

PM Hydrogeologi

Ansökan om tillstånd för vattenverksamhet

Mälarbanan, sträckan Huvudsta–Duvbo

TRV 2017/9928-94-025_201

Trafikverket

Postadress: Svetsarvägen 10, 171 41 Solna

E-post: trafikverket@trafikverket.se

Telefon: 0771-921 921

Dokumenttitel: PM Hydrogeologi, Ansökan om tillstånd för vattenverksamhet, Mälarbanan, sträckan Huvudsta–Duvbo

Författare: WSP Emil Friberg och Sven Celander

Dokumentdatum: 2022-03-04

Ärendenummer: TRV 2017/47539

Version: 0.1

Kontaktperson: Trafikverket Andreas Dahlberg

Foto: -

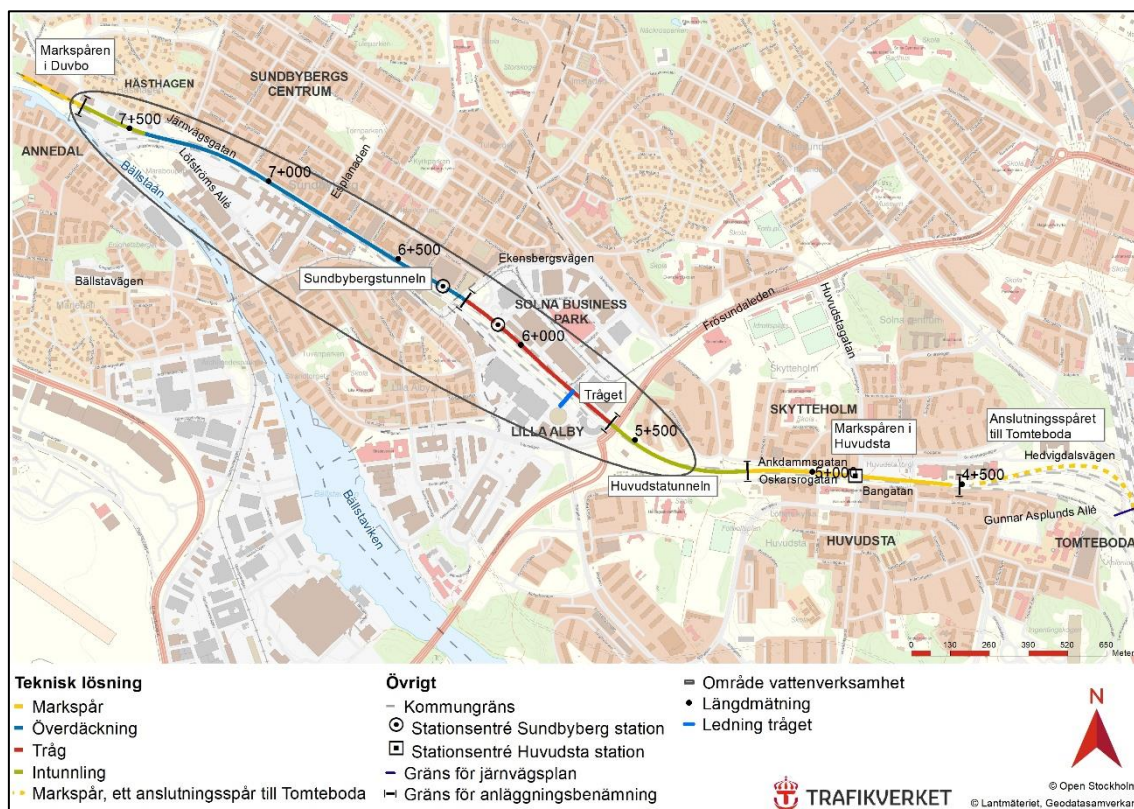
Kartor: © Lantmäteriet

Koordinatsystem: SWEREF 99 TM

Höjdsystem: RH 2000

Sammanfattning

Projekt Mälarbanan omfattar en utbyggnad från två till fyra spår mellan Tomtebodas och Kallhäll. Den här aktuella delen av utbyggnaden sträcker sig från Huvudsta i Solna till Duvbo i Sundbyberg, en sträcka om ca 3,6 km. Befintlig bana utökas med två nya spår och en ny spåranslutning för godståg byggs mellan Huvudsta och Tomtebodas bangård, se figur nedan.



Sträckan Huvudsta–Duvbo med anläggningsdelar. Delen av anläggningen som omfattas av vattenverksamhet är markerad med en oval.

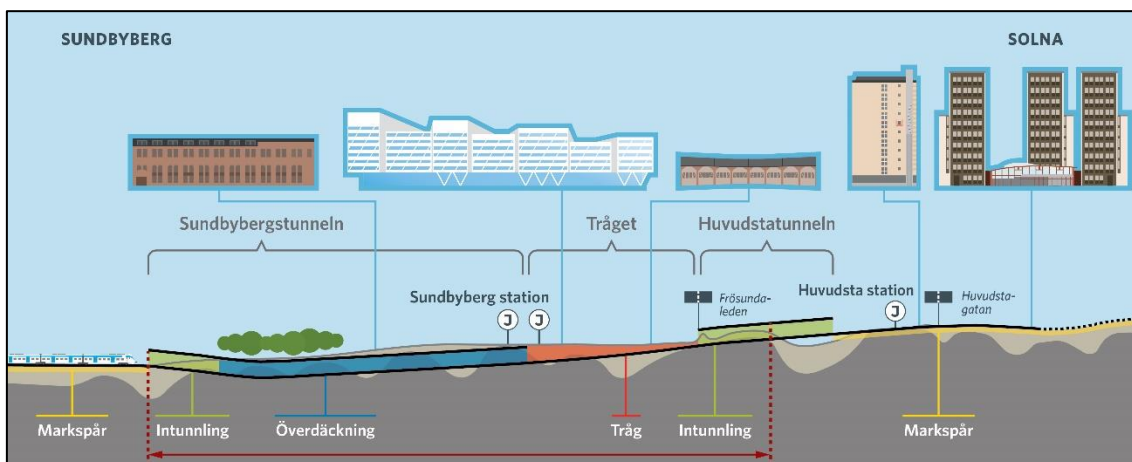
Denna PM Hydrogeologi är en bilaga till ansökan om tillstånd för vattenverksamhet för utbyggnaden av Mälarbanan sträckan Huvudsta–Duvbo. PM:en beskriver de hydrogeologiska förutsättningarna och den påverkan i form av grundvattensänkning och marksättningar som prognostiseras utan respektive med skyddsåtgärder, på grund av vattenverksamheten under byggskedet.

I Huvudsta byggs spåren i ytläge (markspår) fram till korsningen Nybodagatan/Ankdammsgatan. Från Nybodagatan/Ankdammsgatan fram till Frösundaleden fortsätter järnvägsanläggningen i den så kallade Huvudstatunneln. Tunneln är ca 500 m lång och förlagd i ytläge (intunnling). Huvudstatunneln är uppbyggd av två separata tunnelrör med två spår i varje.

Mellan Frösundaleden och broarna vid Ekensbergsvägen, en sträcka om ca 600 m, förläggs den nya järnvägsanläggningen strax under omgivande marknivå, i ett så kallat tråg (väggar utan tak).

På sträckan genom centrala Sundbyberg är den nya järnvägsanläggningen placerad under marknivå (överdäckning), den så kallade Sundbybergstunneln. Tunneln är ca 1,4 km lång och är uppbyggd av två separata tunnelrör med två spår i varje. I västra änden av Sundbyberg övergår

tunneln från en överdäckning till en 300 m lång intunnling. Utmed resterande delar av sträckan är spåren förlagda i ytläge (markspår), se figur nedan.



Översikt profil Mälardalen Huvudsta–Duvbo. Vattenverksamheten omfattas av området inom de röda pilarna.

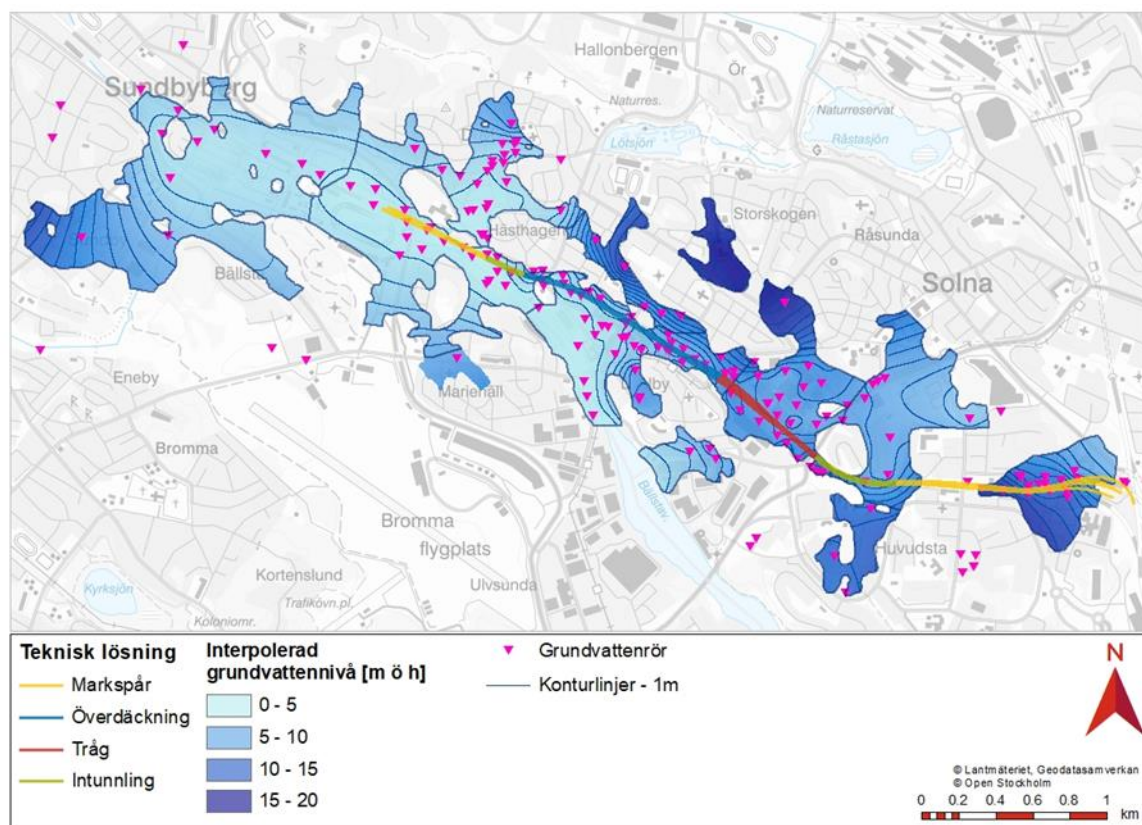
Den planerade vattenverksamheten omfattar bortledning av grundvatten och skyddsinfiltration i byggskedet (ca 10 år) enligt nedan.

- *Västra delen av Huvudstatunneln:* bortledning av grundvatten på en sträcka av ca 300 m närmast tråget under byggskedet (ca km 5+300 – 5+600).
- *Tråget:* bortledning av grundvatten samt vid behov skyddsinfiltration under byggskedet.
- *Sundbybergstunneln:* bortledning av grundvatten samt vid behov skyddsinfiltration under byggskedet.
- *Ledning under Tråget i Solna Business Park,* bortledning av grundvatten samt vid behov skyddsinfiltration under byggskedet.

Inventeringar, undersökningar och utredningar har bedrivits för att kartlägga och beskriva det hydrogeologiska systemet inom ett utredningsområde. Inventeringarna har bland annat omfattat sonderingar och grundvattenrör, mätserier för grundvattenrör samt tidigare utförda hydrogeologiska utredningar och dränerande anläggningar. Fältundersökningar i form av borrhinar och installation av grundvattenrör, mätningar och hydrauliska tester samt geofysiska undersökningar har utförts.

En inventering av grundvattenberoende riskobjekt som byggnader, ledningar, naturvärden och kulturvärden har också utförts för att kunna beskriva konsekvenserna av vattenverksamheten på omgivningen.

De undre grundvattenmagasinen i jord och grundvattennivåerna i dessa visas i figuren nedan. Grundvattenmagasinen ligger i friktionsjord (så som morän, sand och grus) och överlagras av lera. Utifrån resultaten från inventeringarna och utredningarna har det konstaterats att den största risken i samband med vattenverksamhet är sättningar i mark, som även kan leda till skador på byggnader och ledningar.



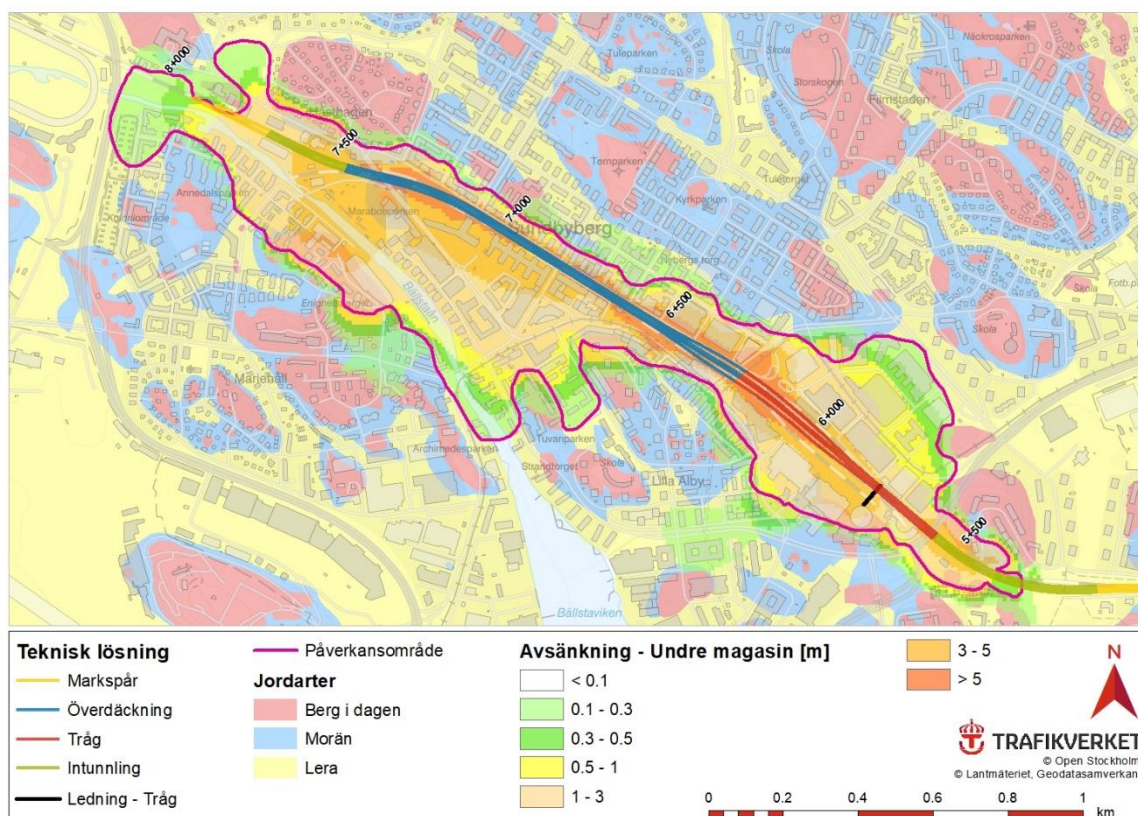
Utbredning undre grundvattenmagasin och interpolerade grundvattennivåer.

För att beräkna grundvattenpåverkan och influensområde har en tredimensionell grundvattenmodell byggts upp. Modellen har kalibrerats mot provpumpningarna och de uppmätta nivåerna i grundvattenrören. Modellen används för att simulera de planerade schaktarbetena utan skyddsåtgärder, det vill säga en öppen schakt.

Schakter kommer att utföras med temporära stödkonstruktioner då de är helt nödvändiga bland annat beroende på utrymmesbrist. Ett scenario utan skyddsåtgärder är därmed endast ett teoretiskt alternativ. Detta blir med andra ord scenariot med, teoretiskt sett, största möjliga utbredning på influensområdet. Influensområdet utan skyddsåtgärder har därför i denna ansökan använts för att ta fram och bedöma ett påverkansområde. Det antas utifrån förutsättningarna inom påverkansområdet att tillkommande marksättningar på 50 mm kan accepteras under byggskedet. Detta antagande ligger till grund för bedömning av var skyddsåtgärder behöver vidtas. Inom påverkansområdet finns mäktiga lerlager där det redan förekommer pågående sättningar och att undvika tillkommande sättningar i mindre omfattning bedöms inte som realistiskt. Större marksättningar än 50 mm kan tillåtas inom arbetsområdet för den nya järnvägsanläggningen då Trafikverket förfogar över denna mark under byggskedet. För Tvärbanan har det bedömts att den tål en marksättning på 20 mm.

Grundvattenpåverkan utan skyddsåtgärder och bedömt påverkansområde visas i figuren nedan. Utbredningen är det område där grundvattenbortledningen förväntas kunna ge en direkt påverkan på grundvattnet i sådan omfattning att den går att påvisa och kan ha betydelse för fastigheter eller för miljön.

Påverkansområdet avser utbredningen av påverkan utan några skyddsåtgärder i form av exempelvis skyddsinfiltration eller tätningar omkring planerad schakt.



Grundvattenpåverkan utan skyddsåtgärder och bedömt påverkansområde för vattenverksamhet Mälarmagasin Huvudsta – Duvbo.

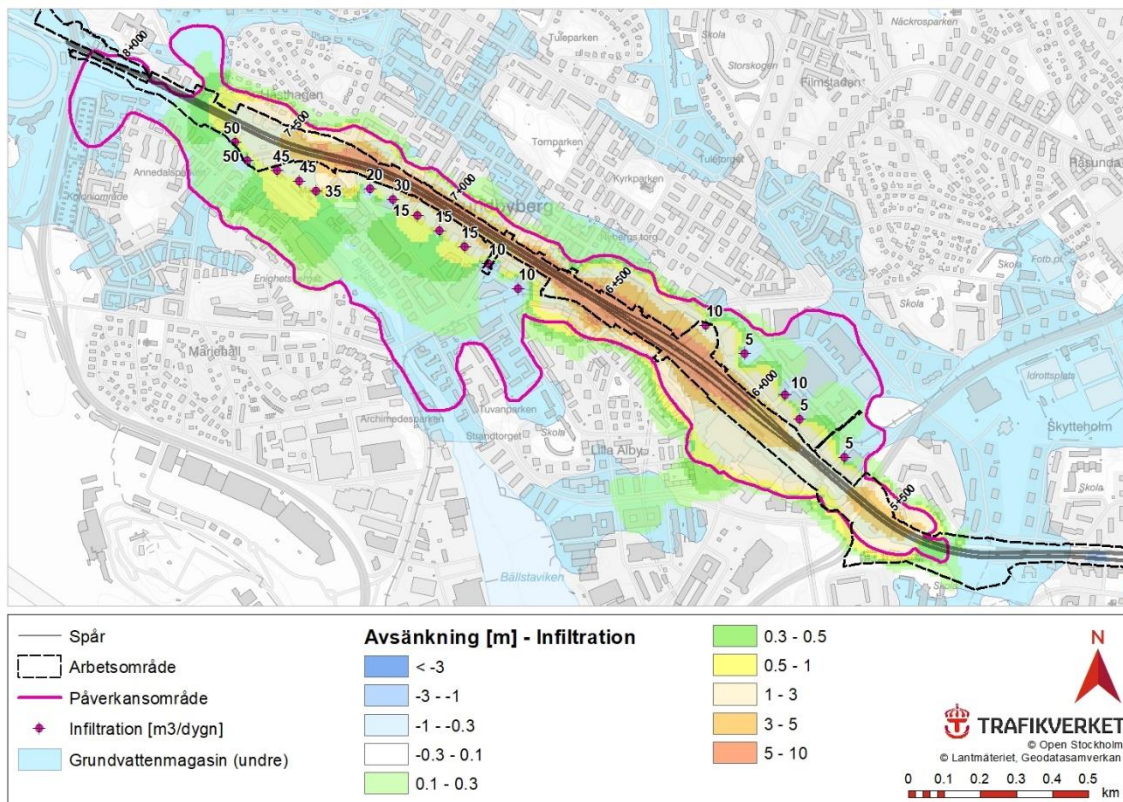
För att kunna bedöma hur stora sättningar som uppstår inom påverkansområdet under byggskedet på grund av grundvattenavsänkning med utan skyddsåtgärder, har en analys utförts. Med sättningar menas tillkommande sättningar på grund av planerad vattenverksamhet. Det visar sig att sättningarna inom delar av påverkansområdet överstiger 50 mm. Därmed står det klart att skyddsåtgärder erfordras för att minska konsekvenserna av vattenverksamheten. Skyddsåtgärder omfattar temporära stödkonstruktioner, skyddsinfiltration, upprätthållande av grundvattendelare och strömningsavskärande barriär. Uppföljning av markrörelser kommer även att tillämpas som skyddsåtgärd i områden där marksättningar tillåts utvecklas, se nedan.

Hydrogeologiska förutsättningar, befintliga byggnaders dräneringssystem samt framtida markanvändning påverkar hur vattenverksamheten ska bedrivas. Grundvattenbildningen till grundvattenmagasin Sundbyberg C sker till stor del från höjdområdena norr om järnvägsanläggningen. Täta stödkonstruktioner ska därför användas med försiktighet inom Sundbybergs C. Skyddsinfiltration kommer inte att bli verksam nära schakt utan täta stödkonstruktioner. Vid Ekensbergsbron kommer byggnation av markyta utföras efter byggskedet. Inom området är det inte praktiskt att hålla upp grundvattennivåer med skyddsinfiltration då det krävs stora vattenmängder, brist på utrymme och stor del av vattnet skulle ledas bort i befintliga byggnaders dränering.

Trafikverket har som strategi att låta marksättningar utvecklas utan skyddsåtgärder norr om järnvägsanläggningen i Sundbyberg (6+400 – 7+300) samt vid Ekensbergsbron (6+100 –

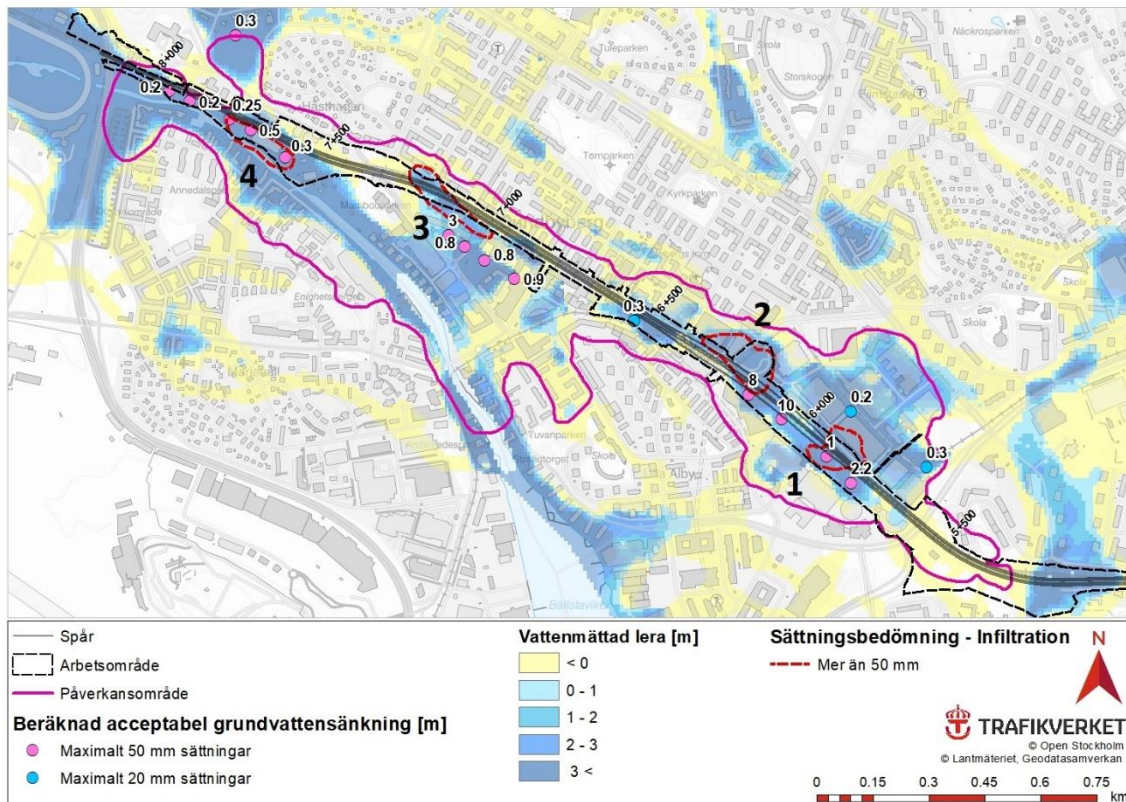
6+400). Marksättningar följs upp under byggskedet och eventuella skador åtgärdas efter byggskedet.

Ett scenario med skyddsinfiltration som skyddsåtgärd har simulerats. Vid nyttjande av skyddsinfiltration minskas grundvattenpåverkan betydligt, se figur nedan.



Skyddsåtgärder här illustrerat med skyddsinfiltration och den grundvattenpåverkan som fås med denna.

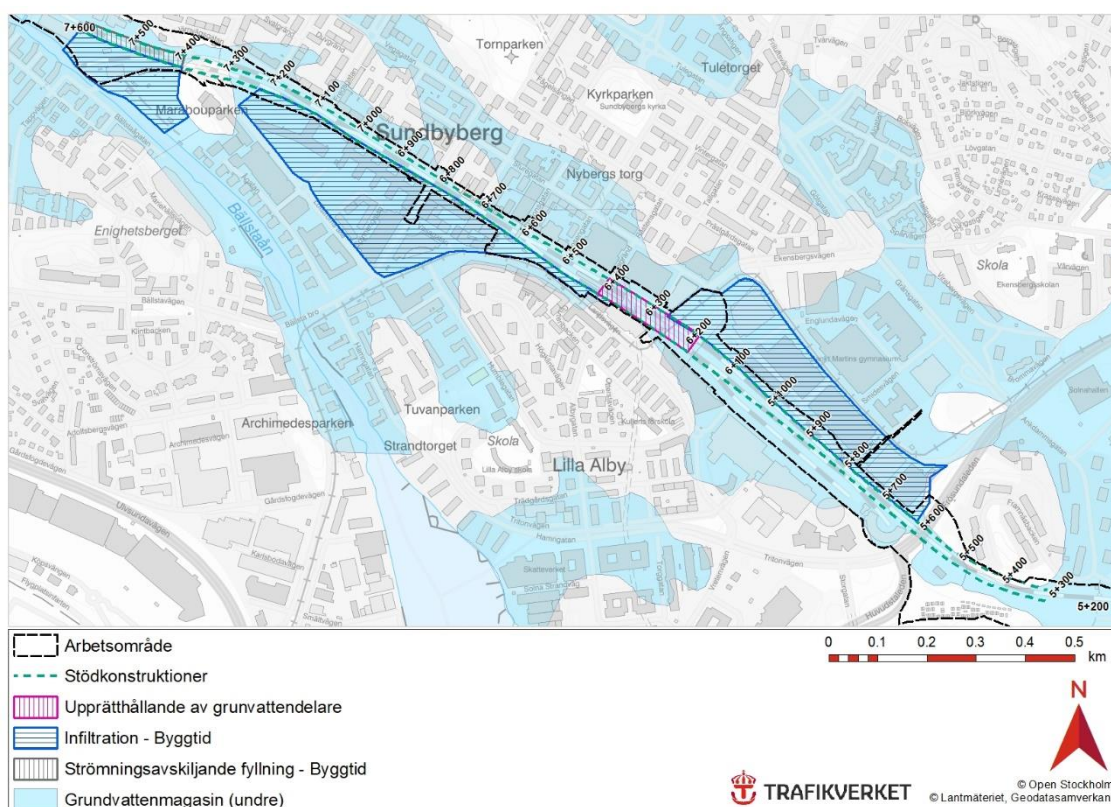
Effekterna från vattenverksamheten med planerade skyddsåtgärder blir mycket begränsade. De tillkommande sättningsarna på grund av vattenverksamheten blir små och bara lokalt prognostiseras sättningsarna överstiga 50 mm främst där inga skyddsåtgärder vidtas, se figuren nedan. Även med skyddsåtgärder bedöms det för en byggnad (Makaronen 8) gå det inte att utesluta risk för skador på grund av vattenverksamheten. Där det redan pågår marksättningar kommer sannolikt skador förr eller senare att uppkomma även om Trafikverket inte utför den ansökta grundvattenbortledningen. Trafikverkets bortledning kan dock påskynda förloppet för marksättningarna.



Områden med sättningar över 50 mm med planerade skyddsåtgärder.

Inom område 1 och 4 (på kartan ovan) sker sättningar över 50 mm i princip inom arbetsområdet och åtgärder av eventuella skador på markanläggningar till följd av marksättningarna utförs enligt avtal med fastighetsägare. Inom område 3 (norr om järnvägsgatan) ska inte tätande åtgärder användas, även infiltration blir svår att utföra så nära anläggningen. Här tillåts avsänkning och marksättning ske och Trafikverket kommer att åtgärda eventuella skador som kan uppkomma. Inom område 2 kan tätande åtgärder användas men skyddsinfiltration anses inte praktiskt utförbart så nära anläggningen. Efter utbyggnaden av den nya järnvägsanläggningen ska omfattande exploatering ske och eventuella markskador kan då åtgärdas.

Planerade skyddsåtgärder i byggskedet visas i figuren nedan.



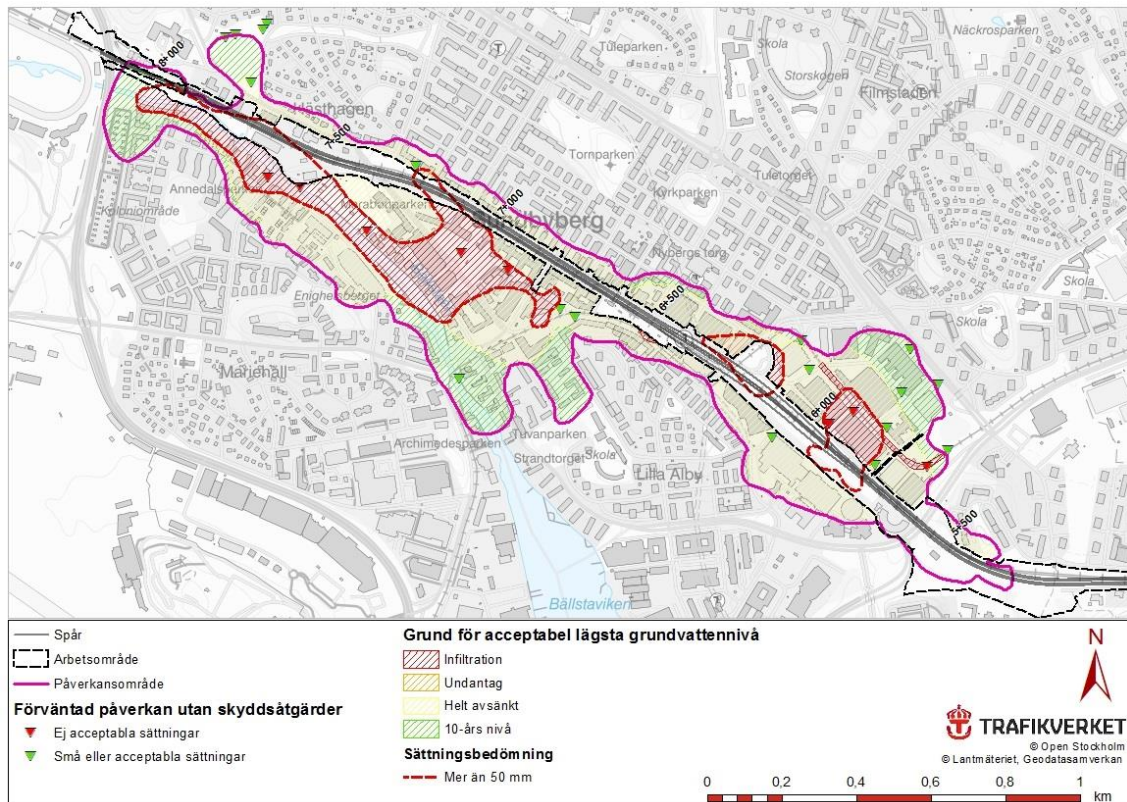
Planerade skyddsåtgärder under byggskedet.

Effekter och konsekvenser av den grundvattenpåverkan och de marksättningar som planerad vattenverksamhet bedöms medföra under byggskedet redovisas i MKB Vattenverksamhet.

Ett kontrollprogram för vattenverksamhet föreslås omfatta:

- Mätning av grundvattennivåer och porttryck
- Kontroll av vattenkvalitet på länshållningsvatten
- Kontroll av sättningar
- Registrering av mängden bortpumpat vatten
- Registrering av eventuellt tillfört vatten i form av skyddsinfiltration.

För grundvatten har områden med förslag till åtgärdsnivåer tagits fram. Områdena visas i figuren nedan och omfattar tre typfall. Typfallen visar vilken grundvattennivå som ska användas för framtagande av åtgärdsnivå och fallen är att antingen används lägsta förekommande 10-årsnivå eller beräknad avsänkning eller slutligen att beräknad nivå med infiltration används. Genom upprätthållande av dessa nivåer ska inga skador uppkomma. Områdena där de olika typfallen ska appliceras visas i figuren nedan. Undantag gäller för grundvattenmagasinet norr om Järnväggsgatan där skyddsinfiltration inte ska utföras. Områden där marksättningar kan komma att överstiga >50 mm visas i figuren nedan.



Områden med olika typfall för framtagande av åtgärdsnivåer.

Innehåll

1. BAKGRUND	15
1.1. Projekt Mälarbanan	15
1.2. Utbyggnad av järnvägen mellan Huvudsta och Duvbo.....	16
1.3. Planerad vattenverksamhet	18
1.4. Utredning av hydrogeologiska förhållanden.....	19
1.5. Läsanvisning	20
1.6. Tidigare utredningar och andra referenser	21
2. HÖJD OCH KOORDINATSYSTEM	22
3. FÖRKORTNINGAR OCH TERMER.....	22
3.1. Förkortningar	22
3.2. Termer och definitioner	23
4. GRUNDLÄGGANDE FÖRUTSÄTTNINGAR	26
4.1. Utredningsområdet.....	26
4.2. Områdesindelning	27
4.3. Konceptuella modeller	27
4.3.1. Hydrogeologisk konceptualisering	27
4.3.2. Övergripande grundvattenbildning i urban miljö	29
4.4. Bedömning av effekter från påverkan vid riskobjekt	31
4.5. Bedömning av behov av skyddsåtgärder	31
5. UTFÖRDA INVENTERINGAR OCH UTREDNINGAR	32
5.1. Inventering av befintliga dränerande anläggningar	32
5.2. Hydrauliska undersökningar.....	32
5.2.1. Grundvattennivåer.....	32
5.2.2. Samvariation	34
5.2.3. Interpolering av en grundvattennivå i undre magasin.....	36
5.2.4. Vattenförlustmätningar	37
5.2.5. SGU:s brunnarkiv	39
5.2.6. Provpumpning och infiltrationsförsök	41
5.2.7. Slugtest	42
5.3. Geologiska och geotekniska undersökningar.....	43
5.3.1. Refraktionsseismik.....	43
5.3.2. Sättningar i lera.....	44
5.3.3. Sättningsmätningar	45

5.4.	Geomodell.....	46
5.5.	Grundvattenbildning	47
5.5.1.	Markanvändning	47
5.5.2.	VA-läckage	48
5.5.3.	Slutgiltig grundvattenbildning.....	48
5.6.	Mark- och vattenprovtagning.....	50
5.6.1.	Markföroreningar	50
5.6.2.	Föroreningar i grundvatten.....	51
5.6.3.	Metod för riskhantering av föroreningar	52
5.7.	Identifiering av grundvattenberoende riskobjekt	53
5.7.1.	Inventering av grundläggning av byggnader	53
5.7.2.	Ledningsinventering.....	55
5.7.3.	Grundvattenberoende energianläggningar och brunnar.....	56
5.7.4.	Markavvattning.....	57
5.7.5.	Grundvattenberoende naturvärden	57
5.7.6.	Kulturmiljö och fornlämningar	59
6.	OMRÅDESBESKRIVNING	60
6.1.	Avrinningsområden.....	60
6.2.	Topografi och avrinning.....	61
6.3.	Geologi – Berggrund.....	62
6.3.1.	Bedömning av bergets svaghetszoner	64
6.4.	Geologi – Jordlager.....	64
6.4.1.	Solna	65
6.4.2.	Sundbyberg	67
6.4.3.	Solvalla	68
6.4.4.	Duvbo.....	68
6.5.	Grundvattenförhållanden	69
6.5.1.	Grundvatten i jord.....	70
6.5.2.	Grundvatten i berg.....	78
6.6.	Områden med sättningsbenägen lera	81
6.6.1.	Solna	83
6.6.2.	Sundbyberg	84
6.6.3.	Solvalla	85
6.6.4.	Duvbo.....	86
7.	GRUNDVATTENPÅVERKAN UTAN SKYDDSÅTGÄRDER.....	87
7.1.	Förutsättningar för grundvattenpåverkan	87
7.2.	Metodbeskrivning	88
7.2.1.	Definition av influensområde	88
7.2.2.	Definition av påverkansområde	88

7.3.	Influensområde utan skyddsåtgärder	89
7.3.1.	Solna	90
7.3.2.	Sundbyberg	90
7.3.3.	Solvalla	90
7.3.4.	Duvbo	90
7.4.	Sättningar på grund av grundvattenpåverkan utan skyddsåtgärder	91
7.5.	Inläckagemängder utan skyddsåtgärder	91
7.6.	Bedömt påverkansområde	92
8.	FÖRUTSÄTTNINGAR FÖR UTFÖRANDE AV VATTENVERKSAMHET	93
8.1.	Underlag och bakgrund för utförande vattenverksamhet	93
8.1.1.	Vattenbalans grundvattenmagasin Sundbyberg C (6+400 – 7+300)	93
8.1.2.	Förutsättningar vid Ekensbergsbron (6+100 – 6+400).....	93
8.2.	Acceptabel marksättning.....	94
8.3.	Acceptabel grundvattenpåverkan	95
8.3.1.	Solna	95
8.3.2.	Sundbyberg	96
8.3.3.	Solvalla och Duvbo	97
9.	STRATEGI OCH PLANERADE SKYDDSÅTGÄRDER	99
9.1.	Behov av skyddsåtgärder	99
9.2.	Strategi vattenverksamhet	99
9.2.1.	Grundvattenmagasin Sundbybergs C (6+400 – 7+300)	100
9.2.2.	Norr om planerad järnvägsanläggning på sträckan 6+100 – 6+400.....	100
9.3.	Skyddsåtgärder inom områden med marksättningar över 50 mm	100
9.3.1.	Solna Business Park (1)	101
9.3.2.	Området vid Ekensbergsbron (2)	101
9.3.3.	Sundbyberg och Solvalla (3).....	101
9.3.4.	Arbetsområdet	102
9.4.	Simulerad grundvattenpåverkan med planerad skyddsåtgärd infiltration.....	102
9.5.	Sättningar med planerad skyddsåtgärd infiltration	103
9.5.1.	Solna Business Park.....	103
9.5.2.	Sundbyberg	104
9.5.3.	Solvalla och Duvbo	105
9.6.	Planerade skyddsåtgärder byggskede	106
10.	KONTROLLPROGRAM.....	107
10.1.	Omfattning av kontroll av grundvattennivåer	107
10.2.	Åtgärdsnivåer för grundvatten	108
REFERENSER		111

Förteckning Bilagor

1. Översiktskarta
2. Hydrogeologisk Karta
3. PM Hydrogeologiska beräkningar
4. PM Vattenkvalitet
5. PM Geomodell
6. PM Sättningar
7. PM Inventering
8. Acceptabel grundvattennivå och strategi

1. Bakgrund

1.1. Projekt Mälarbanan

Mälarbanan utgör en viktig del av Mälardalens järnvägsnät och fungerar som en länk mellan bland annat Stockholm, Västerås och Örebro. På sträckan Stockholm C–Bålsta trafikeras banan av pendel-, regional-, fjärr- och godståg. Det stora antalet tåg samt tågtyper med olika hastigheter och stopp på stationerna leder till kapacitetsproblem och därmed störningar i tågtrafiken med förseningar som följd.

Projekt Mälarbanan omfattar en utbyggnad i två etapper, från två till fyra spår mellan Tomtebodavägen och Kallhäll. Utbyggnaden innebär att kapaciteten på banan ökar och att pendeltågstrafiken kan separeras från övrig tågtrafik, vilket skapar förutsättningar för en ökad turtäthet och minskade trafikstörningar. Den första utbyggnadsetappen omfattar sträckan Barkarby–Kallhäll och den andra Tomtebodavägen–Barkarby.

Trafikverket ansöker nu om tillstånd för vattenverksamhet enligt miljöbalken. Vattenverksamheten omfattar bortledning av grundvatten och eventuell skyddsinfiltration i byggskedet. Tillståndsansökan omfattar större delen av sträckan Huvudsta–Duvbo, som ingår i den andra etappen, se figur 1. En översiktskarta visas även i bilaga 1. Denna PM Hydrogeologi ingår i tillståndsansökan.



1.2. Utbyggnad av järnvägen mellan Huvudsta och Duvbo

Järnvägsutbyggnaden sträcker sig från Huvudsta i Solna till Duvbo i Sundbyberg, en sträcka om ca 3,6 km. Den befintliga banan utökas med två nya spår och en ny spåranslutning för godståg byggs mellan Huvudsta och Tomtebodas bangård, en översiktsprofil visas i figur 2.

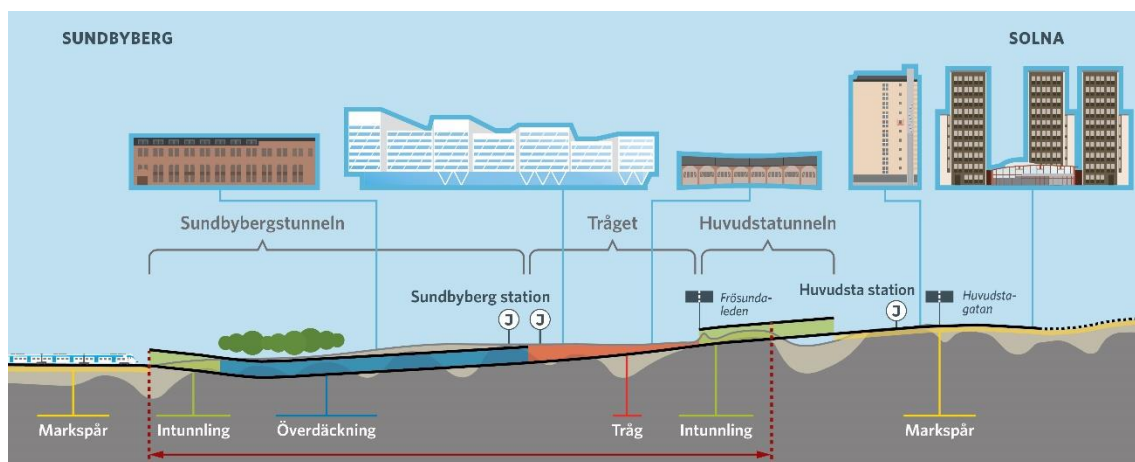
Utbyggnaden på sträckan Huvudsta–Duvbo, med bland annat en intunnling i Solna och en överdäckning i Sundbyberg, skapar möjligheter för kommunernas stadsutveckling.

I Huvudsta byggs spåren i ytläge (markspår) fram till korsningen Nybodagatan/Ankdammsgatan. Därifrån fram till Frösundaleden fortsätter järnvägsanläggningen i Huvudstatunneln, som blir ca 500 m lång och förlagd i ytläge (intunnling). Tunneln kommer att vara uppbyggd av två separata tunnelrör med två spår i varje.

Mellan Frösundaleden och broarna vid Ekensbergsvägen, en sträcka om ca 600 m, förläggs järnvägen strax under omgivande marknivå, i ett så kallat tråg.

Från Ekensbergsvägen och genom centrala Sundbyberg placeras järnvägsanläggningen under marknivå (överdäckning), i Sundbybergstunneln. Tunneln blir ca 1,4 km lång som två separata tunnelrör med två spår i varje. I västra änden av Sundbyberg övergår tunneln från överdäckningen till en 300 m lång intunnling.

Utmed resterande delar av sträckan, i Duvbo, förläggs spåren i ytläge (markspår).



Figur 2. Översiktlig profil, sträckan Huvudsta–Duvbo. Vattenverksamheten omfattas av området inom de röda pilarna.

På sträckan kommer det att finnas två stationer. Den ena, Sundbybergs station, blir en ny regional- och pendeltågsstation. Den anläggs både i tråget och delvis i Sundbybergstunneln och får två plattformanslutningar. I Sundbybergs centrum byggs en plattformanslutning med en stationsentré. I Solna Business Park byggs en plattformanslutning med stationsentréerna Solna Business Park och Lilla Alby.

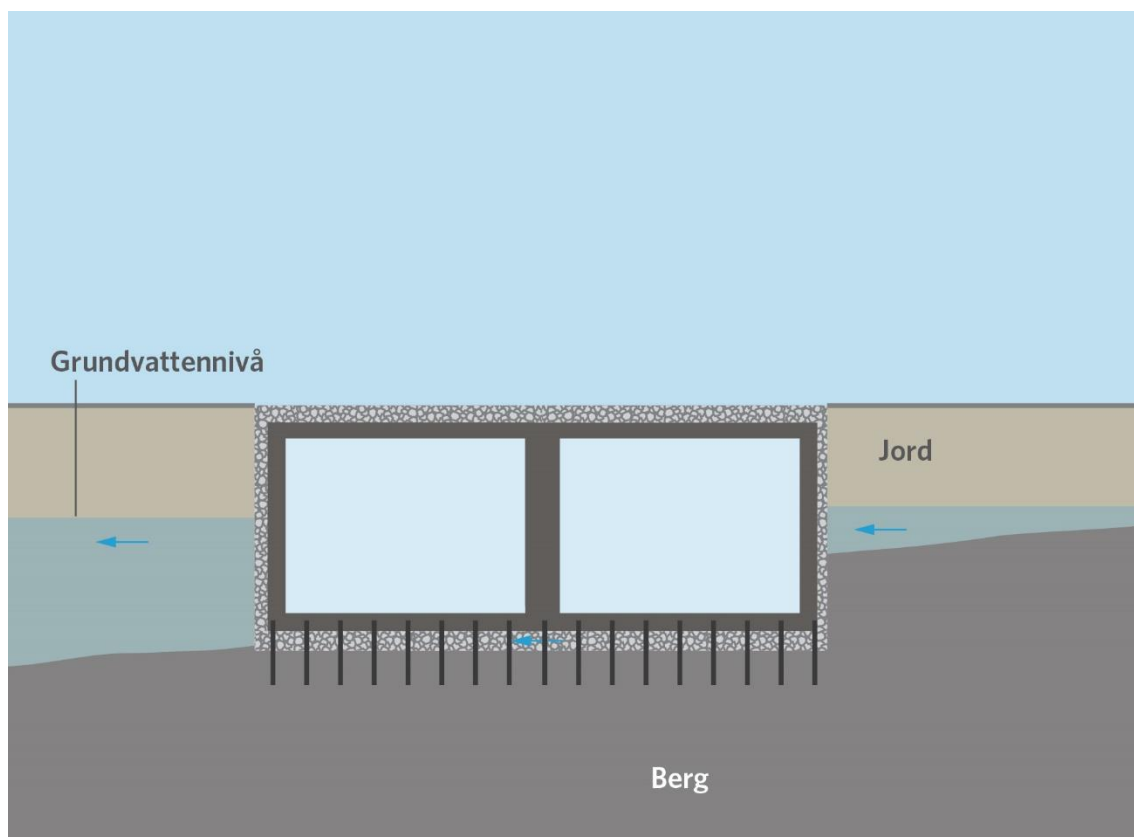
Den andra stationen, Huvudsta station, blir en ny pendeltågsstation med entré mot Huvudstagan och anläggs i direkt anslutning mot gatans bro. Huvudstagens bro rivs och ersätts med en ny, som anpassas mot den nya stationen.

Under hela byggskedet, som beräknas till ca 10 år, måste dagens trafikering på Mälarbanan upprätthållas. För att klara detta kommer tågen under en del av byggskedet att trafikera en tillfällig järnvägsanläggning med en tillfällig stationslösning i ytläge. När den tillfälliga anläggningen och stationen är driftsatt kan produktionen av den nya järnvägsanläggningen påbörjas, vilket bedöms ta ca 8 år.

Den nya järnvägsanläggningen på sträckan Huvudsta–Duvbo redovisas i sin helhet i PM Byggverksamhet (bilaga till Ansökan om tillstånd för vattenverksamhet). I det följande beskrivs endast de delar av anläggningen där Trafikverket avser utföra vattenverksamhet.

