka 30 % och konflytgränsen mellan 25-35 %. Fyllnadsmaterialet utgörs av mulljord, grus, sand och lera. Fyllnadsmäktigheter upp mot cirka 2 meter har påträffats inom området.

Torrskorpeleran är av siltig karaktär, ställvis med sandskikt. Den uppmätta densiteten varierar mellan 1,7-1,85 t/m³, vattenkvoten cirka 35-50 % och konflytgränsen något högre, 50-60 %.

Leran inom området är siltig med inslag av sandskikt och skal- samt ställvis även växtrester. Vattenkvoten i leran är uppmätt till 30-70 %, och konflytgränsen 30-60 %, generellt minskar båda mot djupet. För den gyttjiga leran är vattenkvoten uppmätt till 100-125 %, och konflytgränsen 120-145 %.

Sensitiviteten för leran, vilket är ett mått på lerans störningskänslighet, är uppmätt till mellan 6 och 25, således klassas den som låg till mellansensitiv. Lerans densitet är cirka 1,6–1,85 t/m³, och den gyttjiga leran densitet cirka 1,3–1,5 t/m³.

Den korrigerade odränerade skjuvhållfastheten (Figur 4-4), baserat på konförsök, vingborring och CPT-sonderingar, är för leran under torrskorpelagret låg, cirka 17 kPa.

Friktionslagret som underlagrar leran har inte närmre undersökts.

4.3.2 Bratterås

Jordlagerföljden inom Bratterås utgörs överst generellt av fyllning alternativt organisk jord följt av torrskorpelera, som underlagras av lös lera. Leran vilar på ett lager friktionsjord ovan berg. I huvudsak har den översta en till två metern av leran torrskorpekaraktär.

Fyllningen utgörs generellt av sand, ställvis med silt, mulljord och grus inslag, och har en uppmätt vattenkvot på cirka 10 %. Fyllnadsmäktigheter upp mot cirka 1 meter har påträffats inom området.

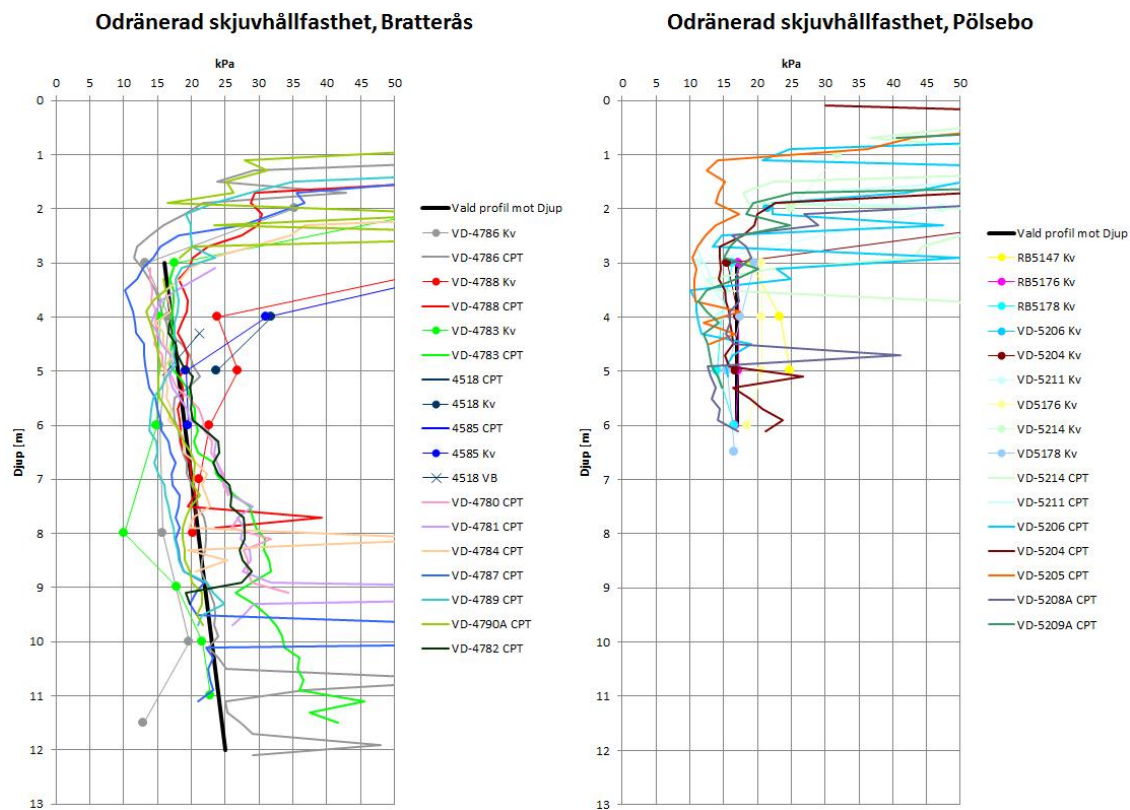
Torrskorpeleran är av siltig karaktär, ställvis med sand- eller siltskikt. Växtrester förekommer ställvis i detta lager. Den uppmätta densiteten varierar mellan cirka 1,75-1,85 t/m³, vattenkvoten cirka 30-53 % och konflytgränsen något högre 50-73 %.

Leran inom området är siltig med inslag av sandskikt och skal- samt växtrester. Vattenkvoten i leran är uppmätt till 30-75 %, och konflytgränsen 30-73 %, generellt minskar båda parametrarna med djupet.

Sensitiviteten för leran, vilket är ett mått på lerans störningskänslighet, är uppmätt till mellan 4 och 37, således klassas den som låg till högsensitiv. Högsensitiv lera har påträffats mellan 7 och 12 meters djup. Lerans densitet är uppmätt till cirka 1,5-1,93 t/m³.

Den korrigerade odränerade skjuvhållfastheten (Figur 4-4), baserat på konförsök, vingsondering och CPT-sonderingar, är för leran under torrskorpelagret låg, 16-24 kPa. Leran har en svag hållfasthetstillväxt mot djupet, cirka 1 kPa per meter.

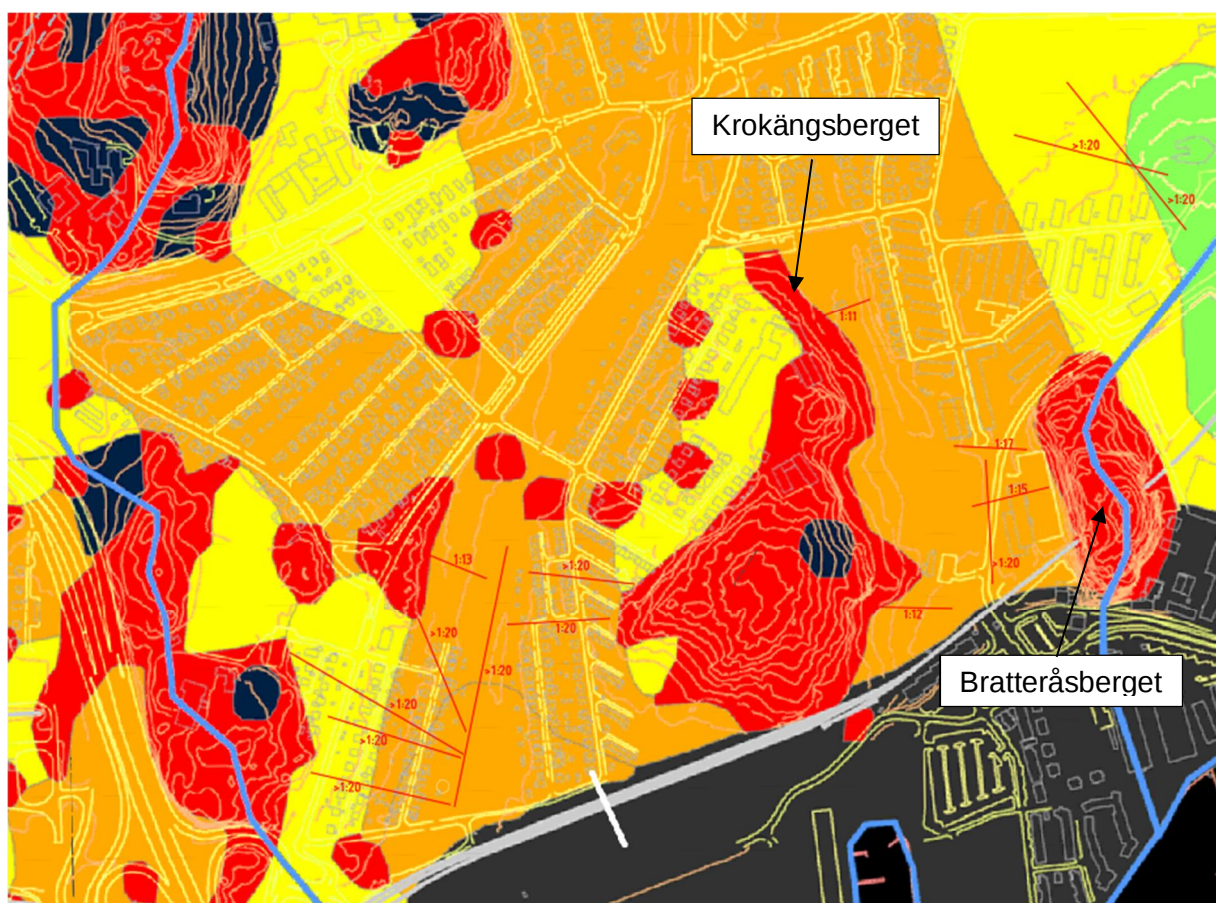
Friktionslagret som underlagrar leran har inte närmre undersökts.



Figur 4-4. Uppmätta skjuvhållfastheter.

4.4 Totalstabilitet

Där jordlagren utgörs av lera inom påverkansområdet är marklutningarna flackare än 1:10, se figur nedan, och det finns därför inga naturliga förutsättningar för att ett skred ska utbildas. Totalstabiliteten i området bedöms utifrån detta som tillfredställande för befintliga förhållanden och även efter färdigställande av järnvägsanläggningen, men stabilitetsförhållanden behöver beaktas i arbetsskedet.



Figur 4-5. Sektionsmarkeringar med angiven lutning vid sluttningar i lerområde inom påverkansområdet. Förklaring av färger: Röd är berg, orange är lera, gul är sand/grus, grön är isälvssediment.

4.5 Hydrogeologiska förhållanden

4.5.1 Grundvattenmagasin

Inom större delen av påverkansområdet finns det huvudsakliga grundvattenmagasinet i jord i vattenförande lager i morän och/eller sandlager samt i uppsprucken bergyta. Detta utgör ett undre grundvattenmagasin. I lågpartier mellan bergkullar och höjdområden överlagras grundvattenmagasinet av lera och är där ett slutet grundvattenmagasin. Inom dessa områden förekommer även ett öppet grundvattenmagasin i fyllnadsmaterialet som överlagrar leran.

Undantaget från denna uppdelning i ett övre och undre grundvattenmagasin är området mellan Bratteråsberget och Nordviksgatan i öster. Här finns ett större område med isälvssediment (fraktioner från sand till block) i dagen. Det finns också ett antal öppna grundvattenmagasin längre västerut i anslutning till bergsområdena. Dessa områden är viktiga för grundvattenbildningen väster om Krokängsparken.

Under Göta älv finns mäktiga lager av lera som underlagras av friktionsjord. Det undre grundvattenmagasinet längs bansträckningen (se beskrivning ovan) bedöms stå i

kontakt med och vara del av detta friktionsjordslager som finns under leran i Göta älvmrådet.

Längs hela korridoren förekommer i berggrunden grundvatten i öppna spricksystem, som även står i hydraulisk kontakt med grundvattenmagasinet i jordlagren.

4.5.2 Grundvattennivåer

Det huvudsakliga grundvattenmagasinet i jord återfinns i morän och/eller sandlager. Grundvattenmagasinet i jord överlagras av lerlager i större delen av området i lågpartier mellan bergkullar och höjdområden. Utöver detta i huvudsak slutna magasinet i jord, finns ett övre öppet magasin i fyllnadsmassorna.

4.5.2.1 *Pågående långtidsmätningar*

Inom utredningsområdet finns befintliga undermarksanläggningar, vilkas exakta lägen och funktion omfattas av sekretess. Dessa anläggningar har sedan länge påverkat grundvattennivåerna i området. Även Lundbytunneln, norr om området, påverkar vattenbalansen inom tillrinningsområdet. Inom området finns ett antal infiltrationsanläggningar för att normalisera de grundvattennivåer som uppkommer till följd av inläckage till undermarksanläggningarna.

