

Namn	Dokumenttitel Bilaga G PM Hydrogeologi	Version 2.0
Författare Emil Friberg, Anders Retzner	Ansvarig Tomas Hård	Datum 2020-03-19
Projektnamn Nya Östbergatunneln	Projektnummer 410498	Diarienummer 18MB1337



Nya Östbergatunneln

UNDERLAG
GÄLLANDE 2020-03-19

Bilaga G PM Hydrogeologi

Tillståndsansökan Nya Östbergatunneln

Innehållsförteckning

1.	Inledning	4
2.	Syfte	4
3.	Ordförklaring och begrepp.....	4
4.	Planerad anläggning.....	8
4.1	Höjd- och koordinatsystem.....	9
5.	Avgränsningar	10
5.1	Utredningsområde	10
5.2	Påverkansområde.....	11
6.	Planerad vattenverksamhet.....	11
7.	Underlagsmaterial	13
7.1	Inventeringar	13
7.2	Utförda geotekniska, geologiska och hydrogeologiska fältarbeten	13
8.	Översiktlig områdesbeskrivning.....	15
8.1	Markanvändning	15
8.2	Topografi	16
8.3	Naturvärden.....	17
8.4	Föroreningar.....	17
8.5	Berggrund	17
8.6	Jordlager och jorddjup	19
8.7	Hydrogeologiska förhållanden.....	24
9.	Förebyggande skyddsåtgärder.....	27
9.1	Val av tunnelsträckning.....	27
9.2	Tätning genom injektering.....	27
9.3	Tätning genom betonglining.....	28
9.4	Skyddsinfiltration	29
9.5	Strategi avseende skyddsåtgärder och kontroll	29
10.	Tunnelns grundvattenpåverkan	30
10.1	Beräknat inläckage	31
10.2	Generell grundvattenpåverkan i berg	33
10.3	Generell grundvattenpåverkan i jord.....	34
10.4	Nya Östbergatunnelns påverkan på grundvattennivåer	35
11.	Detaljerad områdesbeskrivning	37
11.1	Hammarbyhöjden	37
11.2	Hammarby sjöstad & Sickla kanal norra	45
11.3	Sicklasjön	53
11.4	Sickla udde.....	59

11.5	Kvarnholmsvägen & Saltsjökvärn.....	67
11.6	Sammanställning av skyddsvärda intressen och påverkansbedömning	75
12.	Kontrollprogram	77
12.1	Principer för framtagande av åtgärdsnivåer	77
13.	Referenser.....	78

Bilagor

Bilaga	Namn	Dokumenttitel
G1		Översiktskarta
G2		Utförda undersökningar
G3		Skyddsinfiltration
G4		Inventering av potentiellt motstående intressen
G5		PM Sättningar
G6		Hydrogeologiska beräkningar

Dokumenthistorik

Version	Datum	Version avser
1.0	2020-03-03	För granskning
2.0	2020-03-19	Gällande

1. Inledning

Stockholm Vatten och Avfall planerar att bygga en ny dagvattentunnel i berg mellan Sickla och Saltsjön.

Tunneln kommer att anslutas till den befintliga Östbergatunneln vid Sickla och avleda dagvatten från delar av södra Stockholm till Saltsjön. Syftet med den nya tunneln är att avlasta Henriksdals reningsverk från hydraulisk påverkan av dagvatten, förstärka avledningskapaciteten för dagvatten och frigöra nödvändig kapacitet i befintliga tunnelsystem.

2. Syfte

Syftet med föreliggande PM Hydrogeologi är att utgöra underlag för Mark- och miljödomstolens prövning av förutsebar grundvattenbortledning och skyddsinfiltration, vattenverksamhet enligt 11 kap miljöbalken, som följer av anläggandet och i drifttagandet av planerad tunnelanläggning.

Denna hydrogeologiska utredning behandlar bortledning av grundvatten från Nya Östbergatunneln som anläggs i berg, under grundvattenytan. Även tillhörande arbetstunnel anläggs i berg, delvis under grundvattenytan.

Även om injektering tillämpas som skyddsåtgärd kommer ett visst grundvatteninläckage till anläggningen ske, detta grundvatten kommer att behöva ledas bort.

Den sökta vattenverksamheten avser att under bygg- och driftskede leda bort grundvatten och att som skyddsåtgärd eventuellt infiltrera vatten till undre grundvattenmagasin som kompensation för det grundvatten som dräneras till tunneln. Skyddsinfiltrations tillämpas endast där sättningskänsliga skyddsobjekt finns och som kan komma att skadas annars. För denna vattenverksamhet krävs tillstånd från mark- och miljödomstolen enligt kapitel 11 om vattenverksamhet, Miljöbalken.

3. Ordförklaring och begrepp

I följande stycke förklaras begrepp som används i denna rapport.

Begrepp	Förklaring
Grundvatten	Grundvatten är vatten (över atmosfärstryck) som helt fyller hålrum och sprickor både i jord och i berg. I jorden rör sig grundvattnet i hålrummen. Grundvatten i berg finns i sprickor.
Grundvattenbildning	Tillflöde av vatten till grundvattenzonen, vilket sker då nederbörd (eller annat vatten), infiltrerar och sedan perkolerar genom den omättade zonen till den mättade zonen.
Grundvattendelare	En gräns för ett grundvattenmagasin. Det kan t.ex. vara en bergtröskel under mark som delar av ett grundvattenmagasin i jordlagren eller topografiskt betingad, så kallad gravitationsvattendelare, som gör att grundvattenströmningen riktas åt olika håll.

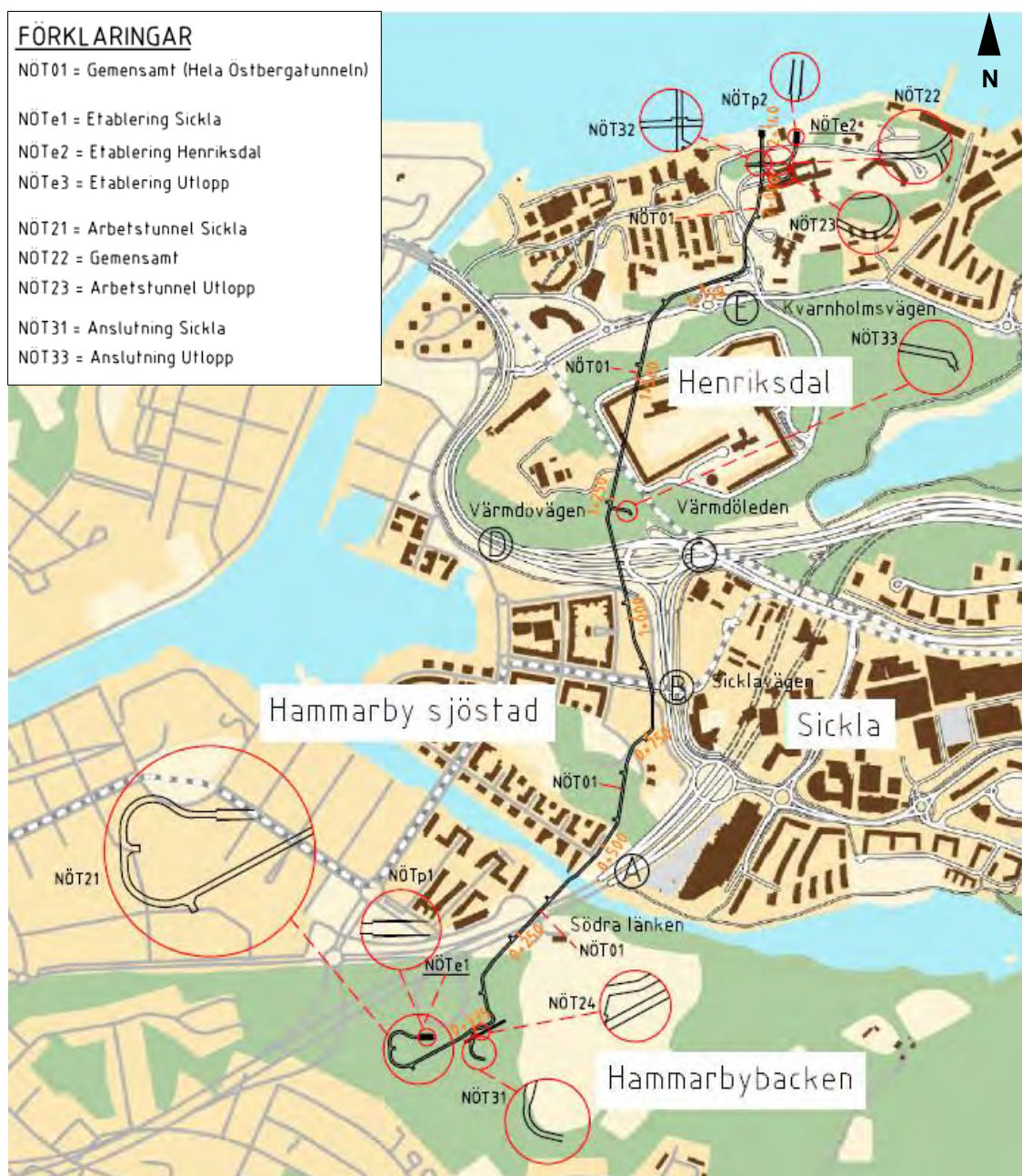
Grundvattenmagasin	En avgränsad del av ett vattengenomsläppligt jordlager. Även berggrundens vattengenomsläppliga spricksystem brukar kallas för ett (berg-) grundvattenmagasin.
Slutet och öppet grundvattenmagasin	Om ett tätt jordlager begränsar grundvattenmagasinet uppåt, bildas ett slutet magasin. När en sådan begränsning saknas är magasinet öppet.
Grundvattennivå, grundvattnets trycknivå och artesiskt grundvatten	<i>Grundvattennivå</i> avser grundvattenytans läge i mark där jämvikt med atmosfärstryck råder och tryckpotentialen är noll. Om man driver ner ett perforerat rör i ett öppet magasin kommer vattenytan i röret att befinna sig på samma nivå som grundvattentrycket i magasinet. Grundvattnet i ett slutet magasin kan inte röra sig fritt i vertikalled utan hindras av ett överliggande tätskikt. Om man driver ner ett perforerat rör i ett slutet magasin kommer vattenytan i röret att stiga till en nivå som ligger över grundvattenytan på grund av övertrycket i magasinet. Trycknivån definieras som den nivå som grundvattnet skulle stiga till om tätskiktet inte fanns. Artesiskt grundvatten har en trycknivå som ligger över markytans nivå.
Hydraulisk konduktivitet	Ett mått på jordlagrets (berggrundens) förmåga att släppa igenom vatten. Ett grundvattenflöde genom ett visst tvärsnitt beror på konduktiviteten och strömningsgradienten (nivå/tryckskillnad) mellan två punkter.
Q-värde	Bergtekniskt mått för att beskriva bergkvaliteten utifrån faktorer som beror av bl.a. antalet sprickor och deras struktur i det undersökta berget.
Konsolidering	En volymminskning (komprimering) av (ler)jord på grund av belastning eller minskning av portrycket. När en lerjord belastas pressas vatten ut ur jorden (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 grundvattentrycknivåsänkning än dagens förhållanden. En underkonsoliderad lerjord är utsatt för en belastning eller trycknivåsänkning men har ännu inte anpassats (konsoliderats) för rådande förhållanden.
Sättning, sättningsrörelse	Markytan sjunker på grund av att underliggande jordlager pressats samman (konsoliderats).

Sättningsbenägen jord	Finjorlar som ler- och siltjorlar som konsolideras (trycks ihop) av pålagd last (byggnader, fyllning) eller av sänkning av grundvattnets trycknivå.
Torrskorpelera	Avvattnad, konsoliderad lerjord vid markytan som ofta är uppsprucken.
CRS-analys, CRS försök	Ett opåverkat (ostört) lerprov utsätts för tryck för att man ska kunna bedöma lerans sättningsegenskaper, och hur mycket lerjorden kompakteras vid en dränering av porvattenhalten.
Friktionsjord	Jord vars hållfasthet till övervägande del beror på friktion mellan kornen. Morän, grus och sand är exempel på friktionsjord.
Fyllningsjord	Utfyllnadsmassor, jord som inte är bildats i naturliga processer på platsen.
Spricka	En generell term som avser varje mekaniskt brott i en bergmassa.
Sprickzon	Ett stråk (1 m - 10 km) genom berggrunden med stor frekvens av sprickor.
Svaghetszon	En generell term som avser en zon med dålig bergkvalitet.
Deformationszon	En deformationszon är en svaghetszon utefter vilken berggrunden på ömse sidor av zonen har rört sig i förhållande till varandra.
Krosszon	Område med krossat berg orsakat av kraftig deformation.
Tunnelnivå	Anges som nivå för tunnelbotten.
Byggskede	Det skede under vilket byggnation pågår som förändrar bortledningen av grundvatten, t ex etablering, drivning, bergförstärkning, injektering, mm.
Driftskede	Det skede som startar då anläggningen är slutbesiktigad och överläts till driften på Stockholm vatten AB, och då ingen större förändring av vattenverksamheten längre sker. För ansökan om grundvattenbortledning innebär det att tunneldelar är färdigutsprängda och tätade.
Injektering	Tätning av berg genom injekteringshål som borrar utanför den blivande tunnelkonturen för att minska inläckage av grundvatten.

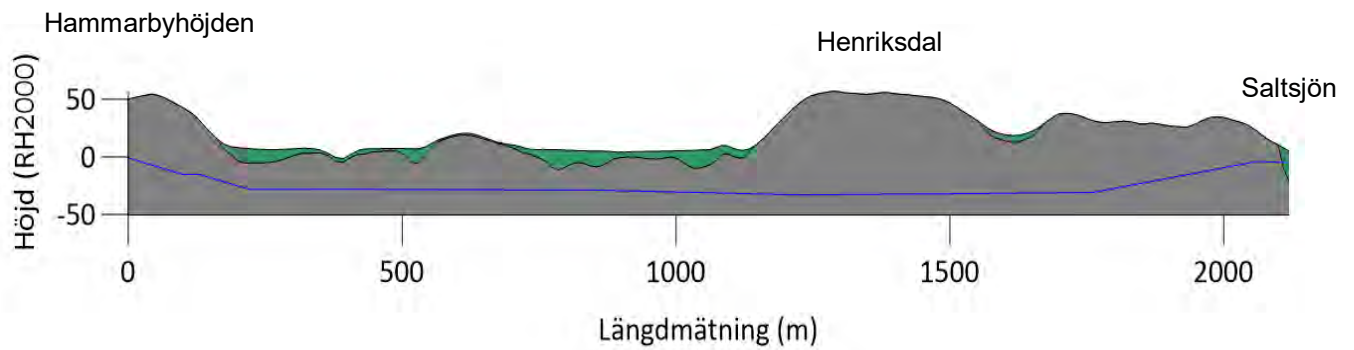
Injekteringsklass	Injekteringsklass är kopplad till en bergklass och omgivningspåverkan med varierande skärmgeometri och injekteringsrecept.
Påverkansområde	Område inom vilket praktisk påverkan på grundvattenförhållanden kan förutses kunna komma att uppstå som följd av planerad vattenverksamhet. Som gräns för praktisk påverkan antas en grundvattensänkning om 0,3 m.
Influensområde	Ett område där det beräknas att en viss grundvattenpåverkan sker som följd av en viss åtgärd. Kan användas för att ta fram och bedöma ett påverkansområde. En anläggning kan ha olika influensområden i olika skeden och influensområdet beror även på vilka skyddsåtgärder som vidtas.
Utredningsområde	Område inom vilket geologiska och hydrogeologiska förhållanden studeras med syfte att kunna prediktera påverkan och effekter av planerad vattenverksamhet.
Inventeringsområde	Område inom vilket potentiella motstående intressen har kartlagts.

4. Planerad anläggning

Nya Östbergatunneln längd blir ca 2860 m varav 2140 m är huvudtunnel. Tunneln drivs via arbetstunnel Hammarbyskogen (NÖT21) och servicetunnel Utlopp (NÖT22). Dagvatten från den befintliga Östbergatunneln förs över till Nya Östbergatunneln vid Anslutning Sicklaanläggningen (NÖT31). Tunneln får en lågpunkt, se figur 2, vid anslutning till Sicklaschaktet i Henriksdalsanläggningen (NÖT33) vilket möjliggör för överföringsledningar mellan Sickla- och Henriksdalsanläggningen. Norr om Henriksdal lutar huvudtunneln upp mot utloppet i Saltsjön. Tunneldrivningen sker med konventionell borrar och sprängning vilket förklaras utförligt i den tekniska beskrivningen tillsammans med de olika tunneldelarna. När tunneln är tagen i drift kommer den vara helt fylld med dagvatten.



Figur 1. Översikt Nya Östbergatunneln.



Figur 2. Nya Österbergatunnelns huvudtunnel i profil (blå linje) med jordlager (grön yta) och berg (grå yta).

4.1 Höjd- och koordinatsystem

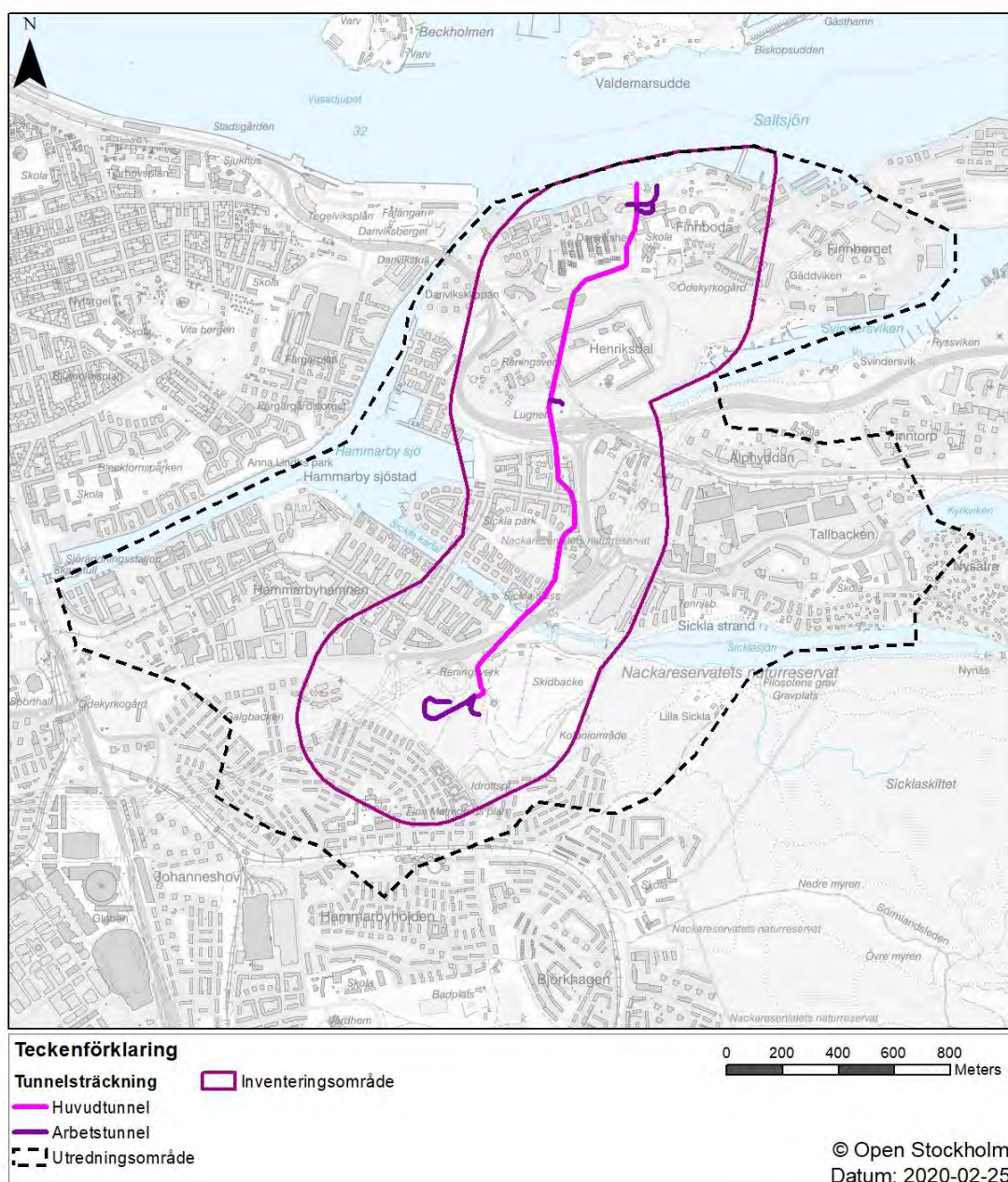
Höjdsystem: RH 2000

Koordinatsystem: SWEREF 99 18 00

5. Avgränsningar

5.1 Utredningsområde

Den hydrogeologiska utredningen har utgått ifrån ett framtaget utredningsområde kring Nya Östbergatunneln. Utredningsområdet är det område inom vilket geologiska och hydrogeologiska förhållanden studeras med syfte att kunna prediktera påverkan och effekter av planerad vattenverksamhet. Gränsdragningen för utredningsområdet är mycket väl tilltagen för att med god marginal innefatta det hydrologiska system där förändring av grundvattenförhållanden skulle kunna uppkomma som följd av planerad vattenverksamhet, se figur 3. Undersökningar i fält har gjorts och information om geologi, hydrologi och hydrogeologi har inhämtats inom utredningsområdet. Med stöd av denna information har en analytisk prediktion av grundvatteninläckage till planerad anläggning tagits fram. Simulering av förändring av grundvattenförhållanden som följd av grundvattenbortledning har gjorts genom numerisk grundvattenmodellering, vilket presenteras i bilaga G6.



Figur 3. Utredningsområde för Nya Östbergatunneln.

5.2 Påverkansområde

Påverkansområde för grundvatten är det område inom vilket praktisk påverkan på grundvattenförhållanden kan förutses kunna komma att uppstå som följd av planerad vattenverksamhet. Som gräns för praktisk påverkan antas en grundvattensänkning om 0,3 meter (R_{03}).

Trycksänkningen kring en tunnel i berg kommer att sprida sig längre ut i djupt berg än i ytligt berg och jord. För avgränsning av ett påverkansområde för ytligt grundvatten (i jord), används konservativt en beräknad trycksänkning i ytligt berg. Detta då det är osäkert hur den hydrauliska kontakten mellan jord och berg är beskaffad i varje given punkt. Om den är god kan trycksänkningen i jord bli i princip samma som trycksänkningen i ytligt berg. Är kontakten mindre god kommer trycksänkning i jord att bli väsentligt mindre än trycksänkningen i ytligt berg.

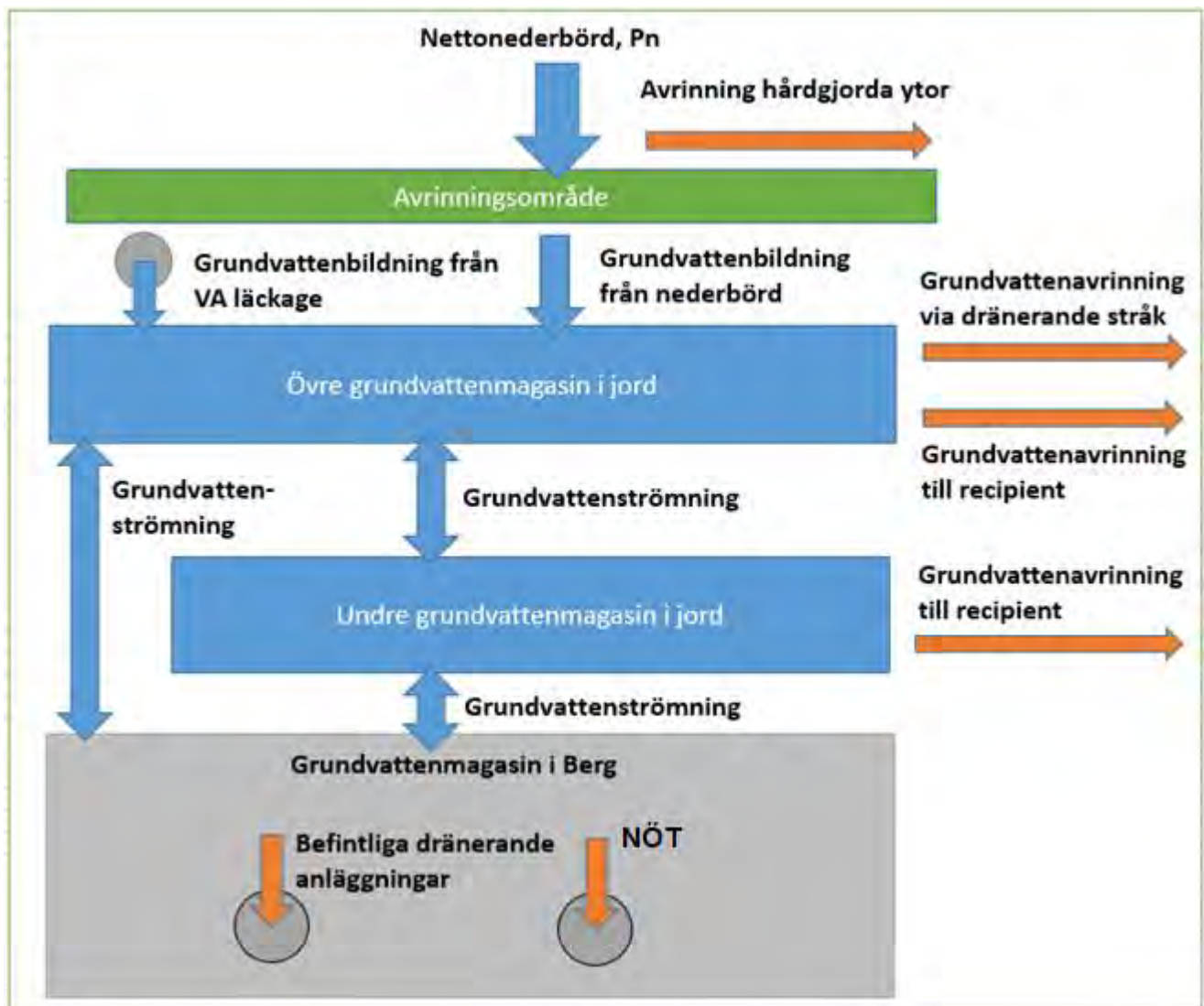
Påverkansområdet för grundvattenpåverkan i jord och berg, baserat på resultat från modellering i programmet Visual MODFLOW, har tagits fram för Nya Östbergatunneln och beskrivs i bilaga G6 Hydrogeologiska Beräkningar.

Utredningen beskriver nuvarande grundvattenförhållanden och förutsebar förändring av grundvattenförhållanden till följd av den planerade vattenverksamheten. Vidare beskrivs objekt som är känsliga för grundvattenpåverkan jämte bedömt behov av skyddsåtgärder för att minska risken för skador. Detta redovisas i kapitel 11 *Detaljerad områdesbeskrivning*.

6. Planerad vattenverksamhet

Under bygg- och driftskedet kommer grundvatten från berggrunden läcka in till anläggningen. Storleken på inläckaget bestäms av berggrundens genomsläpplighet, det ursprungliga grundvattentrycket i berget vid planerad tunnel (beroende av tunneldjup) samt tunnelns diameter. Inläckaget kan minskas genom tätning av tunneln och styrs till stor del av vald tätningsmetod och utförande. Under driftskede kommer den största delen av tunneln vara vattenfylld, detta innebär att inläckaget under driftskede kommer över hela tunnelsträckningen att vara mycket litet och avsevärt mindre än under byggskedet. Under driftskedet kommer det under stora delar av tunnelsträckningen att istället finnas ett litet utläckage. Beräkningar av inläckage till planerad anläggning beskrivs i mer detalj i bilaga G6 Hydrogeologiska beräkningar.

Hur stor omgivningspåverkan inläckaget till tunneln får beror, förutom inläckagets storlek, på bergets vattenförande egenskaper och den hydrauliska kontakten mellan det trycksänkta området i berg och undre magasin i jord i kombination med grundvattentillgång, dvs om det finns förutsättningar för grundvattenbildning till det trycksänkta området. Figur 4 visar en schematisk skiss över vattenbalans i det hydrauliska systemet. Om grundvattentrycket i berggrunden minskar, till följd av inläckage till tunneln, kan grundvattnets trycknivå sjunka i det ovanliggande jordlagret, det undre grundvattenmagasinet. Ett minskat grundvattentryck i berggrunden kan också leda till att grundvattennivån sjunker i ett ovanliggande öppet magasin (i det ovanliggande jordlagret). I lerområden blir grundvattenavsänkningen generellt mer utbredd, då tätande jordlager medför liten nybildning av grundvatten. I randzoner mellan jord och berg som generellt finns i utkanten av lerområdena bidrar strömning genom friktionsjord till ett dominerande tillskott av grundvatten. Om en trycksänkning sker i det undre grundvattenmagasinet så ökar den hydrauliska gradienten och därmed grundvattenströmningen. Således ökar tillskottet till det undre magasinet från omgivande berg och övre magasin om trycknivån i det undre magasinet sänks. Detta har beräknats med hjälp av en platsspecifik grundvattenmodell.



Figur 4. Schematisk skiss av vattenbalans.

7. Underlagsmaterial

7.1 Inventeringar

Följande inventeringar har utförts inom inventeringsområdet:

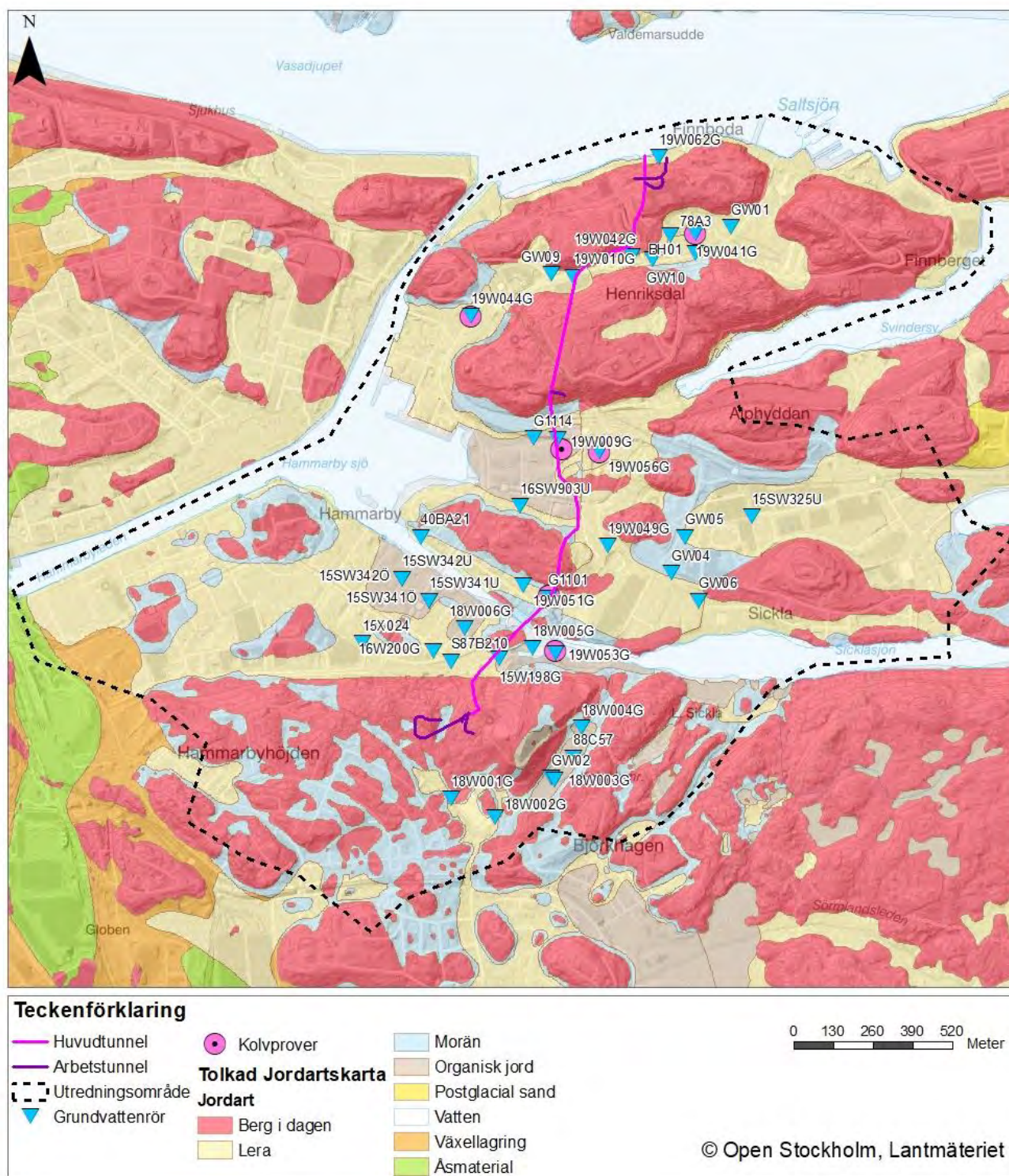
- Inventering av befintliga grundvattenobservationsrör, med syftet att erhålla representativa grundvattennivåer längs med sträckan samt för identifiering av för projektet relevanta kontrollrör. De utvalda kontrollrören är funktionstestade.
- Inventering av husgrundläggningar
- Inventering av brunnar från SGU:s brunnsdatabas, Stockholm stads register och Nacka kommuns register.
- Inventering av ledningar.
- Inventering av naturmiljöer och fornlämningar.
- Inventering av undermarksanläggningar.
- Inventering av tidigare utförda borrhningar i jord och berg.
- Inventering av potentiellt förorenade områden (MIFO-objekt).

7.2 Utförda geotekniska, geologiska och hydrogeologiska fältarbeten

Inför tillståndsansökan för byggandet av Nya Östbergatunneln har följande undersökningar utförts:

- Installation av grundvattenrör i undre grundvattenmagasin för att utreda grundvattensituationen inom utredningsområdet.
- Funktionstest av grundvattenrör. Omfattar rör som installerats inom projektet samt rör som tidigare installerats i andra projekt.
- Geotekniska sonderingar i samband med installation av grundvattenrör.
- Provtagning och analys av lera i de områden där leran är som mäktigast och där grundvattenpåverkan kan befaras bli som störst. Deformationsparametrar för lös lera har utvärderats från utförda CRS-försök. CRS-försöken har utförts på ostörda lerprover i geotekniskt laboratorium.
- Berggrundskartering och strukturgeologisk kartering längs tunnelsträckan.
- Grundvattennivåmätningar i grundvattenrör, 1 gång/månad sedan mars 2019.
- Inmätning av grundvattenrörens röröverkant med mätnoggrannhet på 2 cm.

Figur 5 nedan visar en översikt över utförd kolvprovtagning samt grundvattenrör som mäts inom mätprogrammet för Nya Östbergatunneln. I bilaga G1 redovisas ytjordart samt förekommande grundvattenmagasin i jord och i bilaga G2 redovisas utförda undersökningar (grundvattenrör, m.m) längs tunnelsträckningen och i kapitel 11 beskrivs de hydrogeologiska förhållanden i detalj per grundvattenmagasin.

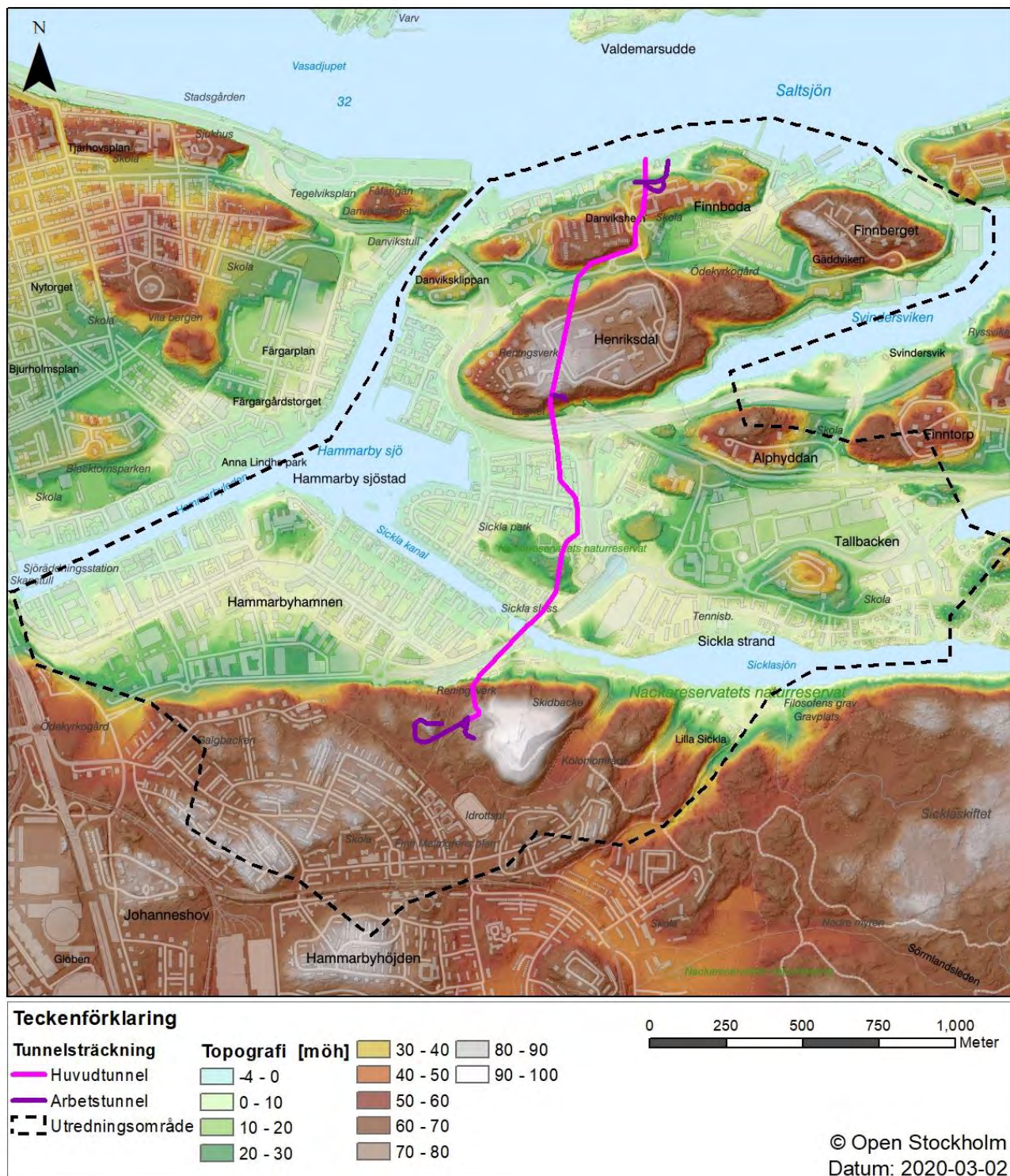


Figur 5. Översikt över utförd kolvprovtagning samt grundvattenrör som mäts inom mätprogrammet för Nya Östbergatunneln.

Figur 6. Flygfotö över området, här ses att stor del av utredningsområdet är bebyggt.

8.2 Topografi

Topografin inom utredningsområdet varierar mellan +0 och +93 m, se figur 7. Marknivån ligger som högst vid Hammarbybacken ca +93, Henriksdalsberget ca +57 och vid Sickla Park ca +21. Hammarby sjöstad och Sickla udde ligger inom ett större lågparti på ca +1–5 m.



Figur 7. Topografi i området tillsammans med utredningsområdet och tunnelsträckningen.

8.3 Naturvärden

Vid etableringsområdet i Hammarbybacken förekommer ett antal skyddsvärda träd och miljöer och i utredningsområdet sydöstra hörn återfinns Nackareservatets naturreservat som därifrån sträcker sig långt österut. Därtill återfinns Sickla park på en bergshöjd strax norr om Sickla Kanal.

8.4 Föroreningar

I förorenade markområden kan förändrade grundvattennivåer och -flöden innebära att vissa föroreningar kan mobiliseras. Grundvatten som läcker in i tunneln kan, om föroreningarna är lätttrörliga och om förhållandena är ogynnsamma, föra med sig föroreningar som finns i mark och/eller vatten. Enligt MIFO-registret (Metodik för inventering av förorenade områden) finns 131 registrerade MIFO-objekt inom utredningsområdet, se Bilaga G4 Inventering av potentiellt motstående intressen. Dessa är klassade utefter risk alternativt om objektet är åtgärdat. En hög MIFO-riskklassning innebär inte nödvändigtvis att den föroreningen är lätttrörlig med grundvatten eller att den riskeras föras med grundvattnet i samband med planerad vattenverksamhet.

8.5 Berggrund

Berggrunden längs tunnelsträckningen utgörs av olika varianter av gnejsbergarter med sedimentärt eller granitiskt ursprung, se figur 8.

Tunneln passerar till största del i berg av bergtekniskt god kvalitet (Q-värde > 4). Det förekommer dock enstaka partier med svagare berg (Q-värde ner mot 0,1), största delen av tunnelsträckningen bedöms dock ha god byggkvalité, se tabell 1.

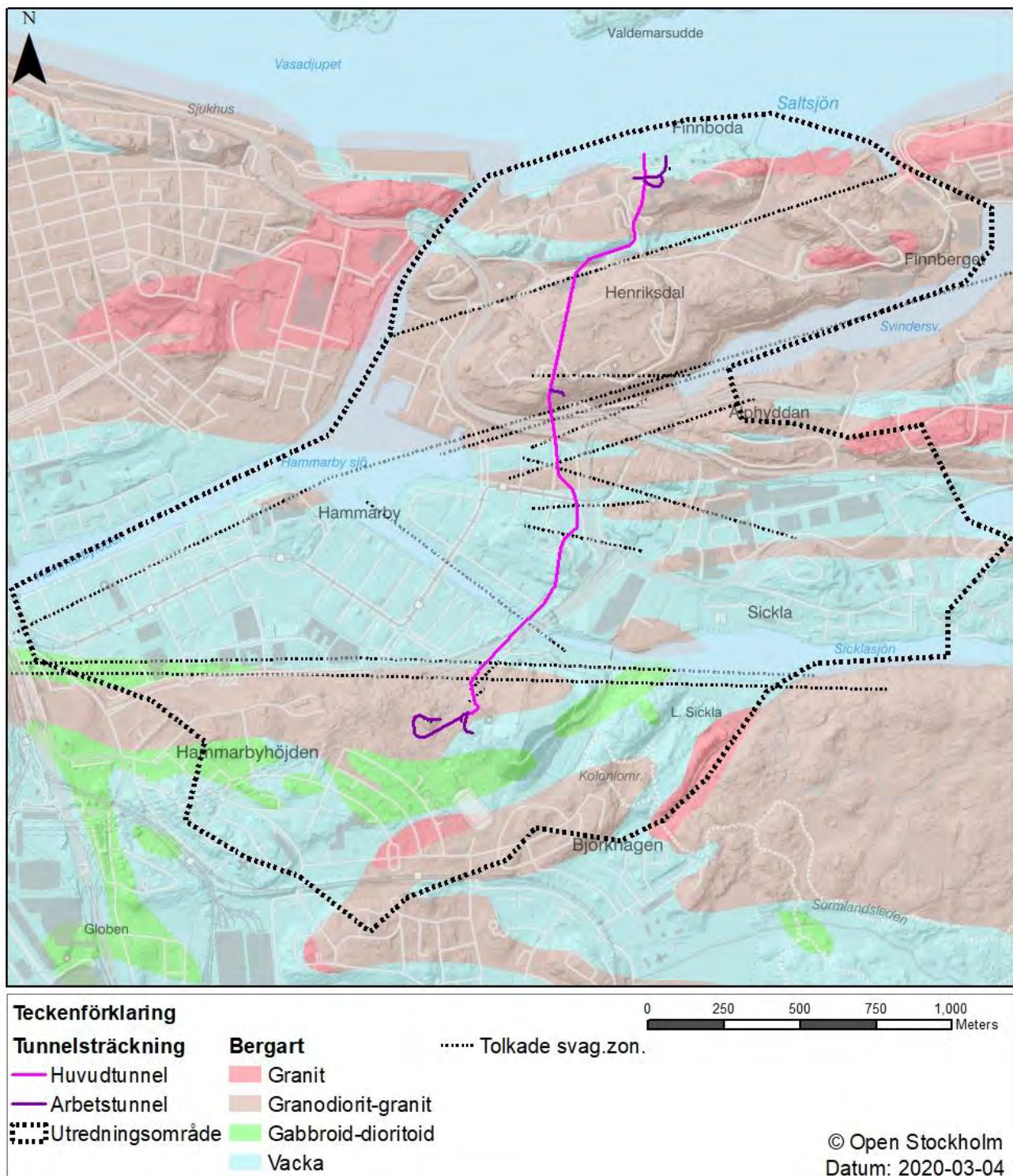
Tabell 1. Fördelning av bergkvalité längs sträckan.