De delar av anläggningen som består av tråg eller tunnel utförs inom schakt, vilket medför omfattande schaktning. Först installeras temporära stödkonstruktioner ner till berget. Jord och bergschakt utförs sedan ner till drygt tråg/tunnelbotten. Därefter gjuts tråget/tunneln på plats, innan kvarvarande utrymme i schakten återfylls. För mer detaljerad information om byggnationen se Teknisk Beskrivning.

Som lägst planeras schaktbotten till ca 10 meter under markytan, vilket motsvarar nivån ca -4 i RH2000. Sundbybergstunneln och tråget förläggs till största delen under rådande grundvattennivå. Anläggningen skär igenom flera jordfyllda sänkor med omfattande jorddjup samt till vissa delar genom berg, se principskissen i figur 3.



Figur 3. Principskiss av tunnelanläggning med återfyllning, jordlager, grundvattenmagasin och berglager.

1.3. Planerad vattenverksamhet

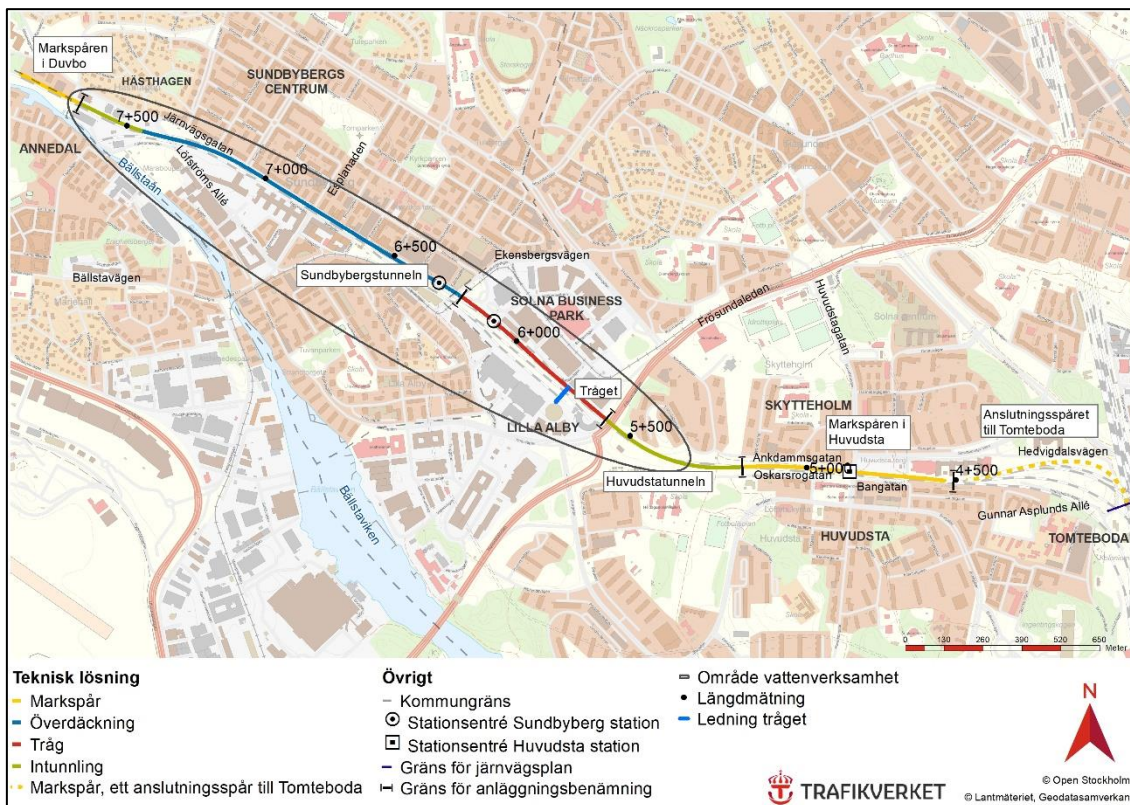
Vattenverksamheten omfattar:

- Bortledning av inläckande grundvatten samt utförande av anläggningar för detta
- Tillförsel av vatten för att öka grundvattenmängden (skyddsinfiltration) samt utförande av anläggningar eller annan åtgärd för detta.

Bortledningen av grundvatten kommer att ske via länshållning i byggskedet. Inläckande grundvatten förekommer i de schakter som är förlagda under grundvattenytan. Tillförseln av vatten, å sin sida, kommer att ske genom skyddsinfiltration.

Västra delen av Huvudstatunneln, Tråget, Sundbybergstunneln och ledning under Tråget kommer att byggas som täta betongkonstruktioner som inte medför någon bortledning av grundvatten i driftskedet. Driftskedet omfattas därför inte av vattenverksamhet. De delar av anläggningen där tillståndspliktig vattenverksamhet kommer att bedrivas under byggskedet visas i figur 2 och figur 4. Dessa delar är:

- Västra delen av Huvudstatunneln, med bortledning av grundvatten på en sträcka av ca 300 m närmast Tråget (ca km 5+300–5+600).
- Tråget, med bortledning av grundvatten samt vid behov skyddsinfiltration.
- Sundbybergstunneln, med bortledning av grundvatten samt vid behov skyddsinfiltration.
- Ledning under Tråget i Solna Business Park, med bortledning av grundvatten samt vid behov skyddsinfiltration.



Figur 4. Sträckningen Huvudsta–Duvbo med del av anläggningen som omfattas av vattenverksamhet är markerad med oval.

1.4. Utredning av hydrogeologiska förhållanden

I detta avsnitt beskrivs kort arbetet i fråga om geografisk avgränsning och metodik avseende den hydrogeologiska utredningen.

Ett utredningsområde har definierats som yttre gräns för inventering av hydro- och georelaterat underlag. Syftet med avgränsningen är att styra omfattningen av inventeringen samt möjliggöra relevanta analyser och beräkningar för att beskriva projektets framtida påverkan, effekter och konsekvenser.

Inventeringarna har fokuserat på befintlig geologisk och hydrogeologisk information från t.ex. SGU och tidigare projekt inom utredningsområdet. Området är starkt urbaniserat, vilket medför att de hydrogeologiska förhållandena inte alltid följer naturliga mönster. I ett tidigt skede identifierades också potentiella riskobjekt, t.ex. byggnader med grundvattenberoende grundläggning och energibrunnar. Eftersom de identifierade grundvattenmagasinens egenskaper varierar kommer också effekterna av vattenverksamheten att variera för identifierade riskobjekt.

Likt andra större projekt ökas successivt detaljeringsgraden om förhållanden och tekniska lösningar, vilket gör att bedömningar har uppdaterats och reviderats under arbetets gång. Utredningsarbetet var med andra ord iterativt.

1.5. Läsanvisning

Denna PM Hydrogeologi ingår tillsammans med Teknisk Beskrivning (TB) (bilaga 3 till Ansökan) och Miljökonsekvensbeskrivning (MKB) (bilaga 5 till Ansökan) som underlagsdokument till tillståndsansökan för vattenverksamhet.

Här redovisas geologiska och hydrogeologiska förutsättningar för bedömning av den omgivningspåverkan på grundvattenförhållandena som aktuell utbyggnad av Mälarbanan förväntas ge upphov till. Vidare presenteras ett *bedömt påverkansområde*, vilka *enskilda och allmänna intressen som riskerar att påverkas (riskobjekt)* samt vilka *åtgärder som planeras för att motverka skador*.

Kapitel 2 redovisar höjd- och koordinatsystem i utredningen.

Kapitel 3 tar upp ämnesspecifik terminologi som används i denna PM. Både förkortningar och termer förklaras.

Kapitel 4 redovisar de grundläggande förutsättningarna och metoderna för utredningsarbetet. Här presenteras konceptuella modeller samt på vilka grunder bedömningar har gjorts.

Kapitel 5 redogör för tidigare genomförda utredningar och arbeten. Resultaten används dels för att förbättra förståelsen för området, dels som underlag för beräkningar med mera.

Kapitel 6 innehåller områdesbeskrivningar, baserade på både äldre underlag och det utredningsarbete som gjorts inom projektet. Här beskrivs geologin, områdets grundvattensystem samt vilka riskobjekt som identifierats.

Kapitel 7 redovisar bedömd grundvattenpåverkan som anläggningen kan ge upphov till under byggskedet utan skyddsåtgärder samt marksättningar som detta scenario kan ge upphov till. Influensområde och påverkansområde definieras och redovisas även här.

Kapitel 8 redovisar förutsättningar för utförande av vattenverksamhet och vilken marksättning samt grundvattenpåverkan som kan accepteras inom påverkansområdet.

Kapitel 9 redovisar strategi för vattenverksamhet föreslagna skyddsåtgärder för byggskedet för att undvika skadlig påverkan samt exempel på hur grundvattenpåverkan samt marksättningar kan bli i byggskedet med skyddsåtgärder.

Kapitel 10 redovisar översiktligt omfattningen på kontrollprogram för vattenverksamhet samt metodik för hur åtgärdsnivåer för grundvatten ska tas fram.

1.6. Utredningar och andra referenser

Till grund för denna PM finns bland annat flera utredningar med tillhörande rapporter. Vissa av dessa biläggs denna PM. För hänvisning till bilagorna används numrering 1–7 enligt listan nedan. Övriga referenser redovisas sist i denna PM.

- 1 Översiktskarta
- 2 Hydrogeologisk Karta
- 3 Beräkningsbilaga
- 4 PM Vattenkvalitet
- 5 PM Geomodell
- 6 PM Sättningar
- 7 PM Inventering
- 8 Karta med åtgärdsnivåer grundvatten

2. Höjd och koordinatsystem

Höjder betecknas som plushöjder enligt +0,00 m ö. h. (meter över havet) i RH 2000 om inget annat specificeras. Tidigare användes höjdsystemet RH00 i Stockholm, så äldre höjddata har konverterats till RH 2000. Höjdangivelser i bilagor är i RH00. För att transformera höjdinformation från RH00 till RH 2000 adderas 0,525 m.

Angivelse av geografisk plats på spårlinjen på järnvägen anges med längdmätning, till exempel 5+500, där siffran innan plustecknet anger antal km och efter antal m. Längdmätning utgår från Stockholm och stiger bort från Stockholm.

3. Förkortningar och termer

Detta kapitel inleder med en lista över grundläggande förkortningar. Därefter förklaras några hydrogeologiska och geologiska termer som används i denna PM. I andra sammanhang kan termerna ha andra definitioner.

3.1. Förkortningar

Följande förkortningar används i detta dokument:

SGU: Sveriges Geologiska Undersökning

SIG: Sveriges Geotekniska Institut

SMHI: Sveriges Meteorologiska och hydrologiska Institut

MKB: Miljökonsekvensbeskrivning

TB: Teknisk beskrivning

PAH: Polycykliska aromatiska kolväten

PFAS: Högfluorerade ämnen (per- och polyfluorerade alkylsubstanser)

PFOS: Perfluoroktansulfonat

BTEX: Samlingsnamn för bensen, toluen, etylbensen och xylener

3.2. Termer och definitioner

Byggskede: Skede när pågående byggnation förutsätter bortledning av grundvatten.

CRS-försök: Ett opåverkat lerprov utsätts för tryck för att bedöma lerans egenskaper och hur mycket lerjorden komprimeras vid dränering av porvattenhalten.

Driftskede: Skede som startar när anläggningen är så pass färdigbyggd att vattenverksamheten i samband med byggskedet är avslutad och inte längre påverkar omgivningen.

Friktionsjord: Jord vars hållfasthet till övervägande del beror på friktion mellan kornen. Grus och sand är exempel på friktionsjord.

Fyllningsjord: Utfyllnadsmassor bestående av jord som inte bildats i naturliga processer på platsen.

Grundvatten: Vatten över atmosfärstryck som helt fyller hålrum och sprickor både i jord och i berg. I jord rör sig grundvattnet i hålrum mellan jordpartiklarna, medan vattnet i berget rör sig i sprickor. Mellan sprickorna anses bergmassan vara tät.

Grundvattenbildning: Nybildning av grundvatten genom att vatten, ofta nederbörd, tillförs grundvattenytan genom infiltration.

Grundvattendelare: En gräns för ett grundvattenmagasin. Den kan bestå av en bergtröskel under mark som delar av ett grundvattenmagasin i jordlagren. Den kan annars vara topografiskt betingad, en så kallad gravitationsvattendelare, som gör att grundvattenströmningen riktas åt olika håll.

Grundvattenflöde: Flöde av grundvatten inom ett eller mellan olika grundvattenmagasin.

Grundvattenmagasin: En avgränsad del av ett vattengenomsläppligt jordlager. Även berggrundens vattengenomsläppliga spricksystem brukar kallas för ett (berg-) grundvattenmagasin. Grundvattenmagasinen kan vara öppna eller slutna. I öppna magasin har grundvattnet kontakt med atmosfären genom öppna porer i ovanliggande jord. Grundvattenytan sammanfaller med grundvattenzonens övre gräns. Ett slutet grundvattenmagasin har ett lock av ett impermeabelt lager ovan det. Grundvattennivån ligger högre än grundvattenmagasinets övre gräns.

Grundvattennivå: Grundvattenytans läge i mark där jämvikt med atmosfärstryck råder och tryckpotentialen är lika med noll. Trycknivån kan avläsas i grundvattenrör, grävda gropar eller likande.

Grundvattenyta: Den vattenyta som bildas i jämvikt med atmosfärstrycket och som utgör gränsen mellan grundvatten och markvatten.

Hydraulisk konduktivitet: Ett mått på jordlagrets eller berggrundens förmåga att släppa igenom vatten. Ett grundvattenflöde genom ett visst tvärsnitt beror på konduktiviteten (K) och strömningsgradienten (dividerat medsträcka) mellan två punkter.

Influensområde: Det område där en grundvattenpåverkan beräknas ske som följd av grundvattenuttag. En anläggning kan ha olika influensområden i olika skeden, och influensområdet beror även på vilka skyddsåtgärder som vidtas.

Infiltration: Process då en del av vattnet tränger ner i marken i stället för att forslas bort genom ytavrinning.

Konceptuell modell: En beskrivning av det hydrogeologiska systemet, dess ingående delar och hur dessa samverkar.

Konservativa bedömningar och beräkningar: Beräkningar eller bedömningar som är överdrivet pessimistiska för att resultatet av beräkningen/bedömningen ska visa värsta möjliga utfall.

Konsolidering: En volymminskning (komprimering) av lerjord på grund av belastning eller minskning av portrycket. När en lerjord belastas pressas vatten ut ur jorden och porvolymen minskar. Om trycknivån sänks i under- eller överliggande jordlager kommer lerjordens portryck att minska med en konsolidering som följd. En överkonsoliderad jord har tidigare varit utsatt för en större belastning eller grundvattensänkning än dagens förhållanden. En underkonsoliderad lerjord är utsatt för en belastning eller trycknivåsänkning men har ännu inte anpassats (konsoliderats) för rådande förhållanden.

Markavvattning: Avvattning av mark genom t.ex. anlägga diken, fördjupning av befintliga vattendrag eller sänkning av sjötrösklar för att öka ett områdes lämplighet och därmed värde, ofta för att skapa mer jordbruksmark eller byggbar mark. Markavvattning är vattenverksamhet och tillståndsprövas av länsstyrelsen eller mark- och miljödomstolen. Markavvattning kallades förr för markavvattningsföretag eller dikningsföretag.

Modellområde: Område inom vilket en tredimensionell grundvattenmodell över det hydrauliska system som omfattas av vattenverksamheten har upprättats. Modellen täcker ett större område än utredningsområdet.

Mäktighet: Tjockleken på ett skikt eller annan geologisk avlagring.

Påverkansområde: Område där grundvattenbortledningen förväntas ge en direkt påverkan på grundvattnet i sådan omfattning att denna går att påvisa och kan ha betydelse för fastigheter eller miljön. Påverkansområdet avgränsar sakägarkretsen för vattenverksamhet.

Recipient: Vattendrag som avlopps- eller dagvatten leds till, utan eller efter eventuell rening.

Riskobjekt: Skyddsvärda objekt som riskerar att påverkas av den grundvattensänkning som behövs för byggnation av planerad anläggning.

Schaktbotten: Den marknivå där länshållning kommer att ske under byggskedet.

Sättning: När markytan sjunker på grund av att underliggande jordlager pressats samman (konsoliderats).

Sättningsbenägen lera: Lera som konsolideras av pålagd last (t.ex. byggnader), utfyllning eller sänkning av grundvattnets trycknivå.

Torrskorpelera: Avvattnad, konsoliderad lerjord vid markytan som ofta är fast och uppsprucken.

Transmissivitet: Vattenledningsförmåga för ett specifikt grundvattenmagasin eller en del av ett sådant magasin.

Utredningsområde: Område där utredningar (inventeringar, undersökningar, analyser och beräkningar) har utförts för hydrogeologisk och geologisk kunskapsuppbyggnad.

Vattenverksamhet: Verksamhet som omfattas av 11 kap. 3 § miljöbalken. Vattenverksamheten i detta projekt omfattar punkt 6 och 7 i denna paragraf.

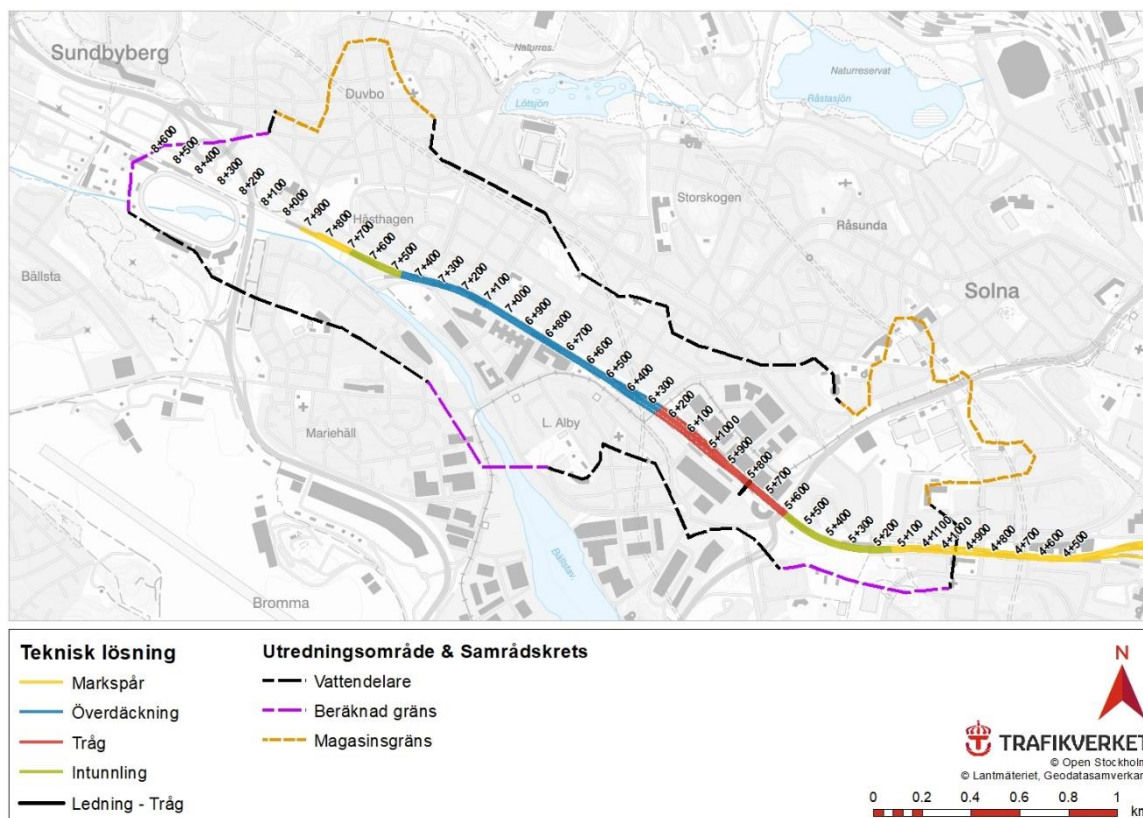
4. Grundläggande förutsättningar

I detta kapitel redovisas de grundläggande förutsättningar som utredningsarbetet baseras på. Här presenteras de konceptuella modellerna över området. Syftet är att skapa en översiktlig förståelse för området samt förklara principerna för var och hur grundvattnet uppträder och rör sig.

4.1. Utredningsområdet

Ett utredningsområde har definierats för att kunna utreda omgivningspåverkan från planerad vattenverksamhet. Utredningsområdets gränser har tagits fram utifrån vattendelare, grundvattenmagasins gränser och konservativa överslagsberäkningar, se figur 5. Området sammanfaller med vattenverksamhetens samrådskrets.

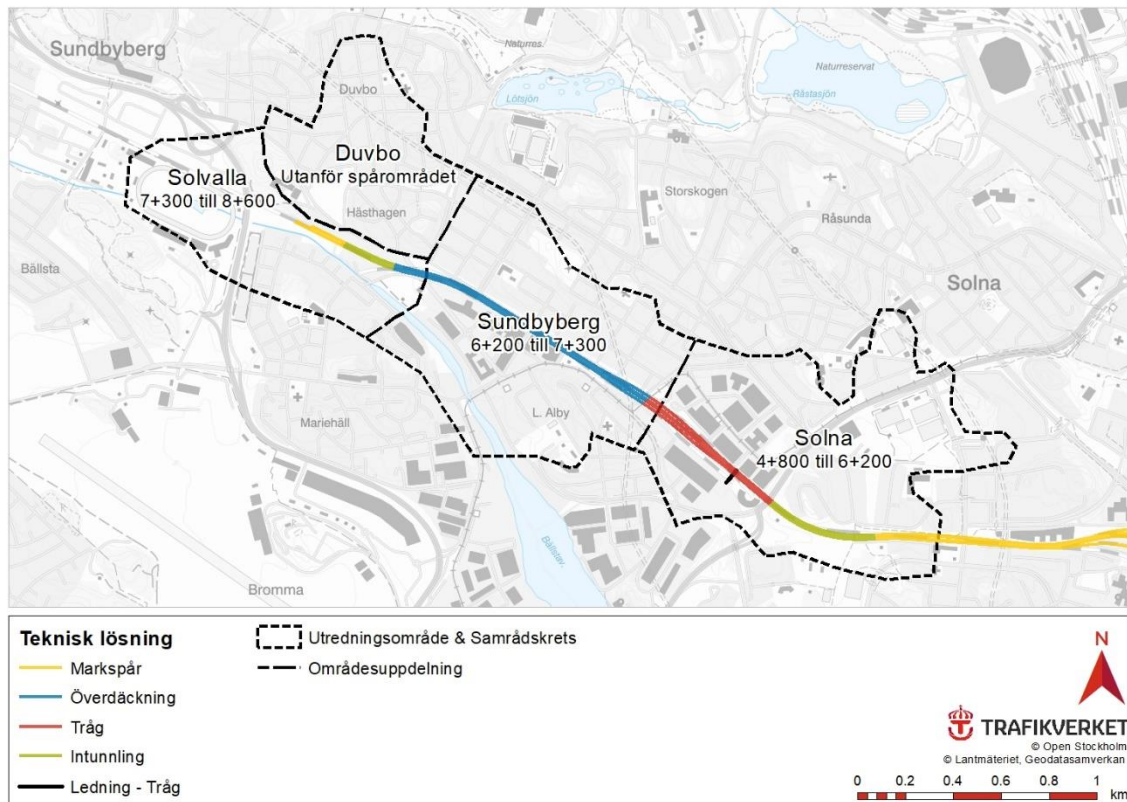
Ett aningen större område har använts som grund för den numeriska grundvattenmodellen och de beräkningar som gjorts för området. Detta område benämns modellområde och utgörs av områden som har en hydrogeologisk påverkan på utredningsområdet men som inte påverkas av vattenverksamheten. Modellområdet presenteras mer i detalj i bilaga 3.



Figur 5. Utredningsområdet för vattenverksamheten.

4.2. Områdesindelning

Utredningsområdet har delats upp i fyra delområden för att på ett systematiskt sätt kunna arbeta och presentera resultat längs sträckan, se figur 6. Delområdena har givits namn med koppling till aktuell tätort eller stadsdel. Gränsen mellan (delområdena) Solna och Sundbyberg är definierad utefter en grundvattendelare, medan uppdelningen i Sundbyberg, Duvbo och Solvalla är gjord av praktiska skäl. Mellan dessa områden finns ingen grundvattendelare och de omfattas av samma stora undre grundvattenmagasin. Inom varje delområde förekommer flera olika andra grundvattenmagasin, se avsnitt 6.5.1 Grundvatten i jord.



Figur 6. Uppdelning av utredningsområdet i fyra delområden.

4.3. Konceptuella modeller

Insamlade data har på ett strukturerat sätt bearbetats genom framtagande av konceptuella modeller. Syftet med modellerna är att systematisera och visualisera geologiska och hydrogeologiska förhållanden i nuläget.

4.3.1. Hydrogeologisk konceptualisering

Grunden för den hydrogeologiska konceptualiseringen är uppdelningen av olika grundvattenmagasin, som avgränsas av olika geologiska formationer. För Stockholmsområdet generellt, liksom längs aktuell järnvägssträcka, har geologin och grundvattenmagasinen påverkats av mänsklig aktivitet i sådan grad att systemen uppför sig helt annorlunda jämfört med opåverkade naturliga förhållanden.

Översta jordskiktet längs aktuell sträcka består vanligen av fyllnadsmaterial av olika slag. Under fyllnaden uppträder oftast lera i dalgångarna, medan både leran och fyllningen avtar högre upp i

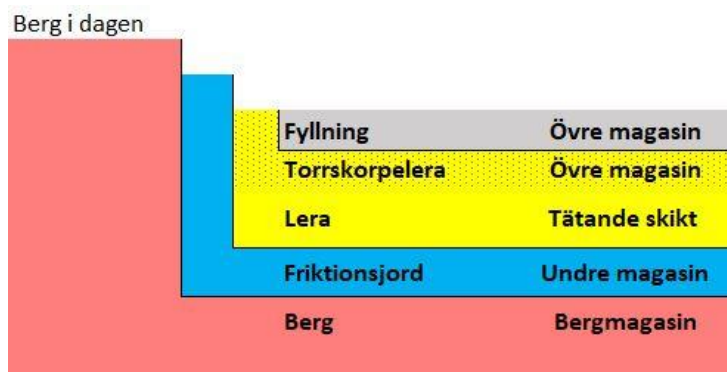
terrängen. I fyllnadsjorden uppträder ofta lokala övre, öppna grundvattenmagasin periodvis under året. Leran under fyllningen hindrar till stor del vattnet att infiltrera nedåt, och därför kan vatten ansamlas i svackor i leran.

Inom lerområden där grundvattennivån i undre grundvattenmagasin ligger under markytan förekommer torrskorpelera. Torrskorpelera bildas i de övre lerlagren genom uttorkning, tjälning och vittring. Detta skikt är även oftast påverkat av växtlighet och marklevande organismer, vilket gör leran mer uppluckrad än djupare liggande lera. Detta gör att vatten från nederbörd lättare kan tränga ner i översta delen av marken.

Under leran finns ett friktionsjordlager, ofta bestående av morän. Moränen består av en blandning av olika jordfraktioner. Moränen utgör ofta ett sammanhängande lager som medger grundvattentransport och bildar därför ett undre magasin, där leran ovanför moränen skapar ett tätt lock.

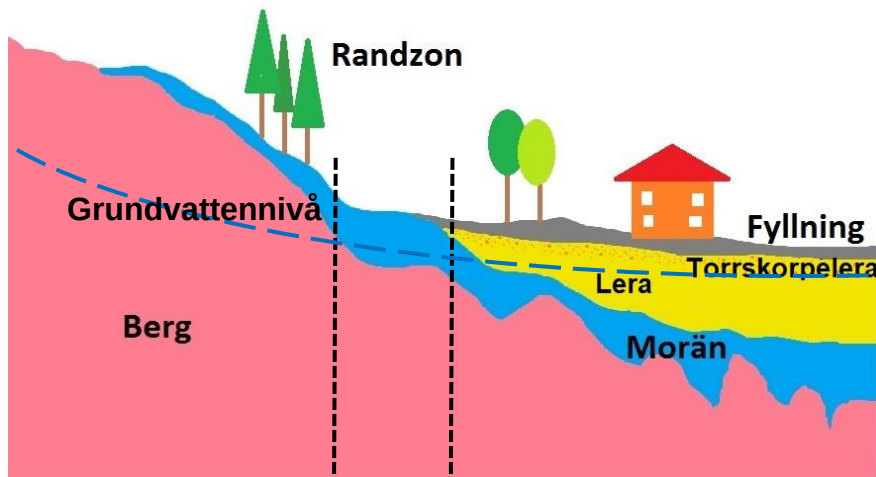
Under moränen återfinns berget, som har varierande genomsläpplighet främst beroende på omfattningen av vattenförande sprickor. Vattengenomsläppligheten i berg brukar generellt minska med ökande djup. Eftersom järnvägsanläggningen till stor del enbart berör de översta delarna av berget, till skillnad från en djup tunnel, är det framför allt det ytliga bergets grundvatten i spricksystemen som är av intresse.

Denna geologiska uppdelning visualiseras i den konceptuella modellen i figur 7.



Figur 7. Geologisk struktur i den konceptuella modellen.

Eftersom leran är förhållandevis tät och till stor del hindrar vatten från att tränga igenom den, skapas ett undre slutet magasin som enbart har kontakt med atmosfären där friktionsmaterialet tränger igenom leran. Detta sker oftast i kanten till en höjd, där berget går upp och så även friktionsmaterialet. Dessa områden kallas randzoner, och det är där större mängder vatten kan transporteras in eller ut från det undre magasinet, under leran. Randzonerna är viktiga för påfyllnad av grundvatten till undre magasinet. De reglerar också vilken trycknivå som kan uppstå i det undre magasinet, se figur 8. Om leran tätar långt upp i terrängen finns det möjlighet att höga grundvattentryck kan byggas upp i det undre magasinet.



Figur 8. Visualisering av randzonen motsvarande figur 7.

4.3.2. Övergripande grundvattenbildning i urban miljö

Utgångspunkten för att bedöma nybildning av grundvatten är att den del av nederbörden som inte avdunstar (nettonederbörden, P_n) finns potentiellt tillgänglig för grundvattenbildning. För att bedöma nettonederbörden kan långtidsserier från SMHI gällande nederbörd, avdunstning och avrinning användas.

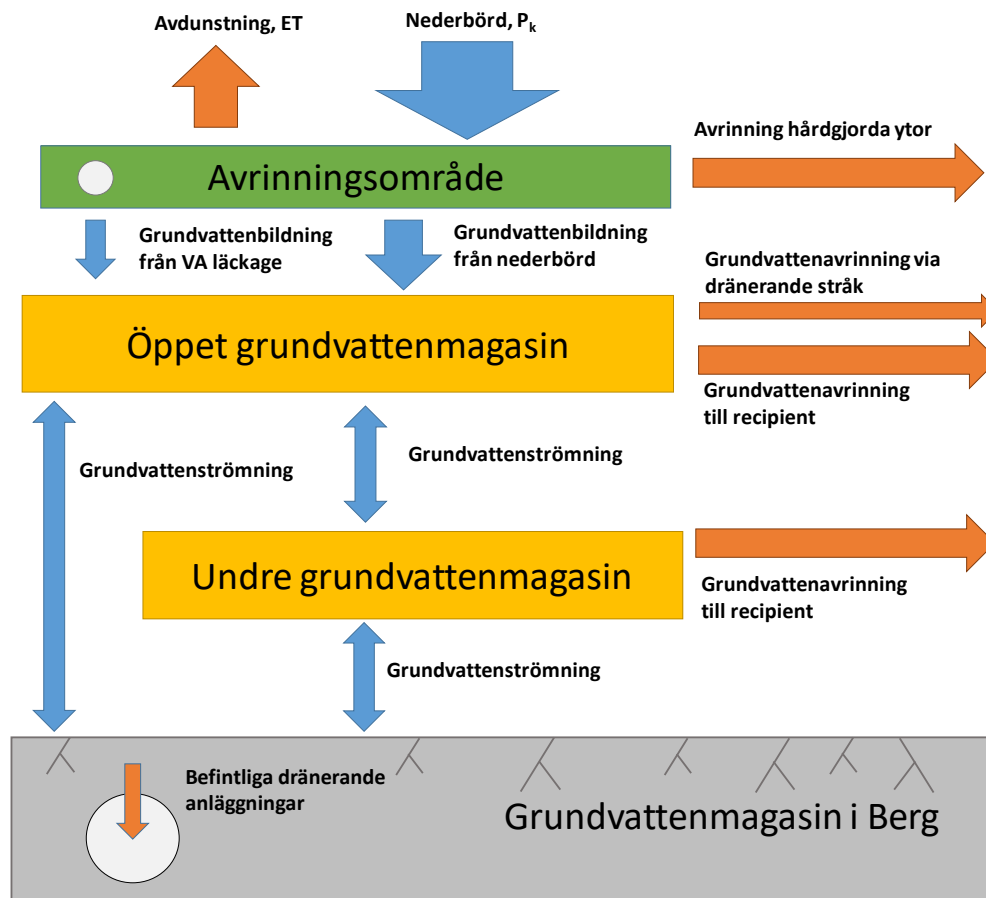
I urban miljö förekommer stor lokal avledning av nederbörd till dagvattenssystemet, t.ex. via hustak och hårdgjorda ytor. En asfaltsyta är dock inte tät, vilket medför att en inte obetydlig del av nederbörden kan infiltrera och perkolera (transporteras genom omättad zon) vidare ner genom marken för att bilda grundvatten. Andra typer av hårdgjorda ytor i städer, såsom plattsättning och grusytor, har generellt ännu större potential till infiltration. Dessutom tillförs vatten till grundvattnet från läckande dricksvattenledningar. Sådant läckage brukar typiskt ligga omkring 15–20 % i större städer, i Stockholm ca 15 %.

I urban miljö sker nybildning av grundvatten till ett övre grundvattenmagasin, som i randzoner står i direktkontakt med undre grundvattenmagasin. Det förekommer ibland att *nybildning av grundvatten* till ett magasin blandas ihop med *grundvattenströmning*. Med nybildning åsyftas här grundvattenbildning via infiltration av nederbörd (samt läckage från trycksatta vattenledningar) – inte tillrinning av grundvatten från ett övre magasin till ett undre, vilket alltså kallas grundvattenströmning.

Flödet av grundvatten mellan de olika magasinerna kan ske via kontakt mellan övre och undre magasin i friktionsmaterial i randzoner. Det kan också ske i kontakt mellan berg och lera eller mellan berg och undre magasin. Tillskott till undre magasin från läckage genom lera kan oftast antas vara försumbar i sammanhanget. I randzoner kan den potentiella vattentillgången vara betydande om uppströms liggande områden bidrar med grundvattentillrinning. Här råder då ofta ett lokalt vattenöverskott som bortförs via yttligt liggande dränerande stråk. En trycksänkning i undre magasin i jord kan därmed medföra en betydande ökad tillströmning via randzoner, vilket till stor del kan ske på bekostnad av minskad bortledning till yttligt liggande dränerande stråk. Sådant ökad tillströmning minskar alltså påverkan i det undre magasinet.

Från de olika magasinerna avrinner grundvattnet oftast till en närliggande naturlig recipient till exempel ett vattendrag. I den urbana miljön förekommer även ofta dränerande anläggningar,

såsom bergtunnlar och ej trycksatta VA-system. En konceptuell modell över flödena presenteras i figur 9.



Figur 9. Konceptuell modell för vattenbalansen i urban miljö och vattnets flödesvägar.

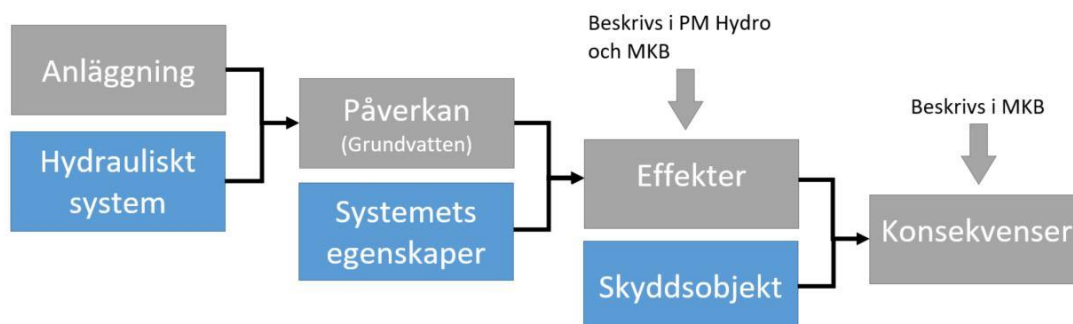
4.4. Bedömning av effekter från påverkan vid riskobjekt

För att kunna bedöma de slutliga konsekvenserna för ett riskobjekt, vilket görs i dokumentet Miljökonsekvensbeskrivning, måste flertalet faktorer vägas in.

Förekommande grundvattenmagasin, som utgör det hydrauliska systemet, har olika egenskaper som varierar över deras geografiska utbredning. Likaså varierar järnvägsanläggningens nivå i förhållande till markyta och grundvattennivå längs sträckningen. Med den numeriska grundvattenmodellen beräknas ett influensområde som varierar längs samma sträcka.

När grundvattenavsänkningen inom influensområdet har beräknats och bedömts medför olika systems egenskaper olika effekter till följd av denna grundvattenavsänkning. Exempelvis kan lerans egenskaper i vissa områden hantera en större trycknivåförändring utan att sättningar uppkommer. I ett annat område kan en mindre trycksänkning ge större effekter i form av marksättningar. Därmed kan en varierad effekt längs sträckan bedömas som en kombinerad funktion av grundvattenpåverkan och systemegenskaper.

Olika konsekvenser kommer att uppstå beroende på vilka riskobjekt som finns i ett visst område, vilka deras egenskaper är och vilka effekter som uppkommer på grund av valda tekniska lösningar. För att bedöma konsekvenserna för ett riskobjekt måste alltså alla dessa faktorer bedömas, och variationen kan vara stor mellan olika områden och objekt, se figur 10.



Figur 10. Princip för hur bedömning av konsekvenser för ett visst riskobjekt görs.

4.5. Bedömning av behov av skyddsåtgärder

Utifrån de effekter och riskobjekt som konstateras längs sträckan, enligt föregående avsnitt, kan olika behov av skyddsåtgärder identifieras. Med hjälp av grundvattenmodellerna och förutsägbar påverkan på omgivningen för en skyddsåtgärd med en viss funktion kan sedan lämpliga, riktade skyddsåtgärder utvärderas.

5. Utförda inventeringar och utredningar

I detta kapitel beskrivs kortfattat de inventeringar och utredningar som ligger till grund för den hydrogeologiska utredningen. Tidigare genomförda arbeten relaterade till grundvatten har inventerats och ytterligare utredningar har genomförts där mer kunskap behövdes. En del av de utförda utredningarna redovisas som bilagor eller som referenser.

5.1. Inventering av befintliga dränerande anläggningar

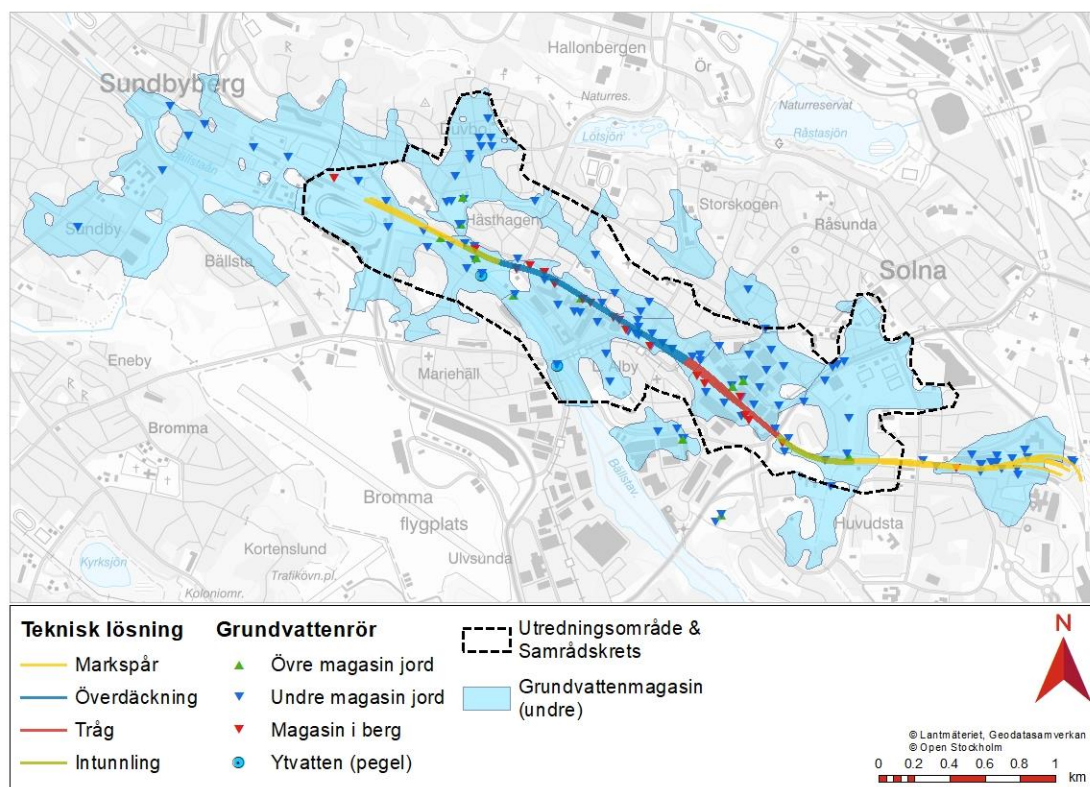
Befintliga undermarksanläggningar har inventerats i området, i huvudsak genom sökning i kommunernas arkiv och kontakt med ledningsägare i omgivningen. Även Fortifikationsverket har kontaktats. Om en anläggning är dränerande har storleken på inläckande grundvatten till denna tagits fram där det varit möjligt.

Många av ovanstående anläggningar är sekretessbelagda och kan därför inte redovisas i denna PM. En anläggning som dock kan redovisas är tunnelbanans blå linje, som passerar genom området. I det fallet har inga uppgifter om storleken på inläckaget av grundvatten funnits tillgängliga. Det finns även en avloppstunnel i området, kallad Underverket. På grund av att lokaliseringen är hemlig begränsas redovisningen av denna.

5.2. Hydrauliska undersökningar

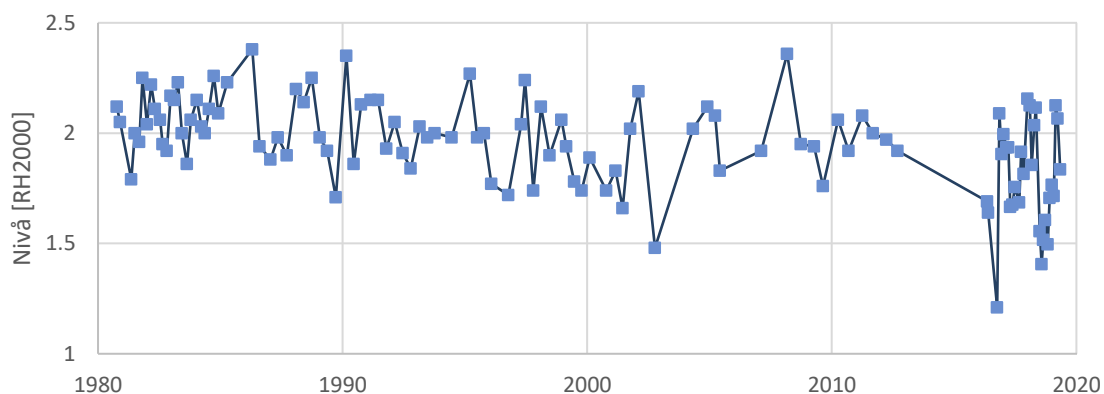
5.2.1. Grundvattennivåer

Grundvattennivåmätningar genomförs en gång i månaden, med start 2015. Under tiden har antalet grundvattenrör varierat, genom att vissa rör har tillkommit och andra tagits bort. Vid början av 2019 mättes drygt 100 rör. Se figur 11 för alla 165 rör som har mätts någon gång inom projektet.



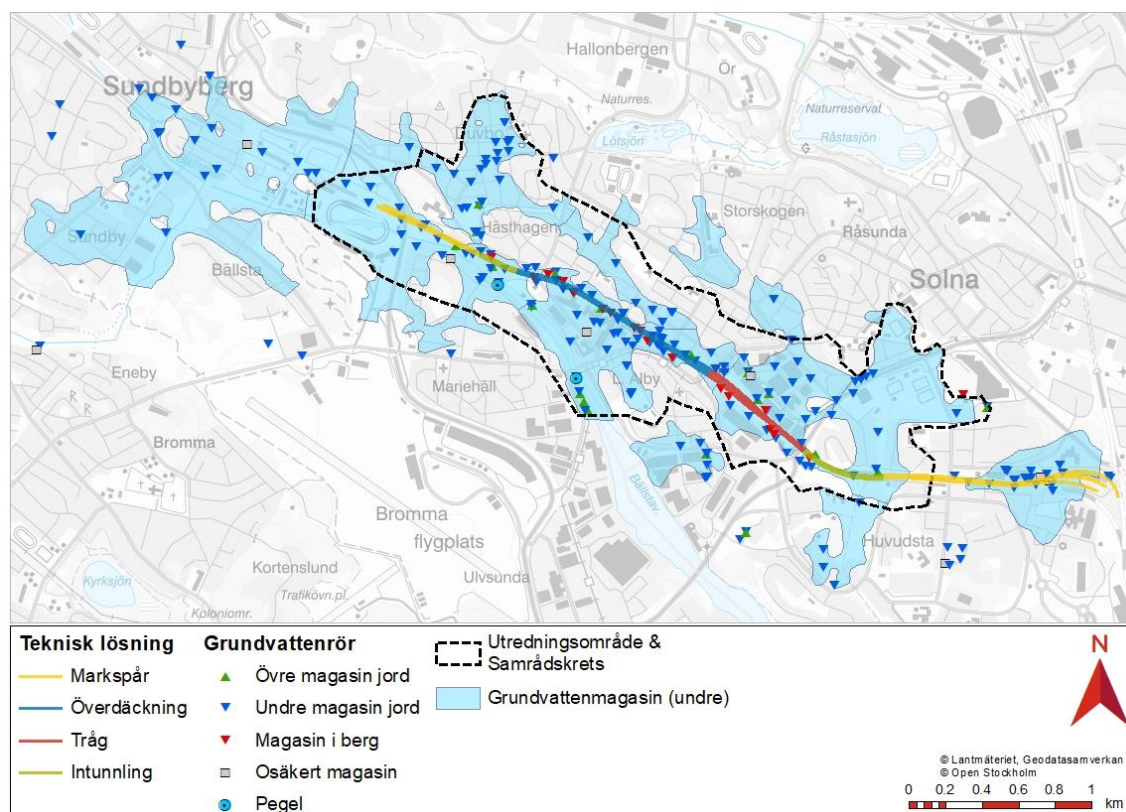
Figur 11. Grundvattenrör där mätningar har genomförts inom projektet, totalt 165 st.

I mät databasen återfinns inte bara nyinstallerade rör inom projektet, utan även ett stort antal äldre rör. En del av dessa härstammar från arbetet med utbyggnaden av den blå tunnelbanelinjen under 1970-talet. För de äldre rören saknas oftast mätdata från 1980-talets slut fram till 2015, när mätningarna påbörjades inom detta projekt. Det finns dock rör där mätningar har skett mer kontinuerligt sedan 1970-talet. I exemplet i figur 12 visas en mätserie för ett rör där mätningar utförts kontinuerligt sedan 1980-talet.



Figur 12. Ett grundvattenrör i närheten av Solvalla där mätningar har gjorts sedan 1980.

Äldre mätserier har tagits fram i projektet, även för de rör som inte längre finns eller av andra anledningar inte mäts. Äldre mätningar är värdefulla data för att studera variation på grundvattennivåer över längre tid samt för att erhålla information om grundvattennivåer i områden där det inte finns befintliga grundvattenrör. Totalt finns data från ca 260 grundvattenrör, se figur 13, framför allt i undre magasin. Det finns dock även mätningar i övre magasin samt i berg.