Grundvattennivån varierar mycket över året. Denna årsvariation är relativt väl känd inom aktuellt område eftersom SBK utför långtidsmätningar i några punkter. Den allmänna bilden är att variationen är störst i de högre belägna delarna av avrinningsområdena och något mindre i de lägre delarna, vilket stämmer väl med analyserade data från SBK. Skillnaden mellan de högsta och de lägsta uppmätta grundvattennivåerna är cirka 4-5 meter inom de övre delarna av avrinningsområdet som omfattar Pölsebo (väster om Krokängsberget), Säterigatan och öst om Bratteråsberget (båda belägna öster om Krokängsberget). Motsvarande skillnader är cirka 2-3 meter i de lägre delarna i söder, i närheten av planerad bansträckning. Grundvattenytan bedöms i huvudsak ligga 1-8 meter under markytan i jord och 2-11 meter under markytan i berg.

4.5.2.2 *Mätningar inom detta uppdrag*

Några av punkterna där kvalificerade geotekniska undersökningar nu utförts valdes även för mer omfattande grundvattenmätningar. Grundvattenrör i undre grundvattenmagasin och i övre grundvattenmagasin samt några porttrycksspetsar i mellanliggande lerlager har installerats. Manuella mätningar har utförts för att ge underlag för klarläggande av den nuvarande porttrycksfördelningen i vertikalled genom lerlagren. Mätningarna påbörjade i slutet av november 2017 och har pågått till april 2018 och omfattar borrhöjningarna 4783, 4786, 4788, 5205, 5206 och 5211. Tidigare installerade porttrycksspetsar, i samband med undersökningar för systemhandling har nu också mätningar utförts i, 4035, 5059, 5062 och 5090, se *Figur 2-1*.

4.6 Grundvattennivåer och dess variation

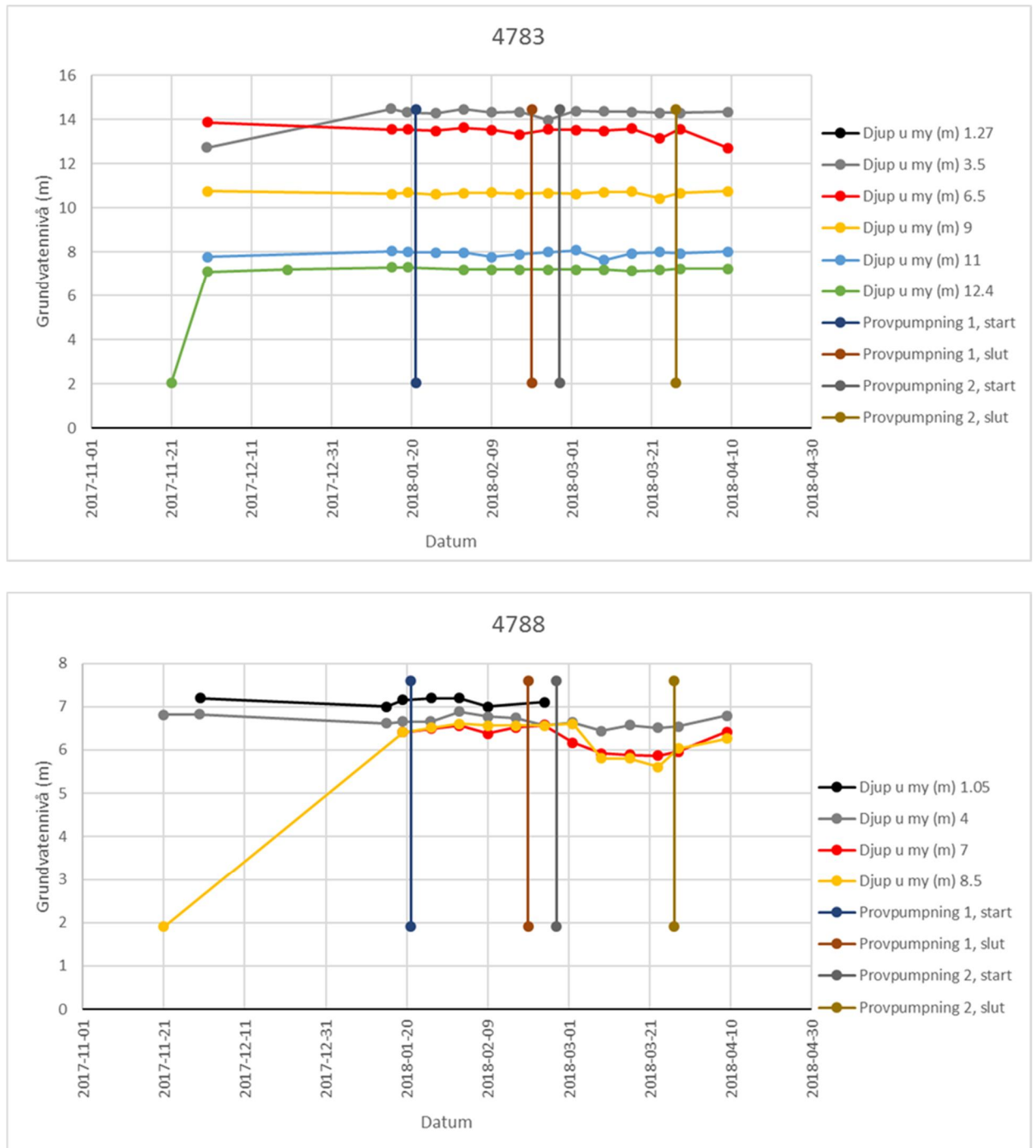
De lokala mätserier som finns för längre tidsperiod ansvarar SBK för. Det finns mätningar sedan 1970 talet för vissa grundvattenrör, som ger ett bra underlag att bedöma grundvattennivåvariationen utifrån. Trafikverkets (TRV) mätdata för Hamnbanan börjar 2012 och fram till början av 2014, såsom det redovisas i MUR

(2014) (*MUR hydrogeologi (108793-18-081-001)*, Sweco). Mätperioden för TRVs borrhål är dock mycket kort i MUR (2014) och trolig variation av grundvattennivåerna är osäkra.

MUR (2014) visar prognosen av min och max grundvattennivåer i SBK:s grundvattenrör, som väl illustrerar förväntad variation av grundvattennivåerna. Grundvattennivåerna bedöms normalt varieras utgående från medelnivå med mellan ± 1 meter och $\pm 1,3$ meter.

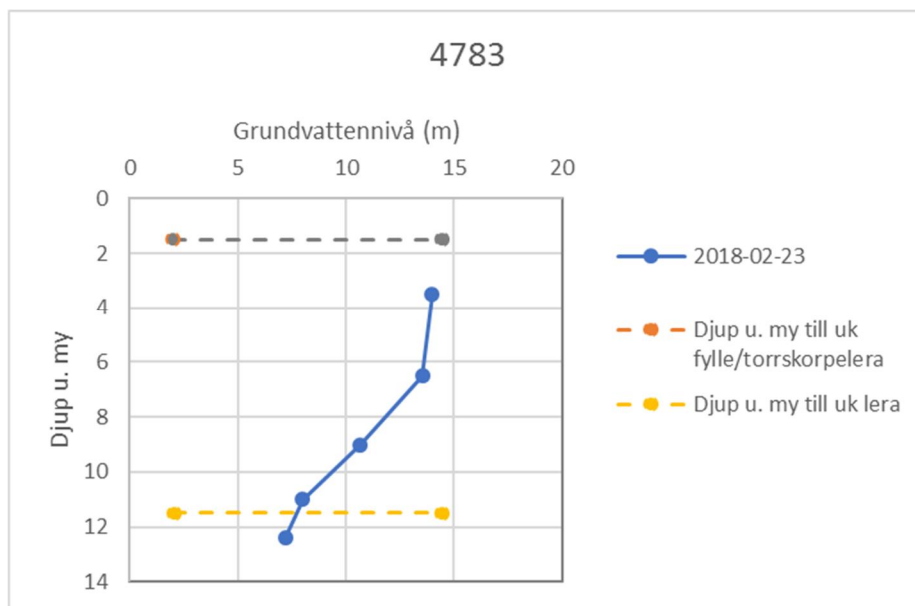
I TRV:s borrhål RO1201, RO1203-R1205 varierar mätta grundvattennivåerna utgående från medelnivå med mellan ± 0.8 meter och ± 1.6 meter. Punkten RO1204 ligger i Pölsebo och övriga mellan Krokängsparken och Bratteråsberget.

Två exempel på de nya mätresultaten av grundvattennivå- och portrycks som utförts inom detta projekt redovisa i Figur 4-6.

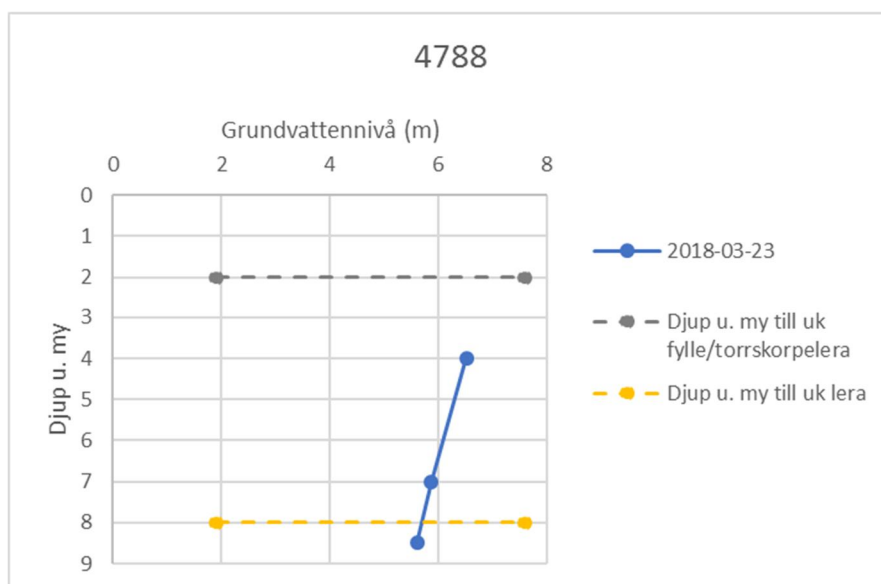
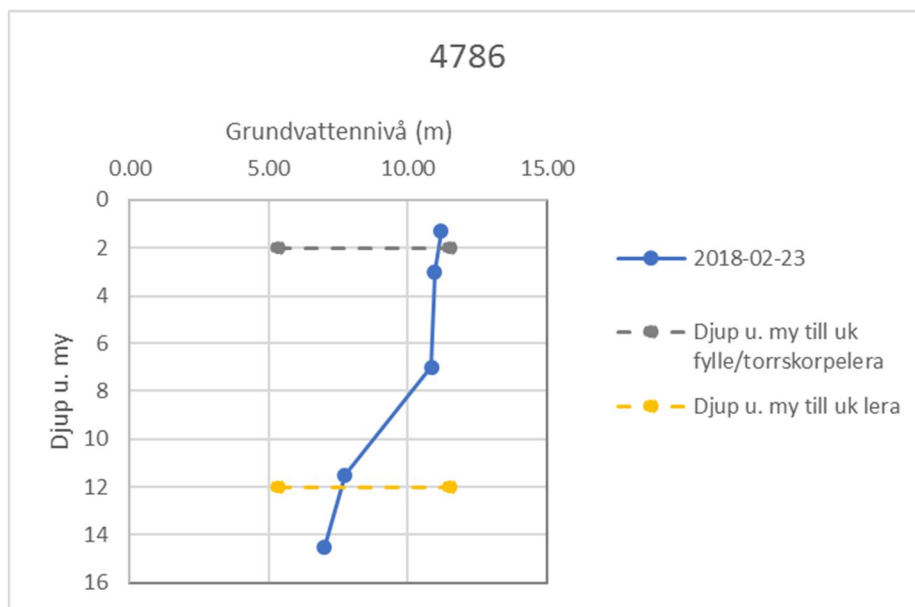


Figur 4-6. Exempel på grundvattnivå och porttrycksmätningar i Bratterås. Nivå-datum på axlarna.