BFK	Byggkvalité	Q	Andel
(A)B	God	10 - 40	33%
C	Acceptabel	4 - 10	59%
D	Dålig	1 - 4	7%
E	Mycket dålig	0,1 - 1	1%

8.5.1 Svaghetszoner

Stockholmsområdet genomkorsas av större morfologiskt framträdande linjer i terrängen, (s.k. lineament). Dessa lineament är indikatorer på tektoniska zoner, s.k. svaghetszoner i berggrunden, vilka främst påträffas i svackor i terrängen. En deformationszon är en svaghetszon utefter vilken berggrunden på ömse sidor av zonen har rört sig i förhållande till varandra. Ett flertal förmodade deformationszoner förekommer inom området, främst i nordväst-sydöstlig och nordost-sydvästlig riktning.

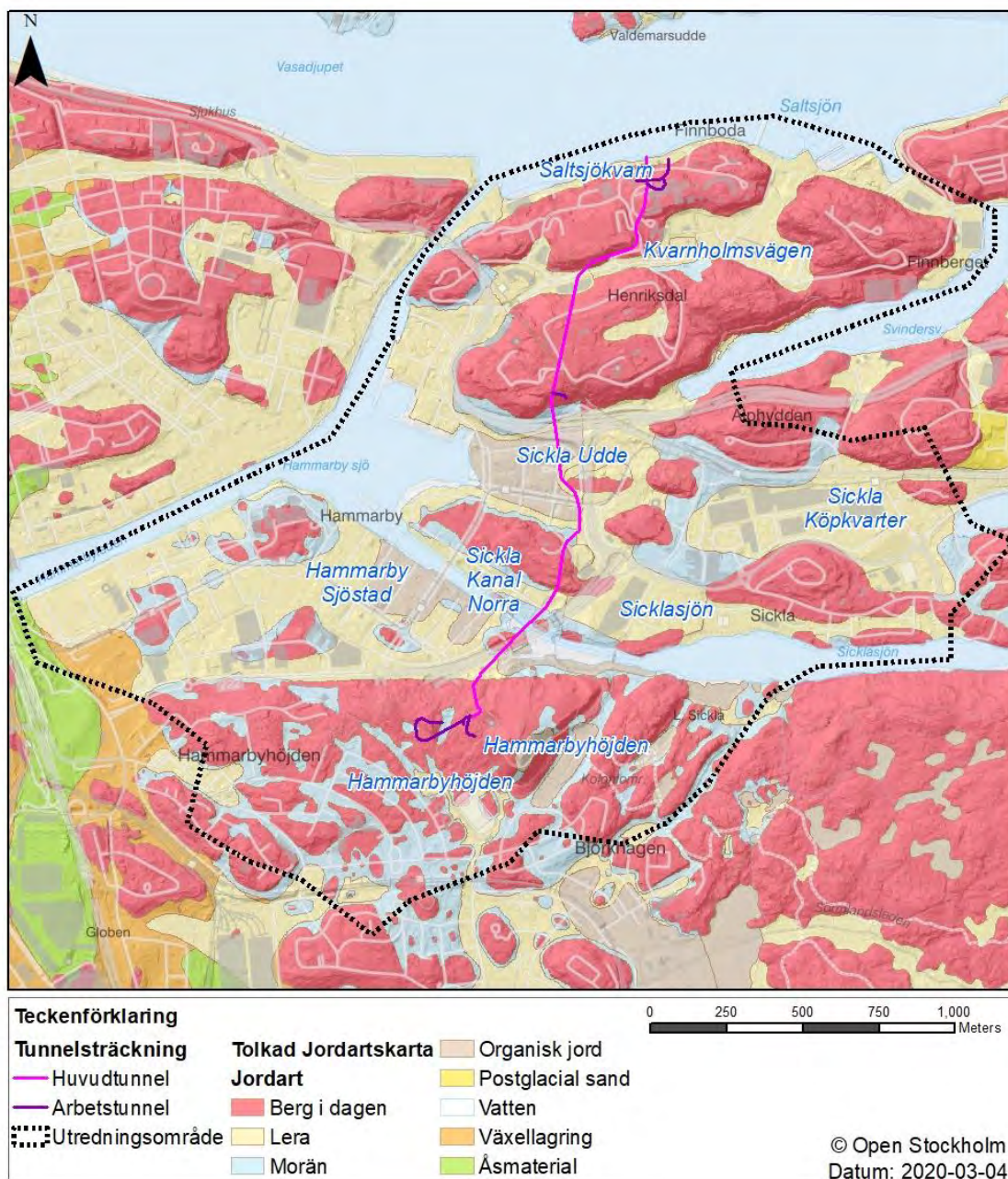
Kartering av svaghetszoner har skett med hjälp av befintligt underlag och fältkartering. Svaghetszoner som identifierats inom utredningsområdet redovisas i figur 8 tillsammans med bergart.



Figur 8. Berggrundskarta karterad av SGU.

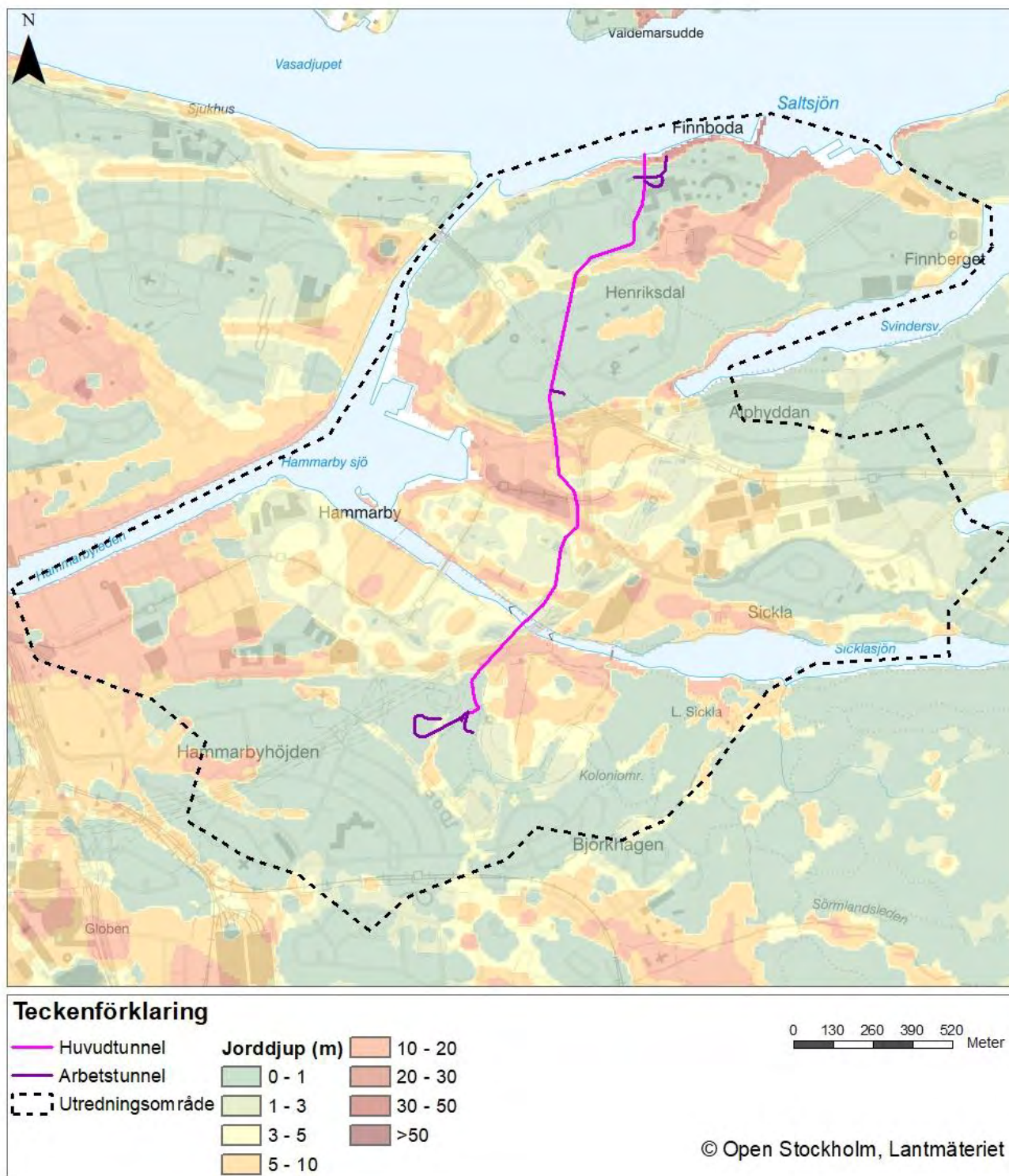
8.6 Jordlager och jorddjup

Då utredningsområdet för Nya Östbergatunneln sträcker sig över både Stockholm och Nacka kommun täcks ungefär halva området av Stockholm stads byggnadsgeologiska kartan och halva av enbart SGU:s jordartskarta som i vissa avseenden är mindre detaljerad. Då stora områden saknade tolkning av jordlagren under fyllningen har en mer detaljerad jordartskarta tagits fram inom projektet. Denna jordartskarta är en sammanvägning av den byggnadsgeologiska kartan, SGU:s jordartskarta samt information från geotekniska sonderingar som inhämtats från arkiv inom projektet och från geotekniska undersökningar som utförts inom projektet. Totalt hämtades 2784 st. sonderingspunkter som användes i arbete med den tolkade jordartskartan samt jorddjupskartan. Marken utmed aktuell tunnelsträckning utgörs till stor del av fastmarkspartier med morän och ytnära berg, men även partier med mäktiga lerlager förekommer, främst vid Kvarnholmsvägen och Sickla Udde, se figur 9.



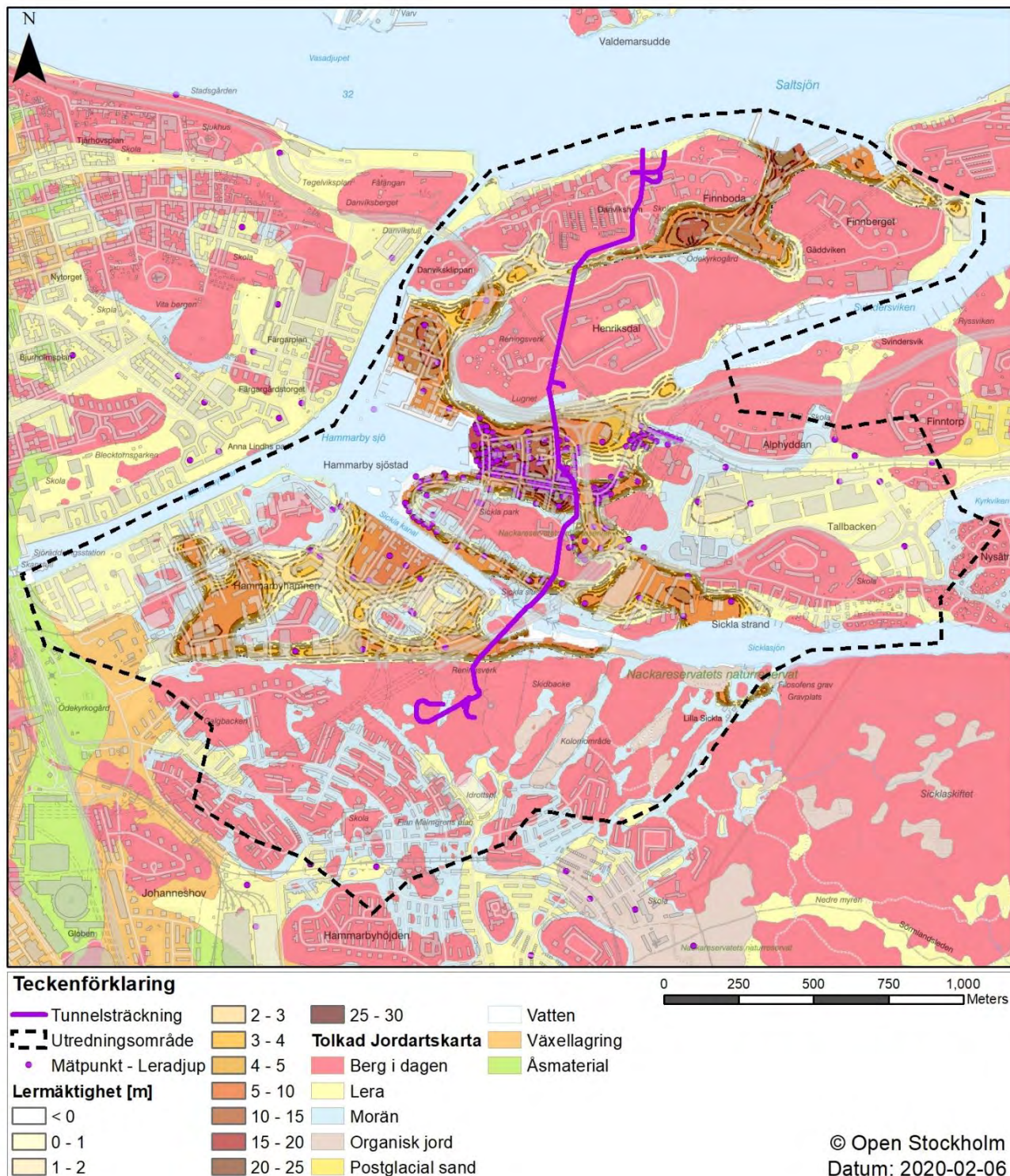
Figur 9. Jordartskarta, tolkade svaghetszoner och tunnelstäckning.

Jorrdjupet är baserat på SGU:s jorrdjupsmodell och geotekniska undersökningar, se figur 10. Där jorrdjupet är större, 3–5 meter, är det möjligt att det förekommer ett undre magasin inom lerområden. Om så är fallet är sådana eventuella magasin mer sannolikt punkterade av byggande i den urbana miljön och att betrakta som läckande magasin. Vid större jorrdjup, 7–15 meter, är det mer sannolikt att det förekommer en indelning i övre magasin samt undre slutet magasin inom lerområden. Områden med mycket stora jorrdjup, 15–20 meter, förekommer inom utredningsområdet vid Sickla Udde och Kvarnholmsvägen.



Figur 10. Tolkad jorrdjup utifrån stort antal undersökningspunkter.

Ett stort antal borrhningar i olika projekt har sammanställts tillsammans med data från Stockholm stads byggnadstekniska karta. Från dessa har punkter med känd mäktighet på leran tagits fram (totalt 214 st.) och en yta har interpolerats, se figur 11. Flest kända punkter finns i Sickla park och en del söder ut mot Hammarby sjöstad. Med hjälp av denna information har mäktigheten på leran kunna bedömas. Inom områden där det inte finns data på lerdjupet har en uppskattning gjorts utefter information om det totala jorddjupet. Då stor del av områdena är bebyggda har det antagits att det förekommer utfyllnad (ca 1 meter) över samtliga lerområden.



Figur 11. Beräknad och bedömd mäktighet av lera över området tillsammans med använda mätpunkter.

8.6.1 Geotekniska förhållanden

Anläggande av Nya Östbergatunneln kommer resultera i en påverkan på grundvattennivåerna längs med tunnelsträckningen. Om det undre grundvattenmagasinet sänks av kan det medföra en tryckminskning i förekommande ovanliggande lera. När porttrycket i lera sjunker minskar dess volym och risk för marksättningar finns, vilket kan medföra skador på byggnader och infrastruktur. I bilaga G5 PM Sättningar behandlas beräkningar av sättningar som kan orsakas av grundvattensänkningar inom influensområdet. Huvudsyftet med sättningsberäkningarna är att uppskatta sättningsarnas storlek samt att utgöra underlag för att beskriva och bedöma hur lerområden kan komma att påverkas av en grundvattensänkning till följd av planerad grundvattenbortledning i Nya Östbergatunneln.

Marksättningar är tidsberoende och även små sättningar kan pågå under lång tid, upp till 100 år. Sättnings storlek och tidsberoende varierar med såväl jordens egenskaper, såsom förekomst av sand- och siltskikt, lerans mäktighet och grundvattensänkningens storlek och varaktighet. Generellt är lerans sättningsbenägenhet mindre vid randzonerna och ökar mot de delarna av lerfyllda svackor där lermäktigheterna är större. Den totala sättningsberäkning beror också av lerans mäktighet.

Inför beräkningarna har jordens egenskaper utvärderats och sammanställts från fält- och laboratorieförsök för respektive undersökningspunkt. Beräkningar har utförts för olika mäktigheter på lerlagret och jordens egenskaper har antagits variera med lerdjupet utifrån resultat och förhållanden vid respektive undersökningspunkt. I verkligheten kan jordens egenskaper skilja sig mellan olika lermäktigheter, exempelvis kan tunnare lerlager oftast antas ha fördelaktigare sättningssegenskaper än lerlager med större mäktighet.

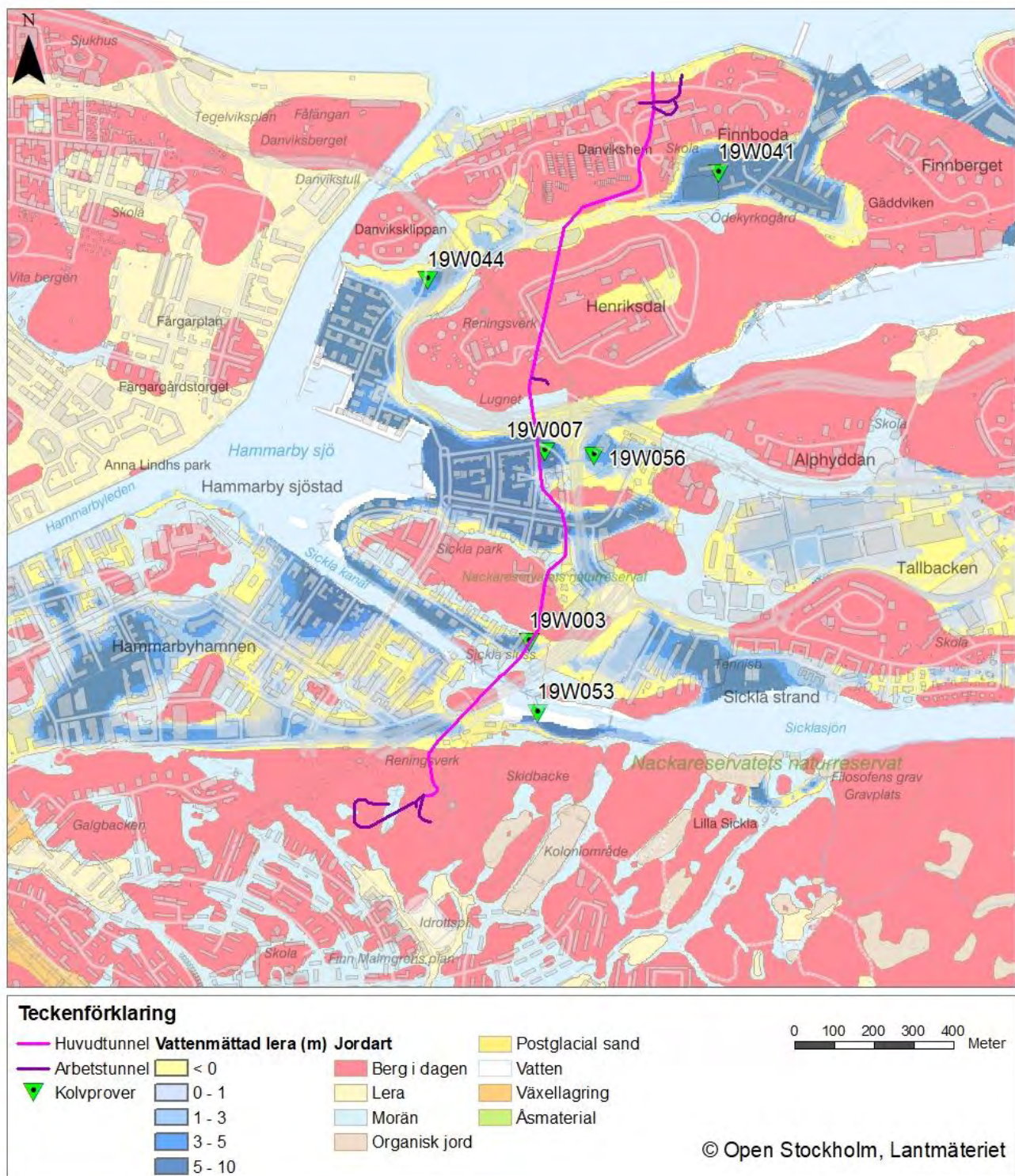
Sättningsberäkningar har utförts med beräkningar som baseras på Chalmersmodellen, beräkningarna har tagit hänsyn till krypsättningar, se bilaga G5 PM Sättningar.

Beräkning av sättningsrisk har utförts för 0,3 meters, 1 meters och 3 meters antagen grundvattentrycksänkning i undre magasin under lera. Beräkningar har även utförts för 0 meters avsänkning vilket representerar befintliga förhållanden. Beräkningarna har utförts för olika tidsintervaller från 1 till 100 år med en antagen maximal byggtid om 5 år.

För att en grundvattensänkning ska kunna ge sättningar krävs att leran har ett grundvattentryck som kan ändras i första början. Eftersom det förekommer ett antal stora och mindre anläggningar i berg i området längs tunnelsträckningen har grundvattennivån redan påverkats. Detta betyder att det redan idag finns områden där grundvattentrycket i undre magasin ligger under lerans underkant, dvs leran torkar redan idag ut. I sådana områden kan inte en ytterligare grundvattensänkning ge ytterligare sättningar. Denna metod används för att bedöma risk för sättnings i områden utan kolvprover.

Genom att kombinera grundvattennivån i magasin och lerans underkant kan en yta tas fram som motsvarar hur högt upp i leran grundvattennivån står idag. Grundvattennivån som har använts är hämtad från den kalibrerade modellen vilket motsvarar den bästa möjliga bedömningen av grundvattennivån. Lerans underkant följer av den interpolerade ytan för lerans mäktighet, vilket bygger på uppmätta lermäktigheter.

Resultatet från detta ses i figur 12, där grundvattennivån ligger under lerans underkant (gula områden) kan ingen ytterligare grundvattensänkning ge sättningar eftersom leran redan är torr. I de blåa områden där leran är vattenmättad kan en grundvattensänkning ge sättningar, dess storlek beror på avsänkningens storlek, lerans mäktighet och lerans känslighet.



Figur 12. Bedömd mäktighet av vattenmättad lera och jordarter.

8.7 Hydrogeologiska förhållanden

8.7.1 Grundvattenmagasin

Grunden för den hydrogeologiska konceptualiseringen är uppdelningen av olika grundvattenmagasin som begränsas av olika geologiska formationer. För Stockholmsområdet generellt, liksom längs aktuell sträcka, har geologin och grundvattenmagasinen påverkats av mänsklig aktivitet i sådan grad att systemen uppför sig annorlunda än motsvarande naturliga områden. Översta jordskiktet består ofta av fyllnadsmaterial av olika slag, under fyllnaden finns oftast lera i dalgångarna medan leran och fyllningen avtar länge upp i topografin. I fyllningen finns ofta lokala grundvattenmagasin, många gånger är dessa inte bestående året runt även om det förekommer. Leran under fyllningen hindrar till stor del vattnet att infiltrera.

I de områden där det inte förekommer grundvatten i översta delen av leran är leran överst mer uttorkad och kallas oftast torrskorpelera. Detta skikt är även oftast påverkat utav växtlighet och marklevande organismer vilket gör leran mer uppsprucken än djupare liggare lera och vatten från nederbörd kan lättare tränga ner i översta delen av marken.

Under leran finns ett friktionsjordlager, ofta bestående av morän. Moränen är liksom övriga lösa jordar i Stockholmsregionen bildad under den senaste istiden och består av en stor blandning av jordfraktioner. Moränen kan oftast transportera och hålla grundvatten varvid ett undre magasin bildas där leran över moränen fungerar som ett lock. Under moränen återfinns berget som har varierande genomsläpplighet, främst beroende på förekomst av vattenförande sprickor. Det yligaste berget är generellt sett mer uppsprucket än det djupare urberget. Genomsläppligheten i berg brukar sedan generellt minska med djupet.

Eftersom leran är förhållandevis tät och till stor del hindrar vatten från att tränga igenom skapas ett undre magasin som enbart har kontakt med atmosfären där friktionsmaterialet går i dagen, vilket oftast sker i randområden av höjder. Dessa zoner kallas randzon och är det området där den största delen av grundvattenbildningen till de undre magasinerna förkommer. Dessa zoner är viktiga områden för påfylla av grundvatten till undre magasin, samt reglerande över vilken trycknivå som kan uppstå i det undre magasinet.

I urban miljö fluktuerar grundvattennivåerna i det övre magasinet förhållandevis lite med årstider och styrs, förutom av nederbörd, framför allt av tillskott från otäta VA-ledningar och bortledning via dränerande stråk (i huvudsak hus- och vägdränering samt otäta VA-ledningar, inklusive kringfyllnad i ledningsgravar). Grundvattennivån i öppna magasin i berg och moränområden (oftast höjder) har däremot en förutsebar större årstidsfluktuation. Det undre magasinet står ofta i kontakt med grundvatten i underliggande bergsprickor varför även grundvattennivåer i jord kan påverkas av undermarksanläggningar förlagda i berg.

Läckage genom lera utgör normalt ett mycket litet tillskott till undre magasin likaså utgör läckage genom berg till undre magasin vanligen ett mindre tillskott för magasin med måttlig areell utbredning. Strömning genom friktionsjord i randzoner mellan jord och berg utgör normalt det dominerande tillskottet. Dock är det den hydrauliska gradienten som, tillsammans med vattengenomsläppligheten, bestämmer tillskottets storlek. Om en trycksänkning sker i det undre grundvattenmagasinet så ökar den hydrauliska gradienten och därmed grundvattenströmningen. Således ökar tillskottet till det undre magasinet från omgivande berg och övre magasin om trycknivån i det undre magasinet sänks, vilket då kan kompensera för läckaget.

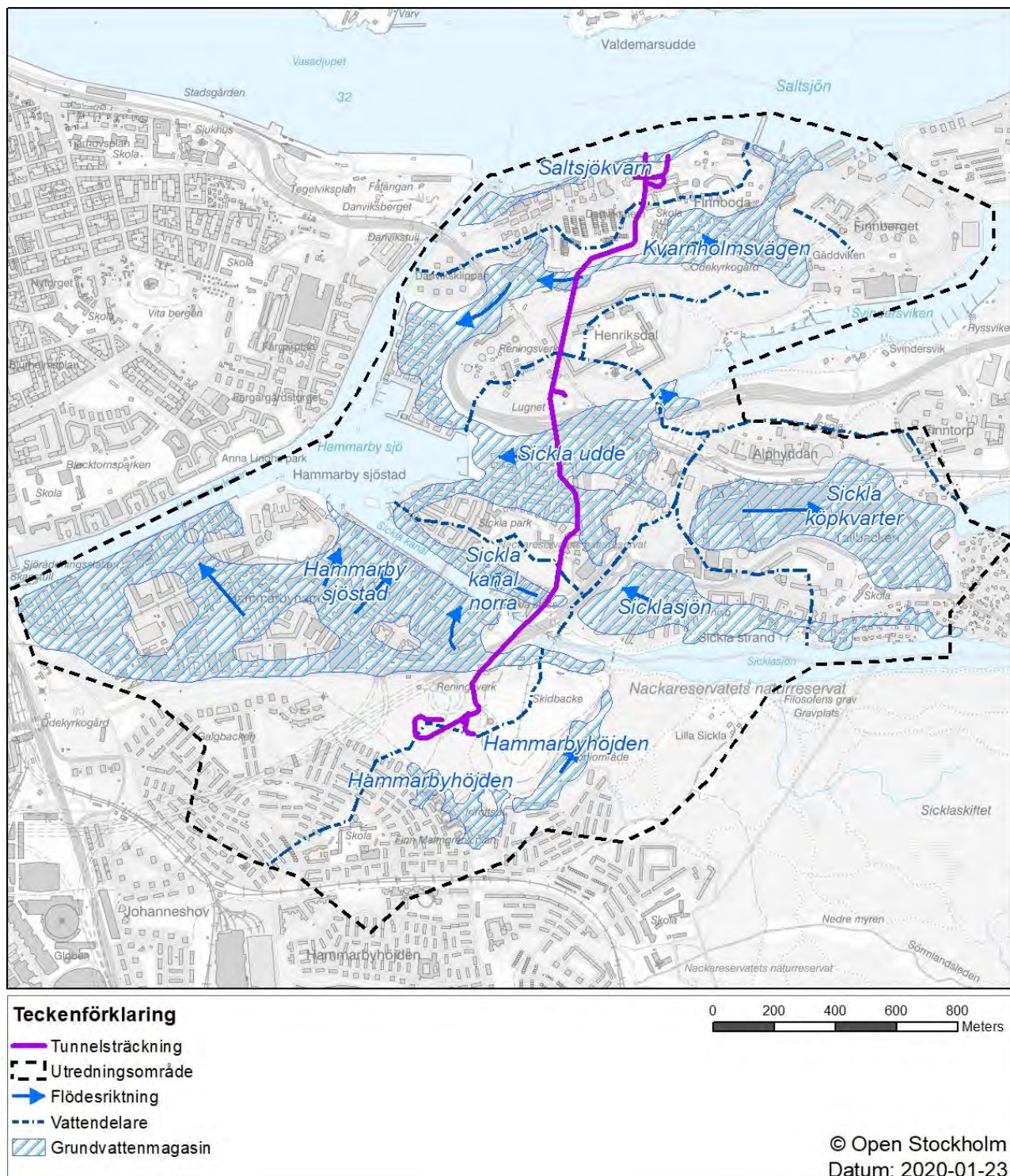
Nybildningen av grundvatten i den urbana miljön påverkas normalt inte av trycksänkningar då denna är knuten till storlek på nederbörd, infiltrationskapacitet knuten till hårdgörningsgrad samt läckage från VA-system.

Strömningsriktningar bestäms av grundvattendelare vilka generellt ligger på höjdområden, särskilt då dessa utgörs av bergshöjder med ringa jorddjup. Flödet går från grundvattendelare mot utströmningsområdet vilket till stor del är Hammarby Sjö, Saltsjön och vikar runt området.

Grundvattenmagasinens (slutna undre magasin) utbredning och avgränsning har bestämts genom att studera jordartskarta, jorddjupskarta, tidigare utförda borrhningar, samt genom erhållna resultat från nya sonderingsborrhningar. Grundvattennivåer har mätts i grundvattenobservationsrör. Utifrån

grundvattenmätningarna, topografi, jorddjup och sonderingar har grundvattnets flödesriktning och grundvattendelare bestämts.

I figur 13 visas en översikt över de undre grundvattenmagasin som identifierats inom utredningsområdet, vattendelare och strömningsriktning.



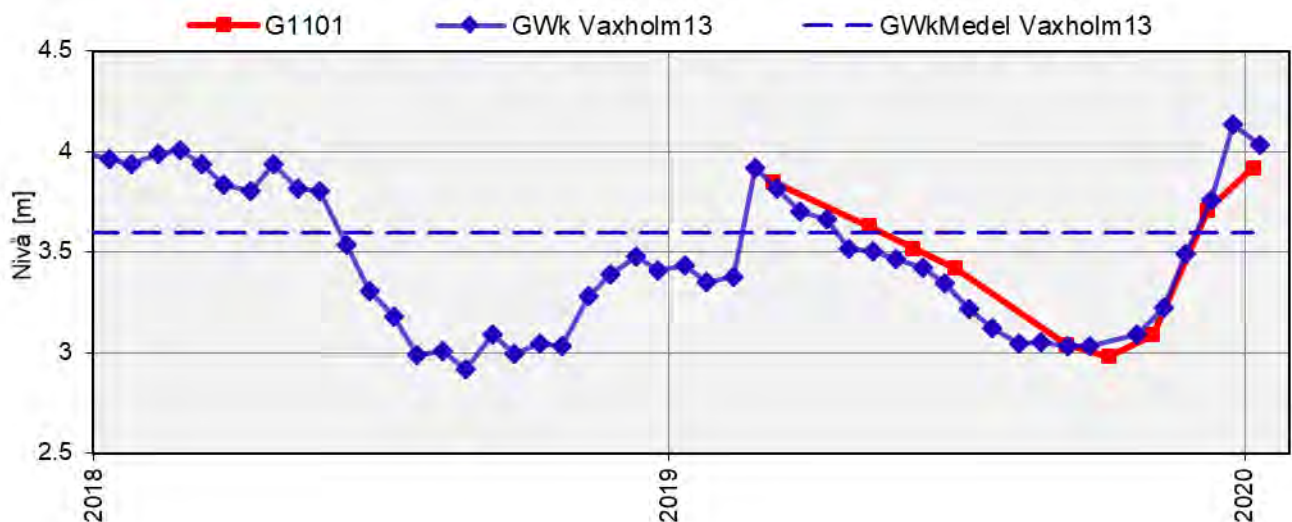
Figur 13. Grundvattenmagasin (slutna undre magasin) och vattendelare inom utredningsområdet.

8.7.2 Grundvattennivåer

Grundvattennivåerna skiljer sig mycket inom utredningsområdet. Grundvattenbildningen och topografin varierar inom utredningsområdet och vissa grundvattenmagasin ligger på höjder medan andra ligger i lågpunkter. Grundvattennivåer och strömningsmönster beskrivs detaljerat i kapitel 11.

Eftersom det inom projektet har mätts grundvattennivåer under en begränsad period utfördes en samvariationsanalys med referensrör från SGU:s grundvattennät. Samvariationsanalysen har i sin grund i en passning av ett referensrör mot ett prognosrör. Valet av referensrör görs utifrån hur väl referensrörets tidsserie kan anpassas mot tidsserien för prognosröret. Vid passning görs en tidsförskjutning av referensröret samt en justering av dess amplitud och absolutnivå. Tidsserien hos det anpassade referensröret kan sedan användas för att analysera fluktuationer och långtidsmedelvärden och därmed skapa sig en uppfattning om hur representativa inmätta grundvattennivåer under mätprogrammets skede varit. Beräknade representativa medelgrundvattennivåer har använts som kalibreringsmål vid modellering inom projektet.

I figuren nedan visas ett exempel på passning där uppmätt medelvärde ligger relativt nära beräknade från samvariationsanalysen, dvs uppmätt tidsserie är representativ.



Figur 14. Exempel på passning mellan ett grundvattenrör inom området (G1101) och ett referensrör (Vaxholm 13), där referensrörets amplitud, absolutbelopp och mättillfälle förskjuts för att passas mot grundvattenröret.

9. Förebyggande skyddsåtgärder

Det finns ett flertal skyddsåtgärder som kan användas för att minska den påverkan på grundvattennivåer som anläggningen kan innebära samt åtgärder för att minska konsekvenserna av denna påverkan. De förebyggande skyddsåtgärder som är aktuella för Nya Östbergatunneln beskrivs nedan.

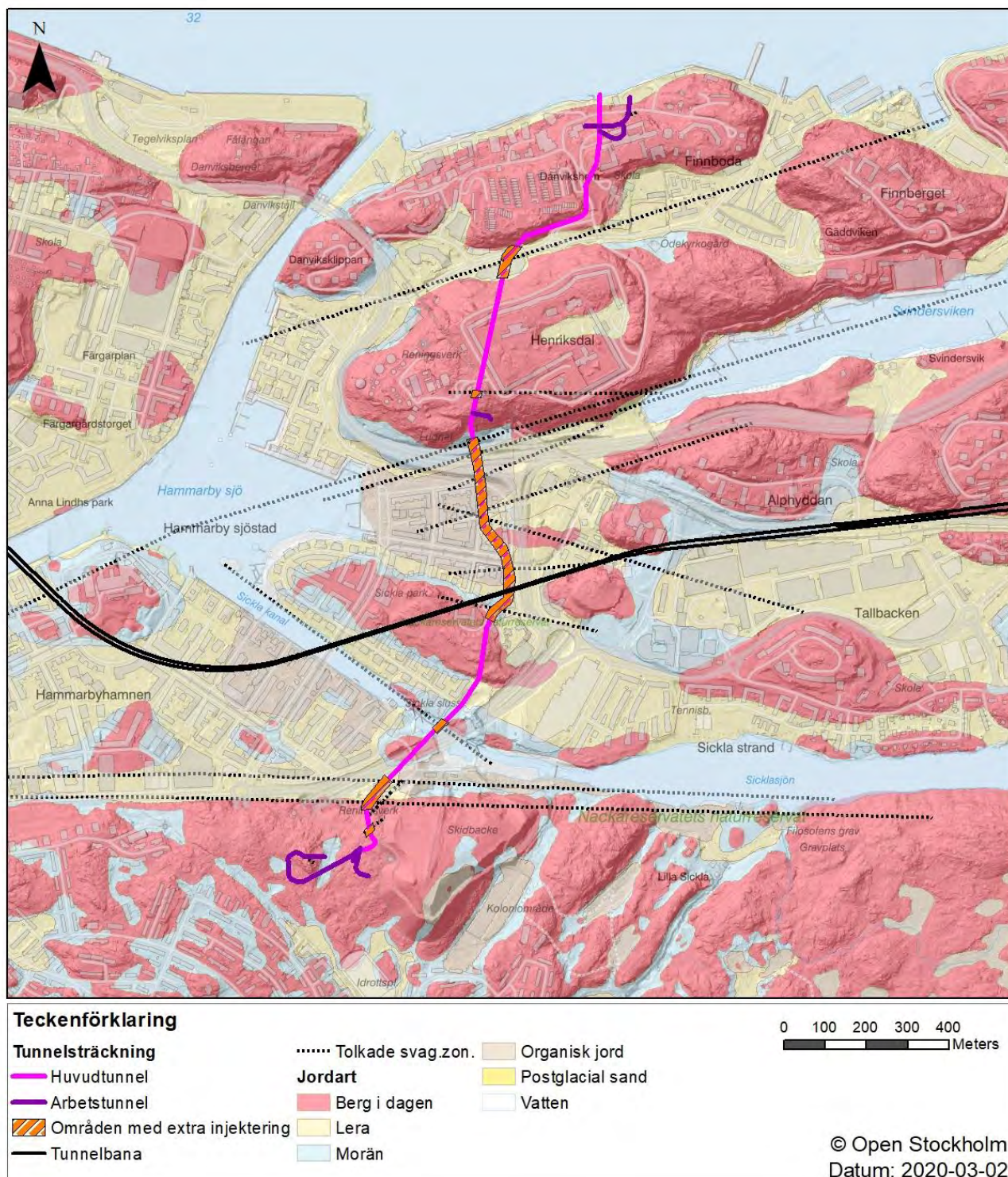
9.1 Val av tunnelsträckning

Den viktigaste skyddsåtgärden som projektet genomfört är valet av tunnelsträckning. Även om vissa tekniska förutsättningar har varit givna har tunnelsträckningen valts med omsorg för att begränsa omfattningen av de konsekvenser som uppstår till följd av anläggandet av tunneln. I möjligast mån har områden med energibrunnar undvikits. Längs med planerad tunnelsträckning har det utförts geologiska undersökningar och omfattande inventering av befintligt underlag (geologiska kartor, tidigare undersökningar, underlag från andra tunnlar i området etc.), samt geotekniska sonderingar.

Inventering av markförhållanden ovan tunneln har utförts. Inventeringen omfattar jordarnas egenskaper, mäktighet samt rådande grundvattenförhållanden. Detta innebär att det finns tillräckligt med kunskap om de rådande hydrogeologiska förhållandena för att kunna bedöma förutsebar grundvattenpåverkan.

9.2 Tätning genom injektering

Tätningen kring tunneln kommer att utföras på olika sätt beroende på täthetskrav, bergets geologiska egenskaper och uppmätta inläckage. Injektering kan utföras i 2 st. olika s.k. klasser, injekteringsklass 1A och 1B. Injekteringsklass 1B innebär en tätare tunnel än injekteringsklass 1A och utförs således där ett hårdare funktionskrav ställs. Injekteringsklasserna beskrivs utförligare i den Teknisk beskrivningen. I figur 15 visas de områden där en injekteringsklass 1B bedöms behöva användas, resterande sträcka motsvarar bedömd injekteringsklass 1A.



Figur 15. Identifierade områden för injekteringsklass 1B längs tunnelsträckningen, områden med extra injektering.

9.3 Tätning genom betonglining

Där tunneln inte går att få tillräckligt tät och där omgivande leror är sättningsskänsliga kan en tät betonginklädnad av tunneln bli aktuell, så kallad lining. Inklädnaden gjuts mot berget och ger en helt tät tunnel.

Lining beskrivs i mer detalj i den Teknisk beskrivningen och kommer att utföras vid passage över planerad tunnelbana, då för att förhindra in- och utläckage samt eventuell lukt.

9.4 Skyddsinfiltration

För att upprätthålla grundvattennivåerna i områden med byggnader eller konstruktioner med grundvattenberoende grundläggning kan skyddsinfiltration användas, se den Teknisk beskrivning för detaljerad beskrivning. Skyddsinfiltration är en, i Stockholmsområdet, väl beprövad metod som kan användas för att hålla uppe grundvattennivåer lokalt kring enskilda byggnaders trägrundläggning, eller för att upprätthålla grundvattennivåer inom större områden för att undvika marksättningar. Beredskap för skyddsinfiltration kommer finnas i extra känsliga områden. Infiltrationen kan göras temporärt under byggtiden eller permanent. För detta projekt bedöms permanent skyddsinfiltration inte behövas då tunneln, vid idrifttagande fylls med vatten varvid inläckaget minskar avsevärt.

9.5 Strategi avseende skyddsåtgärder och kontroll

För den aktuella tunneln är det i första hand byggnader, anläggningar och större ledningar i sättningskänsliga lerområden samt energibrunnar som skulle kunna påverkas negativt av en grundvattenavsänkning.

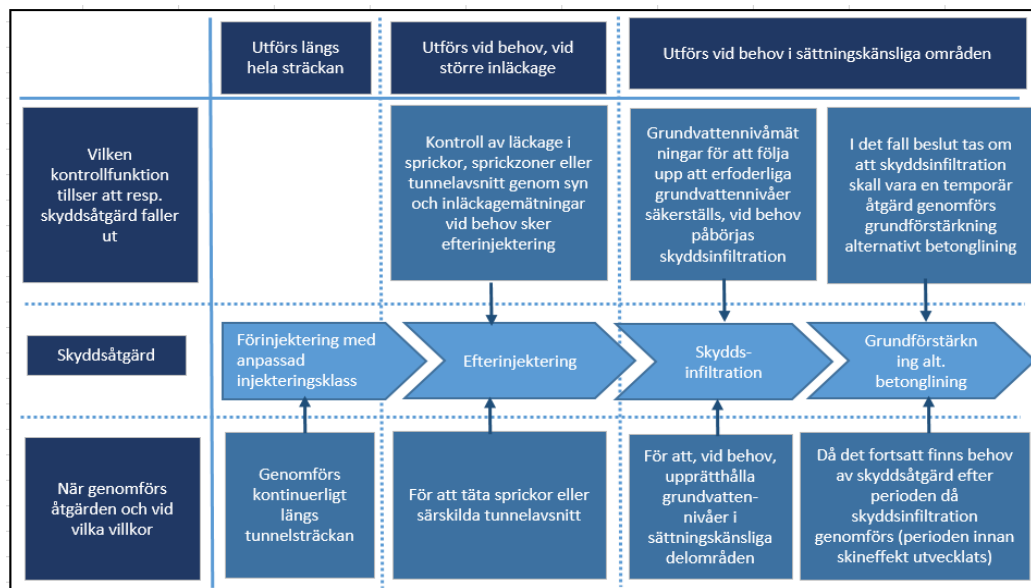
För tunneln kommer de tekniska skyddsåtgärder som beskrivs ovan att nyttjas för att säkerställa att ingen oacceptabel grundvattennivåförändring erhålls till följd av anläggandet av tunneln, eller att grundvattenavsänkning sker utanför påverkansområdet. Dessa skyddsåtgärder är:

- Kontinuerlig förinjektering
- Efterinjektering
- Temporär skyddsinfiltration
- Permanent skyddsinfiltration
- Betonglining
- Grundförstärkning (för att motverka potentiell skada)

Kontinuerlig mätning av inläckande grundvatten utförs under och efter utsprängning av tunneln.

Inläckagemätningen blir en funktionskontroll för att verifiera att injekteringen blir tillräckligt god.