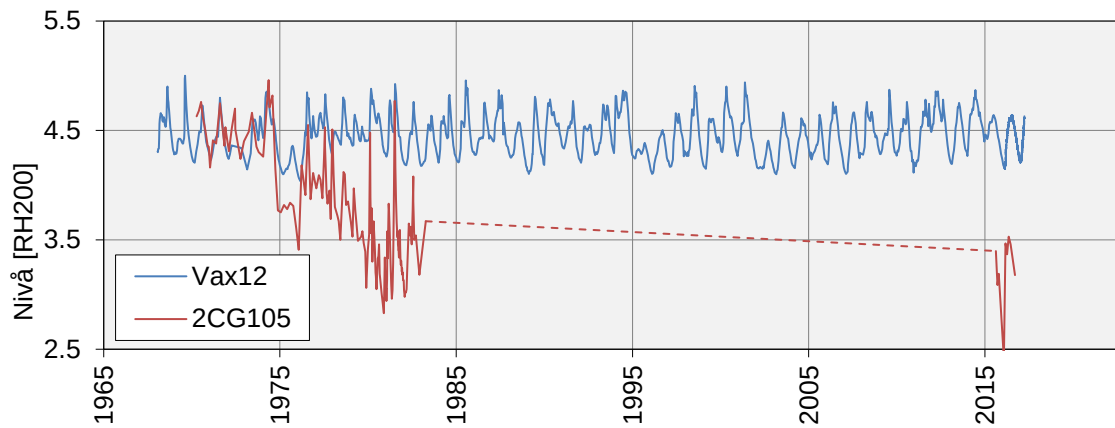


Figur 13. Samtliga grundvattenrör med grundvattennivådata som har inventerats, ca 260 st.

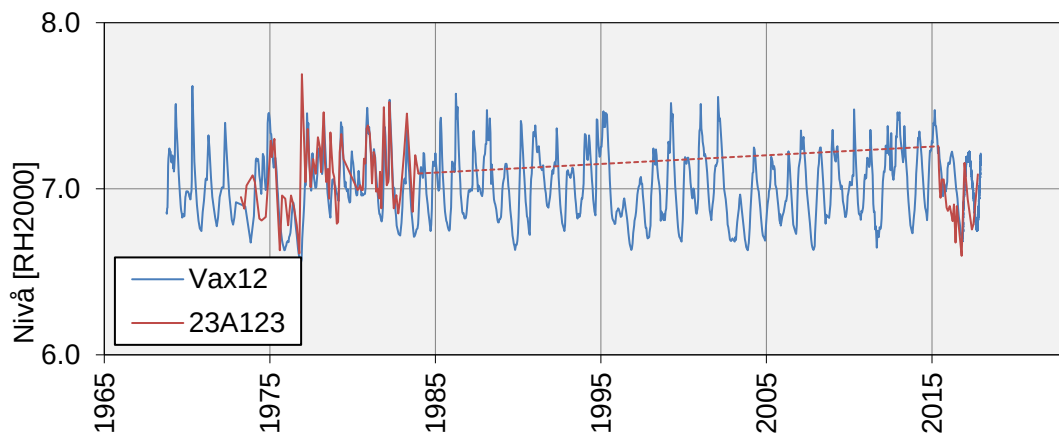
5.2.2. Samvariation

Vissa längre mätserier tyder på att en påverkan har skett i en del av områdets undre magasin. Ofta är påverkan av grundvattennivåerna relaterad till större byggen, såsom tunnelbanan. För att avgöra om en påverkan har skett och i så fall hur stor den är kan en samvariationsanalys göras.

Genom att jämföra mätningarna i ett visst grundvattenrör mot ett referensrör kan påverkan påvisas eller avskrivas. Detta har gjorts för flertalet grundvattenrör inom projektet. Som referensrör har SGU:s grundvattenrör i Vaxholm använts, för att detta är placerat i ett magasin med liknande förutsättningar som projektets grundvattenrör. SGU:s grundvattenrör har långa mätserier där uppmätta nivåer är kvalitetssäkrade mot extern påverkan. Variationen i mätserierna beror enbart på naturlig variation i vädret och trender i klimatet. Genom att anpassa absolutbeloppet och amplituden kan referensröret justeras till det grundvattenrör som ska utvärderas, se nedan två exempel i figur 14 och figur 15.



Figur 14. Här ses samvariation under början av 1970-talet mellan ett grundvattenrör (2CG105) och referensröret (Vax12). Efter 1975 börjar nivån i 2CG105 sjunka. Vid mätning under 2015 kvarstår avsänkningen, vilken kan bedömas till både tidpunkt och storlek. I detta fall är den troliga orsaken till påverkan utbyggnaden av tunnelbanan i mitten av 1970-talet. Avsänkningens storlek är ca 1,4 m (kvarstående).

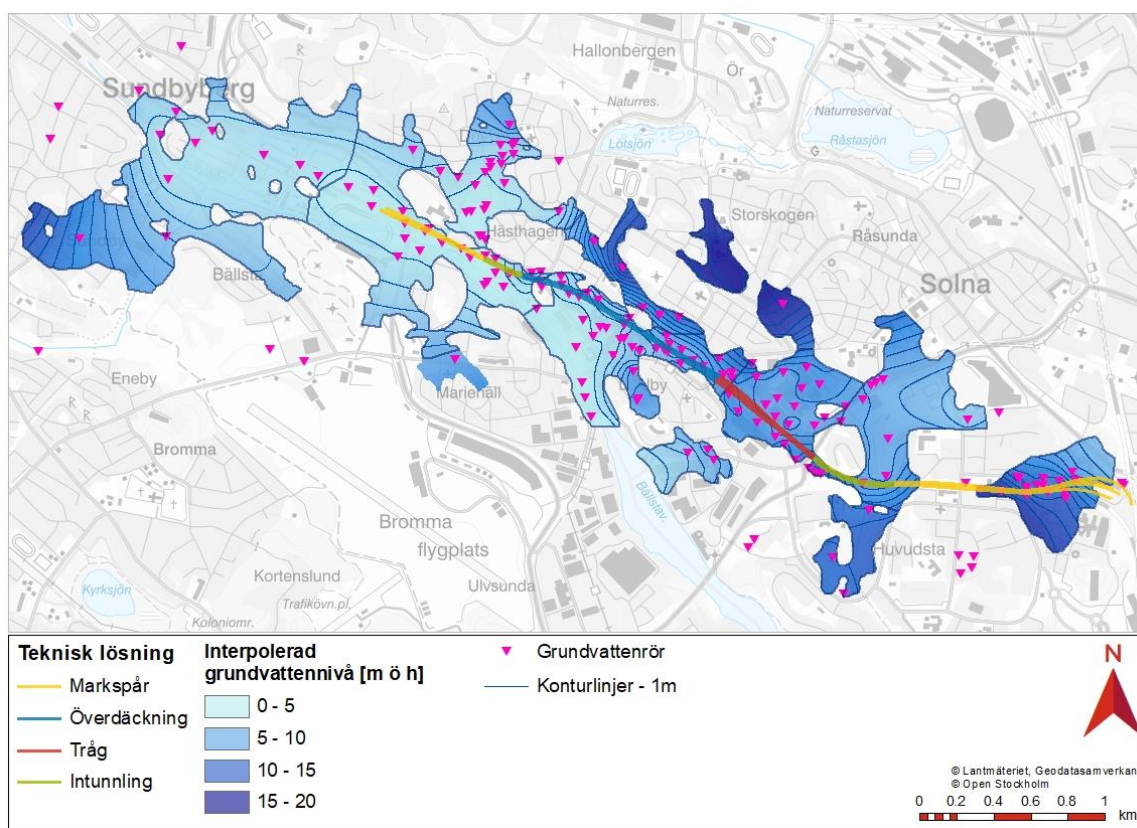


Figur 15. Här ses samvariation mellan ett annat grundvattenrör (23A123) och referensröret (Vax12). Här kan ingen påverkan påvisas.

5.2.3. Interpolering av en grundvattennivå i undre magasin

Genom en sammanställning av samtliga mätserier har ett representativt medelvärde kunnat tas fram. Där grundvattennivån är påverkad har enbart senare delar av serien använts, där nivån har stabiliserats igen. När endast äldre serier finns har en bedömning gjorts om röret anses vara påverkat eller inte. En relevant anpassning av medelvärdet har då gjorts för att detta ska representera en troligt aktuell medelnivå. Serier med enbart ett fåtal grundvattenmätningar har inte använts, eftersom de bedöms vara för osäkra.

Alla medelnivåer som anses vara representativa för den aktuella situationen har sammanställts; totalt har ca 150 grundvattenrör kunnat användas för undre magasin. Dessa nivåer har använts för att interpolera fram en grundvattennivå som representerar en medelgrundvattennivå i undre magasin, se figur 16. I magasin med många grundvattenrör har resultatet hög tillförlitlighet, medan resultatet i andra fall bör tolkas med viss försiktighet. Eftersom det finns ett stort antal rör nära Mälarbanans bansträckning blir resultatet där väl tillförlitligt. I de mindre, omkringliggande magasinerna är antalet grundvattenrör ofta begränsat, vilket gör resultaten mindre tillförlitliga.

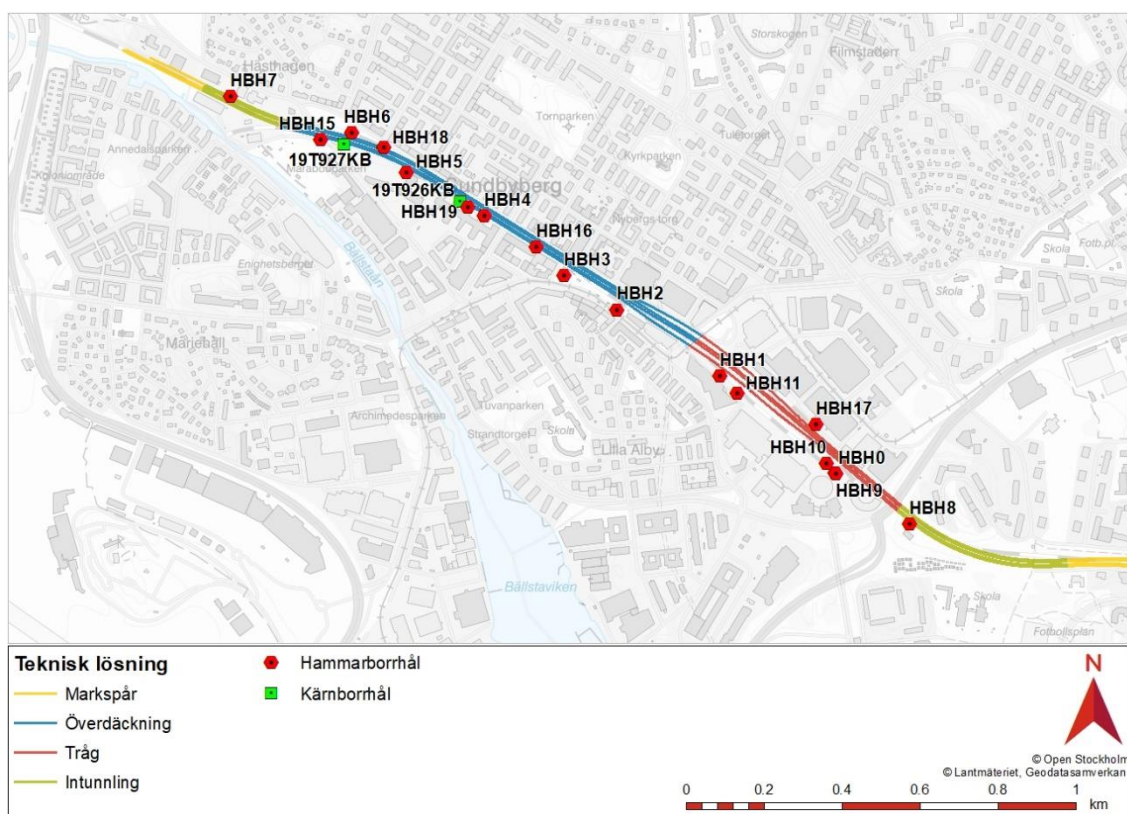


Figur 16. Interpolerad grundvattennivå i undre magasin samt använda grundvattenrör.

5.2.4. Vattenförlustmätningar

Vattenförlustmätningar har gjorts i 17 hammarborrhål och 2 kärnborrhål i berg för att undersöka den hydrauliska konduktiviteten i berget¹, se figur 17. Metoden går ut på att en sektion av borrhålet avskärmas. Därefter mäts hur mycket vatten som måste injekteras för att behålla ett visst övertryck i sektionen. Mätningarna utfördes med 3-meterssektioner längs hela borrhålet, normalt med start vid ca 1 m under foderröret. Där grundvattenytan ligger djupare startades mätningarna vid ca 0,5 m under grundvattenytan. Instrumentens lägsta mätgräns motsvarar en hydraulisk konduktivitet (K) på $1 \cdot 10^{-9}$ m/s, vilket gör att tätare berg inte kan bestämmas mer noggrant.

Det ska påpekas att de översta ca 2 m av berget inte testas, eftersom foderröret går ner något i berget (ca 0,5 m). Dessutom är översta manschetten för att avgränsa borrhålet ca 1 m lång, vilket medför att den allra översta delen av berget inte mäts. Det är dessutom vanligt att den ytligaste delen av berget är mer uppsprucken och vattenförande än lägre ner, så konceptuellt kan den tolkas som en del av det undre magasinet i jord.



Figur 17. Hammar- och kärnborrhål längs järnvägssträckan där vattenförlustmätningar genomförts.

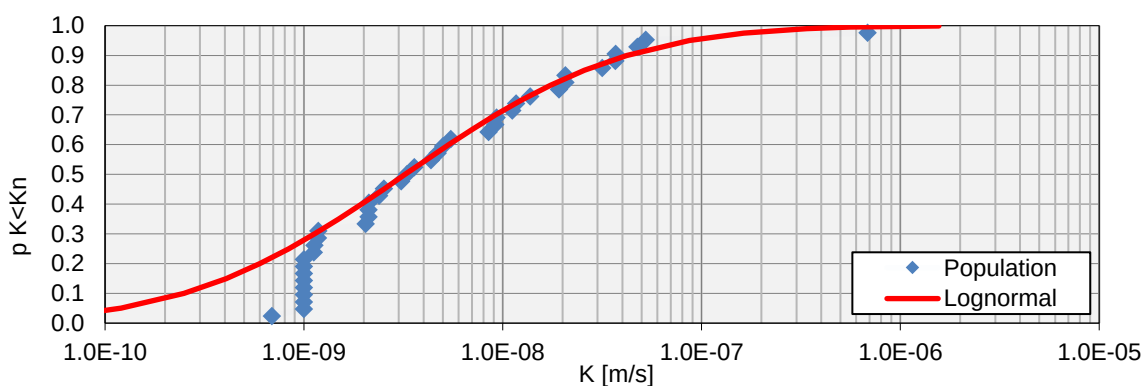
Resultaten från vattenförlustmätningarna har delats upp i tre delar:

- 3–9 m under bergöverytan
- 9–16 m under bergöverytan
- 16–23 m under bergöverytan

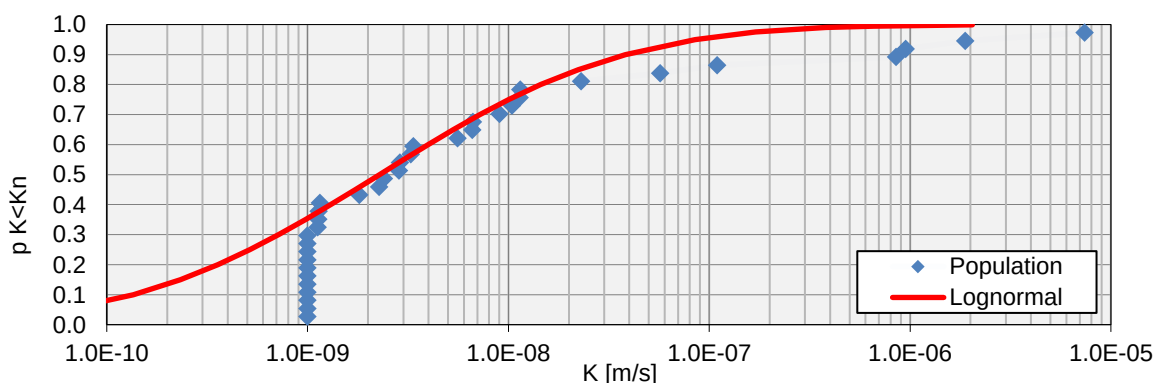
En lognormalfördelning har anpassats för varje delmängd för att bedöma resultatet i ett större perspektiv. Översta delen (3–9 m) indikerar låga K-värden med ett medianvärde på $3,2 \cdot 10^{-9}$ m/s.

¹ WSP, 2019 (MUR bilaga 16)

Många sektioner hade flöden under mätgränsen ($1 \cdot 10^{-9}$ m/s), vilket framgår av alla punkterna vid detta värde i figur 18. Mellandelen (9-16 m) uppvisade en större spridning på värdena, men även där återfinns en större mängd mätningar under eller mycket nära mätgränsen. Det förekommer dock också mätningar med höga K-värden, se figur 19. Medianvärdet för denna del beräknas till $2,3 \cdot 10^{-9}$ m/s, men med en större spridning. I den djupaste delen (16–23 m) ligger ca 70 % av mätningarna under eller nära mätgränsen, men det förekommer vattenförande sprickor med klart högre K-värde. Eftersom en stor del av mätningarna ligger under mätgränsen går det inte att utvärdera dem noggrant, men medianen ligger under $1 \cdot 10^{-9}$ m/s.



Figur 18. Analys av mätdata från sektioner 3–9 m under bergöverytan.



Figur 19. Analys av mätdata från sektioner 9–16 m under bergöverytan.

Vattenförlustmätningarna indikerar att bergets översta nivå (3–9 m under bergöverytan) är lågkonduktiv. I djupare sektioner förekommer enstaka mer vattenförande sprickor, fler än vad som observerats i de ytligaste sektionerna. En något sjunkande hydraulisk konduktivitet med djupet (djupavtagande) kan ses i mätresultaten, men skillnaderna mellan de olika nivåerna är liten.

5.2.4.1. Lärdomar från andra projekt

Underlag från andra projekt används för att verifiera att erhållna resultat är rimliga och tillförlitliga. De används också som underlag till den hydrogeologiska konceptuella modellen.

Liknande arbeten och analyser har genomförts inom projektet för utbyggnaden av tunnelbana till Arenastaden², som ligger 2 km öster om Mälarbanan. Inom det projektet utvärderades 12

² WSP, 2016

kärnbrorrhål till geometriskt medelvärde, $K_g = 1,4 \cdot 10^{-7}$ m/s. Utrustningens mätgräns varierade mellan ca $2 \cdot 10^{-8}$ och $2 \cdot 10^{-10}$ m/s.

Inom projekteringen av Citybanan genomfördes vattenförlustmätningar i 40 kärnbrorrhål³. Utrustningen hade en mätgräns motsvarande ett K-värde på ca $1 \cdot 10^{-8}$ m/s. Omkring 60 % av sektionerna gav ingen mätbar förlust, vilket ledde till att de värdena inte användes i utvärderingen – vilket borde ha skett. Det utvärderade medianvärdet, $3,5 \cdot 10^{-8}$ m/s i berget, är dock både trovärdigt och erfarenhetsmässigt vad som kan förväntas.

I avloppstunneln Underverket förekommer det droppande och rinnande vatten och områden i tunneln där extra injekteringsåtgärder (områden med sprutbetong) utförts har identifierats. Dessa delar tolkas som områden med dåligt berg i form av zoner med högt inläckage. Delar av tunnelområdet finns inom sträckningen för Mälarbanan.

Det förekommer även droppande vatten i tunnelbanans blåa linje i området. Storleken på inläckaget är som nämnts tidigare inte känt.

5.2.5. SGU:s brunnsarkiv

SGU:s brunnsarkiv är en databas som innehåller uppgifter om enskilda brunnars läge och tekniska data, till exempel brunnskapacitet. Genom beräkning av hydraulisk konduktivitet baserad på brunnskapacitet och brunnsdjup kan ett grovt värde på bergets hydrauliska konduktivitet erhållas. Även fördelningen av hydraulisk konduktivitet på urvalet av brunnar kan studeras. Beräkningen kan ge information om storleksordning på storskalig hydraulisk konduktivitet (effektiv konduktivitet) samt eventuella rumsliga fördelningar som kan indikera hydrogeologiska domäner för berg. Vid brunnsborrning, i synnerhet vid borrning för energibrunnar, är den bedömda brunnskapaciteten ofta en mycket grov uppskattning utförd av brunnsborraren.

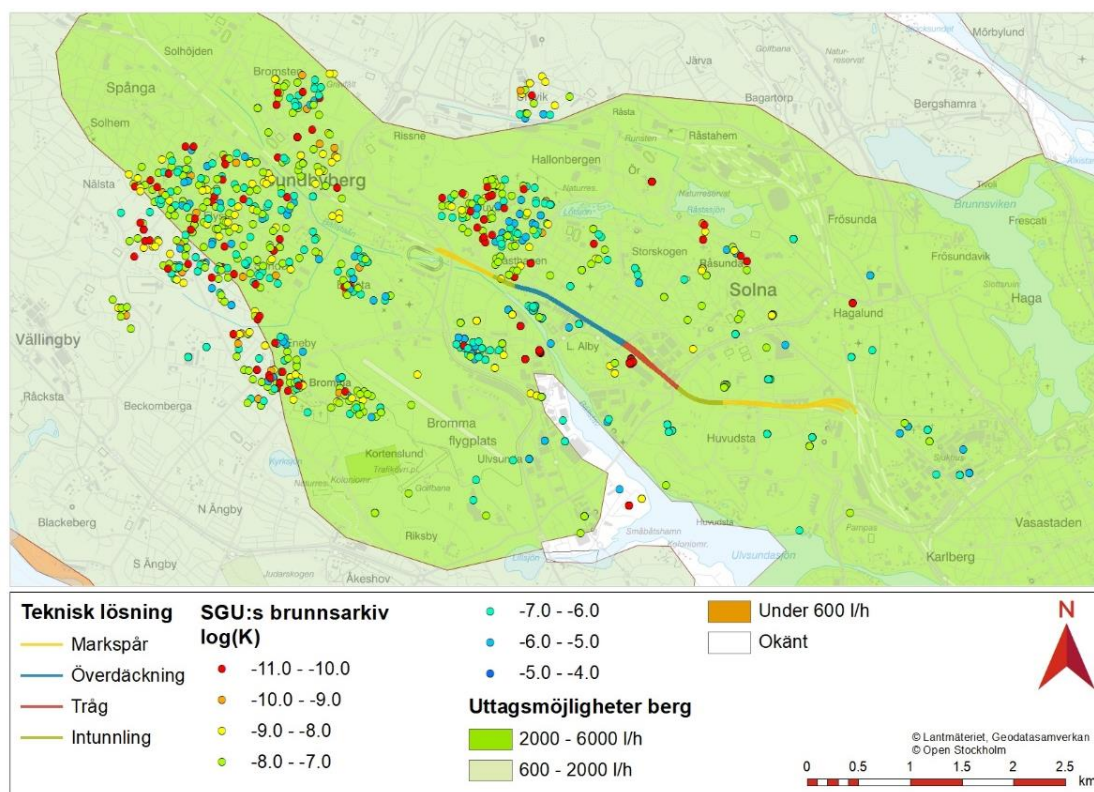
Som grund för geografisk avgränsning har modellområdet, se bilaga 3, använts. Det har sedan utökats utåt i alla riktningar med ca 1 km. Detta ger en större population dels för den statistiska bearbetningen, dels för att få ett större geografiskt urval för studier av möjliga hydrogeologiska domäner. Inom den utökade geografiska avgränsningen finns 2 120 borrhållade brunnar, varav 1 368 har beräkningsbara data (angiven brunnskapacitet och borrhållad djup i berg). En stor del av de resterande brunnarna har inget angivet värde för brunnskapacitet. Orsaken till detta är okänd, men det kan bero på att det värdet inte utvärderades på grund av att brunnarna ska användas som energibrunnar. Alternativt var flödet så pass lågt att det inte ansågs möjligt att mäta. Där brunnskapaciteten har angivits till 0 har ett värde på 0,1 antagits, eftersom brunnar inte kan vara helt täta. Mediandjupet för dessa 1 368 brunnar är 168 m, och populationens fördelning är sådan att den i huvudsak torde fånga bergets vattenförande egenskaper ner till ca 200 m djup.

För att beräkna K-värdet har den nya metoden som SGU rekommenderar⁴ använts. Denna utgår från sambandet mellan transmissiviteten (T [m^2/s]) och bedömd kapacitet (Q [m^3/s]), där $T = 0,076 \cdot Q^{1,026}$. Metoden har visat sig bedöma transmissiviteten bättre än tidigare presenterade ekvationer. För att erhålla K-värdet divideras T-värdet med brunnens djup i berg (m).

³ Aqualog AB, 2007

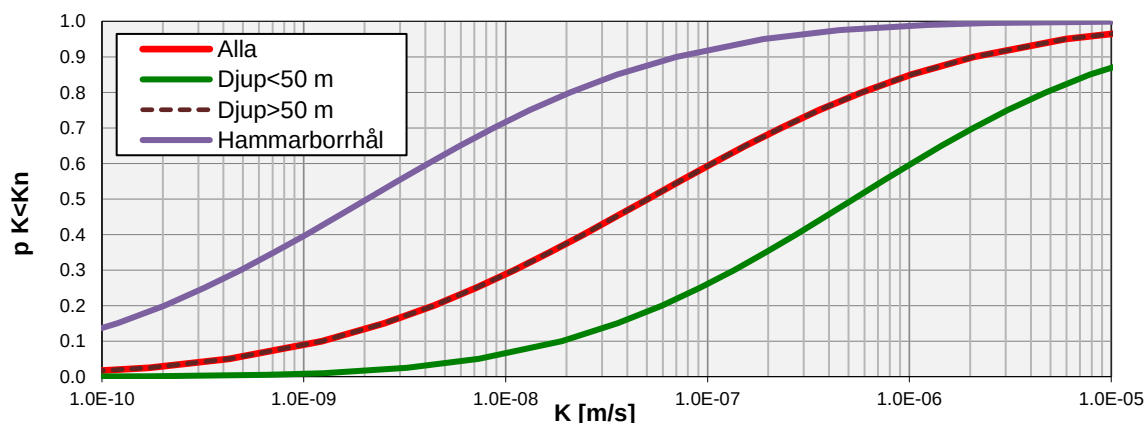
⁴ Ryd, 2017

En loggnormalfördelning har anpassats för att bedöma resultatet i ett större perspektiv, på motsvarande sätt som med vattenförlustmätningarna. Utifrån denna fördelning av K-värden runt anläggningen och SGU:s bedömda uttagsmöjligheter i berggrunden syns inga tecken på storskaliga hydrogeologiska domäner, se figur 20.



Figur 20. Beräknade K-värden för brunnar samt av SGU bedömda uttagsmöjligheter i berggrunden.

En uppdelning på brunnar grundare än 50 m har också gjorts. Den är mer relevant för detta projekt, och resultatet har jämförts med vattenförlustmätningen, se figur 21.



Figur 21. Jämförelse mellan beräknad fördelning av SGU:s brunnarsarkiv i området runt Mälaren samt utvärderingen av vattenförlustmätningarna. Observera att brunnarsarkivet är uppdelat i tre delar: alla brunnar, <50 m och >50 m djup. Kurvan med alla borrhål sammanfaller med kurvan Djup >50 m.

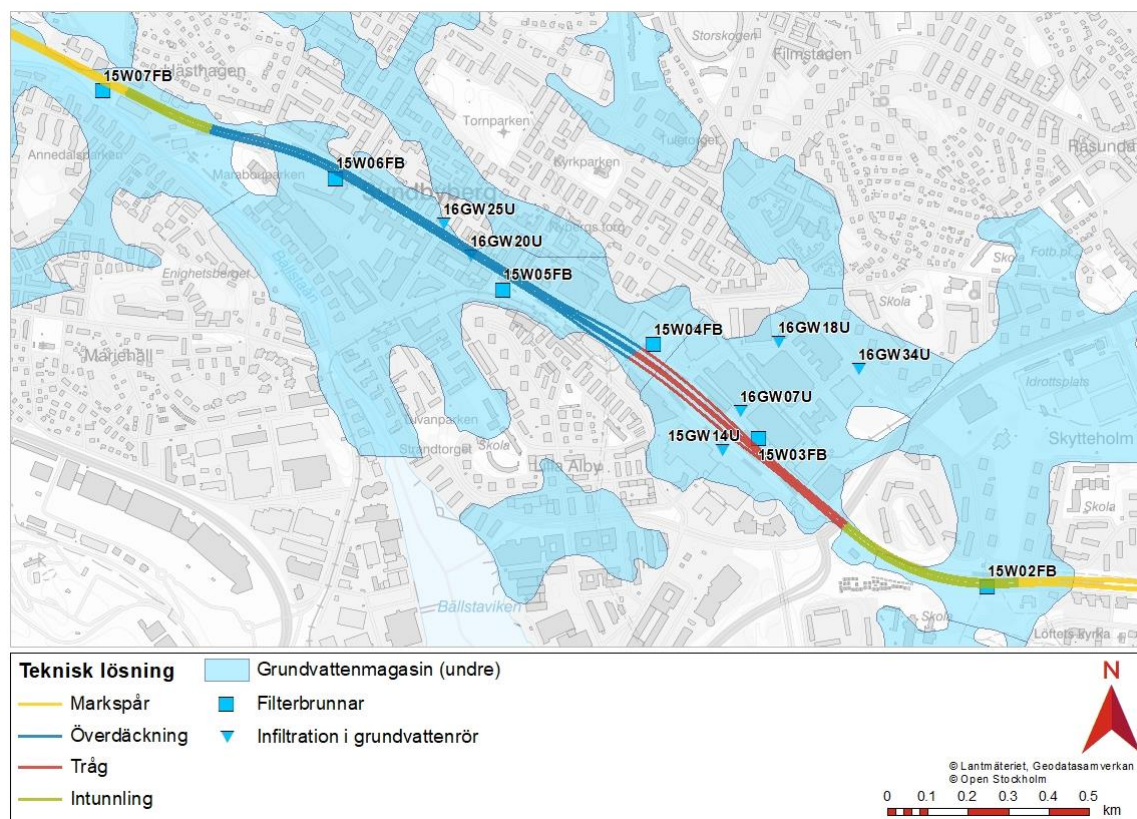
Det finns därmed en skillnad i dessa populationer av data, där utvärderat K-värde från hammarborrhålen är klart lägre än omkringliggande brunnar. Det kan finnas flera förklaringar till detta. En förklaring kan vara att utvärderingen av hammarborrhålen baseras på ett fåtal

punkter, medan SGU:s brunnsarkiv innehåller över 1 300 beräkningsbara brunnar. Brunnsarkivet fångar med andra ord det storskaliga K-värdet bättre än enstaka hammarborrhål. Det finns även en risk att hammarborrhålen har missat vissa sprickor beroende på att de ligger parallellt med hammarborrhålen. En annan förklaring kan vara att metoderna för att undersöka den hydrauliska konduktiviteten i berget skiljer sig markant. De högkvalitativa vattenförlustmätningarna är betydligt mer noggranna än de grova kapacitetstester som utförts i SGU:s brunnar. Beräkningarna har baserats på ett högre K-värde för berget, jämfört med vad som har utvärderats från hammarborrhålen. Skälet till det var att undvika att ett för lågt värde skulle användas, se bilaga 3.

5.2.6. Provpumpning och infiltrationsförsök

För att få information om områdets storskaliga hydrogeologiska förutsättningar har pumpnings- och infiltrationsförsök i jord utförts i fem filterbrunnar⁵, alla längs spårsträckningen Huvudsta–Duvbo, se figur 22. I en av brunnarna (15W03FB) kunde dock inga försök genomföras på grund av för täta jordlager. Försöken syftar till att få kunskap om grundvattenmagasinens utbredning och egenskaper.

Ytterligare sex infiltrationstest har gjorts i grundvattenrör i området. I två av rören i Solna Business Park (16GW07U och 16GW18U) var infiltrationskapaciteten för låg för att kunna utvärderas. Dessa tester gjordes som ett komplement till filterbrunnarna för att undersöka om infiltration är möjlig i dessa områden.



Figur 22. Placering av filterbrunnar och grundvattenrör i undre magasin.

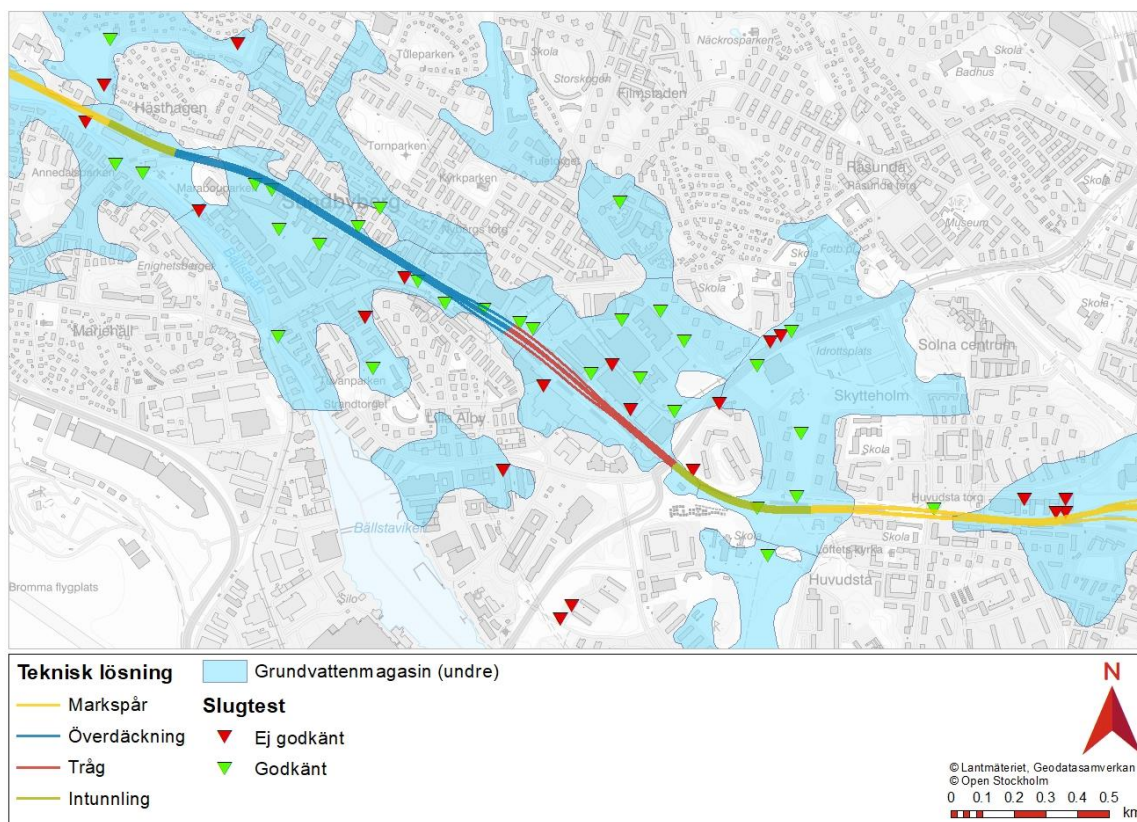
⁵ WSP, 2019 (MUR, bilaga 15)

5.2.7. Slugtest

För att undersöka jordlagrens vattenförande egenskaper utfördes slugtester i flera grundvattenrör⁶. Syftet var att utvärdera de hydrauliska parametrarna i undre jordmagasin (friktionsjord), men även övre jordmagasin (fyllning) har analyserats. De hydrauliska parametrarna utgörs av hydraulisk konduktivitet och transmissivitet, vilka bildar underlag för konceptualisering och beräkningsmodeller.

Ett slugtest ger bara utslag mycket nära det grundvattenrör som testas och är dessutom starkt beroende av filtrets funktion. Därför bör ett slugtest ses som en indikation på jordlagrens hydrauliska egenskaper närmast grundvattenröret, men det kan inte säkert sägas vara rättvisande för ett större område.

Totalt utfördes 51 slugtest, där samtliga grundvattenrör hade funktionstestats före testet. De rör som inte godkändes spolades rent och funktionstestades därefter igen. I 21 rör var antingen avsänkningen för långsam eller kurvpassningen för dålig för att kunna analyseras (ej godkända). Övriga 30 tester var utvärderingsbara (godkända), se figur 23.



Figur 23. Grundvattenrör där slugtest har genomförts.

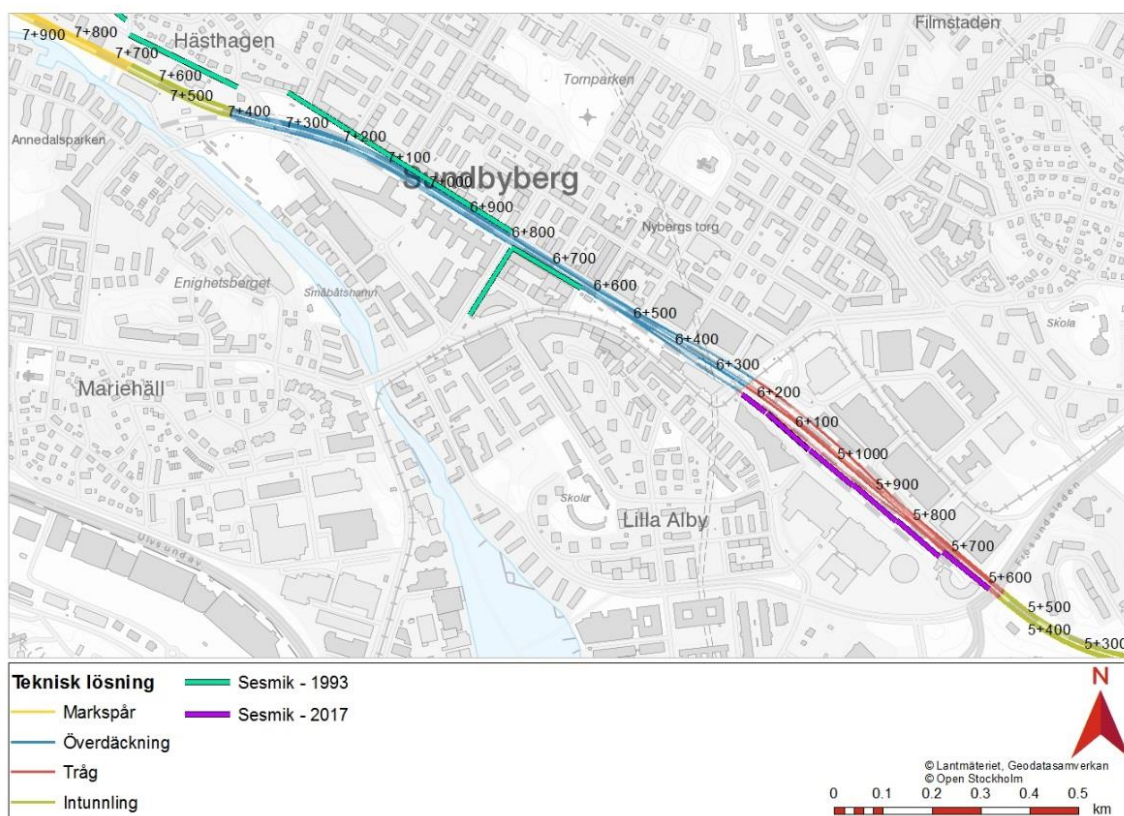
⁶ WSP, 2019 (MUR, bilaga 14)

5.3. Geologiska och geotekniska undersökningar

I detta avsnitt beskrivs kortfattat de utredningar och arbeten som ligger till grund för den geologiska och geotekniska utredningen och bedömningen. Stockholms stads geoarkiv, Stockholms stads byggnadstekniska karta samt data från SGU har använts som grund för utredningsarbetet. Tidigare genomförda arbeten relaterade till grundvatten och geoteknik har inventerats och ytterligare utredningar har genomförts.

5.3.1. Refraktionsseismik

För att komplettera kunskapen om bergets nivå och jordlagrens mäktigheter har en geofysisk undersökning med refraktionsseismik utförts i delar av Solna och Sundbyberg. Refraktionsseismik gjordes 2017 längs järnvägssträckan 5+600 till 6+240. Syftet var att bestämma bergläge, berghastigheter och jordhastigheter, vilket ger möjlighet att identifiera krosszoner eller sprickzoner i berget och tolka dessas lägen och utbredning. År 1993 gjordes seismiska undersökningar mellan längdmätning 6+600 och 8+000, vilka också har kunnat användas. Omfattningen av båda undersökningarna visas i figur 24.



Figur 24. Sträcka där seismisk mätning genomförts i Solna Business Park och Sundbyberg.

Berghastigheterna i båda ändar av undersökningen utförd 2017 är generellt höga och tyder på bergmaterial av urbergstyp med ganska homogen sammansättning. Centralt på sträckan för undersökningen förekommer avsnitt med lägre hastighet, som redovisas på profilritningarna⁷. Resultaten från seismiken tyder på att berget till stor del är homogent. Två sprickzoner under Solna Business Park har identifierats och även delvis verifierats vid borrhningen av hammarborrhålen.

⁷ WSP, 2019 (MUR bilaga 17)

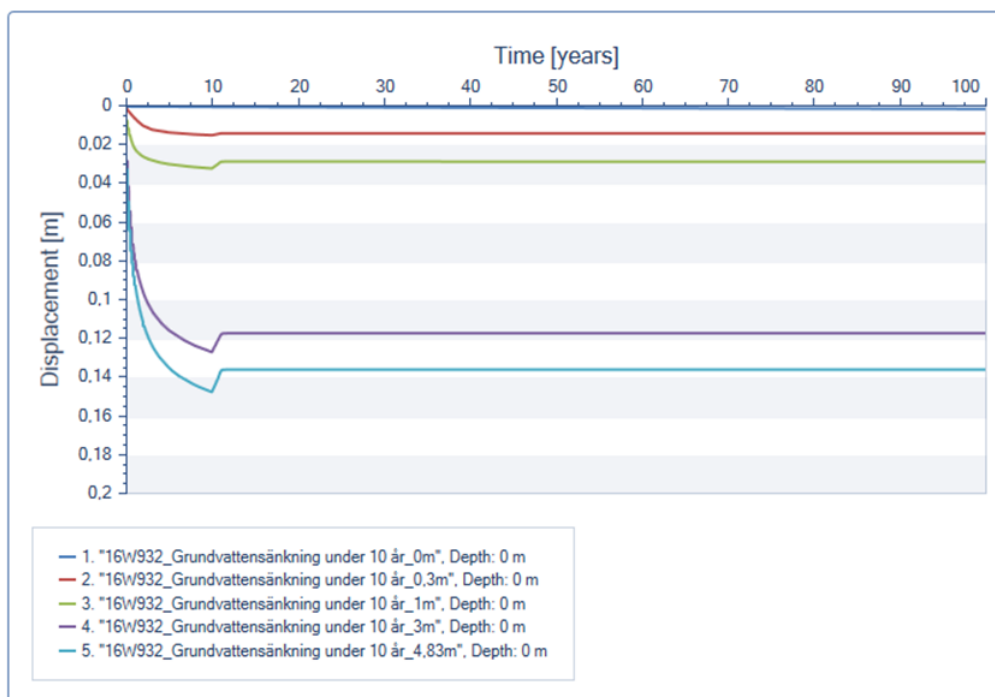
5.3.2. Sättningar i lera

Marksättningar kan uppkomma av olika orsaker, exempelvis vid utfyllnad av mark eller grundvattensänkning. En grundvattensänkning i det undre grundvattenmagasinet medför att vattentrycket i ovanliggande lera sjunker, vilket kan få till följd att leran komprimeras och en marksättning då sker. Grundvattenförändringar i det övre magasinet ger normalt inga sådana sättningar.

En sättningsutredning omfattande fältundersökningar, laboratorieundersökningar och teoretiska beräkningar har utförts för att bedöma hur lerområden påverkas. Den syftar också till att kvantifiera sättningarnas storlek till följd av den grundvattenbortledning som kan uppkomma under byggskedet.

De teoretiska beräkningarna avser marksättning eller markrörelse till följd av en antagen grundvattensänkning inom områden med lera. Efter en bedömning och indelning av geologiska och hydrogeologiska områden har en inventering av befintliga geotekniska data utförts. Därefter har ostörda lerprover tagits upp. Proverna har analyserats på laboratorium med så kallade CRS-försök, vilka har gett deformationsparametrar som underlag för beräkningarna.

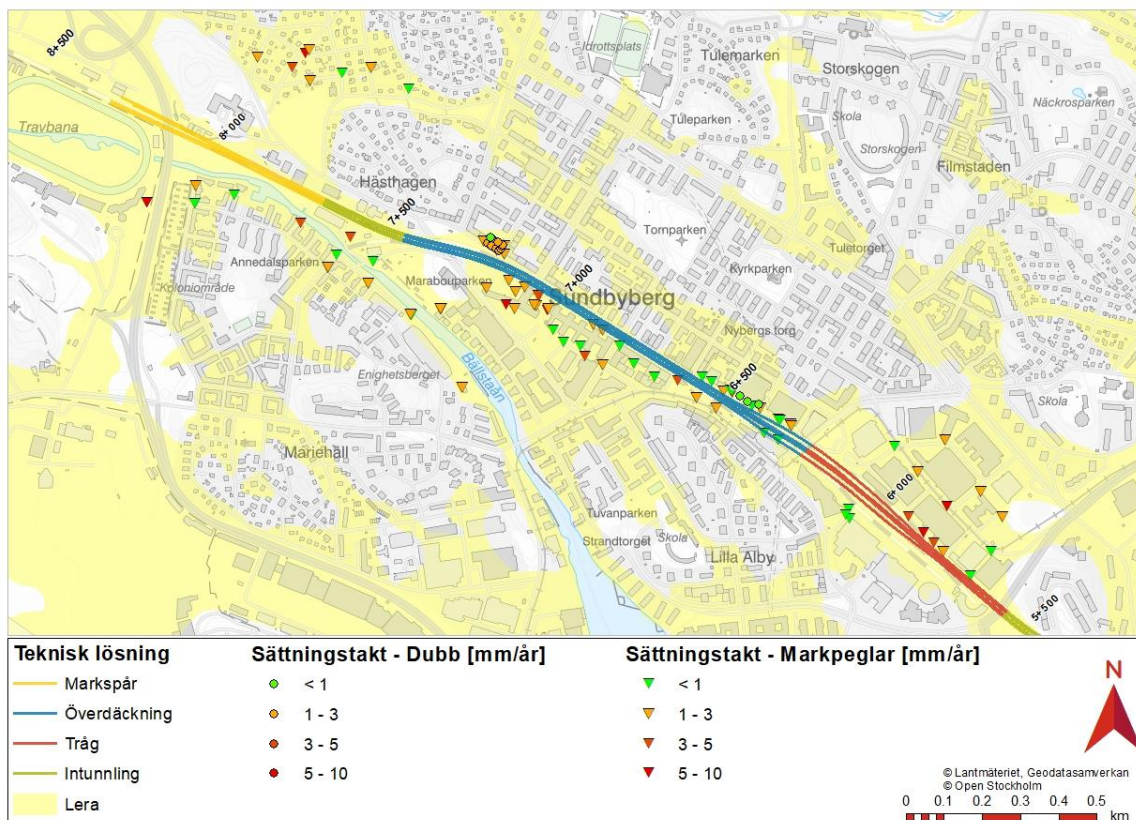
Som beräkningsförutsättning har antagits dels en grundvattensänkning i det undre grundvattenmagasinet med 0, 0,3, 1 och 3 m, dels en beräknad grundvattensänkning i varje beräkningspunkt i relation till bedömd normal grundvattennivå. Som utgångspunkt för beräkningarna har en byggtid på 10 år använts där en viss avsänkning sker under byggprocessen varefter grundvattennivån återgår till det naturliga efter färdigställandet av anläggningen. Resultaten presenteras i diagram för de fyra fallen av grundvattensänkning samt ett platsspecifikt fall (4,83 m), alla med tidshorisonten 100 år, se figur 25. För samtliga beräkningar och underliggande data, se PM Sättningar, bilaga 6.



Figur 25. Marksättningen i en undersökningspunkt för ett byggskede där en grundvattensänkning sker under 10 år innan den återställs.

5.3.3. Sättningsmätningar

Sättningsmätningar sker längs spårsträckan i Sundbyberg, runt Solna och i Duvbo, se figur 26. Inför mätningarna installeras mätkroppar i form av så kallade markpeglar på olika ställen i marken för att bedöma om sättningar pågår. Även vissa byggnader följs upp, genom att sättningsdubbar i fasaderna mäts över tid.