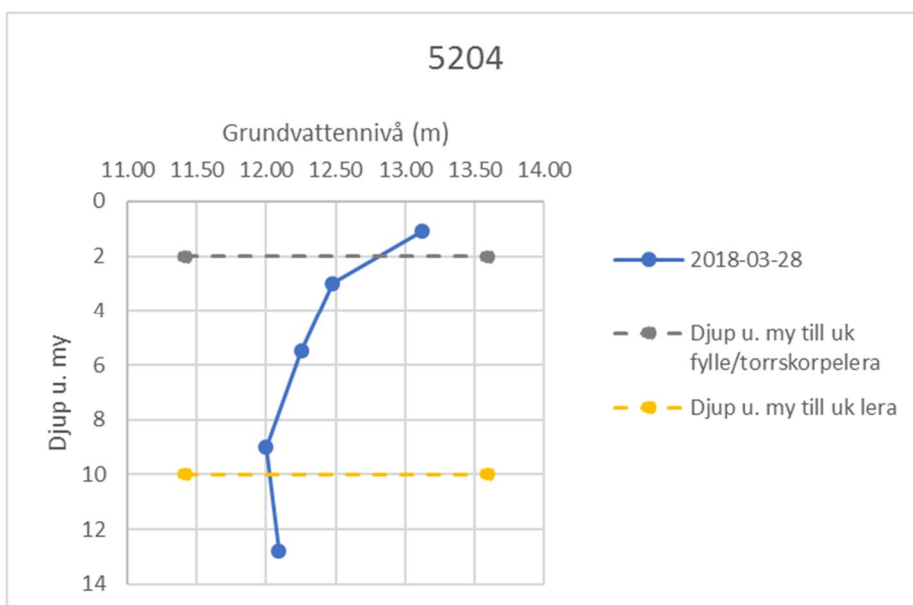
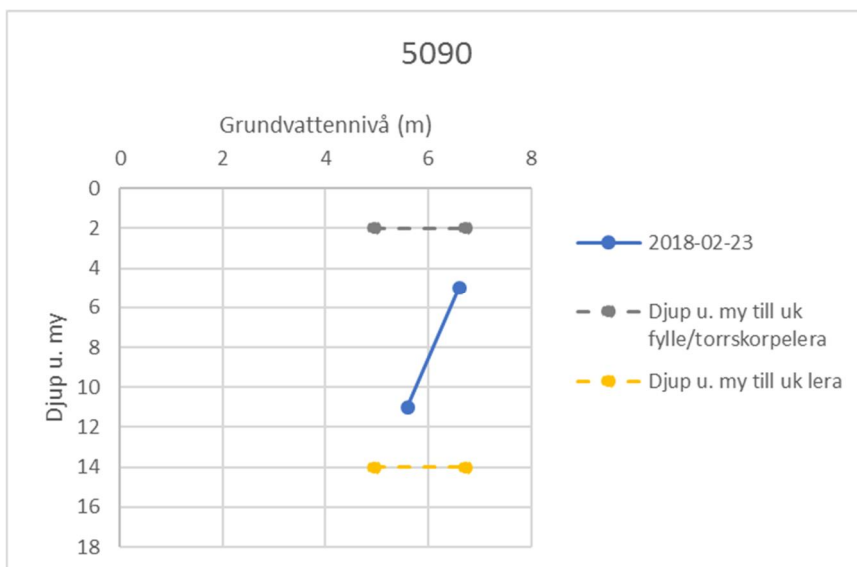
Figur 4-7 till Figur 4-9 visar exempel på tryckprofiler som bedömts stabila. Som framgår av dessa figurer är grundvattenflödet riktat nedåt för alla platser.



Figur 4-7. Grundvattennivå och porttrycksmätningar norr om Bratteråsberget. Nivå-djup på axlarna. Heldragen linje med punkter visar grundvattennivå (head) för det datum som anges i legend. Porttrycksspetsar finns mellan angivna djup för underkant (uk) torrskorpelera och uk lera. Finns grundvattenrör anges filterdel som en punkt över uk torrskorpelera eller under uk lera.



Figur 4-8. Grundvattennivå och porttrycksmätningar mellan Krokängsberget och Bratteråsberget. Nivå-djup på axlarna. Helden linje med punkter visar grundvattennivå (head) för det datum som anges i legend. Porttryckspunkter finns mellan angivna djup för underkant (uk) torrskorpelera och uk lera. Finns grundvattenrör anges filterdel som en punkt över uk torrskorpelera eller under uk lera.



Figur 4-9. Grundvattennivå och porttrycksmätningar i Pölsebo (5090 och 5204). Nivå-djup på axlarna. Helden linje med punkter visar grundvattennivå (head) för det datum som anges i legend. Porttrycksspetsar finns mellan angivna djup för underkant (uk) torrskorpelera och uk lera. Finns grundvattenrör anges filterdel som en punkt över uk torrskorpelera eller under uk lera.

4.6.1 Hydrauliska egenskaper

4.6.1.1 Resultat från fältundersökningar

Som underlag vid framtagande av Systemhandling undersöktes den undre akviferens egenskaper och bland annat genomfördes tre provpumpningar i tre områden: Pölsebo, Krokängsplan samt öster om Bratteråsberget. Resultaten från dessa pumpningar redovisas i *Markteknisk undersökningsrapport (MUR), Hydrogeologi, 108793-18-081-001* från 2014.

Som del av undersökningarna för detta uppdrag har lerans hydrauliska konduktivitet uppskattats från mätningar i laboratorium. Framtaget K-värde antas representativt för såväl den vertikala som den horisontella hydrauliska konduktiviteten.

4.6.1.2 Valda egenskaper för beräkningar

Utifrån fältundersökningar som redovisas i föregående kapitel har rimliga intervall ansatts för den hydrauliska konduktiviteten för det övre öppna grundvattenmagasinet, det underliggande lerlagret och friktionslagret under leran, det undre grundvattenmagasinet. För att kunna beräkna det transienta tryckförloppet i leran när grundvattentrycket sjunker i det undre grundvattenmagasinet måste den specifika magasinskoefficienten (S_s) skattas för leran. För beräkningar har värden nyttjats som härrör från referenser som redovisas i *Batu (1998)* vilka redovisas i *Tabell 4-1*. Den undersökta leran bedöms motsvara Plastic clay, vilket ger något högre specifik magasinskoefficient och en långsammare tryckrespons genom lerlagren jämfört med de andra kategorierna.

Tabell 4-1. Specifik magasinskoefficient för lera (Batu, 1998).

	S_s (1/m)	S_s (1/m)
Plastic clay	2.56E-03	2.03E-02
Stiff clay	1.28E-03	2.56E-03
Medium hard clay	9.19E-04	1.28E-03

Med hänsyn till fältundersökningar och referensvärden för S_s har egenskaper för analytiska simuleringar av grundvattentryckförändringar i leran ansatts enligt Tabell 4-1.

4.6.2 Provpumpningar och observerad påverkan

Det har under 2018 utförts två provpumpningar av Ramböll i området under tiden som undersökningar för detta uppdrag pågått. Pumpbrunnen, för den första pumpningen var placerad strax öster om Bratteråsberget nära planerad järnvägssträckning. Pumpning startade 2018-01-21 och pågick under 4 veckor. Den andra pumpbrunnen, var placerad vid Krokängsparken östra sida nära planerad linjesträckning för järnväg och pumpningen startade 2018-02-26 och pågick under 4 veckor.

Provpumpning öster om Bratteråsberget bedöms ha genererat cirka 0,1 meter avsänkning i punkt 4783, drygt 170 meter från pumpbrunn GW4808, i undre grundvattenmagasin. Någon säker tryckförändring i leran kunde inte observeras.

Provpumpning öster om Krokängsparken ger avsänkningar i undre akviferen efter en månad på cirka 0,95 meter vid 4788 och cirka 0.6 meter vid 4786. Även portrycket sjunker i den portrycksspets som är djupast i 4788. Simulering med Aqtesolv (*HydroSOLVE Inc., 2007*) visar att rimliga hydrogeologiska parametrar valts för leran.

5 Beräkning av grundvattensänkning

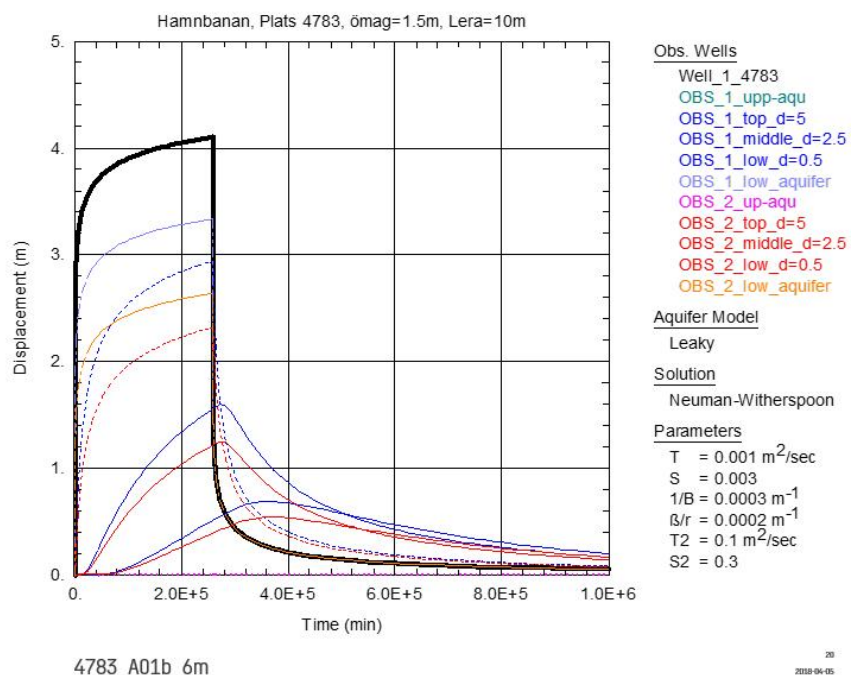
5.1 Beräkningsmetodik vid korttidsavsänkning

Grundvattenavsänkningen har vid korttidsavsänkning antagits till 4 meter från en lokal pumpgrop med radien 3 meter samt att tiden för avsänkningen är en månad.

Analytiska beräkningar har utförts med programmet Aqtesolv (*HydroSOLVE Inc., 2007*) med modell som beskrivs i *Neuman och Witherspoon (1969)*.

I *Figur 5-1* visas ett exempel på simuleringsresultat för en plats och med en egenskapsansatts.

- Plats: 4783
- Avsänkning ca. 4 m
- Ö.mag: Mäktighet ca 1.5 m
- Lera: Mäktighet ca 10m
- U.mag: friktionsmaterial, hög transmissivitet
- GW och PP observationer; m u my: GW-ö, PP-5, PP-2.5, PP-0.5, GW-u
- PP/GW från pumpcentrum: 10 m och 30 m
- $K(\text{Lera})=1\text{E-}9$, $S_s(\text{Lera})=0.002$ ($1/B=3\text{E-}4$, $\beta/r=2\text{E-}4$)
- Pumpstopp efter $2.59\text{E}5$ min, dvs ca 6 månader.
- Återhämtning av tryckprofil: cirka: $1\text{E}6$ min=23 månader



Figur 5-1. Beräkning av trycksänkning i lera och undre akvifer vid pumpning 6 månader i Bratterås, BH 4783. OBS_X_YY_Z: X=1, visas avsänkningar 10 meter från schakt mitt, X=2 visas avsänkningar 30 meter från schakt mitt. Grundvattennivåmätningar: Övre akvifer: OBS_X_upp-aqu, undre akvifer: OBS_X_low_aquifer. Porttryckspetsar: OBS_X_YY_Z: XX: placering, Z: avstånd till underkant lera.

5.2 Beräkningsmetodik vid långtidsavsänkning

Grundvattenavsänkningen har vid långtidsavsänkning antagits till 1 meter utanför en längsgående schakt och med varaktighet under anläggningstiden, 2 till 5 år.

För beräkning av påverkan av grundvattennivån i undre akviferen, som uppkommer vid avsänkning av grundvattennivån i den övre akviferen, har analytiska modeller nyttjats som ger flöden och tryckfördelningar efter det att trycket stabiliserats via spridning genom lerlagren.

5.2.1 Hydrauliska egenskaper för leran

Provpumpningarna 2018 visar att med S_s' låga värde enligt litteraturen ($2 \cdot 10^{-3}$) verkar stämman bättre överens än det höga värdet av S_s' ($2 \cdot 10^{-2}$), det vill säga att tryckresponser är relativt snabba, åtminstone i de undre 1-3 meter av leran.

Simuleringar av en av provpumpningarna visar att rimliga antaganden för de undre delarna av lerlagren har antagits i simuleringarna med 4 meter lokal avsänkning och 1 meter avsänkning för ett långsträckt schakt.

6 Sättningar på grund av grundvattensänkning

En grundvattenavsänkning medför att jordlagren påverkas av en spänningsförändring, vilket innebär en belastning på jorden, som beroende på jordens egenskaper kan ge upphov till sättningar. Sättningarnas storlek är beroende av:

- Grundvattensänkningens storlek i övre respektive undre grundvattenmagasin.
- Belastningens tidsperiod (tiden för grundvattenavsänkningen)
- Lerans sättningsegenskaper¹ (kompressionsegenskaper)
- Lermäktighet.