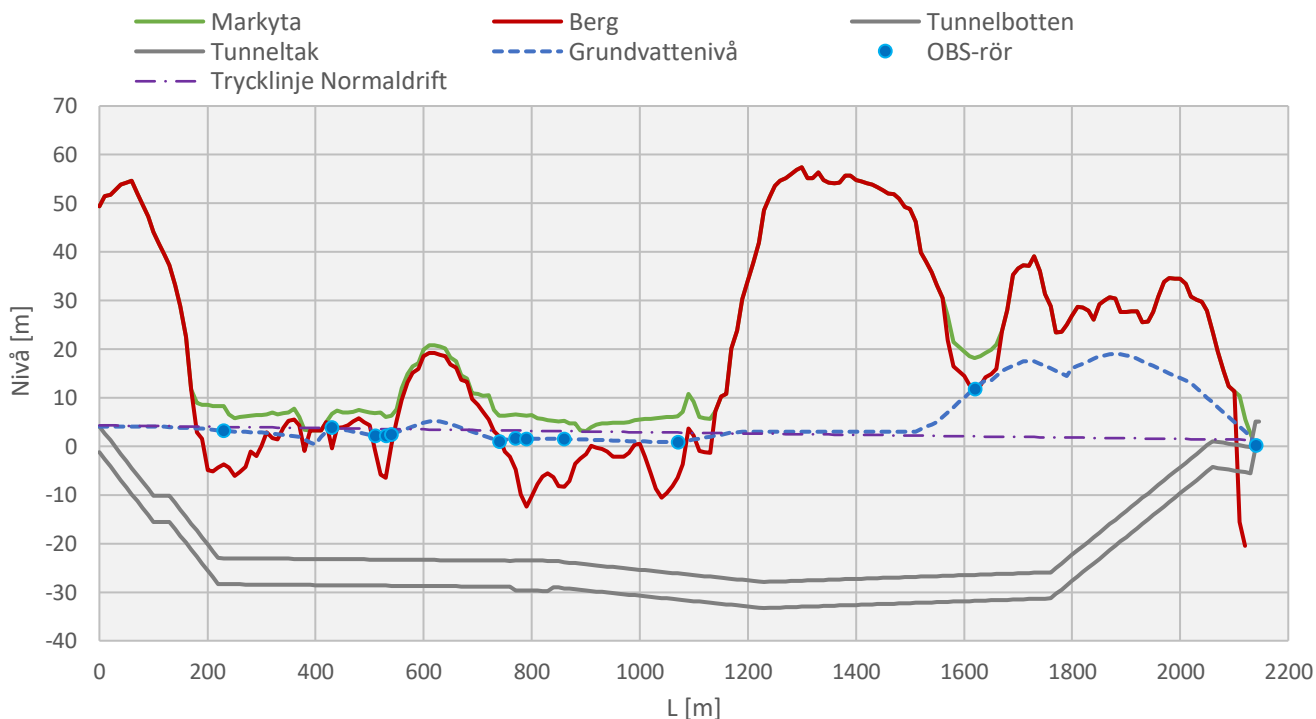
Grundvattennivåmätningar sker i observationsrör sedan mars 2019 och kommer att kompletteras för att följa upp grundvattennivåavsänkningar. Utöver detta kommer avvägning ske av dubbar som placeras på byggnader inom särskilt sättningskänsliga områden, detta för att följa upp eventuella pågående sättningar och ytterligare sättningar till följd av anläggandet av tunneln. Grundvattennivåmätningar i sättningskänsliga områden likväl som inläckagemätningar kommer i första hand att nyttjas som verktyg för beslut om skyddsinfiltration och eventuellt anläggande av betonglining och/eller grundförstärkning samt uppföljning av Mark- och miljödomstolens dom med villkor för verksamheten. Strategi för tillämpning av skyddsåtgärder åskådliggörs i figur 16 nedan.



Figur 16. Strategi för skyddsåtgärder.

10. Tunnelns grundvattenpåverkan

När tunneln anläggs kommer inläckande grundvatten att pumpas bort för att kunna genomföra arbetet. Därmed skapas en avsänkning av grundvattennivån i närheten av tunneln. När tunneln är i drift är den fylld av vatten varvid påverkan på omgivningen blir betydligt mindre än under byggskedet. Trycknivån inne i tunneln under driftskedet är längs stor del av sträckan i princip den samma som grundvattennivån, se figur 17. I vissa delar är trycknivån högre i tunneln i drift än grundvattennivån varvid ett litet utläckage är att vänta.



Figur 17. Profillinje mellan tunnelns djup, grundvattenytans läge samt trycknivån i tunneln vid drift.

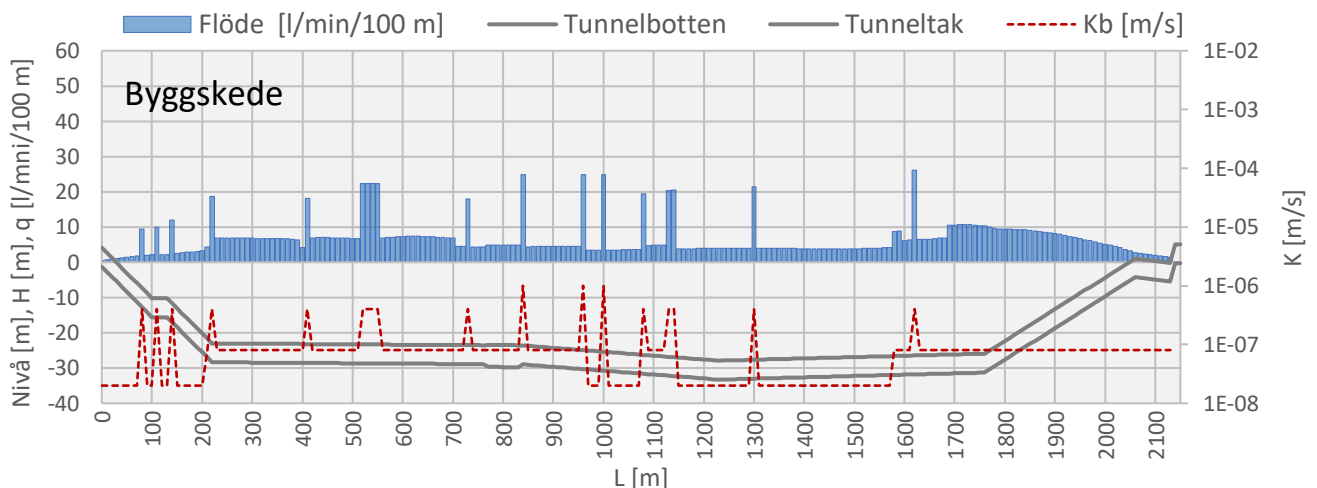
10.1 Beräknat inläckage

I beräkningsbilagan redovisas beräkningar av inläckage till tunneln och beräkningar av influensområdet i anläggs- och driftskedet, där bl.a. berggrundens och jordlagrens uppskattade vattenförande förmåga, grundvattnets trycknivåer ovan tunneln och grundvattenbildning ingår som underlag.

Vid beräkning av inläckage i tunneln har en numeriska modeller använts. Beräknat inläckage till anläggningen i byggskedet visas i tabell 2 och figur 18. För driftskedet presenteras motsvarande i tabell 3 och figur 19. Här redovisas varje arbetstunnel separat, för mer information om tunnarna se den tekniska beskrivningen.

Tabell 2. Beräknat inläckage i anläggningen – anläggningsskede.

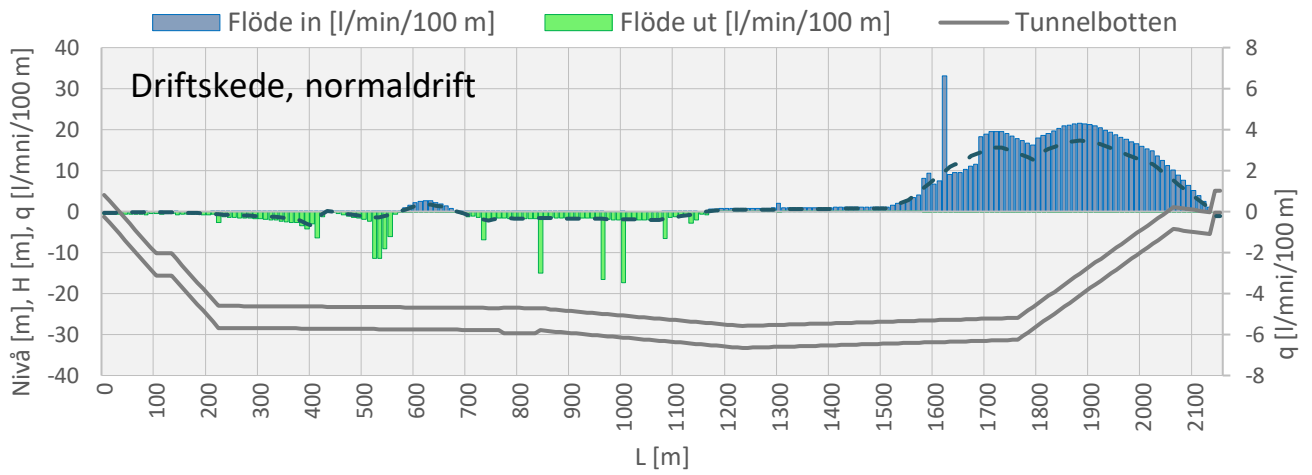
Parameter / Tunnel	NÖT01	NÖT21	NÖT22	NÖT23	NÖT24	NÖT33	Totalt
Längd [m]	2146	336	157	95	88	50	2872
Q_{tot} [l/min]	139.8	0.1	4.3	2.3	0.0	2.4	148.9
q_{medel} [l/min/100 m]	6.5	0.0	2.7	2.4	0.0	4.7	5.2
q_{max} [l/min/100 m]	26.1	0.4	5.3	3.1	0.0	4.1	26.1
q_{min} [l/min/100 m]	0.5	0.2	0.7	1.7	0.0	3.8	0.2



Figur 18. Bergäknat inläckage längs sträckan under byggskedet, här ses även bedömt K-värde för berget. Där K-värdet är högre (sprickzon) är också läckaget högre.

Tabell 3. Beräknat inläckage i anläggningen – driftsskede.

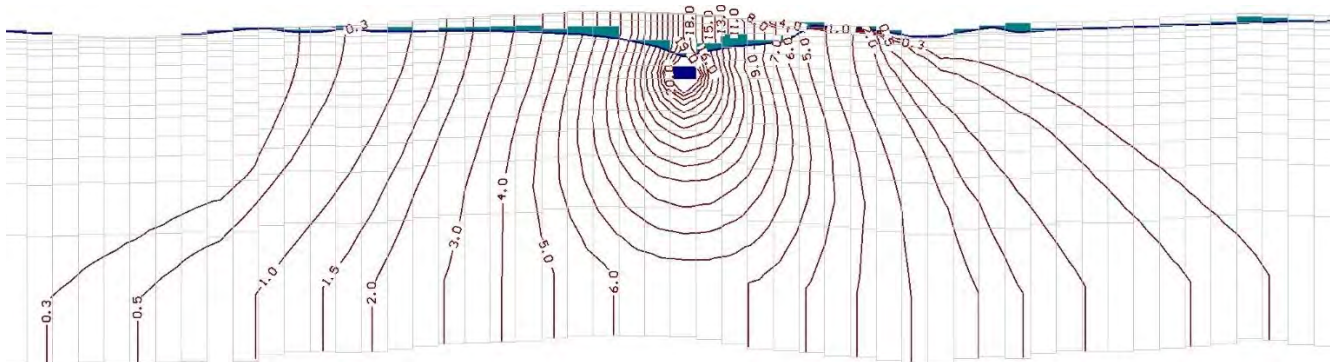
Parameter	NÖT01in	NÖT01ut	NÖT21	NÖT22	NÖT23	NÖT24	NÖT33	Tot in	Tot ut
Totallängd [m]	2146	2146	336	157	95	88	50	2872	2872
Q_{totalt} [l/min]	18.3	-4.9	-0.1	4.3	2.1	0.0	0.1	24.8	5.0
q_{medel} [l/min/100 m]	0.9	-0.2	0.0	2.7	2.2	0.0	0.2	0.9	0.2
q_{max} [l/min/100 m]	6.6	0.0	-0.1	5.3	2.4	0.0	0.2	-	-
q_{min} [l/min/100 m]	0.0	-3.5	0.0	0.7	1.7	0.0	0.2	-	-



Figur 19. Fördelning mellan förväntat ut- och inflöde längs tunneln i driftsskede.

10.2 Generell grundvattenpåverkan i berg

Grundvattentrycknivåerna runt en tunnel varierar beroende på vilket djup som trycket mäts på samt avståndet från tunneln. Figur 20 nedan visar hur trycksänkningen i berg principiellt ser ut runt en tunnel.



Figur 20. Principavsänkning runt en tunnel och hur spridningen av trycksänkningen sker mot djupet och i sidledes. Här ses att tex 0,3 påverkan sprider sig längre ut i djupare berglager än ytliga.

En sänkning av grundvattentrycknivån i berg kan påverka befintliga anläggningar i berget, så som t.ex. bergborrade energibrunnar, andra tunnlar eller bergrum av olika slag. De anläggningar som har identifierats som känsliga för en grundvattentrycksänkning i berg inom påverkansområdet är energibrunnar, då det i djupt berg, i princip, är bara enskilda brunnar i berg som potentiella motstående intressen.

En sänkning av grundvattentrycknivån i berg kan leda till avsänkning av vattennivån inne i en energibrunn. Om vattennivån i energibrunnen sänks av kan det leda till ett minskat möjligt energiuttag ur energibrunnen. Värmeöverföringen i en energibrunn går från bergmassan till kollektorslangen i brunnen via vattnet. En sänkning av vattennivån i bergvärmebrunnen innebär därför en försämrad värmeöverföring från berggrund till kollektorslang då luft leder värme sämre än vatten. Berget är heterogent och det är inte möjligt att i detalj förutsäga vilken avsänkning som kan uppkomma kring en brunn. En bergborrade brunn är i praktiken endast ett i bergmassan öppet borrhål där det sker en vattenströmning genom borrhålet från sprickor med högre tryck mot sprickor med lägre tryck. En trycksänkning i berget kring en djupare del av ett borrhål leder vanligen till att vattenströmningen genom borrhålet förändras, medan vattennivån inne i borrhålet kan kvarstå oförändrad. Detta då vattennivån oftast korresponderar med trycknivån i ytligare (generellt mer vattengenomsläppligt) berg.

10.3 Generell grundvattenpåverkan i jord

När grundvattnets trycknivå sjunker i berg kan det leda till att även grundvattennivåerna i det ovanliggande jordlagret, som antingen är ett undre slutet grundvattenmagasin eller ett öppet grundvattenmagasin, sjunker. En byggnad, ledning, väg eller annan anläggning som är grundlagt på lera eller på träpålar kan påverkas om grundvattennivån förändras. Påverkan på grundläggning kan i huvudsak ske på två sätt:

- Om grundvattennivån sjunker i det undre grundvattenmagasinet kan det medföra att ovanliggande sättningSkänsliga jordar såsom lera konsolideras och sättningar uppstår. I den urbana miljön finns det många olika objekt som kan vara sättningSkänsliga, hus, ledningar, servisleddningar som går in i byggnader, vägar, järnväg mm.
- En avsänkning i ett övre magasin kan medföra skador på grundvattenberoende grundläggning, exempelvis är trägrundläggning känsligt för luftens syre. Om grundvattensänkningen innebär att tidigare vattenövertäckt trägrundläggning som träpålar och rustbäddar (korsvis anordnade lager av virke som underlag för murverk) hamnar ovanför grundvattenytan medför det att dessa utsätts för luftens syre med följd att trä bryts ner snabbare och sättningar kan uppstå. Inom Nya Östbergatunnelns påverkansområde har endast ett fåtal byggnader i ett begränsat område bedömts kunna vara grundlagda med grundvattenberoende grundläggning.

Alla byggnader, ledningar, vägar eller annan anläggning som finns inom lerområden påverkas inte av grundvattennivåsänkningar. Anledningen till detta är att objekten har en grundläggning som inte är grundvattenberoende, tex pålad till fast botten. Byggnader med en grundläggning som inte är grundvattenberoende kan ha anslutande servisleddningar som är grundvattenberoende. Vidare kan lerjord vara överkonsoliderad och därmed inte sättningbenägen. Om grundvattennivån ligger under lerans underkant är leran redan konsoliderad och ytterligare nivåsänkning påverkar inte lerlagret.

Sättningsförloppet är inte reversibelt, om sättningar uppstår så kommer dessa att bestå. Sättningsförloppen är dock en process som pågår under lång tid, med ett hastigare förlopp i början som sedan avklingar.

Naturområden kan också vara grundvattenberoende. Dock utnyttjar träd och markvegetation främst markvatten. Markvattenhalten är ett mått på markens fuktighet från markytan ner till grundvattnet. Då växterna utnyttjar markvattnet inverkar de även på grundvattenbildningen och avrinningen till vattendrag. Under perioder då marken är torr (oftast under sommarmånaderna) sugs nästan all nederbörd upp och väldigt lite markvatten bildar grundvatten eller avrinning. Växter med rötter som når djupare ner i jordprofilen, i områden där grundvattenytan ligger så pass ytligt att rötterna kan nå kapillärt stigande vatten (kapillärvattenzonen), kan påverkas av en avsänkning av grundvattenytans läge. Om avsänkningen sker hastigt och i kombination med en torrperiod kan växtligheten bli extra känslig. Fleråriga växter anpassar sig vanligen till nya förhållanden inom någon eller några växtsäsonger. Inom Nya Östbergatunnelns påverkansområde sker framför allt en förändring i grundvattennivån i berg och undre magasin varför det enligt ovanstående resonemang inte bedöms finnas en risk för påverkan av naturområden.

Negativa effekter kan uppkomma om inläckande grundvatten för med sig föroreningar som finns i marken. Vidare finns det risk för att ändrade grundvattenförhållanden kring tunneln påverkar eller mobiliserar föroreningar som står i kontakt med grundvattnet.

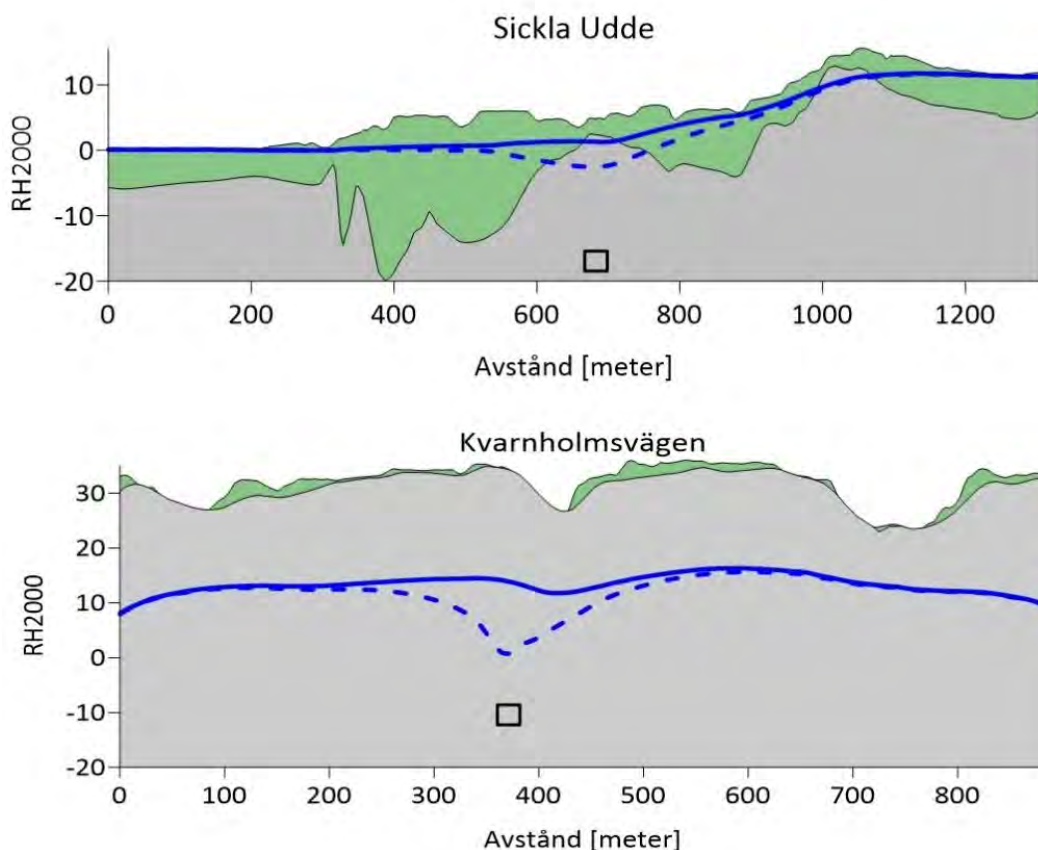
10.4 Nya Östbergatunnelns påverkan på grundvattennivåer

Påverkansområdet för grundvatten i jord och berg avgränsar det område där förutsebar skadlig påverkan på grundvattennivåer kan uppkomma. Dessa områden avser den initiala nivåpåverkan som kan uppkomma som följd av grundvatteninläckage till tunneln i byggskedet. Vål i drift kommer tunneln vattenfyllas varvid trycknivån längs stor del av sträckan kommer vara mycket likt nuvarande grundvattennivå, varvid ingen påverkan sker.

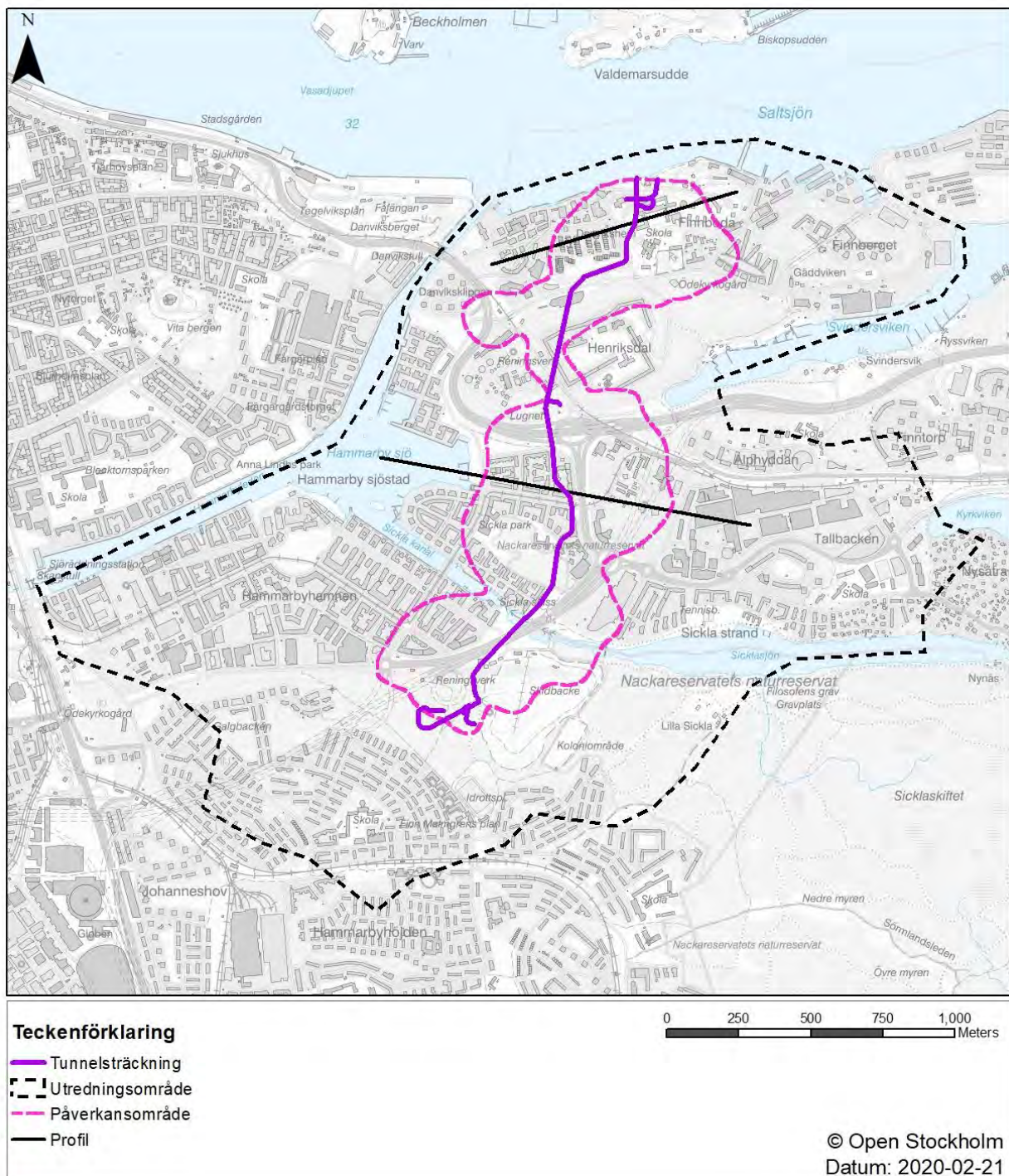
Den sista sträckan när tunneln går under berghöjden mellan magasinerna Kvarnholmsvägen och Saltsjökvärd förväntas ett visst inläckage även under drifttiden, mellan 2 och 4 liter per minut och 100 meter tunneln. Med tiden kommer tunneln naturligt bli tätare efterhand som så kallat *skin* utbildas. Med *skin* avses en process där den vattenförande förmågan i bergets sprickor i omedelbar anslutning till tunneln successivt avtar till följd av spänningsomvandlingar i berget (snabb process), utfällningar och förflyttning av sprickmineral i bergsprickor (långsam process) samt (ibland) även omättat flöde i bergsprickor nära tunnelvägg. Inläckaget kommer också att minska när tunneln vattenfylls [1].

Erfarenheter från den 8 mil långa Bolmentunneln visar på en kraftig minskning i grundvatteninläckage och omgivningspåverkan. Här kan det visas att den kvarstående grundvattensänkning efter ca 10–15 års normaldrift med stor sannolikhet understiger 30% av den initiala påverkan som kunde spåras vid tid för byggnationen. Samtidigt har grundvatteninläckaget till tunneln minskat till mindre än hälften av det initiala [2].

Påverkansområdet redovisas i två profiler i figur 21 och i plan i figur 22.



Figur 21. Avsänkningen i profil, marknivå, bergövertya, grundvattenyta före och efter avsänkningen, här ses tunnelns placering en rektangel. Väst till vänster i figuren, för profilens placering se figur 22.



Figur 22. Påverkansområdet för grundvattenpåverkan i jord och berg för Nya Östbergatunneln.

Inom påverkansområdet har inventering av potentiella motstående intressen utförts. Inventering görs av olika typer av potentiella motstående intressen. Dessa kan indelas i två huvudgrupper:

- Intressen som kan påverkas vid avsänkning av ytligt grundvatten (i jord).
- Intressen som kan påverkas vid trycksänkning av djupt grundvatten (i berg).

11. Detaljerad områdesbeskrivning

I detta kapitel görs en mer detaljerad beskrivning för respektive grundvattenmagasin, av strömningsriktning, grundvattennivåer, svaghetszoner, lerområden och sättningskänsliga områden. Vidare görs en bedömning av hur stor avsänkning av grundvattnets trycknivå som kan ske, hur det kan komma att påverka motstående intressen samt eventuella extra behov av skyddsåtgärder. Samtliga grundvattennivåer som beskrivs i detta kapitel anges i RH2000. I varje delkapitel finns figurer som illustrerar det som beskrivs och i bilaga G1 till G4 redovisas dessa figurer i högre upplösning.

11.1 Hammarbyhöjden

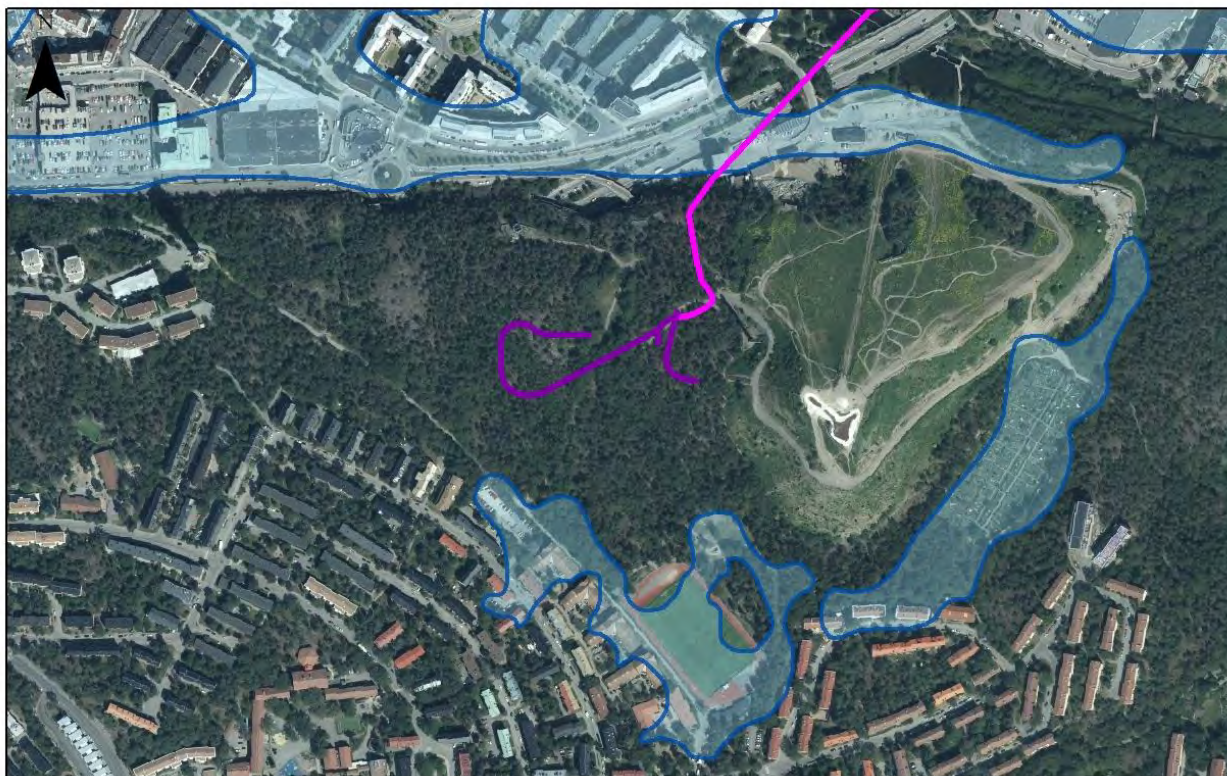
11.1.1 Anläggning – 0+000 till 0+200

Inom området anläggs en arbetstunnel (NÖT21, NÖT24 och NÖT34) för att driva huvudtunneln och ansluta till befintliga Östbergatunneln samt Sicklaanläggningen. Påslag till Nya Östbergatunneln planeras nordväst om grundvattenmagasinen vid Hammarbyhöjden och kommer således inte passera genom eller under något av grundvattenmagasinen. För mer detaljer och profil hänvsas till Bilaga E Teknisk Beskrivning.

Grundvattennivån bedöms till stor del ligga under påslagets nivå, inte förrän mot slutet går tunneln under grundvattennivån. Allt eftersom huvudtunneln går norrut går den djupare och därmed även djupare under grundvattennivån. I drift kommer trycknivån i tunneln vara i nivå med grundvattennivån varvid ingen påverkan är att vänta för denna delsträcka under när tunneln väl är i drift.

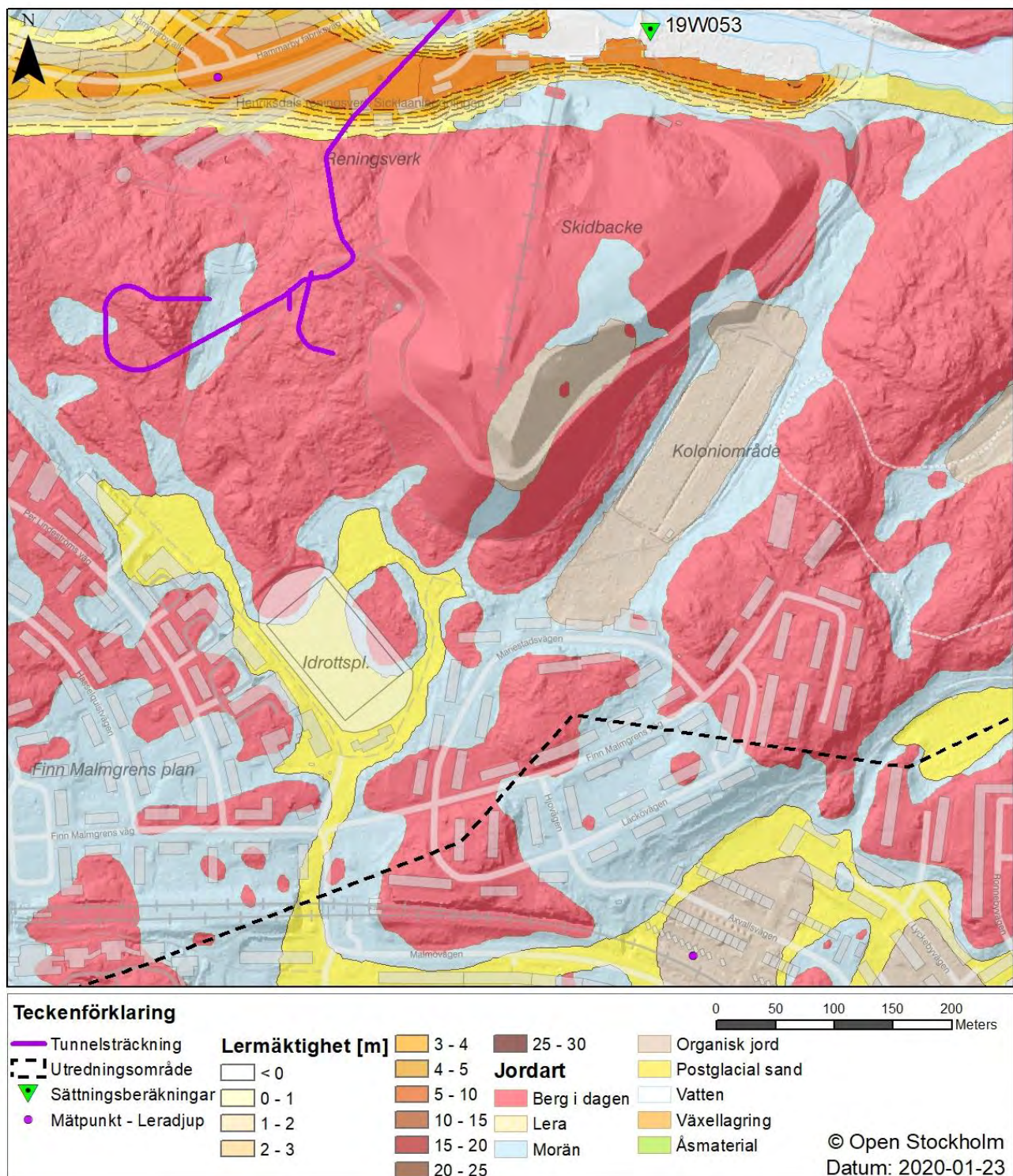
11.1.2 Områdesbeskrivning

Området domineras av den gamla deponin som idag utgör Hammarby skidbacke. Södra länken går i bergtunneln i västra delen av området och kommer ut från den högre berghöjden. Runt Hammarbyhöjden, i framför allt i öst-västlig ritning domineras området av naturområden och begränsad mängd bebyggelse, se figur 23.



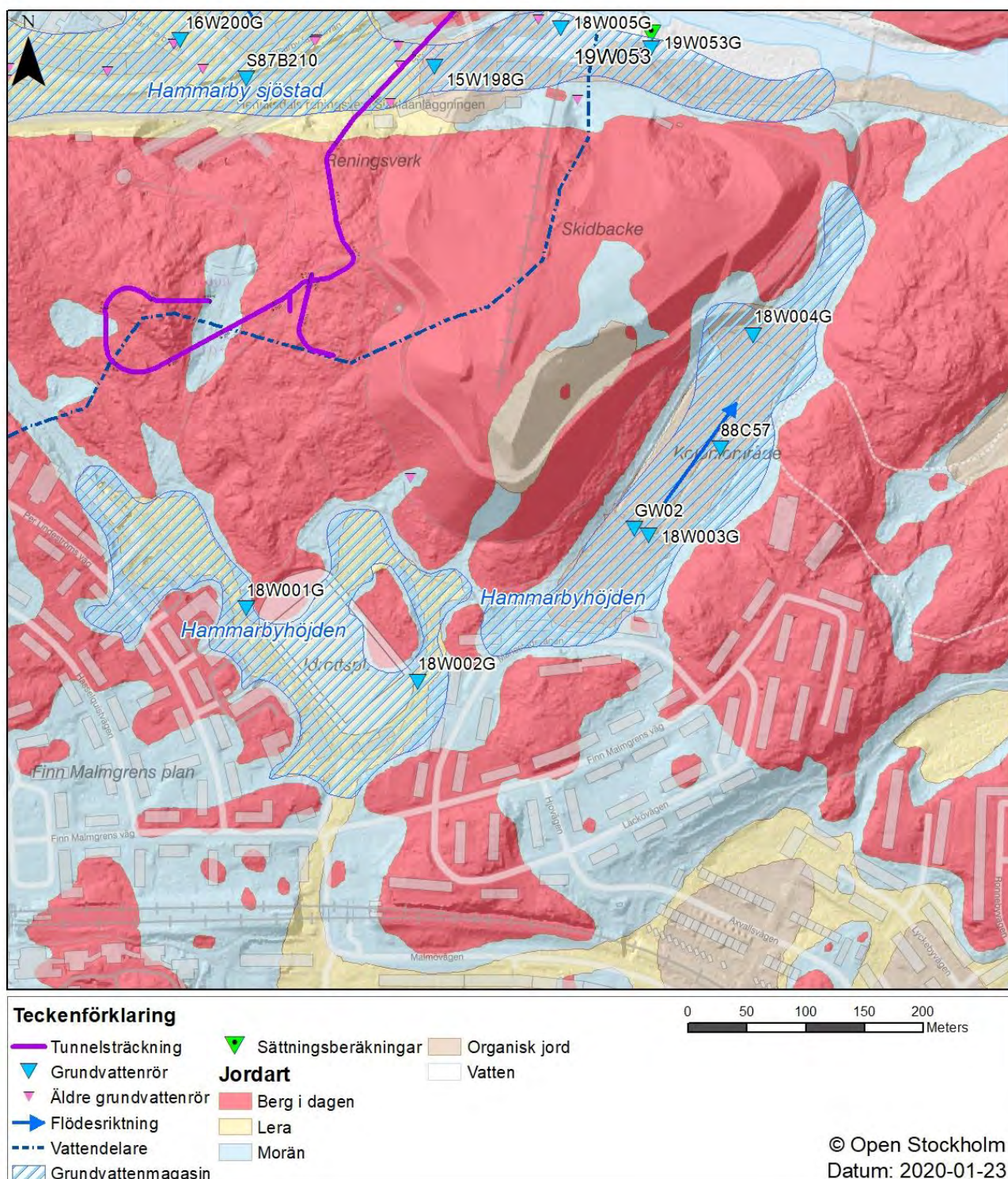
Figur 23. Flygfoto över Hammarbyhöjden med utmarkerad tunnelsträckning och grundvattenmagasin. Här ses själva Hammarbybacken höger i bilden.

Inom närområdet för tunneln förekommer ingen lera, söder om påslaget återfinns ett mindre lerområde. I det området finns inga geotekniska borrhinar genomförd, dock finns 2 grundvattenrör med kända lermäktigheter. Ingen interpolation av lerdjup har gjorts då det enbart finns 2 kända punkter, se figur 24. SGU bedömer jorddjupet till ringa 1–3 meter. Öster om området finns ett område med utbredd organiskt jord. Norr om anläggningen finns ett utbrett lerområde, vilket är en del av Hammarby Sjöstad och beskrivs närmare under kapitlet om det område.



Figur 24. Jordarter, interpolerad lermäktighet samt använda beräkningspunkter (sonderingar).

Vid Hammarbyhöjden finns två undre grundvattenmagasin som skiljs åt av ett smalt område med berg i dagen, se figur 25. Den östra delen av magasinet överlagras av organisk jord. I det nordöstra magasinet har högre nivåer i 18W003G (ca +36 m) och lägre nivåer i 18W004G (ca +30 m). Nybildning till magasinet sker i de omkringliggande höjdområdena med i berg i dagen och morän.

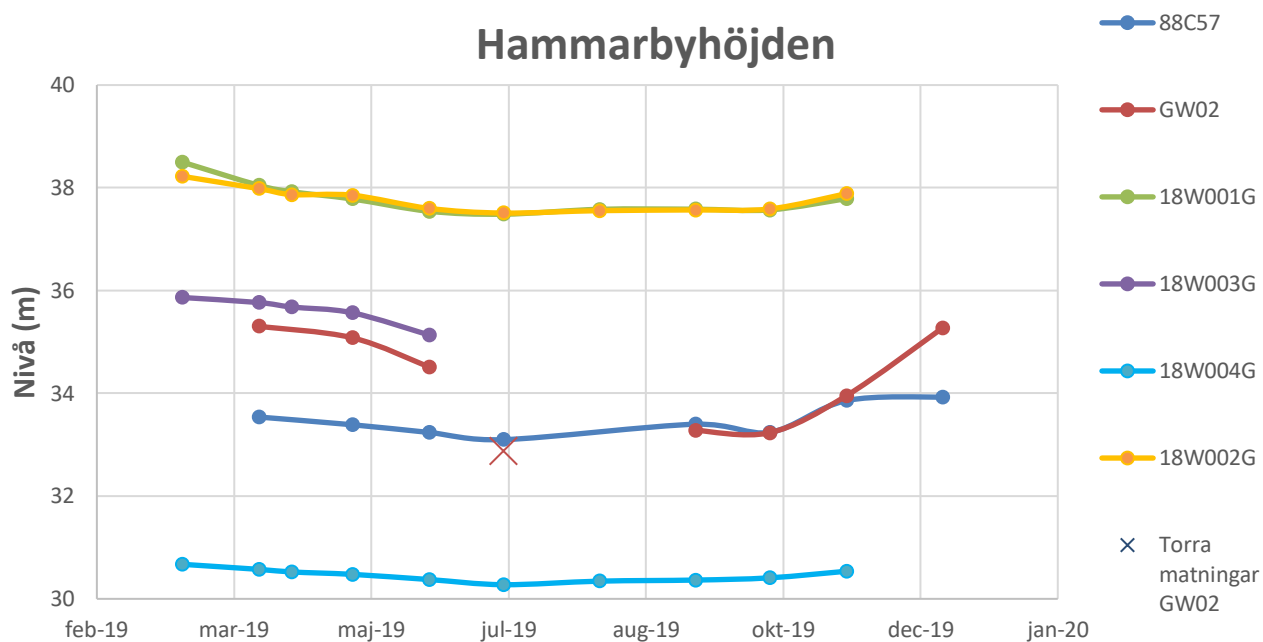


Figur 25. Hydrogeologisk översikt över grundvattenmagasinet Hammarbyhöjden.

I det sydvästra grundvattenmagasinet vid 18W001G har ca 1 m fyllning följt av ca 3 m lera och mindre än 0,5 m morän påträffats. Längre österut i mitten av lerområdet visar arkivsonderingar ca 6 m lera följt av mindre än 0,5 m tunt lager morän. I mitten av lerområdet finns berg i dagen och runt det ett tunt jordtäckte bestående av morän som tillsammans med omgivande höjdområden sannolikt bistår det undre grundvattenmagasinet med nybildning. Jorddjupet kring det sydvästra grundvattenmagasinet är som mest ca 6–8 m i mitten av lersvackan och 0 m i de omgivande höjdområdena.

I det östra grundvattenmagasinet saknas sonderingar och därmed en detaljerad jordlagerföljd. SGU har i deras jordartskarta karterat området som torv och glacial lera. Jorddjupet, även det karterat av SGU, visar på ökande mäktighet i nordlig riktning. Sannolikt är lermäktigheten som störst i mitten av lersvackan och minskar ut i riktning mot de kringliggande höjdområdena med berg i dagen och morän.