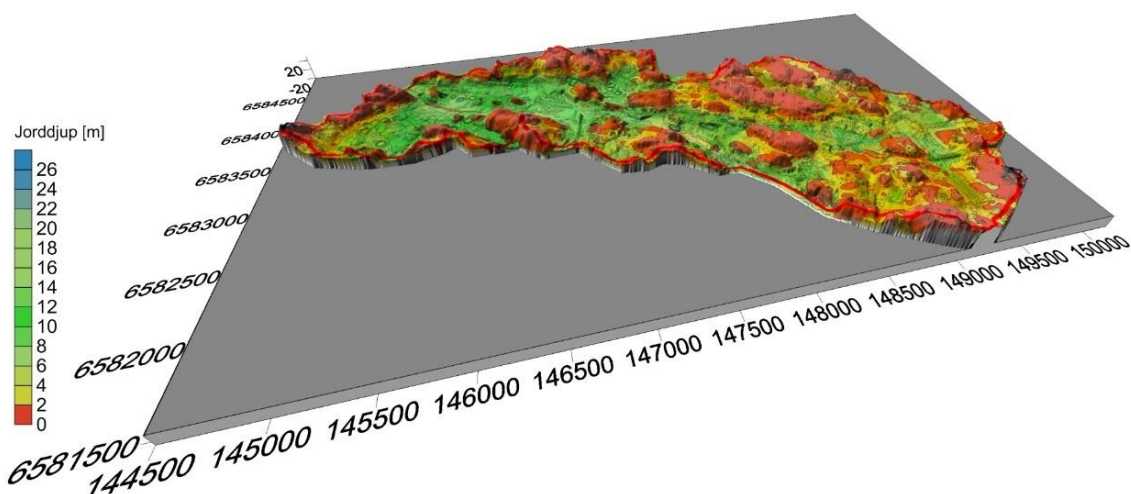
Figur 26. Sättningsmätningar genom markpeglar och dubbar runt planerad anläggning.

I området förekommer sedan länge pågående markrörelser. I huvudsak beror dessa på avsänkt grundvattennivå till följd av befintliga undermarksanläggningar, tillförda fyllnadsmassor, en ökad andel hårdgjorda ytor, nedbrytning av organiskt material samt en naturlig konsolidering av leran. Kända områden med pågående sättningar är centrala Solna Business Park, delar av Sundbyberg, delar av Duvbo samt Bällstaån och Annedal. Området omkring Bällstaån är dessutom ett konstaterat skredriskområde.

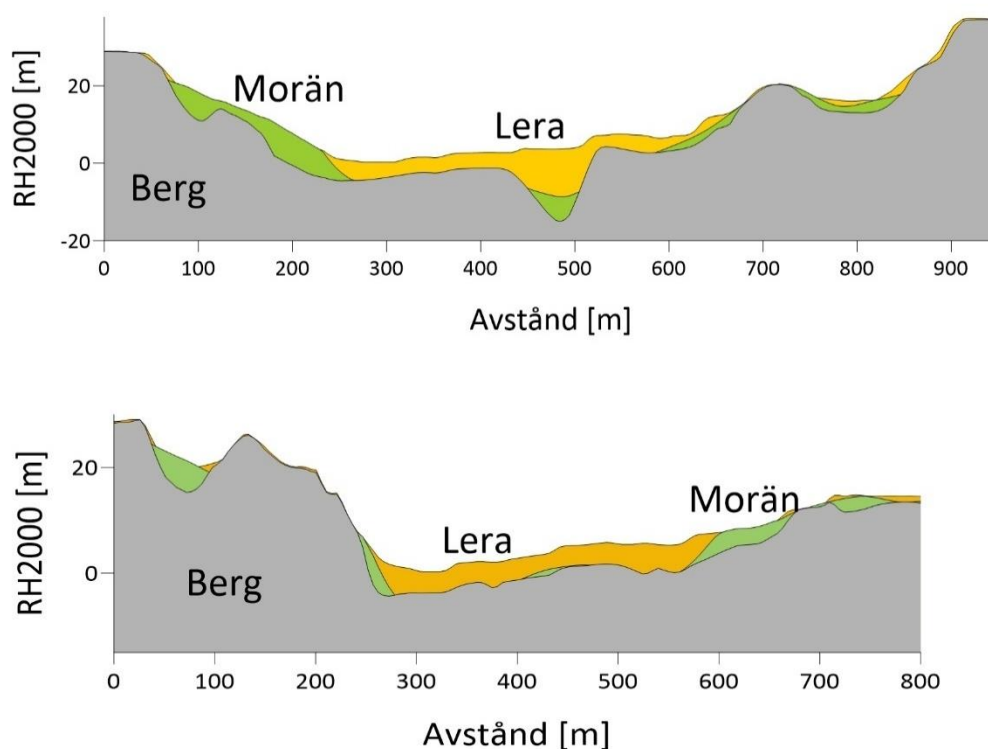
Fler detaljer om sättningsmätningar presenteras i avsnitt 6.6 och i bilaga 7.

5.4. Geomodell

En tredimensionell jord-bergnivåmodell (*geomodell*) har tagits fram för att skapa hydrogeologisk konceptuell förståelse och underlag för beräkningar, se bilaga 5. Modellen har även använts som grund för uppbyggnaden av projektets numeriska grundvattenmodeller. Geomodellen bygger på en sammanställning av inventerat underlag från borrhdata från äldre sonderingar, SGU:s jorrdjupskartan, SGU:s jordartskarta, SGU:s brunnsarkiv, Stockholms stads byggnadsgeologiska karta, höjdsdannad markyta samt de borrhningar som utförts inom ramen för de geotekniska och hydrogeologiska undersökningarna i projektet. Modellen bygger på en interpolering enligt Kriging-metoden, med anpassning till aktuella data genom analys och passning av variogram. Illustrationer av modellen visas i figur 27 och figur 28.



Figur 27. Uttag från geomodellen som visar jorddjup över området.



Figur 28. Exempelprofiler från geomodellen.

5.5. Grundvattenbildning

Den övergripande vattenbalansen kan generellt uttryckas som $P_k - ET = P_n$, där P_k är korrigerad nederbörd, ET evapotranspiration (total avdunstning) och P_n nettonederbörd, som kan bilda grundvatten. Enligt SMHI:s översiktliga kartering över ovanstående parametrar kan följande representativa årsmedelvärden användas för området:

- $P_k = 590 \text{ mm/år}$
- $ET = 400 \text{ mm/år}$
- $P_n = 190 \text{ mm/år}$.

Värdena avser långtidsmedelvärden för referensnormalperioden 1961–1990. Det regnar generellt mer i stora delar av Sverige i dag än under referensnormalperioden, och temperaturen har också ökat något. Med hjälp av SMHI:s så kallade luftwebb har storleken på denna ökning bestämts för området. Resultatet blev en ökning om ca 5 % för nederbörden och ca 6 % för evapotranspirationen. Därmed kan följande värden ställas upp för den klimatologiska vattenbalansen, vilken visar att nettonederbörden inte har förändrats sedan tidigare referensperiod:

- $P_k = 620 \text{ mm/år}$
- $ET = 430 \text{ mm/år}$
- $P_n = 190 \text{ mm/år}$.

Värdet 190 mm/år har därmed använts som grund för beräkning av grundvattenbildningen.

5.5.1. Markanvändning

Genom att betrakta markanvändningens fördelning inom ett större område kan ett överslag av nybildningen av grundvatten göras. Andelen tak och hårdgjorda ytor är då av särskilt intresse.

Områdena längs järnvägssträckan varierar i urbaniseringsgrad. I exempelvis Duvbo finns många villatomter med stor andel grönyta, medan Solna Business Park mestadels består av hårdgjorda ytor och stora byggnader. En uppdelning kan göras i tre huvudsakliga typer av markanvändning:

- Naturmark – Här antas all nettonederbörd infiltrera och bilda grundvatten.
- Byggnader – Här antas ingen grundvattenbildning ske, utan all nederbörd som faller på taken antas tas om hand i dagvattensystem. Detta gäller inte i villaområden där nederbörd från taken ofta leds i stuprör direkt ner på omgivande gräsmattor.
- Asfalt och andra hårdgjorda ytor – Här antas delar av nederbörden infiltrera och bilda grundvatten. Detta beror på att asfalt inte är helt tät⁸ och att det finns möjlighet för vatten att infiltrera i t.ex. skarvar mellan plattor och sprickor i beläggningar.

Detta angreppssätt har bland annat tillämpats vid intunnlingen av E4/E20 i Stockholm⁹ 2010 och Västlänken¹⁰ i Göteborg 2016.

⁸ Pease, 2010

⁹ Vägverket & Stockholm stad, 2010

¹⁰ Trafikverket, 2016

För att bedöma mängden nederbörd som finns tillgänglig för grundvattenbildning har tre typområden tagits fram längs den aktuella bansträckan. Uppdelningen har gjorts utifrån urbaniseringsgraden:

- låg urbaniseringsgrad
- hög urbaniseringsgrad
- mycket hög urbaniseringsgrad.

Beräkningarna redovisas i avsnitt 5.5.3.

5.5.2. VA-läckage

Grundvattenbildning sker även genom att vatten tillförs magasinen genom läckage från VA-ledningar. Det finns flera studier som visar att denna mängd är signifikant. Exempelvis finns beräkningar från Göteborg som visar att av den totala producerade volymen dricksvatten läcker 26 % ut i omgivande mark.

Storleken på läckaget varierar mellan olika svenska städer och inom olika delar av ett VA-område. Generellt läcker systemet mer i områden med många små ledningar, t.ex. äldre villaområden, till följd av att små läckage är svåra att lokalisera och laga. Sammantaget kan sådana läckage bli betydande. I områden med större men färre ledningar är läckaget oftast mindre, dels för att antalet möjliga läckagepunkter är färre, dels för att en större läcka är lättare att hitta och åtgärda.

Storleken på VA-läckage kan beräknas genom att skillnaden mellan årligt producerat dricksvatten och sålt dricksvatten tas fram från det lokala VA-bolaget. Om VA-områdets storlek är känd kan det årliga läckaget divideras med områdets areal, vilket ger ett medelvärde för läckaget över ytan uttryckt i mm/år. En sådan beräkning har gjorts för Stockholm med följande parametrar från 2016¹¹:

- vattenproduktion: 143 miljoner m³
- vattenförsäljning, inklusive egen förbrukning: 120 miljoner m³
- VA-område: ca 318 km²

Vattenförlusten motsvarar ca 16 %, vilket ligger nära VA-bolaget Stockholm Vatten och Avfalls mål på 15 %. Läckaget över ytan motsvarar ca 70 mm/år i medelvärde. Eftersom det finns variationer mellan olika områden, och för att inte överskatta grundvattenbildningen, har ett värde om 50 mm/år använts för vidare beräkningar.

5.5.3. Slutgiltig grundvattenbildning

Grundvattenbildningen kan slutligen bestämmas utifrån de olika faktorer som beskrivits och beräknats ovan. För detta har området delats upp i de tre typfallen låg, hög och mycket hög urbaniseringsgrad. Inom grönytor bedöms all nettonederbörd bilda grundvatten, medan motsvarande grad för hårdgjorda ytor antas vara 30 %. För takytor antas ingen grundvattenbildning ske, eftersom nederbörden avleds genom stuprör och dagvattensystem. Vidare antas vattenläckaget från VA-ledningar vara ca 50 mm/år i medelvärde. Resultatet presenteras i Tabell 1.

¹¹ Stockholm Vatten och Avfall, (u.d.)

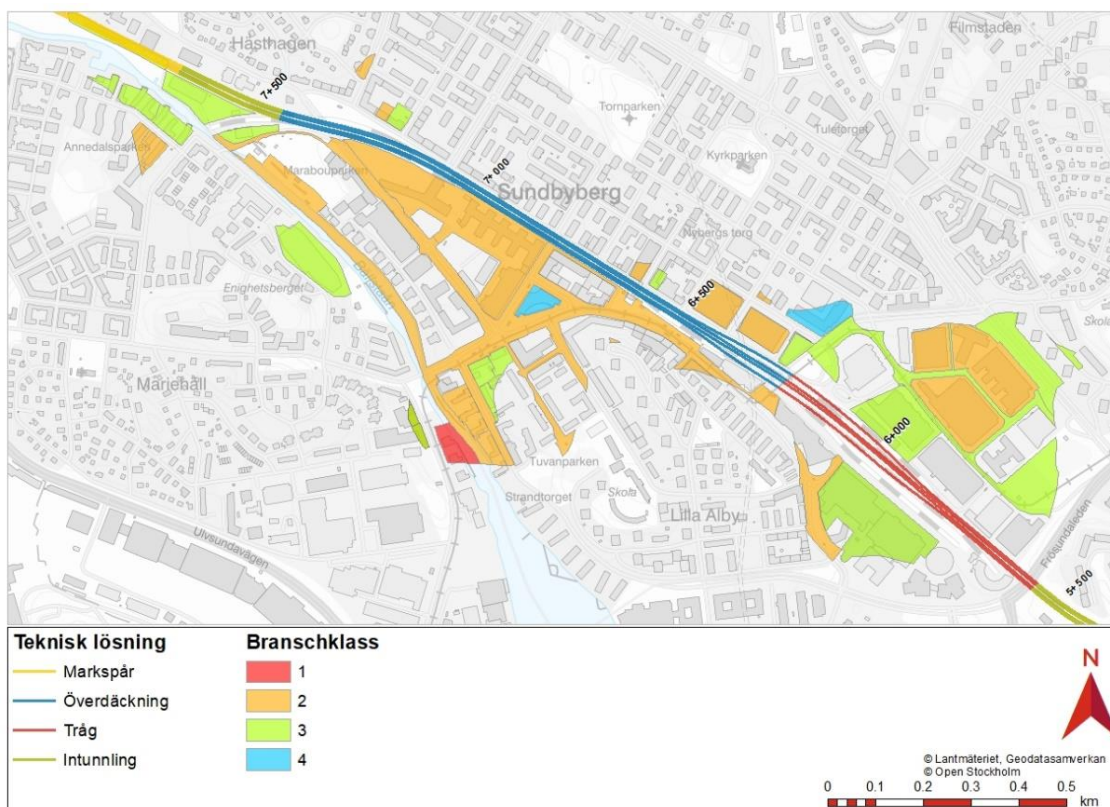
Tabell 1. Beräkning av grundvattenbildningen i olika typområden.

Låg urbaniseringsgrad			
Typområde	Andel av area	Andel av P _n	Delbidrag [mm/år]
Hårdgjorda ytor	19%	30%	10
Grönyta	62%	100%	120
Hustak	19%	0%	0
Läckage VA			50
Summa			180 mm/år
Hög urbaniseringsgrad			
Typområde	Andel av area	Andel av P _n	Delbidrag [mm/år]
Hårdgjorda ytor	35%	30%	20
Grönyta	28%	100%	55
Hustak	37%	0%	0
Läckage VA			50
Summa			125 mm/år
Mycket hög urbaniseringsgrad			
Typområde	Andel av area	Andel av P _n	Delbidrag [mm/år]
Hårdgjorda ytor	42%	30%	25
Grönyta	11%	100%	20
Hustak	47%	0%	0
Läckage VA			50
Summa			95 mm/år

5.6. Mark- och vattenprovtagning

5.6.1. Markföroreningar

En översiktlig inventering har gjorts för att identifiera de områden inom utredningsområdet där det finns en förhöjd risk att påträffa markföroreningar, se figur 29. För detta har befintliga underlag från kommunerna och länsstyrelsen studerats. Länsstyrelsens kartering med så kallade MIFO-objekt har använts, med en klassificering mellan 1 och 4. Klasserna speglar risken för människors hälsa och miljö, där klass 1 är hög och 4 låg. Inventeringen visar på åtta större sammanhängande områden intill spårområdena där markföroreningar kan påträffas eller misstänkas förekomma.



Figur 29. MIFO-objekt.

Generellt utgör befintliga bangårdsområdena riskområden, eftersom hantering av oljor, diesel och andra kemikalier kan ha medfört spill till underliggande mark. Även metaller och PAH kan förväntas i dessa områden. Spårballasten utmed linjesträckningarna är inte specifikt klassificerad men dess är ofta förorenat av metaller, olja och PAH.

Provtagning av jord har utförts inom uppdraget längs hela järnvägssträckan, med en koncentrering till de identifierade riskområdena. Jordprovtagning har utförts i totalt 44 punkter. Resultaten visar att de allra flesta analyserade prover underskrider Naturvårdsverkets generella riktvärden för mindre känslig markanvändning. Halter över denna nivå – men under nivån för farligt avfall – påträffas i ca 20 % av proverna. Halter över riktvärdena för farligt avfall i fråga om bly och zink påträffas i två prover från en och samma provpunkt.

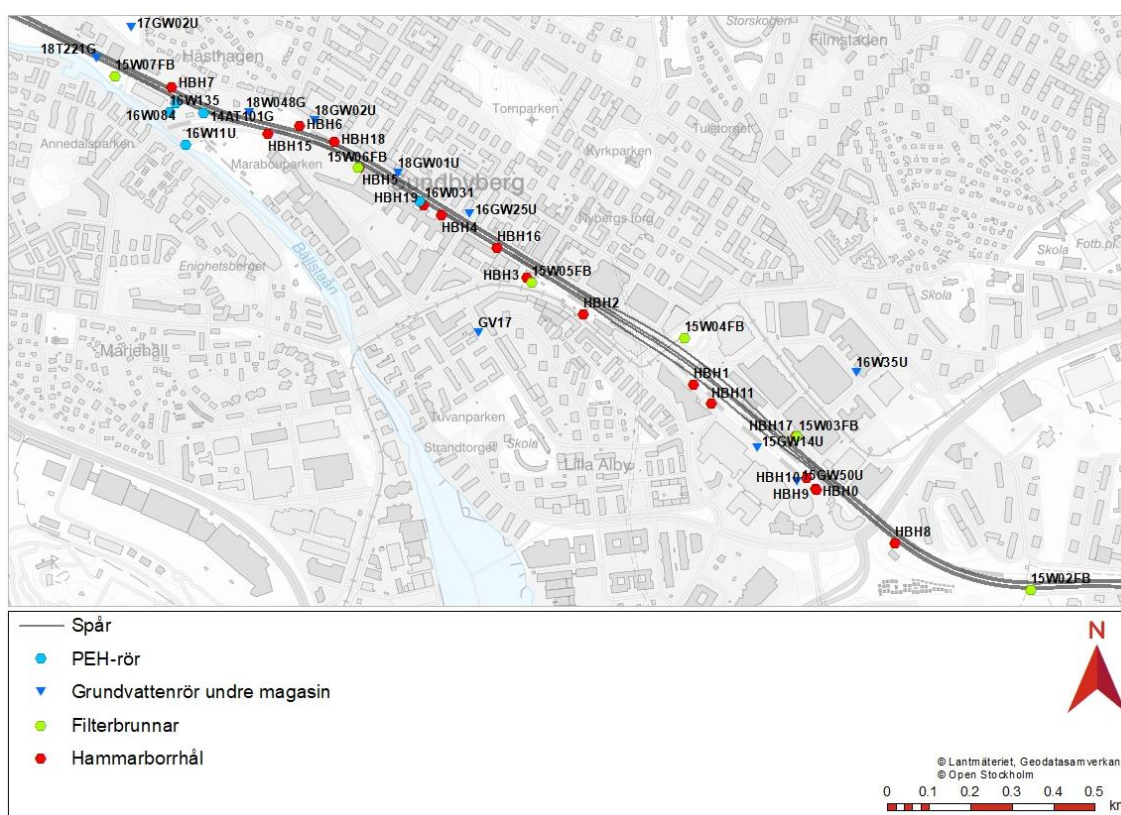
Mot Solvalla vid Annedal mellan järnvägen och Bällstaån har förhöjda halter alifater och vinylklorid hittats i samband med utredningar för ledningsomläggningar.

5.6.2. Föroreningar i grundvatten

Prover på grundvatten har tagits i samtliga 17 hammarborrhål, 6 filterbrunnar och 21 grundvattenrör (övre och undre magasin), se figur 30. Proverna har tagits före och efter utförda provpumpningar för att se eventuella skillnader. En sammanställning av provtagningen och resultaten finns i bilaga 4.

Jämförelser av provtagningsresultaten gjordes sedan mot fem referenser, både för att dessa kompletterar varandra och för att täcka in så många provtagningsparametrar som möjligt. Referenserna består av tidigare undersökningar utförda av olika organisationer:

- Miljöskyddsförvaltningen (1997): klorid, sulfat, kväve, alkalinitet och metaller
- Trafikverket (2017): metaller, pH och PAH
- SGU (2013): klorerade ämnen och PFAS
- ALSGlobal (2016): alifater, aromater och BTEX
- SGI (2019): PFOS.



Figur 30. Placering av provtagningsplatser för grundvatten.

I många provpunkter förekommer förhöjda halter av klorid, kväve och metaller, främst bly, zink och koppar. Koncentrationen av dessa ämnen varierar ofta kraftigt mellan provtagningar, vilket tyder på att halterna varierar över tid. I flera punkter förekommer förhöjda halter av PFAS, PFOS, klorerade föroreningar och organiska föroreningar, ofta koncentrerade till geografiskt avgränsade områden längs spårområdet.

Nedan sammanfattas provresultaten för respektive område.

5.6.2.1. Solna

Föroreningar i området tycks främst vara lokaliserade omkring banområdet. Längs järnvägsspåret förekom vid provtagning 2017 spår av organiska föroreningar i flera hammarborrhål samt i ett grundvattenrör i undre magasin (15GW14U). Vid provtagning 2019 påträffades även höga halter PFAS och PFOS i två hammarborrhål inne på banområdet. Det fanns dessutom spår av PCB i ett av dessa hammarborrhål. I ett grundvattenrör utanför banområdet (16W35U) förekom höga halter av PFAS och vissa tungmetaller. I flera punkter är det stor spridning mellan provtagningarna i fråga om halter och vilka ämnen som överskrider riktvärden.

5.6.2.2. Sundbyberg

Föroreningssituationen i Sundbyberg är diffus. Förhöjda halter av PFAS och PCB förekommer i flera provpunkter spritt över området, i både jord och berg. Förekomsten tycks vara högre i den centrala delen av området än i utkanterna, men förhöjda halter förekommer även där. Vid ett tillfälle, 2018, upptäcktes klorerade föroreningar i jord vid en punkt (16GW25U), men resterande provtagningar har inte påvisat någon förekomst. I samma grundvattenrör upptäcktes låga halter av bensen vid den senaste provtagningen, 2019, vilket tyder på en diffus föroreningssituation i jord även här. Riktvärden för klorid överskrids i ett flertal punkter vid flera olika tillfällen. Liknande resultat ses för metaller. De punkter som provtagits många gånger har i flera fall stor spridning i resultatet. Exempelvis överskrids riktvärden för flera ämnen vid enstaka tillfällen.

5.6.2.3. Solvalla och Duvbo

Generellt förekommer metallhalter högre än riktvärdena, främst för nickel, zink och bly. Detsamma gäller klorid och sulfat. I ett flertal punkter omkring spårområdet vid Solna Bilteknik förekommer organiska och klorerade föroreningar vid ett eller flera provtagningstillfällen i både berg och jord. Spridningen är dock ganska varierande, förutom i en punkt (15W07FB) där klorerade föroreningar påträffats vid flera provtagningstillfällen.

5.6.3. Metod för riskhantering av föroreningar

Varje provtagningsspunkt har (utifrån analyresultat i respektive punkt) klassificerats med avseende på risk för spridning av föroreningar. Risken för spridning har bedömts utifrån risk för påverkan av vattenkvaliteten på länshållningsvatten under byggskedet eller risk för att flytta förorening från en fastighet till en annan på grund av vattenverksamheten.

Vattenverksamheten medför primärt grundvattenpåverkan i undre magasin och berg. Det är främst föroreningar i dessa magasin som kan medföra risker kopplade till föroreningsspridning. Ett eventuellt övre grundvattenmagasin är avskilt med lera och påverkas därför inte i någon större omfattning. Om det övre magasinet ligger i anslutning till en schakt kan dock återfyllningen runt den nya järnvägsanläggningen fungera som en förbindelseväg mellan ett övre och undre grundvattenmagasin. Detta kan då medföra föroreningsspridning från övre till undre magasin. Detta är dock inte till följd av vattenverksamheten utan beror på anläggningsarbetena och byggmetod för anläggningen.

De parametrar som riskklassificeringen utgår ifrån utgör även en grund för bedömning om det finns risk för att den rådande föroreningssituationen kan förvärras. Klassificeringen baseras på följande parametrar:

- Lokalisering av föroreningen samt typ av magasin och jordart (övre magasin, lera, undre magasin, berg)
- Potential för spridning av föroreningen med grundvattnet (mobilitet)
- Halt av föroreningen.

Parametrarna kan sedan kombineras med de flödesförändringar som vattenverksamheten förväntas medföra. På så sätt kan en slutlig bedömning av spridningsrisken göras. Baserat på det sammanvägda riskvärdet delas områdena in i tre klasser med avseende på förorenings-spridning på grund av vattenverksamheten: hög risk, medelrisk och låg risk.

5.7. Identifiering av grundvattenberoende riskobjekt

Inom utredningsområdet har olika riskobjekt identifierats, kopplade till vattenverksamheten. De olika typerna av riskobjekt, liksom hur dessa har inventerats, presenteras i följande avsnitt.

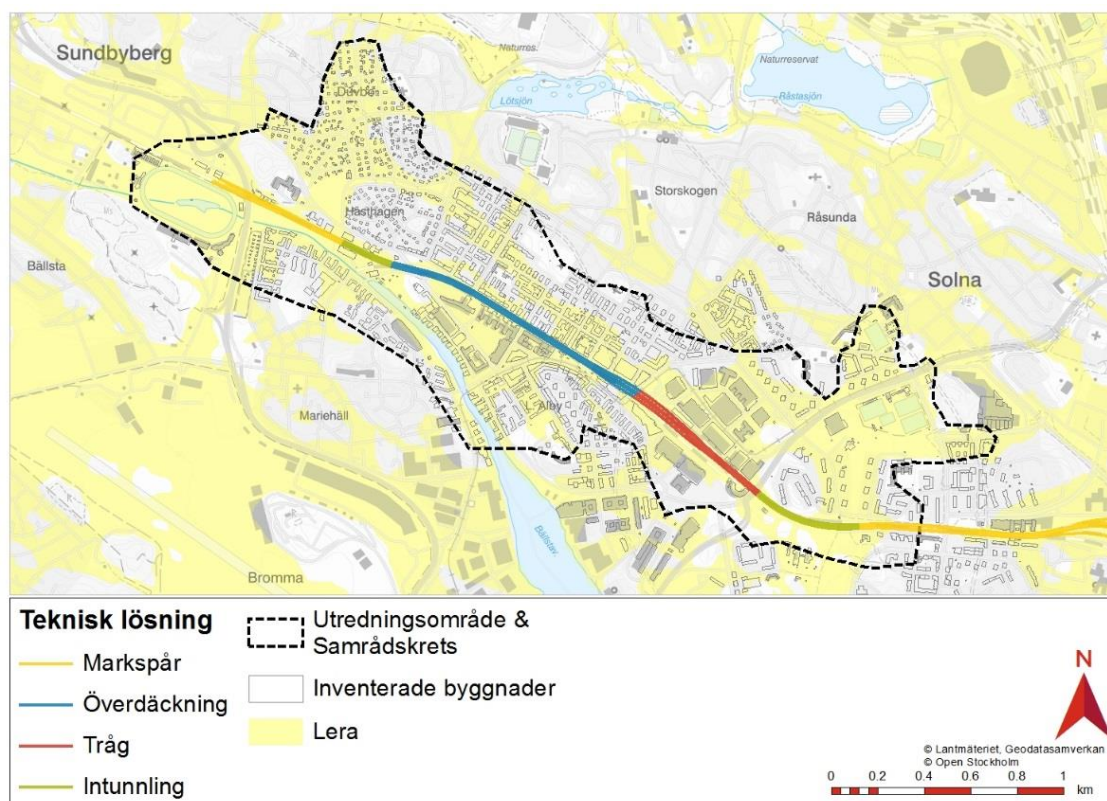
5.7.1. Inventering av grundläggning av byggnader

En inventering har gjorts för att kartlägga och kategorisera grundläggningen av byggnader förlagda på lermark inom det hydrogeologiska utredningsområdet. Vid inläckage av grundvatten till anläggningen vilket medför avsänkta grundvattennivåer kan innebära ökad risk för skador på byggnader med grundvattenberoende grundläggning. Där information inte har gått att finna, eller där osäkra uppgifter förekommit, har fastighetsägare kontaktats. Vid fortsatt saknade eller bristfälliga uppgifter har en okulär bedömning utförts av en sakkunnig byggnadsingenjör eller geotekniker.

Byggnader och anläggningar kan påverkas av olika skäl:

- Risk för sättningar föreligger om grundvattentrycket sänks i undre grundvattenmagasin i områden med lera. Påverkan kan då ske på byggnader med viss grundläggningstyp.
- Objekt med trägrundläggning (pålar eller rustbäddar av trä) kan skadas om grundvattennivån i övre magasin sjunker så att trägrundläggningen syresätts. Detta kan i sin tur orsaka en påskyndad nedbrytningsprocess.

Inventeringsarbetet har i huvudsak utförts i Stockholm stads geoarkiv samt Solna stads och Sundbybergs kommuns arkiv för byggnadstekniska handlingar. Inom utredningsområdet förekommer över 1 400 objekt, varav drygt 800 ligger helt eller delvis på lermark, se figur 31.



Figur 31. Grundläggningsinventeringen redovisad med lerområdenas utbredning.

Resultatet av inventeringen presenteras i sin helhet i bilaga 7.

Inventeringen har utförts i olika omgångar. Under 2015 utfördes en första inventering i arkiv med ett urval av alla byggnadsobjekt lokaliserade på lermark, med utgångspunkt i SGU:s jordartskarta och Stockholms stads byggnadsgeologiska karta. Under 2015–2016 utfördes parallellt en detaljinventering av de byggnader som ligger i anläggningens närområde, inom en ca 50 m bred korridor. För erhållande av detaljinformation kontaktades flera av fastighetsägarna direkt, vilket i vissa fall gav mer detaljerade uppgifter av grundläggningsförhållandena. Under 2016 och 2017 gjordes kompletterande inventeringar när det hydrogeologiska utredningsområdet utvidgades. Den då erhållna informationen utgörs i första hand av byggnadsritningar eller tekniska beskrivningar i digital form. 2019 gjordes ytterligare sökningar i arkiven och okulära besiktningar gjordes även i fält för att bedöma grundläggning på byggnader. Provgropsgrävning utfördes under 2020 och 2021 längs Järnväggsgatan för att undersöka grundläggning på byggnader längs denna. Under 2020 och 2021 har kvartersbeskrivningar tagits fram som omfattar alla byggnader inom påverkansområdet.

Redan i samband med utbyggnaden av tunnelbanan på 1970-talet genomfördes en omfattande inventering av grundläggningar. Denna information har också kunnat användas i inventeringen. I det materialet finns även dokumenterade källarnivåer.

Olika grundläggningar är olika känsliga för grundvattennivåsänkningar. Byggnader grundlagda på berg eller friktionsjord är i detta projekt inte klassificerade som grundvattenberoende. Detsamma gäller byggnader grundlagda med pålar stoppslagna mot friktionsjord eller berg genom exempelvis stödpålar av betong eller stål. Byggnader grundlagda direkt på lera, liksom byggnader med trägrundläggning, har däremot klassificerats som grundvattenberoende – och utgör därmed riskobjekt för grundvattenpåverkan. I de fall där grundläggningsuppgifter saknas

eller där bedömning inte varit möjlig har objektet klassificerats som grundvattenberoende om det står helt eller delvis på lermark.

I delar av det hydrogeologiska utredningsområdet pågår för närvarande byggnationer, vilkas ritningar ännu inte är tillgängliga i de kommunala arkiven. För att säkerställa grundläggningssinformationen behöver handlingarna kompletteras fortlöpande.

För att lättare kunna hantera de stora datamängderna vid inventeringen har alla byggnader klassificerats utifrån angivet eller tolkat grundläggningssätt. Se bilaga 7 för karta och klassificering av alla byggnader. I denna bilaga redovisas även kvartersbeskrivningarna.

5.7.2. Ledningsinventering

En inventering av sättningskänsliga ledningar har gjorts. Det är framför allt självfallsledningar och styva ledningar som kan vara sättningskänsliga, men effekterna varierar. Sättningar kan orsaka bakfall i självfallsledningar, så att vatten rinner i motsatt riktning jämfört med vad som är projekterat. Ett ledningsbrott på en vattenledning leder, å sin sida, till ett avbrott i vattenförsörjningen. Känsligheten för sättningar beror på ledningsmaterial, teknisk lösning på ledningsskarvar, grundläggning och ledningarnas ålder.

Ledningar har inventerats i hela utredningsområdet. Vissa ledningar har filmats, vilket ger ett underlag för hur befintliga ledningar har påverkats av historiska och pågående sättningar. Resultaten från inventeringen presenteras i bilaga 7, men detaljgraden varierar eftersom delar av underlaget är hemlighetsstäplat.

Ledningsunderlag har erhållits från:

- Stockholm Vatten och Avfall
- Solna Vatten
- Fortum
- Norrenergi
- Norrvatten
- Gasnätet Stockholm
- Sundbyberg Avfall & Vatten AB

Inventeringen omfattar uppgifter om ledningstyp (t.ex. dagvatten- eller spillvattenledning) och ledningsmaterial. Generellt har självfallsledningar identifierats av olika material, såsom betong, metall (t.ex. gjutjärn) och plastmaterial. Åldern på ledningar varierar också mycket, med exempelvis nyare ledningar i ett nyexploaterat område som Annedal.

Omfattande ledningsomläggningar ska utföras till följd av att flera ledningsstråk måste flyttas för att ge plats åt utbyggnaden av Mälarbanan.

5.7.2.1. Metod för riskhantering av ledningar

Till följd av att ledningar inte kan presenteras i detalj på kartor och diskuteras på samma sätt som byggnader har en klassificering tagits fram för att ge en övergripande bedömning. Känsligheten har bedömts utifrån lednings typ, storlek, material och grundläggning. Sättningskänsliga ledningar har delats in i tre olika kategorier för bedömningen om risk för påverkan:

0. Ingen risk – Utanför påverkansområdet för sättningskänslig mark.
1. Liten risk – Innanför påverkansområdet för sättningskänslig mark, men delar eller hela ledningen ska läggas om.
2. Stor risk – Innanför påverkansområdet för sättningskänslig mark.

Servisledningar bedöms som riskobjekt med litet värde och låg konsekvens vid skada (projektet kommer att ha beredskap för att inom avtalad tid återställa funktion på skadad servisledning).

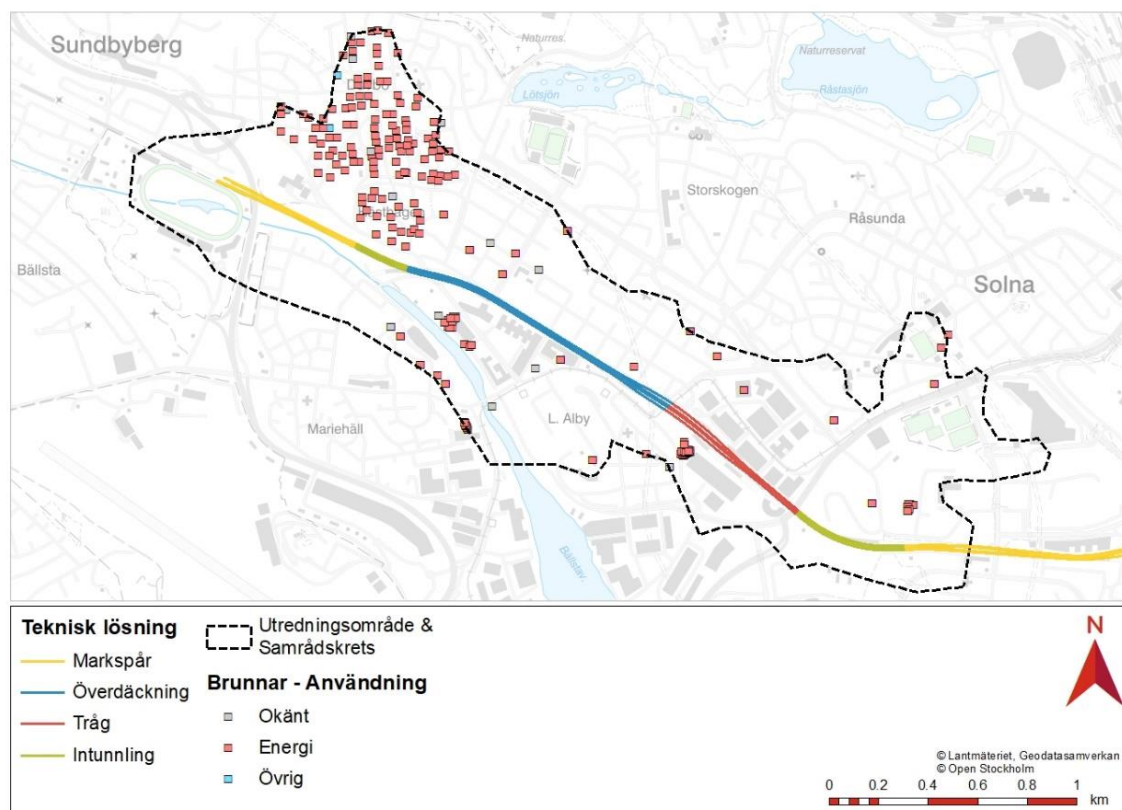
Många ledningar i närheten av anläggningen ska läggas om i samband med järnvägsutbyggnaden. Vid omläggningen kan åtgärder genomföras för att minska risken för sättningar. Omfattningen av planerade skyddsåtgärder kommer att anpassas med hänsyn till de ledningar som har stor risk för skada på grund av planerad vattenverksamhet.

5.7.3. Grundvattenberoende energianläggningar och brunnar

Uppgifter om brunnar har inhämtats från SGU:s brunnsarkiv (januari 2020), från kommunernas register över anmälda energibrunnar samt under samråden. Brunnarnas läge visas i figur 32. Totalt har 26 brunnar med okänd användning och 2 gamla dricksvattenbrunnar identifierats. Resterande 463 brunnar är energiborrhål, till stor del förlagda i Duvbo, samt 2 olika borrhålslager i Sundbyberg. Det största tillhör fastigheten Cirkusängen 6 (nuvarande Swedbankkontoret) med 66 energibrunnar. Det är därmed enbart energiborrhål som riskerar att påverkas då brunnar med okänd användning bedöms vara energiborrhål och dricksvattenbrunnar nu är ersatta med kommunal vattenförsörjning.

En sänkt vattennivå i en energibrunn leder till en effektminskning hos anläggningen, eftersom ledningsförmågan för vatten är högre än för luft. Hur stor effektminskningen blir beror på grundvattensänkningens storlek. En mindre sänkning på 1–2 m ger normalt en knappt märkbar påverkan på energiuttaget.

Större borrhålslager har oftast som funktion att båda värma och kyla hus (överskottsvärmen lagras i borrhålen till vintern, då värmen tas upp). På detta sätt finns en balans i systemet mellan in- och uttag, vilket gör att energilagret används mer kontinuerligt. Under vår och höst kan till och med lagring av värme ske under dagtid för att sedan användas under natten. En avsänkning av grundvattennivån ger en mer direkt påverkan, och eftersom borrhålslagren ofta har ett stort antal borrhål kan den ekonomiska förlusten bli signifikant även vid mindre avsänkning. För mer detaljer om hur detta beräknas, se bilaga 3.



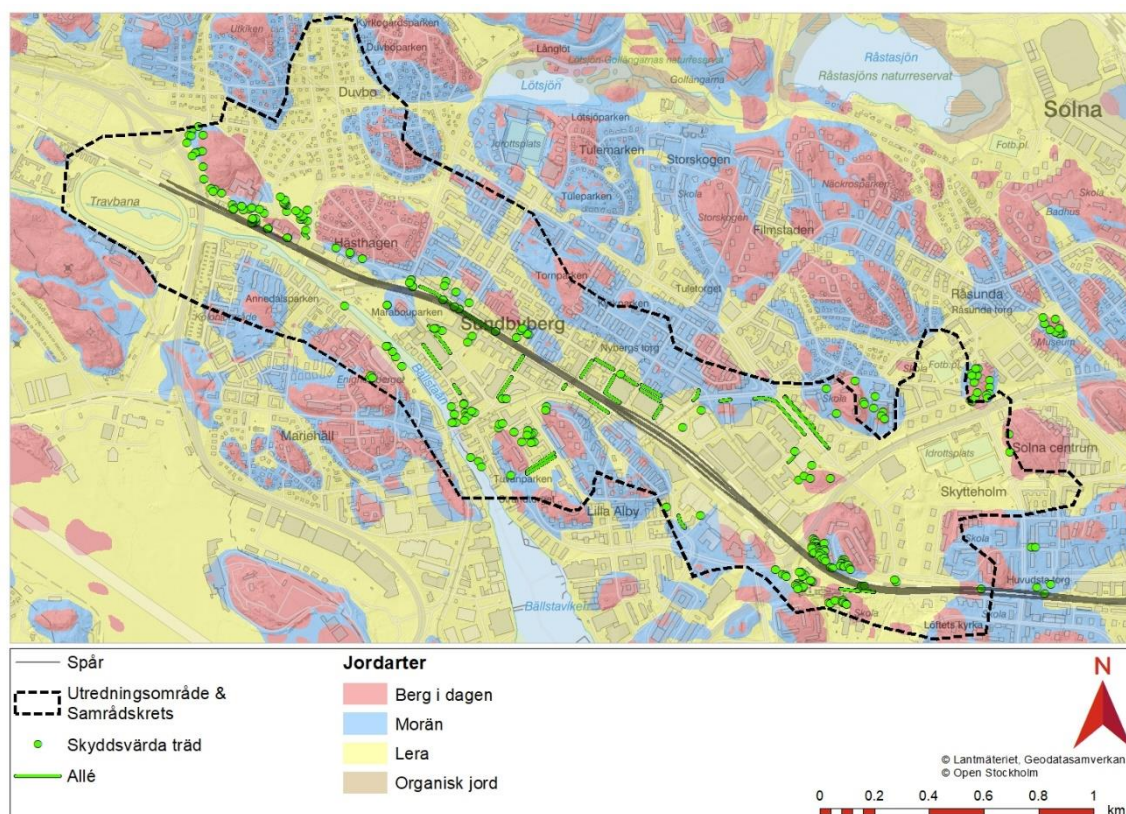
Figur 32. Kända brunnar inom utredningsområdet.

5.7.4. Markavvattning

Det förekommer inga kända markavvattningsanläggningar inom aktuellt område, enligt länsstyrelsens databas.

5.7.5. Grundvattenberoende naturvärden

Naturvärdesinventeringar i fält har utförts under 2019, se MKB Vattenverksamhet. Inventeringarna omfattade systematiska naturvärdesbedömningar, klassificering av naturmiljöer samt identifiering av skyddsvärda träd, biotopskyddade objekt och övriga naturvärdesobjekt. Inga typiska grundvattenberoende naturmiljöer upptäcktes. Det identifierades dock ett större antal skyddsvärda träd som kan vara grundvattenberoende, se figur 33.



Figur 33. Identifierade skyddsvärda träd, främst inom utredningsområdet.

Vattenmängden som kan hållas kvar i det översta marklagret beror bland annat på jordens bindningsförmåga. Denna styrs av jordens textur och påverkar i sin tur vegetationens tillgång till vatten. I exempelvis sandiga jordar är den kapillära bindningsförmågan liten, vilket gör att jorden lätt släpper ifrån sig vatten. Ofta återfinns grundvattennivån lågt i dessa områden, vilket gör att den kapillära zonen inte når upp till rotzonen. I jordar med stor kapillär bindningsförmåga (t.ex. ler- och siltjordar) kan mer vatten hållas kvar i jordens övre markprofil, även när grundvattenytan ligger långt under markytan¹². Det beror på att det där finnas kontakt mellan grundvattenytan och rotzonen.

Återfinns grundvattennivån nere i berget nära bergytan kan en avsänkning ske utan att någon växtlighet påverkas. För lera gäller att en trycksänkning i undre magasin inte hinner påverka hela lerprofilen under tiden som avsänkningen sker under byggskedet. Därmed påverkas inte det växttillgängliga vattnet i leran i någon större grad, även om lerans kapillära stighöjd är stor.

För att avgöra vilka träd som kan påverkas av vattenverksamheten har träd som växer inom områden med större mäktighet av lera eller där grundvattennivån återfinns i berg samt, de som ligger inom arbetsområdet eller utanför påverkansområdet ej inkluderats bedömningen. Resterande träd kan teoretiskt påverkas. Arbetsområdet har exkluderats då arbetena här kommer att påverka träden så pass mycket att vattenverksamheten i sig inte medför någon risk för skada.

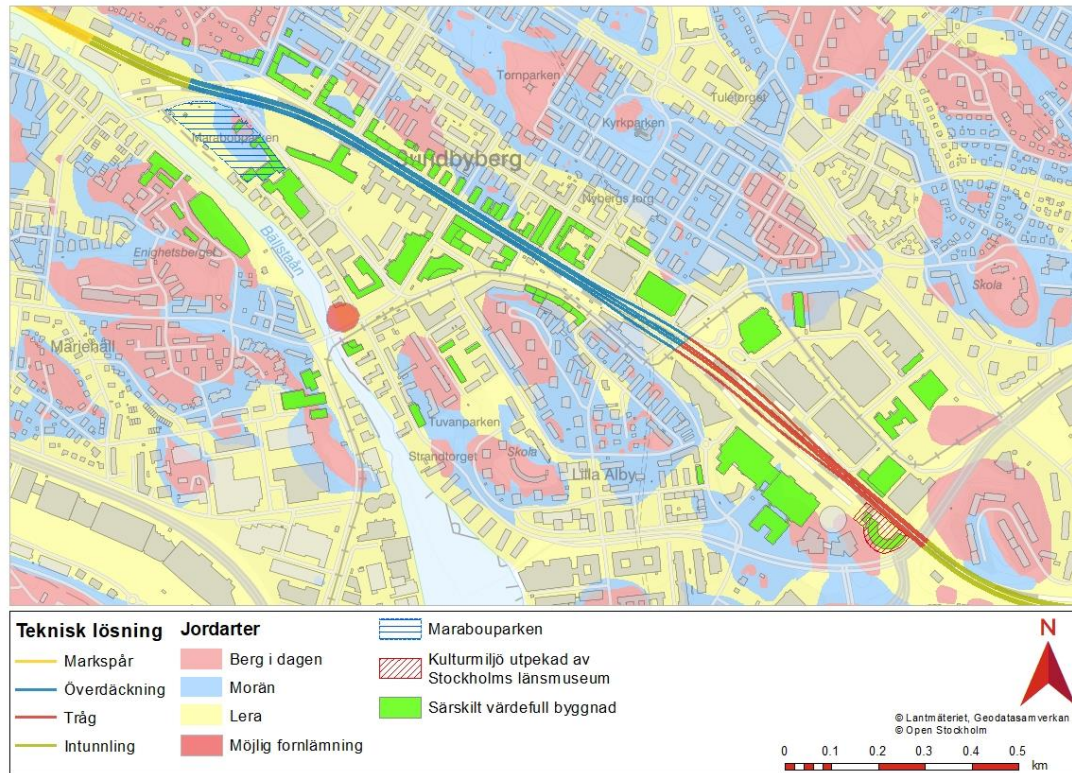
¹² (Schwartz, 1998)

5.7.6. Kulturmiljö och fornlämningar

En inventering av kulturmiljöer och fornlämningar har gjorts. Totalt har drygt 100 sådana objekt identifierats, se figur 34.

Marabouparken har identifierats som extra värdefull ur kulturhistorisk synvinkel. Där finns, förutom byggnader, en konstnärligt utformad park med skulpturer, terrasseringsar och murar.

Ett område med möjliga fornlämningar har identifierats vid Bällstaån där Tvärbanan passerar.



Figur 34. Identifierad värdefull kulturhistorisk bebyggelse, kulturmiljöer och fornlämningar.

6. Områdesbeskrivning

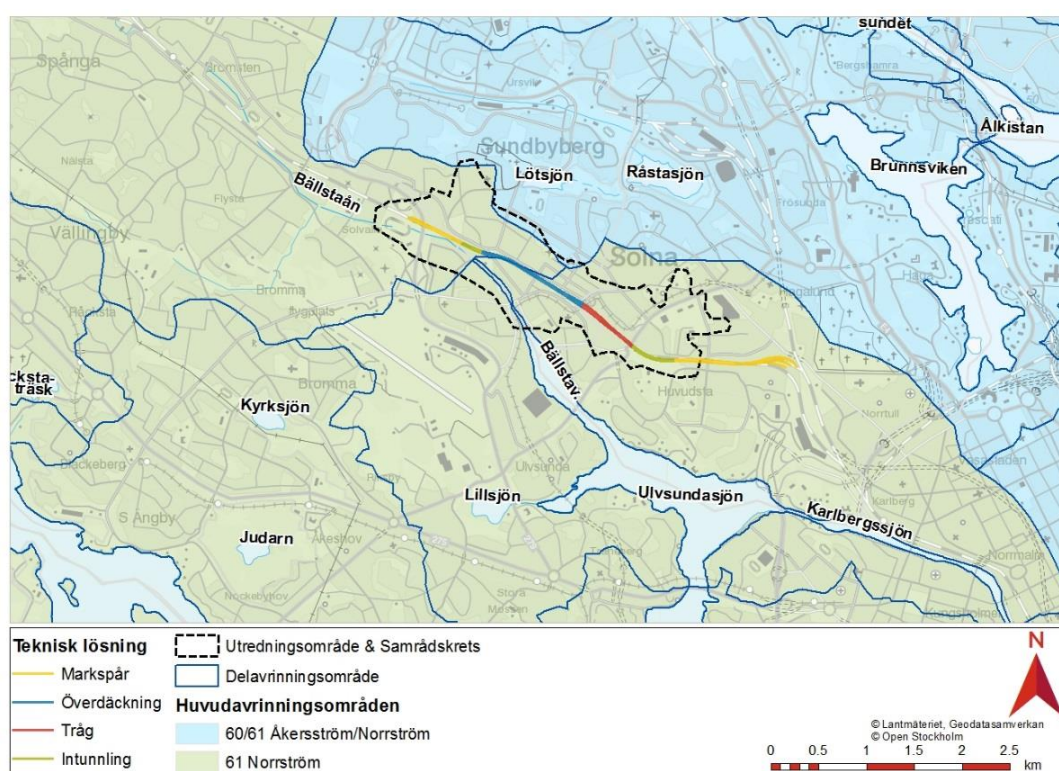
Baserat på all den informationen som har samlats in har en god förståelse över området skapats. En beskrivning av områdets hydrogeologiska egenskaper presenteras i detta kapitel.