6.1 Förutsättningar utifrån grundvattensänkning

Sättningar har analyserats utifrån två olika fall av grundvattensänkning, korttidsavsänkning och långtidsavsänkning, se *Kapitel 2.3* där det anges när respektive påverkan kan uppkomma under anläggningstiden.

6.1.1 Korttidsavsänkning

En korttidsavsänkning innebär för sättningsanalysen en avsänkning i det undre grundvattenmagasinet med 4 meter. För att klarlägga vilka sättningar som kan uppkomma av grundvattensänkningen har beräkning utförts för två avstånd, 10 meter och 30 meter, från en antagen pumpgrop. Tiden för avsänkningen har i beräkningarna satts till 6 månader för att sedan grafiskt utläsa uppkomna sättningar för en kortare avsänkningstid.

Varaktigheten på grundvattensänkningen, återhämtningstiden efter återställande av grundvattennivån och magnituden av grundvattensänkningen i lerprofilen beror på den specifika magasinskoefficienten för lerlagret, beskriven i *Kapitel 4.6.1.2*. För spänningssituationen vid korttidsavsänkning har två olika magasinskoefficienter (S_s) undersökts för samtliga beräkningar.

¹ Kompressionsegenskaperna erhålls från laboratorieanalys där belastningsförsök, CRS, utförs på ostörda lerprover. Bland annat tas då förkonsolideringstryck fram vilket visar om leran kan tåla någon ytterligare belastning innan sättningar uppkommer.

6.1.2 Långtidsavsänkning

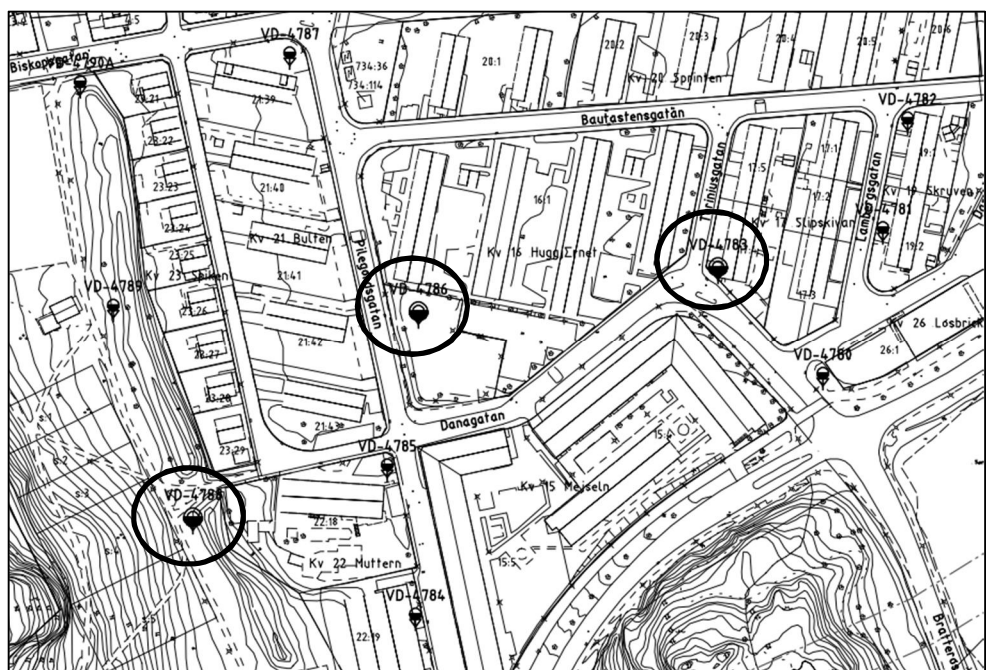
En långtidsavsänkning innebär för sättningsanalysen en grundvattensänkning vid en långsgående öppen schakt med 1 meter i det övre grundvattenmagasinet under hela anläggningstiden. Grundvattensänkningen 1 meter ($s=1,0$) har en full påverkan utanför spontlinjen inom 100 meter i Bratterås och 10 meter i Pölsebo. Därifrån sjunker grundvattenpåverkan successivt ut mot gränsen för påverkansområdet ($s=0,3$). Sättningsberäkningarna har utförts för förutsättningen om största möjliga påverkan, vilket innebär att sättningarna blir mindre utanför området med full påverkan, än beräknat. I beräkningsmodellen har det konservativt antagits att grundvattensänkningen får fullt genomslag efter 1 år från lera överkant till lera underkant, vilket innebär en belastning med 10 kPa i hela lerprofilen, vid lerdjup upptill 10 m. För större lerdjup bedöms det emellertid ta längre tid än 1 år för grundvattensänkningen att påverka hela lerprofilen.

Söder om befintlig järnväg där större lerdjup än 20 meter finns tar det därför längre tid än vad som antagits vid beräkningarna för lera att påverkas av en grundvattenavsänkning. Grundvattenavsänkningens påverkan minskar dessutom successivt ut från schakten. Sättningsberäkningar har inte utförts för dessa områden då bedömningen, utifrån ovan och att jordlagren utgörs av mäktiga täta lerlager, är att påverkan kan anses som marginell. Den nu analyserade långtidsavsänkningen under anläggningstiden är för mäktiga lerlager som finns i söder ur ett sättningsperspektiv relativt kortvarig.

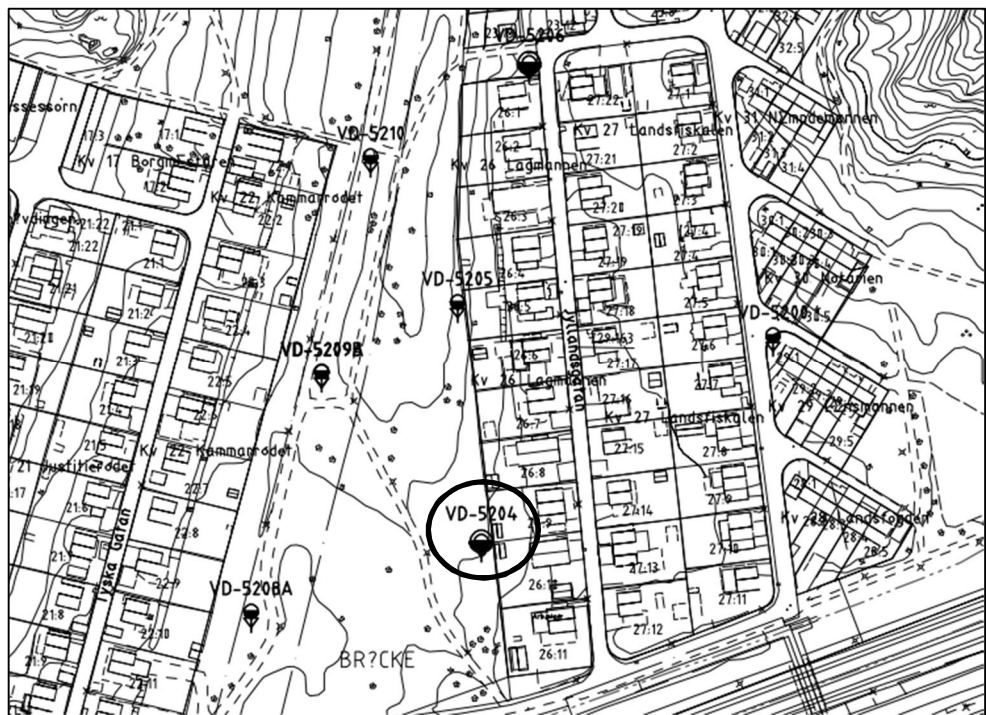
6.2 Spänningsanalys

6.2.1 Analyserade punkter

Ett urval av undersökningpunkterna inom delområdena har använts för spänningsanalys och sättningsberäkning. *Figur 6-1* och *Figur 6-2* ger en översiktsbild över utförda undersökningar samt betraktade punkter för sättningsanalyser i Bratterås respektive Pölsebo. De betraktade punkterna är 4783, 4786, 4788 och 5204. Punkterna betecknade 4xxx är belägna i delområdet Bratterås, 5xxx i Pölsebo.



Figur 6-1. Översiktsplan över utförda undersökningar samt betraktade punkter för spänningsanalys i Bratterås.



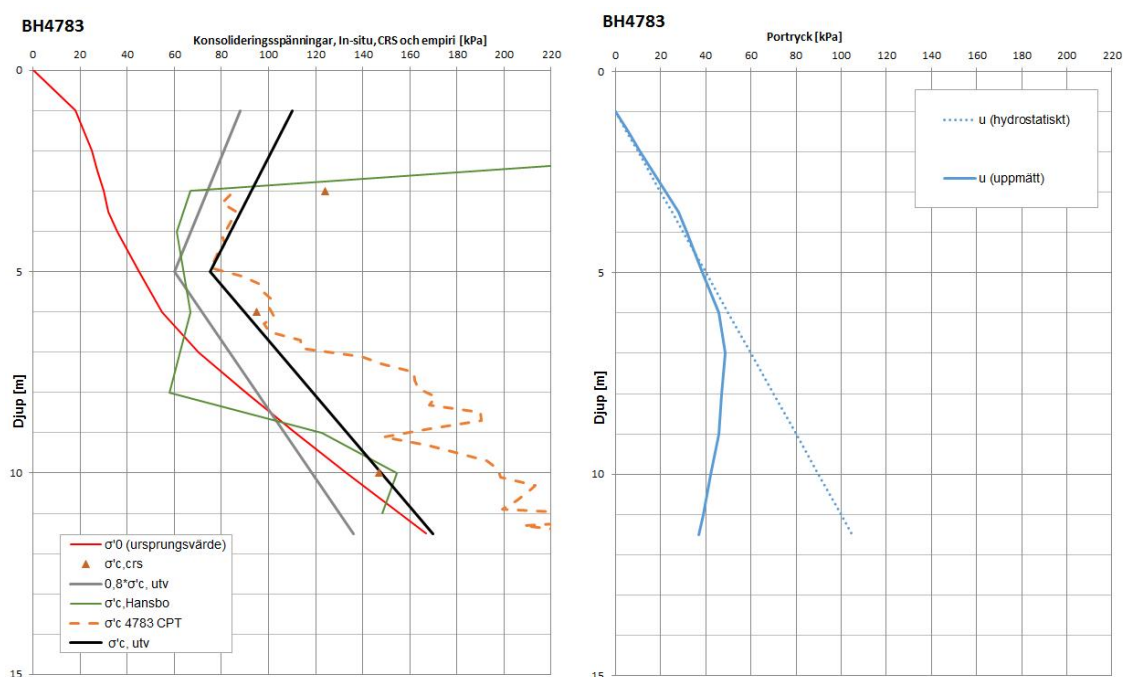
Figur 6-2. Översiktsplan över utförda undersökningar samt betraktad punkt för spänningsanalys i Pölsebo.

6.2.2 Beskrivning av analyser

I följande avsnitt visas för utvalda punkter spänningsdiagram före grundvattensänkning, samt med beskrivande text gällande situationen efter grundvattensänkningarna.

6.2.3 BH 4783, norr om Bratteråsberget

I aktuell provtagningspunkt finns under fyllning cirka 12 meter lera på friktionsjord. *Figur 6-3* nedan redovisar aktuellt spänningsdiagram. Portrycket är avsänkt med cirka 60 kPa vid underkant lera i förhållande till hydrostatiska förhållanden. Leran är normal- till svagt överkonsoliderad för denna spänningsbild. Inga primära konsolideringssättningar pågår enligt det utvärderade förkonsolideringstrycket, krypsättningar bedöms pågå från cirka 8,5 meters djup.



Figur 6-3. Spänningssituation för nuvarande förhållanden, borrhål 4783.