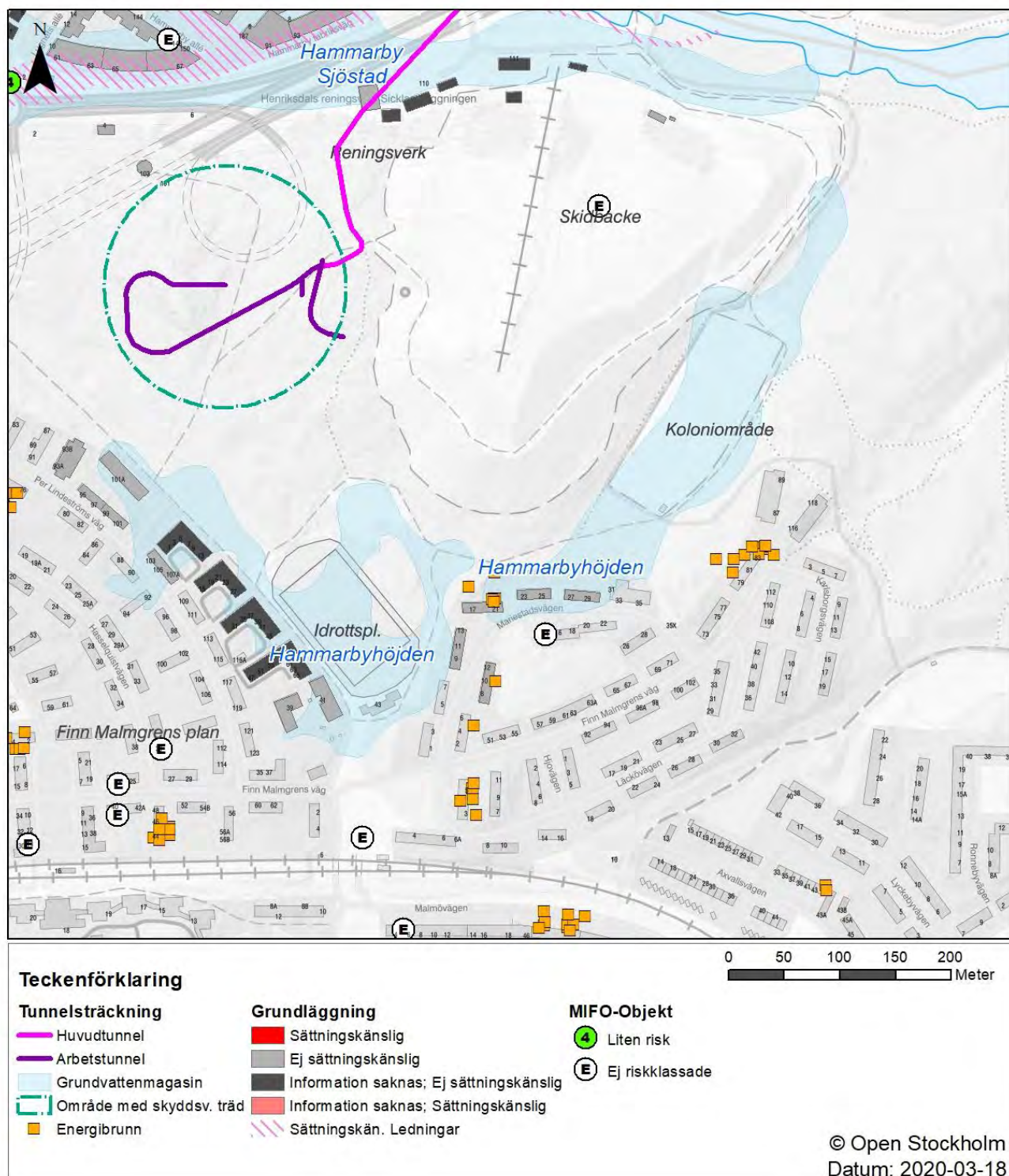
Från 18W001G och 18W002G ses i figur 26 att hittills uppmätta har varit stabila mellan +38,5 och +37,5 m. Grundvattennivån i båda grundvattenrör är som högst mindre än 1 m under markytan.



Figur 26. Uppmätta grundvattennivåer vid Hammarbyhöjden.

11.1.3 Potentiellt motstående intressen och föroreningar

Inventerade skyddsvärda intressen och förekommande förorenade områden presenteras i figuren nedan.



Figur 27. Grundläggningsinformation, MIFO-objekt och energibrunnar kring magasinet Hammarbyhöjden.

11.1.3.1 Byggnader och anläggningar

Inom grundvattenmagasinen finns ett antal byggnader, men inga av byggnaderna har klassats som sättningskänsliga. Det förekommer ett fåtal byggnader på randen mellan grundvattenmagasinen och omkringliggande mark där grundläggningsinformation saknas, dessa är har inte bedömts som sättningskänsliga. Utöver de byggnader finns ett stort antal byggnader där grundläggningsuppgifter saknas som står på icke sättningskänslig mark (morän och berg), dessa bedöms därför inte kunna påverkas.

11.1.3.2 Energibrunnar

Inom området förekommer ett antal energibrunnar.

11.1.3.3 Ledningar

Inga sättningskänsliga ledningar har identifierats i området.

11.1.3.4 Naturmiljö

Vid Hammarbybacken, kring påslag till arbetstunnel Hammarbyhöjden (NÖT21), finns 14 st. skyddsvärda träd och återfinns i områden med tunna jordlager på berg där grundvattennivån ligger djupt ner.

11.1.3.5 Föroreningar

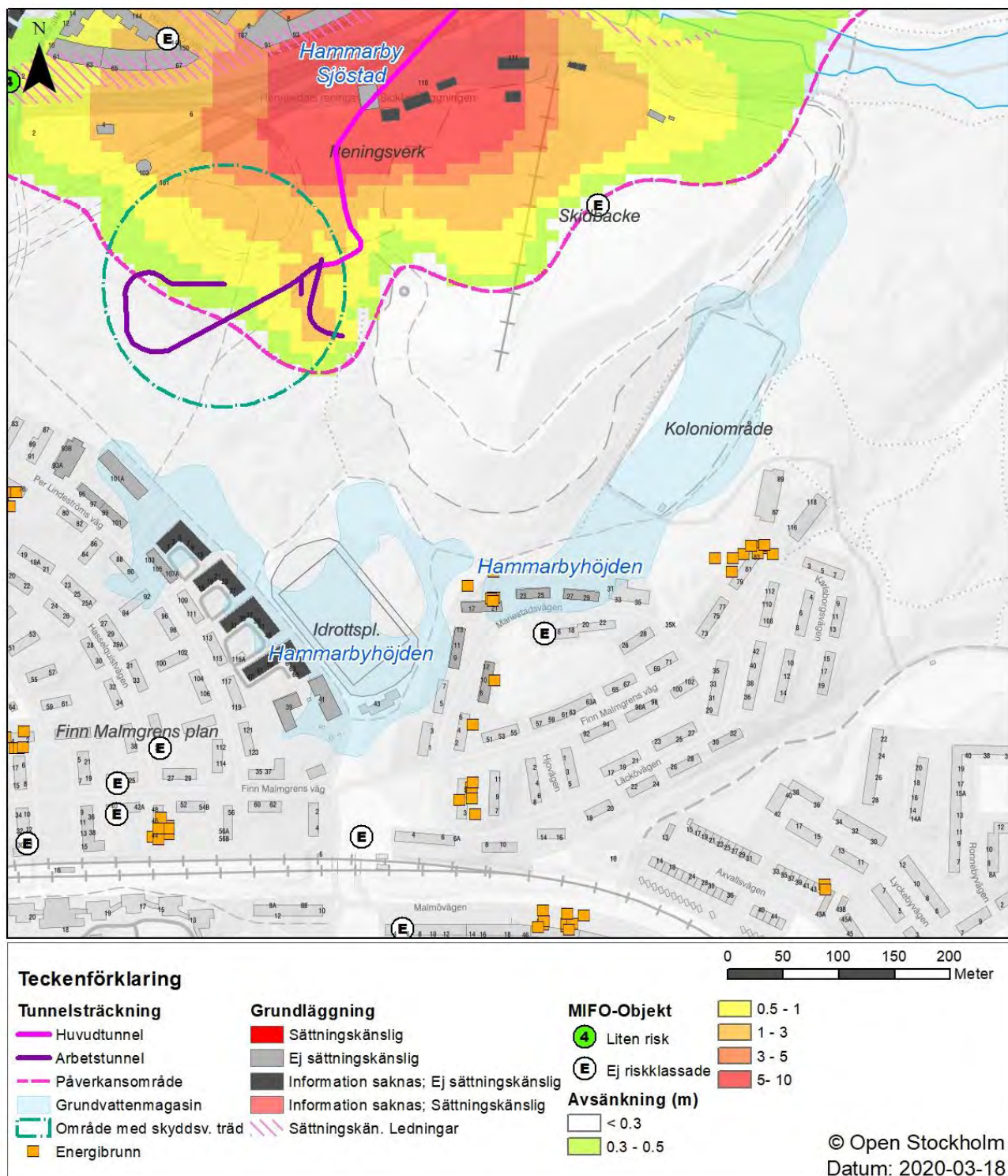
Det förekommer ett par oklassade objekt i MIFO-databasen. Ett av objekten återfinns nära grundvattenmagasinet, objektet innehåller endast informationen att branschen primärbranschen varit "*Grafisk industri*". Närmaste objekt är själva Hammarbybacken som klassas som en avfallsdeponi med både icke och farligt avfall. Idag dräneras skidbacken till Sickla pumpstation och går vidare till försedimentering och rening.

11.1.4 Påverkan

Påverkan från anläggningen når i princip inte nedanför Hammarbybacken, se figur 28, detta beror till stor del på att den första delen av tunneln byggs ovan grundvattennivåerna och inte förrän längre norrut når tunneln under grundvattennivån. Inom påverkansområdet är det framför skyddsvärda träd som återfinns, däremot återfinns grundvattennivån redan idag ca 40 meter under marken. En ytterligare avsänkning kan inte påverka växttillgängligt vatten och därmed inte skada träden.

I driftskedet kommer trycknivån i tunneln ligga i nivå med grundvattennivån, varvid ingen påverkan kommer ske.

Bedömningen görs att tunneln inte kommer ha en skadlig påverkan, varken under byggnationen eller i driftskedet, i aktuellt område.



Figur 28. Beräknad grundvattensänkning under byggnationen och påverkansområde för NÖT.

11.1.5 Skyddsåtgärder

Under anläggningsskedet sker kontinuerlig uppföljning av grundvattennivåer och grundvatteninläckage till tunneln. Då inga skador förväntas i området kommer inga ytterligare skyddsåtgärder planeras initialt. Kontrollprogrammet i det här området kommer att samordnas med pågående arbeten inom ramen för SFA.

11.2 Hammarby sjöstad & Sickla kanal norra

11.2.1 Anläggning – 0+200 till 0+600

Längs sträckan går tunneln på ett konstant djup på ca 20 till 30 meter under havsnivån. När tunneln är i drift kommer trycknivån i tunneln inom delar av området vara högre än grundvattennivån varvid ett visst utläckage kan ske. Längs stor del av sträckan kommer en högre injekteringsklass tillämpas för att minska inläckaget.

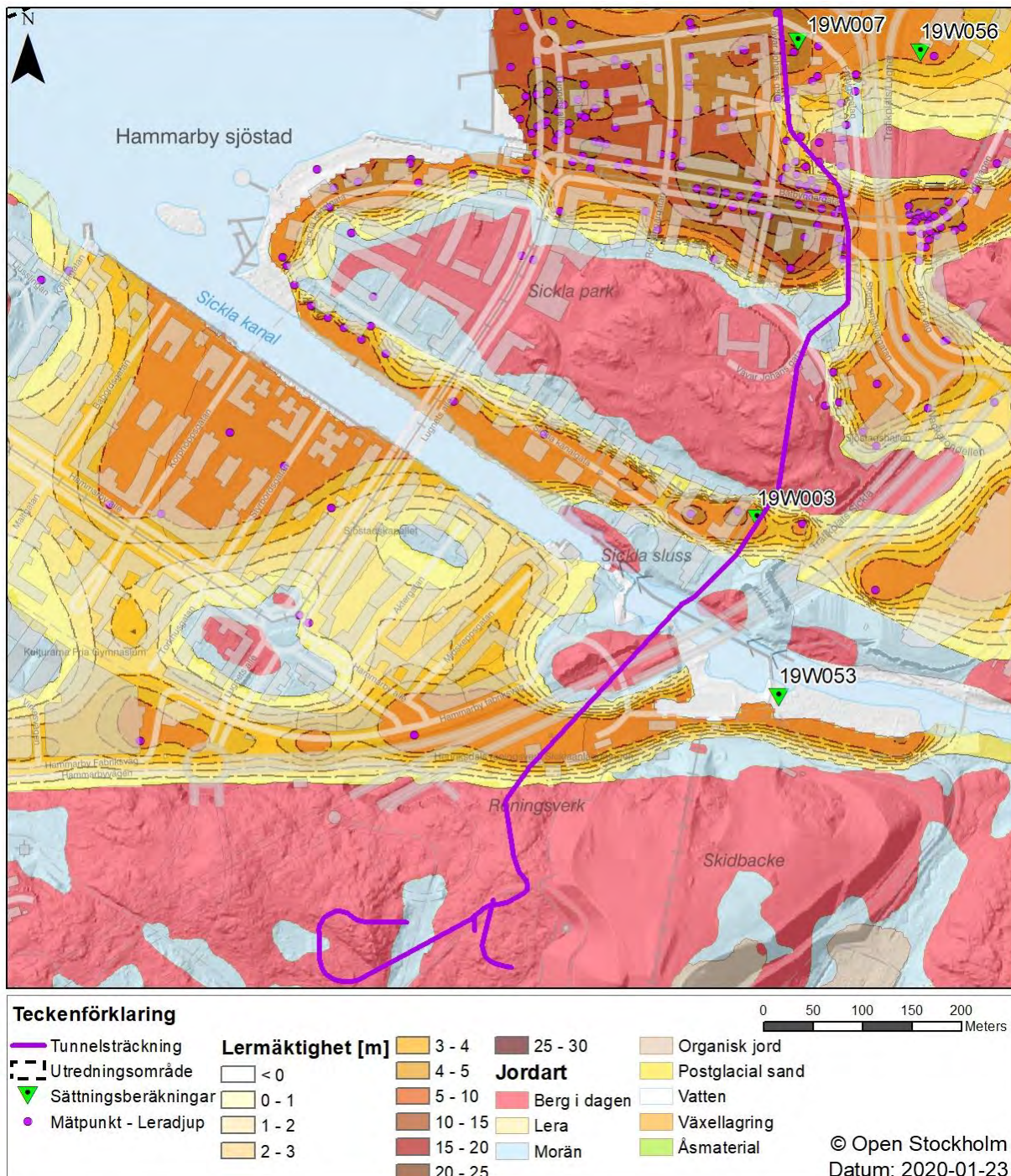
11.2.2 Områdesbeskrivning

Markområdena kring Hammarby sjö har en lång tradition som plats för olika slags industrier, ursprungligen främst textilindustrier men även hamnverksamhet. Under 1990-talet påbörjades en omvandling av området med bostadsbyggnation, se figur 29. Hammarby sjöstad är känt för sitt miljöarbete, stadsdelen fick ett eget miljöprogram med målet att minska den totala miljöbelastningen. Tvärbanan går igenom området och utbyggnaden av tunnelbanan planeras i Hammarby sjöstad. I de östra delarna där Nya Östbergatunneln är planerad passerar även Södra länken i markläge på en kortare sträcka med på- och avfarter.



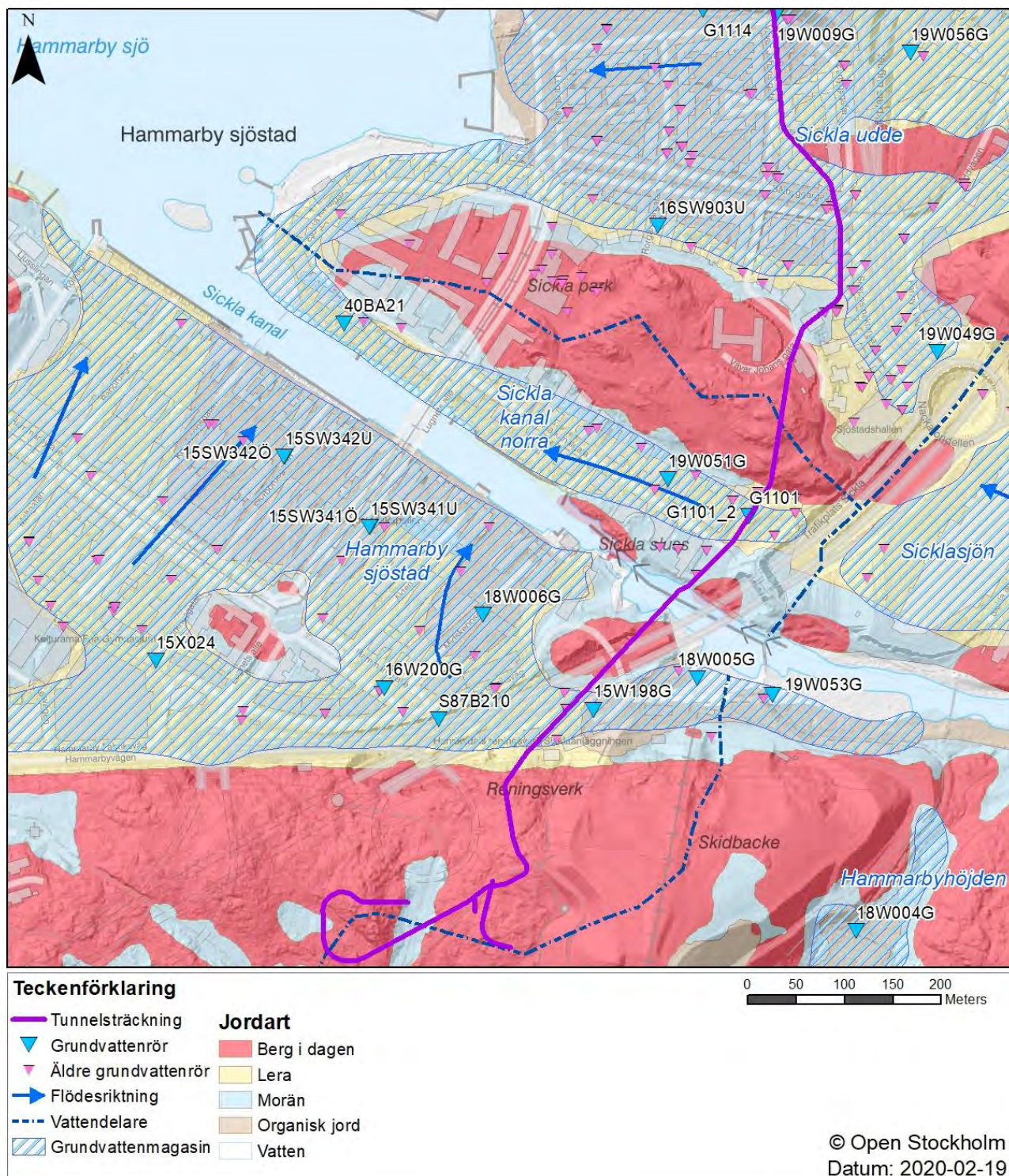
Figur 29. Flygfoto från 1970-talet ovan och 2019 nedan, i båda figurerna ses tunneldragningen.

Geologin i området kännetecknas av ett varierande mäktigt lerlager omgivet av mindre höjdområden med morän och berg i dagen som ytligt jordlager, se figur 30. Lerans mäktighet varierar och uppgår lokalt till ca 10 m. Idag är den ytliga lera i regel täckt av fyllnadsmassor med varierande mäktighet. Tunnelsträckningen går igenom två smala dalgångar med mäktiga lerlager. Inom området har två punkter för sättningsberäkningar genomförts, i båda punkterna (19W053 & 19W003) pågår sättningar på upp emot 1 cm per år. Vid en grundvattensänkning kommer ytterligare sättningar ske i varierad grad.



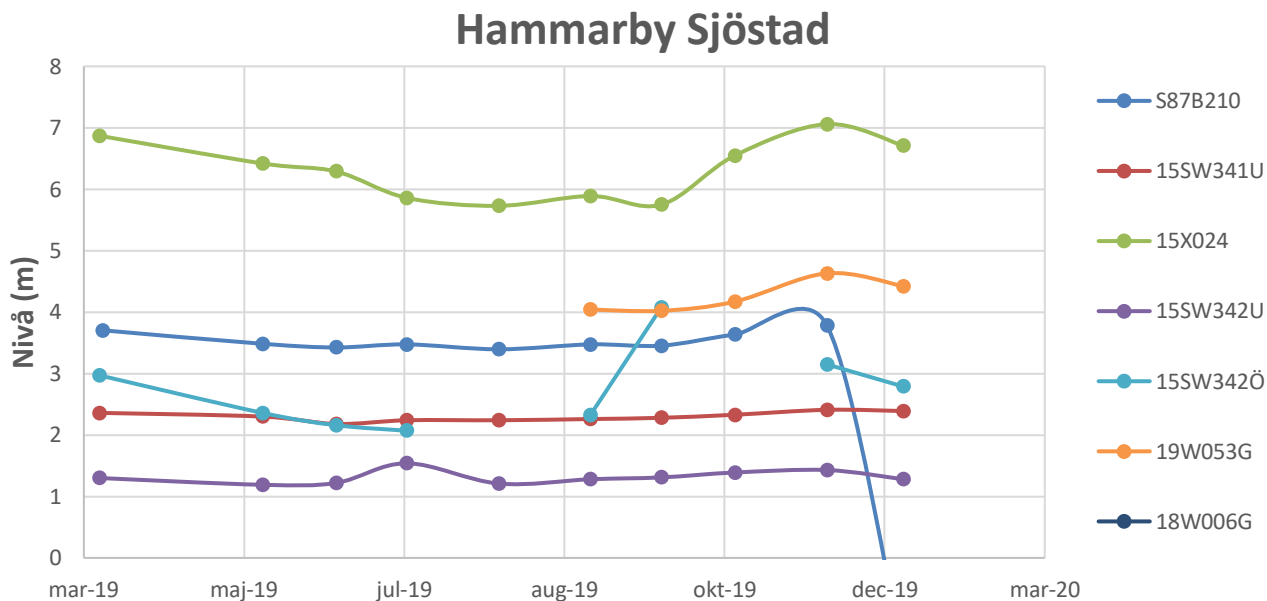
Figur 30. Jordarter, lermäktighet, använda beräkningspunkter och punkter för sättningsberäkningar.

Inom området förekommer två grundvattenmagasin, *Hammarby Sjöstad* och *Sickla kanal Norra*, vilka avgränsas utav Sickla kanal, se figur 31. Magasinet *Hammarby Sjöstad* är ett vidsträckt magasin norr om bergshöjderna och avbördas ner mot Sickla kanal. Magasinet fortsätter väster ut längs vattnet mot Skanstull. Magasinet *Sickla kanal norra* är ett smalt magasin som också avrinner mot Sickla kanalen, i öster avgränsas magasinet utav Södra länken. Nya Östbergatunneln passerar båda magasinen i den östra delen där de är som smalast.

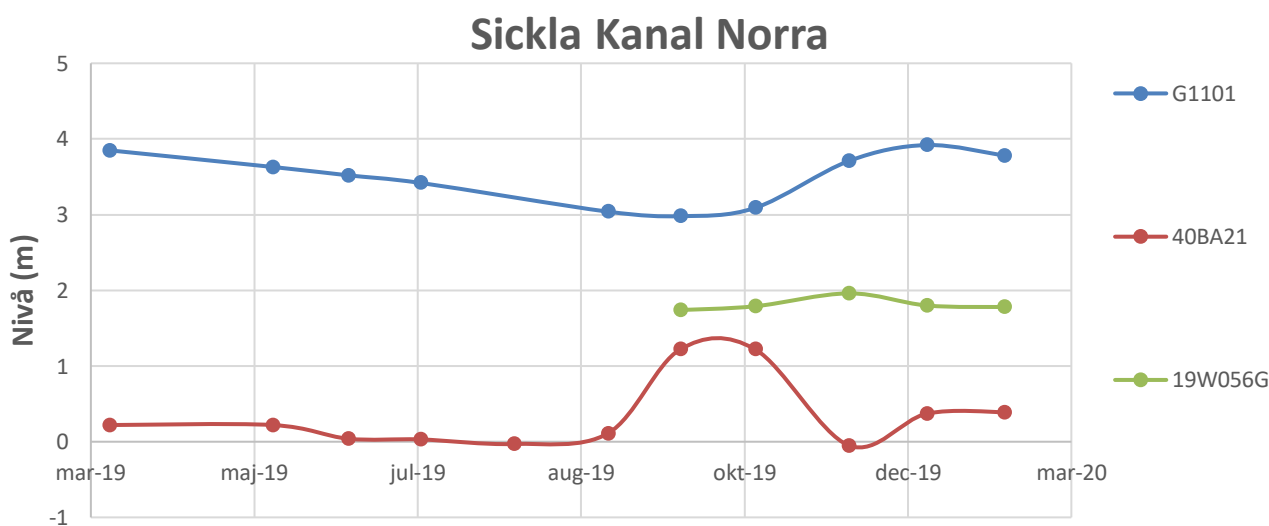


Figur 31. Hydrogeologisk översikt kring grundvattenmagasin *Hammarby Sjöstad*.

Kontinuerliga långtidsserier för grundvattennivåer saknas för båda magasinen, dock förekommer det stort antal grundvattenrör med äldre data. Mätningar har skett frekvent från sent 90-tal till ca 2002 då många av grundvattenrören försvann. Uppmätta grundvattennivåer i detta projekt är som högst ca +7 m i 15X024 och som lägst ca +1,5 m i 15SW342U, se figur 32. Uppmätta grundvattennivåer ligger runt +2 till +3 m, vilket är ca 5 meter under mark. Det är troligt att grundvattennivån påverkats utav undermarkanläggningar men framför allt Södra länken.



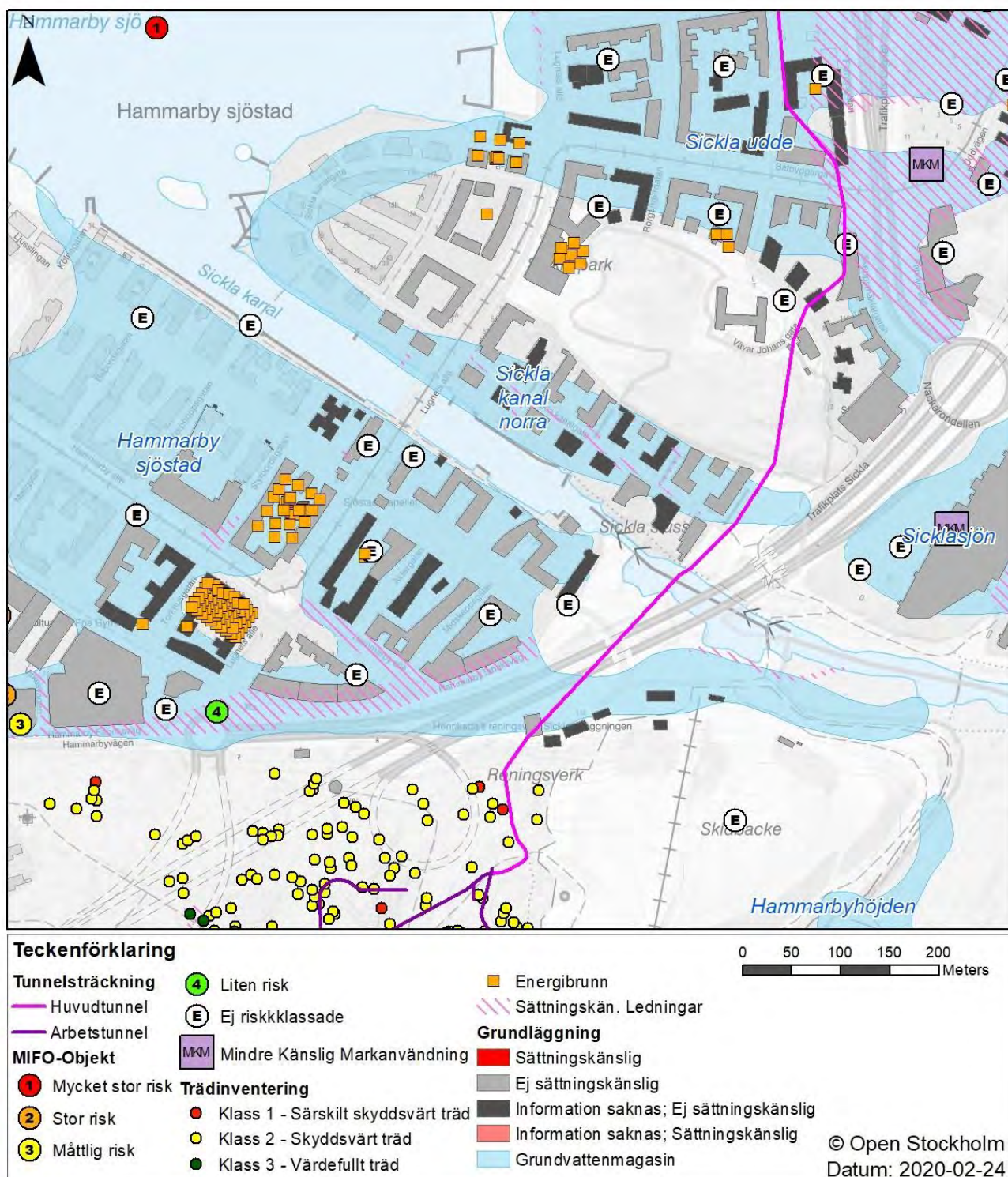
Figur 32. Uppmätta grundvattennivåer i Hammarby Sjöstad. En bruten linje innebär torra nedmätningar.



Figur 33. Uppmätta grundvattennivåer i Sickla Kanal Norra.

11.2.3 Potentiellt motstående intressen och föroreningar

Identifierade potentiellt motstående intressen och förekommande förorenade områden presenteras i figuren nedan.



Figur 34. Grundläggningsinformation, MIFO-objekt och energibrunnar kring magasinet Hammarby Sjöstad.

11.2.3.1 Byggnader och anläggningar

Inom inventeringsområdet i *Hammarby Sjöstad* och *Sickla Kanal Norra* finns ett antal byggnader med okänd grundläggning. Inom samtliga fastigheter förekommer dock byggnader med känd grundläggningsinformation som visar på en icke sättningskänslig grundläggning och byggnadsår 2000–2003. Av ovanstående skäl är sannolikt alla byggnader inte sättningskänsliga.

11.2.3.2 Energibrunnar

Det finns två stora borrhålslager inom området, samt ytterligare ett par energibrunnar. I det stora borrhålslagret finns totalt 60 energiborrhål, det mindre omfattar 34 borrhål.

11.2.3.3 Ledningar

Inom grundvattenmagasinet *Hammarby Sjöstad* finns sättningskänsliga ledningar. Ett större område av sättningskänsliga ledningar finns väster om anläggningen och ett smalt stråk öster om anläggningen.

11.2.3.4 Naturmiljö

På bergshöjden som skiljer *Sickla Kanal Norra* och *Sickla Udde* återfinns Sickla park. Inom Sickla park återfinns grundvattennivån ca 10 meter under marken och jorddjupet är ringa (<2 meter) varvid en avsänkning i detta område inte kan påverka vattentillgången för träden.

11.2.3.5 Föroreningar

Inom magasinerna förekommer ett antal ej riskklassade MIFO-objekt, längre väster ut förekommer det även objekt med liten risk, en fordonsindustri där en förstudie är genomförd. Ytterligare väster ut förekommer det även objekt med måttlig och stor risk, dessa återfinns dock på ett större avstånd (>500 meter) från anläggningen. Dessa objekt är fordonsindustri, gummitillverkning samt elektroteknisk industri, objekten är inventerade.

11.2.4 Påverkan

Avsänkningen sprider sig som mest ca 300 meter ut från anläggningen, närmast tunneln vid Sickla kanal finns några mindre lokala berg och moränhöjder vilket gör att vattnet i kanalen har kontakt med berget, se figur 35. Därmed sker ett läckage av ytvatten ner mot tunneln vilket kompenserar för läckaget in till tunneln varvid ett mindre influensområde fås. Närmast anläggningen fås en trycksänkning på upp emot 20 meter.

Inom påverkansområdet för *Hammarby Sjöstad* återfinns ett par byggnader med okänd grundläggningen. Det är däremot ett rimligt antagande att dessa inte är sättningskänsliga då närliggande byggnader, som är byggda vid samma tidpunkt, inte är sättningskänsliga.

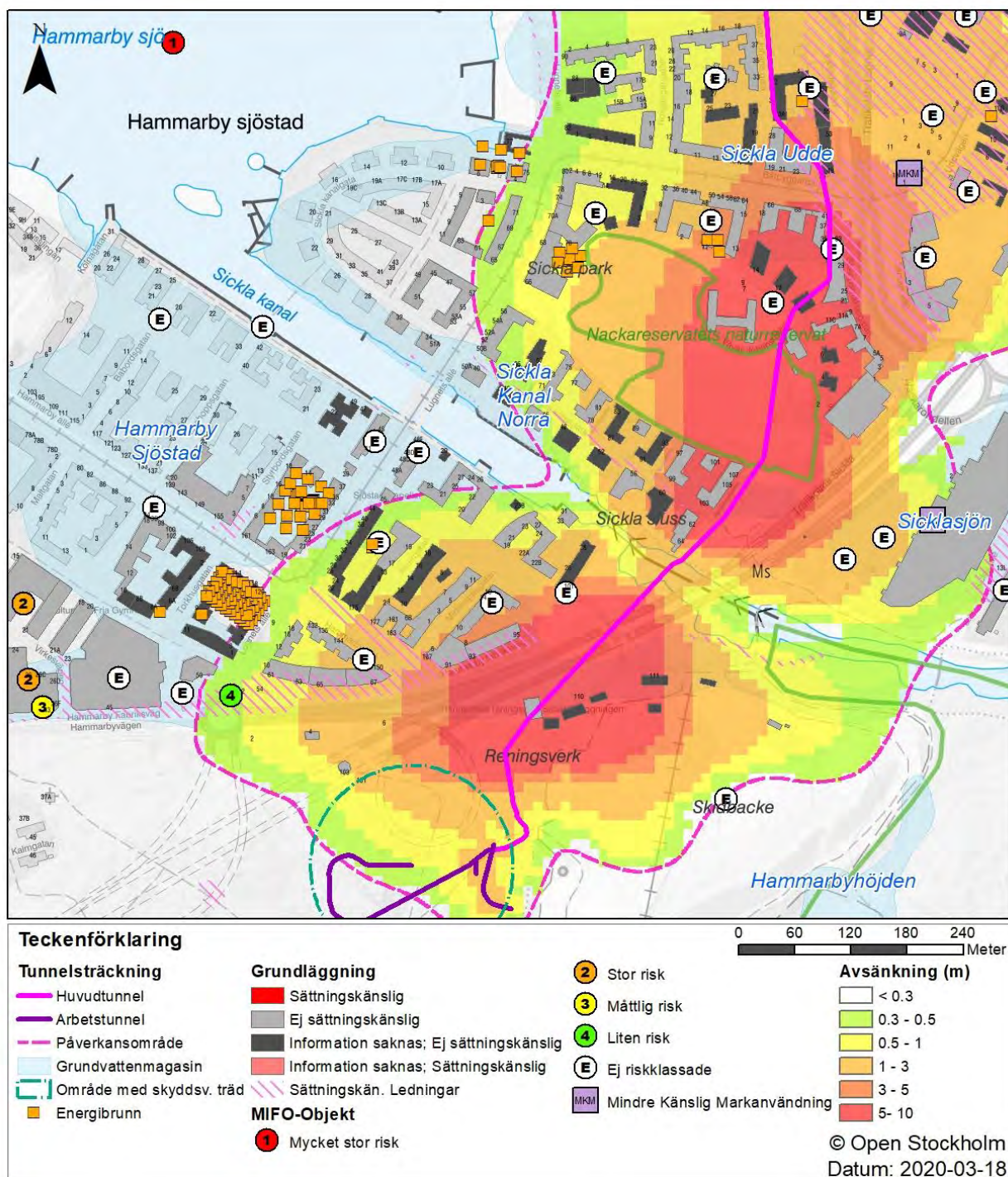
I östra delen av *Hammarby Sjöstad* magasinet har en sättningsberäkning gjorts i punkt 19W053 som visar omfattande marksättningar under en byggtid på 5 år och en avsänkning på ett par meters grundvattentryck. Inom påverkansområdet förekommer områden med sättningskänsliga ledningar, framför allt längs Hammarby fabriksväg. Inom aktuellt område förekommer mäktigare lerlager, upp emot 10 meter. Dock tyder underlaget att grundvattennivån, förutom längs just Hammarby Fabriksväg, redan ligger under underkant leran, varvid ytterligare grundvattensänkning inte ger ytterligare sättningar från denna verksamhet.

I Sickla kanal norra magasinet har en sättningsberäkning utförts i punkt 19W003 som visar på omfattande marksättningar under en byggtid på 5 år med en större grundvattensänkning. I gatan längs magasinet finns sättningskänsliga ledningar.

Det förekommer några energibrunnar precis innanför påverkansområdet, avsänkningen i dessa blir under byggtiden mindre än 1 meter.

Alla förutom ett MIFO-objekt som har identifierats inom påverkansområdet återfinns ovan lera där risken för att en grundvattensänkning i berget och till viss del i undre magasin inte ska kunna spridas till övre magasin är låg. Det objektet som inte återfinns på lera är klassad som drivmedelshantering, men den verksamheten finns inte kvar och bostäder har bytts på platsen. Det får anses rimligt att eventuella föroreningar har sanerats.

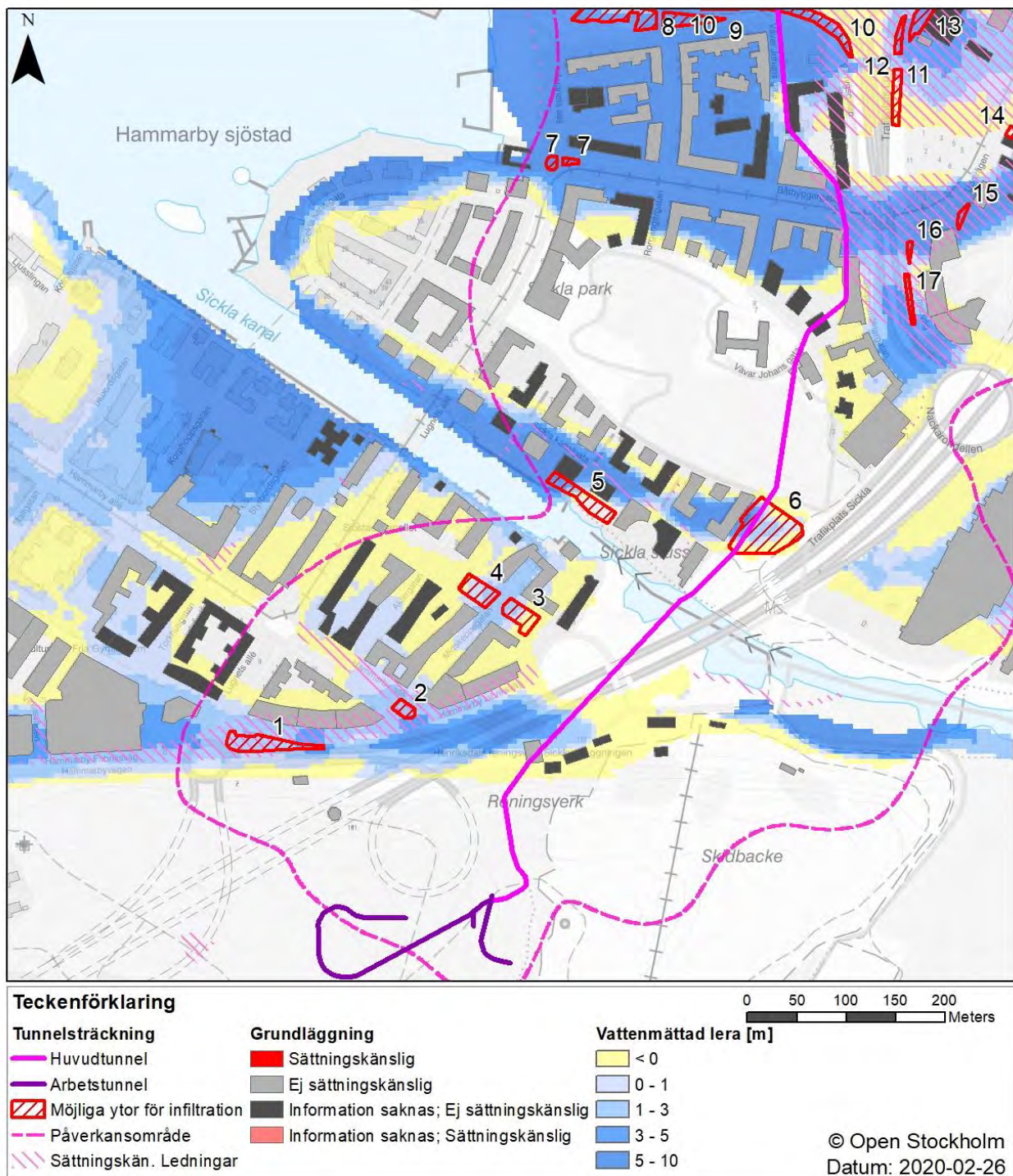
Växtligheten i Sickla park bedöms inte påverkas eftersom grundvattennivån redan idag återfinns djupt ner.



Figur 35. Beräknad grundvattensänkning under byggnationen och påverkansområde för NÖT. Längdmätning avser huvudtunneln.

11.2.5 Skyddsåtgärder

I området är det framför allt marksättningar som kan ge skador på ledningar, gatumiljön och till servisledningar in till byggnaderna som de flesta bedöms som icke sättningskänsliga. Skyddsinfiltration bedöms framför allt behövas i området för sättningskänsliga ledningar öster om tunnelsträckningen, det är även det område där risken för skadliga marksättningar bedöms som störst. Förslag till område där skyddsinfiltrations bedöms som möjlig inom påverkansområdet presenteras nedan tillsammans med vattenmättad lera, dvs inom vilka lerområden en grundvattensänkning kan ge sättningar.



Figur 36. Identifierade områden för infiltration tillsammans med områden där sättningar bedöms kunna ske.

11.3 Sicklasjön

11.3.1 Anläggning

Anläggningen passerar inte under magasinet *Sicklasjön* utan går i nord-sydlig riktning ca 100 m från dess kant.

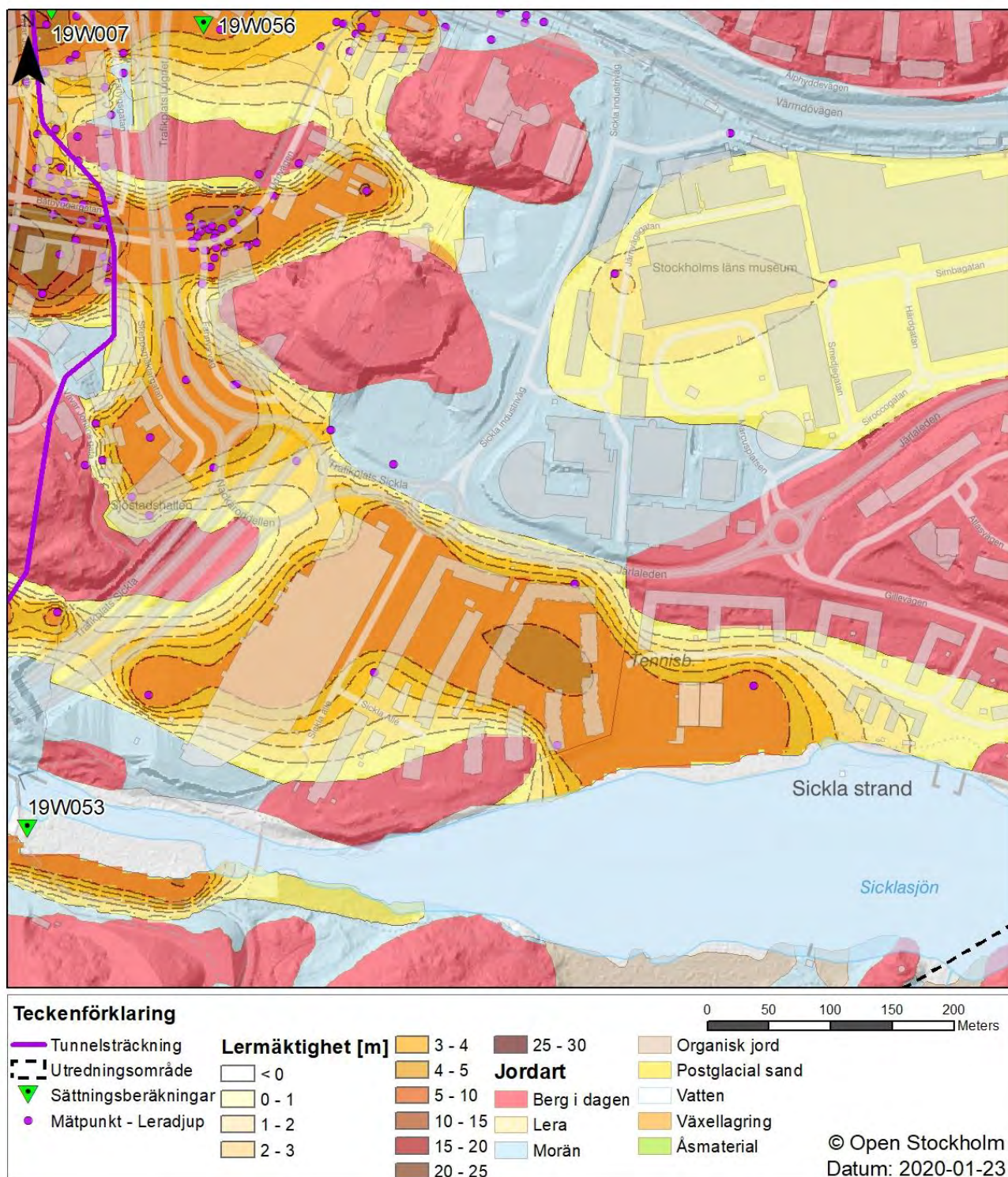
11.3.2 Områdesbeskrivning

Västra delen av området präglas av att Södra Länken passerar i markläge och avgränsar magasinet, se figur 37. Tidigare hade magasinet både kontakt i väster och i norr med magasinerna *Sickla kanal* norra och *Sickla udde*, men i och med byggnationen av Södra länken har denna kontakt brutits. I den västra delen av magasinet har det funnits textilindustri men idag finns en stor byggmarknad. Resterande av byggnationen inom magasinet är flerbostadshus.