Inom området förekommer flertalet mindre grundvattenmagasin som i vissa fall är sammanhängande och i andra fall har begränsad kontakt med varandra. Uppdelningen, som har gjorts utifrån naturliga avgränsningar, presenteras i avsnitt 6.4 Geologi – Jordlager. I avsnitt 6.5 Grundvattenförhållanden beskrivs grundvattenmagasinen i större detalj.

6.1. Avrinningsområden

Strömningsriktningar och avrinning styrs till stor del av topografi och vattendelare. I den urbana miljön tar dagvattensystemen hand om delar av nederbörden, som avleds till recipienter (t.ex. ytvattendrag) eller undantagsvis kombinerade dag- och spillvattensystem.

Den planerade anläggningen ligger inom ett av SMHI:s huvudavrinningsområden (61 Norrström), se figur 35. Förutom det vatten som tas upp av dagvattensystem avrinner nederbörden mot Bällstaån och Bällstaviken. Olika delavrinningsområden, vilka avrinner i olika stråk, finns längs spårsträckan.

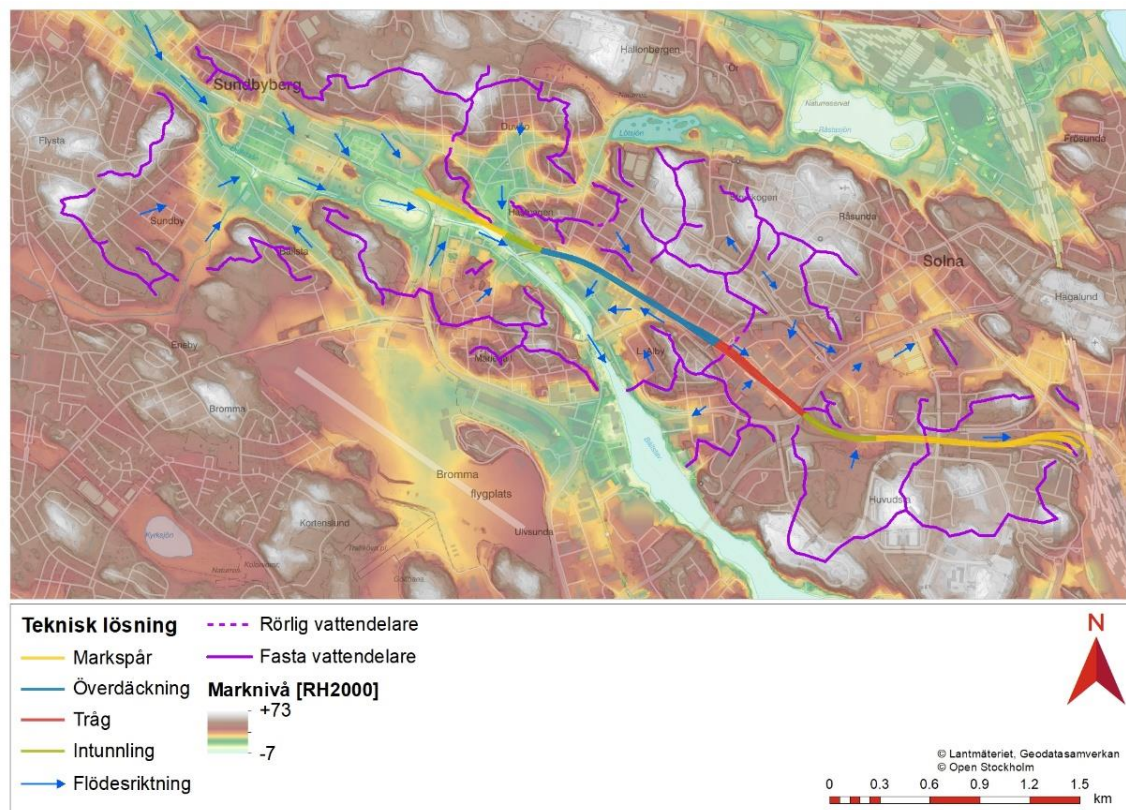


Figur 35. Huvud- och delavrinningsområden runt den planerade anläggningen.

Bällstaån har ett tillrinningsområde om ca 3 890 ha, som till övervägande del består av bostadsområden, infrastruktur och industrimark. På grund av den stora andelen hårdgjord yta kan vattenflödena variera mycket. Medelvattenföringen i ån är ca 0,3 m³/s, medelhögflödet ca 3,1 m³/s och medellågflödet ca 0,01 m³/s. Bällstaån är en utpekad vattenförekomst, enligt Vattenmyndigheten för Norra Östersjöns vattendistrikt, det finns upprättade miljö kvalitetsnormer.

6.2. Topografi och avrinning

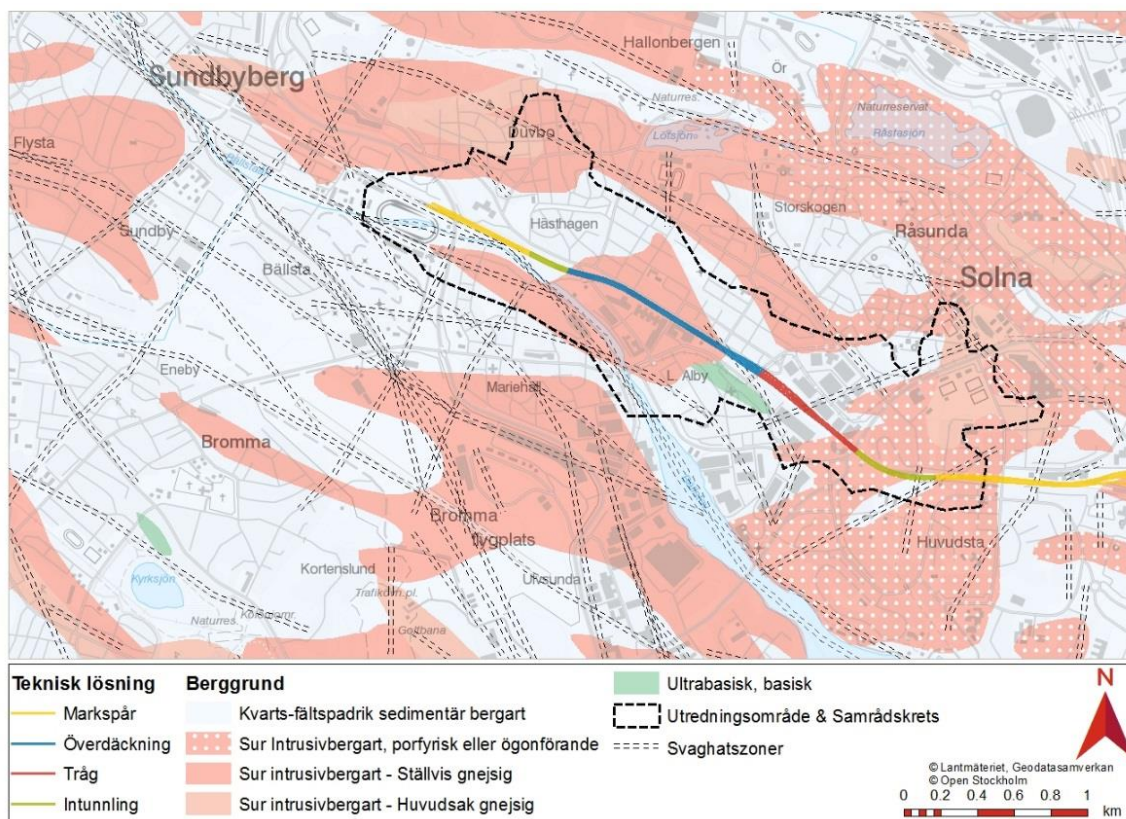
I området förekommer lokala vattendelare som utgör gränser för avrinningsområden för ytvattenavrinning, se figur 36. I västra delen av området dräneras yt- och dagvatten mot Bällstaån och vidare ut i Bällstaviken. I de centrala delarna av Sundbyberg tas merparten av nederbörden om hand via det kommunala kombinerade spill- och dagvattensystemet (Underverket), medan resterande del avrinner mot Bällstaån. I den östra delen av området, inom Solna Business Park, dräneras yt- och dagvatten mot en dagvattendränering, som via en tunnel leder bort vattnet i östlig riktning mot Ulvsundasjön. Topografiskt avrinner området norrut. Vattendelare för ytligt grundvatten sammanfaller oftast med de för ytvatten, vilket gör att grundvattenströmningen i princip kan anses ha samma strömningsriktning som ytvattnet.



Figur 36. Lokala vattendelare och avledningsvägar.

6.3. Geologi – Berggrund

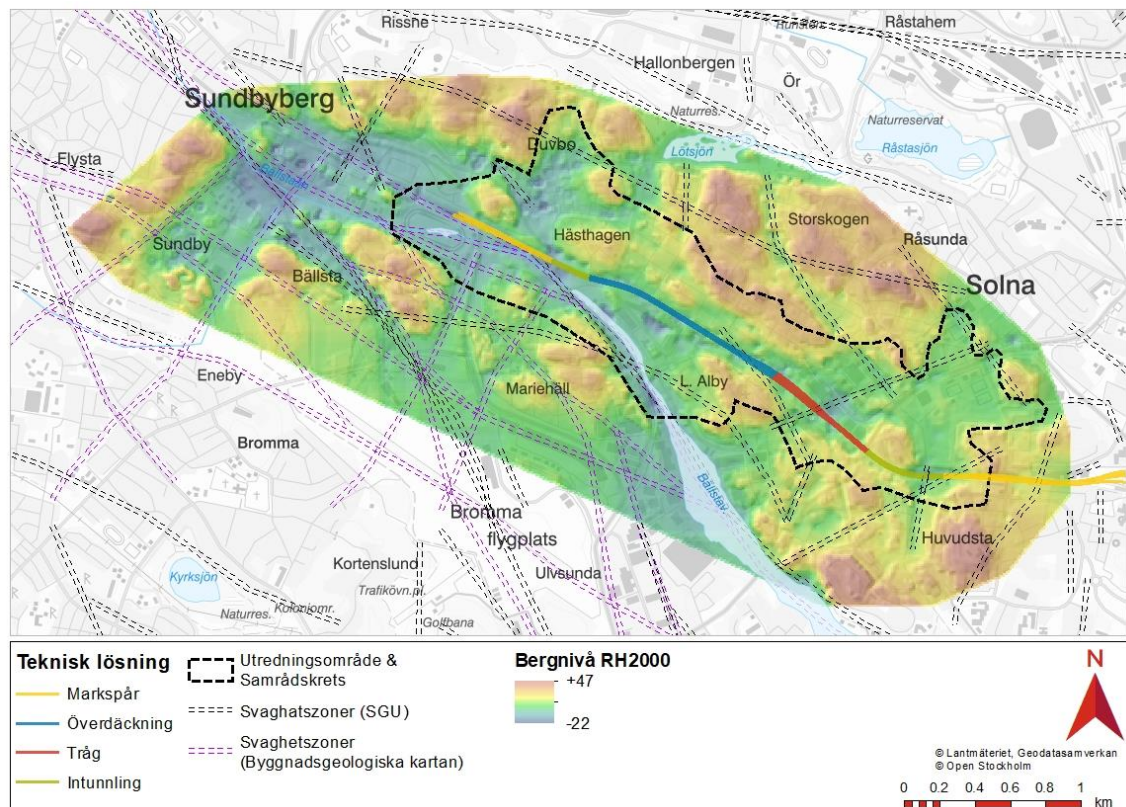
Berggrunden mellan Huvudsta och Duvbo består i huvudsak av sedimentär gnejs samt yngre granitoida intrusiva bergarter. I och omkring Huvudsta är graniten av porfyrisk karaktär. Vid Lilla Alby förekommer ett mindre område med basisk bergart (gabbro, diorit eller diabas). Pegmatitgångar och diabasgångar förekommer sporadiskt. För en överblick, se figur 37. De dominerande sprickgrupperna har riktningarna nordostlig till sydvästlig, nordvästlig till sydvästlig och nordlig till sydlig.



Figur 37. Karterade bergarter från SGU samt tolkade svaghatszoner.

I dalgången längs Bällstaån förekommer en större krosszon. Zonen utgör en geologisk förkastning som fortsätter mot sydost genom Bällstaviken och Ulvsundasjön. I denna dalgång ligger berget djupare än vad det gör i omgivningen, se figur 38.

Den utförda bergkarteringen omkring anläggningen visar mestadels på berg av god kvalitet, med enstaka förekomster av förmodade svaghatszoner. Bergets överyta kan i vissa avsnitt vara mer eller mindre uppsprucken, speciellt inom svaghatszoner. Här kan ytbergets vattenledande förmåga vara stor.



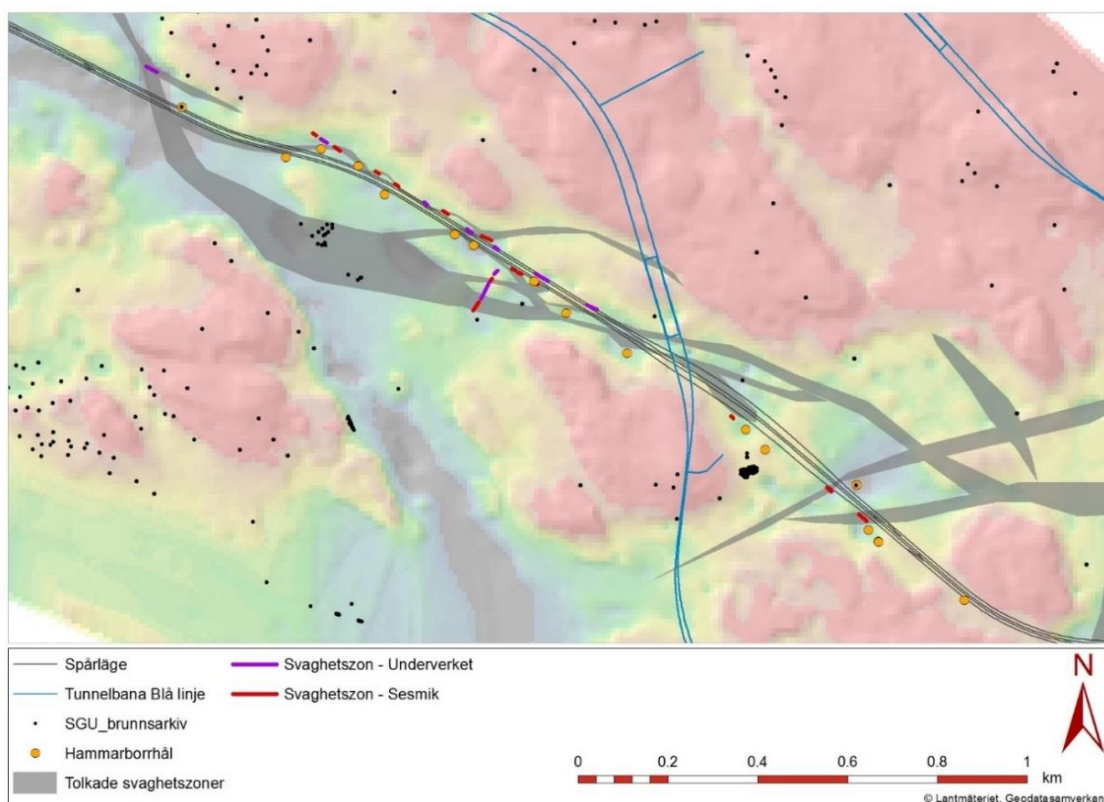
Figur 38. Bergöverytans nivå inom området, bedömda svaghetszoner samt utredningsområdet.

Underlaget till de markerade svaghetszonerna kommer från SGU och Stockholm stads byggnadsgeologiska karta. De är förmodade, vilket innebär att de inte är kontrollerade mer än i vissa punkter. Det finns därmed osäkerheter avseende svaghetszoners utbredning.

6.3.1. Bedömning av bergets svaghetszoner

Baserat på resultatet från tidigare utförda undersökningar och övriga tillgängliga data om bergets egenskaper har en bedömning gjorts av bergets svaghetszoner.

Svaghetszonerna bildar ett nätverk av nordvästliga strukturer som stupar brant till medelbrant mot nordöst, se figur 39. Zonerna tillhör ett mer storskaligt svaghetszonsnätverk, där den mest betydande grenen ligger under Bällstaviken. I den lerfyllda lågpunkten som ligger under Solna förkommer också branta öst-västliga och nord-sydliga svaghetszoner. Eftersom svaghetszonernas gränser är definierade utifrån observationskällor utan tydliga gränser (t.ex. en svacka), kan utbredning, omfattning och läge för svaghetszonerna vara osäkra.



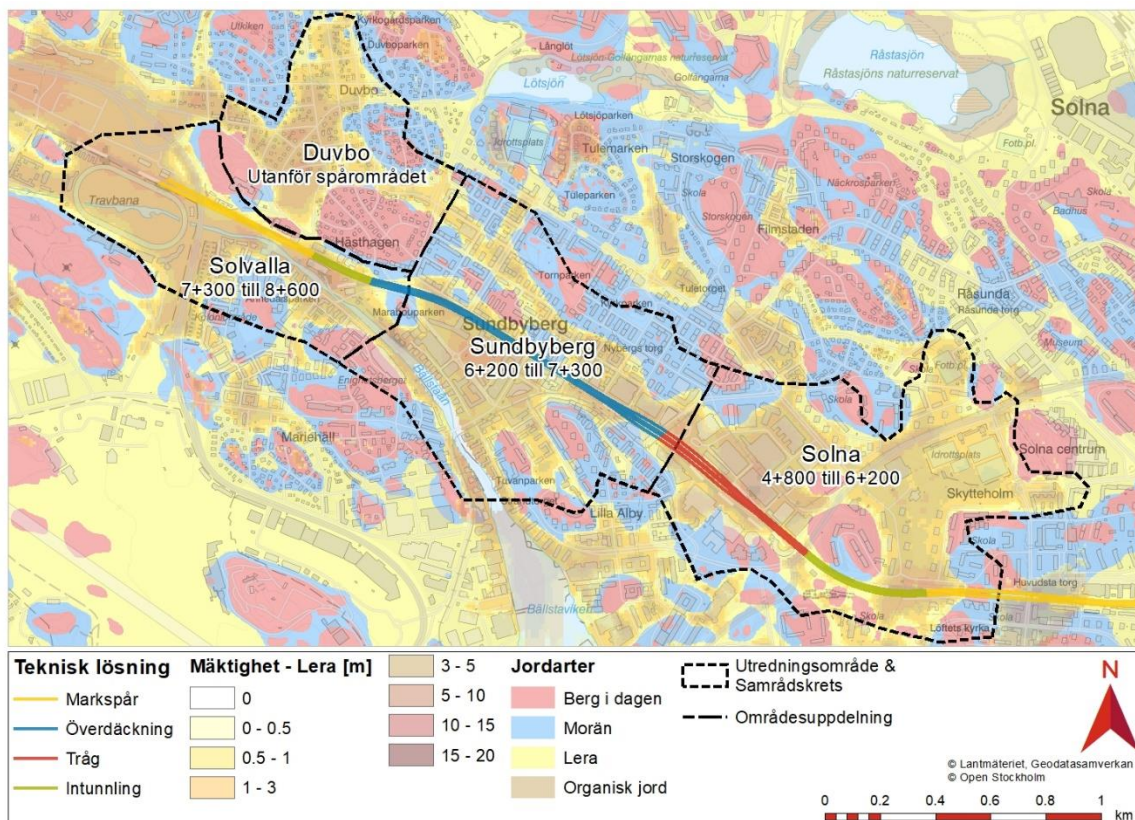
Figur 39. Bedömda relevanta svaghetszoner för anläggningen. Resultatet är en sammanvägning av utförd seismik, hammarborrhål, erfarenhet från tidigare projekt i omgivningen, bergmodellen (rött = höga bergnivåer, blått = låga bergnivåer), kartering av tunnlar och hållar samt förmodade svaghetszoner från SGU och Stockholms stads byggnadsgeologiska karta.

6.4. Geologi – Jordlager

Den aktuella järnvägen sträcker sig längs jordfyllda dalgångar mellan bergshöjder. Områdets jordlager består huvudsakligen av morän, glaciala (bildade under senaste istiden) och postglaciala (bildade efter senaste istiden) sediment såsom lera, silt, sand och organiska jordar, se figur 40. Fyllning förekommer även generellt närmast markytan i den urbana miljön men visas ej i figuren. Den generella jordlagerföljden längs spårsträckan är fyllning i markytan och därunder lera, friktionsjord (morän) och berg. Jorddjupen varierar längs spåret men är generellt mindre än 10 m. Från geomodellen, se bilaga 5, har en interpolering gjorts av lerans mäktighet.

Större sammanhängande lerområden finns i väster vid Bällsta och Duvbo, i de centrala delarna av Sundbyberg, vid Solna och i den östra delen vid Skytteholm (mellan Huvudsta och Solna). De glaciala sedimenten utgörs av silt som överlagras av postglacial lera. Morän förekommer inom större delen av området och underlagrar leran. Moränen är i huvudsak av siltig karaktär, men även sandig morän förekommer.

Jordlagrens utbredning tillsammans med vattendelarna utgör grunden för grundvattenmagasinens utbredning. När lerområden/grundvattenmagasin benämns i denna PM görs detta i *kursiv stil* för att förtydliga syftningen till just grundvattenmagasin.



Figur 40. Översiktskarta med naturliga ytjordarter och områdesindelningen.

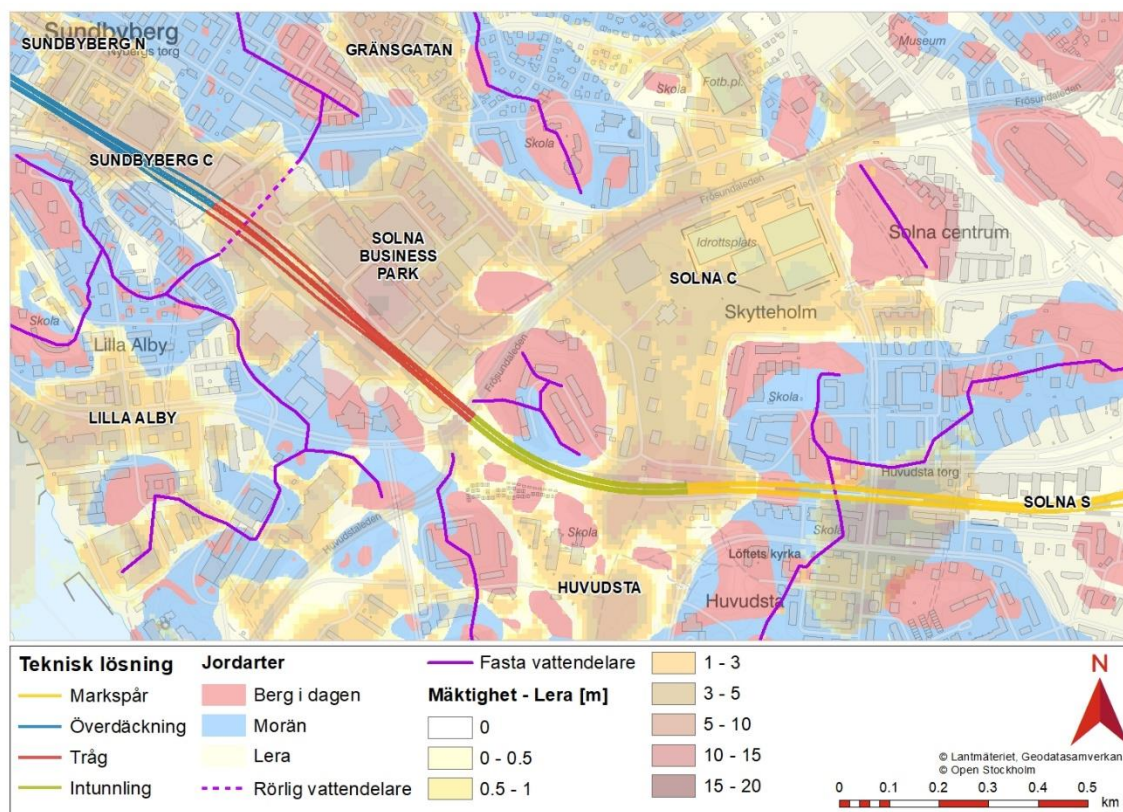
6.4.1. Solna

Inom Solna förekommer i huvudsak tre lerområden, som här benämns *Solna Business Park*, *Solna C* och *Huvudsta*, se figur 41. Jordlagren utgörs uppifrån räknat av fyllning, lera och friktionsjord på berg. Leran breder ut sig över större delen av området, och mäktigheten är generellt relativt stor, normalt ca 3–10 m. Det förekommer även lågpunkter i bergöverytan som möjliggör mäktigare lerlager, upp mot 15 m.

Friktionsjorden är som mest ca 5 m mäktig. Inom lerområdet i centrala Solna går berget upp i dagen och separerar till viss del de två lerområdena *Solna C* och *Solna Business Park*. På motsvarande sätt avgränsas *Solna C* och *Huvudsta* genom höga berglägen söder om spåret. Norr om *Solna Business Park* går topografin upp och där finns en lokal lersvacka som benämns *Gränsgatan*.

Längst i öster ligger ett område kallat *Solna S*, som avgränsas av höga berglägen mot *Solna C* och *Huvudsta*. Inom detta område löper järnvägen i markspår, vilket medför att området inte berörs av vattenverksamheten.

Väster om *Solna S* korsar spårsträckan först ett större sammanhängande, flackt lerområde mellan *Solna C* och *Huvudsta*, som avgränsas av högre liggande berglägen i väster och öster. Markytan ligger mellan +10 och +12 meter över havet (m ö.h.) och utgör gammal sjöbotten med innehåll av postglacial lera samt gyttjelera med ett ytlager av torv. Lerans mäktighet är ca 10 m men har lokalt noterats till 15 m. I samband med exploatering har markytan fyllts ut och är numera till stora delar hårdgjord. Fyllningens mäktighet antas som mest vara ca 3 m.



Figur 41. Geologi och bedömd mäktighet av lera i inom Solna.

Spårsträckningen övergår därefter till ett område med tunna jordlager vid kanten av en större höjd mellan *Huvudsta* och *Solna Business Park*. Här är lerans mäktighet liten, till stor del under 1 m. Under lera finns tunna lager av morän, och berget går i dagen på båda sidor av järnvägen. Området skapar därmed en naturlig avgränsning för grundvattnet (grundvattendelare) under lera.

Järnvägen går sedan igenom *Solna Business Park*, där lerans mäktighet ökar till upp mot 15 m. I de centrala delarna inom *Solna Business Park*, norr om spårområdet, är lerans mäktighet som störst där bergytan är som lägst. Friktionsmaterialet under lera är generellt relativt tunt, omkring någon meter, men det finns områden med mäktigare lager. I vissa delar av centrala *Solna Business Park* bedöms friktionsmaterialets mäktighet uppgå till närmare 10 m.

Utifrån tolkning av geofysisk och geotekniska undersökningar i *Solna Business Park* utgörs de övre jordlagren här av 3–4 m fyllning underlagrat av lerinblandad friktionsjord som vilar på homogen lera.

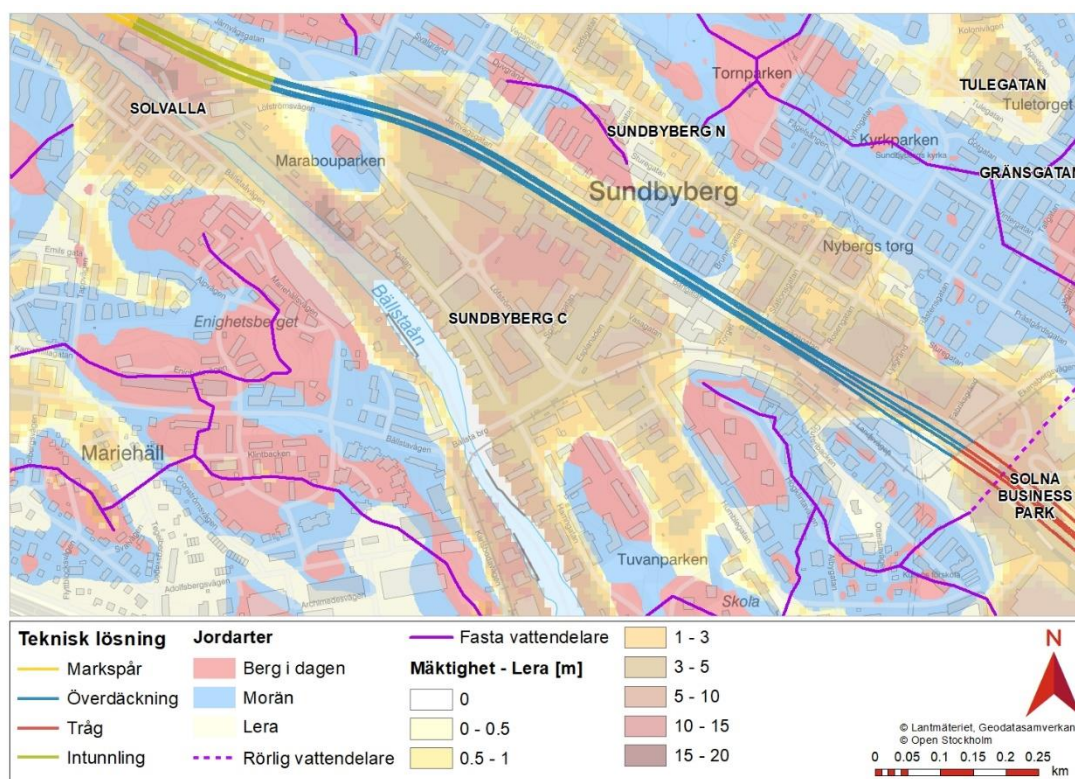
6.4.2. Sundbyberg

Den lerfyllda dalgången genom Sundbyberg utgör ett sammanhängande lerområde mellan närliggande bergshöjder. I den västra delen utvidgas lerans utbredning och övergår i ett plant område utfyllt med glacial och postglacial lera samtidigt som jorddjupen ökar, se figur 42.

Inom tidigare sjöar och våtmarker samt omkring Bällstaåns dalgång förekommer gytjelera med organiska jordar ovanpå de glaciala sedimenten. Stadsutvecklingen har medfört att stora delar av området är utfyllt med fyllnadsmassor av varierande karaktär och mäktighet. Under de större lerområdena finns betydande, sammanhängande undre grundvattenmagasin i friktionsjorden. De övre magasinerna är däremot ofta små, osammanhängande och torra. Dessa magasin bedöms enbart i liten omfattning ha en grundvattenyta året runt.

De största jorddjupen, ca 20 m, har påträffats i en lokal bergsvacka i de centrala delarna av Sundbyberg. Betydande jorddjup förekommer även i området intill Bällstaån, ca 10–15 m. Närmast anläggningen är jorddjupen betydligt mindre, och områden med ytligt berg förekommer. Längs spårsträckan utgörs jordlagerföljden generellt av 0,5–3,0 m fyllning, 0–9 m lera och 0,5–5 m friktionsjord innan berget nås.

Det större lerområdet benämns *Sundbyberg C*. Detta smalnar av österut mot Solna, där lerans mäktighet minskar. Viss kontakt finns även norrut mot ett smalt lerområde, *Sundbyberg N*. Längre västerut smalnar lerans utbredning av men dess mäktighet är fortfarande stor. Under leran finns ett sammanhängande friktionslager. Järnvägen går norr om en lokal höjd med morän och berg i dagen. Vid järnvägen är lerans mäktighet begränsad till någon meter.

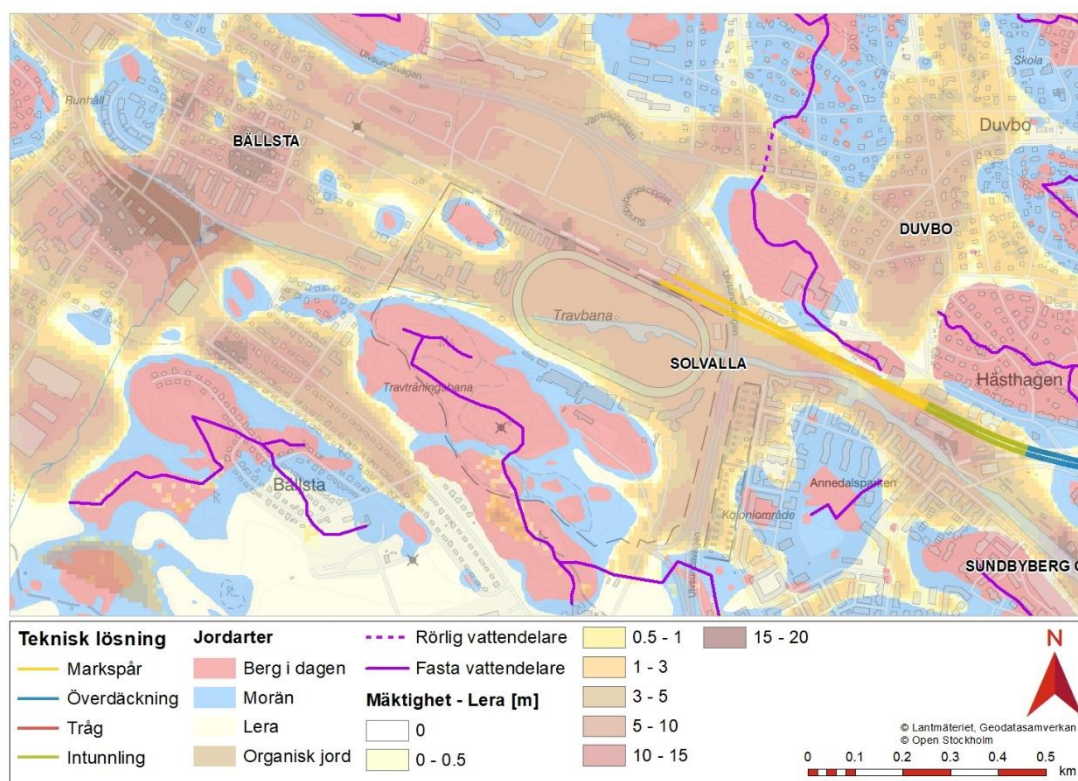


Figur 42. Geologi och bedömd mäktighet av leran i inom Sundbyberg.

6.4.3. Solvalla

Solvalla utgör ett omfattande lerområde där Bällstaån rinner fram, se figur 43. Området är relativt plant och markytan varierar mellan +2 och +6. De lägre nivåerna finns nära Bällstaån. Jordlagren utgörs av sandig morän på berg, som överlagras av glacial och postglacial finlera. I anslutning till Bällstaån förekommer gyttjelera. Fyllning återfinns inom spårområdet. De största jorddjupen återfinns intill Bällstaån och bedöms vara upp mot 15 m. Närmare spårområdet är jorddjupen mindre, vilket sammanfaller med att bergnivån stiger.

Mot norr stiger marknivån och även berggrunden. En smal dalgång finns mellan Solvalla och Duvbo, och denna utgör en gräns mellan områdena. Längre västerut breder leran ut sig i ett stort sammanhängande område med friktionsmaterial under leran. Ytterligare västerut går berget i dagen vid ett par punkter, men lerområdet är fortfarande utbrett med ett sammanhängande friktionslager under leran. Detta möjliggör ett sammanhängande grundvattenmagasin under leran, kallat *Solvalla*. Längre västerut fortsätter magasinet, utanför utredningsområdet. Magasinet kallas där *Bällsta*.



Figur 43. Geologi och bedömd mäktighet av leran i inom Solvalla och Duvbo.

6.4.4. Duvbo

Jordlagerföljden i Duvbo villaområde utgörs generellt av lera som underlagras av friktionsjord på berg. Lerområdet är mäktigt, och utbredningen begränsas (förutom i söder) av höga berglägen. Jordlagrens mäktighet är som mest ca 14 m, varav större delen utgörs av lera. Friktionsjorden under leran bedöms hänga samman med områdena söderut mot *Solvalla* med en tröskelnivå, vilket gör att strömning enbart kan ske från *Duvbo* ner till *Solvalla*.

I den södra delen förekommer ett mindre parkområde med gyttja, kallad Duvbomossen. Området utgörs till stor del av en gammal våtmark som fylldes ut i början av 1900-talet. Därefter har området fungerat som soptipp med utfyllnad till nuvarande marknivå.

Det sammanhängande lagret av friktionsjord under lera utgör ett undre grundvattenmagasin som kallas *Duvbo*.

6.5. Grundvattenförhållanden

Grundvatten i jord förekommer i undre magasin under stora delar av lerområdena och lokalt även i övre magasin i torrskorpelera, utfyllnad och organiska jordar. Övre och undre magasin är separerade av lera, som alltså utgör ett åtskiljande lager mellan magasinerna. Grundvattnet i de undre magasinerna finns dels i morän, dels i ytberg om där finns en uppsprucken överyta. Där lera saknas förekommer enbart ett magasin, ofta inom moränområden där topografin höjer sig. En karta med hydrogeologisk översikt visas i bilaga 2.

Avgränsningen av de undre grundvattenmagasinen är baserade på geologiska förhållanden, vilka presenteras i avsnitt 6.4 Geologi – Jordlager. Avgränsningen är även baserad på uppmätta grundvattennivåer.

Öppna magasin bedöms finnas framför allt i utfyllnader i övre magasin ovanpå lera samt i omgivande morän och bergshöjder. De öppna magasinerna på lera bedöms generellt inte vara uthålliga, och där uppträder enbart grundvattennivåer under nederbördsrika delar av året. Magasinen i morän- och bergshöjderna har hydraulisk kontakt med undre magasin och bidrar med tillströmning av grundvatten. Nivåerna i dessa magasin varierar med nederbörden.

Grundvattenmagasinen påverkas av några olika undermarksanläggningar. Tunnelbanan korsar Mälarbanan i Sundbyberg. Det finns även en del hemliga berganläggningar i omgivningen som dränerar magasinerna. Utöver tunnelbanan kan anläggningarna inte presenteras i kartor, utan enbart beskrivas översiktligt i text.

Grundvatten i berg förekommer i bergets spricksystem och krosszoner. De översta metrarna av berget har inte undersökts, och tolkas därför som en del av undre grundvattenmagasin i jord. Det ytliga berget har annars visat sig vara relativt tätt, med få sprickzoner och krosszoner. Mer vattenförande sprickor förekommer på ett något större djup.

Eftersom sättningsproblematik och skaderisk vid grundvattensänkning till övervägande del är relaterade till trycksänkning i friktionsjord under lera (undre grundvattenmagasin), är grundvattenförhållandena i undre jordmagasin i fokus. De övre magasinerna är vanligtvis lokala och torkar ofta ut under delar av året, till följd av att de är starkt beroende av nederbörd. Nivåerna styrs också av ledningsgravar, byggnaders och vägars grundläggning och dränering samt andra fysiska strukturer såsom byggnader.

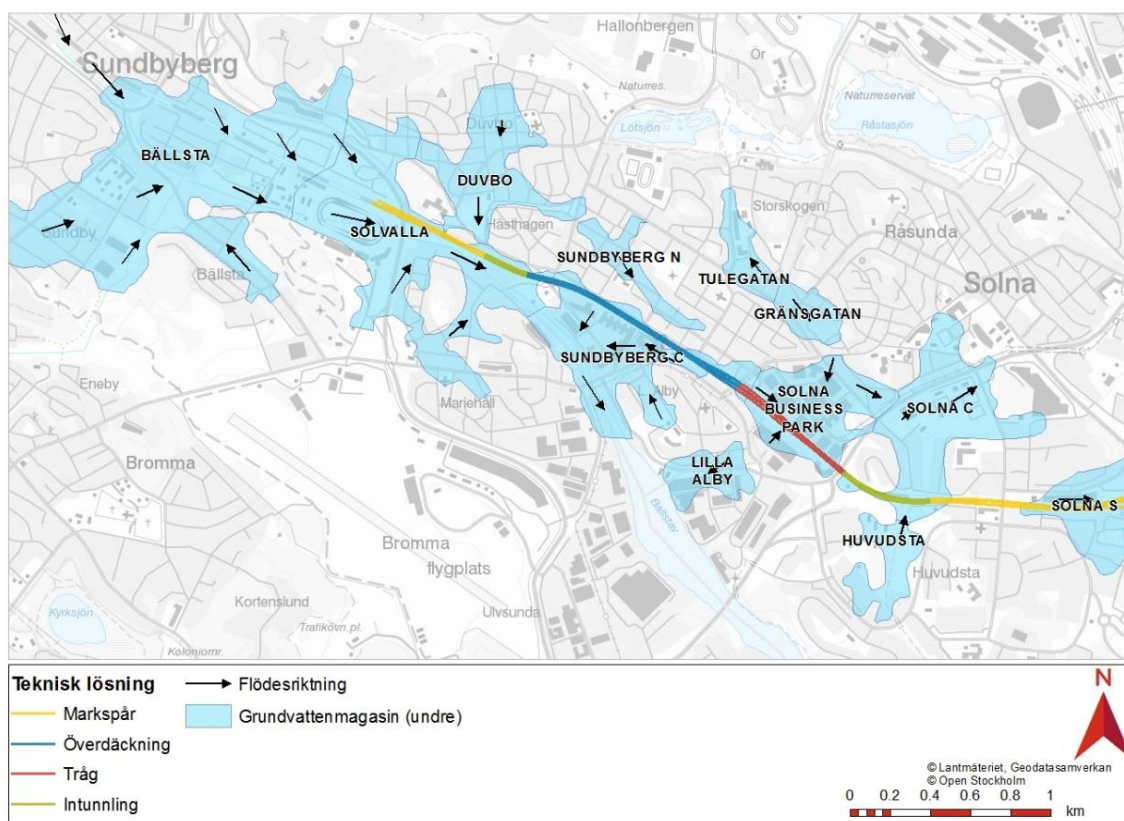
I området förekommer yt- och grundvattendelare, som avgränsar lokala avrinningsområden med bestående undre grundvattenmagasin inom lerområden. Magasinens utbredning för undre slutna magasin avgränsas därmed även av lerans utbredning. Avrinningen följer generellt marktopografin från högre till lägre områden men styrs även av lokala vattendelare samt anläggningar i den urbana miljön (dräneringar, ledningsgravar, dagvattensystem, befintliga tunnlar och bergrum och pumpstationer med mera). Stabila grundvattendelare förekommer där

berget når över grundvattenytan. I jordfyllda delar förekommer även gravitationsrelaterade vattendelare, som kan vara rörliga.

6.5.1. Grundvatten i jord

Inom och i anslutning till utredningsområdet finns tolv bestående undre grundvattenmagasin i jord, se figur 44. Dessa är samma områden som presenteras i avsnitt 6.4 Geologi – Jordlager. Magasinen avgränsas sinsemellan av hydrauliska gränser, såsom fasta eller rörliga vattendelare, men har i vissa fall hydraulisk kontakt med varandra. De har olika storlek och avrinner i olika riktning beroende på de topografiska förhållandena. Magasinen *Sundbyberg C*, *Solvalla* och *Bällsta* är ett sammanhängande magasin men har här delats upp i olika delområden av redovisningsmässiga skäl.

Inom området för vattenverksamhet passerar järnvägsanläggningen genom de fyra magasinerna *Solna C*, *Solna Business Park*, *Sundbyberg C* och *Solvalla*. Övriga magasin ligger runt om dessa och avrinner i de flesta fall ner mot något av dem.



Figur 44. Förekommande undre grundvattenmagasin inom utredningsområdet och flödesriktningar i dessa.

6.5.1.1. Solna

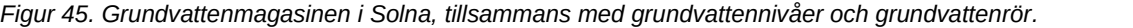
Inom Solna finns två olika magasin – *Solna C* och *Solna Business Park* – som gränsar mot varandra under själva Solna Centrum, se figur 45.

På sträckan 4+1100 till 5+300 passeras magasinet *Solna C*, vilket är ett magasin som utgörs av friktionsjord under lera. Avrinning sker generellt mot norr. En onaturlig lågpunkt runt Ankdammsgatan har dock identifierats, vilket tyder på att en aktiv grundvattenbortledning sker i omgivningen. Orsaken till grundvattenbortledningen är oklar, men en trolig förklaring skulle kunna vara de bergtunnlar för dagvatten som finns i området. Längre norrut i magasinet avviker grundvattenflödet österut, samtidigt som grundvattengradienten minskar där magasinet utvidgas. Längre söderut finns ett annat grundvattenmagasin, *Huvudsta*. Nivåskillnaderna i berget gör att de båda magasinerna har begränsad kontakt. Enbart vid höga grundvattennivåer i *Huvudsta* avrinner vattnet över bergtröskeln ner till *Solna C*.

Mellan 5+300 och 5+600 finns ett smalt magasin med en vattendelare. Den östra delen tillhör *Solna C* och den västra *Solna Business Park*. Här går järnvägen i skärning redan idag och påverkar nivåerna i det övre magasinet. I det undre magasinet har höga nivåer mätts i södra randen, upp mot +15.

Längs spårområdet inom magasinet *Solna C* varierar grundvattennivån i undre magasin mellan +6 och +7,6, med en medelnivå på +6,7. Ett övre magasin förekommer lokalt i anslutning till spårområdet, med nivån +9,3. I magasinet *Solna C* saknas längre mätserier för grundvattennivåer, eftersom de äldre rören inte finns kvar. Därmed går det inte att bedöma eventuella trender. I de mätserier som finns från 1970- och 80-talen, härstammande från den blå tunnelbanelinjens utbyggnad, kan ingen påverkan från byggnationen ses.

Ett infiltrationstest har genomförts i det undre magasinet i brunn 15W02FB. Baserat på resultaten från testet har en transmissivitet i magasinet lokalt utvärderats till $T = 2 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$.



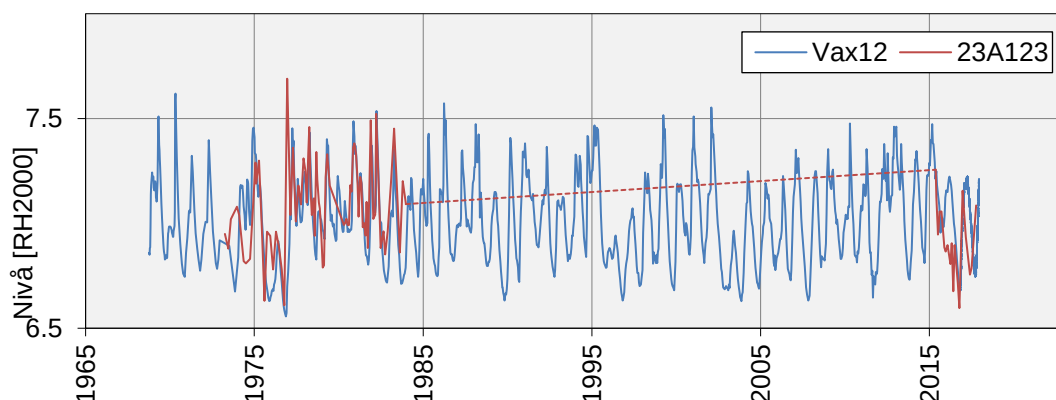
Inom *Solna Business Park* förekommer grundvatten både i undre magasin och lokalt i övre magasin i samband med utfyllnad och organiska jordar. De övre magasinerna är dock för det mesta torra. Grundvattennivån i undre magasin ligger mellan +6,5 och +9,5, med de högsta nivåerna i norr och vid Ekensbergsbron i väster. Här avgränsas även magasinet mot Sundbyberg genom en rörlig vattendelare, en så kallad gravitationsvattendelare. Denna har troligen påverkats av byggnationen av den blå tunnelbanelinjen och har förflyttats aningen österut jämfört med dess ursprungliga läge.

Grundvattennivån i det undre magasinet längs och invid järnvägsanläggningen ligger i medeltal mellan +6,5 och +9,1. Gradienterna inom magasinet är huvudsakligen låga, med ett radiellt flöde riktat mot den centrala delen av området. Tillrinning sker både i form av nederbörd från omgivande höjdområden och som grundvatten från magasinet *Grängsgatan* norr om området.