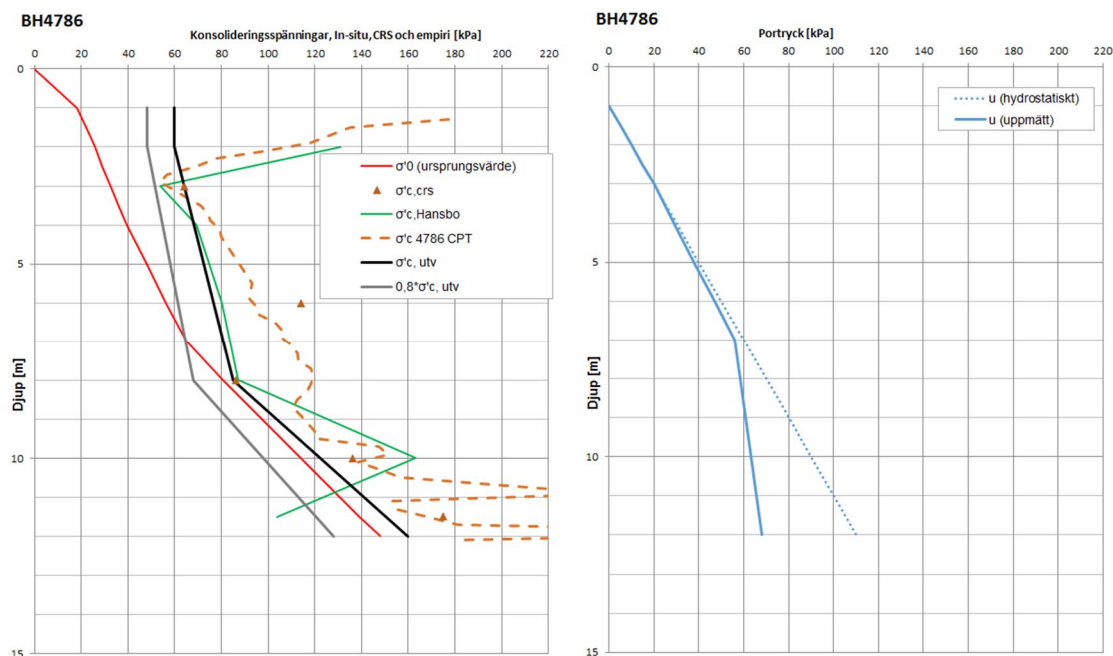
Om leran utsätts för korttidsavsänkningen utbildas, i en punkt cirka 10 meter från pumpgroppen, krypsättningar från cirka 7,5 meters djup med tiden, och primära konsolideringssättningar från cirka 9,5 meters djup. Beräkningar visar att sättningspåverkan blir marginell vid 1 månads avsänkning.

Då leran påverkas av långtidsavsänkningen utbildas krypsättningar med tiden från cirka 7,5 meters djup. Primära konsolideringssättningar utbildas från cirka 11 meters djup.

6.2.4 BH 4786, norr om Krokängsplan

I aktuell provtagningspunkt finns under fyllning 12 meter lera på friktionsjord. *Figur 6-4* nedan redovisar aktuellt spänningsdiagram. Portrycket är avsänkt med cirka

40 kPa vid underkant lera i förhållande till hydrostatiska förhållanden. Leran är normal- till svagt överkonsoliderad för denna spänningssbild. Inga primära konsolideringssättningar pågår enligt det utvärderade förkonsolideringstrycket, krypsättningar pågår från cirka 7 meters djup.



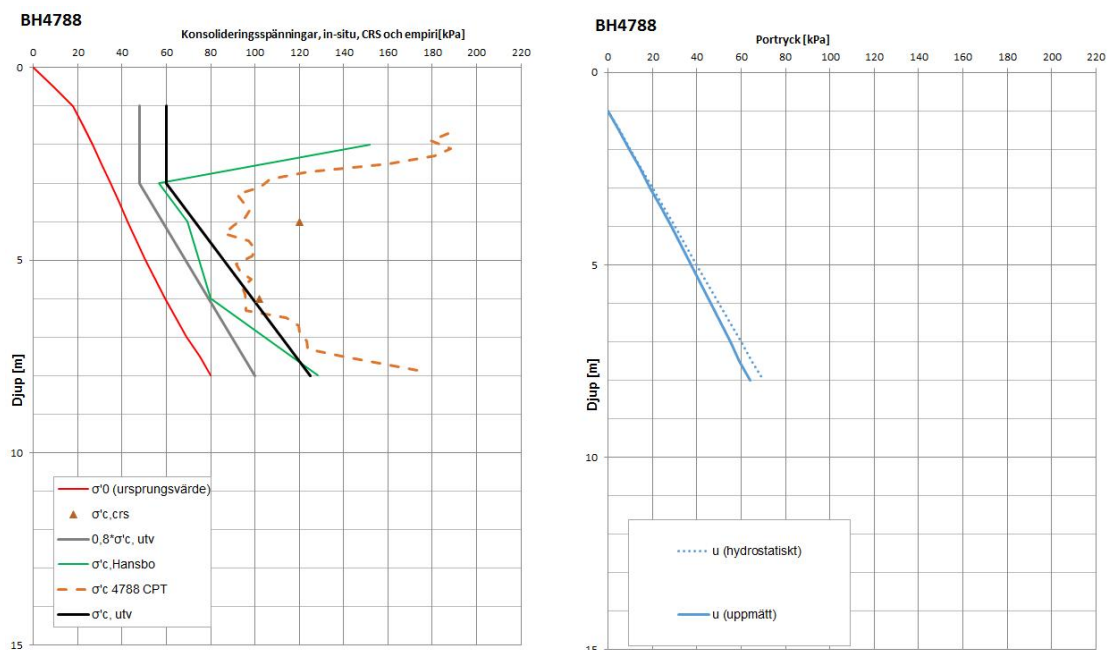
Figur 6-4. Spänningssituation för nuvarande förhållanden, borrhypunkt 4786.

Om lera utsätts för korttidsavsänkningen utbildas, i en punkt cirka 10 meter från pumpgropen, krypsättningar från cirka 5 meters djup med tiden, och primära konsolideringssättningar från cirka 7 meters djup. Beräkningar visar att sättningspåverkan blir marginell vid 1 månads avsänkning.

Då lera påverkas av långtidsavsänkningen utbildas krypsättningar med tiden från cirka 5 meters djup. Primära konsolideringssättningar utbildas från cirka 7,5 meters djup.

6.2.5 BH 4788, norr om Krokängplan vid bäckravin

I aktuell provtagningspunkt finns under fyllning cirka 7 meter lera på friktionsjord. Figur 6-5 nedan redovisas aktuellt spänningsdiagram. Pörtrycket motsvarar i princip hydrostatiska förhållanden. Lera är överkonsoliderad med 20-40 kPa. Inga primära konsolideringssättningar och krypsättningar pågår enligt det utvärderade förkonsolideringstrycket.



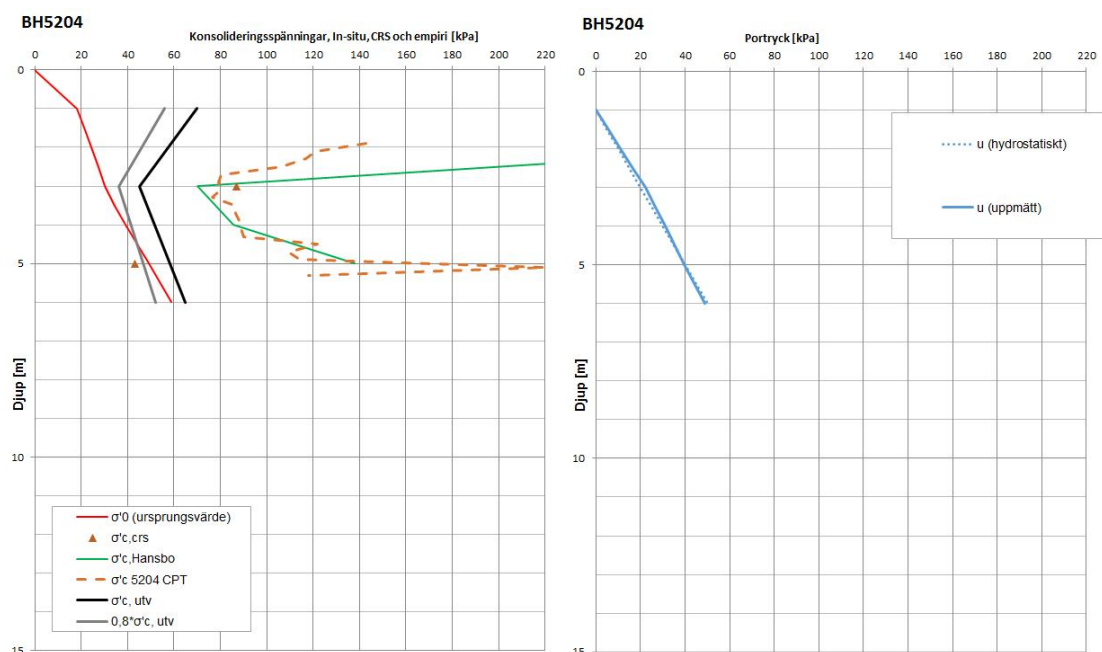
Figur 6-5. Spänningssituation för nuvarande förhållanden, borrhål 4788.

Om leran utsätts för korttidsavsänkning utbildas, i en punkt cirka 10 meter från pumpgroppen, krypsättningar från cirka 5,5 meters djup med tiden, men inga primära konsolideringssättningar. Beräkningar visar att sättningspåverkan blir marginell vid 1 månads avsänkning.

Då leran påverkas av långtidsavsänkning utbildas varken primärsättning eller krypsättningar.

6.2.6 BH 5204, Pölsebo

I aktuell provtagningspunkt finns under fyllning cirka 6 meter lera på friktionsjord. Figur 6-6 nedan redovisar aktuellt spänningsdiagram. Leran är normal- till svagt överkonsoliderad. Inga primära konsolideringssättningar pågår enligt det utvärderade förkonsolideringstrycket, krypsättningar pågår från cirka 5 meters djup.



Figur 6-6. Spänningssituation för nuvarande förhållanden, borrhål 5204.

Om leran utsätts för korttidsavsänkning utbildas, i en punkt cirka 10 meter från pumpgroppen, krypsättningar från cirka 3 meters djup med tiden, och primära konsolideringssättningar från cirka 4 meters djup. Beräkningar visar att sättningpåverkan blir marginell vid 1 månads avsänkning.

Då leran påverkas av långtidsavsänkning utbildas krypsättningar med tiden från cirka 3 meters djup. Primära konsolideringssättningar utbildas från cirka 5 meters djup.

6.2.7 Sammanfattning spänningsanalys

Bedömningen är att vald överkonsolidering för beräkningarna, som påverkar både de primära och sekundära sättningarna är konservativt valda. Känslighetsanalys har därför utförts med något mindre konservativa värden för att analysera dess påverkan på sättningarna.

6.3 Beräkningar

Sättningarnas storlek i en viss punkt beror på en rad olika faktorer såsom den lösa lerans mäktighet, eventuellt pågående sättningar i delområdena, belastningshistorik och storleken på den eventuella grundvattensänkning. Även avståndet från schakten har stor inverkan.

Osäkerheter i varierande grad förekommer för samtliga ingående parametrar, därför har konservativa val av ingångsdata utförts för såväl grundvattenpåverkan som lerans egenskaper, tillsammans med känslighetsanalys.

Men eftersom hela påverkansområdets belastningshistorik totalt sett inte är känd, som eventuella tidigare grundvattensänkningar eller belastningar, skulle sättning kunna bli såväl större som mindre än vad som är beräknat.

Beräkningsparametrar har därför valts konservativt och därför bedöms inte sättningarna att överskridas utan snarare bli mindre.

Sättningar som beräknats i detta PM baseras på den grundvattensänkning som förväntas uppkomma förutsatt att vidare åtgärder, som kompletterande tätning eller infiltration, inte genomförs.

6.3.1 Allmänna förutsättningar

Sättningsberäkningar har utförts med Geosuite Settlements med beräkningsmetodiken Chalmers with creep samt Chalmers without creep för de båda lastfallen korttidsavsänkning och långtidsavsänkningen.

De redovisade resultaten är sättningsberäkningar baserad på analyserade parametrar i enstaka borrhål samt den antagna grundvattensänkningen. Lokala variationer kan förekomma inom områdena, med avseende på lerans mäktighet och egenskaper.

6.3.2 Jordlagermodell vid sättningsberäkning

Områdets jordlagerföljd, där sättningskänslig lera förekommer, har generaliserats till; Fyllnadsjord/Torrskorpelera – Lera – Friktionsjord – Berg.

En modell som beskriver över och underkant för den sättningskänsliga leran har upprättats baserat på genomförda sonderingar i området.

6.3.3 Beräkningsresultat

Sättningsberäkningar har utförts i punkter där kolvprovtagning har genomförts för aktuell grundvattenpåverkan för aktuell anläggningstid. Sambandet mellan lermäktighet och sättning antas vara proportionellt för lermäktigheter lika med eller mindre än djupen i undersökningspunkterna, max 10-12 m.

För delområdet Bratterås har sättningsberäkningar utförts i de 3 redovisade punkterna. Sättningsberäkningen som utförts för punkterna inom delområdet har skiljts sig något åt, vilket i huvudsak beror på skillnader i uppmätt portryck. Att det uppmätta portrycket skiljer sig från ett hydrostatiskt portryck indikerar en pågående nedåtriktad vertikal dränering, som kan vara orsakad av till exempel ledningsgravar eller dylikt som kan dränera området. I Bratterås har den beräkning som visar på störst sättning använts vid redovisning av sättningar relaterade till lermäktighet inom hela delområdet. Det innebär att redovisade sättningar kan antas vara konservativt beräknade.