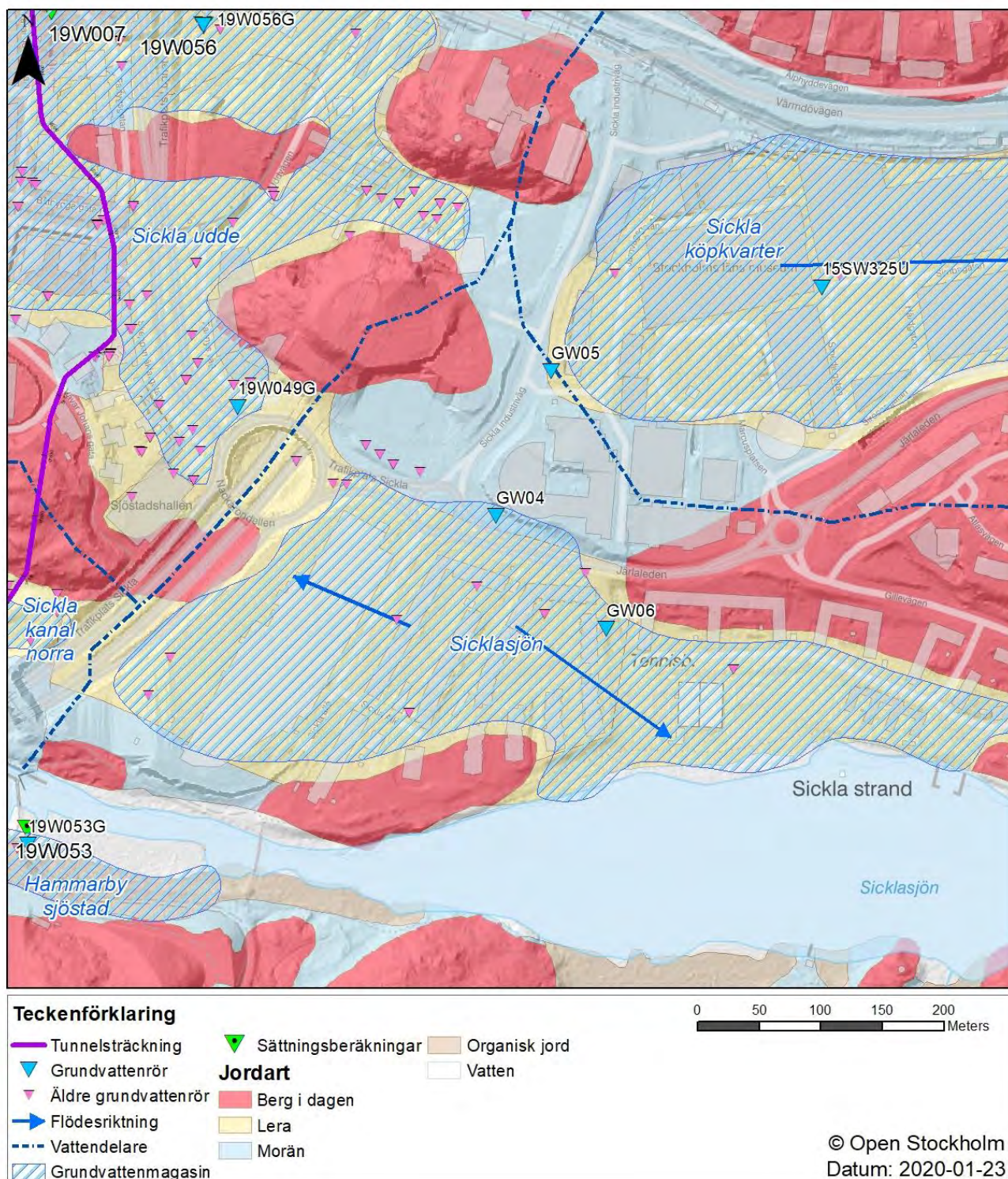
Figur 37. Flygfoto över Sicklasjön med ut markerad tunnelsträckning. Här ses södra länken komma i nedre vänstra hörnet av kartan för att sedan gå ner under marken vid den större rondellen och vidare norrut.

Inom magasinet förekommer troligen större lermäktigheter. Det saknas undersökningspunkter centralt inom magasinet, den kända informationen indikerar dock en lermäktighet på minst 5 meter, se figur 38. Inga sättningsberäkningar har gjorts i magasinet. I väster avgränsas även lerans mäktighet av Södra länken, då dessa punkter tillhör undersökningar som gjorts innan anläggandet av Södra länken.



Figur 38. Jordarter, interpolerad lermäktighet och använda beräkningspunkter.

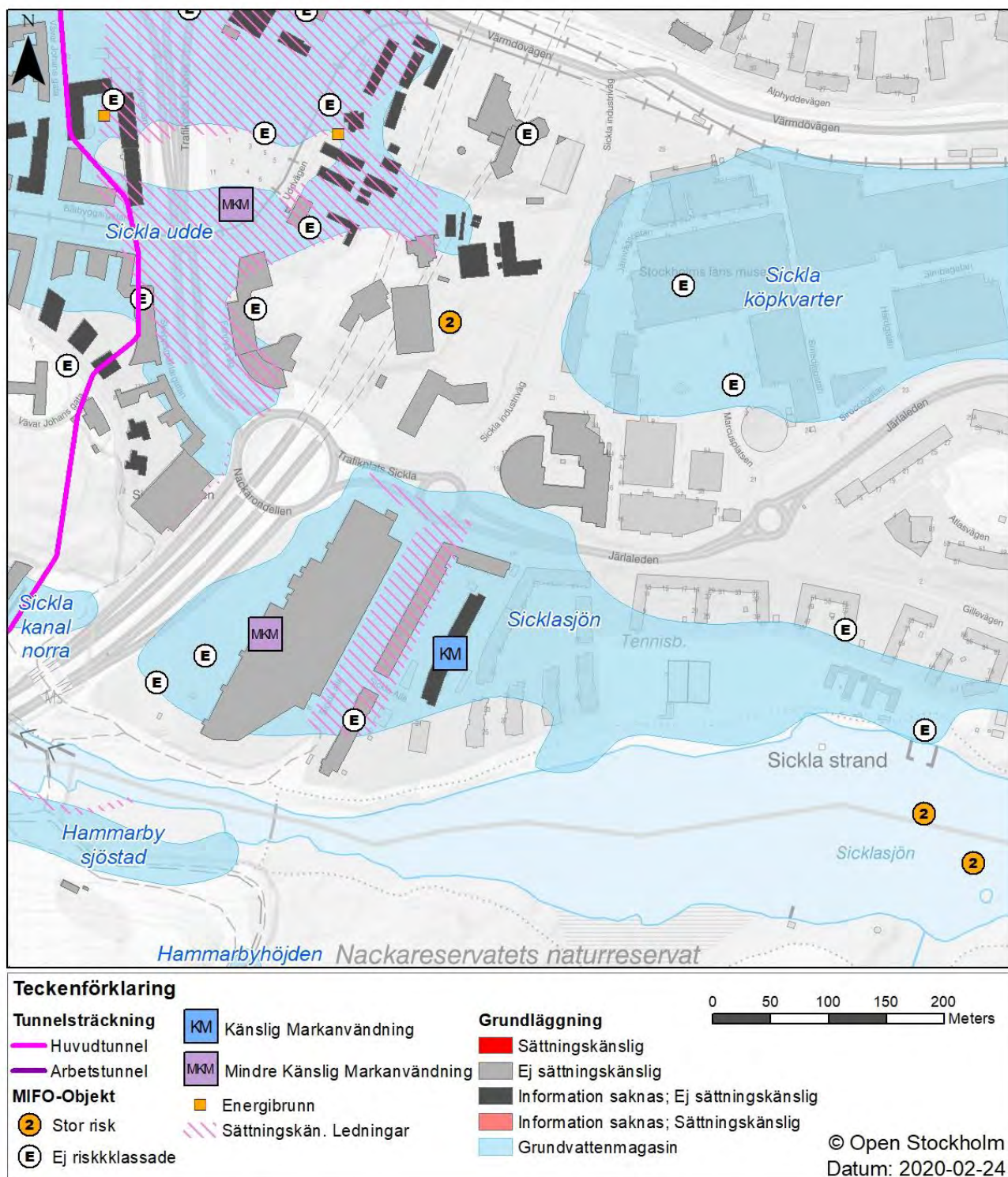
Magasinet avgränsas i väster av södra länken och höga berglägen i söder och norr, se figur 39. I området förekommer ett antal äldre grundvattenrör. Avrinningen sker ner mot Sicklasjön, dock tyder uppmätta grundvattennivåer på att det finns även en gradient ner mot Södra länkens nedskärning, varvid en del av avrinningen troligen sker mot väster. Uppmätta grundvattennivåer ligger runt +5 meter i GW04 och GW06.



Figur 39. Hydrogeologisk översikt kring grundvattenmagasin Sicklasjön.

11.3.3 Potentiellt motstående intressen och föroreningar

Identifierade motstående intressen och föroreningar presenteras i figuren nedan.



Figur 40. Grundläggningsinformation, MIFO-objekt och energibrunnar kring magasinet Sicklasjön.

11.3.3.1 Byggnader och anläggningar

Inom området förekommer inga kända sättningskänsliga byggnader. Det förekommer antal byggnader där grundläggningsinformation saknas, de flesta av dessa ligger dock ej på sättningskänslig mark.

11.3.3.2 Energibrunnar

Det förekommer inga kända energibrunnar inom eller i närheten av magasinet.

11.3.3.3 Ledningar

Inom grundvattenmagasinet har Nacka Energi sättningskänsliga ledningar.

11.3.3.4 Naturmiljö

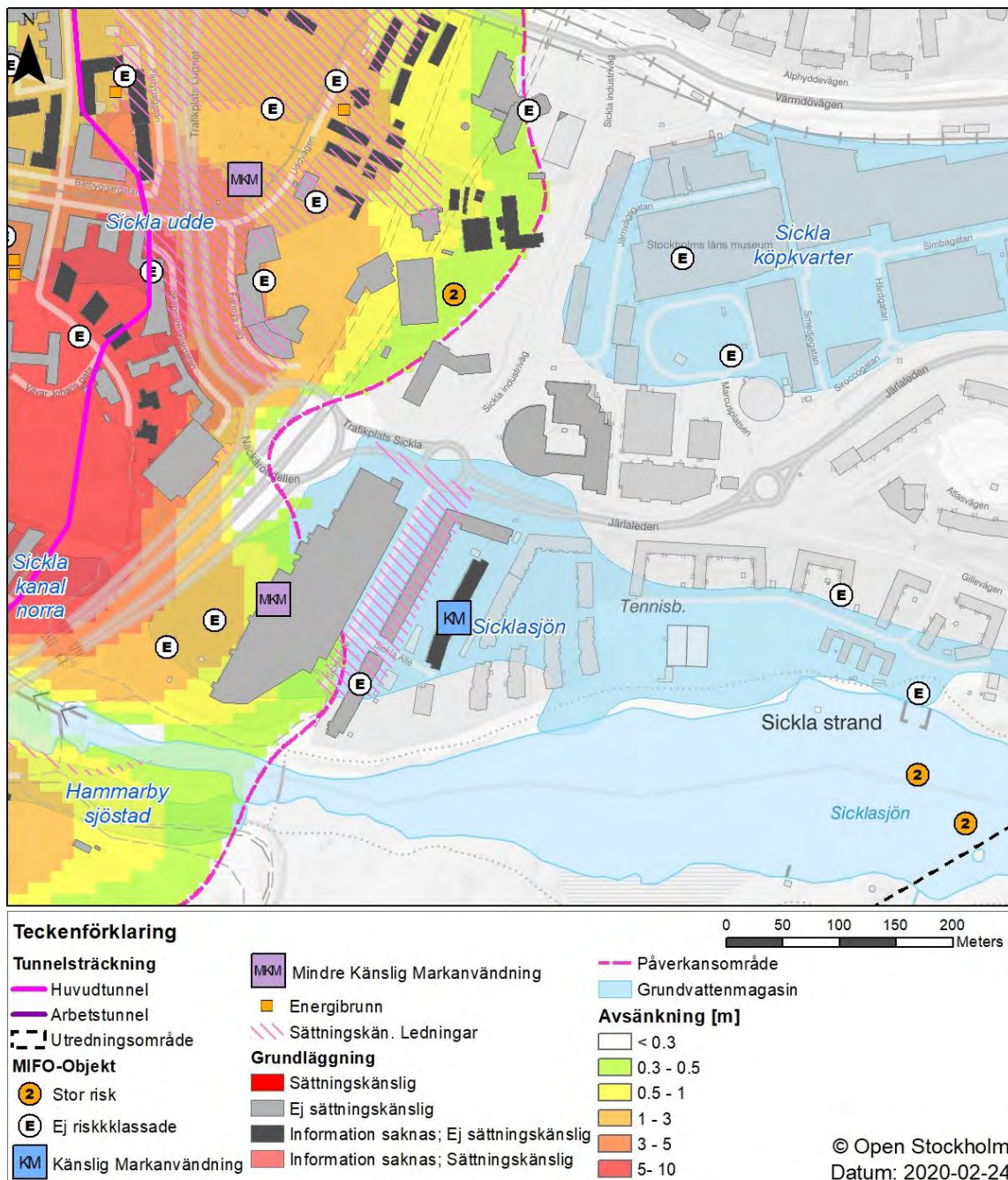
Det förekommer ingen skyddsvärd naturmiljö inom eller i närheten av magasinet.

11.3.3.5 Föroreningar

Inom magasinet förekommer ett par ej riskklassade objekt samt två åtgärdade objekt. Den närmaste är en före detta träimpregnerings verksamhet som delvis är åtgärdad, längre öster ut en textilindustri som är åtgärdad.

11.3.4 Påverkan

Påverkan når enbart precis ut över magasinet *Sicklasjön*, inga grundvattenkänsliga objekt påverkas, se figur 41.



Figur 41. Beräknad grundvattensänkning under byggnationen och påverkansområde för NÖT.

11.3.5 Skyddsåtgärder

Inga ytterligare skyddsåtgärder bedöms behöva genomföras i området.

11.4 Sickla udde

11.4.1 Anläggning – 0+600 till 1+350

Längs sträckan går tunneln inledningsvis på ett konstant djup på ca 20 till 30 meter under havsnivån, under själva magasinet sjunker tunneln aningen för att vid Henriksdals reningsverk ligga på ca 33 meter under havsnivån. När tunneln är i drift kommer trycknivån i delar av området vara högre än grundvattennivån varvid ett visst utläckage kan ske.

11.4.2 Områdesbeskrivning

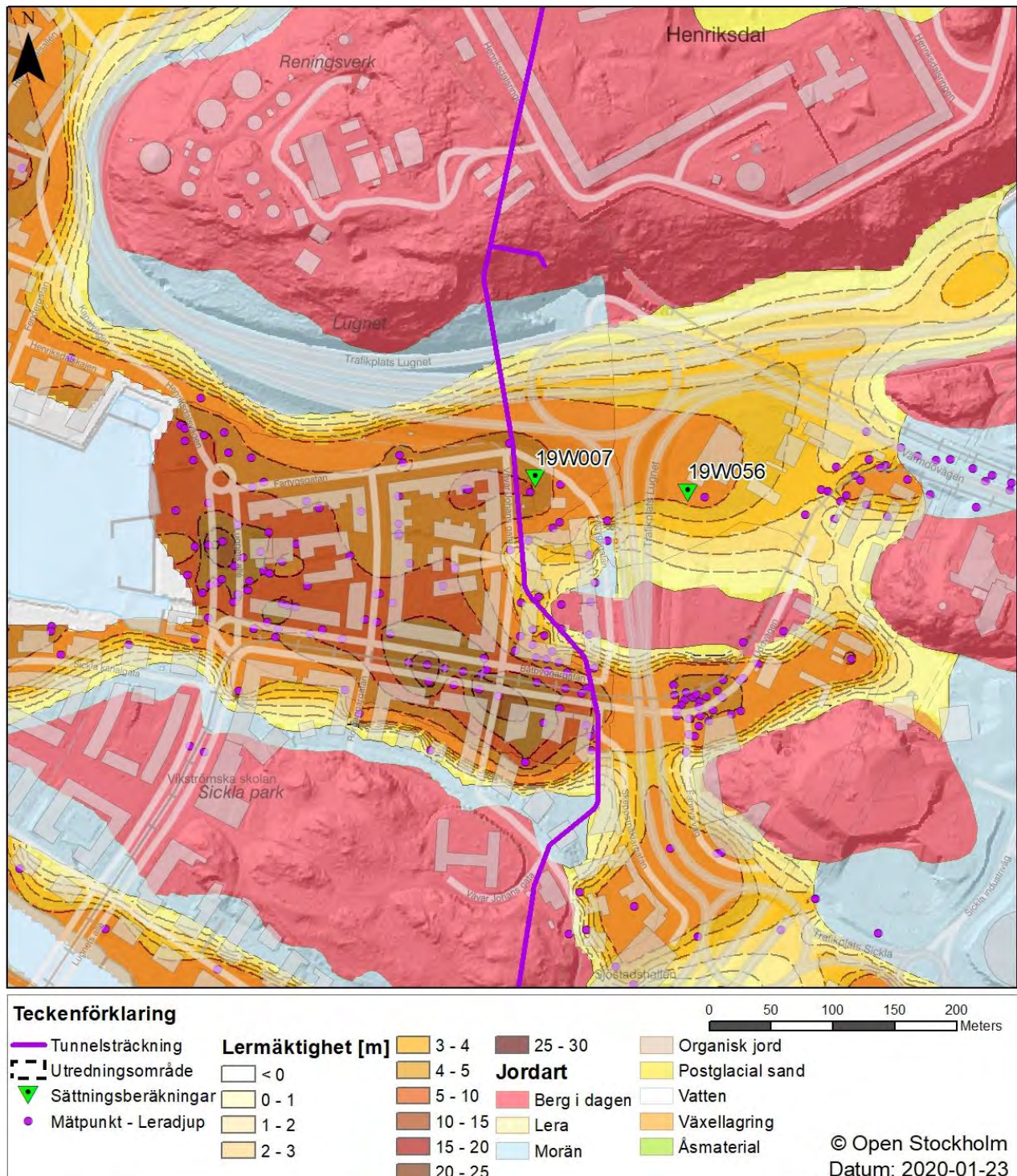
Området runt Sickla udde är på samma sätt som Hammarby Sjöstad bebyggd med bostäder i slutet av 1990-talet och början av 2000-talet. Tidigare bestod området till stor del av mindre industrier, på östra sida mot Sickla köpvarter finns en del kommersiella fastigheter. Området avgränsas i norr av Henriksdal och Värmdövägen som funnits sedan 60-talet. Under östra delen av området mellan magasinen Sickla udde och Sickla köpvarter går södra länken i bergtunnel. Tvärbanan är utbyggd igenom området, i nordöstra delen av området har det tidigare funnits en oljedepå, se figur 42.



Figur 42. Flygfoto över Sicklaudde med utmarkerad tunnelsträckning samt grundvattenmagasin.

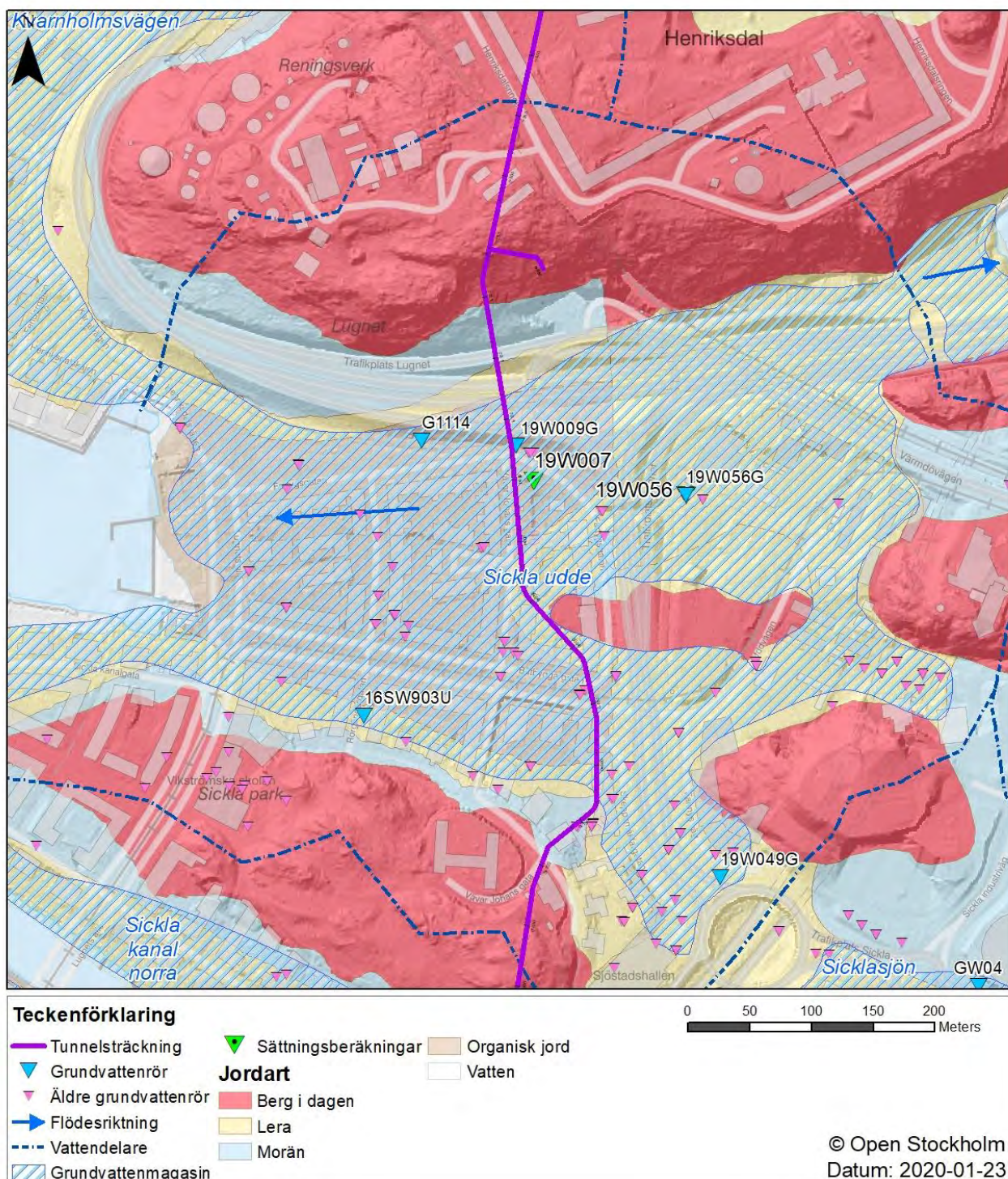
Lerans mäktighet är väl utredd inom området med stort antal sonderingar från olika projekt. Mäktigheten är generellt hög väster ut i magasinet med upp emot 30 meter i vissa områden, se figur 43. Där tunneln passerar magasinet är mäktigheten ca 5 till 15 meter. I två punkter har sättningsberäkningar genomförts. I punkten

närmast anläggningen, 19W007 pågår kraftiga sättningar, upp emot 4 cm/år, en grundvattensänkning skulle här ge en mindre ökning. I den andra punkten pågår inga sättningar och men skulle ge vissa sättningar vid en grundvattensänkning.



Figur 43. Jordarter, interpolerad lermäktighet, använda beräkningspunkter och punkter för sättningsberäkningar. Inom området finns ett stort utbrett mäktigt lerlager som ger förutsättningar till ett större sammanhängande slutet grundvattenmagasin, se figur 44. Magasinet avgränsas i huvudsak av höga berglägen i söder och norr. Den huvudsakliga avrinningen sker västerut mot Hammarbysjön. I nordöstra delen av magasinet finns ett litet område som avrinner ner mot Svindersviken. Det bedöms dock att det inte är en fast grundvattendelare utan

att gränsen varierar beroende på grundvattennivån. Inom magasinet finns ett stort antal äldre grundvattenrör samt ett antal nyare.

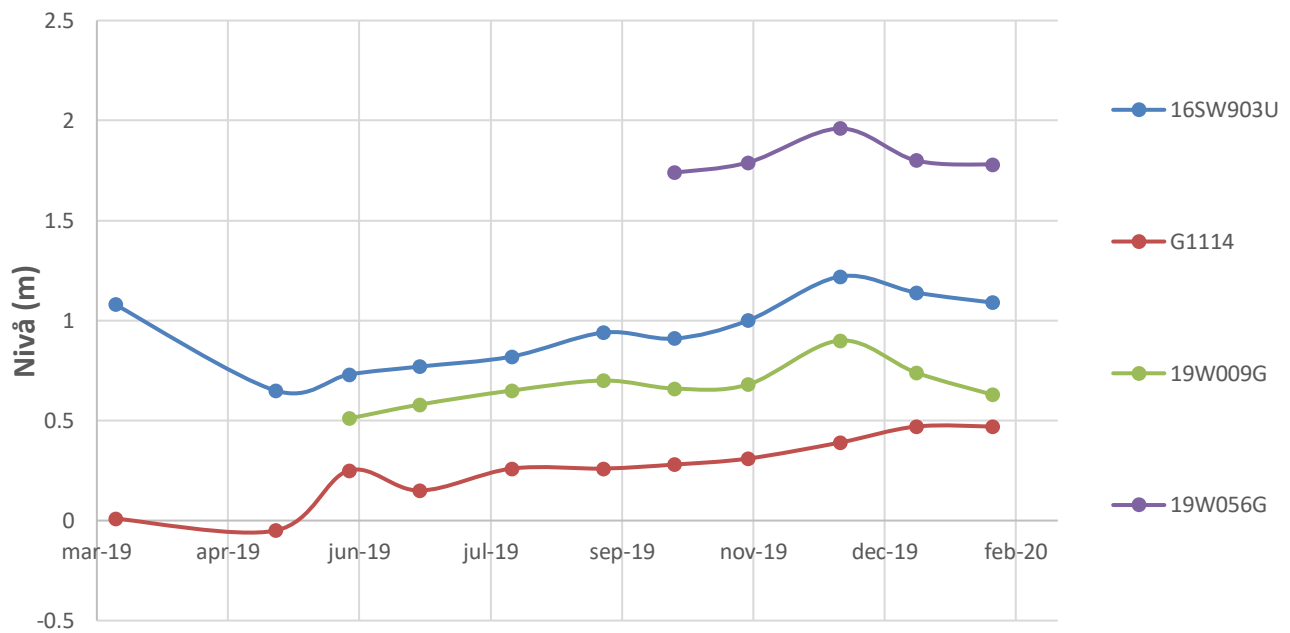


Figur 44. Jordarter, interpolerad lermäktighet, använda beräkningspunkter och punkter för sättningsberäkningar.

Grundvattennivån låg förutom i söder i närheten av de högre berglägena, inom magasinet ligger nivån mellan +0 och +1 m. Grundvattengradienten är över lag flack och avrinningen sker i stor del väster ut. I de sydöstra delarna sker troligen en viss avrinning ner mot Södra länken.

Fyra grundvattenrör har mätts under projektet med en tydlig gradient väster ut, se figur 45.

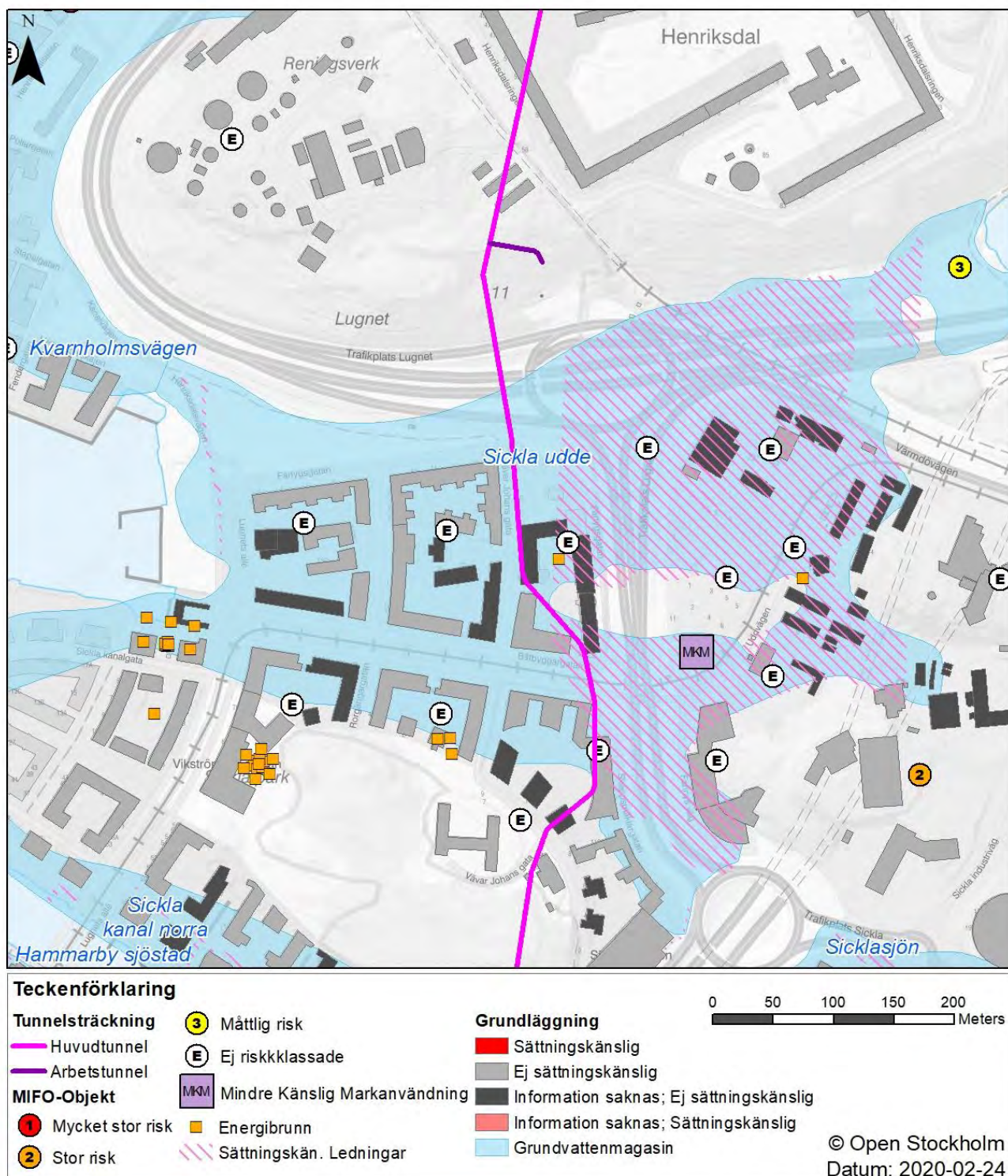
Sickla Udde



Figur 45. Uppmätta grundvattennivåer i Sickla Udde.

11.4.3 Potentiellt motstående intressen och föroreningar

Identifierade motstående intressen och föroreningar presenteras i figuren nedan.



Figur 46. Grundläggningsinformation, MIFO-objekt och energibrunnar kring magasinet Sickla udde.

11.4.3.1 Byggnader och anläggningar

Det förekommer inga kända sättningskänsliga byggnader inom området. Ett större antal byggnader där grundläggningsinformation saknas finns i området, en del inom lerområden. Inom samtliga fastigheter med byggnader som saknar grundläggningsinformation finns byggnader som har identifierad icke sättningskänslig grundläggning och som byggts år 2003–2005. Sannolikt är samtliga byggnader inom dessa fastigheter grundlagda med samma typ av konstruktion och därmed inte sättningskänsliga.

Byggnaderna öster om leden mellan trafikplats Sickla och Lugnet är olika typer av in industri- och verksamheter, samt mindre komplementbyggnader. Här finns även Nacka Tingsrätt, byggnaden är byggd 2016 och finns inte med som en byggnad i Lantmäteriets underlag, byggnaden har bedömts som icke sättningskänslig.

Det förekommer en större vägbro vid Trafikplats Lugnet från 1970-talet som saknar tydlig grundläggningsinformation. Lerdjupet vid bron är dock ringa och det förekommer redan sättningar i området varför det är sannolikt att bron är grundlagd till fast botten. Hade detta inte varit fallet hade det redan idag funnits sättningsskador på anläggningen.

11.4.3.2 Energibrunnar

Det förekommer ett fåtal energibrunnar i närheten av tunnelsträckningen, vid Sicklapark finns det ett borrhålslager med 14 energiborrhål. Ytterligare västerut finns några energibrunnar samt ett borrhålslager med 6 energibrunnar.

11.4.3.3 Ledningar

Inom magasinet förekommer större områden med sättningskänsliga ledningar.

11.4.3.4 Naturmiljö

Det förekommer ingen grundvattenberoende skyddsvärd naturmiljö inom eller i närheten av magasinet.

11.4.3.5 Föroreningar

Det förekommer ett antal ej klassade MIFO-objekt inom magasinet samt ett område med före detta drivmedelshanteringsanläggning, vilken är åtgärdad. Längre österut om anläggningen finns en bekämpningsmedelstillverkning som är delvis åtgärdad och klassas med stor risk. Ut mot Svindersviken (öster) finns en gammal oljedepå där en förstudie är genomförd och objektet klassas som en måttlig risk.

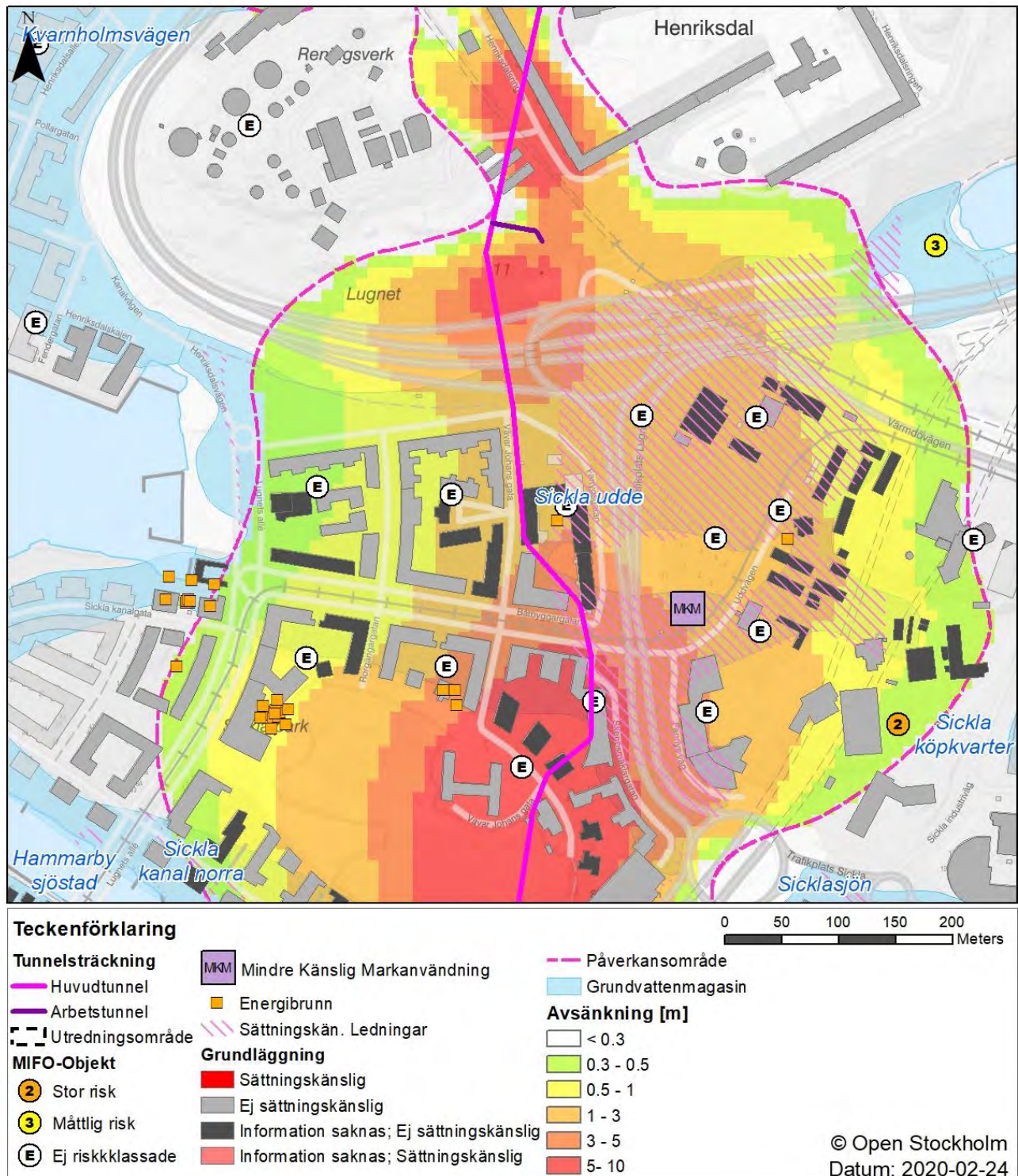
11.4.4 Påverkan

Avsänkningen når inom *Sickla Udde* som längst ca 400 meter ut från anläggningen, se figur 47. Det är även i detta området anläggningen går som djupast och ett stort utbrett lerområde förhindrar nybildning till det undre magasinet. Längre norr ut vid Henriksdal är grundvattennivåerna redan påverkade av de berganläggningar som finns och påverkan blir mer lokal runt tunneln.

Inom påverkansområdet förekommer stor mängd byggnader där grundläggningsinformation saknas. Dessa har inventerats och antingen står de på morän eller berg alternativt har dess grundläggning bedömts som icke sättningskänslig. Detta till stor del eftersom området är bebyggt samtidigt och samtliga närliggande byggnader med känd grundläggningsinformation inte är sättningskänsliga. Det är därmed rimligt att anta att även de okända är grundlagda för att motstå marksättningar.

På östra sidan av anläggningen finns ett större område med sättningskänsliga ledningar. Inom samma område går både tvärbanan och länken mellan trafikplats Lugnet och Sickla. Inom området pågår sättningar vilket skulle accelerera om grundvattennivån sänktes.

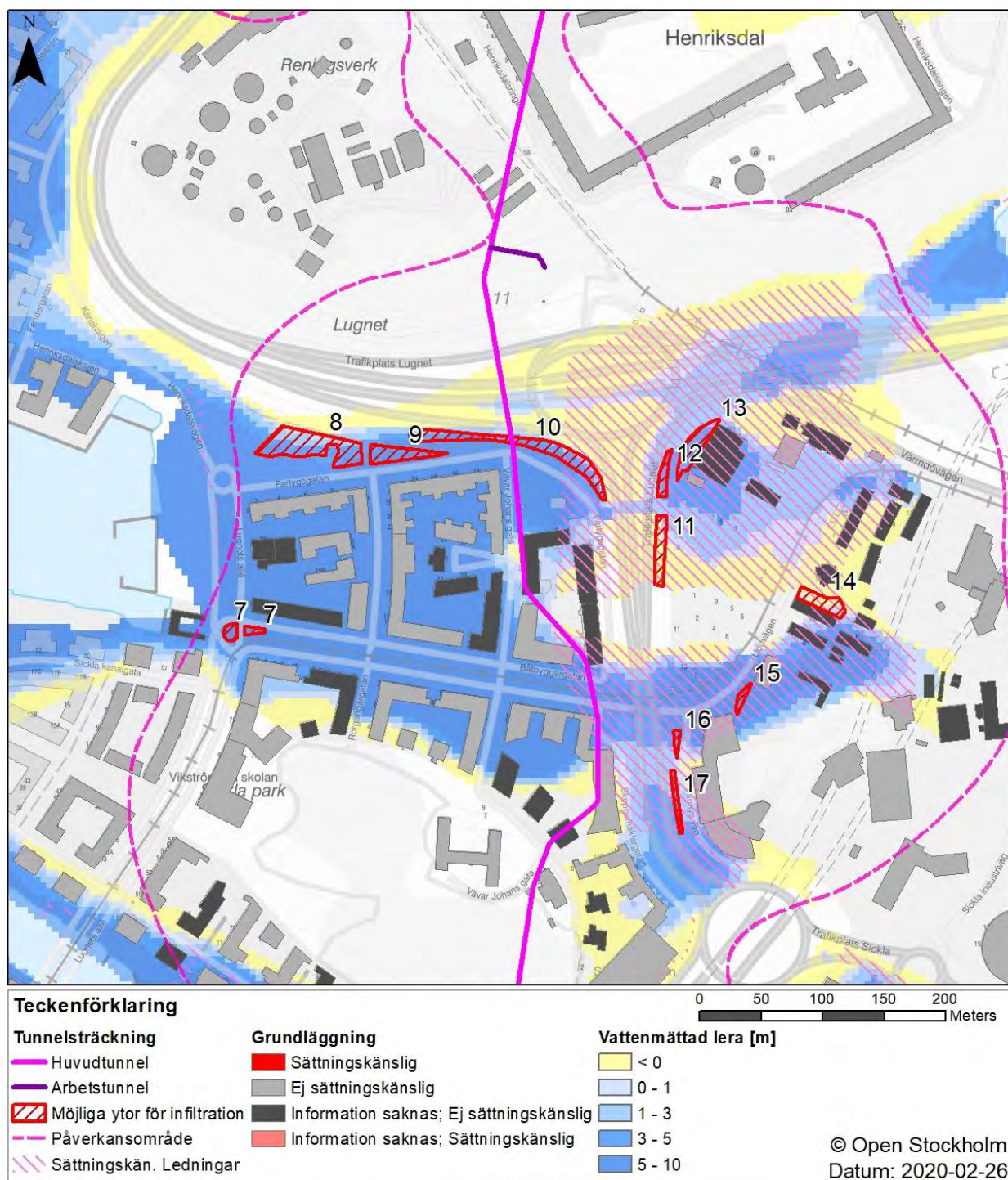
Inom påverkansområdet finns ett antal identifierade MIFO-objekt, dessa återfinns i princip alla ovan lera vilket inte kan påverkas av ett läckage till anläggningen. Öster om anläggningen finns ett objekt som är delvis åtgärdat, en bekämpningsmedelstillverkning, vid aktuell fastighet ändras inte strömningsriktningen, dvs, ingen annan spridning än vad som redan idag sker är att vänta.



Figur 47. Beräknad grundvattensänkning under byggnationen och påverkansområde för NÖT.

11.4.5 Skyddsåtgärder

I området är det framför allt marksättningar som kan ge skador på ledningar, tvärbanan, gatumiljön och serviledningar in till byggnaderna som de flesta bedöms som icke sättningskänsliga. Skyddsinfiltration bedöms behövas på båda sidorna av anläggningen dock mest i området med sättningskänsliga ledningar, se figur 48.



Figur 48. Identifierade områden för infiltration tillsammans med områden där sättningar bedöms kunna ske.