Det pågår påverkan på grundvattennivåerna i centrala delar av *Solna Business Park*. Detta kan ses tydligt i nivåmätningarna i grundvattenröret 16W05U och rören runt om detta. Grundvattennivån i dessa rör visar att det är en lågpunkt och utifrån variationen i grundvattennivån är det tydligt att den är påverkad av någon form av dränering. Orsaken är inte fastställd, men sannolikt sker en bortledning av grundvatten. Funktionstestet av det aktuella röret visar på mycket goda resultat, så uppmätta nivåer anses vara korrekta. Påverkan kan bero på en kombination av djupt liggande ledningsschakt för dagvattenavrinning, en bergförlagd tunnel öster om området, ett parkeringsgarage inom fastigheten Fräsaren 12 och ett förmodat garage ca 50 m öster om denna fastighet.

Inom *Solna Business Park* finns ett grundvattenrör, 23A123, med både nutida mätdata och mätdata från 1970-talet. Grundvattenröret sitter centralt i magasinet och bedöms vara representativt för detta. En utförd samvariationsanalys visar inte på någon större påverkan. Vad

som däremot framgår är att de lägsta nivåerna har sjunkit, se figur 46. Detta kan indikera läckage från magasinet till en djupare liggande undermarksanläggning. Grundvattenröret sitter nära ett annat grundvattenrör, 16Wo5U, där en onaturlig lågpunkt har identifierats. Eftersom ingen tydlig påverkan kan ses i samvariationsanalysen kan påverkan vid 16Wo5U ha skett innan mätningarna startade. I annat fall är påverkan ytterst lokal.



Figur 46. Samvariation mellan ett rör i Solna Business Park (23A213) och ett referensrör från SGU. Ingen påverkan påvisas.

Ett infiltrationstest har genomförts i filterbrunnen 15Wo4FB, som ligger vid gränsen mellan det aktuella magasinet och det närliggande magasinet *Sundbyberg C*. Transmissiviteten har utvärderats, där $T = 1,2 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$. I den andra filterbrunnen i magasinet, 15Wo3FB, kunde inget test genomföras på grund av att jordlagren var för täta.

Ytterligare fyra infiltrationstest har genomförts, i grundvattenrör. I två av rören, 16GWo7U och 16GW18U, var infiltrationskapaciteten för låg för att möjliggöra en utvärdering. I 16GW34U kunde en mindre mängd infiltreras (0,3 l/min) och i 15W14U kunde en större mängd infiltreras (8,1 l/min).

6.5.1.2. Sundbyberg

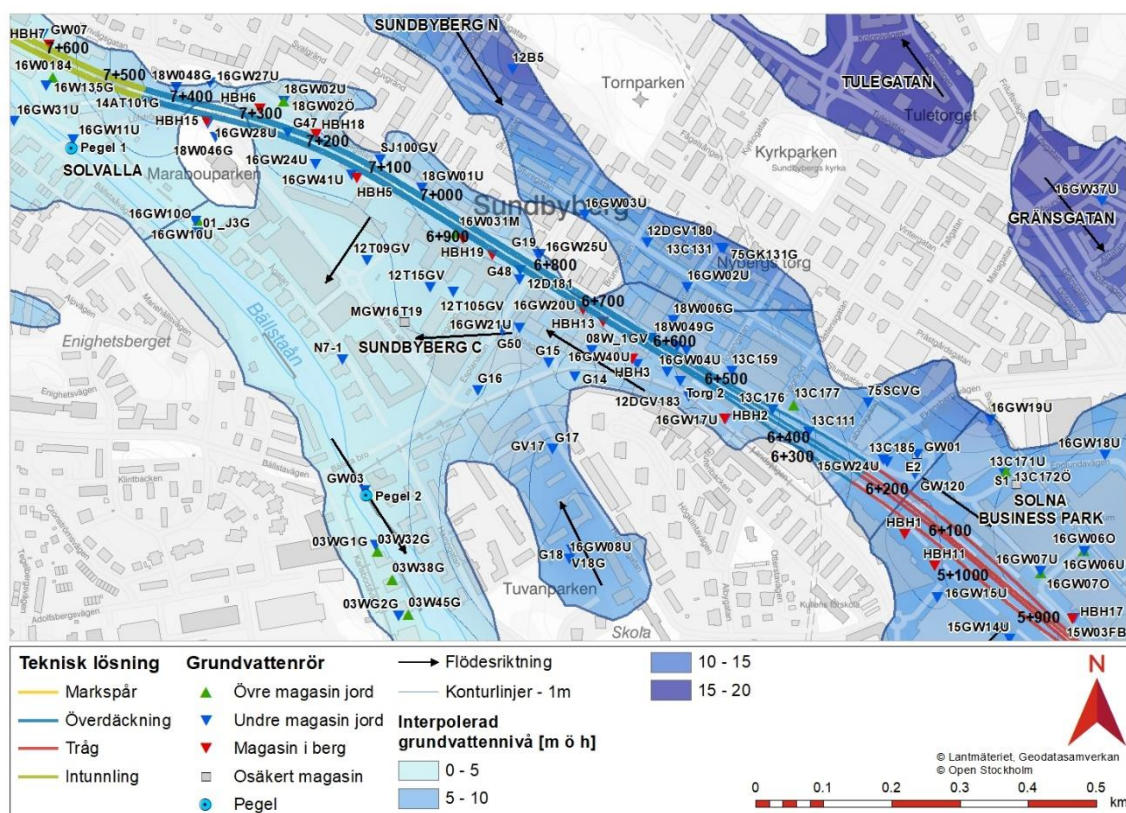
I Sundbyberg finns två grundvattenmagasin, *Sundbyberg C* och *Sundbyberg N*. Magasinen separeras av höga bergnivåer, och det norra magasinet avrinner ner i det södra.

Grundvattenbildning sker huvudsakligen från omgivande höjdområden. Grundvattenströmning tillkommer från *Solvalla* i väster. Grundvatten förekommer i friktionsjord (undre magasin) samt lokalt i fyllnadsmassor (övre magasin). Grundvattengradienten och avrinningen går i västlig riktning längs Järnvägsgatan, för att därefter vika av mot sydväst, mot Bällstaån. Längs spårsträckan återfinns de högsta grundvattennivåerna vid vattendelaren i öster (Ekensbergsbron). Grundvattennivån i det undre grundvattenmagasinet ligger där på +9,2. Vid 6+500 faller nivån till ca +6,2, för att vid 7+000 sjunka ytterligare till +2,0. Vid Bällstaåns mynning ligger nivån på ca +1,0.

Två provpumpningar har genomförts i området. Magasinet transmissivitet har utvärderats till mellan $T = 5,2 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ och $T = 6,5 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$. Dessutom har två infiltrationsförsök gjorts i grundvattenrören GW1620U och GW1625U. Omkring 1 l/min kunde infiltreras i båda dessa rör.

Magasinet utbredning norr om Mälarbanan är litet och begränsas av höga berglägen. Utbredningen är mellan ca 50 och 150 m, se figur 47. Utbredningen söderut sträcker sig ner till

Bällstaån och något förbi denna. Huvudsakligen är jorddjupet litet, 3–4 m. Nära Bällstaån är det dock större, vilket förklaras av sänkan i berggrunden. Inom stora delar av området förekommer utfyllnader ovanpå leran.



Figur 47. Bedömd utbredning av undre grundvattenmagasinet i Sundbyberg.

Mellan 6+400 och 6+500 och mellan 6+800 och 6+900 finns djupare sänkor i berget, vilket möjliggör en relativt stor grundvattentransport vinkelrät mot tunnelsträckningen. Här går inte tunneln i bergskarvning, vilket medför att flödesvägen består. Även vid 7+100 och 7+400 finns sänkor i berget där en relativt stor grundvattentransport vinkelrät tunnelsträckningen kan ske. En betydande del av grundvattenbildningen till grundvattenmagasinet sker från randområdet norr om järnvägsanläggningen.

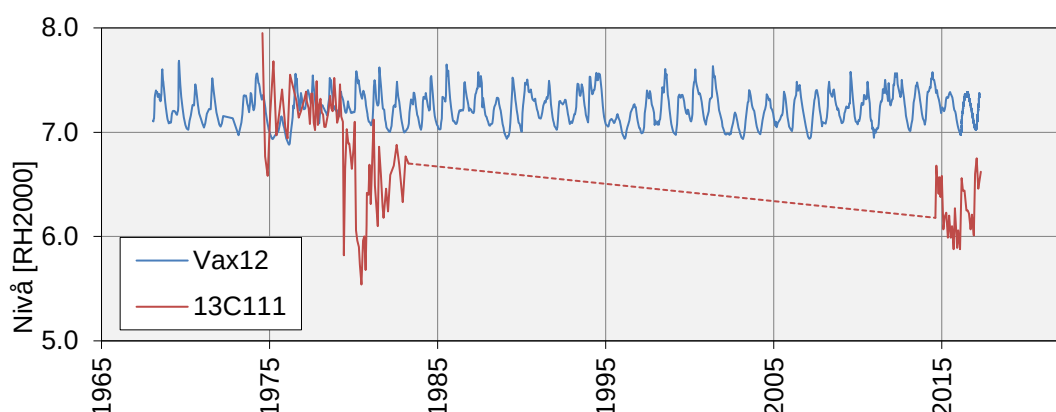
Grundvattnet i det undre magasinet bedöms inte ha någon god kontakt med Bällstaån. Ån och magasinet samvarierar visserligen relativt väl, men detta bedöms huvudsakligen bero på att de har en liknande respons på nederbörd. Mätningar har gjorts vid två peglar i ån, där även grundvattennivån i magasinet under har mätts. Vid den ena pegeln (Solvalla) ligger nivån i Bällstaån högre än grundvattennivån. Vid den andra pegeln (Sundbyberg) ligger grundvattennivån i det undre magasinet högre än nivån i Bällstaån. Vidare visar sonderingarna ett relativt mäktigt (2–3 m) lerlager närmast ån. Den interpolerade lermäktigheten i geomodellen leder till samma tolkning.

Bedömningen är att Bällstaån inte har god kontakt med undre magasin längs den aktuella sträckan, men att grundvattenmagasinet bräddar (strömmar ut) till Bällstaån vid höga grundvattennivåer. Bräddning skulle även kunna ske längre ut mot Bällstaviken.

Viss dränering från undermarksanläggningar förekommer i området. Tunnelbanan korsar järnvägen i de östra delarna mot Solna, och inom området finns även avloppstunneln

Underverket med två anslutande tunnelgrenar. Inom magasinet finns flera grundvattenrör med långa mätserier. En samvariationsanalys har gjorts för två rör, 13C111 och 13C131. Båda rören sitter i närheten av den blå tunnelbanelinjen. Röret 13C111 är placerat nära Sundbyberg tunnelbanestation, alltså vid den aktuella sträckningen av Mälarbanan. Det andra röret sitter i magasinet *Sundbyberg N*, som avrinner ner till *Sundbyberg C*.

Båda rören visar en tydlig påverkan av nivåerna omkring 1980-talet, då byggnationen av tunnelbanan pågick, se figur 48. Röret vid Sundbyberg station visar något större påverkan, vilket är rimligt eftersom det där finns vertikala schakt ner till stationen. Avsänkningen är bedömd till ca 1 m och nivån har inte återhämtat sig. Vid det andra röret är avsänkningen i samma storlek, ca 1 m. Även där är avsänkningen bestående. Grundvattennivån ligger under den gångtunnel som finns under spårområdet och till tunnelbanan, så den anläggningen bedöms inte dränera magasinet.



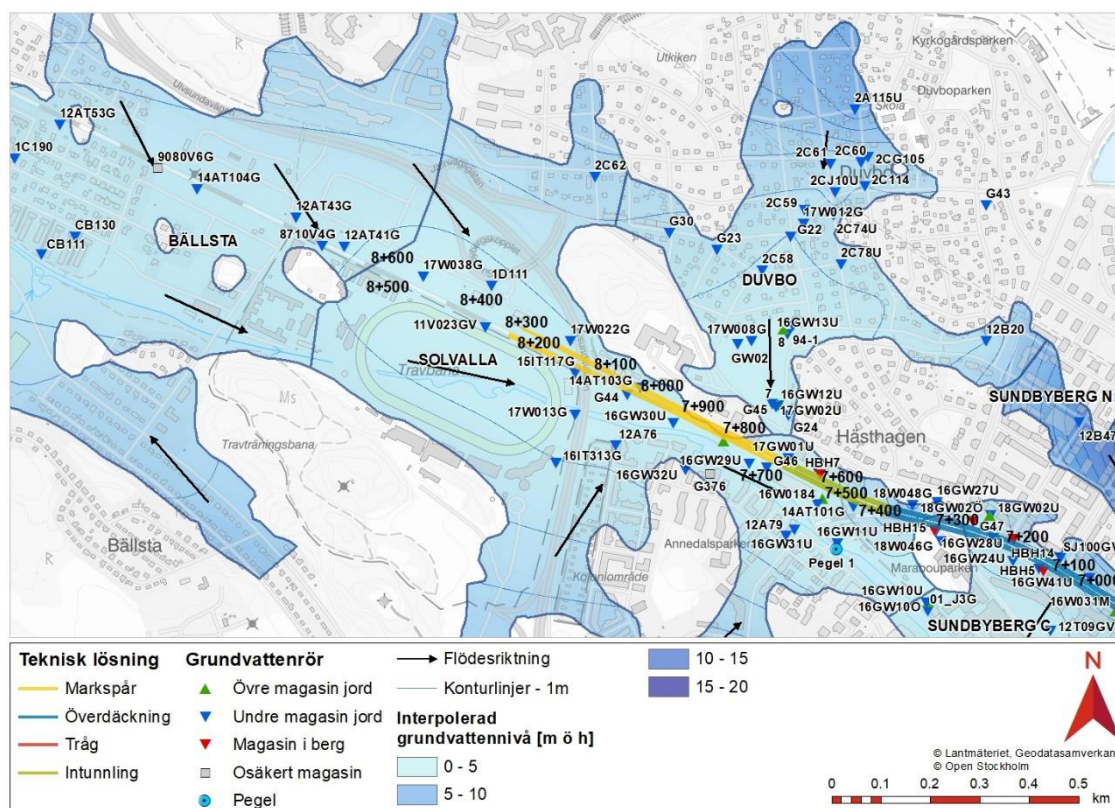
Figur 48. Samvariation mellan SGU:s referensgrundvattenrör och 13C111. En påverkan kan noteras i samband med utbygganden av tunnelbanan omkring 1980. Nivån i röret har inte återhämtat sig.

6.5.1.3. Solvalla

De utbredda sammanhängande lerorna medför att grundvattenmagasinet i Solvalla saknar hydrauliska gränser västerut. Detta stora magasin har av praktiska skäl delats upp i två grundvattenmagasin, *Solvalla* och *Bällsta*. Det är bara den östra delen av *Solvalla* som berörs av den planerade anläggningen.

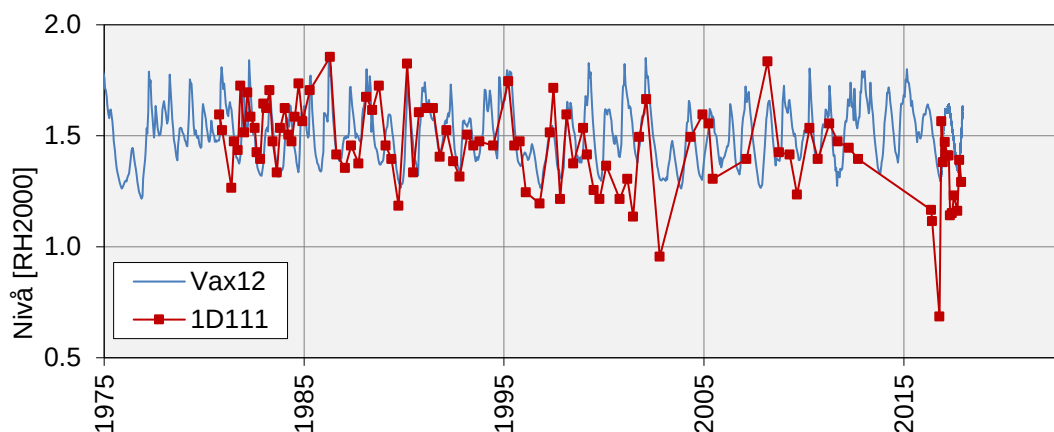
Huvudflödesriktningen är östlig, med tillrinning från omgivande höjdområden. Tillrinning sker även från grundvattenmagasinet *Duvbo*, genom viss kontakt mellan magasinen, se figur 49. Magasinet som breder ut sig under Duvbo villaområde bedöms vara separerat från *Solvalla* och avrinner enbart vid höga nivåer. (*Duvbo* behandlas separat, se avsnitt o.) Grundvattengradienten är flack, med nivåer i undre magasin från +2,2 i väster till +1,3 i öster. Lokala övre magasin kan förekomma i samband med fyllning.

Ett infiltrationstest har genomförts i området, och transmissiviteten i *Solvalla* har utvärderats till $T = 1,6 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$.



Figur 49. Utbredningen av grundvattenmagasinen i Solvalla och Duvbo.

I *Solvalla* finns två grundvattenrör med kontinuerliga mätningar sedan början av 1980-talet. Ingen tydlig påverkan ses i dessa rör. Däremot indikerar mätningarna att de låga nivåerna har sjunkit något sedan sent 1990-tal, medan de höga nivåerna kvarstår. Detta är typiskt för magasin som påverkas av exempelvis bergtunnlar eller andra djupa, dränerande objekt. Vid höga nivåer är tillströmningen av grundvatten mycket större än läckaget, vilket gör att magasinet fylls till en naturlig, hög tröskelnivå. Vid längre perioder utan tillskott är utflödet från magasinet större, på grund av läckage till dränerande objekt, och då sjunker nivån mer än tidigare. Avloppstunneln Underverket går igenom området, vilket kan vara en förklaring till mönstret i mätningarna, se figur 50.



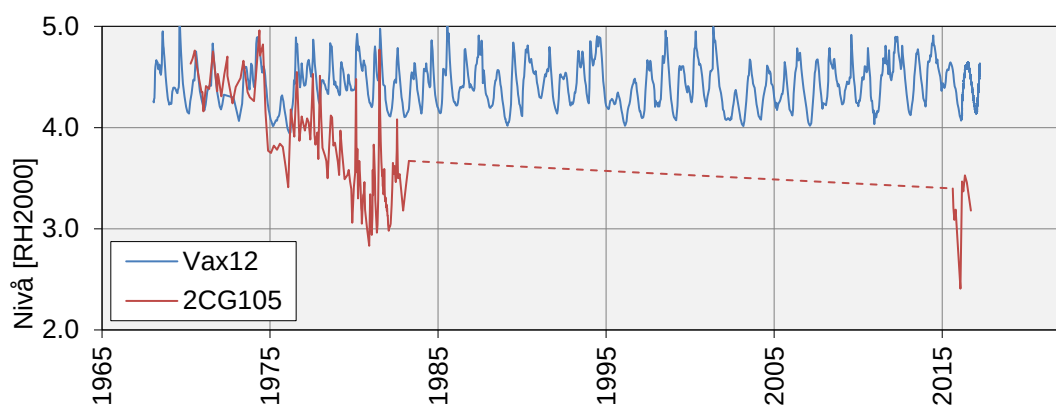
Figur 50. Samvariation mellan SGU:s referensrör och 1D111 i Solvalla. Lägre låga nivåer kan noteras sedan sent 1990-tal.

6.5.1.4. Duvbo

Magasinet *Duvbo* avgränsas till stor del av omgivande höga berglägen. Mot söder angränsar det mot *Solvalla*. En tröskel avgränsar magasinen, men vid höga nivåer i *Duvbo* avrinner grundvatten ner mot *Solvalla*. Låga grundvattennivåer i *Solvalla*, vid eventuell avsänkning, påverkar dock inte nivåerna i *Duvbo* direkt.

Grundvattengradienten är flack, med nivåer omkring +1,4 till +1,5 i de södra delarna. I magasinets utkant mot norr förekommer högre nivåer, upp till +7.

Det finns flera långa mätserier i området. I vissa grundvattenrör kan en sänkning av grundvattennivåerna observeras vid mitten av 1970-talet, vilket sammanfaller med utbyggnaden av tunnelbanan. Som framgår av tidsserie för grundvattenrör 2CG105 i figur 51 har nivåerna inte återhämtat sig. Avsänkningen verkar däremot vara relativt lokal och har inte spridit sig i hela magasinet söderut. En samvariationsanalys av nivåer i grundvattenröret 2C58, beläget i de centrala delarna av *Duvbo*, visar att ingen påverkan har skett i detta område. Resultatet tyder på att tunnelbanan dränerar delar av det norra magasinet, men att den södra delen av magasinet ner mot *Solvalla* inte har påverkats. Söder om magasinet går avloppstunneln Underverket, vilken inte bedöms påverka grundvattennivåerna i *Duvbo*.



Figur 51. Tydlig avsänkning i grundvattenröret 2CG105 mellan åren 1975 och 1980. Nivåerna har inte återhämtat sig efter det.

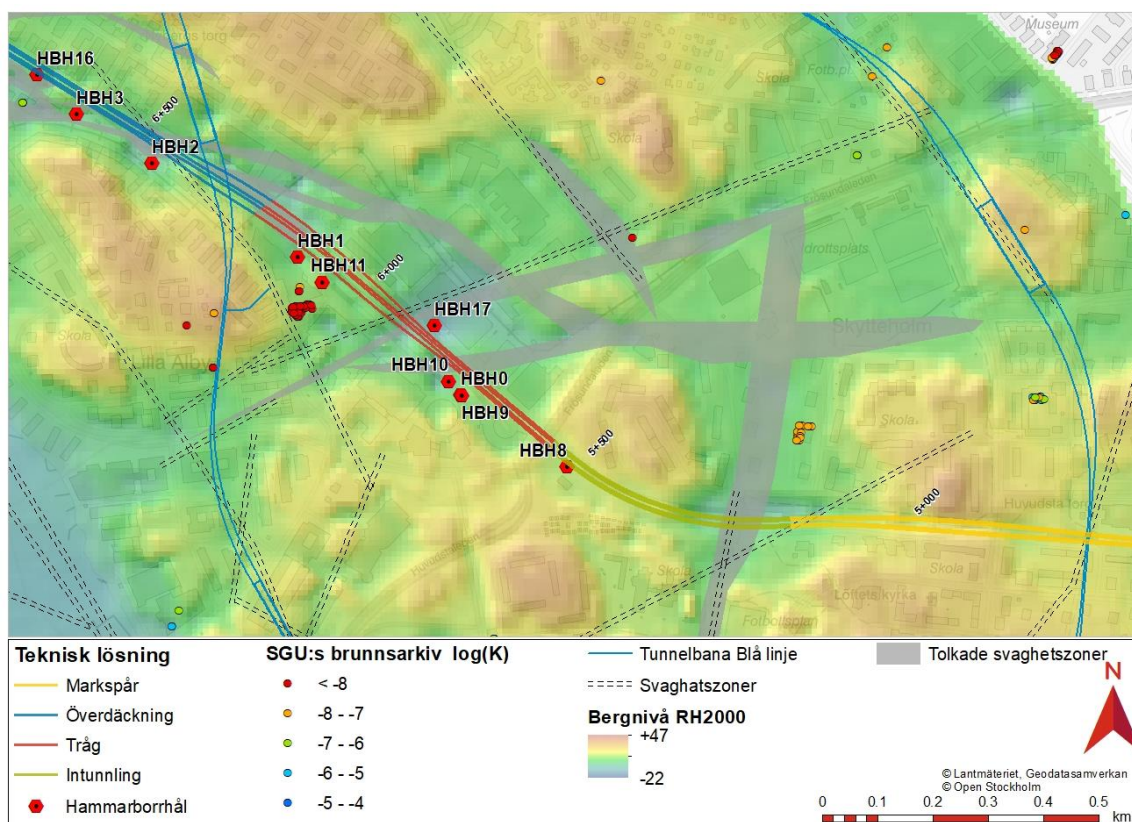
6.5.2. Grundvatten i berg

Grundvattenflödet i berget sker i dess sprickor och beror därför till stor del av sprickfrekvenser och sprickornas storlek och riktning. Undersökningarna och informationen som presenteras i kapitel 5 har här använts för att göra en helhetsbedömning längs järnvägsanläggningen. I detta avsnitt redovisas bedömningen per område.

6.5.2.1. Solna

Under *Solna Business Park* och *Solna C* bedöms det finnas ett utbrett spricksystem. I *Solna Business Park* har vattenförlustmätningar genomförts i fem hammarborrhål, se figur 52. I tre av borrhålen (HBH00, HBH09 och HBH17) påträffades inga vattenförande sprickor, medan sådana sprickor fanns i de två andra (HBH10 och HBH11). Dessa sprickor ligger djupare än planerad anläggning, vilket bedöms medföra att de inte kommer i kontakt med schakt i byggskedet. Inom området finns få brunnar i SGU:s brunnarkiv. De brunnar som ligger i närheten av anläggningen tyder på låg vattenföring i berget.

Det bedöms trots utförda undersökningar enligt ovan finns viss risk att anläggningen passerar två svaghetszoner i *Solna Business Park* där vattenförande sprickor troligen påträffas.



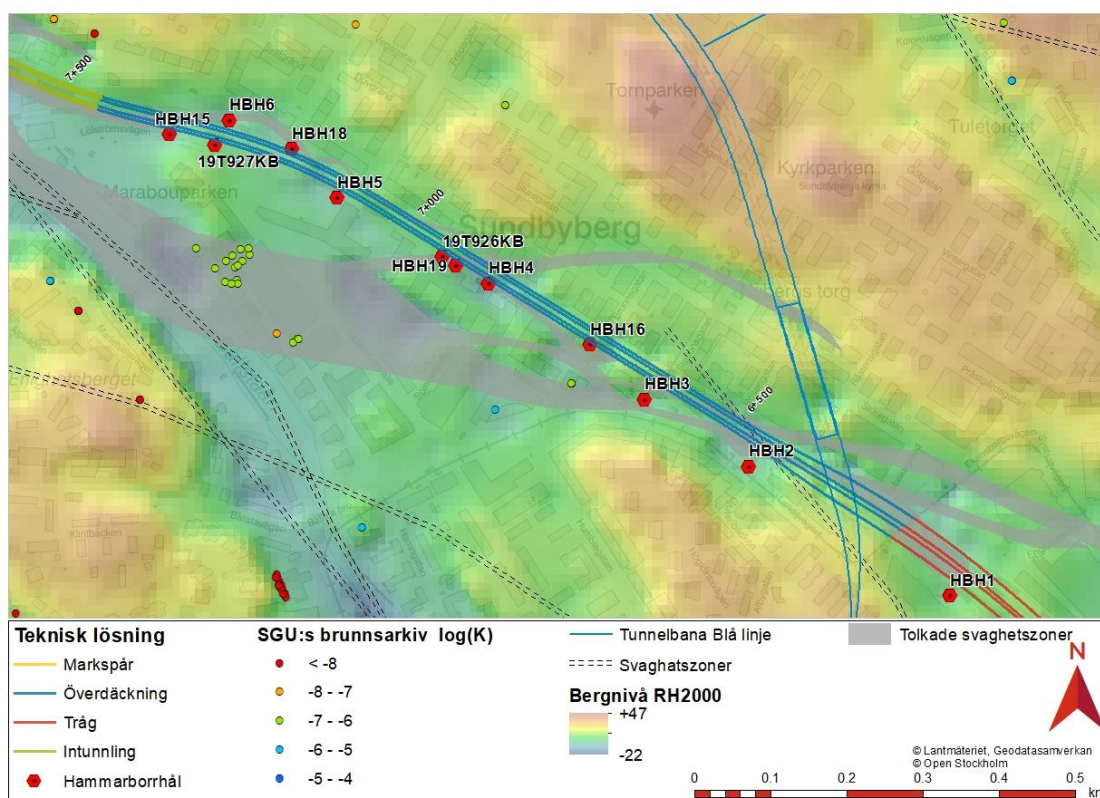
Figur 52. Genomförda vattenförlustmätningar i hammarborrhål och beräknande K-värden i närliggande brunnar från SGU:s brunnarkiv, samt bedömda svaghatszoner.

6.5.2.2. Sundbyberg

Inom Sundbyberg bedöms det finnas flera stråk av svaghetszoner som är sammanhängande med en trolig sprickzon i dalgången längs Bällstaån. Ett antal borrhål från SGU:s brunnarkiv är placerade i denna zon, och de visar ett relativt högt K-värde på mellan 10^{-6} och 10^{-7} m/s. Det finns dock endast ett begränsat antal brunnar från SGU:s brunnarkiv. Längs sträckan har också flera vattenförlustmätningar genomförts.

En kombinerad avloppstunnel för dag- och spillvatten, Underverket, finns i området. Det förekommer även anslutande tunnlar från den södra delen av området. Underverkets exakta placering är hemlig och kan därför inte visas här. Uppgifter från tunnelkarteringen tyder dock på ett mycket lågt inläckage av grundvatten till anläggningen. I området vid Esplanaden/Torget förekommer en zon med sämre bergkvalitet, där tätningsåtgärder har utförts.

Tunnelbanan korsar Mälarbanan i nord-sydlig riktning vid Sundbyberg station, se figur 53. Utifrån tidiga uppgifter från den kommunala trafikförvaltningens flödesmätning i pumpstationer uppskattas inläckaget till ca 2 l/min och 100 m tunnel. Kontinuerliga mätningar av inläckaget görs dock inte. Det är ett lågt inläckage, som indikerar att bergmassan har låg vattengenomsläpplighet. Värdet på inläckaget bör dock betraktas som osäkert.



Figur 53. Genomförda vattenförlustmätningar i hammarborrhål och beräknande K-värden i närliggande brunnar från SGU:s brunnarkiv, samt bedömda svaghetszoner.

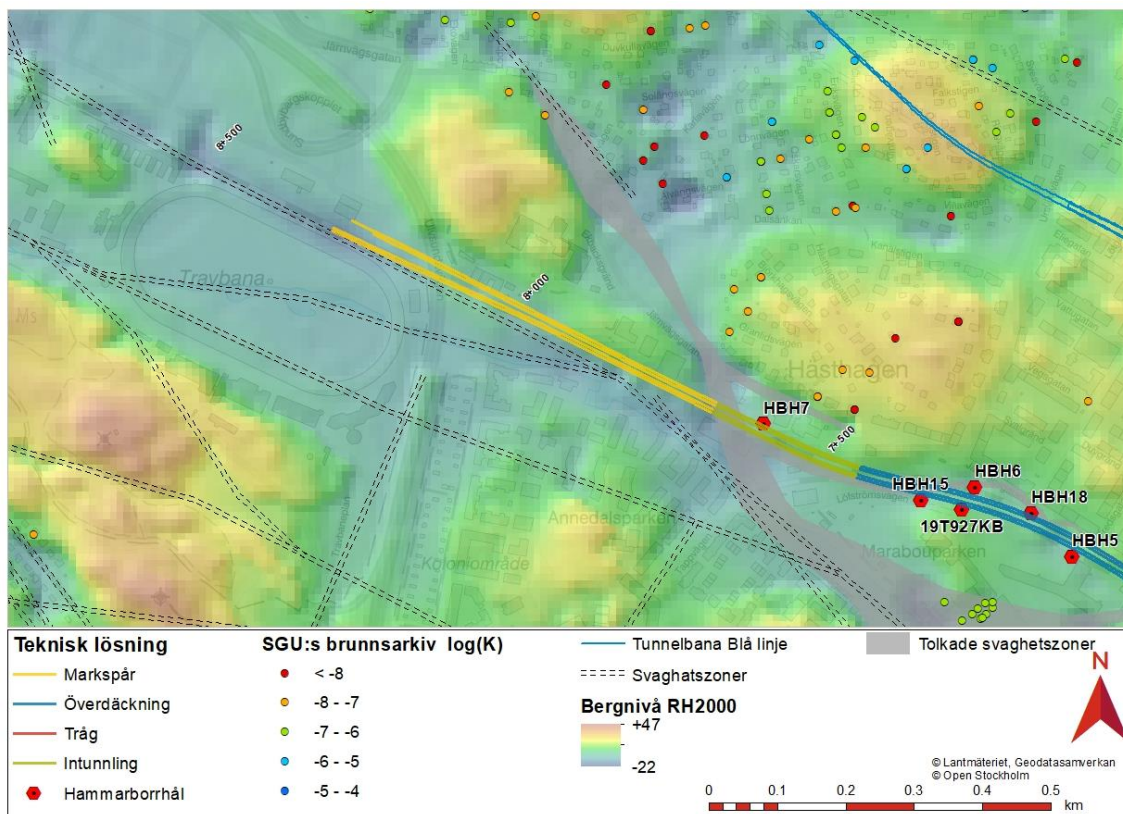
I närheten av borrhålen HBH3 och HBH16 finns två brunnar ur SGU:s brunnarkiv med stort bedömt flöde och därmed ett högt K-värde. I HBH16 påträffades en vattenförande spricka, medan det i HBH3 var ett generellt högre K-värde längs hela borrhålet. Längre österut, i HBH2, upptäcktes inga tydligt vattenförande sprickor.

Vid HBH 4 och HBH 19 påträffades en vattenförande spricka ca 20 m under bergöverytan. Längre västerut, i HBH5, upptäcktes inga vattenförande sprickor. I HBH18, HBH6 och HBH15 påträffades vattenförande sprickor på varierat djup, dock alla på större djup än den planerade anläggningen. Det bedöms finnas en större risk att finna vattenförande sprickzoner runt och i närheten av HBH3 och HBH16, vid 6+600.

6.5.2.3. Solvalla och Duvbo

Vattenförlustmätningar har genomförts i borrhålet HBH7, se figur 54. Resultaten visar på ett lågt K-värde, och inga tydliga vattenförande sprickor påträffades. I området mot Duvbo finns flera bergborrade brunnar ur SGU:s brunnarkiv. De flesta brunnarna visar på ett relativt högt K-värde, mellan 10^{-5} och 10^{-7} m/s. Det finns dock även några brunnar med låga K-värden, ner mot 10^{-9} m/s. En sprickzon bedöms gå mot Duvbo i nordvästlig riktning men den når inte centrala Duvbo.

Det finns risk att vattenförande sprickor påträffas längs sträckan. Järnvägsanläggningen grundläggs dock till största delen i jordlagren, och därmed föreligger liten risk att påträffa svaghetszoner i berg under byggskedet.



Figur 54. Genomförda vattenförlustmätningar i hammarborrhål och beräknade K-värden i närliggande brunnar från SGU:s brunnarkiv, samt bedömda svaghetszoner.

6.5.2.4. Sammanvägd bedömning

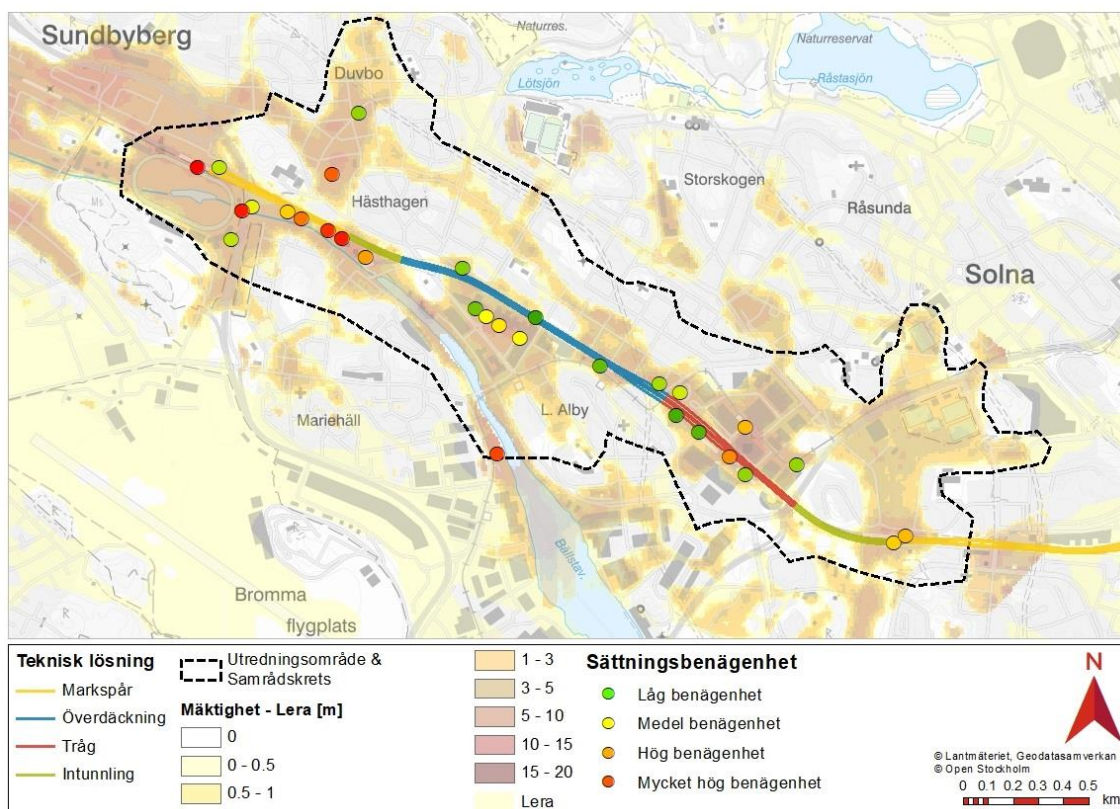
Undersökningar längs hela den aktuella sträckan visar att bergkvaliteten generellt är god och att sprickförekomsten generellt är låg. Detta medför i sin tur att vattenföringen bedöms vara låg. Vattenförlustmätningarna visar dock att det längre ner i berget förekommer flera vattenförande sprickzoner. Dessa zoner ligger dock under planerat anläggningsdjup. Det har identifierats några riskzoner där det bedöms vara större sannolikhet att påträffa en vattenförande sprickzon.

6.6. Områden med sättningsbenägen lera

I avsnitt 6.4 redovisas jorddjupskartor som bland annat visar lerans utbredning. Jorddjupskartan indikerar var det finns områden med stora lerdjup. Stora lerdjup kan kopplas till större risk för sättningar än mindre lerdjup. Sättningsberäkningar har utförts och de redovisas i bilaga 6.

Det förekommer i princip tre olika situationer för leran kopplat till sättningar. Leran kan vara överkonsoliderad, där en viss förändring av trycket inte ger några sättningar eftersom leran redan är hoppresad. I dessa områden pågår inga sättningar, och en mindre grundvattensänkning behöver heller inte skapa några. I en annan situation kan leran vara normalkonsoliderad. Det innebär att inga sättningar pågår, men en förändring i grundvattentrycket kan ge sättningar. Slutligen kan gränsen för konsolidering redan ha passerats, där sättningar pågår. Leran sägs i det fallet vara underkonsoliderad. En grundvattensänkning ger då ytterligare sättningar.

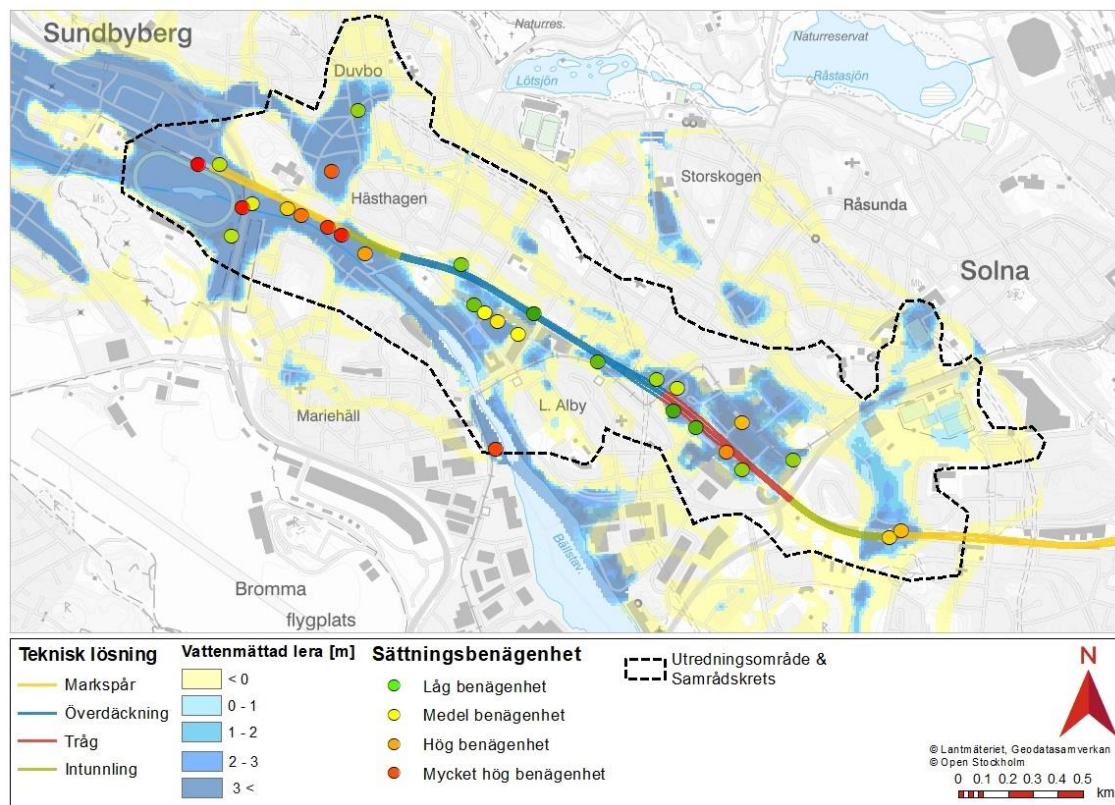
En visualisering har gjorts i plan utifrån flera sättningsberäkningar. figur 55 visar hur sättningsbenägenheten varierar inom området. Benägenheten varierar stort mellan olika punkter, även på korta avstånd. Det finns sättningsbenägna punkter inom samtliga magasin, med viss övervikt för *Solvalla*.



Figur 55. Bedömd sättningsbenägenhet i beräkningspunkter längs sträckan.

Från geomodellen har lerans underkant tagits fram. Denna nivå har sedan jämförts med grundvattennivån i undre magasin. Resultatet visar var grundvattennivån i undre magasin finns under lerans underkant och var trycknivån går upp i leran. I de områden där leran är uttorkad kan inte en ytterligare grundvattensänkning ge sättningar.

Resultatet av var det finns en trycknivå i leran och var det finns stora risker för sättningar sammanfaller väl, se figur 56. Detta stärker resultatet av sättningsberäkningarna och bedömningen om var leran redan idag är uttorkad.



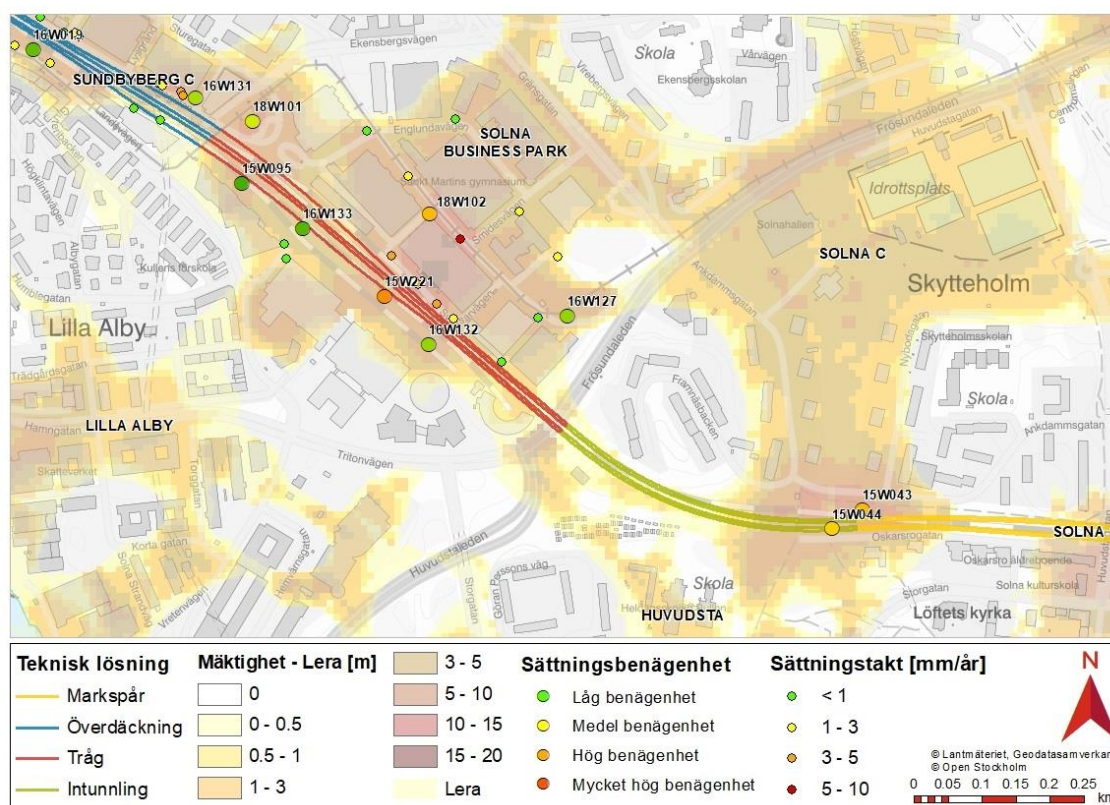
Figur 56. Beräknad vattenmättad lera, dvs. hur långt upp i leran grundvattennivån står.

Nedan beskrivs grundvattenmagasinen med avseende på förutsebara sättningsrisker och grundvattenberoende grundläggningar.

6.6.1. Solna

Inom magasinen *Solna Business Park* och *Solna C* förekommer lerdjup på upp till ca 10 m. Sammanhängande områden med stora lerdjup täcker stora områden, se figur 57.

Sättningsberäkningarna visar att lerans sättningsbenägenhet skiljer sig mellan de olika punkterna i *Solna Business Park*. I ett fåtal punkter, där fyllning med stor mäktighet ovanpå lös lera förekommer, pågår redan sättningar. I ett fåtal andra punkter är leran överkonsoliderad och därmed inte direkt sättningsbenägen. Ingen av punkterna skulle dock klara en grundvattensänkning på 3 m utan att risk för sättningar uppstår. Sättningsmätningarna visar att det pågår vissa sättningar, vilket bekräftar att leran är sättningsbenägen. I området finns dessutom konstaterade skador inom allmän gatumark och i mark omkring enskilda fastigheter.



Figur 57. Lerområden och utbredningen av undre magasin i Solna, med sättningsberäkningar.

Solna Business Park var tidigare ett kärr (eller en sjö) som blev uppfyllt på 1960-talet. Ett antal provpunkter visar på flera meter djup fyllning inom området, där viss utskiftning mot lättflyllnad skedde 1979. I samband med utbyggnaden av tvärbanan, ca 2015, gjordes ytterligare utfyllningar med lättflyllning omkring Svetsarvägen. Eftersom samvariationsanalyser inte visar tecken på någon större grundvattensänkning i området bedöms pågående sättningar i huvudsak ha orsakats av utfyllnad. Den påverkan som kan ses i magasinet vid grundvattenröret 16GW05U bedöms vara lokal.

Där anläggningen passerar magasinet *Solna C*, i södra delen närmast Huvudsta, visar beräkningarna att sättningar pågår. En onaturlig lågpunkt i grundvattenmagasinet kan vara en orsak till detta.