6.3.3.1 Beräknade sättningar vid Korttidsavsänkning

Sättningsberäkningen har utförts för en grundvattensänkning som varar i 6 månader. Sättningar efter 1 månad och 3 månader har grafiskt interpolerats fram utifrån beräkningen för 6 månader.

Beräknad sättning [cm] vid olika lerdjup för korttidsavsänkning (4 meter), <u>Bratterås</u>						
Avstånd från schaktlinje	10 meter från pumpgrop			30 meter från pumpgrop		
Pumptid	1 månad	3 månader	6 månader	1 månad	3 månader	6 månader
Lerdjup						
1 meter	<1	<1	<1	-	-	-
3 meter	<1	<1	1,5	-	-	1
5 meter	<1	1,3	2,5	-	<1	1,5
6 meter	<1	1,5	3,0	-	1	1,8
7 meter	<1	1,8	3,5	-	1,1	2,1
9 meter	<1	2,3	4,5	-	1,4	2,7
11 meter	<1	2,8	5,5	-	1,7	3,3

Beräknad sättning [cm] för olika lerdjup för korttidsavsänkning (4 meter), <u>Pölsebo</u>						
Avstånd från schaktlinje	10 meter från pumpgrop			30 meter från pumpgrop		
Pumptid	1 månad	3 månader	6 månader	1 månad	3 månader	6 månader
Lerdjup						
1 meter	<1	<1	1,1	-	-	1
3 meter	<1	2,4	3,4	-	1,6	2,3
5 meter	<1	3,9	5,6	-	2,6	3,8
6 meter	1,1	4,7	6,8	<1	3,2	4,5

Tabellerna visar att begränsas öppethållandetiden av schakten till 1 månad, motsvarande förslag på villkor 5 i vattenverksamhetsansökan, är den beräknade sättningen mindre än 1,1 centimeter.

6.3.3.2 Beräknade sättningar vid Långtidsavsänkning

Sättningsberäkning för långtidsavsänkning har utförts med antagandet att det tar cirka 1 år för lerans tryckprofil att utjämnas. En begränsning på sex år har satts för beräkning, men ingen återhämtningstid har tagits hänsyn till då varaktigheten för grundvattensänkningen inte är bestämd. Det vill säga, ingen återställning av grundvattennivån har tagits med i beräkningen.

Beräknad sättning [cm] för olika lerdjup för långtidsavsänkning (1 m), Bratterås						
	Tid					
Lerdjup	1 år	2 år	3 år	4 år	5 år	6 år
1 meter	0,3	0,6	0,7	0,7	0,8	0,8
3 meter	0,9	1,7	2,0	2,1	2,3	2,4
5 meter	1,5	2,8	3,3	3,5	3,8	4,0
6 meter	1,8	3,3	3,9	4,2	4,5	4,8
7 meter	2,1	3,9	4,6	4,9	5,3	5,6
9 meter	2,7	5,0	5,9	6,3	6,8	7,2
11 meter	3,3	6,1	7,2	7,7	8,3	8,8

Beräknad sättning [cm] för olika lerdjup för långtidsavsänkning (1 m), Pölsebo						
	Tid					
Lerdjup	1 år	2 år	3 år	4 år	5 år	6 år
1 meter	<1	<1	<1	<1	<1	<1
3 meter	1,9	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6
5 meter	3,1	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4
6 meter	3,8	5,3	5,3	5,3	5,3	5,3

Schakt hålls sannolikt inte öppen mer än 2 år inom respektive delområde. Det innebär att de beräknade sättningarna i Bratterås uppgår till cirka 6 centimeter och i Pölsebo till cirka 5 centimeter.

6.4 Känslighetsanalys

Känslighetsanalys för sättningsberäkningar har utförts för både korttidsavsänkning och långtidsavsänkning. Ett antal parametrar har undersökts för att se deras påverkan på den totala sättningen.

För korttidsavsänkningen har den specifika magasinskoefficienten identifierats som den känsligaste parametern, det vill säga hur snabbt trycksänkningen påverkar lerprofilen efter grundvattensänkningen. Det har bedömts att denna parameter inte kan bestämmas noggrannare med hänsyn till underlaget, därav har ett konservativt val antagits av den specifika magasinskoefficienten.

För långtidsavsänkningen var krypmotståndstalet och förkonsolideringstrycket de känsligaste parametrarna. Ett konservativt val av förkonsolideringstrycket utfördes för ursprungsanalysen, där av valdes ett högre förkonsolideringstryck i känslighetsanalysen för att se effekten på sättningsstorleken. För krypmotståndstalet ansattes ett lägre tal i känslighetsanalysen, vilket då resulterar i större sättningar. Dock har parametrarna inte en stor påverkan på resultatet, speciellt inte krypmotståndstalet.

Resultat från känslighetsanalyserna och ursprungsanalysen ger ett spann för sättningarnas storlek. Vald redovisad sättning för både korttids- och långtidsavsänkningen är i det övre spannet, vilket är den som redovisas i tabellerna ovan. Det innebär för andra mindre konservativa val av beräkningsförutsättningar blir sättningarna mindre.

7 Risk- och konsekvensbedömning

Inom påverkansområdet finns det ett antal byggnader och anläggningar med varierande grundläggningssätt. Sättningar skulle som en konsekvens av grundvattensänkningar kunna innebära att det för byggnader och anläggningar finns risk för att skador kan uppstå.

7.1 Inventering av grundläggningsförhållanden

Inventering av fastigheter inom påverkansområdet visar på varierande grundläggningssätt vilket innebär att de är olika känsliga för sättningar som kan uppkomma. Inventerade byggnader finns redovisade i *Bilaga 1.1*.

7.2 Risker för skyddsobjekt

Skador på grund av sättningar uppkommer främst när sättningsskillnaden, differenssättningen, blir för stor i förhållande till vad byggnaden eller anläggningen tål. Generellt vid grundvattenpåverkan beror sättningsstorleken av lermåktigheterna. Det innebär att vid homogena lerdjup blir eventuella sättningarna jämna vilket medför att inga sättningsdifferenser uppkommer för oförstärkta objekt. Sättningspåverkan blir då i samma omfattning för såväl byggnader som omgivande mark och ledningar och skaderiskerna bedöms som relativt små.

Det är i huvudsak där variationer i lerdjup eller grundläggningsförhållanden finns som sättningsdifferenser uppkommer, vilket kan skapa problem eller ge skador. Pålade objekt påverkas inte av sättningar, medan anslutande mark som sätter sig kan innebära skador på ledningar och problem med anslutningar.

För markförlagda ledningar kan inhomogena lerdjup eller delvis grundförstärkta anläggningar där sättningsdifferenser uppkommer orsaka sämre flödesförutsättningar, eller brott på ledningar.

De skadliga effekterna på undermarksanläggningar och byggnader är svåra att prognosticera och förutsäga, eftersom det förutom sättningsdifferenserna och grundläggningssätt även beror på robustheten för anläggningen samt skicket.

För korttidsavsänkning av grundvattnet är förväntade sättningar så små att inga skyddsobjekt har identifierats.

För långtidsavsänkningen kan förväntade sättningar bli större men de bedöms i huvudsak som relativt små ur ett skadeperspektiv. Skyddsobjekt som har identifierats visas i *Bilaga 1.3*.

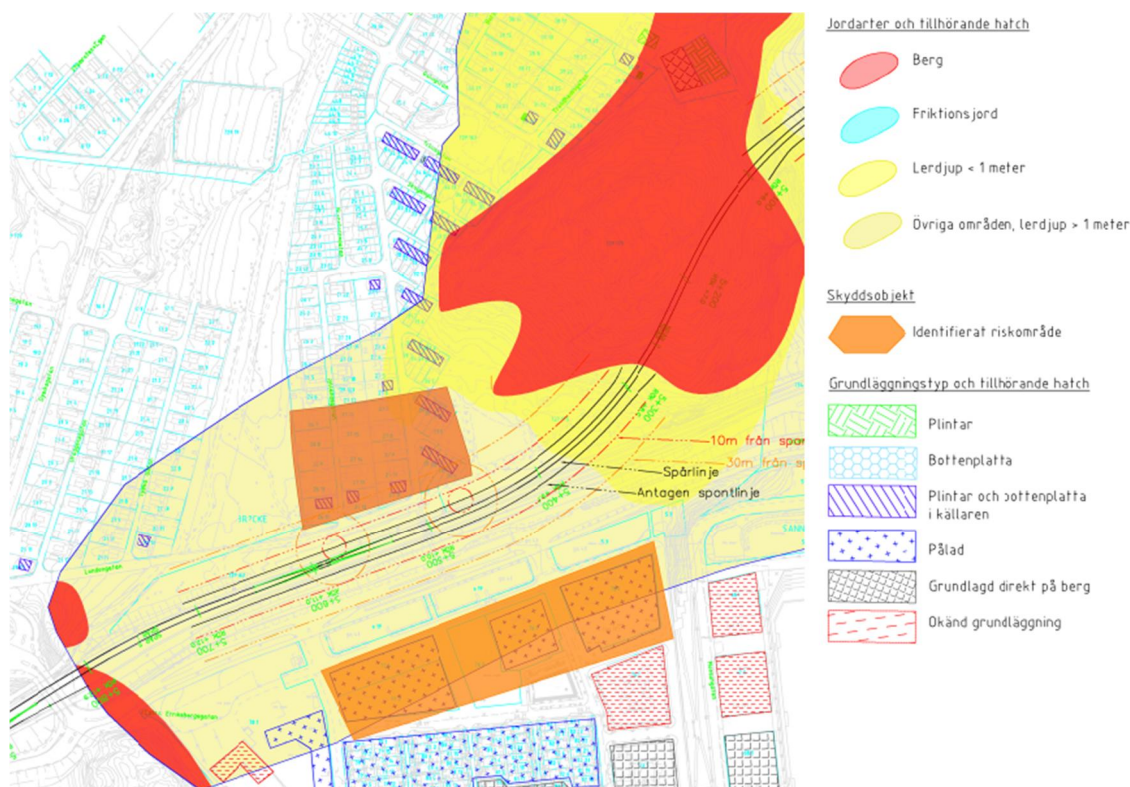
Risker med sättningar för skyddsobjekt relaterat till grundvattensänkning kan minskas genom begränsning av de öppna schakternas längder. Det innebär att påverkansområdet i öster minskar om schakterna väster respektive öster om Bratteråsberget inte utförs samtidigt. Påverkansområdet minskas ytterligare om respektive schakt delas upp i mindre schaktetapper där grundvattnet får återgå mot normala nivåer innan nästa etapp påbörjas. Schakterna väster och öster om Krokängsberget har dock ingen påverkan på varandra (under förutsättning att inte långtidsavsänkningarna blir väsentligt större än antagna 1 m). Det innebär att schakt i Pölsebo är oberoende av schakterna öster om Krokängsberget.

I figurer nedan redovisas identifierade riskområden med ett antal skyddsobjekt samt grundläggning av byggnader inom hela det hydrauliska påverkansområdet. Riskområdena är belägna närmast planerad järnvägslinje och omfattar inte hela det hydrauliska påverkansområdet.



Figur 7-1. Översiktsskarta Bratterås med identifierat riskområden, se även *Bilaga 1.3*.

I Figur 7-1 visas att skyddsobjekten i huvudsak finns norr om planerad järnväg. Byggnadernas grundläggningstyp varierar men pålgrundläggning är dominerande. Riskerna är främst kopplade till mark- och ledningsanslutningar till de pålgrundlagda byggnaderna. För de plattgrundlagda byggnaderna finns risk för sättningsdifferenser på grund av varierande lerdjup. Söder om planerad järnvägslinje har endast ett skyddsobjekt identifierats. Byggnaden är till stora delar pålgrundlagd men har en plattgrundlagd tillbyggnad.



Figur 7-2. Översiktsskarta Pölsebo med identifierat riskområden.

I Figur 7-2 visas att skyddsobjekt finns så väl norr som söder om järnvägen. I norr finns plattgrundlagda småhus för vilka det kan finnas risk för sättningsdifferenser på grund av något varierande lerdjup i huslägen. Byggnaderna i söder är pålgrundlagda och riskerna är främst kopplade till mark- och ledningsanslutningar till byggnaderna.

Utifrån de resultat som beräknats är sättningarna som kan uppkomma utgående från grundvattenpåverkan under anläggningstiden relativt små och bedömningen är att dessa sättningar inte orsakar skador på byggnader och anläggningar. Dock finns problematik med att bedöma den totala risken om det redan finns en påverkan innan anläggningsarbeten påbörjas, så att ytterligare sättning, även om de är små, ändå kan försämra och ge upphov till skada.