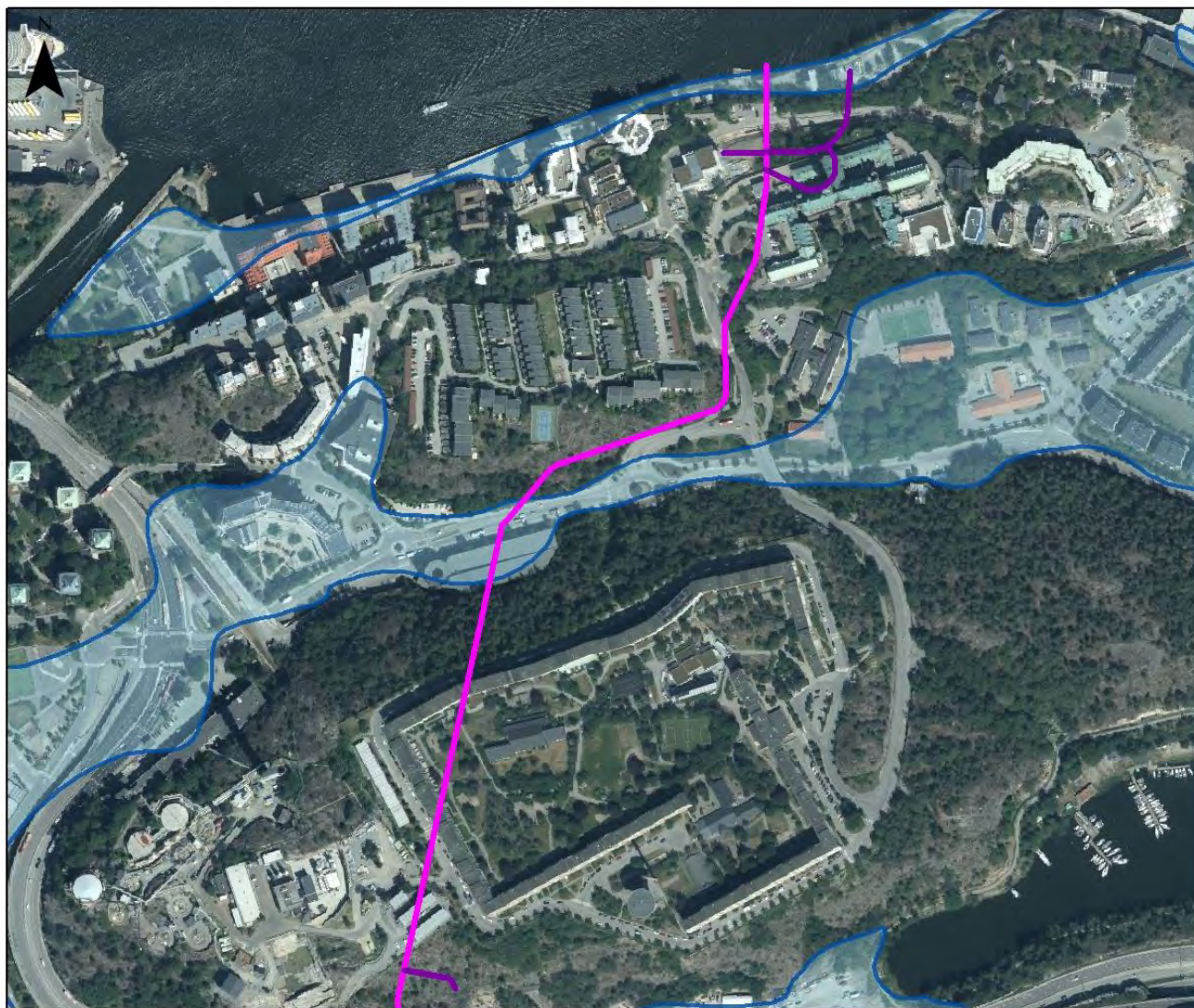
11.5 Kvarnholmsvägen & Saltsjökvärn

11.5.1 Anläggning – 1+350 till 2+146

Anläggningen går här under Henriksdals reningsverk och går slutligen ut i Saltsjön. Tunneln går djupt under Henriksdal, ca 90 meter under mark för att mot slutet stiga upp emot havsnivån. Henriksdals reningsverk har redan sänkt av grundvattennivån inne i bergplinten varvid trycknivån i driftskedet är i princip detsamma som nuvarande grundvattennivå. På den sista sträckan under Danvikshem förväntas grundvattennivån stiga och här förväntas ett inläckage i både anläggnings- och driftskedet. Mot slutet av tunneln anläggs två servicetunnlar (NÖT22 & NÖT23) vilka till stor del att länshållas för att kunna nå huvudtunneln varvid påverkan i anläggnings- och driftskedet till stor del blir densamma.

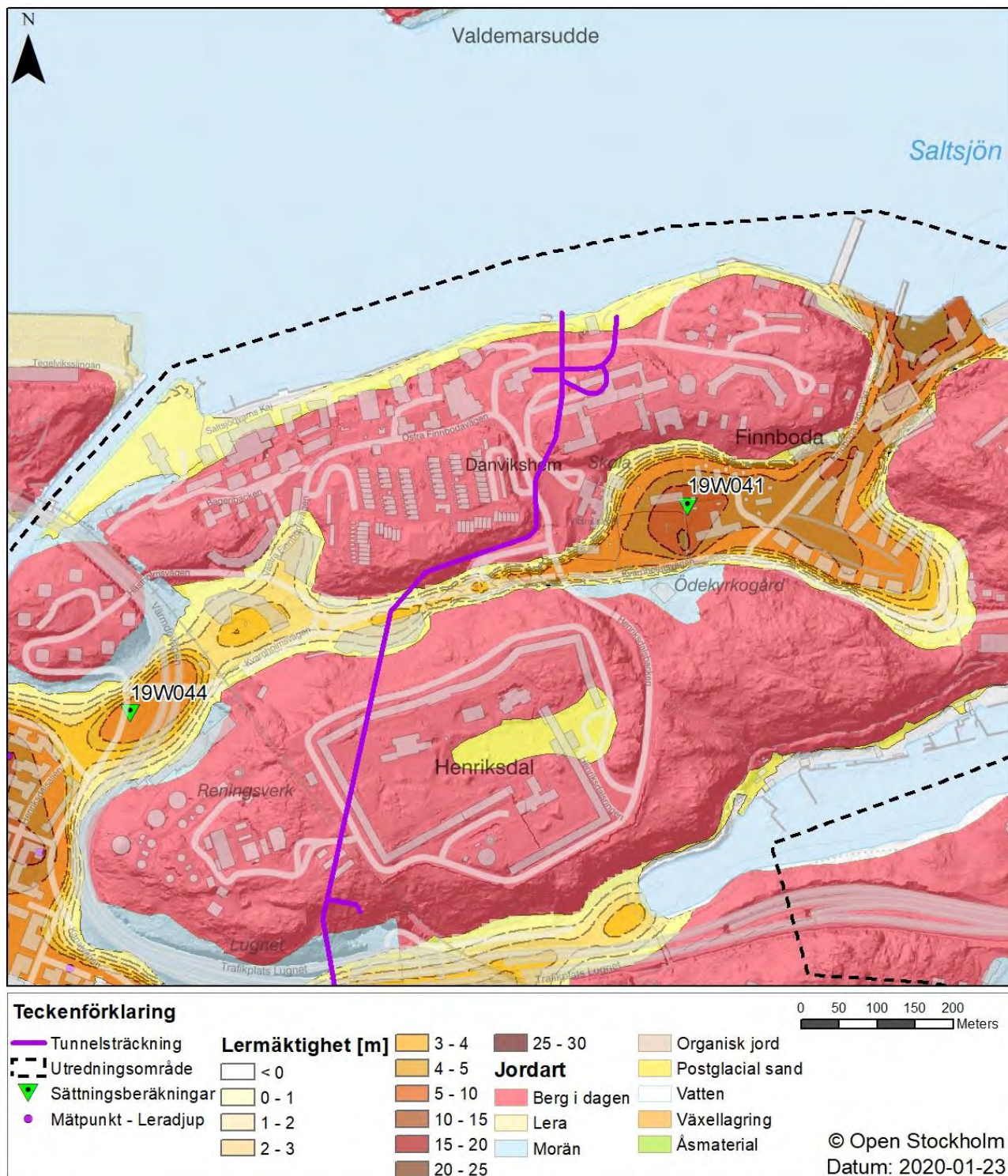
11.5.2 Områdesbeskrivning

Området har varierad bebyggelse, från flerfamiljshus, radhus och större kommersiella byggnader, se figur 49. Under Henriksdal finns Henriksdals reningsverk med stora bergrum, i norr längs mot Saltsjön har det tidigare bedrivits hamnverksamhet.



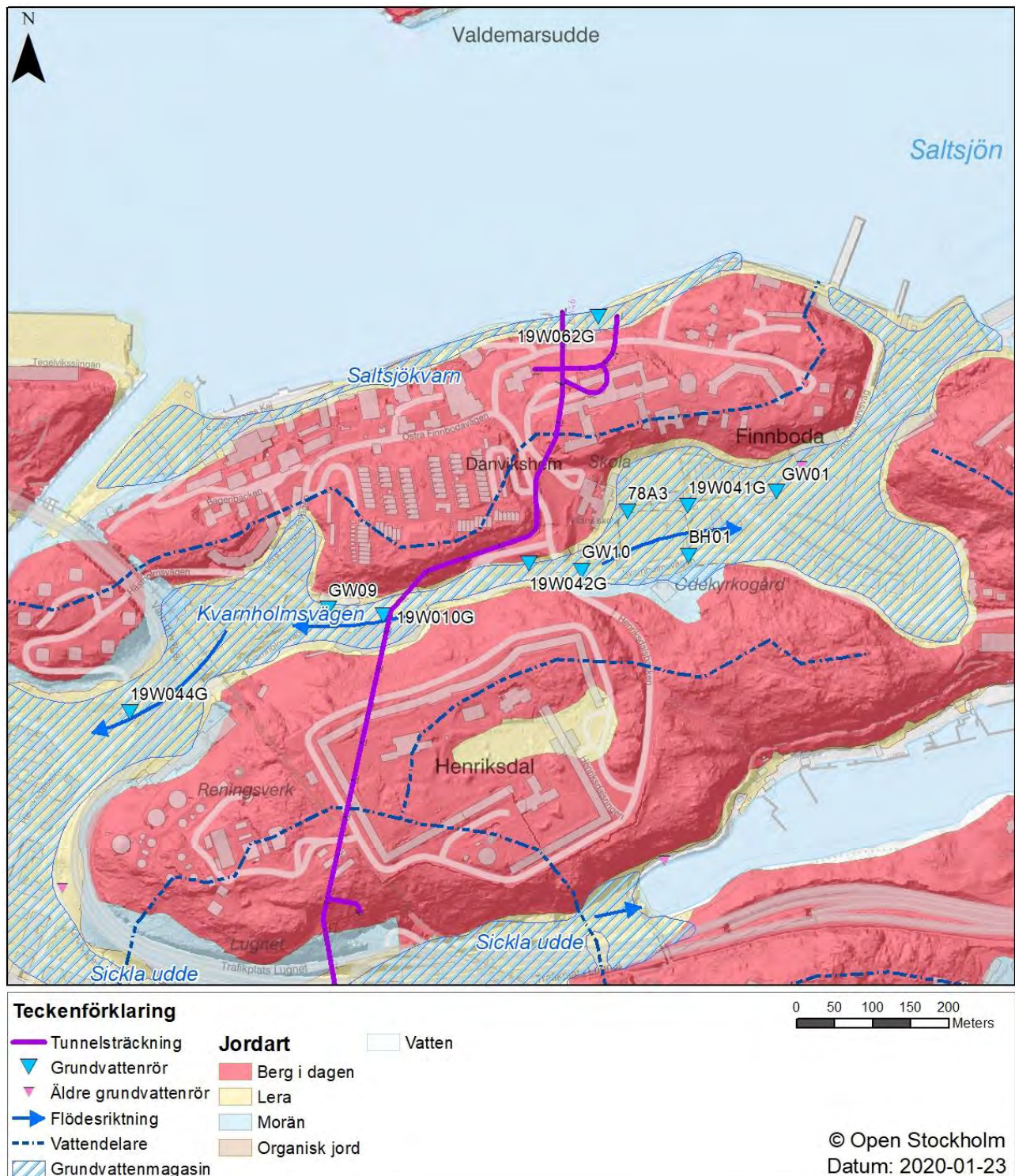
Figur 49. Flygfoto över Kvarnholmsvägen och Saltsjökvärn med ut markerad tunnelsträckning och grundvattenmagasin.

Lermäktigheten i det smala gattet där tunneln passerar magasinet Kvarnholmsvägen är ringa, troligen fåtalet meter. Längre öster och väster ut förekommer större mäktigheter, upp emot 20 meter, se figur 50. Två sättningsberäkningar har genomförts i området. I den västra punkten, 19W044, pågår mindre sättningar vilket skulle öka vid en grundvattensänkning. I den östra punkten, 19W041, pågår sättningar, drygt 1 cm/år, även här förväntas sättningsstaken öka vid en grundvattensänkning.



Figur 50. Jordarter, interpolerad lermäktighet, använda beräkningspunkter och punkter för sättningsberäkningar.

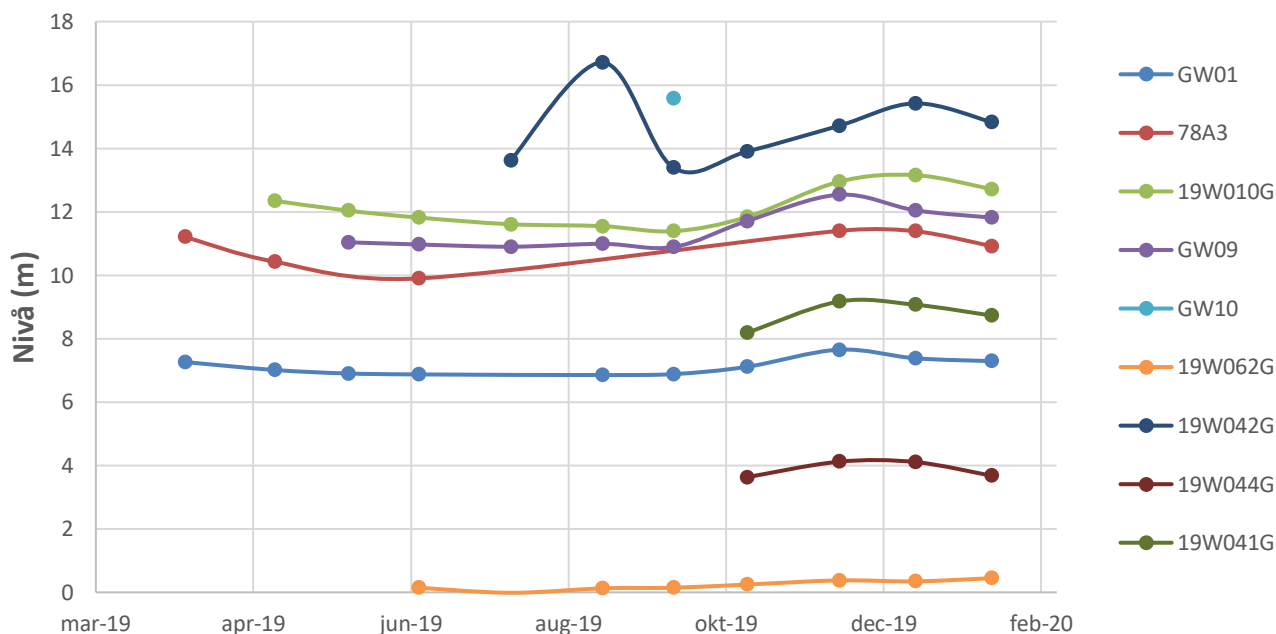
Magasinet *Kvarnholmsvägen* är ett smalt grundvattenmagasin mellan två högre bergshöjder, se figur 51. Avrinningen sker både nordöst och sydväst varvid en grundvattendelare finns, exakt vart är inte fastställt, men mellan grundvattenrören 19W010G och 19W042G. Vattendelarens läge förväntas variera beroende på grundvattennivån i området. Tunneln går i stor sett i bergshöjderna förutom på en kort sträcka under magasinet. Det finns ett smalt grundvattenmagasin, *Saltsjökvärn*, mellan bergshöjden och Saltsjön. Magasinet är till viss del artificiellt skapat genom utfyllnad och nivån sammanfaller till stor del med Saltsjöns.



Figur 51. Hydrogeologisk översikt kring grundvattenmagasinen *Kvarnholmsvägen* och *Saltsjökvärn*.

Mätningar görs i flertalet grundvattenrör i *Kvarnholmsvägens* grundvattenmagasin, se figur 52, mätningarna tyder tydligt på att en rörlig grundvattendelare finns i närheten där tunneln passerar magasinet, dock inte exakt vart. Ett grundvattenrör finns i magasinet *Saltsjökvarn*, vilket visar en låg nivå i linje med vattenytan utanför vilket stärker tolkningen om nivån i magasinet sammanfaller med vattennivån i Saltsjön.

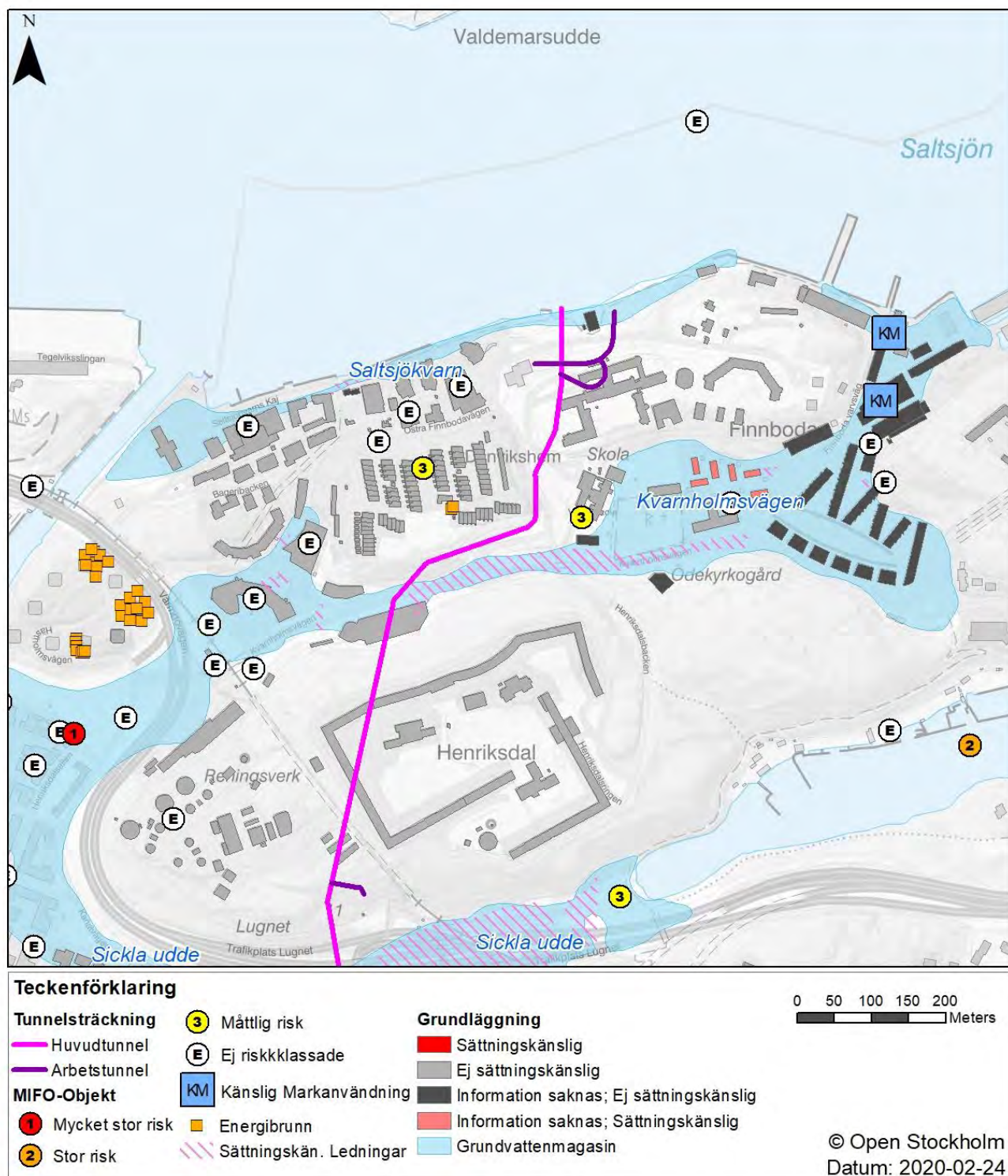
Kvarnholmsvägen & Saltsjökvarn



Figur 52. Uppmätta grundvattennivåer i magasinerna *Kvarnholmsvägen* och *Saltsjökvarn*.

11.5.3 Potentiellt motstående intressen och föroreningar

Identifierade motstående intressen och föroreningar presenteras i figuren nedan.



Figur 53. Grundläggningsinformation, MIFO-objekt och energibrunnar kring magasinerna Kvarnholmsvägen och Saltsjökvärr.

11.5.3.1 Byggnader och anläggningar

I området förekommer inga kända sättningskänsliga byggnader eller anläggningar. Ett antal byggnader där grundläggningsinformation saknas förekommer i området varav de flesta är belägna på höjdområden och därför inte kan vara sättningskänsliga. Undantaget är ett antal flerfamiljshus öster om huvudtunneln längs Kvarnholmsvägen, dessa byggnader har bedömts som sättningskänsliga. I detta området är leran mäktig och sättningskänsligheten har bedömts som hög vid en grundvattensänkning.

11.5.3.2 Energibrunnar

Det finns två kända energibrunnar i närheten av anläggningen, lägre väster ut vid Danviksbron finns det ett större antal.

11.5.3.3 Ledningar

Inom påverkansområdet återfinns sättningskänsliga ledningar som ägs av Nacka Vatten och Avfall och Nacka Energi. Utanför påverkansområdet återfinns ett litet område där Stockholms Exergi har sättningskänsliga ledningar.

11.5.3.4 Naturmiljö

Det förekommer ingen skyddsvärd naturmiljö inom området.

11.5.3.5 Föroreningar

Det finns ett större antal oklassade MIFO-objekt i området samt två med måttlig risk. Objektet väster om anläggningen är en "*övrig organisk kemisk industri*" som är inventerad. Objektet öster om anläggningen är en plantskola där en förstudie är genomförd. Längre öster ut finns två åtgärdade områden som är båtvarv.

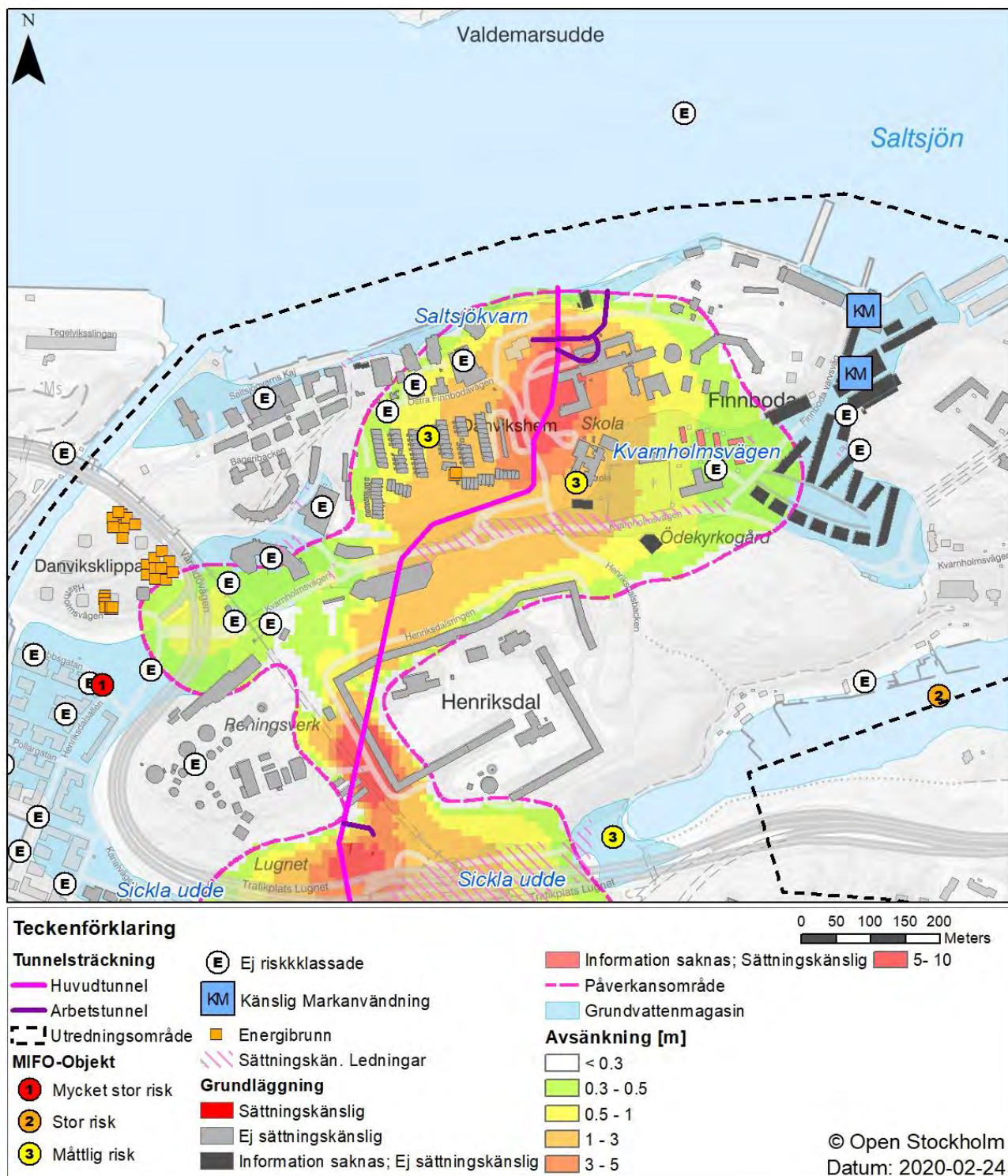
11.5.4 Påverkan

Påverkan sprider sig båda öster och väster ut, detta beror bland annat av den bedömda sprickzonen i öst-västlig riktning som sprider påverkan aningen, se figur 54. Inom detta området kommer även en del av avsänkningen finnas kvar i driftskedet då trycknivån i tunneln är lägre än nuvarande grundvattennivå. Inläckaget sjunker till knappt halva mot byggskedet varvid även påverkan kommer vara lägre i drift- än i byggskedet. Med tiden kommer även inläckaget sjunka ytterligare på grund av skin-effekten [1].

Inom påverkansområdet finns sättningskänslig lera. Lerans utbredning är smal i nord-sydlig riktning längs Kvarnholmsvägen och lerans mäktighet bedöms som låg, detta i kombination av grundvattenytans läge är låg bedöms grundvattennivån redan idag ligga under lerans underkant varvid en ytterligare grundvattensänkning inte ger ytterligare sättningar. När magasinet breder ut sig vid skolan är avsänkningen beräknad till under 1 meter, i detta området är leran sättningskänslig och det finns både byggnader och ledningar som är sättningskänsliga. Med en avsänkning på ca 0,5 meter bedöms det att marksättning på någon till några centimeter kan utvecklas under byggtiden.

Det förekommer ett par ej riskklassade MIFO-objekt i området, dessa ligger över lag nära gränsen av påverkansområdet. Vid aktuella objekt ändras inte flödesriktning i någon större omfattning att en förändrad spridningsväg är att vänta. Två objekt med måttlig risk förekommer, en till verkstadsindustri och en plantskola, båda finns inom området där ett flöde mot tunneln är att vänta. Det finns därmed en risk att föroreningar når tunneln.

Två energibrunnar finns innanför påverkansområdet, avsänkningen bedöms till drygt 1 meter i byggskedet varvid påverkan förväntas vara under 1 meter i driftsskyddet. En mindre sänkning på 1–2 meter ger normalt en knappt märkbar påverkan på energiuttaget.



Figur 54. Beräknad grundvattensänkning under byggnationen och påverkansområde för NÖT.

11.5.5 Skyddsåtgärder

Öster om anläggningen förekommer både sättningskänsliga byggnader och ledningar varvid skyddsinfiltration bedöms som nödvändigt, se figur 55. Eftersom ett visst läckage kommer ske även i driftskedet finns det risk att skyddsinfiltrationen behöver vara permanent, det är dock mindre troligt.

Väster om anläggningen bedöms det initialt inte krävas någon infiltration under varken bygg- eller drifttiden. Avsänkningen är mindre och inga kända riskobjekt har identifierats i området.



Figur 55. Identifierade områden för infiltration tillsammans med områden där sättningar bedöms kunna ske.

11.6 Sammanställning av skyddsvärda intressen och påverkansbedömning

Inventerade potentiellt motstående intressen redovisas i bilaga G4.

11.6.1 Inventerade intressen jord

Flera områden med sättningskänsliga ledningar har identifierats, inom magasinerna Hammarby Sjöstad, Sickla Kanal norra, Sickla Udde och Kvarnholmsvägen. Inom Kvarnholmsvägen har även sättningskänsliga byggnader identifierats.

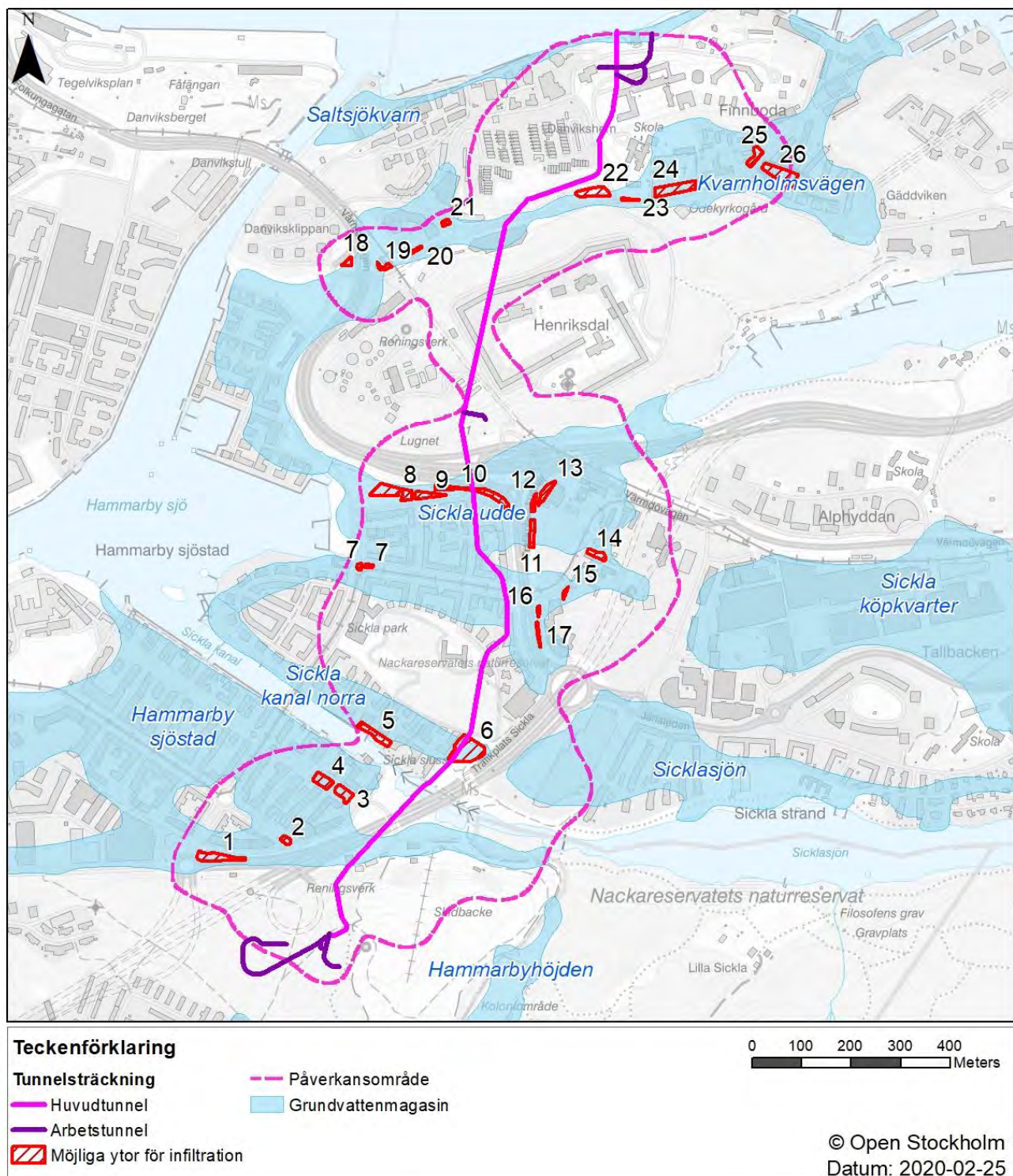
Drygt 30 MIFO-objekt finns inom påverkansområdet, stor del av dessa återfinns ovan lera och är inte klassade. I norr, på bergshöjden mellan magasinerna Kvarnholmsvägen och Saltsjökvärn, finns två objekt där det finns risk för att eventuella föroreningar når tunneln. Objektet väster om tunneln är en verkstadsindustri och öster om tunneln återfinns en f.d. plantskola.

11.6.2 Inventerade intressen berg

Inom tunnelns påverkansområde för grundvatten i berg finns ca 35 energibrunnar, varav 14 stycken är en del av ett större energiborrhållslager vid Sickla park. Totalt förekommer det 7 energibrunnar som beräknas få en avsänkning som är större än 1 meter i driftskedet. Utav dessa är avsänkningen enbart provisorisk under byggtiden för 5, de sista 2 vid Danvikshem bedöms få en kvarvarande påverkan i driftskedet, dock under 1 meter.

11.6.2.1 Skyddsåtgärder

Inom påverkansområdet har olika området tagits fram där skyddsinfiltration skulle vara möjlig att genomföra. Skyddsinfiltrationen syftar till att upprätthålla naturliga grundvattennivåer och grundvattenströmning i byggskedet och eventuellt i driftskede. Förutom att de geologiska förutsättningarna ska vara korrekta har även gräsytor prioriterats för att minska skada på gatumark och annat vid arbeten. Vidare har ytor som tillhör det allmänna prioriterats för att underlätta tillgång till mark. Totalt har 26 olika ytor identifierats där skyddsinfiltration bedöms som genomförbart. I figur 56 och bilaga G3 Skyddsinfiltration presenteras infiltrationsytorna, en detaljerad karta över områdena och fastighetsgränser presenteras i Bilaga 2 Områden för infiltration.



Figur 56. Identifierade områden för skyddsinfiltration.

12. Kontrollprogram

Ett kontrollprogram som dokumenterar nuvarande förhållande och kontrollerar eventuell påverkan från bygg- och driftskedet av bergtunneln ska upprättas. Kontrollprogrammet som delvis påbörjats kommer att tas fram i samråd med länsstyrelsen och följande delar föreslås ingå:

Före byggskedet:

- Mätning av grundvattennivåer i rör i jord. Mätningar pågår sedan mars 2019 med mätfrekvens 1 gång/månad. I anslutning till byggstart kan mätfrekvensen komma att öka.
- Sättningsmätningar på utvalda platser i form av bl.a. avvägda markpegel. Detta ska påbörjas före byggstart.

Under byggskedet:

- Flödesmätning av inläckande grundvatten till tunneln.
- Provtagning och analys av länshållningsvattnen. Analys sker bl.a. av pH, suspenderande ämnen, totalkväve, oljeindex och tungmetaller.
- Mätning av grundvattennivåer i rör i jord. Mätningar pågår sedan mars 2019 med mätfrekvens 1 gång/månad. I anslutning till byggstart kan mätfrekvensen komma att öka.
- Sättningsmätningar på utvalda platser i form av bl.a. avvägda markpegel. Detta ska påbörjas före byggstart.

Driftskedet:

- Mätning av grundvattennivåer i utvalda rör i jord.
- Sättningsmätningar av utvalda markpegel och dubb.

I driftskedet bör kontrollprogrammet fortsätta men med en reducerad mätfrekvens och omfattning. Hur länge kontrollprogrammet bör fortgå bestäms i samråd med tillsynsmyndighet.

Under driftskedet kommer inläckande grundvatten tillsammans med det dagvatten som rinner i tunneln ledas ut i Saltsjön. Mätning av inläckage kommer inte att vara möjlig då tunneln kommer vara vattenfylld, men detta bedöms inte heller vara nödvändigt. Tillräcklig kunskap om tunnelns täthet kommer att erhållas under byggskedet och inläckaget till tunneln kommer att minska med tiden.

12.1 Principer för framtagande av åtgärdsnivåer

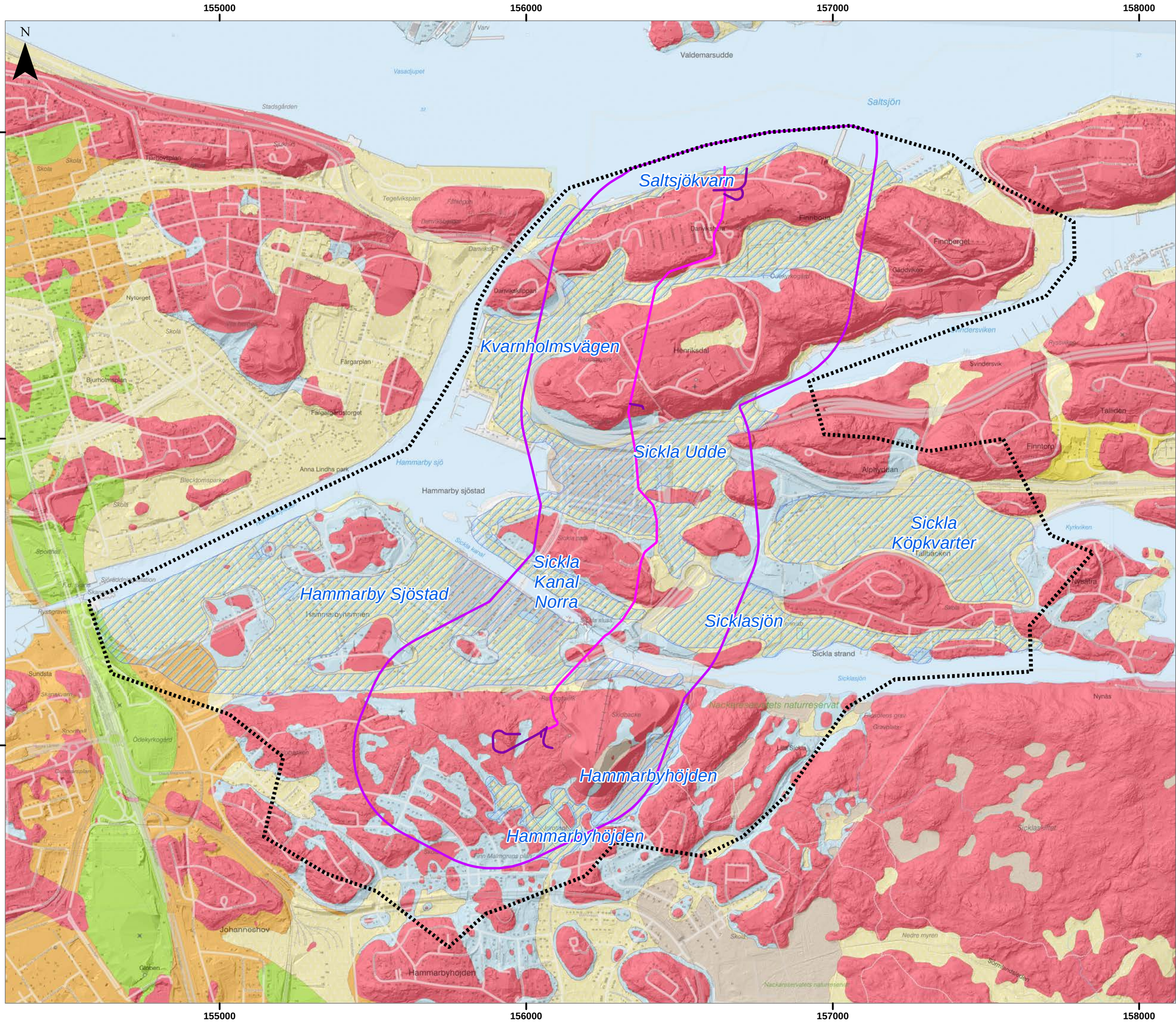
Grundvattennivåer i den urbana miljön är påverkade av olika mänskliga aktiviteter och kan därför inte betraktas vara "naturliga", även om det förekommer "naturliga årstidsfluktuationer" som följd av variation i nederbörd och temperatur (nybildning av grundvatten).

Nivåpåverkan i den urbana miljön som kan medföra skadliga marksättningar är sådan som, inom känsliga lerområden, leder till en grundvattennivå som under en längre tidsperiod (>månader) underskrider en *vanligt förekommande låg nivå*. Denna nivå kan beskrivas motsvara en låg nivå med en statistisk återkomsttid om 2 år.

En nivå som inte ska underskridas (här: *åtgärdsnivå*) är definitionsmässigt lägre än en *vanligt förekommande låg nivå*. Åtgärdsnivån används i projekt för att styra när skyddsåtgärder ska vidtas. Åtgärdsnivån sätts förslagsvis till en låg nivå med en statistisk återkomsttid om 10 år.

13. Referenser

- [1] Brantberger M., Dalmalm T., Eriksson M., och Stille H. (1998). Styrande faktorer för tätheten kring en förinjekterad tunnel. Avd. för Jord- och bergmekanik, Inst. för Anläggning och miljö, Kungliga Tekniska Högskolan. Rapport 3049.
- [2] Lissel, P. (2018). Bolmentunneln; Samband mellan inläckage och omgivningspåverkan, en notering om skineffekt. WSP Sverige AB.