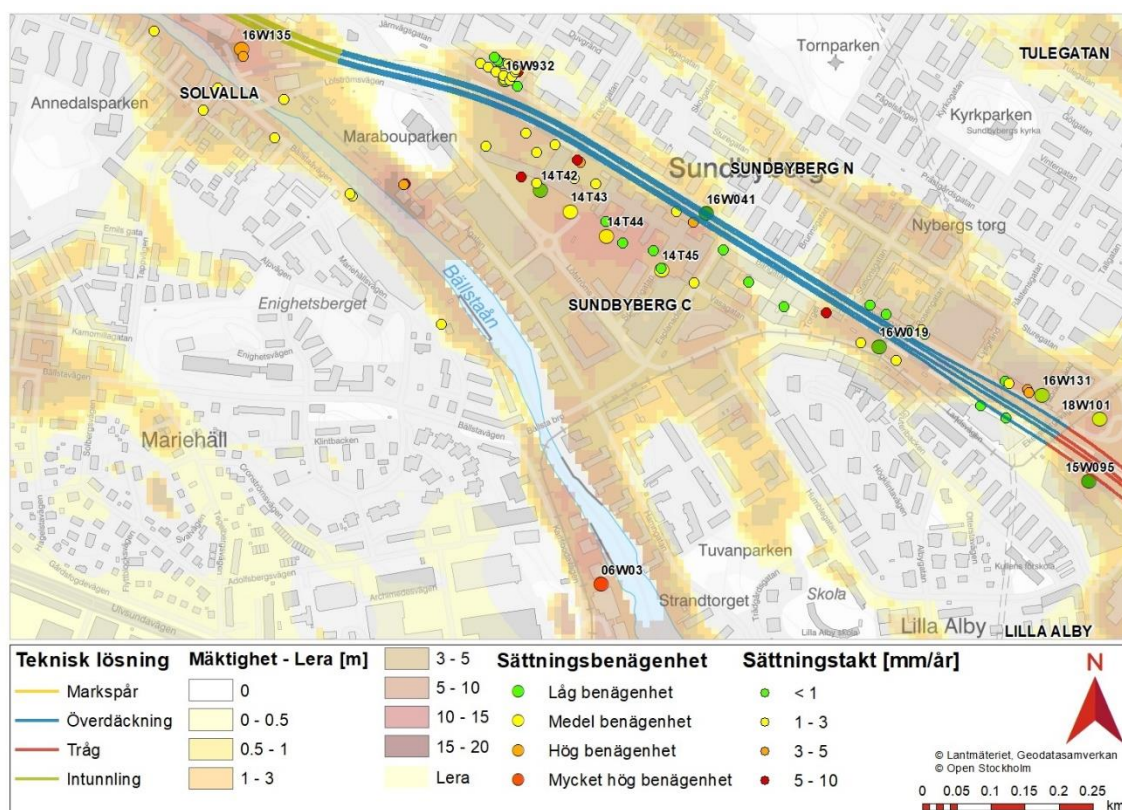
6.6.2. Sundbyberg

Sundbyberg har genomgått stora förändringar de senaste årtiondena, exempelvis exploatering och utbyggnaden av tunnelbanan 1977–1985. Tunnelbanestationen Sundbyberg centrum invigdes 1985 och ligger ca 26 m under markytan.

I den nordvästra delen av området, mot Duvbo, bedöms leran vara normalkonsoliderad eller överkonsoliderad för jordens rådande spänningssituation. Enligt sättningmätningarna kan små marksättningar pågå, eventuellt på grund av krypsättningar, se figur 58. Leran bedöms vara sättningsbenägen vid grundvattensänkning.

I de centrala delarna av området, liksom i den södra delen (söder om Bällstaån), bedöms leran inte vara konsoliderad för jordens rådande spänningssituation. Detta innebär att marksättningar bedöms pågå i dessa delar av området, vilket även sättningmätningarna i de centrala delarna bekräftar. Leran bedöms få en ökad sättningsbenägenhet vid en grundvattensänkning.

Inte heller i den östra delen av området, vid spåret och mot *Solna Business Park*, bedöms leran vara konsoliderad. Marksättningar pågår även där, men endast mindre sådana har uppmärksamats i mätningarna. Stora marksättningar är dock synliga mellan befintliga järnvägsspår och fastigheten Godset 4. Leran bedöms få en ökad sättningsbenägenhet vid grundvattensänkning, dock i mindre omfattning. Det är i detta delområde som en pågående påverkan av grundvattennivåerna har konstaterats.



Figur 58. Lerområden och utbredningen av undre magasin i Sundbyberg, med sättningsberäkningar.

Generellt bedöms marksättningarna bero på utfyllnader. Det förekommer också berganläggningar (t.ex. tunnelbanan) inom hela området, vilket har påverkat

grundvattennivåerna. I vilken grad grundvattensänkningen har påverkat marksättningarna är inte känt, eftersom dessa samverkar med utfyllnaden.

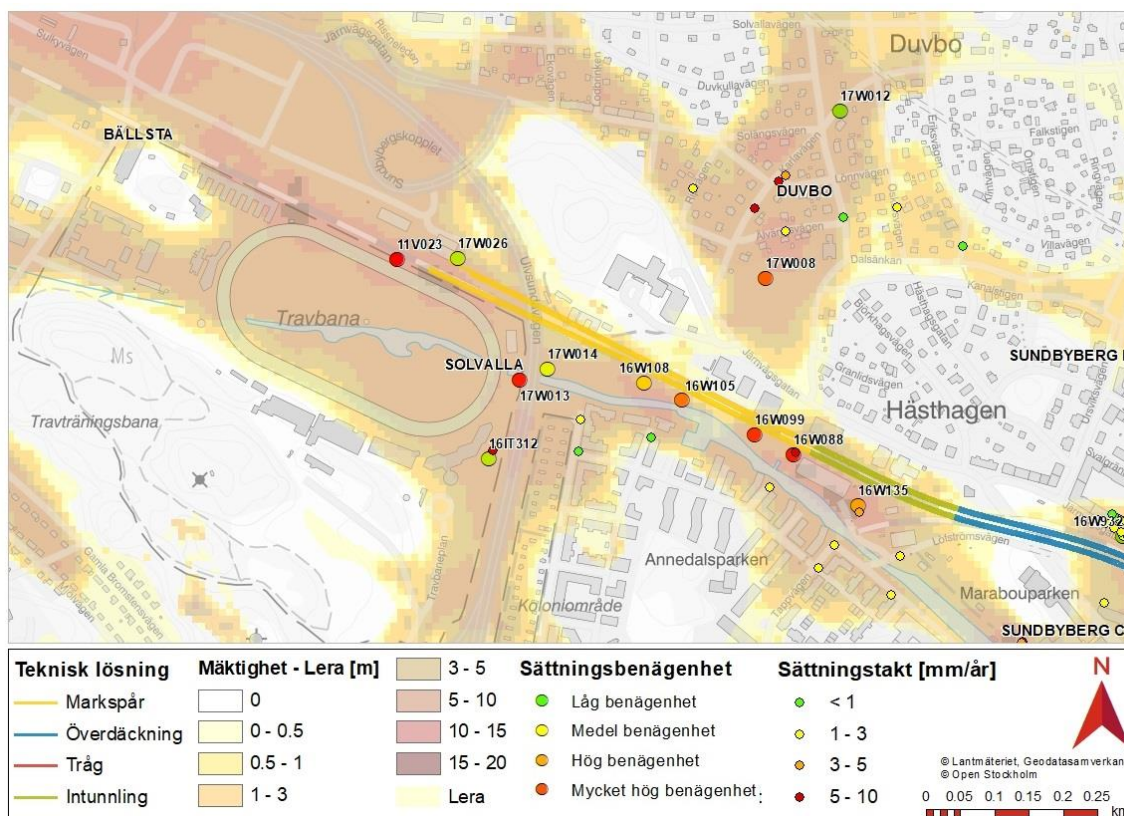
6.6.3. Solvalla

Söder om anläggningen i Solvalla förekommer lerjordlager med betydande mäktighet, i huvudsak i området längs med Bällstaån. På norra sidan av spåren begränsas jorddjupen av höjningar i bergytan. I området pågår konstaterade sättningar intill Bällstaån och i Annedal. Lerområdenas utbredning och beräknad mäktighet visas i figur 59.

Leran i områdets nordvästra del bedöms vara normalkonsoliderad eller svagt överkonsoliderad för jordens rådande spänningssituation. Små marksättningar kan pågå på grund av krypsättningar, och leran bedöms vara sättningsbenägen vid grundvattensänkning.

I området österut omkring järnvägen bedöms leran inte vara konsoliderad för jordens rådande spänningssituation. Detta innebär att marksättningar pågår i denna del av området samt att lerans sättningsbenägenhet bedöms öka vid ytterligare belastning i form av grundvattensänkning.

I Annedal bedöms leran inte vara konsoliderad för jordens rådande spänningssituation. Detta innebär att marksättningar pågår i denna del av området, vilket sättningsmätningarna bekräftar, samt att lerans sättningsbenägenhet bedöms öka vid grundvattensänkning. Marksättningar är synliga runt hus, se bilaga 7.



Figur 59. Lerområden och utbredningen av undre magasin i Solvalla och södra delen av Duvbo, samt resultat från sättningsberäkningar.

6.6.4. Duvbo

Området i Duvbo utgörs av ett större lerområde med pågående sättningar inom vissa delar. Jorddjupen överstiger lokalt 10 m i de centrala delarna. I området förekommer ett stort antal villor med grundvattenberoende grundläggning. Området angränsar till magasinet *Solvalla* genom ett sammanhängande lerområde som också är en lågtransmissiv zon. Jorddjupen är dock betydande även i övergången mellan magasinerna, vilket återspeglas i den jämna grundvattengradienten.

Leran i områdets norra del bedöms vara normalkonsoliderad eller svagt överkonsoliderad för jordens rådande spänningssituation. Små marksättningar kan pågå på grund av krypsättningar. Leran bedöms vara sättningsbenägen vid grundvattensänkning. I ett grundvattenrör där samvariationsanalys gjorts syns en sjunkande trend i slutet på 1970-talet och början på 1980-talet. I den närliggande beräkningspunkten för sättningar märks dock inga pågående sättningar.

I områdets södra del bedöms leran inte vara konsoliderad för jordens rådande spänningssituation. Detta innebär att marksättningar bedöms pågå i denna del av området samt att leran bedöms vara sättningsbenägen vid grundvattensänkning. Sättningsmätningarna visar även att marksättning pågår i den södra delen. Det är i detta område som Duvbomossen fanns. Det området är idag utfyllt med fyllnadsmaterial med en mäktighet om ca 4 m. För det närmaste grundvattenröret, 2C58, visar samvariationsanalysen inte på någon tydlig avsänkning, medan sättningsmätningen som bara ligger några meter från det röret visar att det pågår kraftiga marksättningar. Marksättningarna torde alltså inte ha någon direkt koppling till grundvattennivån, utan bero på utfyllnaden samt naturlig nedbrytning av organiskt material i den gamla mossen.

Efter att Underverket byggdes upplevde fastighetsägare att sättningar uppkom i delar av Duvbo, vilket anmäldes som en oförutsedd skada. Processen som följde avslog anmälan, på grund av att domstolen inte ansåg att det var bevisat att sättningsproblemet kunde härledas till Underverket. Oberoende av orsak är det alltså fastslaget att sättningar har skett i området.

7. Grundvattenpåverkan utan skyddsåtgärder

Planerad vattenverksamhet omfattar grundvattenbortledning under byggskedet. I detta kapitel redovisas den grundvattenpåverkan som vattenverksamheten utan skyddsåtgärder teoretiskt skulle kunna medföra under byggskedet. Scenario som ligger till grund för influens- och påverkansområde redovisas och motiveras samt att utbredningen av dessa områden beskrivs och presenteras. Även marksättningar utan skyddsåtgärder redovisas.

7.1. Förutsättningar för grundvattenpåverkan

Den del av den nya järnvägsanläggningen som omfattas av vattenverksamhet kommer att förläggas under grundvattennivån i jord samt till stora delar i ytligt berg. I byggskedet dräneras schakten ner till strax under schaktbotten. Påverkan på grundvatten i omgivningen kommer att ske via grundvattenströmning i berg och läckande temporära stödkonstruktioner i jordlagren, vilket leder till grundvattensänkning. För ytterligare beskrivning av utförande av den planerade järnvägsanläggningen, se Teknisk Beskrivning.

Med utförandet som slutet betongtunnel med täta fogar kommer den färdiga tunneln att vara tät, vilket medför att ingen grundvattenbortledning sker. Betongkonstruktionen placeras på ett grövre material vilket medför att grundvatten kan transporteras under anläggningen efter att temporära stödkonstruktioner såsom spont avetableras. Detta motverkar att en dämning uppströms tunnelns uppstår. I återfyllningen runt tunnel kommer strömningsavskärande barriärer att anläggas för att motverka grundvattenflöde i återfyllningen i tunnelns längdriktning. I driftskedet bedrivs därmed ingen vattenverksamhet.

De grundvattenmagasin som primärt kommer att påverkas av byggandet av järnvägsanläggningen är *Solna Business Park* och *Sundbybergs C*. Inom dessa magasin ligger järnvägsanläggningen som mest ca 7 m under grundvattennivån. Jordlagren i undre grundvattenmagasin bedöms utifrån tester i grundvattenrör vara relativt lågpermeabla. Inom *Solna Business Park* indikeras en svaghetszon i berget som går tvärs järnvägsanläggningen i sydvästlig–nordöstlig riktning.

Mellan *Solna Business Park* och *Sundbybergs C* samt inom *Sundbybergs C* återfinns en rörlig grundvattendelare som delvis utgörs av lokalt uppstickande berg. Byggandet av järnvägsanläggningen medför att dessa höga berglägen försvinner. Grundvattendelaren kommer att upprätthållas i byggskedet med hjälp av tätande sektioner och infiltration. Därefter, i driftskedet, kommer strömningsavskärande återfyllning kring tunneln att användas.

De östra delarna av grundvattenmagasinet *Solvalla* kommer också att kunna påverkas. Det beror på att järnvägsanläggningen här ligger som mest ca 4–5 m under grundvattennivån, om än längs en begränsad sträcka. I berörda delar av grundvattenmagasinet har jordlagren konstaterats vara mer vattenförande, baserat på de tester som utförts i grundvattenrör och pumpbrunnar.

7.2. Metodesbeskrivning

Med geomodellen och den hydrogeologiska konceptualiseringen som underlag har en tredimensionell grundvattenmodell tagits fram. Processen har varit iterativ, där information successivt implementerats i modellen efterhand som undersökningar genomförts eller mer detaljrik information framkommit.

Först byggdes grundvattenmodellen upp för att simulera nuvarande situation. Modellen kalibrerades mot utförda provpumpningar och uppmätta nivåer i grundvattenrören. Modellen användes sedan för att simulera grundvattenavsänkning orsakad av länshållning i samband med de planerade schaktarbetena. Avsänkningen används för redovisning av influensområde och analys av påverkansområde.

Med hjälp av beräknad avsänkning har exempelvis storleken på sättningar kunnat beräknas med hjälp av analyserna av lerans sättningsbenägenhet. Vidare har påverkan på andra riskobjekt, såsom energibrunnar, kunnat bedömas. För mer detaljer om uppbyggnad av grundvattenmodellen, simuleringar, kalibreringar med mera hänvisas till bilaga 3.

7.2.1. Definition av influensområde

Influensområdet är det område där en grundvattenpåverkan beräknas ske som följd av grundvattenuttag. En anläggning kan ha olika influensområden i olika skeden, och influensområdet beror även på vilka skyddsåtgärder som vidtas.

7.2.2. Definition av påverkansområde

Påverkansområdet är det område där grundvattenbortledningen förväntas ge en direkt påverkan på grundvattnet i sådan omfattning att denna går att påvisa och kan ha betydelse för fastigheter eller miljön. Påverkansområdet avgränsar område inom vilket sakägarkretsen för vattenverksamhet tas fram.

Påverkansområdet har i denna ansökan bedömts ha en yttre begränsning som sammanfaller med det av följande områden som har störst utbredning.

Avgränsningen har gjorts utifrån följande faktorer:

- Simulerat influensområde i jord, framför allt undre magasin (avsänkning 0,1–0,3 m beroende på lerans sättningsbenägenhet)
- Simulerat influensområde i berg (avsänkning 1 m, på ca 15 m djup)
- Undre magasinets utbredning i jord, där influensområdets gränser hamnar nära magasinets gräns.

Först studeras de två influensområdena för jord och berg, varvid det största vid varje enskild punkt används. I de flesta fallen har influensområdet i jord störst utbredning. Resultatet revideras sedan med hänsyn till utbredningen av undre magasin i jord, för att mer detaljerat fånga in möjlig påverkan.

Denna konservativa hållning syftar till att med marginal fånga upp alla motstående intressen som *skulle kunna* påverkas under någon del av projektet. Utbredningen av den reella påverkan – *med* förslagna skyddsåtgärder – är mindre än presenterat påverkansområde.

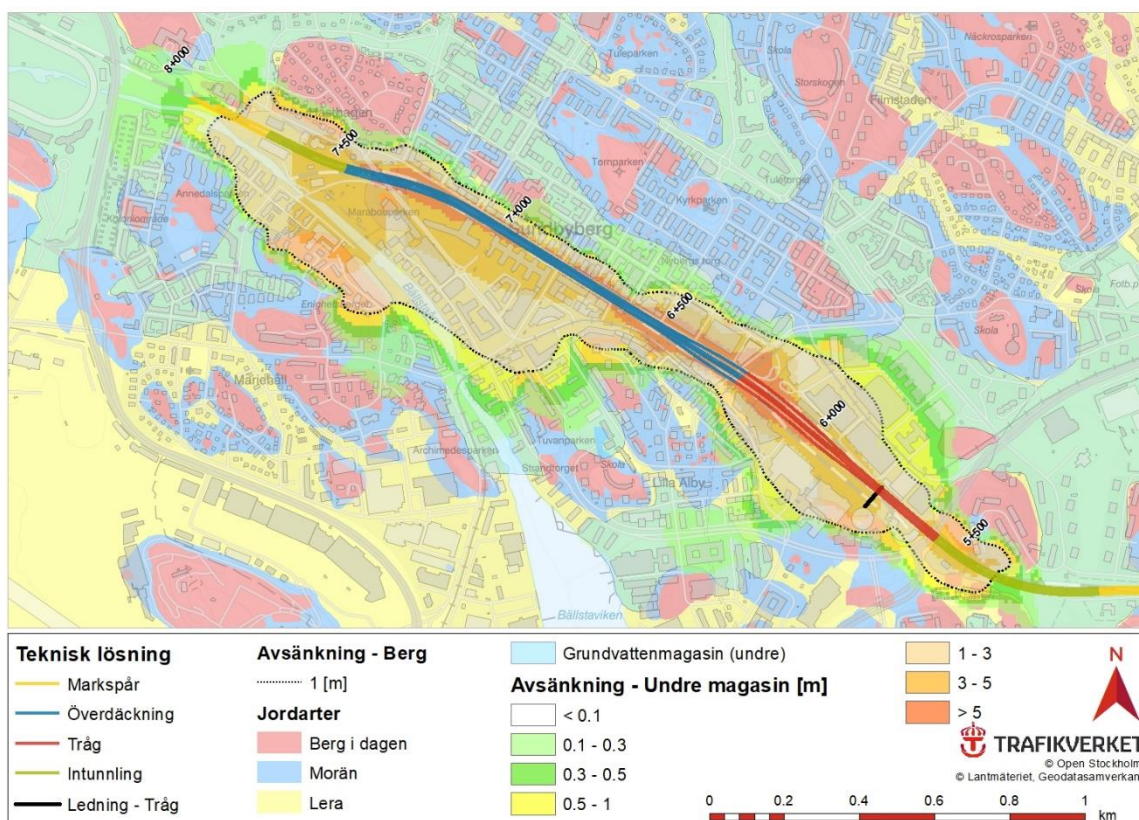
7.3. Influensområde utan skyddsåtgärder

Ett influensområde har beräknats i modellen där schakt i torrhet för anläggningen utförs *utan* några skyddsåtgärder, såsom utan tätande temporär stödkonstruktion.

Schakter kommer att utföras med temporära stödkonstruktioner då de är helt nödvändiga bland annat beroende på utrymmesbrist. Ett scenario utan skyddsåtgärder är därmed endast ett teoretiskt alternativ. Detta blir med andra ord scenariot med, teoretiskt sett, största möjliga utbredning på influensområdet. Influensområdet *utan* skyddsåtgärder har därför i denna ansökan använts för att ta fram och bedöma ett påverkansområde.

Simuleringen visar på en mycket begränsad påverkan på magasinerna *Duvbo* eller *Solna C*, se figur 60. Påverkan är som störst nära anläggningen, där tunneln ligger som djupast, medan den avtar snabbt med avståndet från anläggningen.

Som ses i figur 60 sträcker sig influensområdet utanför grundvattenmagasinens gränser. Därmed ska avsänkningen utanför dessa gränser utläsas som en avsänkning i morän eller berg.



Figur 60. Simulerat influensområde i undre magasin och berg – utan skyddsåtgärder. Influensområdet för berg är ca 15 m ner i berget.

7.3.1. Solna

Påverkan beräknas bli större västerut mot Sundbyberg, där anläggningsdjupet blir större. Där beräknas avsänkningen till närmare 7 m. Grundvattenmodellen visar att stora delar av magasinet *Solna Business Park* påverkas. En avsänkning på 1 m sprider sig ca 100 m utanför anläggningen i nordöst och når i princip gränsen för magasinet i sydväst.

Öster om Försundaleden, mellan *Solna Business Park* och *Solna C*, erhålls en avsänkning om nära 3 m precis vid anläggningen. Den delen av magasinet är liten och begränsad mellan två bergshöjder. Hela den delen av magasinet påverkas med minst 1 m avsänkning.

7.3.2. Sundbyberg

Påverkan på grundvattennivån blir stor längs hela sträckan, eftersom anläggningen ligger djupt ner, närmare 7 m under beräknad medelgrundvattennivå. Beräkningarna i modellen visar att stora delar av magasinet kommer påverkas med minst 1 m avsänkning. Även en avsänkning om 3 m sträcker sig drygt 100 m söder ut från anläggningen. Norr om anläggningen tar magasinet snabbt slut, varför påverkan i denna riktning är begränsad.

Det naturliga tillflödet av grundvatten från norra randen av grundvattenmagasinet söderut mot *Sundbyberg C*, söder om järnvägsanläggningen, upphör under byggskedet då länshållning utförs och grundvattenflödet norrifrån leds bort via denna.

7.3.3. Solvalla

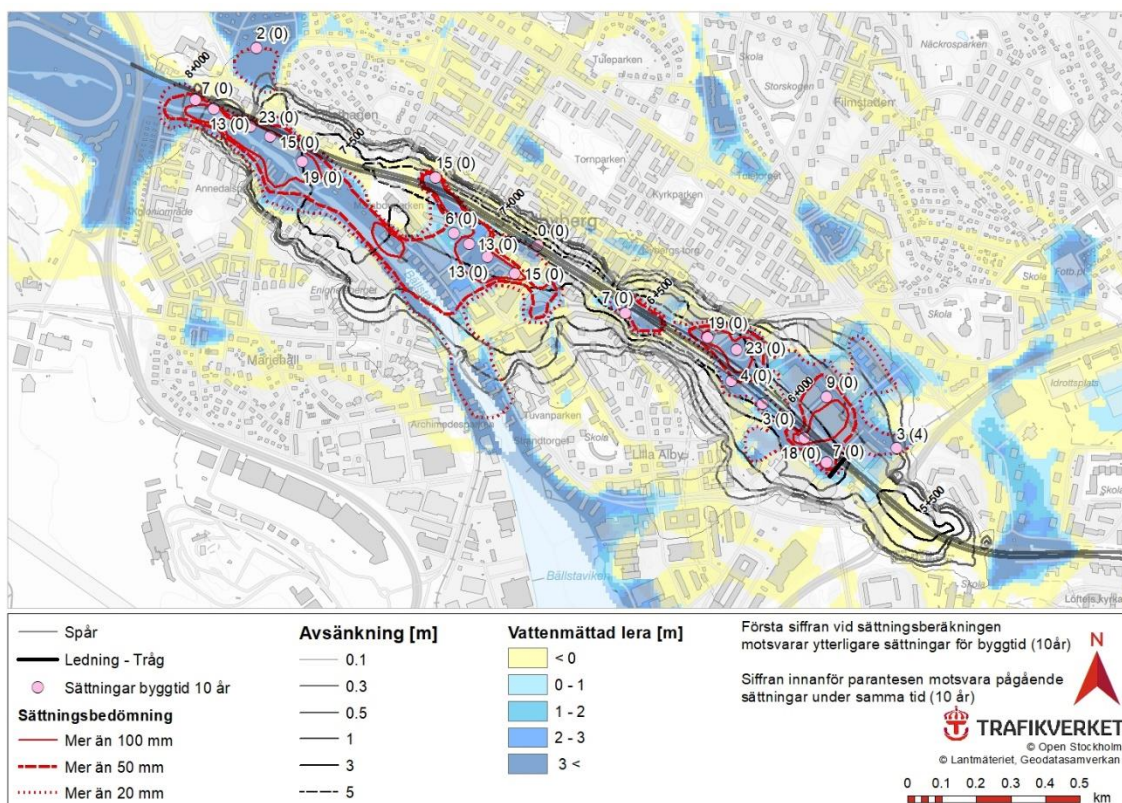
Simuleringarna i modellen visar att påverkan blir relativt lokal i den östra delen av magasinet, innan anläggningen stiger västerut och når marknivån där det inte sker någon avsänkning. Avsänkningen är som mest ca 5 m. I ett mer utbrett område når den drygt 3 m. Modellen visar även att påverkan på grundvattennivån inte sprider sig upp mot Duvbo, trots en simulering av scenario utan tätande åtgärder.

7.3.4. Duvbo

En mycket liten påverkan ses inom Duvbo. Ingen del av anläggningen ligger inom detta delområde, avsänkningen sker till följd av länshållning av schakt i Solvalla.

7.4. Sättningar på grund av grundvattenpåverkan utan skyddsåtgärder

För att kunna bedöma hur stora sättningar som uppstår under byggskedet på grund av grundvattenavsänkning utan skyddsåtgärder, har en analys utförts. I denna har grundvattenavsänkningens storlek, vattenmättad lermäktighet inom grundvattenmagasinen och sättningsberäkningar använts. Resultaten från denna analys visas i figur 61. Analysen visar att det inom stora delar av influensområdet uppstår sättningar som överstiger 50 mm, i vissa områden över 100 mm.



Figur 61. Analys av sättningar utan skyddsåtgärder.

7.5. Inläckagemängder utan skyddsåtgärder

Storleken på inläckaget har beräknats med hjälp av upprättad grundvattenmodell, se Bilaga 3. Resultatet presenteras som inläckage per minut samt inläckage per minut och 100 m tunnel, vilket är en vedertagen redovisning för tunnlar, se **Fel! Hittar inte referenskölla..**

Tabell 2. Inläckage per delområde.

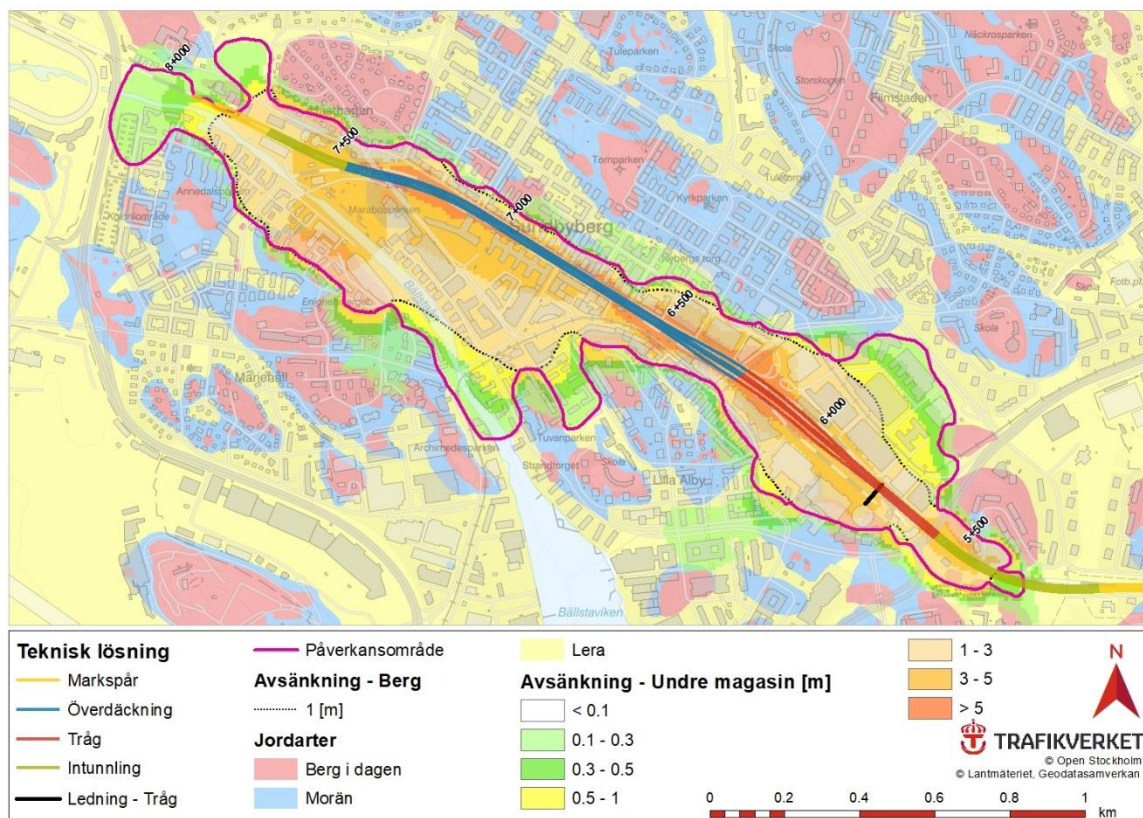
	Inläckage (l/min)	Inläckage (l/min och 100 m tunnel)
Solna Business Park 5+300–6+200	35,6	4,0
Sundbyberg C 6+200–7+300	81,3	7,4
Solvalla 7+300–7+600	27,2	9,1

Inläckaget vid en schakt utan skyddsåtgärder varierar längs sträckan. Variationen beror till stor del på anläggningens djup under befintlig grundvattennivå, det undre magasinets hydrauliska konduktivitet samt tillgänglig mängd vatten. Inläckaget för hela sträckan är cirka 144 l/min, vilket i medeltal motsvarar 6,3 l/min och 100 m tunnel.

Om infiltrationsåtgärder genomförs kommer inläckaget lokalt runt infiltrationsytorna att öka, det vill säga en viss rundpumpning erhålls. Detta är oundvikligt i byggskedet. Eftersom exakt påverkan och även det exakta behovet av infiltration inte går att fastställa i nuläget, utan behöver justeras allt eftersom arbetet fortskrider, är det svårt att med säkerhet fastställa exakta inläckagemängder.

7.6. Bedömt påverkansområde

Vid framtagande av påverkansområdet har stor vikt lagts vid att tolka och bedöma resultaten från grundvattenmodellen och den kunskap som finns om de enskilda magasinerna och området i stort. Utifrån dessa faktorer, som presenteras i avsnitt 7.2.2, har ett påverkansområde för vattenverksamheten bedömts, se figur 62.



Figur 62. Påverkansområde för vattenverksamheten.

Som framgår av figur 62 sträcker sig påverkansområdet utanför lerområdena på vissa ställen. Inom dessa områden förekommer inget undre magasin varvid påverkan sker i berget eller i moränen som finns just där. Det är inom dessa områden som 1 m påverkan i berg blir styrande. Detta kan ses bland annat i sydvästra delen av Sundbyberg, på södra sidan av Bällstaån upp mot Mariehäll.

8. Förutsättningar för utförande av vattenverksamhet

I detta kapitel beskrivs förutsättningarna för att utföra den planerade vattenverksamheten (grundvattenbortledning och infiltration). Storleken på acceptabel marksättning och motiven för denna redovisas. Acceptabla grundvattenpåverkan har beräknats inom de områden där sättningar utan skyddsåtgärder överskrider acceptabla nivåer.

8.1. Underlag och bakgrund för utförande vattenverksamhet

Hydrogeologiska förutsättningar, befintliga byggnaders dräneringssystem samt framtida markanvändning påverkar hur vattenverksamheten ska bedrivas. Dessa förutsättningar redovisas nedan.

8.1.1. Vattenbalans grundvattenmagasin Sundbyberg C (6+400 – 7+300)

Det beräknade influensområdet visar att det inom grundvattenmagasin *Sundbyberg C* blir en stor avsänkning i magasinet söder om järnvägen. Utbredning norr om järnvägen blir liten eftersom grundvattenmagasinet i jord i denna riktning har liten utbredning och ansluter till högre bergnivåer.

Som beskrivs i avsnitt 6.5.1.2 sker en betydande del av grundvattenbildningen till grundvattenmagasinet *Sundbyberg C* i randområdet norr om järnvägsanläggningen. Om grundvattenflödet som korsar järnvägsanläggningen hindras skapas en dämning uppströms anläggningen och sänkt grundvattennivå, med ytterligare sättningsrisk, nedströms anläggningen. För att den färdiga järnvägsanläggningen inte ska medföra avsänkta grundvattennivåer söder om järnvägen i driftskedet är det viktigt att grundvattenflödet som korsar järnvägen upprätthålls.

Skyddsåtgärder i form av tätning kan leda till avsänkta nivåer söder om järnvägsanläggningen i driftskedet och ska därmed inte tillämpas där grundvattenflöde sker naturligt. Infiltration kommer inte att fungera nära en otätad schakt och är därför inte lämplig som skyddsåtgärd.

Grundvattennivåer kommer därför inte att upprätthållas norr om järnvägsanläggningen under byggskedet.

8.1.2. Förutsättningar vid Ekensbergsbron (6+100 – 6+400)

Området som är beläget på ömse sidor om Ekensbergsbron uppvisar stora marksättningar idag. Det utgörs av en lerfylld svacka med upp till 10 m lermäktighet. Leran är sättningsbenägen vid grundvattensänkning eller utfyllnad. Närheten till grundvattendelaren mellan grundvattenmagasinen *Solna Business Park* och *Sundbyberg C* gör att tillrinningen av grundvatten till området är liten.

Detta medför att grundvattennivån kommer att sjunka även vid små inläckage till schakten. Den avsänkta grundvattennivån riskerar att medföra marksättningar som är för stora för att kunna accepteras i gatumark (>50 mm) under byggskedet, även om tätning av stödkonstruktion utförs. Utan tätningsåtgärder kan marksättningarna bli upp till 200 mm.

Simuleringar i grundvattenmodellen visar att den mängd vatten som skulle behöva infiltreras för att hålla uppe grundvattennivån genom skyddsinfiltration är så pass stor att den dels skulle bli

svår att få ner i marken, dels skulle riskera att öka mängden läns hållningsvatten i schakten betydligt. Flera byggnader inom området, bland annat byggnaden på fastigheten Godset har ett dräneringssystem som leder bort grundvatten om det överstiger en viss nivå. Skyddsinfiltration i området vid fastigheten skulle snarare leda till att mer vatten leds bort i dräneringen än att höja grundvattennivån i området. Det är dessutom trångt på platsen och därmed svårt att hitta lämpliga platser för infiltrationsbrunnar.

Ledningar längs med Järnväggsgatan kommer att läggas om och då grundläggas så att de inte skadas av förutsedda marksättningar. I området kommer omfattande byggnation utföras efter byggskedet och det finns även ett behov att se över höjdsättningen av området utifrån risk för översvämningar vid skyfall. Detta medför att markytan kommer att omarbetas efter byggskedet.

Mot bakgrund av de befintliga förhållanden och kommande mark- och byggprojekt bedöms det inte som motiverat att förhindra marksättningar i området under byggskedet.

8.2. Acceptabel marksättning

Utifrån förhållanden och förutsättningar i området har det konstaterats enligt ovan att marksättningar, och skador detta kan ge upphov till, är styrande för en acceptabel tillfällig grundvattenavsänkning under byggskedet. Under järnvägens drifttid uppkommer ingen grundvattenavsänkning och därmed inte heller någon grundvattenrelaterad marksättning.

Som förutsättning för en acceptabel tillfällig grundvattenavsänkning antas det att, under det ca 8 år långa byggskedet marksättningar på 50 mm kan accepteras. Inom arbetsområdet för den nya järnvägsanläggningen gäller dock inte denna begränsning eftersom all mark inom arbetsområdet ska återställas efter slutförd byggnation.

Sättningar och rörelser (nivåförändringar) i markområden för fordons-, gång- och cykeltrafik samt ledningar uppkommer endast där jordlagren innehåller sättningsbenägen lera. Så gott som samtliga byggnader inom påverkansområdet blir opåverkade av den tillfälliga grundvattenbortledningen eftersom byggnadernas grundläggning inte är grundvattenberoende. Källargolv på lerjord kan dock förekomma. Det kan inte heller uteslutas att det vid någon/några byggnader uppkommer en nivåskillnad till anslutande gatumark som påverkar tillgängligheten, eller att servisledningar får bristfällig funktion. Om detta uppkommer åtar sig Trafikverket att avhjälpa fel eller hinder inom en avtalad tid. De flesta ledningar som ligger nära dagens järnväg kommer att flyttas i sidled för att ge plats åt den nya järnvägsanläggningen, och kommer då att grundläggas så att de inte påverkas av marksättningar.

Inom påverkansområdet förekommer områden där marksättningar redan pågår, vilket tydligt kan ses i gatu- och gårdsmark. Att under byggskedet försöka förhindra ytterligare sättningar i dessa områden bedöms inte realistiskt. De pågående sättningarna behöver åtgärdas med jämna mellanrum och i samband med detta kan då även eventuella tillkommande sättningar åtgärdas. Detta gäller även servisledningar till byggnader.

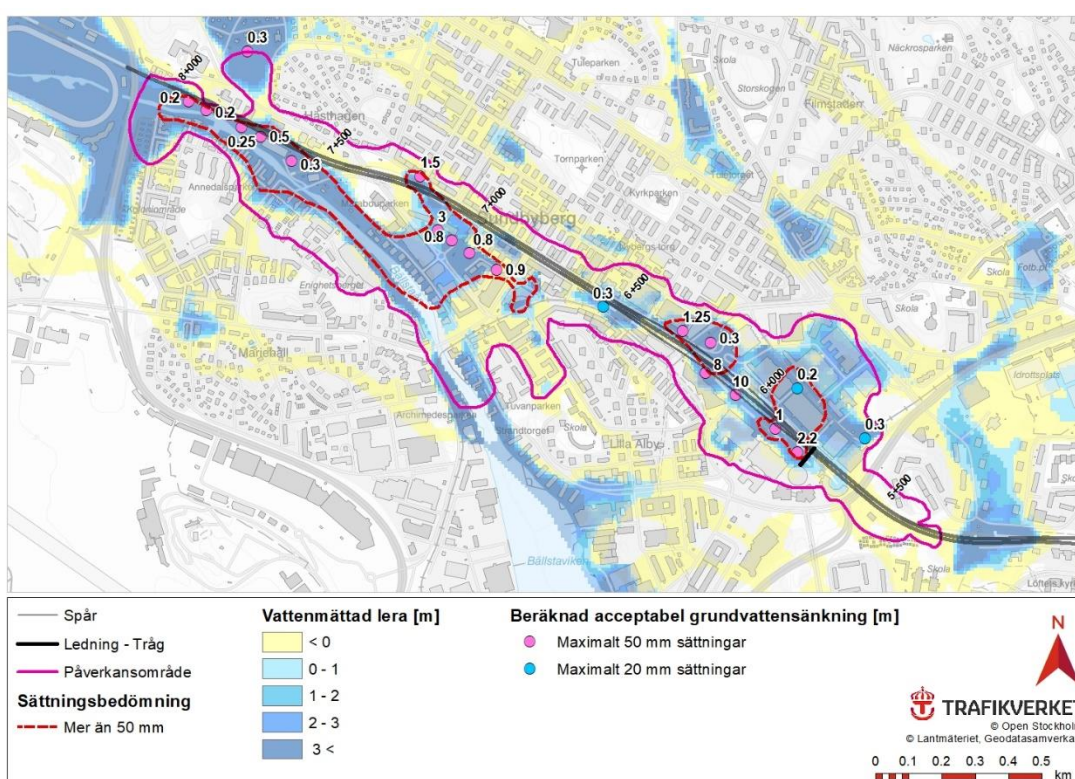
En marksättning på 50 mm under byggskedet på 8 år bedöms acceptabelt och rimligt. Eventuella deformationer och riktningsavvikelser bedöms acceptabelt för de få ledningar som inte redan åtgärdats innan byggskedet. Långsamt uppkomna markrörelser bedöms heller inte negativt påverka tillgängligheten eller framkomligheten i den urbana miljön för fordons-, gång- och cykeltrafik.

Tvärbanan utgör dock ett undantag och inom de lerområden där denna passerar tillåts endast tillkommande sättningar på 20 mm. Sättningar upp till 20 mm bedöms inte påverka på- och avstigning samt möjlighet till trafikering på spåren. Inom Solna Business Park pågår sättningar som idag uppgår till fler millimeter per år som ändå behöver åtgärdas med jämna mellanrum.

8.3. Acceptabel grundvattenpåverkan

Utifrån utförda sättningsberäkningar tillsammans med vattenmättad lera har det punkt- och områdesvis studerats vilken avsänkning (beräknad acceptabel grundvattensänkning) som kan tillåtas för att marksättningar inte ska överskrida 50 mm under byggskedet.

Inom de områden där prognostiserad sättning är över 50 mm (20 mm för Tvärbanan) varierar den acceptabla avsänkningen till mellan cirka 0,2 – 10 m, se figur 63. Figuren är en översikt och områdena beskrivs i detalj i 8.3.1 - 8.3.3.



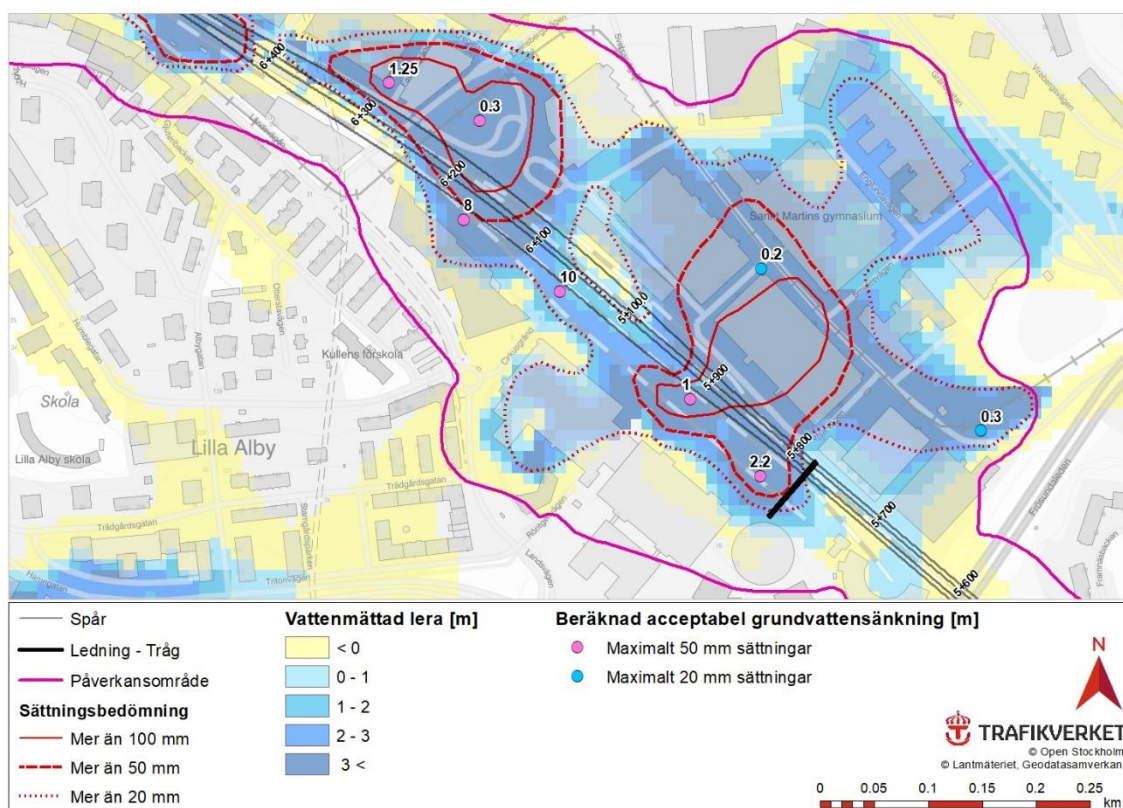
Figur 63. Översikt beräknad acceptabel grundvattenavsänkning inom påverkansområdet.

8.3.1. Solna

Storlek på avsänkning för acceptabel grundvattenpåverkan inom Solna visas i figur 64. Det är främst norr om spåret inom magasinet *Solna Business Park* som motstående intressen återfinns, framför allt i form av Tvärbanan. Vid de två beräkningspunkterna vid Tvärbanan bedöms en grundvattenavsänkning på mellan 0,2 – 0,3 m kunna accepteras.

Öster om Ekensbergsbron kan det uppstå sättningar över 50 mm. En stor del ytan utgörs av arbetsområdet och omfattas inte av restriktioner på marksättningar. Utanför arbetsområdet (österut) kan en grundvattensänkning på 1-2 m accepteras för att det inte ska få större sättningar än 50 mm.

Söder om spåret är leran konsoliderad, så stora avsänkningar kan ske utan risk för marksättningar. Magasinet tar slut nära anläggningen, och arbetsområdet utgör en stor del av det avsänkta området.



Figur 64. Beräknad acceptabel grundvattenavsänkning inom Solna.

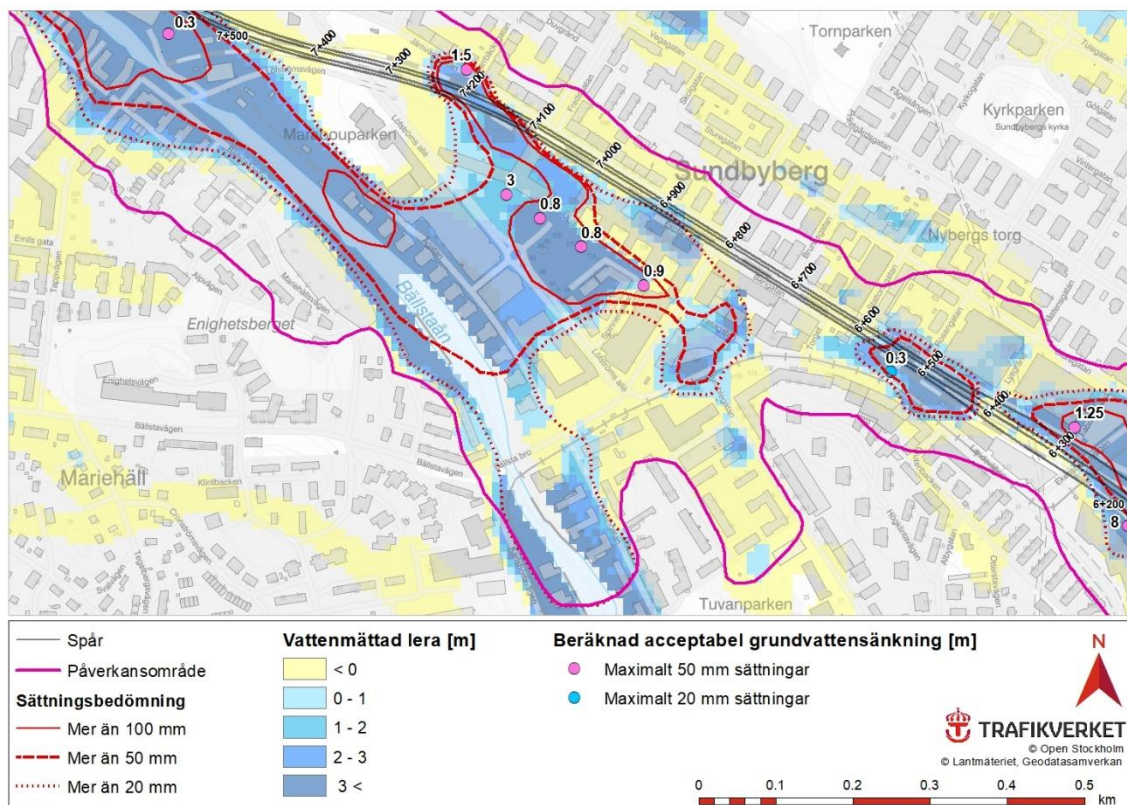
8.3.2. Sundbyberg

Storlek på avsänkning för acceptabel grundvattenpåverkan i Sundbyberg visas i figur 65. I de östra delarna av *Sundbyberg C* vid Ekensbergsbron är marken sättningsbenägen. I området runt tunnelbanan har marken inte bedömts sättningsbenägen, till stor del beroende på att leran utanför arbetsområdet är torrlagd redan idag. Ytterligare grundvattensänkningar skapar därmed inga ytterligare sättningar.

Längs med norra sidan av spåret genom Sundbyberg är påverkan begränsad, eftersom magasinet upphör norr om anläggningen och kvarvarande lera redan är uttorkad. Ytterligare grundvattensänkning skapar därmed inga ytterligare sättningar. Längst till väster på den norra sidan av spåret, vid kvarteret Makaronen, får magasinet en större lateral utbredning. Där är leran sättningsbenägen, dock inom ett mindre område.

Söder om spåret är marken sättningsbenägen. Beräkningen visar att upp mot 1 m grundvattensänkning kan accepteras vid beräkningspunkterna för att undvika marksättningar om mer än 50 mm. En avgränsning utifrån lerans mäktighet, sättningsbenägenhet och vattenmättnad har gjorts. Vid Tvärbanan i centrala Sundbyberg kan endast 0,3 m avsänkning accepteras.

Vid två punkter längs sträckan finns djupare bergsvackor. Dessa bör inte täppas igen genom tätning med temporär spont eller injektering som inte kan tas bort efter byggskedet.