7.3 Möjliga åtgärder

För att minska risken av att sättningar uppkommer kan åtgärder vidtas så att grundvattennivåerna i området upprätthålls under byggskedet. Detta kan ske genom krav på täthet av sponter så att inläckaget begränsas samt att eventuellt även infiltration utförs för att återställa grundvattennivåerna. Båda dessa åtgärder behöver sannolikt utföras för att grundvattennivåerna ska upprätthållas helt. Omfattningen av åtgärder samt effekten av åtgärderna behöver krav ställas samt styras med ett anpassat kontrollprogram.

Märk att där tätspont nyttjas kan den beroende på utformning orsaka dämning av grundvattnet uppströms spanten. Det kan medföra att pumpning kan behövas norr om

spontlinjen med återinfiltration söder om för att hålla grundvattennivåerna inom gränser för att förhindra skador.

7.4 Kontrollprogram

Vattenverksamhetsansökan för Hamnbanan innehåller förslag till kontrollprogram omfattande bland annat grundvattennivåmätning, flödesmätningar och rörelsemätningar (108793-18-080-201_Vattenverksamhet_Kontrollprogram). Utredningen i detta PM indikerar att detta även behöver omfatta porttrycksmätning i leran och att det bör införas i det kontrollprogram som tas fram inför byggskedet och som fastställs i samråd med tillsynsmyndighet. Det är framförallt strax ovan lerans underkant mätning behöver utföras.

Ur kontrollsynpunkt är de mätbara effekterna av ett inläckage till schakt (= *påverkan enligt miljöbalken*). Påverkan (inläckage i schakt) ger en effekt, eller en serie av effekter som följd av varandra (grundvattensänkning → porttryckssänkning → sättning), som leder till en konsekvens (effektens följd eller verkan på något, tex skada på skyddsobjekt) förskjutet i tid beroende på den effekt som avses; grundvatten-, porttryck- eller rörelsemätning. Första indikation på en effekt är att grundvattentrycket i undre grundvattenmagasin sjunker vilket sker relativt snabbt vid en avsänkning. Det tar längre tid för nästa effekt ska visa sig genom sänkta porttryck och ytterligare längre tid innan rörelser (sättningar) uppkommer. Det innebär att det finns tid att upprätta relevanta skyddsåtgärder då indikation på sänkta porttryck börjar uppkomma.

7.4.1 Porttrycksmätningar

Befintliga undersökningspunkter med installerad porttryckspetsar för manuell avläsning kan nyttjas för mätning under byggskedet. Borrhålen 4783, 4786, 4788 samt 5204, norr om planerad järnvägslinje, samt borrhål 5090, söder om Krokängsplan.

Som komplement till dessa installeras minst 2 månader före arbeten som påverkar grundvattennivån i området ytterligare minst 4 porttryckspetsar med kontinuerlig dataloggning av mätvärden. Spetsarna installeras 1-2 meter ovan det underliggande friktionsjordslagret. I dessa punkter installeras även grundvattenrör i undre magasinet.

7.4.1.1 Inledande mätningar

Mätningar utförs vid minst tre tillfällen i de manuella spetsarna innan anläggningsarbeten som kan påverka grundvattnet i området påbörjas. Mätningfrekvensen ska för dessa mätningar vara mellan 20 till 60 dagar och ska tillsammans med nu utförda mätningar utgöra referensvärde att utgå från. Om misstanke finns att någon porttryckspets inte är i funktion ska ny spets installeras.

De dataloggade spetsarna funktionskontrolleras och analyseras så att referensvärden erhålls även för dessa vid samma mättillfällen som för de manuella.

7.4.1.2 Anläggningsskede

Manuella mätningar utförs minst 1 gång/månad då även de dataloggade spetsarna analyseras.

I kritiska skeden av byggskedet när risken för större inflöden till schakt/tunnlar bedöms föreligga minskas mätintervall till 1 gång/vecka för ett urval av kontrollpunkter som anses betydelsefulla.

7.4.1.3 *Driftskede*

Trafikverket föreslår innan driftskede vilka punkter som ska ingå i kontrollprogram och vilken mätfrekvens som erfordras utifrån erhållna resultat.

7.4.1.4 *Åtgärder*

Om mätningar visar att portrycket har sjunkit under den nivå som anges i kontrollprogrammet ska åtgärd enligt kontrollprogrammet utföras. Utgångspunkten är att inte porttrycksnivån ska underskridas utgående från referensmätningar, så att risk för att skada uppkommer minimeras.

Vid misstanke om att röret inte fungerar ska resultaten kontrolleras och utredas behov av om ny spets ska installeras. Kontroll sker genom att uppmätta resultat jämförs mot förväntade resultat, vilka bygger på såväl historiska nivåer som prognosticerade nivåer. Även en jämförelse med omgivande spetsar och grundvattenrör utförs. Funktionskontroll ska utförligt beskrivas i kontrollprogram.

Om kontrollpunkt skadas, t.ex. blir påkörd av fordon, ska kontrollpunkt ersättas och installeras enligt vedertagen praxis.

7.4.2 *Rörelsemätningar*

Rörelsemätning finns sedan tidigare angivet i förslag till kontrollprogram och där beskrivet i allmänna ordalag. Uppföljning och kontroll av rörelser som skulle kunna orsakas av sättningar på grund av grundvattensänkning beskrivs nedan.

Rörelsemätningars lägen och mätfrekvens ska anges i det kontrollprogram som tas fram inför byggskede samt driftskede och som fastställs i samråd med tillsynsmyndighet.

7.4.2.1 *Inledande mätningar*

Före anläggningsarbeten påbörjas behövs inventering och besiktning av byggnader utföras, samt andra anläggningars status, vad avser eventuella sättningsskador. Detta utförs inom ett minsta avstånd från spontlinje av 100 meter i Bratterås och 30 meter i Pölsebo. Känsliga skadeobjekt utifrån sättningsberäkningar samt byggnader framtagna från inventeringen förses inom påverkansområdet med sättningsdubb.

Innan anläggningsarbeten påbörjas utförs minst tre mätningar fördelade över period som bestäms i samråd med tillsynsmyndighet, för att referensvärde ska erhållas.

Mätning utgörs av precisionsavvägning av de mätpunkter som kontrollprogrammet omfattar; dubbar på byggnader, markpegel, markförlagda konstruktioner brunnslöck etc. Mätning utförs enligt normal standard för infrastrukturprojekt.

7.4.2.2 Anläggningsskede

Under byggskede utförs precisionsavvägning vid tidpunkt som anges i kontrollprogrammet.

Under byggskedet följs mätning regelbundet med skriftlig redovisning och grafer.

7.4.2.3 Driftskede

Trafikverket föreslår, i samråd med tillsynsmyndighet, innan driftskede vilka av befintliga kontrollpunkter som fortsatt ska mätas.

8 Slutsatser

Vid korttidsavsänkning av grundvatten är förväntade sättningar så små att inga skyddsobjekt har identifierats.

Vid långtidsavsänkningen kan förväntade sättningar bli större men de bedöms i huvudsak som relativt små ur ett skadeperspektiv. Grundvattensänkningen har full påverkan 100 meter från spontlinjen i Bratterås och 10 meter från spontlinjen i Pölsebo, varefter påverkan på leran successivt avtar bort från schakten. Ett antal skyddsobjekt har identifierats inom påverkansområdet, se *Bilaga 1.3*. Flertal av objekten är pålade byggnader där det beroende på utformningen av ledningsanslutningen kan uppkomma risker i samband med marksättningar. För plattgrundlagda objekt kan det finnas risk för sättningsdifferenser på grund av något varierande lerdjup i huslägen.

Genomförd sättningsberäkning ska tolkas som en indikativ beräkning då osäkerheter förekommer i samtliga ingående parametrar, men att val som har gjorts bedöms för såväl grundvattenpåverkan som lerans egenskaper som konservativa. Det innebär att de sättningar som redovisas bedöms vara på säkra sidan, och att de därför inte kommer att överskridas utan snarare bli mindre.

Redovisade sättningar utgår från den grundvattensänkning som förväntas uppkomma förutsatt att vidare åtgärder, som kompletterande tätning eller infiltration, inte genomförs. Vid åtgärder för att upprätthålla grundvattennivåer, approximativt som nuvarande medelnivåer ± 1 m, så bedöms inga betydande sättningar i området uppkomma till följd av anläggningsarbeten för att bygga järnvägsanläggningen på den aktuella sträckan.

Utformning av schakterna påverkar vilka skyddsåtgärder som erfordras för att begränsa grundvattenpåverkan under tiden som byggnation sker.

Föreslagna lösningar i Systemhandlingen med spont och tätkaka i botten på schakt håller nere inflödet till schakten och därmed begränsas grundvattenavsänkningen. Spontens och tätkakans täthet kan dock bli otillräcklig för att upprätthålla den grundvattennivå som erfordras för att skada inte ska uppkomma. I sådant fall är infiltration en lämplig skyddsåtgärd. En tätad spont kan medföra att schakten blir dämmande för det naturliga grundvattenflödet varför det då kan krävas pumpning uppströms och infiltration nedströms schakten.

8.1.1 Konservativa antaganden vid analyserna

Beräkningar av sättningar har föregåtts av konservativa antaganden för att beräknade sättningar ska representera största möjliga sättning som kan uppkomma vid grundvattenpåverkan enligt förutsättningarna.

- Vid långtidsavsänkningen antas att portrycksförändring om 10 kPa påverkar hela portrycksprofilen i upp till 10 meter lera. Pågående naturlig infiltration av grundvatten under avsänkningstiden motverkar grundvattenavsänkningen i den övre delen av leran vilket i praktiken medför mindre sättningsgivande last.
- Vid större lermäktigheter än 10 meter tar det längre tid för den belastande tryckprofilen att utvecklas i lerlagret, dels på grund av mäktigheten och dels att det (i normala fall) kan förväntas att lerans hydrauliska konduktivitet är lägre i de övre delarna, på grund av avsättnings förhållanden vid sedimenteringen, jämfört med de djupare liggande lerlagren.
- Mellan Krokängberget och Bratteråsberget beräknas flödet till schakten bli kanalformat om hela schakten öppnas, vilket varit en beräkningsförutsättning för långtidsavsänkningen med 1 m. Flödesdimensionen kan dock förväntas bli radiell norr och söder om både Krokängsberget och Bratteråsberget, vilket medför att avsänkningen i den undre akviferen blir mindre än vad som antagits cirka 200 meter från linjen.
- Den beräknade grundvattensänkningen i den undre akviferen för området mellan Krokängsberget och Bratteråsberget bygger på de hydrauliska förhållandena nära planerad linje med stora jorddjup av sandigt till grusigt material, vilket ger stor grundvattenavsänkning på stora avstånd. Det finns vissa indikationer att friktionslagrets mäktighet under leran blir mindre söderut, vilket då kan innebära att transmissiviteten minskar söder om linjen, vilket också skulle begränsa avsänkningen under leran söderut och ge en mindre grundvattenpåverkan
- Den normala grundvattennivåvariationen är mellan cirka ± 1 meter och ± 1.5 m, det vill säga under nuvarande förhållanden utsätts leran för grundvattennivåförändringar i samma storleksförhållanden som den nivåförändring från medel grundvattennivån som ansatts för den långvariga grundvatten sänkningen (2-4 år). Det innebär att grundvattenytan under årens lopp tidvis har påverkat trycknivåerna i leran för samma belastning, eller något större, än den för vad långtidsavsänkningen innebär. Denna påverkan har varat under kortare perioder än vad här avses för byggskedet men total påverkanstid är betydligt längre än förväntad byggtid. Sammantaget bedöm detta vara gynnsamt.
- Lerans förkonsolideringstryck har valts konservativt vid sättningsberäkningar, vilket innebär att leran i vissa delar bedömningsvis kan tåla mer påverkan innan sättning börjar utvecklas.
- Lerans kryptal har studerats och valts konservativt vilket innebär att sättningarnas storlek är påverkade även av sekundära sättningar (krypsättningar).

- Sättningsbedömningarna i Bratterås har utgått från den punkt som ger de största sättningarna vid beräkningarna, på grund av att det i den delen är en grundvattenpåverkan och att marginalen där då är låg.
- Långtidsavsänkningen har som förutsättning att alla långsgående schakter pågår under hela den angivna byggtiden. Detta kommer dock inte att vara praktiskt genomförbart utan entreprenaden kommer troligen att utföras i deletapper. Det innebär att sättningar inte kommer utvecklas på så lång tid utan kommer bli mindre än beräknat.

9 Referenser

Batu, V., 1998. Aquifer Hydraulics: A Comprehensive Guide to Hydrogeologic Data Analysis, John Wiley & Sons, Inc., New York, 727p.

MUR Geoteknik, 2018. Markteknisk undersökningsrapport (MUR), Geoteknik (Förfrågningsunderlag totalentreprenad, dubbelspår Eriksberg-Pölsebo, Granskningshandling 2018-06-01, (Ramböll).