Teckenförklaring

- Huvudtunnel
- Arbetstunnel
- Utredningsområde
- Inventeringsområde
- Grundvattenmagasin

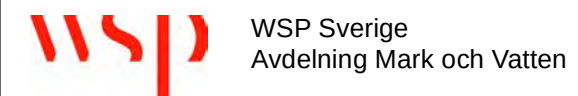
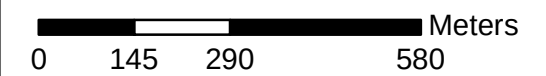
Tolkad Jordartskarta

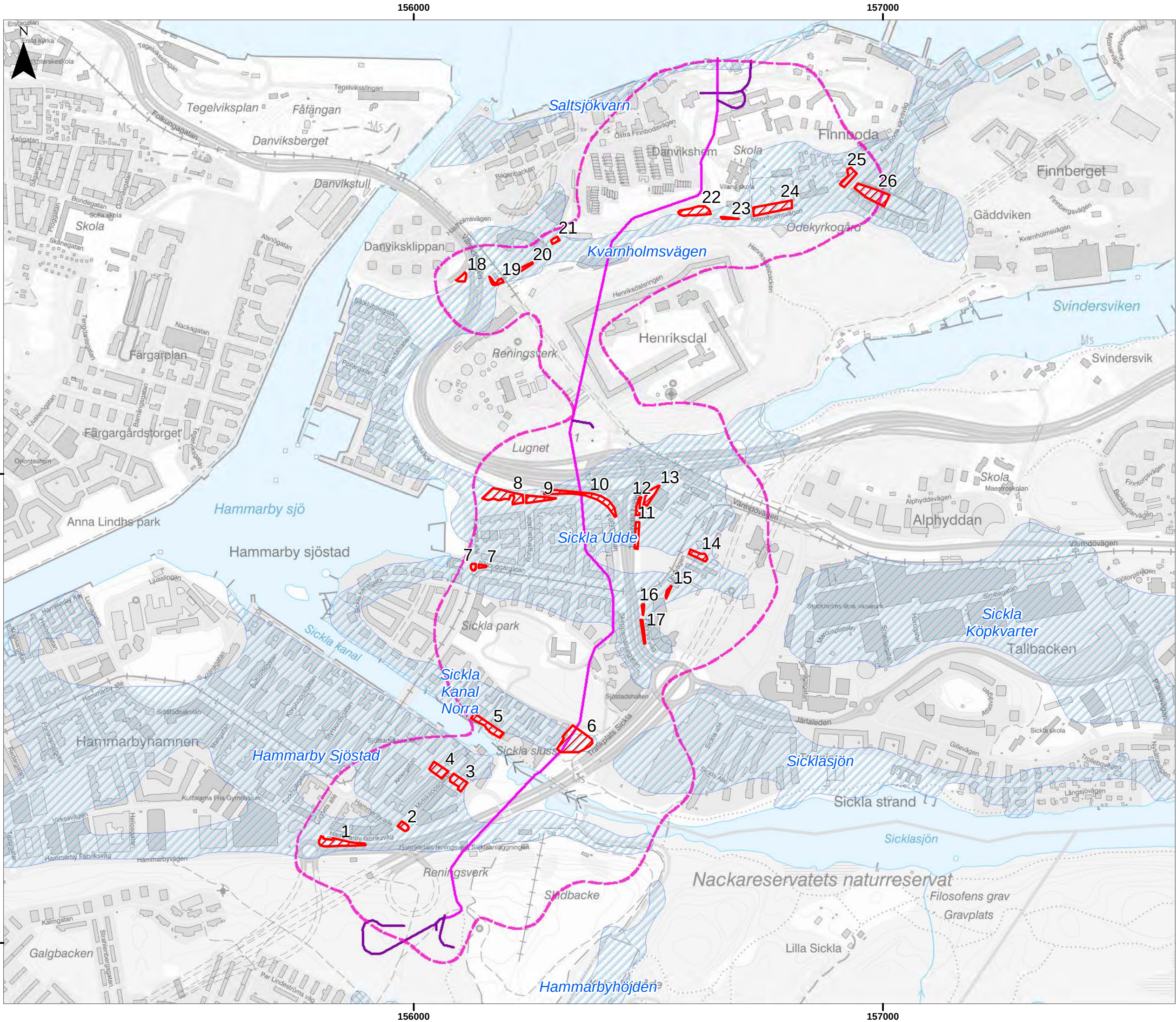
Jordart

- Berg i dagen
- Lera
- Morän
- Organisk jord
- Postglacial sand
- Vatten
- Växellagring
- Åsmaterial

Nya Östbergatunneln Bilaga G1 - Översiktskarta

© Open Stockholm, Lantmäteriet
Datum: 2020-03-09
A3, Skala: 1:11,467
Koordinatsystem: SWEREF 99 18 00





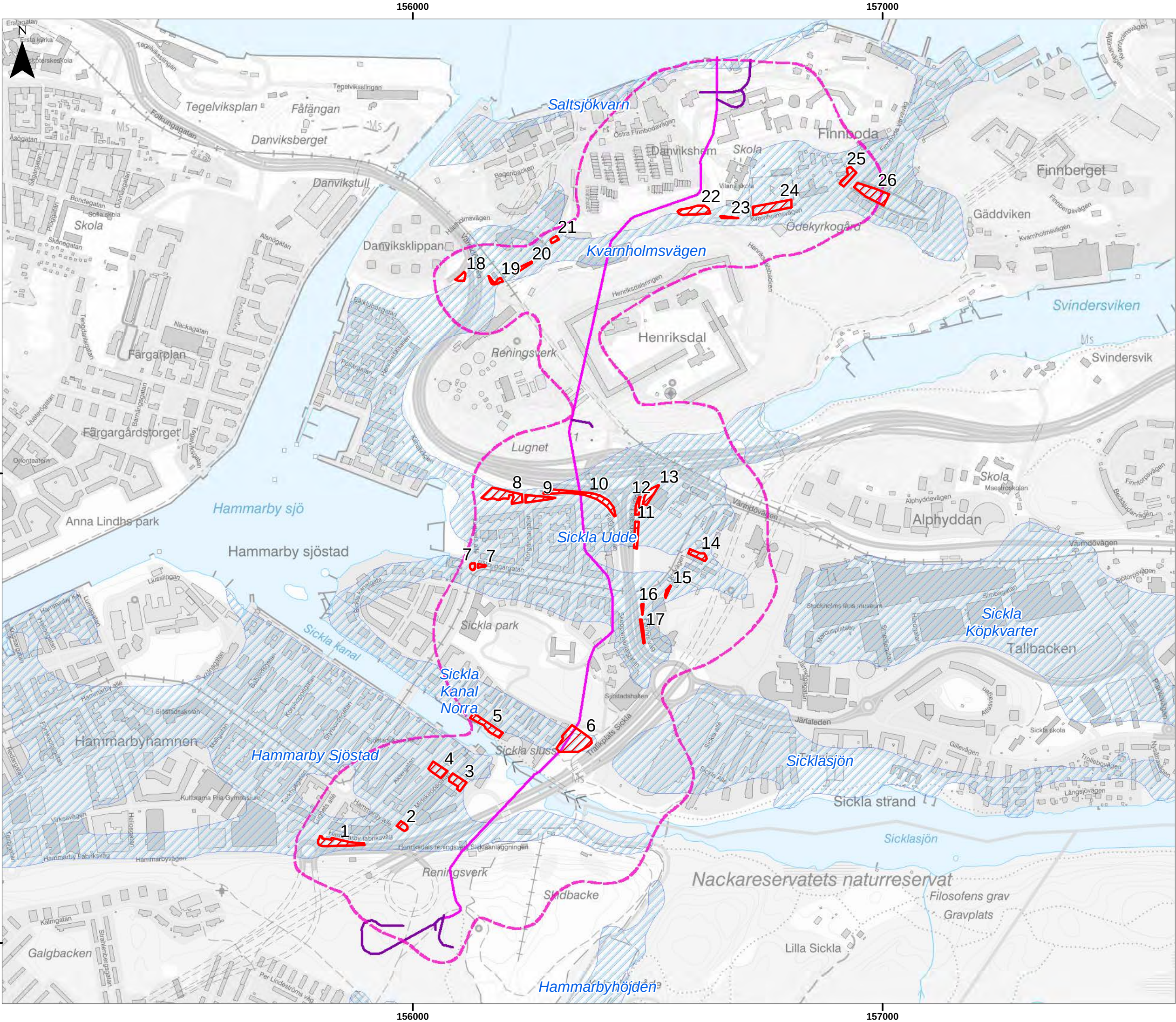
Teckenförklaring

- Huvudtunnel
- Arbetstunnel
- Påverkansområde
- Grundvattenmagasin
- Möjliga ytor för infiltration

Nya Östbergatunneln Bilaga G3 - Skyddsinfiltration

© Open Stockholm, Lantmäteriet
Datum: 2020-03-19
A3, Skala: 1:7,500
Koordinatsystem: SWEREF 99 18 00





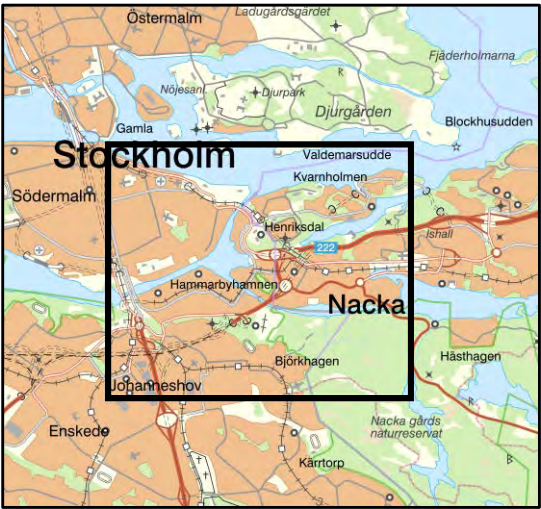
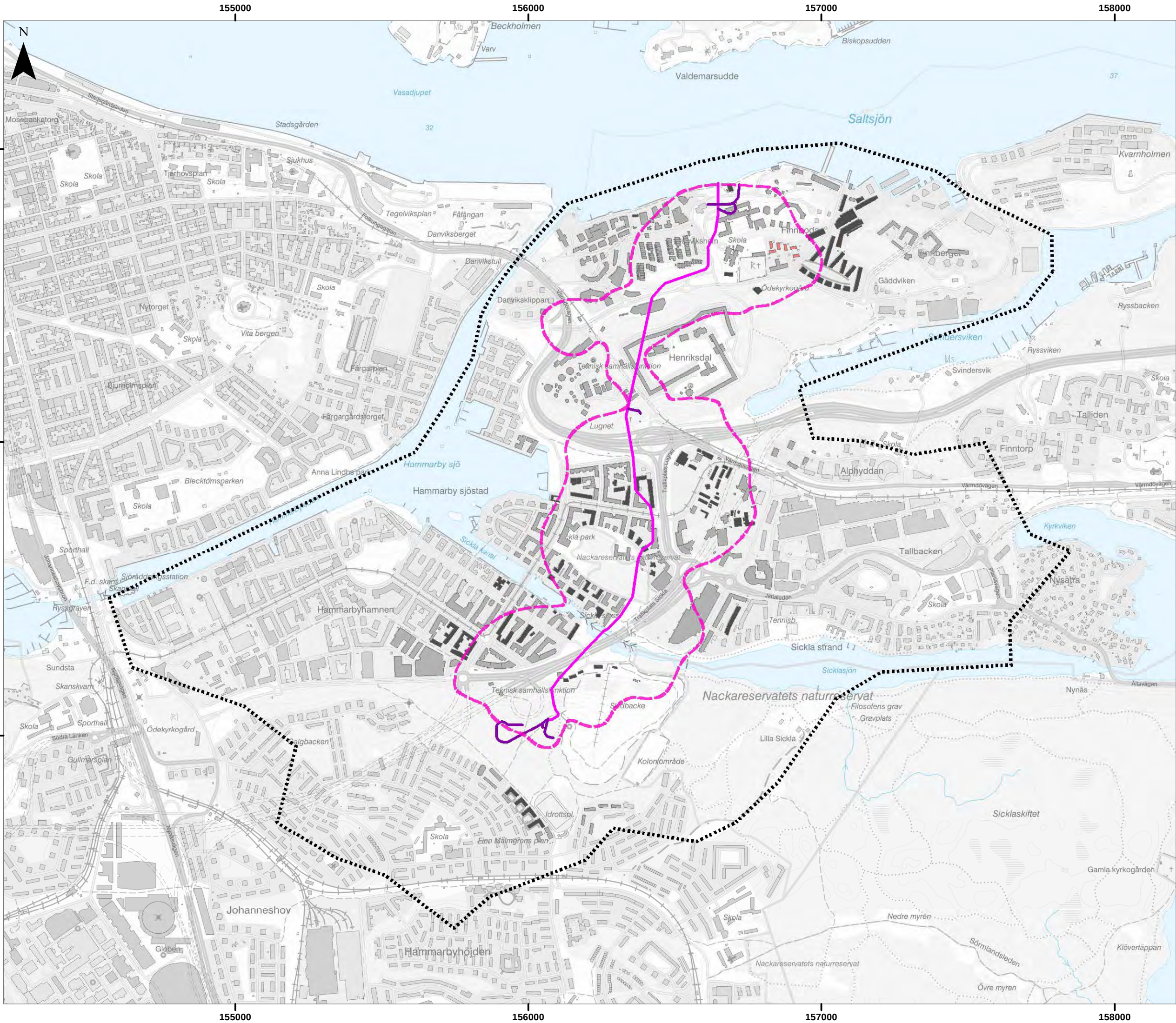
Teckenförklaring

- Huvudtunnel
- Arbetstunnel
- Påverkansområde
- Grundvattenmagasin
- Möjliga ytor för infiltration

Nya Östbergatunneln Bilaga G3 - Skyddsinfiltration

© Open Stockholm, Lantmäteriet
Datum: 2020-03-19
A3, Skala: 1:7,500
Koordinatsystem: SWEREF 99 18 00





Teckenförklaring

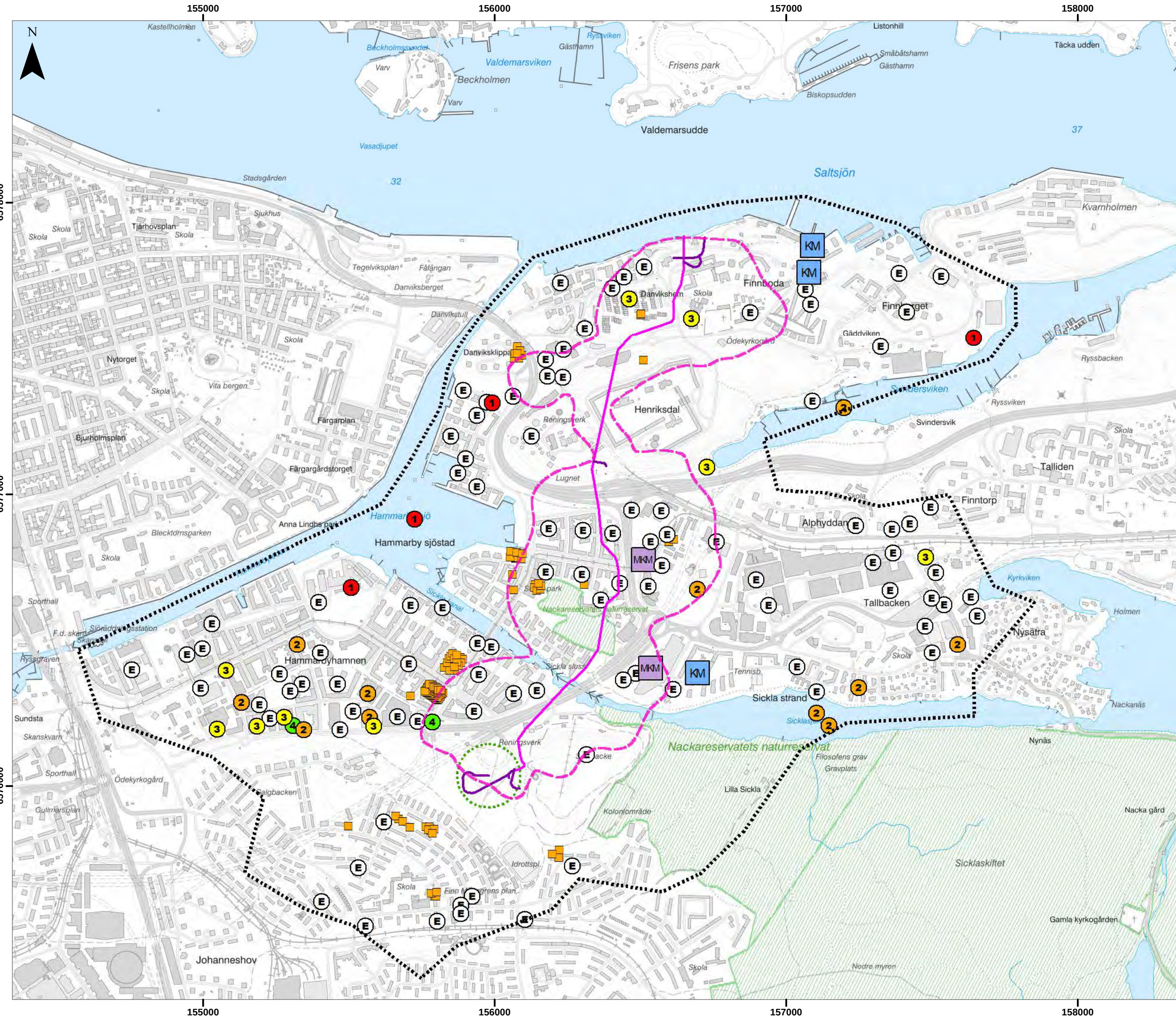
- Huvudtunnel
- Arbetstunnel
- Utredningsområde
- Påverkansområde

Grundläggning

- Sättningskänslig
- Ej sättningskänslig
- Information saknas; Ej sättningskänslig
- Information saknas; Sättningskänslig

Nya Östbergatunneln Bilaga G4 - Inventering av potentiellt motstående intressen

Datum: 2020-03-19
© Open Stockholm, Lantmäteriet
A3, Skala: 1:12,000
Koordinatsystem: SWEREF 99 18 00
0 150 300 600 Meters



Teckenförklaring

- Huvudtunnel
- Arbetstunnel
- Påverkansområde
- Naturresevat
- Skyddsvärda träd
- Energibrunn
- MIFO-objekt**
 - 1 Mycket stor risk
 - 2 Stor risk
 - 3 Måttlig risk
 - 4 Liten risk
 - E Ej riskklassade
 - KM Känslig Markanvändning
 - MKM Mindre Känslig Markanvändning

Nya Östbergatunneln Bilaga G4 - Inventering av potentiellt motstående intressen

Datum: 2020-03-19
© Open Stockholm, Lantmäteriet
A3, Skala: 1:12,000
Koordinatsystem: SWEREF 99 18 00
0 150 300 600 Meters

Namn	Dokumenttitel Bilaga G5 PM Sättningar	Version 2.0
Författare Mattias Lindgren	Ansvarig Tomas Hård	Datum 2020-03-19
Projektnamn Nya Östbergatunneln	Projektnummer 410498	Diarienummer 18MB1337



Nya Östbergatunneln

Bilaga G5 PM Sättningar Tillståndsansökan Nya Östbergatunneln

Dokumenthistorik

Version	Datum	Version avser
1.0	2020-02-07	För granskning
2.0	2020-03-19	Gällande

Sammanfattning

Denna PM beskriver översiktligt markförhållanden och jordlagerförhållanden längs med inventeringsområdet för planerad Nya Östbergatunneln. För att klarlägga riskbilden har områden med lera undersökts och bedömts med avseende på sättningskänslighet dels vid dagens förhållanden och dels om en grundvattenavsänkning skulle inträffa.

Innehållsförteckning

1.	Inledning och syfte	4
2.	Allmänna förutsättningar	5
2.1	Urval av områden	5
2.2	Marksättningsars utbildande	7
2.3	Beteckningar och höjdsystem	8
3.	Beräkningsförutsättningar	9
3.1	Beräkningsgång och programvara	9
3.2	Grundvatten och portryck.....	9
3.3	Jordlagerförhållanden	9
3.4	Redovisning.....	11
4.	Resultat	12
4.1	Henriksdal	13
4.2	Sickla udde.....	19
4.3	Sickla kanal norra	25
4.4	Hammarby sjöstad	29
5.	Sammanfattning av beräkningar	33
6.	Referenser.....	34

Bilagor

Bilaga	Titel
1	Översiktskarta med provtagningspunkternas placering och grundvattenrör

1. Inledning och syfte

Stockholm Vatten och Avfall (SVOA) planerar att bygga en ny dagvattentunnel, benämnd Nya Östbergatunneln, från SVOA's Sicklaanläggning vid Hammarbybacken till Saltsjön vid Finnboda. Nya Östbergatunneln blir en förlängning på dagvattentunneln från Östberga. Syftet med Nya Östbergatunneln är att den ska ta hand om dagvatten från Enskedefältet och Björkhagen.

Inför byggnation av Nya Östbergatunneln analyseras risken för marksättningar orsakade av grundvattensänkringar inom lerområden längs tunnelsträckan. Syftet med denna PM är att beskriva och bedöma hur lerområden påverkas samt att kvantifiera sättningarnas storlek till följd av den grundvattenbortledning som kan uppkomma vid byggnation av den nya tunneln. Detta görs huvudsakligen genom teoretiskt beräknade sättningar orsakade av antagna förändrade grundvattentryck inom influensområdet för grundvatten.

Nya Östbergatunneln planeras byggas under en tidsperiod om som längst 5 år och under byggtiden finns risk att grundvattenbortledning kan ske. När dagvattentunneln är i drift förväntas den vara konstant fylld med vatten och ingen grundvattenbortledning sker. Tunneln planeras att vart ca 5:e år tömmas för rengöring vilket pågår under ca 1 månads tid.

Sättningar kan uppstå vid grundvattennivåsenkning på grund av grundvattenbortledning i byggskedet. När tunneln är färdigbyggd och ingen grundvattenbortledning sker bedöms att grundvattennivån i jorden inom en kort tidsperiod återgå till samma nivå som innan byggnationen påbörjades.

2. Allmänna förutsättningar

Detta dokument behandlar markrörelser, som kan uppkomma genom konsolidering av kohesionsjordar, orsakade av grundvattennivåsänkning vid byggnation av dagvattentunneln. Då konsolideringsförloppen är tidsmässigt utdragna kan även tidigare eventuella grundvattennivåförändringar eller markuppfyllnader fortfarande orsaka pågående sättningar.

Inventering av tidigare utförda geotekniska undersökningar och provtagningar inom områden som bedöms kunna påverkas av grundvattennivåsänkning har utförts. Utifrån inventeringen har sedan kompletterande undersökningar och provtagningar utförts inom utvalda områden.

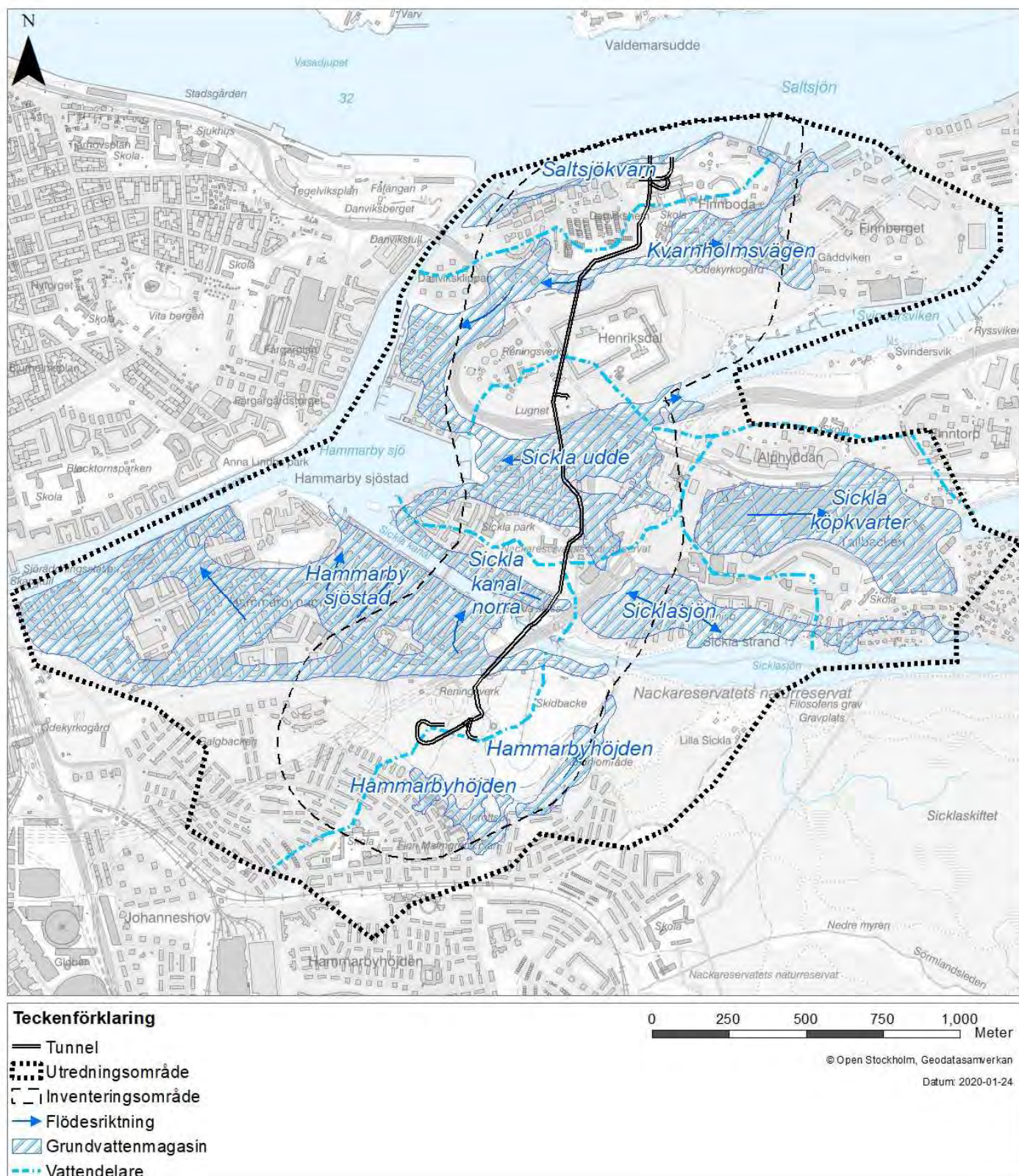
Utförda sättningsberäkningar baseras på resultat från inventerade och kompletterande undersökningar. Detaljerade resultat från geotekniska undersökningar, provtagningar och laboratorieanalyser på ostörda lerprover redovisas i Markteknisk undersökningsrapport [1].

Vid grundvattennivåsänkning kan sättningar uppstå i den lösa leran. Storleken och tidsförloppet på sättningarnas utbildande styrs dock av lerans deformationsegenskaper, dränerande skikt i jorden samt grundvattensänkningens storlek och varighet.

2.1 Urval av områden

De teoretiska beräkningarna avser marksättning eller markrörelse till följd av en antagen grundvattensänkning inom områden med sättningsbenägen lera. Efter bedömning och indelning av geologiska och hydrogeologiska områden har ostörda prover av lera tagits upp genom kolvprovtagning i utvalda områden. Proverna har analyserats på laboratorium genom så kallade CRS-försök, varifrån deformationsparametrar erhållits som underlag för beräkningarna.

Inom influensområdet för bedömd grundvattenpåverkan i jord vid byggnation av tunneln, har följande områden med sättningsbenägen lera identifierats: Henriksdal, Sickla udde, Sickla kanal norra och Hammarby sjöstad. I Figur 1 visas inventeringsområdets utbredning samt grundvattenmagasin längs tunnelsträckan. Influensområdet för bedömd grundvattenpåverkan redovisas i Bilaga 1.



Figur 1 Inventeringsområde och grundvattenmagasin. Grundvattenmagasinet Kvarnholmsvägen ligger vid lerområdet Henriksdal.

2.2 Marksättningsars utbildande

Marksättningar kan uppkomma av olika orsaker, vanligtvis på grund av uppfyllnader på markytan men också vid grundvattensänkning i det undre grundvattenmagasinet. Ett övre grundvattenmagasin finns i fyllning över tät lera, medan ett undre magasin finns i friktionsjord och berg under leran. Grundvattenförändringar i det övre magasinet ger normalt inte upphov till marksättningar.

Vid en grundvattensänkning sänks portrycket i leran. Detta är en process som resulterar i att portrycket i leran söker sig till ett nytt jämviktstillstånd, det hydrostatiska trycket. Processen då portryckutjämning sker är långsam i täta jordlager som till exempel lera, medan den i grövre jordarter som till exempel silt, sand och grus går betydligt snabbare.

Under portryckutjämningen sker en konsolidering av leran, vilket medför deformation genom volymminskning. Volymminskningen motsvarar helt den vattenutpressning som sker. I friktionsjordar dräneras vattnet ut relativt snabbt och volymminskningen i dessa jordarter ger normalt endast små deformationer, praktisk försumbara, då kornskelettet deformeras.

I lera skiljer man mellan primär och sekundär konsolidering. Med primär konsolidering avses den hydrodynamiska delen av volymminskningen. Med sekundär konsolidering avses volymminskning genom krypning i "jordskelettet", det vill säga när lerans kornskelett komprimeras. Sekundär konsolidering sker under konstant belastning även efter det att full portrycksutjämning har skett. Primär och sekundär konsolidering sker i praktiken i stort sett samtidigt och är därför svåra att särskilja. Däremot kan de sekundära sättningarna pågå under många tiotals år.

Jord som tidigare varit belastad eller haft avsänkt grundvattennivå får en viss överkonsolidering. Konsolideringsgraden framgår av laboratorieutvärderingen av jordprover. Detta innebär att jorden tål belastning upp till samma spänning som tidigare utan att primärkonsolidering sker.

Förhållandet mellan förkonsolideringsspanningen (σ'_c) och jordens rådande vertikala effektivspänning (σ'_o) kallas överkonsolideringskvot, OCR ($OCR = \sigma'_c / \sigma'_o$). En kvot på 1 till 1,5 benämns som normalkonsoliderad eller svagt överkonsoliderad, en kvot på 1,5 till 10 som överkonsoliderad och en kvot på mer än 10 som starkt överkonsoliderad. Är den antagna överkonsolideringskvoten under 1 innebär det att rådande spänningar i leran inte är helt utjämnade, d.v.s. konsolidering pågår. Detta innebär att marksättningar pågår och fortsätter att utbildas även utan ytterligare belastning eller grundvattenpåverkan.

Den sekundära konsolideringen, krypningen, antas uppstå i lera då effektivspänningen överskrider ca 80 % av förkonsolideringsstrycket. Under denna nivå erhålls marginella krypeffekter.

Marksättningar är tidsberoende och även små sättningar kan pågå under lång tid, upp till 50 - 100 år.

Sättningens storlek och tidsberoende varierar med såväl jordens egenskaper, såsom förekomst av dränerande skikt av sand och silt, lerans mäktighet och grundvattensänkningens storlek och varaktighet.

Sättningar kan även utbildas utan grundvattensänkning, t.ex. vid belastningsökning från uppfyllning av mark. Ytliga jordlager, som belastas vid uppfyllning, kan innehålla organiskt material som långsamt bryts ned, vilket medför sättningar. Sättningens storlek beror av andelen och mäktigheten av organiskt material. Organiskt material antas förekomma lokalt och bedöms bli av underordnad betydelse jämfört med primärkonsolidering av lera.

2.3 Beteckningar och höjdsystem

Parametrar och dess beteckningar följer SGF/BGS beteckningssystem, som är branschspecifik.

Nivåangivelser för mark och grundvatten ges i Rikets höjdsystem (RH2000).

Parametrar från CRS-försök

σ'_c = förkonsolideringstryck, [kPa]

σ'_L = gränstryck, [kPa]

M_0 = kompressionsmodul under förkonsolideringstrycket, [kPa]

M_L = kompressionsmodul för spänningar över förkonsolideringstrycket, [kPa]

M' = kompressionsmodul för spänningar över gränstrycket, [kPa]

k_i = initiell permeabilitet, [m/s]

β_k = permeabilitetsändring med kompression

Parametrar för beräkningar i GS Sättning utöver resultat från CRS-försök

w_N = vattenkvot

r_0 = tidsmotståndstalet för spänningar upp till $b_0 \cdot \sigma'_c$

r_1 = tidsmotståndstalet för spänningar upp till $b_1 \cdot \sigma'_c$

a_0 och a_1 = faktorer som anger övergång mellan M_0 och M_L

b_0 och b_1 = faktorer som anger övergång mellan r_0 och r_1

t_{ref} = referenstid

K_{init} = jordens permeabilitet

3. Beräkningsförutsättningar

3.1 Beräkningsgång och programvara

Inför beräkningarna har jordens egenskaper utvärderats och sammanställts från fält- och laboratorieförsök för respektive undersökningspunkt.

CPT-sonderingar har utvärderats med datorprogrammet CONRAD.

Sättningsberäkningar har utförts med beräkningsprogrammet GeoSuite Sättning, som baseras på Chalmersmodellen. I programmet har jordmodellerna *Chalmers with creep* och *Chalmers without creep* använts. Modell för permeabilitet är *Log based strain*. Modeller och beräkningsprogram beskrivs i [3,4].

3.2 Grundvatten och portryck

Sättningsens storlek vid grundvattensänkning är beroende av ansatt grundvattennivå vid beräkningsstart. En högre ansatt nivå innebär att sättningarna blir mindre vid en grundvattensänkning.

Den rådande grundvattennivån i det undre magasinet har i varje beräkningspunkt bedömts utifrån tillgängliga grundvattennivåmätningar inom närområdet. Saknas detta underlag har en grundvattennivå i underkant torrskorpelera antagits. I torrskorpelera har fullständiga sättningar redan utbildats. Ytterligare konsolidering i torrskorpelera beaktas därför inte.

I beräkningarna antas portrycket vara hydrostatiskt genom hela lermäktigheten. När kompressionsförsöken visar på låga förkonsolideringstryck och sättningar bedöms pågå, har i vissa fall ett högre portryck antagits på den nivån.

I beräkningarna ansätts att hela grundvattensänkningen sker momentant, d.v.s. vid tidens start (dag ett).

3.3 Jordlagerförhållanden

För sättningsberäkningarna beaktas jordens egenskaper vid aktuell spänningsnivå. Det är deformationen av den lösa leran som ger upphov till marksättningen. Torrskorpelera anses vara uttorkad och konsoliderad och därmed inte orsaka sättningar. Mäktigheten fyllningsjord och torrskorpelera påverkar vilken spänningsnivå som skapas i den underliggande lösa leran och därmed storleken på beräknade sättningar vid grundvattensänkning.

I leran kan tunna skikt av sand eller silt finnas lagrade vilka kan verka dränerande och påskynda sättningsförloppet. Dessa sand- och siltskikt är inte medtagna i beräkningarna vilket innebär att det beräknade tidförloppet blir mera utdraget än i verkligheten. Sand- och siltskikten är inte sättningsbenägna i sig men kan påskynda sättningarna i närliggande lerlager.

I beräkningarna har dubbelsidig dränering av den lösa leran antagits då fyllningsjord och uppsprucken torrskorpelera ovan leran anses dränerande vilket även gäller underliggande friktionsjord och morän.

Då leran inte är konsoliderad för nuvarande spänningsnivå pågår sättningar. Pågående sättningar utbildas även om grundvattenytan hålls konstant vilket syns i utförda beräkningar. Vid pågående sättningar kommer sättningar alltså utbildas i framtiden även om den planerade tunneln inte byggs.

Beräkningarna baseras på de parametrar som jorden hade vid provtagningstillfället. Sättningar kan därmed redan ha utbildats om det gått ett tag sedan provtagningen utfördes och förändringar av grundvattennivå eller markförhållanden har skett. Detta syns då inte i beräkningarna.

De genomförda sättningsberäkningarna bör tolkas indikativt då det i samtliga ingående parametrar finns osäkerheter.

3.3.1 Sättningsparametrar

Deformationsparametrar för lös lera har utvärderats från utförda CRS-försök. CRS-försöken utförs på ostörda lerprover i geotekniskt laboratorium.

För fyllning och torrskorpelera har parametrar enligt Tabell 1 använts då utvärderade värden saknas.

Tabell 1 Sättningsparametrar för fyllning och torrskorpelera.

Parameter	Fyllning	Torrskorpelera
Densitet	19 kN/m ³	17 kN/m ³
M ₀	20 000 kPa	20 000 kPa
M _L	20 000 kPa	20 000 kPa
σ' _c	150 kPa	150 kPa
σ' _L	300 kPa	300 kPa
M'	12	12
K _{init}	0,1	0,1
β _k	3,5	3,5
a ₀	0,8	0,8
a ₁	1,0	1,0

Vid beräkningar av krypsättning används kryppparametrar enligt [2]. Kryppparametrar är empiriska och beräknade värden bestämda med utgångspunkt från jordens vattenkvot, förkonsolideringstrycket och rådande effektivspänning.

Vid krypsättning har följande värden antagits:

$$t_{\text{ref}} = -0,00274 \text{ år (- en dag)}$$

$$r_1 = 75/(w_N^{1,5})$$

$$b_0 = \sigma'_0/\sigma'_c$$

$$b_1 = 1,1$$

K_{init} = utvärderas ur CRS för aktuell σ'_0 . OBS $K_{\text{init}} \neq K_i$ från CRS.

3.4 Redovisning

Beräkningar har utförts för att bedöma den lösa lerans sättningsbenägenhet vid olika antagna förändringar. Som beräkningsförutsättning har antagits att grundvattensänkning, i det undre grundvattenmagasinet, sker med 0,3, 1 respektive 3 meter, relativt bedömd normal grundvattennivå.

Beräkningar har utförts för tidsperioderna 1, 2 och 5 år för att redovisa sättningarnas utbildande på grund av grundvattensänkning under den planerade byggtiden. Beräkningar har även utförts för befintliga förhållanden vilka redovisas för tidsperioderna 1, 2, 5, 10, 20, 40 och 100 år. Vid befintliga förhållanden sker ingen grundvattensänkning och de sättningar som beräknats är pågående sättningar uppkomna av nuvarande spänningssituation i jorden.

De redovisade resultaten avser beräknade totalsättningar med analyserade parametrar i enstaka punkter på ett antal nivåer. De visar därmed storleksordningen av förväntad sättning för respektive antagen grundvattensänkning. Lokala variationer av lerans mäktighet och egenskaper förekommer inom de olika områdena.

Resultatvärden på beräknade sättningar i tabellerna i kapitel 4 är avrundade upp till närmast heltal i antalet centimeter.

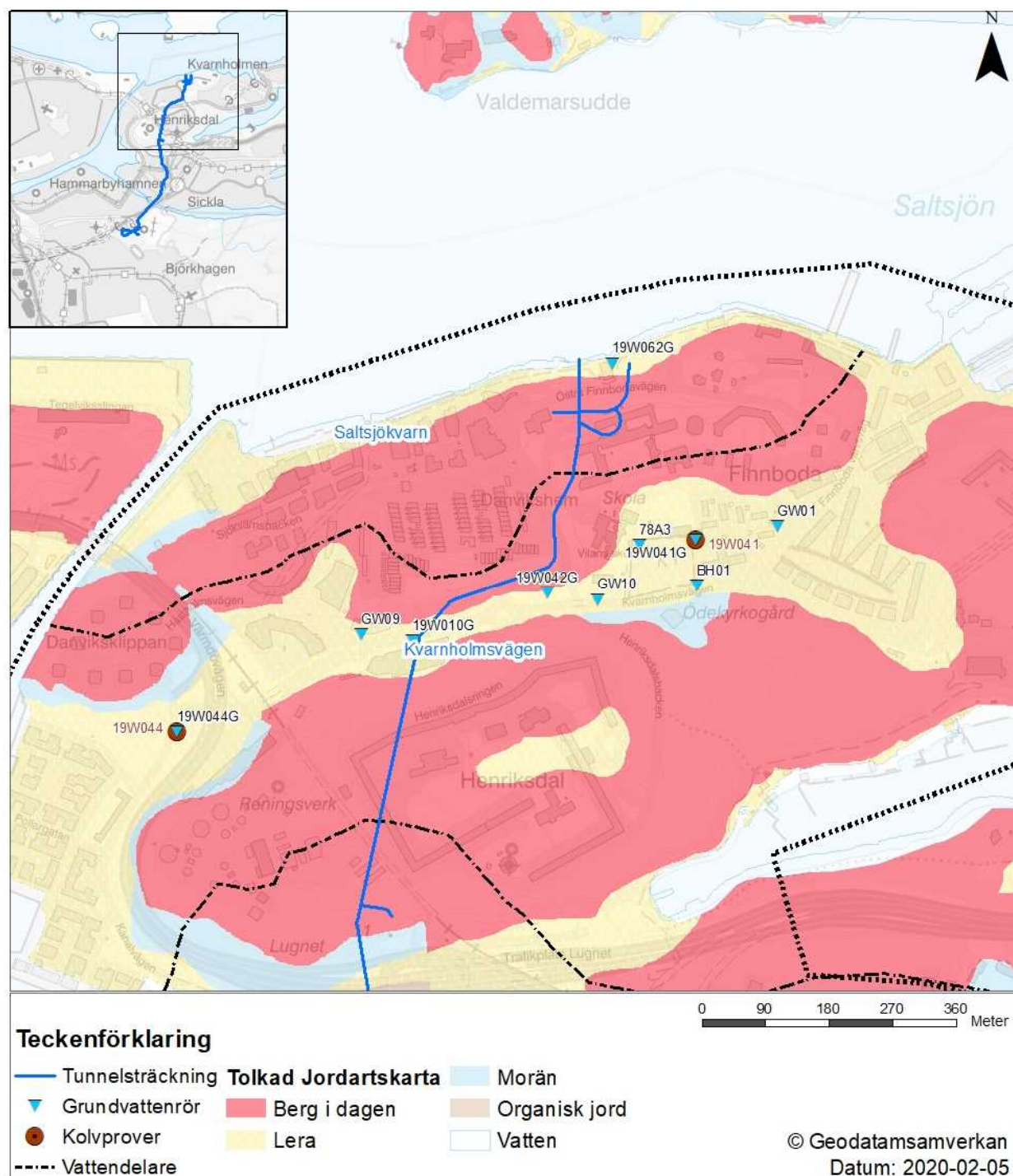
4. Resultat

Nedan sammanfattas de övergripande förutsättningarna, såsom jordlagerföljd, konsolideringsförhållanden och beräkningsresultat för undersökningspunkterna inom respektive område. Beräkningsresultaten omfattar beräknade sättningar vid nuvarande spänningssituation (ingen grundvattensänkning) samt vid 0,3, 1,0 och 3,0 meters grundvattensänkning. Resultatet i tabellerna är avrundade upp till närmast heltal i antalet centimeter.

Punkternas placering och grundvattenrör som utgjort underlag för beräkningarna redovisas i områdesfigurer samt i Bilaga 1.

4.1 Henriksdal

Ungefärlig utbredning av lerområdet redovisas i figuren nedan, en översiktlig karta redovisas i Bilaga 1.



Figur 2 Lerområde Henriksdal. Grundvattenmagasinet i området benämns Kvarnholmsvägen.

4.1.1 Generellt

Lerområdet i Henriksdal sträcker sig i en dalgång mellan fastmarks- och höjdpartierna vid Danvik och Henriksdal. Lerområdet är långsmalt och går i sydvästlig till nordostlig sträckning, mellan Henriksdalshamnen och Finnboda hamn. Tunneln sträcker sig i sydlig – nordlig riktning. Genom området sträcker sig Värmdövägen (väg 222), Kvarnholmsvägen och Saltsjöbanan. I området finns huvudsakligen byggnader för bostäder och verksamheter men även skolor och idrottsplatser.

4.1.2 Topografi

Marknivåerna inom området varierar mellan ca 0 och +22. Marken i lerdalgången är som högst i mitten av området och sluttar ned mot väster och öster. Norr och söder om dalgången finns höjdparter.

4.1.3 Jordlagerförhållanden

Jordlagerförhållandena varierar inom området. Jorden består under fyllningsjord huvudsakligen av lera som överlagrar friktionsjord ovan berg. Lerans tjocklek är mindre mellan fastmarkspartierna och ökar mot det östra och västra området.

I den östra delen av området, i undersökningspunkt 19W041 består jorden av ca 0,6 m fyllning på 2 m torrskorpelera på 6 m lera över friktionsjord och berg.

Västerut, i undersökningspunkt 19W044 består jorden av ca 6 m fyllning på 9 m lera över friktionsjord och berg.

Tabell 2 Jordlagerförhållanden i beräkningspunkt 19W041.

Marknivå	Grundvattennivå			Jordlager ovan lös lera [m]		Lermäktighet [m]	
+10,9	+8,2			2,7		6,1	
Lerans parametrar utvärderade från CRS-försök							
Djup [m]	σ'c [kPa]	σ'L [kPa]	M0 [kPa]	ML [kPa]	M' [-]	ki [m/år]	β'k [-]
4,0	39	73	3000	550	13,9	0,0069	4,7
5,5	54	81	3000	480	17,5	0,0079	5,1
7,5	67	111	4500	750	19,5	0,0076	4,6

Tabell 3 Jordlagerförhållanden i beräkningspunkt 19W044.

Marknivå	Grundvattennivå			Jordlager ovan lös lera [m]		Lermäktighet [m]	
+8,54	+3,64			6,0		9,0	
Lerans parametrar utvärderade från CRS-försök							
Djup [m]	σ'c [kPa]	σ'L [kPa]	M0 [kPa]	ML [kPa]	M' [-]	ki [m/år]	β'k [-]
7,5	97	142	4850	990	14,6	0,0047	3,7
11,5	110	184	5500	2170	14,3	0,0050	4,6
13,5	198	290	8200	3340	18,9	0,0050	5,3

4.1.4 Utförda undersökningar

Ostörd provtagning (kolv) har i samband med denna utredning utförts i två punkter, 19W041 och 19W044.

Installation av grundvattenrör har utförts i fyra punkter, 19W041G, 19W042G, 19W010G och 19W044G.

4.1.5 Hydrogeologiska förhållanden

Grundvattennivån har mätts i tidigare och nu installerade grundvattenrör; GW01, 19W041G, BH01, 78A3, GW10, 19W042G, 19W010G, GW09 och 19W044G.

4.1.5.1 Punkt 19W041

Grundvattenrör 19W041G installerades i juli 2019 och mätningar utförda i november 2019 – januari 2020 visar på grundvattennivåer som varierar mellan ca +8,2 och +9,2.

Grundvattenröret sitter i direkt anslutning till eller nära provtagningspunkten. I beräkningarna för punkt 19W041 har nivån +8,2 valts, d.v.s. ca 2,7 m under markytan, utifrån nu uppmätta nivåer.

4.1.5.2 Punkt 19W044

Grundvattenrör 19W044G installerades i juni 2019 och mätningar utförda i november 2019 – januari 2020 visar på grundvattennivåer som varierar mellan ca +3,6 och +4,1.

Grundvattenröret sitter i direkt anslutning till eller nära provtagningspunkten. I beräkningarna för punkt 19W044 har nivån +3,64 valts, d.v.s. ca 4,9 m under markytan, utifrån nu uppmätta nivåer.