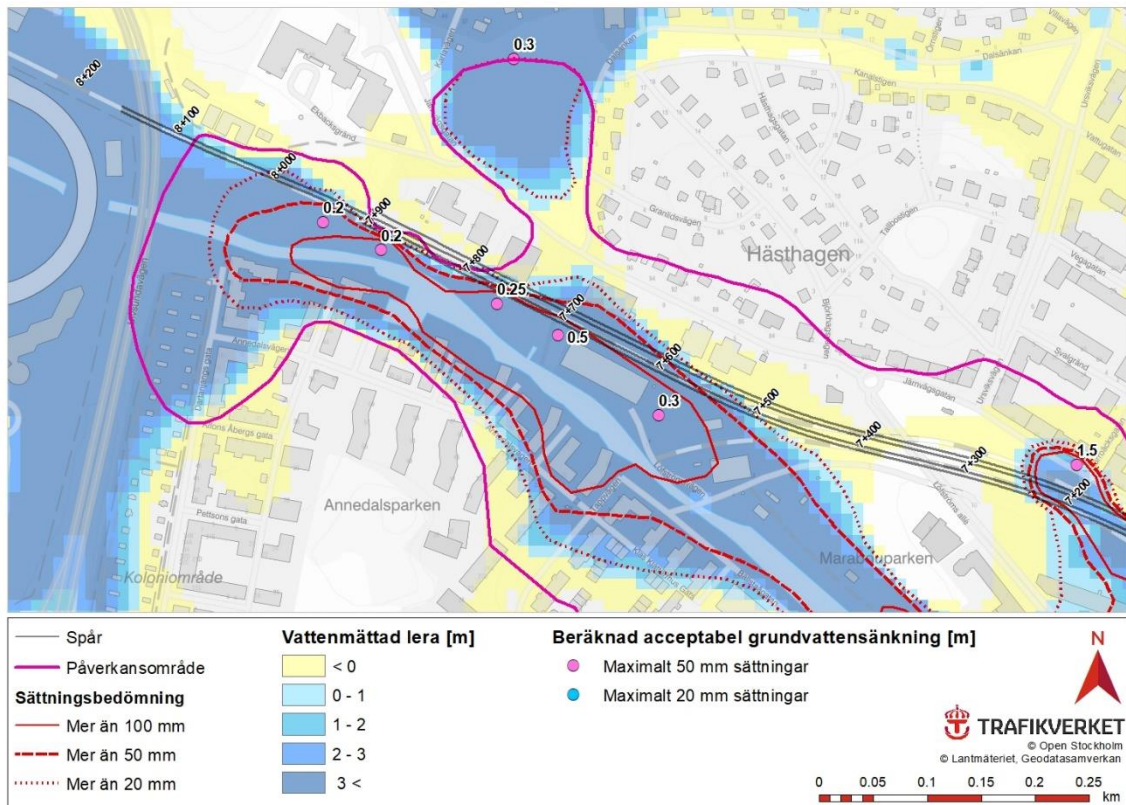


Figur 65. Beräknad acceptabel grundvattenavsänkning inom Sundbyberg.

8.3.3. Solvalla och Duvbo

Gränsen för acceptabel grundvattenpåverkan i Solvalla och Duvbo visas i figur 66. Norr om spåret förekommer sättningsbenägen mark, dock ligger majoriteten av denna inom arbetsområdet, där marksättningar kan accepteras. Utanför arbetsområdet förekommer nästan ingen sättningsbenägen mark då vägen och husen i detta område står på morän. Endast en byggnad utanför arbetsområdet, på fastigheten Lönner 13, återfinns på sättningsbenägen mark men denna byggnad har ingen sättningskänslig grundläggning. Därmed bedöms inga skyddsåtgärder krävas norr om spåret.

Söder om spåret ner mot Annedal är marken sättningsbenägen i varierad grad. Arbetsområdet sträcker sig hela vägen till Bällstaån, varför marksättningar kan accepteras inom detta område. På södra sidan av Bällstaån kan dock inga stora marksättningar accepteras och här bör inte avsänkningen överskrida ca 1 m . Skyddsåtgärder kan komma att krävas i detta område.



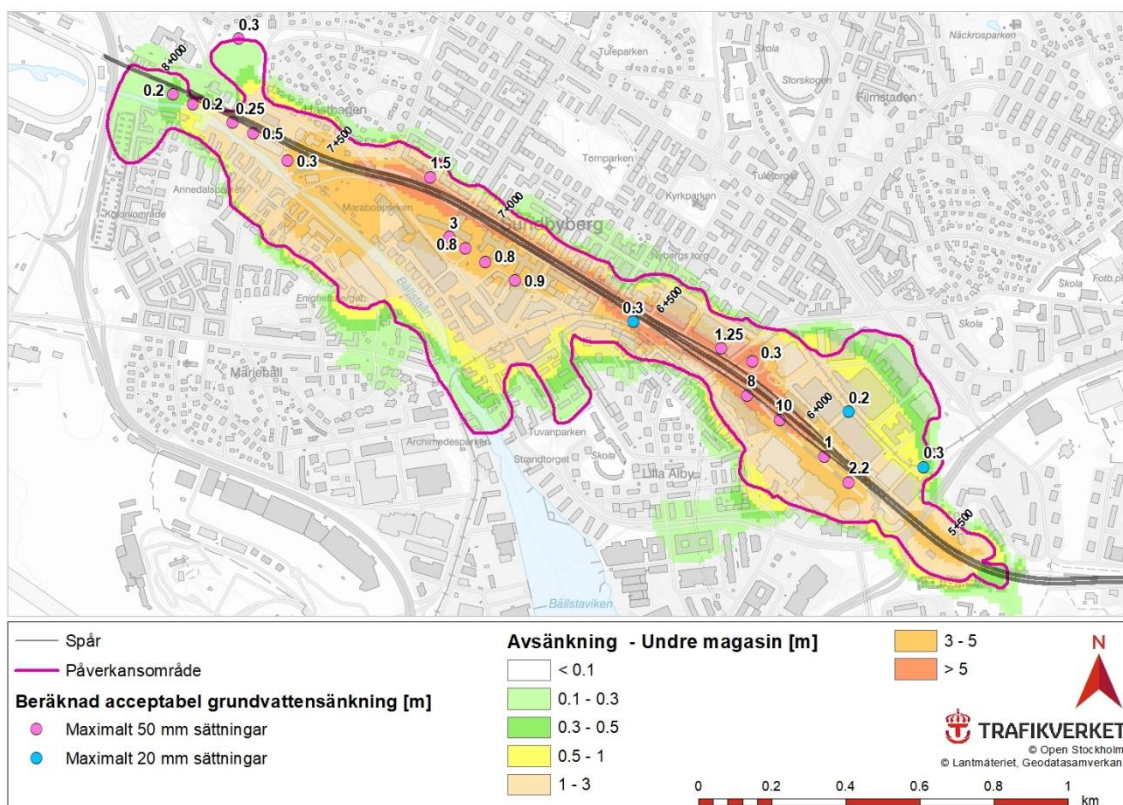
Figur 66. Beräknad acceptabel grundvattenavsänkning inom Solvalla och Duvbo.

9. Strategi och planerade skyddsåtgärder

I detta kapitel redovisas strategi för vattenverksamhet, planerade skyddsåtgärder samt vilken påverkan i form av grundvattensänkning och marksättning som uppstår när dessa vidtas.

9.1. Behov av skyddsåtgärder

Det kan konstateras att skyddsåtgärder är nödvändiga. Sättningar över 50 mm kommer att utvecklas under byggskedet inom påverkansområdet i scenariot utan skyddsåtgärder. Som redovisas i figur 67 nedan är därmed även den acceptabla grundvattenpåverkan mindre än de avsänkningar som erhålls utan skyddsåtgärder.



Figur 67 Influensområde med avsänkning utan skyddsåtgärder samt acceptabel grundvattensänkning i punkter. Bilden visar att skyddsåtgärder erfordras.

Skyddsåtgärderna omfattar temporära stödkonstruktioner, skyddsinfiltration, upprätthållande av grundvattendelare samt strömningsavskärande barriärer i återfyllningen. Uppföljning av markrörelser kommer även att tillämpas som skyddsåtgärd i områden där marksättningar tillåts utvecklas, se 9.2 nedan.

9.2. Strategi vattenverksamhet

Förutsättningarna inom området där vattenverksamhet ska utföras påverkar både behov av skyddsåtgärder, vilka som är lämpliga samt möjligheterna att utföra dem.

9.2.1. Grundvattenmagasin Sundbybergs C (6+400 – 7+300)

Inom grundvattenmagasinet *Sundbyberg C* behöver grundvattenflödet som korsar järnvägsanläggningen upprätthållas under driftskedet av den planerade järnvägsanläggningen. Temporära stödkonstruktioner ska utformas så att denna funktion säkerställs. Detta medför att jet- och ridåinjektering inte är lämplig på de sträckor där ett grundvattenflöde förekommer naturligt och ska användas med försiktighet. Till följd av detta är inte heller skyddsinfiltration praktiskt att utföra norr om Järnvägsgränden inom grundvattenmagasinet då otäta stödkonstruktioner leder till mycket stora infiltrationsmängder, höga länshållningsvolym och svårigheter att uppnå grundvattennivåhöjning.

Som strategi kommer därför ingen skyddsinfiltration utföras norr om järnvägsanläggningen inom *Sundbyberg C*. De sättningar på över 50 mm som förväntas vid kvarteret Makaronen och eventuella skador på ledningar kommer att vid behov åtgärdas av Trafikverket. Befintliga ledningar kommer till största del läggas om innan byggskedet och då grundläggas så att de inte riskerar att skadas av en marksättning. Byggnader och mark kommer att följas upp med sättningsmätningar. Byggnaden på Makaronen 8 bedöms ha grundvattenberoende grundläggning och det går inte att utesluta risk för skador på byggnaden på grund av vattenverksamheten.

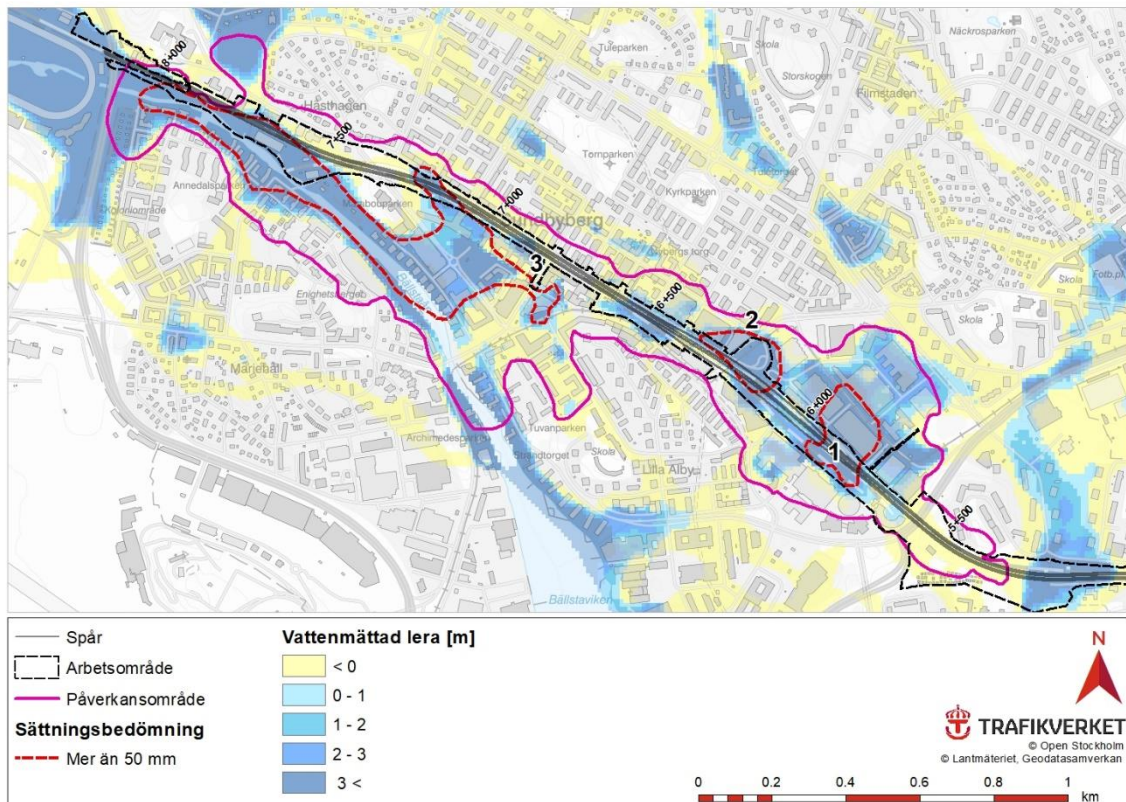
9.2.2. Norr om planerad järnvägsanläggning på sträckan 6+100 – 6+400

Av flera anledningar är det inte praktiskt möjligt att upprätthålla grundvattennivåerna i detta område under byggskedet, se 8.1.2.

Som strategi vidtas inte ytterligare skyddsåtgärder för att hålla uppe grundvattennivån i området under byggskedet, utöver den tätning som temporär stödkonstruktion bidrar till. Omlagda ledningar grundförstärks för att förhindra sättningsskador. Mark kommer att följas upp med sättningsmätningar. De marksättningar som uppstår återställs i samband med övrig nybyggnation i slutet av järnvägsanläggningens byggskede.

9.3. Skyddsåtgärder inom områden med marksättningar över 50 mm

I figur 68 redovisas de områden där de tillkommande marksättningarna överstiger 50 mm. En del av dessa områden planeras ej att skyddas då olika omständigheter kräver/gör det möjligt att de hanteras på annat sätt, se strategi vattenverksamhet i avsnitt 9.2. Nedan beskrivs hur områdena kommer att hanteras (nummer 1 till 3).



Figur 68 Områden med marksättningar över 50 mm, scenario utan skyddsåtgärder.

9.3.1. Solna Business Park (1)

I Solna Business Park är förutsättningarna för skyddsinfiltration relativt dåliga med täta jordarter som det är svårt att infiltrera i. Temporära stödkonstruktioner kombinerat med skyddsinfiltration kommer att utföras som skyddsåtgärder.

9.3.2. Området vid Ekensbergsbron (2)

Temporära stödkonstruktioner kommer att tillämpas som skyddsåtgärd väster om Ekensbergsbron: Öster om Ekensbergsbron kommer temporära stödkonstruktioner att kompletteras med skyddsinfiltration. Åtgärder kommer även vidtas för att upprätthålla grundvattendelaren i området.

9.3.3. Sundbyberg och Solvalla (3)

Som huvudsaklig skyddsåtgärd kommer skyddsinfiltration att utföras söder om järnvägsanläggningen. Strömningsavskärande fyllning avses även tillämpas mellan 7+400 – 7+600 under byggskedet.

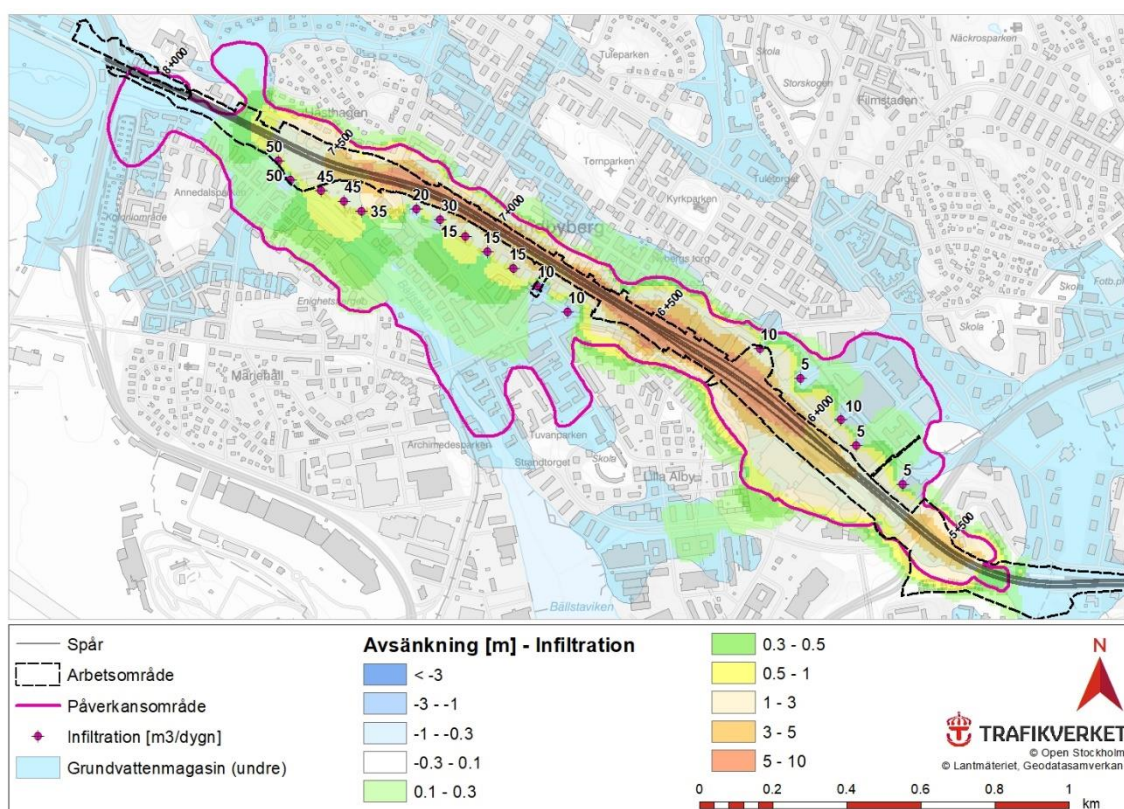
9.3.4. Arbetsområdet

Under byggskedet förvaltar Trafikverket marken inom arbetsområdet och den ska innan överlämning till fastighetsägare återställas till avtalat skick. Några skyddsåtgärder planeras därmed inte för att upprätthålla grundvattennivåer inom arbetsområdet.

9.4. Simulerad grundvattenpåverkan med planerad skyddsåtgärd infiltration

För att simulera grundvattenpåverkan med planerade skyddsåtgärder har skyddsinfiltration tillämpats i grundvattenmodellen. Syftet med simuleringen har varit illustrera vilken grundvattenpåverkan som erhålls inom påverkansområdet med denna skyddsåtgärd samt om den är tillräcklig för att acceptabel grundvattenpåverkan ska innehållas. Infiltrationsbrunnarnas läge, flöde i dessa samt resulterande influensområde visas i figur 69.

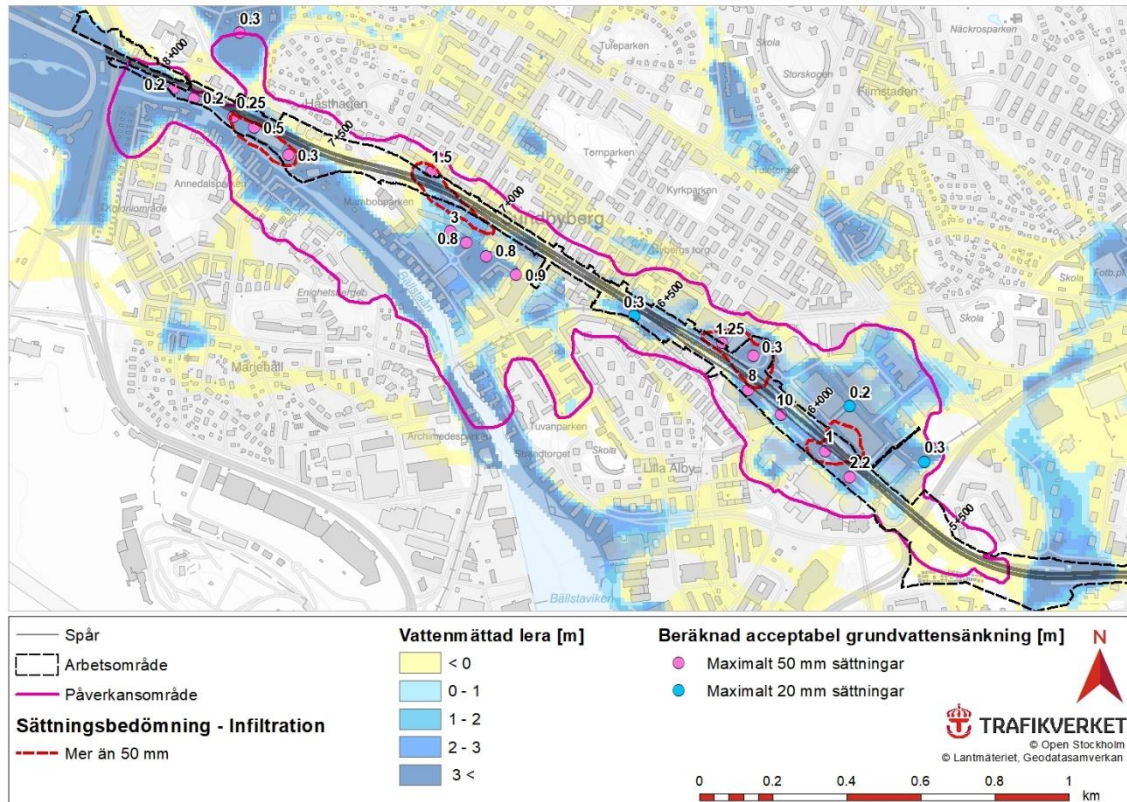
Vid byggande av den nya järnvägsanläggningen kommer inte skyddsåtgärderna att utformas exakt som ansatts i grundvattenmodellen, men den resulterande grundvattensänkningen bedöms i praktiken bli liknande och kan därför användas som underlag för bedömning av vattenverksamhetens påverkan och konsekvenser med planerade skyddsåtgärder. Särskilda åtgärder för Tvärbanan kan behöva vidtas i Solna och Sundbyberg utöver vad som illustreras i detta exempel.



Figur 69. Grundvattenpåverkan med planerade skyddsåtgärder (i detta exempel med skyddsinfiltration).

9.5. Sättningar med planerad skyddsåtgärd infiltration

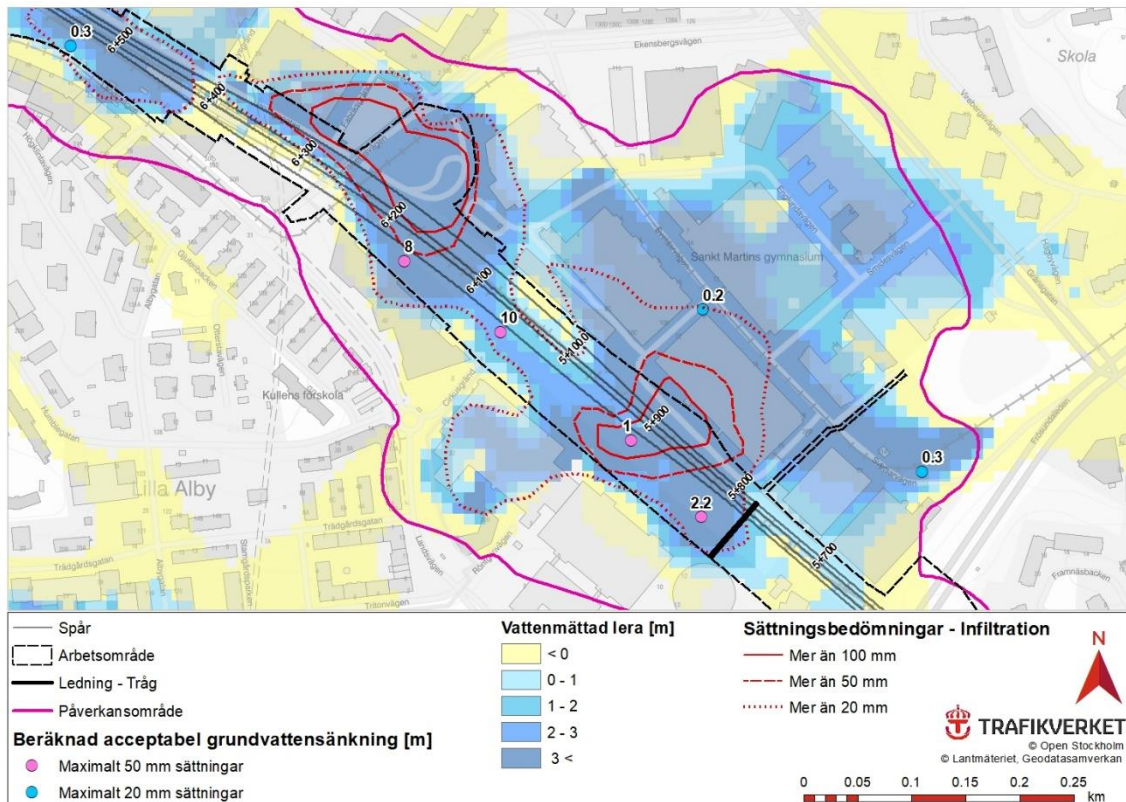
En analys av sättningar på grund av grundvattenpåverkan med skyddsinfiltration enligt 9.4 har utförts, och resultatet visas i figur 70. Analysen visar att sättningarna under byggskedet minskar betydligt med skyddsinfiltration. Sättningar på över 50 mm förekommer nu endast i fyra mindre områden.



Figur 70. Analys av sättningar inom påverkansområdet med planerade skyddsåtgärder (i detta exempel med skyddsinfiltration).

9.5.1. Solna Business Park

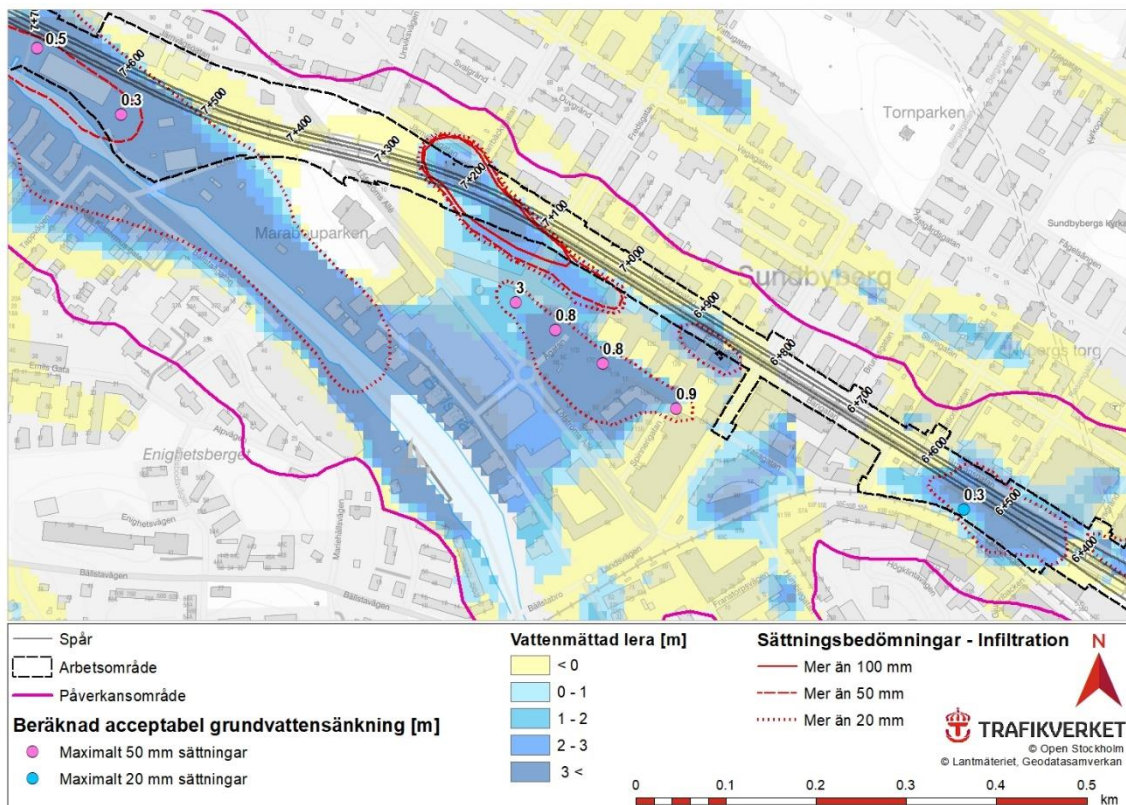
Sättningar som utvecklas i Solna för scenario med skyddsinfiltration visas i figur 71. Små sättningar under 50 mm förekommer utanför arbetsområdet och kan accepteras förutom vid Tvärbanan där sättningar över 20 mm förekommer. Bron för Tvärbanan över järnvägsanläggningen är grundlagd till fast botten och kräver därmed inga ytterligare åtgärder men i områdets centrala del krävs ytterligare åtgärder, till exempel kompletterande skyddsinfiltration eller temporära stödkonstruktioner.



Figur 71 Analys av sättningar inom Solna med planerade skyddsåtgärder (skyddsinfiltration).

9.5.2. Sundbyberg

Sättningar som utvecklas i Sundbyberg för scenario med skyddsinfiltration visas i figur 72.

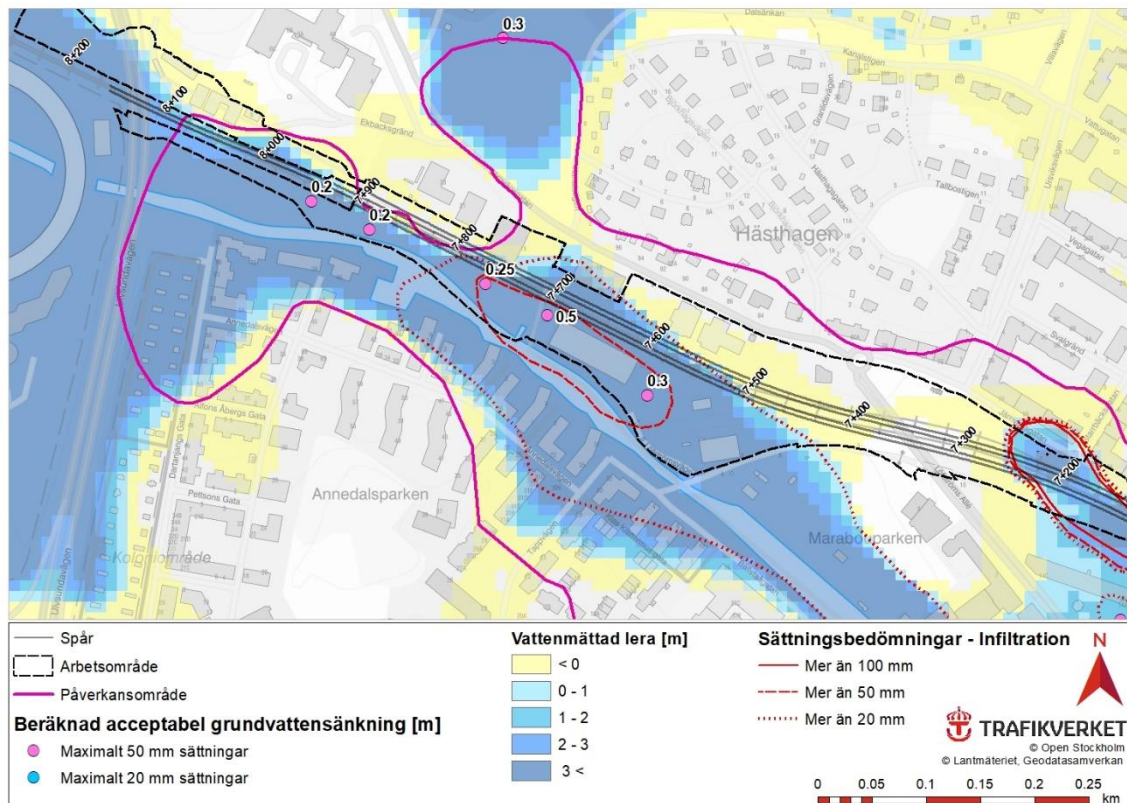


Figur 72 Analys av sättningar inom Sundbyberg med planerade skyddsåtgärder (skyddsinfiltration).

Sättningar över 50 mm utanför arbetsområdet förekommer främst inom de områden där det enligt strategin inte ska utföras skyddsåtgärder för att upprätthålla grundvattennivåer. Sättningarna vid Tvärbanan i centrala Sundbyberg överstiger 20 mm och det bedöms att skyddsinfiltration kan användas som skyddsåtgärd.

9.5.3. Solvalla och Duvbo

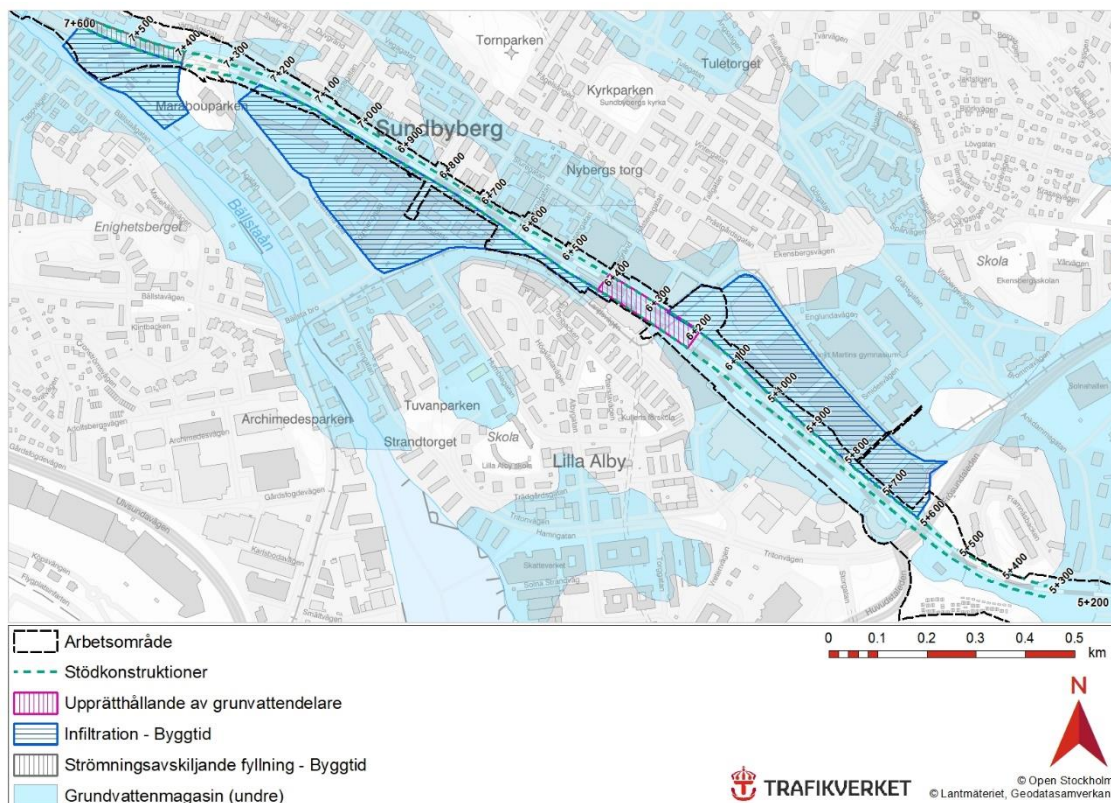
Sättningar som utvecklas i Solvalla och Duvbo för scenario med skyddsinfiltration visas i figur 73. Små sättningar under 50 mm förekommer utanför arbetsområdet och kan accepteras.



Figur 73 Analys av sättningar inom Solvalla och Duvbo med planerade skyddsåtgärder (skyddsinfiltration).

9.6. Planerade skyddsåtgärder byggskede

Planerade skyddsåtgärder för att minska omgivningspåverkan i byggskedet är temporära stödkonstruktioner, upprätthållande av grundvattendelare, skyddsinfiltration samt strömningsavskärande barriärer i återfyllning i Sundbyberg se figur 74. Under byggskedet utförs skyddsinfiltration med dricksvatten som leds ner i speciellt utförda och utplacerade infiltrationsbrunnar. De utförda infiltrationstesterna har visat att det är möjligt att infiltrera vatten till undre magasin i tillräcklig omfattning. Skyddsinfiltration ska utföras på sådant sätt att skadliga effekter undviks. Exempel på skadliga effekter kan vara inläckage av vatten till byggnader (källare) och anläggningar under mark, ändrad vattenkemi, höga vattennivåer vid naturvärden samt ändrade nivåer och flödesvägar som berör mobilisering och spridning av föroreningar i mark och vatten. För mer detaljer hänvisas till Teknisk Beskrivning.



Figur 74. Planerade skyddsåtgärder för att uppehålla grundvattennivåer under byggskedet.

10. Kontrollprogram

I detta kapitel beskrivs kortfattat omfattning av kontrollprogram för vattenverksamhet samt åtgärdsnivåer och hur de ska tas fram.

För att kunna följa upp den planerade vattenverksamheten och styra behovet av skyddsåtgärder är det viktigt med ett vältäckande kontrollprogram. Omfattning och metodik för åtgärdsnivåer avseende grundvatten redovisas översiktligt i detta kapitel. Kontrollprogrammet tas fram i samråd med tillsynsmyndigheter och andra berörda. Det kommer preliminärt att omfatta:

- Mätning av grundvattennivåer och portryck
- Kontroll av vattenkvalitet på länshållningsvatten
- Kontroll av sättningar
- Registrering av mängden bortpumpat vatten
- Registrering av eventuellt tillfört vatten i form av skyddsinfiltration.

En mer detaljerad beskrivning av kontrollprogrammet och dess omfattning kommer att tas fram och presenteras separat, i kommande kontrollprogram för vattenverksamhet.

Nedan beskrivs övergripande principer för hur ett kontrollprogram med åtgärdsnivåer kan upprättas. Vissa förslag lämnas också.

10.1. Omfattning av kontroll av grundvattennivåer

De genomförda grundvattennivåmätningarna för denna tillståndsansökan är väl tilltagna, och de befintliga grundvattenrören täcker in de områden som bedöms kunna beröras. Dessa rör bedöms i dagsläget räcka för ett kontrollprogram, förutom närmast schakten där själva arbetet ska bedrivas. Inom detta område är risken stor att grundvattenrör måste tas bort, och dessa ska i så fall ersättas.

Pågående grundvattennivåmätningar fortsätter med mätfrekvensen en gång i månaden fram till att arbetet påbörjas. I samband med byggstart bör närliggande grundvattenrör mätas med högre frekvens, förslagsvis upp till två gånger per dag. En ännu högre frekvens är inte motiverad, utan skapar enbart onödigt mycket data att hantera. Dessa närliggande rör bör mätas kontinuerligt med tryckgivare och vara uppkopplade till en databas som omgående varnar om en kraftig påverkan (överskridna larmnivåer) registreras. Rör på ett något längre avstånd från anläggningen bör också mätas kontinuerligt med tryckgivare med hög frekvens, dock behöver dessa inte vara uppkopplade till databasen.

10.2. Åtgärdsnivåer för grundvatten

I samband med kontrollprogram för övervakning av grundvattennivåer fastställs åtgärdsnivåer för dessa. Åtgärdsnivåerna syftar till att uppmärksamma när påverkan sker och bestämma när åtgärder ska vidtas för att inte skador ska kunna uppstå på grund av för låga eller höga grundvattennivåer. Principen med åtgärdsnivåer är att de fastställs på förhand utifrån ett antal mätserier baserade på mätningar i omgivningen under en längre tid innan vattenverksamheten påbörjas. Oftast är åtgärdsnivåerna uppdelade i två steg. Om den första nivån passeras ska anledningen till detta utredas speciellt. Denna nivå är inte skadlig i sig men indikerar att något sker, vilket gör att en potentiellt skadlig påverkan kan upptäckas tidigt. Därefter bestäms ytterligare en åtgärdsnivå, där skyddsåtgärder sätts in för att motverka avsänkningen. Detta sker oftast genom infiltration av vatten eller extra tätningsåtgärder.

Underlag för val av åtgärdsnivåer redovisas i bilaga 8, principen och metodiken för hur de ska tas fram redovisas nedan.

Utgångspunkten för omgivningspåverkan är att det inom påverkansområdet inte får uppkomma tillkommande sättningar om mer än 50 mm under byggskedet (20 mm vid Tvärbanan). Utifrån denna förutsättning har det tagits fram vilken grundvattenavsänkning som därmed kan tillåtas.

Vid framtagande av åtgärdsnivåer för kontrollprogrammet måste det beaktas att grundvattennivåerna varierar med årstider och nederbörd, med nivåer över och under medelgrundvattennivån. Leran är i princip konsoliderad för medelgrundvattennivån men tål även kortare perioder (årligen naturligt förekommande sommarperioder) med lägre grundvattennivåer utan att sättningstakten förändras. Det är en avsänkning under de lägsta nivåerna som kan ge tillkommande sättningar, beroende på hur stor avsänkningen är och hur länge den får pågå. Utifrån sättningsberäkningar och undersökningar som gjorts kan det konstateras att en 10-års lågnivå kan accepteras utan att skadliga sättningar riskerar att uppstå. Därmed bör inte en fysisk åtgärd för att höja grundvattennivån genomföras på avsänkningar som medför grundvattennivåer som är högre än en 10-års lågnivå.

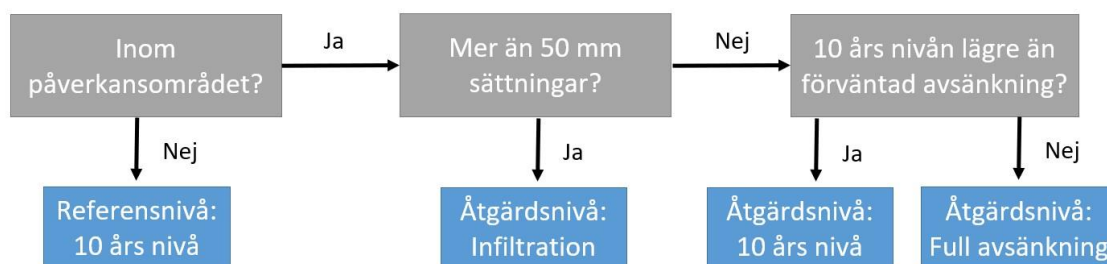
Då området är stort, känsligheten varierar och avsänkningen avtar med avståndet från anläggningen ska åtgärdsnivåer sättas utifrån tre typfall. Områdena för de tre typfallen redovisas i figur 76 och bilaga 8.

- 10 års nivå – Avsänkningen från planerad vattenverksamhet förväntas vara låg och risken för skada låg. I ett sådant område sätts åtgärdsnivån utefter den naturliga 10-års nivån. Förväntad avsänkning medför grundvattennivåer som är högre än 10-års nivån och det finns inga motiv att hålla upp naturligt låga nivåer eller små avsänkningar. Utanför påverkansområdet kallas nivån referensnivå, denna används för att följa upp grundvattennivåer utanför påverkansområdet.
- Helt avsänkt – I de områdena där avsänkningen har beräknats medföra lägre grundvattennivåer än 10-års nivån och förväntade tillkommande sättningar bedöms vara mindre än 50 mm kan hela beräkande avsänkningen accepteras. Om avsänkningen blir större än beräknat kan tillkommande sättningen överskrida 50 mm varvid åtgärder ska vidtas om avsänkningen blir större än förväntad.
- Infiltration – I de områdena där avsänkningen medför lägre grundvattennivåer än 10-års nivån och förväntade tillkommande sättningar bedöms vara större än 50 mm kan de

beräknande infiltrationsnivåerna accepteras, då dessa satts för att undvika större än 50 mm tillkommande sättningar. Gäller dock ej för områden norr om anläggningen i Sundbyberg där strategin anger att marksättningar över 50 mm kan accepteras. I närheten av Tvärbanan gäller 20 mm.

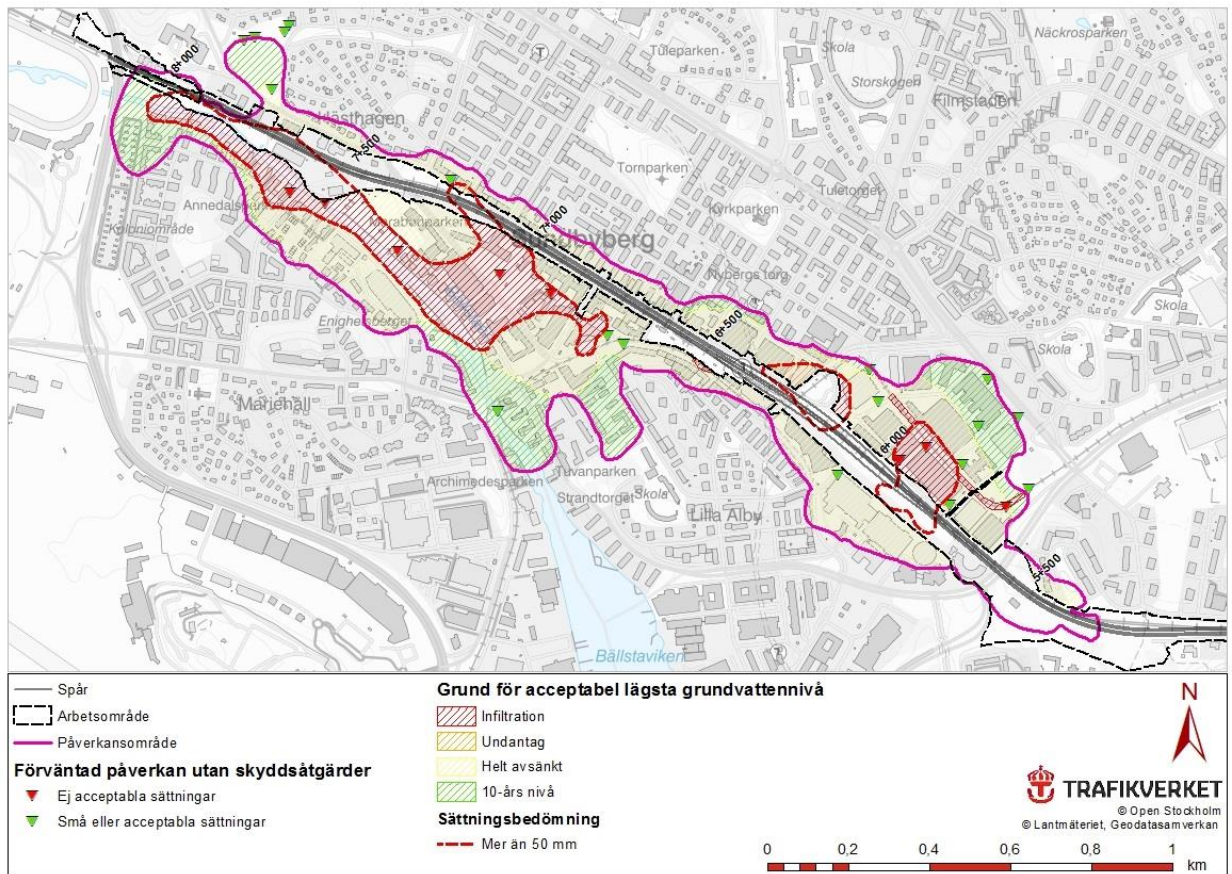
- Ett undantag från typfallen är att det inom grundvattenmagasinet norr om Järnväggsgatan inte ska utföras skyddsinfiltration, se strategi9.2.1. Områden där marksättningar kan komma att överstiga 50 mm visas i figur 76 samt i Bilaga 8.

Metoden beskrivs i ett flödesdiagram i figur 75.



Figur 75. Hur åtgärdsnivån sätts för olika fall

Metoden har använts inom påverkansområdet på de befintliga grundvattenrören som har en tillräckligt lång serie för att kunna genomföra en samvariationsanalys och extremvärdesanalys. Utefter dessa beräkningar, sättningssänskligheten och förväntad avsänkning har dessa tre åtgärdsnivåtyper gjorts till ytor. Om ett nytt rör installeras, vilket är vanligt under långa byggprocesser, går det snabbt att identifiera vilken typ av åtgärdsnivå som förväntas, se figur 76. Om mer information om områdes sättningssänsklighet framkommer under arbetets gång kan gränserna mellan de olika ytorna förändras varvid det alltid är viktigt att göra en specifik bedömning för varje grundvattenrör inom kontrollprogrammet. Med mer information kan även åtgärdsnivåerna behöva justeras i befintliga rör.



Figur 76. Områden med olika typfall för framtagande av åtgärdsnivåer, se även Bilaga 8.

Referenser

Aqualog AB. (2007). *PM Utvärdering av bergets Geohydrologiska egenskaper, P3-0613, Bilaga 1.*

Pease, R. E. (2010). *Hydraulic properties of asphalt concrete.* University of New Mexico.

Ryd, E. (2017). *Samband mellan kapacitet vid borrning och transmissivitet i kristallint och sedimentärt berg.* Uppsala Universitet.

Schwartz, P. A. (1998). *Physical and chemical hydrogeology.*

Stockholm vatten och Avfall. (u.d.). *Verksamheten 2016.*

WSP. (2016). *Fältrapport, Vattenförlustmätningar, 3140-M35-24-01009 Bilaga 12.*

WSP. (2019). *Mälarbanan, Huvudsta - Duvbo, Systemhandling .*

Vägverket & Stockholm Stad. (2010). *Norra Station Gemensamt, Modellbeskrivning.*



Postadress: Svetsarvägen 10, 171 41 Solna
Telefon: 0771-921 921, texttelefon: 010-123 99 97

www.trafikverket.se