MUR Hydrogeo, 2017. Markteknisk undersökningsrapport (MUR), Hydrogeologi (Förfrågningsunderlag totalentreprenad, 2017-12-29, version 50%)(Ramböll).

HydroSOLVE Inc., 2007. AQTESOLV v. 4.5, Reston.

MUR, 2014. 108793-18-081-001 _MUR – Hydrogeologi, 2014. Markteknisk undersökningsrapport (MUR), Hydrogeologi.

Neuman, S.P. and P.A. Witherspoon, 1969. Theory of flow in a confined two aquifer system, Water Resources Research, vol. 5, no. 4, pp. 803-816.

Hamnbanan Göteborg, Dubbelspår Eriksberg – Pölsebo

Hamnbanan Göteborg, dubbelspår Eriksberg – Pölsebo,
Vattenverksamhet, PM Sättningsrisker på grund av grundvattensänkning



Projektnummer: 108 793

Dokumentnummer: 108793-04-025-204

Bilaga 1

Planritningar över påverkansområde och inventerade byggnaders grundläggningstyp

2018-05-22

Skapad av: Erik Martinsson	Internt granskad av: Ingvar Rhen	Uppdragsansvarig: Lina Magnusson
Version/Revideringsdatum: -/	Datum för interngranskning: 2018-05-21	Uppdragsnummer: 2343005000
Revidering kapitel:	Revideringen avser:	

Bilaga 1.1	
UPPDRAG	Dokument
Hamnbanan Göteborg, dubbelspår Eriksberg-Pölsebo	PM Sättningsrisker för Vattenverksamhet
Bilaga	Uppdragsnummer
Inventering över byggnaders grundläggningstyp	108793

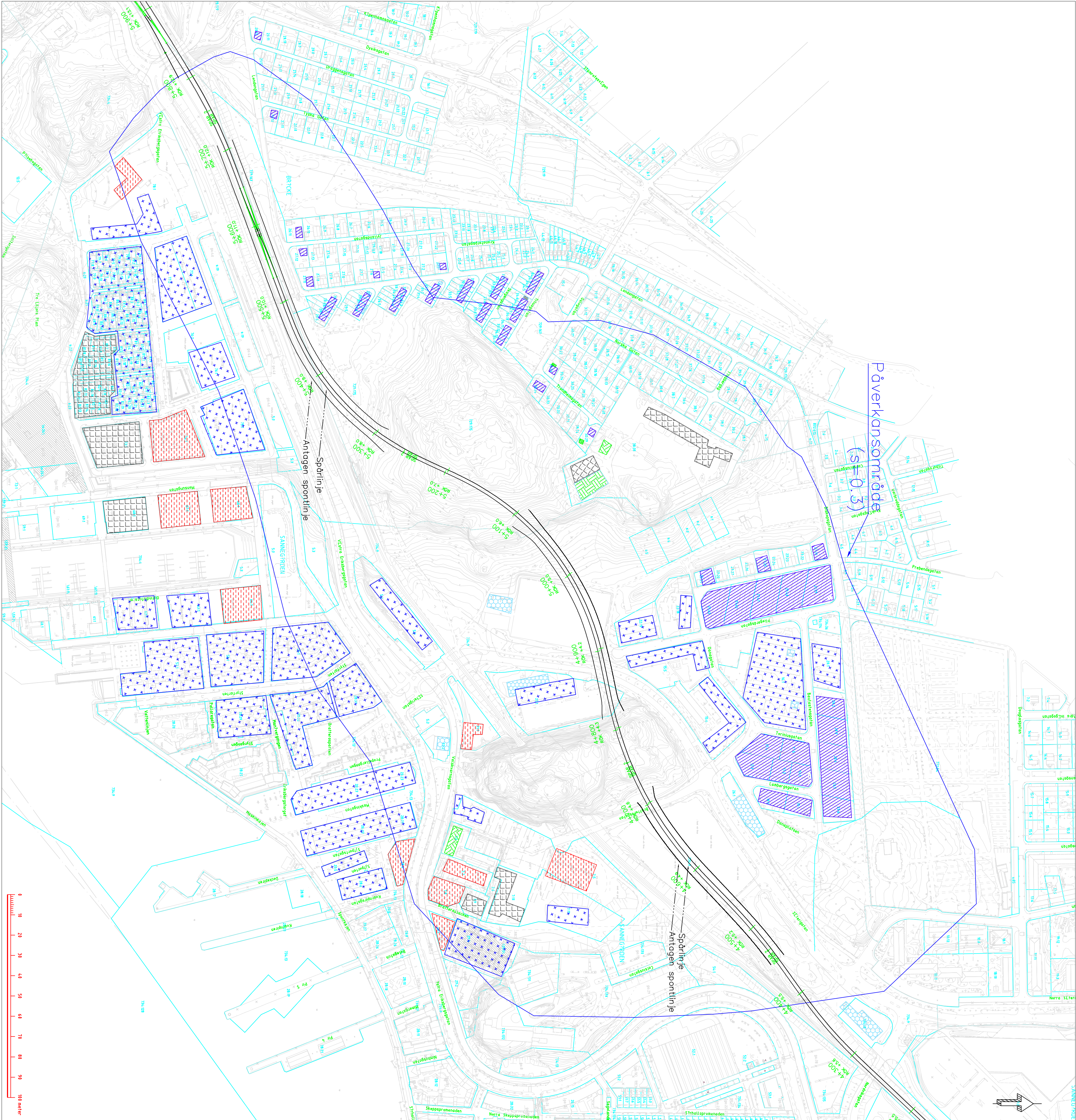
Förklaring av plan

Här redovisas inventerade byggnaders grundläggningstyp

Spårlinje är markerad i plan.

Antagen spårnlinje är markerad i planen.

- Legend som visar grundläggningstyp med tillhörande hatching
- Plintar
 - Bottenplatta
 - Plintar och bottenplatta i källaren
 - Plåd
 - Grundlagd direkt på berg
 - Okänd grundläggning



Inventerade byggnaders grundläggningstyp

Bilaga 1.2	
UPPDRAG	Dokument
Hamnbanan Göteborg, dubbelspår Eriksberg-Pölsebo	PM Sättningsrisker för Vattenverksamhet
Bilaga	Uppdragsnummer
Lerdjup	108793

Förklaring av plan
Här redovisas lerdjup inom påverkansområde tillsammans med inverterade byggnaders grundläggningstyp

- Jordarter och tillhörande hatch
- Berg
 - Friktionsjord

- Grundläggningstyp och tillhörande hatch
- Plintar
 - Bottenplatta
 - Plintar och bottenplatta i källaren
 - Pålad
 - Grundlagd direkt på berg
 - Okänd grundläggning

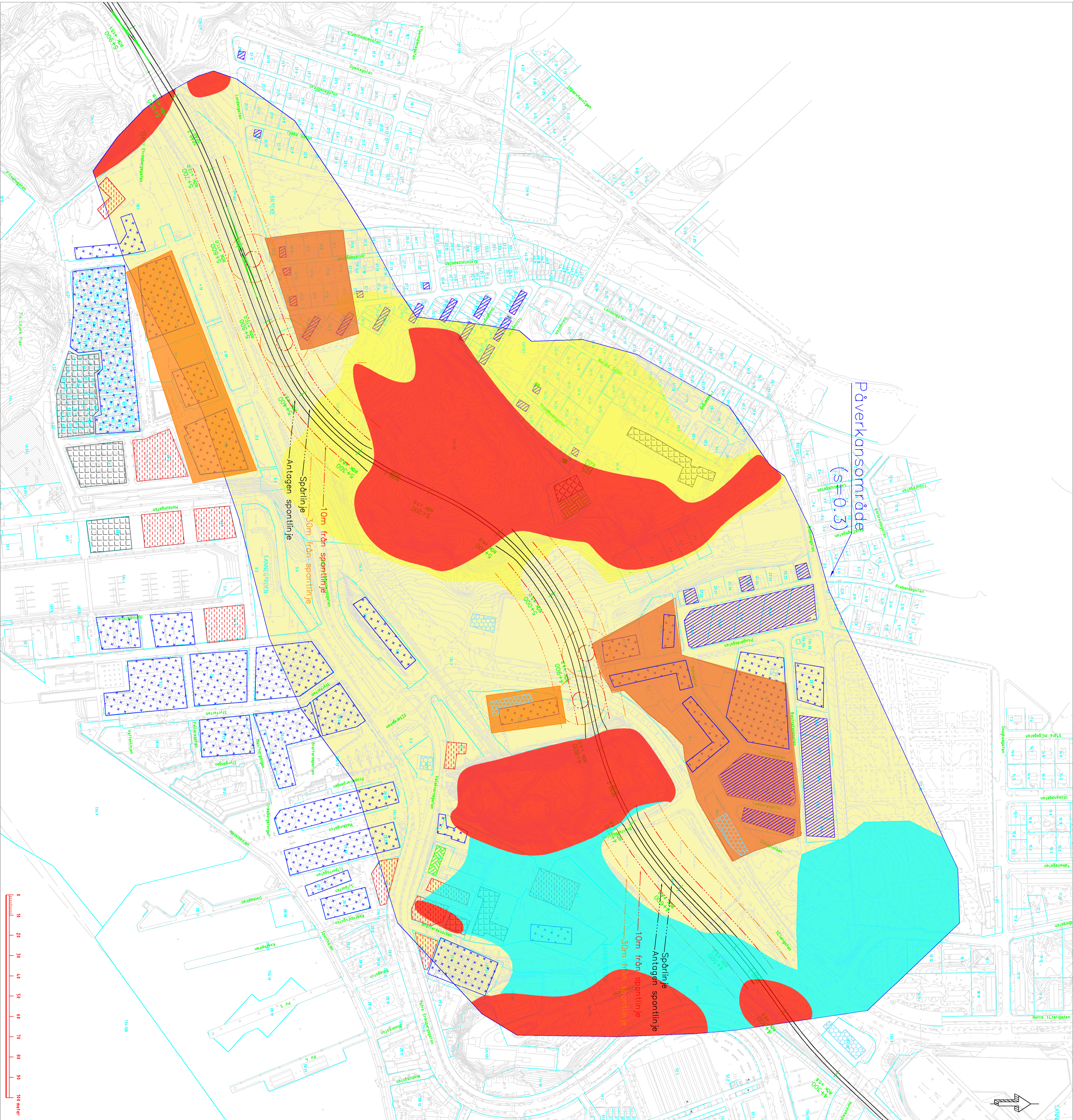
Legend nedan redovisar lerdjup med tillhörande färg

Lerdjup och tillhörande färg	Lerdjup [m]
	0 000 - 1 00
	1 000 - 3 00
	3 000 - 5 00
	5 000 - 6 00
	6 000 - 7 00
	7 000 - 9 00
	9 000 - 11 00
	11 000 - 15 00
	15 000 - 20 00
	20 000 - 30 00
	30 000 - 38 00



Lerdjup

Bilaga 1.3	
UPPDRAG	Dokument
Hamnbanan Göteborg, dubbelspår Eriksberg-Pölsebo	PM Sättningsrisker för Vattenverksamhet
Bilaga	Uppdragsnummer
Tolkning av sättningsrisker	108793



Förklaring av plan

Här redovisas inventerade byggnaders grundläggningstyp tillsammans med påverkan av grundvattensänkning, både för korttidsavsänkning och långtidsavsänkning

Antagen sportinje samt järnvägsinje är markerad i planen.

Förklaring av korttids- och långtidsavsänkning

Korttidsavsänkning
Påverkan av korttidsavsänkning har beräknats 10 meter och 30 meter från schakt/pumpgrupp, vilket är markerat i ritningen. De utritade cirkelarna ska illustrera hur grundvattensänkningen sprider sig för korttidsavsänkningen. Cirkelmitr representerar en potentiell schakt/pumpgrupp. Cirkelradien är 10 meter respektive 30 meter, vilket relaterar till sättningsberäkningen.

Långtidsavsänkning

För långtidsavsänkningen är påverkansområdet det yttre området markerat med s=0.3. Inom påverkansområdet kan det förväntas att långtidsavsänkningen påverkar grundvattnets nivåer, vilket i sig kan resultera i sättningar

Sättningar bildas inte där berg och friktionsjord förekommer, samt där leknaktigheter är mindre än 1 meter.

Jordarter och tillhörande hatch

- Berg
- Friktionsjord
- Lerdjup < 1 meter
- Övriga områden, lerdjup > 1 meter

Skyddsobjekt

- Identifierat riskområde

Grundläggningstyp och tillhörande hatch

- Pilntar
- Bottenplatta
- Pilntar och bottenplatta i källaren
- Pålad
- Grundlagd direkt på berg
- Okänd grundläggning

Tolkning av sättningsrisker