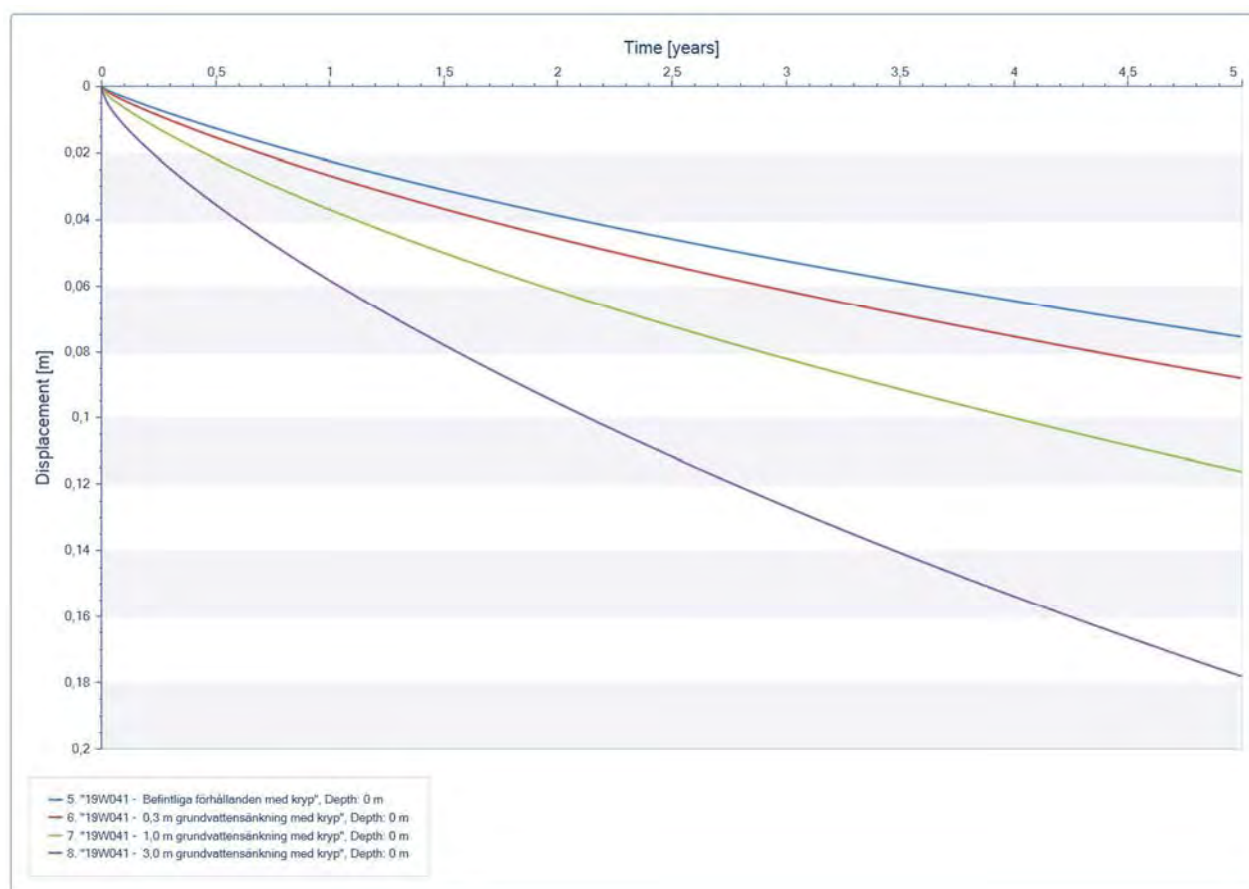
4.1.6 Beräkningsresultat

Resultat från sättningsberäkningar för respektive undersökningspunkt i området redovisas nedan.

4.1.6.1 Punkt 19W041

Tabell 4 Resultat från sättningsberäkningar i undersökningspunkt 19W041. Beräknad sättning i cm.

Grundvattensänkning (m)	1 år (cm)	2 år (cm)	5 år (cm)	10 år (cm)	20 år (cm)	40 år (cm)	100 år (cm)
0	2,2	3,9	7,6	12,1	18,2	24,8	29,5
0,3	2,7	4,5	8,8				
1	3,7	6,1	11,6				
3	5,8	9,5	17,8				

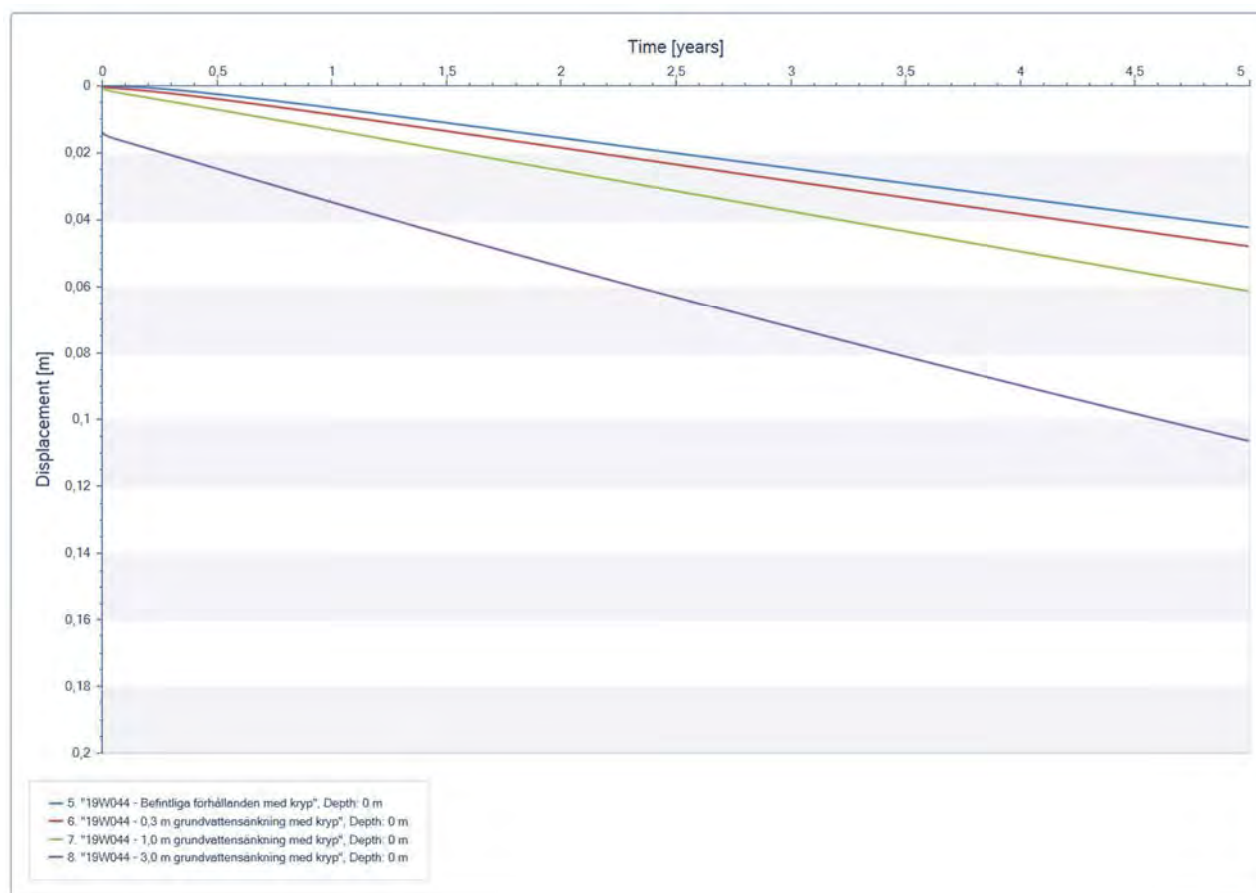


Figur 3. Diagrammet visar marksättningens tillväxt vid nuvarande spänningssituation samt vid 0,3, 1,0 och 3,0 meters grundvattensänkning i undersökningspunkt 19W041.

4.1.6.2 Punkt 19W044

Tabell 5 Resultat från sättningsberäkningar i undersökningspunkt 19W044. Beräknad sättning i cm.

Grundvattensänkning (m)	1 år (cm)	2 år (cm)	5 år (cm)	10 år (cm)	20 år (cm)	40 år (cm)	100 år (cm)
0	0,7	1,6	4,2	8,2	14,6	20,3	24,3
0,3	0,8	1,8	4,8				
1	1,3	2,5	6,1				
3	3,5	5,4	10,6				



Figur 4. Diagrammet visar marksättningsens tillväxt vid nuvarande spänningssituation samt vid 0,3, 1,0 och 3,0 meters grundvattensänkning i undersökningspunkt 19W044.

4.1.7 Bedömning

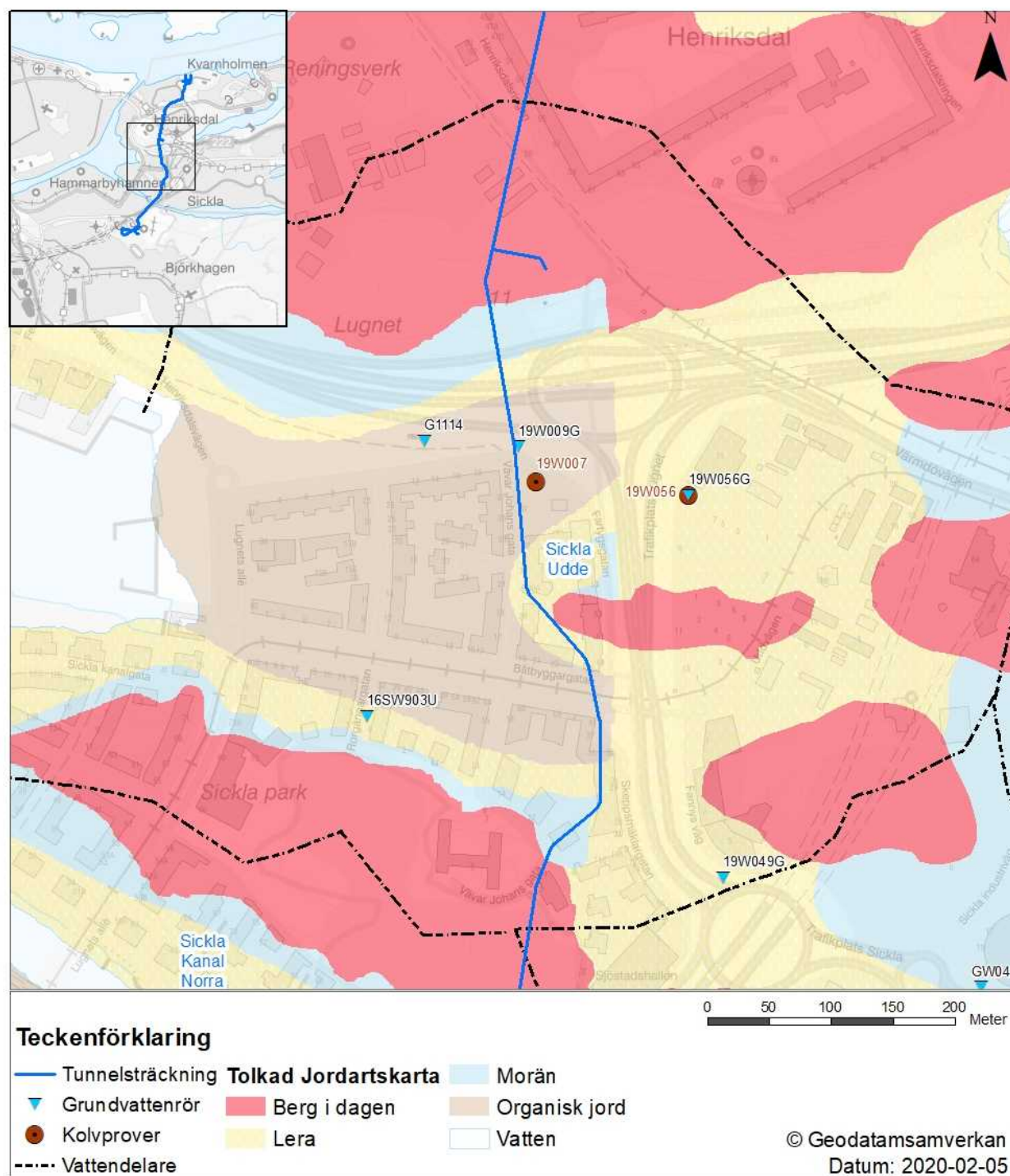
Leran i området vid undersökningspunkterna 19W041 och 19W044 bedöms inte vara konsoliderad för jordens rådande spänningssituation. Detta innebär att marksättningar bedöms pågå i området. Leran inom området är sättningskänslig och vid en grundvattensänkning kommer sättningar att uppstå.

I området vid undersökningspunkt 19W044 ligger en större mäktighet fyllningsjord (6 m i beräkningspunkten) ovan den naturliga jorden vilket bedöms orsakat den pågående konsolideringsprocessen och sättningarna.

Fler grundvattenmätningar behövs för att kunna se grundvattennivåns variation med nederbörd och årstid.

4.2 Sickla udde

Ungefärlig utbredning av lerområdet redovisas i figuren nedan, en översiktlig karta redovisas i bilaga 1.



Figur 5 Lerområde Sickla udde.

4.2.1 Generellt

Lerområdet i Sickla udde breder ut sig mellan fastmarks- och höjdpartierna vid Henriksdal, Hammarby sjöstad och Sickla. Tunneln sträcker sig i sydlig – nordlig riktning. Genom området sträcker sig Sicklavägen (väg 260), Värmdövägen (väg 222), Tvärbanan och Saltsjöbanan. Södra länken passerar i områdets östra del, huvudsakligen under mark. I området finns huvudsakligen byggnader för bostäder och verksamheter. De flesta byggnader, vägar och Tvärbanan är grundlagda på pålar eller påldäck.

4.2.2 Topografi

Marknivåerna inom området varierar mellan ca 0 och +15. Marken i större delar av området är relativt plan med nivåer som ökar mot norr och öster.

4.2.3 Jordlagerförhållanden

Jordlagerförhållandena varierar inom området. Jorden består under fyllningsjord huvudsakligen av lera. Leran innehåller delvis gyttja och överlagrar friktionsjord på berg. Lerans tjocklek ökar från öst till väst, mot vattnet. I området mellan Hammarby Sjö och Sicklavägen innehåller jorden ovan leran gyttja eller gyttjig lera.

I undersökningspunkt 19W007 består jorden av ca 8 m fyllning på ca 8 m lera ovan friktionsjord och berg.

I undersökningspunkt 19W056 består jorden av ca 2,2 m fyllning på 0,8 m torrskorpelera på 5,9 m lera ovan friktionsjord och berg.

Tabell 6 Jordlagerförhållanden i beräkningspunkt 19W007.

Marknivå	Grundvattennivå			Jordlager ovan lös lera [m]		Lermäktighet [m]	
+7,8	+0,8			8,0		7,7	
Lerans parametrar utvärderade från CRS-försök							
Djup [m]	σ'c [kPa]	σ'L [kPa]	M0 [kPa]	ML [kPa]	M' [-]	ki [m/år]	β'k [-]
10,0	84	137	4000	1020	15,8	0,0035	4,8
11,5	78	173	5000	1590	14,5	0,0025	4,2

Tabell 7 Jordlagerförhållanden i beräkningspunkt 19W056.

Marknivå	Grundvattennivå			Jordlager ovan lös lera [m]		Lermäktighet [m]	
+4,75	+1,75			3,0		5,9	
Lerans parametrar utvärderade från CRS-försök							
Djup [m]	σ'c [kPa]	σ'L [kPa]	M0 [kPa]	ML [kPa]	M' [-]	ki [m/år]	β'k [-]
4,5	91	114	4550	770	15,3	0,0073	4,6

4.2.4 Utförda undersökningar

Ostörd provtagning (kolv) har i samband med denna utredning utförts i två punkter, 19W007 och 19W056.

Installation av grundvattenrör har utförts i tre punkter, 19W009G, 19W056G och 19W049G.

4.2.5 Hydrogeologiska förhållanden

Grundvattennivån har mätts i tidigare och nu installerade grundvattenrör, G1114, 19W009G, 19W056G, 16SW903U och 19W049G.

4.2.5.1 Punkt 19W007

Grundvattenrör 19W009G installerades i maj 2019 och mätningar utförda i juni 2019 – januari 2020 visar på grundvattennivåer som varierar mellan ca +0,5 och +0,9.

Grundvattenröret sitter ca 30 m norr om provtagningspunkten. I beräkningarna för punkt 19W007 har nivån +0,8 valts, d.v.s. ca 7,0 m under markytan, utifrån nu uppmätta nivåer.

4.2.5.2 Punkt 19W056

Grundvattenrör 19W056G installerades i september 2019 och mätningar är utförda i oktober 2019 – januari 2020 visar på grundvattennivåer som varierar mellan ca +1,7 och +2,0.

Grundvattenröret sitter i direkt anslutning till eller nära provtagningspunkten. I beräkningarna för punkt 19W056 har nivån +1,75 valts, d.v.s. ca 3,0 m under markytan, utifrån nu uppmätta nivåer.

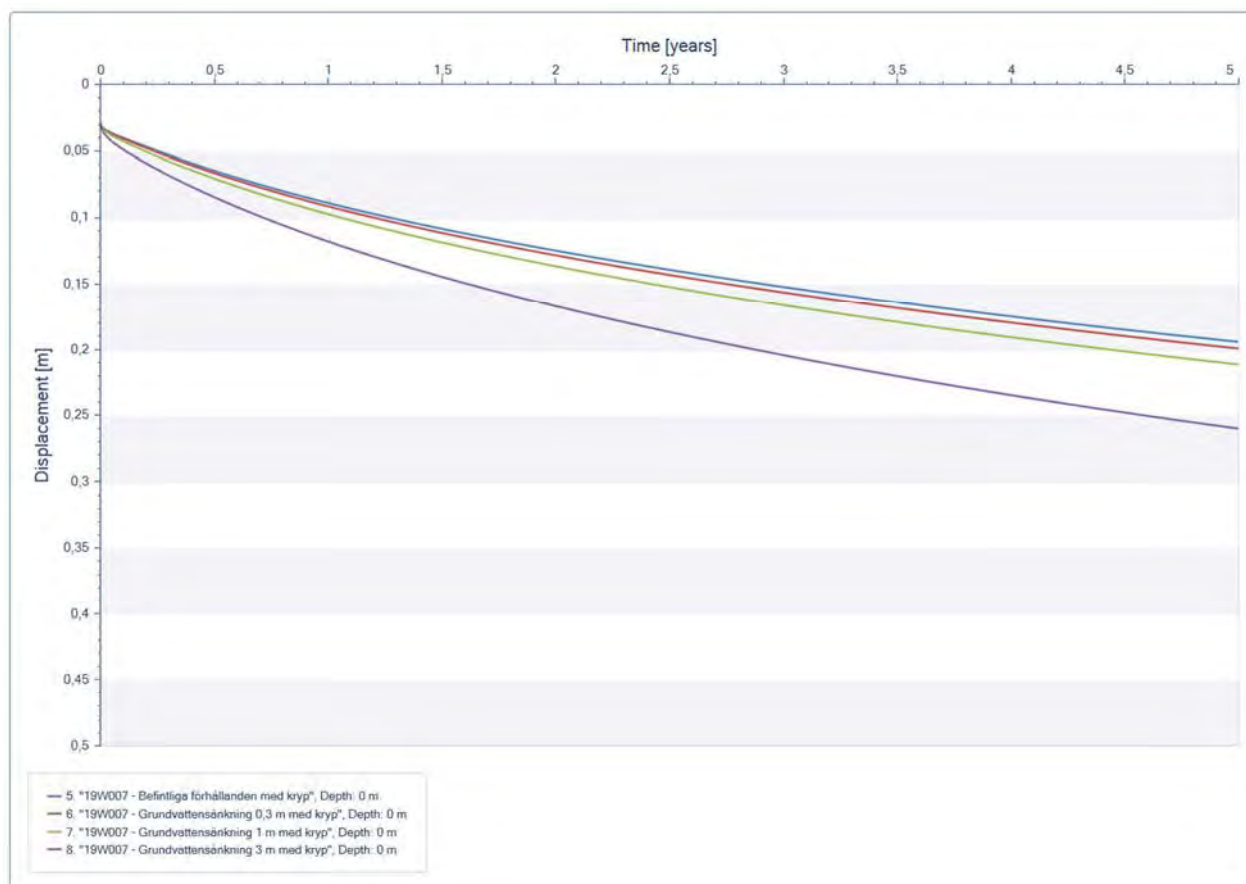
4.2.6 Beräkningsresultat

Resultat från sättningsberäkningar för respektive undersökningspunkt i området redovisas nedan.

4.2.6.1 Punkt 19W007

Tabell 8 Resultat från sättningsberäkningar i undersökningspunkt 19W007. Beräknad sättning i cm.

Grundvattensänkning (m)	1 år (cm)	2 år (cm)	5 år (cm)	10 år (cm)	20 år (cm)	40 år (cm)	100 år (cm)
0	8,9	12,5	19,4	25,8	31,1	34,2	35,9
0,3	9,2	12,9	19,9				
1	9,8	13,7	21,1				
3	11,8	16,8	26,0				

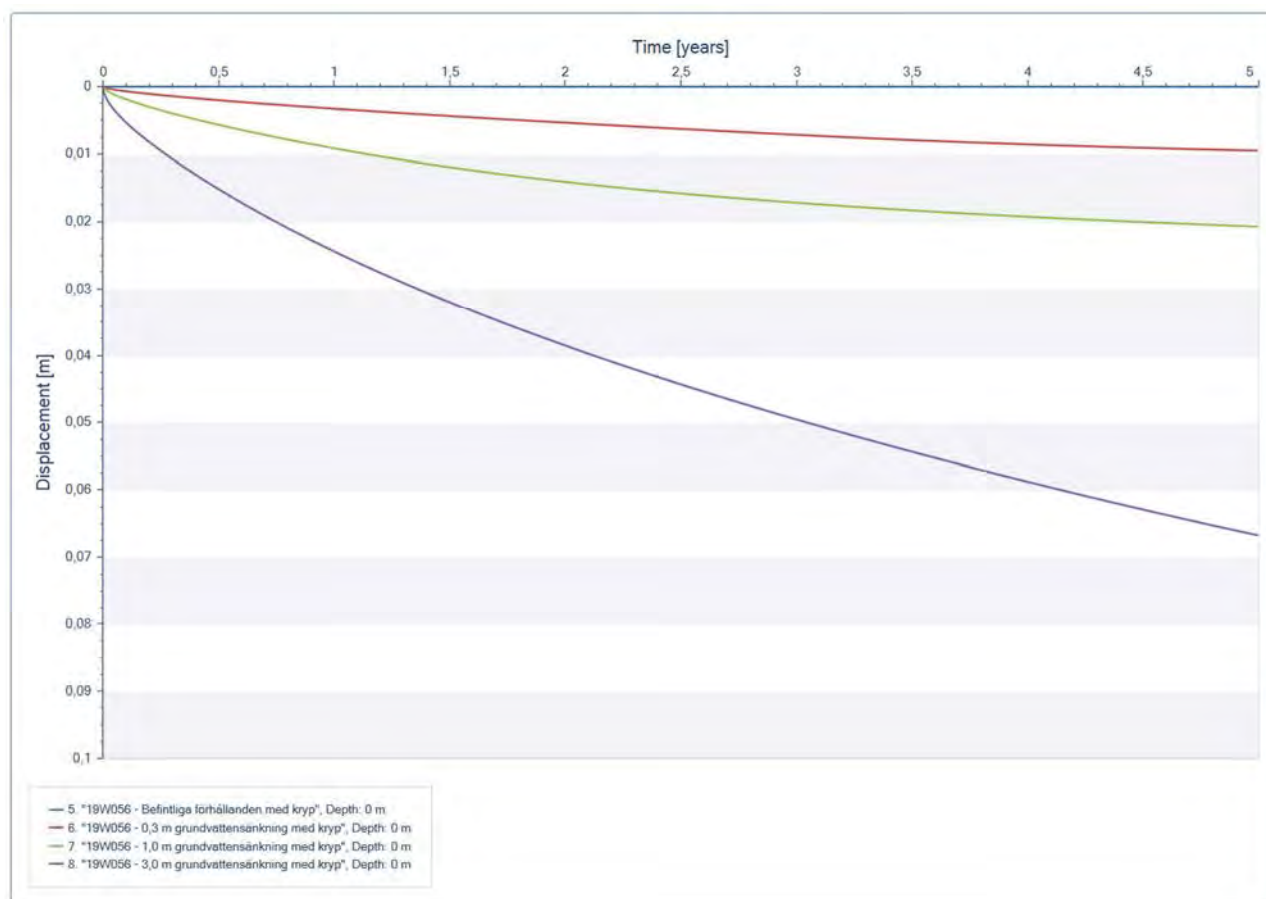


Figur 6. Diagrammet visar marksättningsens tillväxt vid nuvarande spänningssituation samt vid 0,3, 1,0 och 3,0 meters grundvattensänkning i undersökningspunkt 19W007.

4.2.6.2 Punkt 19W056

Tabell 9 Resultat från sättningsberäkningar i undersökningspunkt 19W056. Beräknad sättning i cm.

Grundvattensänkning (m)	1 år (cm)	2 år (cm)	5 år (cm)	10 år (cm)	20 år (cm)	40 år (cm)	100 år (cm)
0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0,3	0,3	0,5	0,9				
1	0,9	1,4	2,1				
3	2,4	3,8	6,6				



Figur 7. Diagrammet visar marksättningsens tillväxt vid nuvarande spänningssituation samt vid 0,3, 1,0 och 3,0 meters grundvattensänkning i undersökningspunkt 19W056.

4.2.7 Bedömning

Leran i området vid undersökningspunkt 19W007 bedöms inte vara konsoliderad för jordens rådande spänningssituation. Detta innebär att marksättningar bedöms pågå i området. Leran inom området är sättningskänslig och vid en grundvattensänkning kommer sättningar att uppstå.

I området vid punkt 19W007 ligger en större mäktighet fyllningsjord (8 m i undersökningspunkten) ovan den naturliga jorden vilket bedöms orsakat den pågående konsolideringsprocessen och sättningarna.

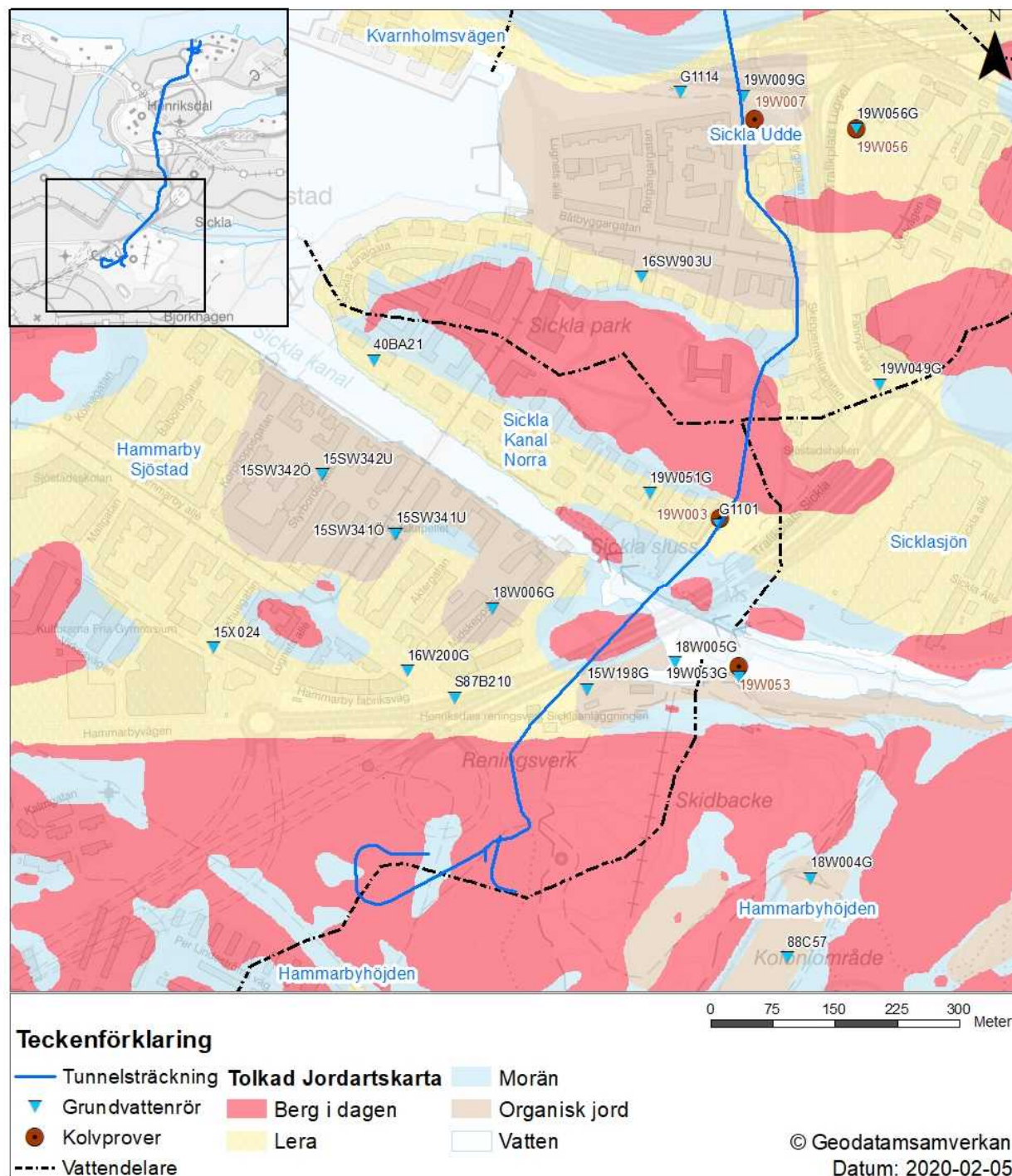
I punkt 19W056 bedöms leran vara normalkonsoliderad för jordens rådande spänningssituation. Beräkningen bedöms delvis osäker då endast en kolvprovtagning (och CRS-försök) har kunnat användas för beräkningarna.

Fler grundvattenmätningar behövs för att kunna se grundvattennivåns variation med nederbörd och årstid.

Enligt [5] uppgår beräknade sättningar vid 3,0 m grundvattensänkning till mellan 1 och 14 centimeter efter 2 år samt mellan 5 och 34 cm efter 50 år. Risk för pågående sättningar noteras för områdets västra och södra delar.

4.3 Sickla kanal norra

Ungefärlig utbredning av lerområdet redovisas i figuren nedan, en översiktlig karta redovisas i bilaga 1.



Figur 8 Lerområde Sickla kanal norra i mitten av kartbilden.

4.3.1 Generellt

Lerområdet i Sickla kanal norra är långsmalt och sträcker sig längs med och mellan Sickla kanal och fastmarks- och höjdpartierna vid Sickla udde. Tunneln sträcker sig i sydvästlig – nordöstlig riktning. Genom området sträcker sig Sickla Kanalgata, Tvärbanan och Södra Länken genom områdets västra respektive östra delar. I området finns huvudsakligen byggnader för bostäder.

4.3.2 Topografi

Marknivåerna inom området varierar mellan ca 0 och +11. Marken i större delar av området är relativt plan, marknivåerna ökar från kanalen mot nordost.

4.3.3 Jordlagerförhållanden

Jordlagerförhållandena varierar inom området. Jorden består under fyllningsjord huvudsakligen av lera som överlagrar friktionsjord ovan berg. Lerdjupet inom området ökar något från nordost till sydväst, mot Sickla kanal.

I den östra delen av området, i undersökningspunkt 19W003 består jorden av ca 3 m fyllning på 10 m lera över friktionsjord och berg.

Tabell 10 Jordlagerförhållanden i beräkningspunkt 19W003.

Marknivå	Grundvattennivå			Jordlager ovan lös lera [m]		Lermäktighet [m]	
+6,46	+3,06			2,9		10,1	
Lerans parametrar utvärderade från CRS-försök							
Djup [m]	σ'c [kPa]	σ'L [kPa]	M0 [kPa]	ML [kPa]	M' [-]	ki [m/år]	β'k [-]
6,0	64	120	4750	750	12,2	0,0041	3,2
7,5	64	104	4250	570	15,8	0,0041	4,9

4.3.4 Utförda undersökningar

Ostörd provtagning (kolv) har i samband med denna utredning utförts i en punkt, 19W003.

Installation av grundvattenrör har utförts i en punkt, 19W051G.

4.3.5 Hydrogeologiska förhållanden

Grundvattennivån har mätts i tidigare och nu installerade grundvattenrör, 40BA21, 19W051G, G1101 och G1101_2.

4.3.5.1 Punkt 19W003

Grundvattenrör G1101 sitter ca 10 m söder om provtagningspunkten och mätningar utförda i mars 2019 – januari 2020 visar på grundvattennivåer som varierar mellan ca +3,0 och +3,9. I beräkningarna för punkt 19W003 har nivån +3,06 valts, d.v.s. ca 3,4 m under markytan vilket motsvarar en nivå i underkant torrskorpeleran.

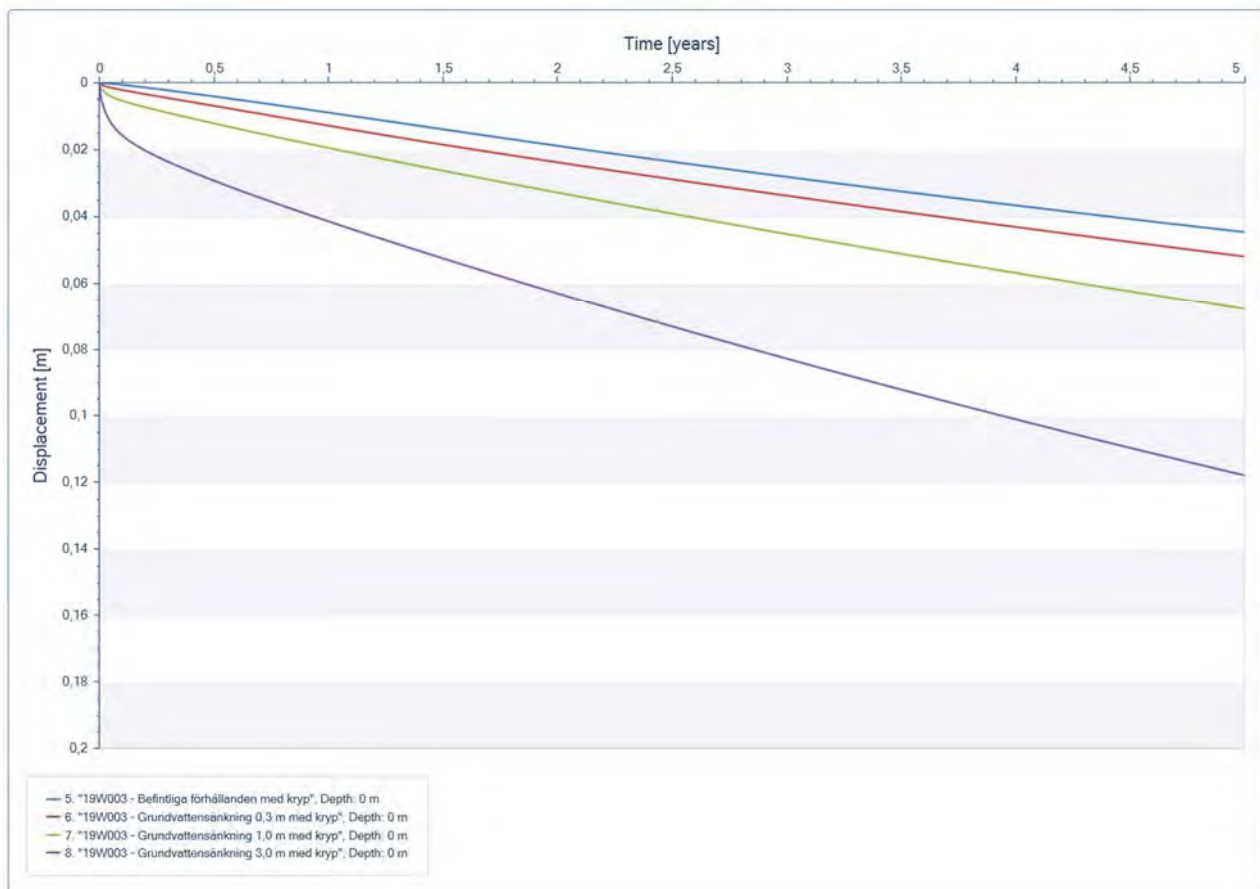
4.3.6 Beräkningsresultat

Resultat från sättningsberäkningar för undersökningspunkten i området redovisas nedan.

4.3.6.1 Punkt 19W003

Tabell 11 Resultat från sättningsberäkningar i undersökningspunkt 19W003. Beräknad sättning i cm.

Grundvattensänkning (m)	1 år (cm)	2 år (cm)	5 år (cm)	10 år (cm)	20 år (cm)	40 år (cm)	100 år (cm)
0	0,9	1,9	4,4	7,7	12,0	15,6	18,3
0,3	1,3	2,4	5,2				
1	1,9	3,3	6,8				
3	4,1	6,3	11,8				



Figur 9. Diagrammet visar marksättningens tillväxt vid nuvarande spänningssituation samt vid 0,3, 1,0 och 3,0 meters grundvattensänkning i undersökningspunkt 19W003.

4.3.7 Bedömning

Leran i området vid undersökningspunkt 19W003 bedöms inte vara konsoliderad för jordens rådande spänningssituation. Detta innebär att marksättningar bedöms pågå i området. Leran inom området är sättningskänslig och vid en grundvattensänkning kommer sättningar att uppstå.

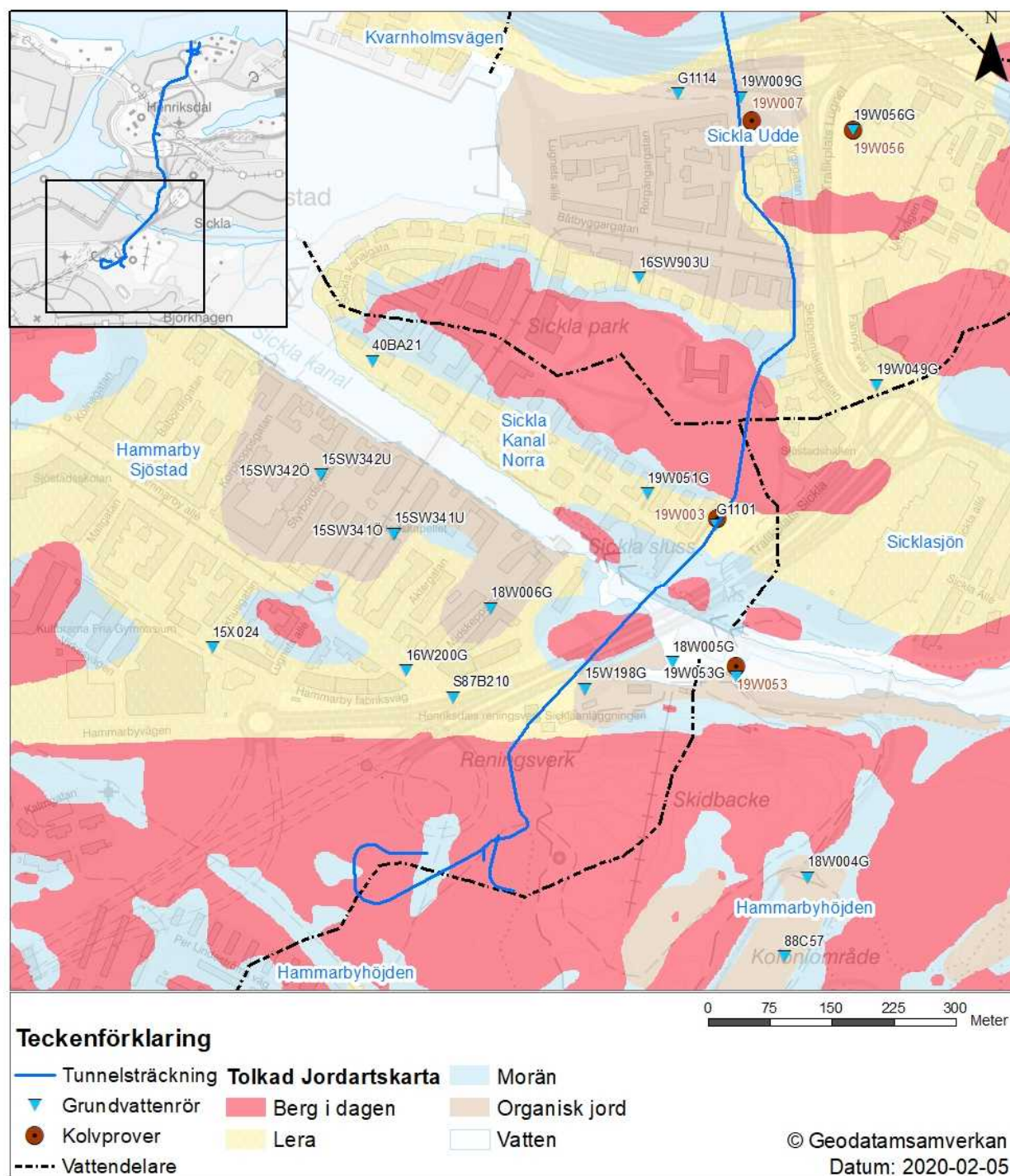
I området ligger en större mäktighet fyllningsjord (3 m i undersökningspunkten) ovan den naturliga jorden vilket bedöms orsakat den pågående konsolideringsprocessen och sättningarna.

Fler grundvattenmätningar behövs för att kunna se grundvattennivåns variation med nederbörd och årstid.

Enligt [5] uppgår beräknade sättningar vid 3,0 m grundvattensänkning till mellan 2,5 och 9 centimeter efter 2 år samt mellan 3 och 13 cm efter 50 år.

4.4 Hammarby sjöstad

Ungefärlig utbredning av lerområdet redovisas i figuren nedan, en översiktlig karta redovisas i Bilaga 1.



Figur 10 Lerområde Hammarby sjöstad i den sydvästra delen av kartbilden.

4.4.1 Generellt

Lerområdet i Hammarby sjöstad sträcker sig från fastmarks- och höjdpartiet vid Hammarbyhöjden i söder till Sickla kanal i norr. I lerområdet finns det "öar" med fastmarkspartier. Tunneln sträcker sig i sydvästlig – nordöstlig riktning. Genom området sträcker sig Södra Länken, Hammarbyvägen samt Tvärbanan. I den västra delen av området finns huvudsakligen byggnader för bostäder och verksamheter, i den östra delen finns Hammarbybacken och grönområden.

4.4.2 Topografi

Marknivåerna inom området varierar mellan ca +1 och +18. Marken i större delar av området är relativt plan och med avtagande marknivåer mot Sickla kanal. I östra delen av området är marken kuperad och marknivån stiger vid Hammarbybacken.

4.4.3 Jordlagerförhållanden

Jordlagerförhållandena varierar inom området. Jorden består under fyllningsjord huvudsakligen av lera som överlagrar friktionsjord ovan berg. Gytta/gyttlig lera förekommer i områdena mot Sickla kanal och Sicklasjön. Lerans mäktighet är som störst i det östra området, öster om den planerade tunneln. I lerområdet väster om tunneln varierar lermäktigheten men generellt ökar lermäktigheten mot nordost och mot Sickla kanal.

I den östra delen av området, i undersökningspunkt 19W053 består jorden av ca 1,5 m fyllning på 0,2 m torv på 12 m lera över friktionsjord och berg.

Tabell 12 Jordlagerförhållanden i beräkningspunkt 19W053.

Marknivå	Grundvattennivå		Jordlager ovan lös lera [m]			Lermäktighet [m]	
+5,8	+4,2		1,7			12,1	
Lerans parametrar utvärderade från CRS-försök							
Djup [m]	σ'c [kPa]	σ'L [kPa]	M0 [kPa]	ML [kPa]	M' [-]	ki [m/år]	β'k [-]
4,0	44	82	2405	1230	24,6	0,0214	4,4
6,0	43	61	2350	240	15,2	0,0132	3,4
8,0	Osäkert värde	75	3000	430	18,5	0,0073	4,5

4.4.4 Utförda undersökningar

Ostörd provtagning (kolv) har i samband med denna utredning utförts i en punkt, 19W053.

Installation av grundvattenrör har utförts i en punkt, 19W053G.

4.4.5 Hydrogeologiska förhållanden

Grundvattennivån har mätts i tidigare och nu installerade grundvattenrör, 15SW342U, 15SW342Ö, 15SW341U, 15SW341Ö, 15X024, 16W200G, S87B210, 18W006G, 15W198G, 18W005G och 19W053G. Slussen mellan Sickla kanal och Sicklasjön ligger ca 15 m norr om punkten. Nivån på vattenytan i Sickla kanal är ca +3,2 och på vattenytan i Sicklasjön ca +5,4.

4.4.5.1 Punkt 19W053

Grundvattenrör 19W053G installerades i juni 2019 och mätningar utförda i september 2019 – januari 2020 visar på grundvattennivåer som varierar mellan ca +4,0 och +4,6.

Grundvattenröret sitter i direkt anslutning till eller nära provtagningspunkten. I beräkningarna för punkt 19W053 har nivån +4,2 valts, d.v.s. ca 1,6 m under markytan, utifrån nu uppmätta nivåer.

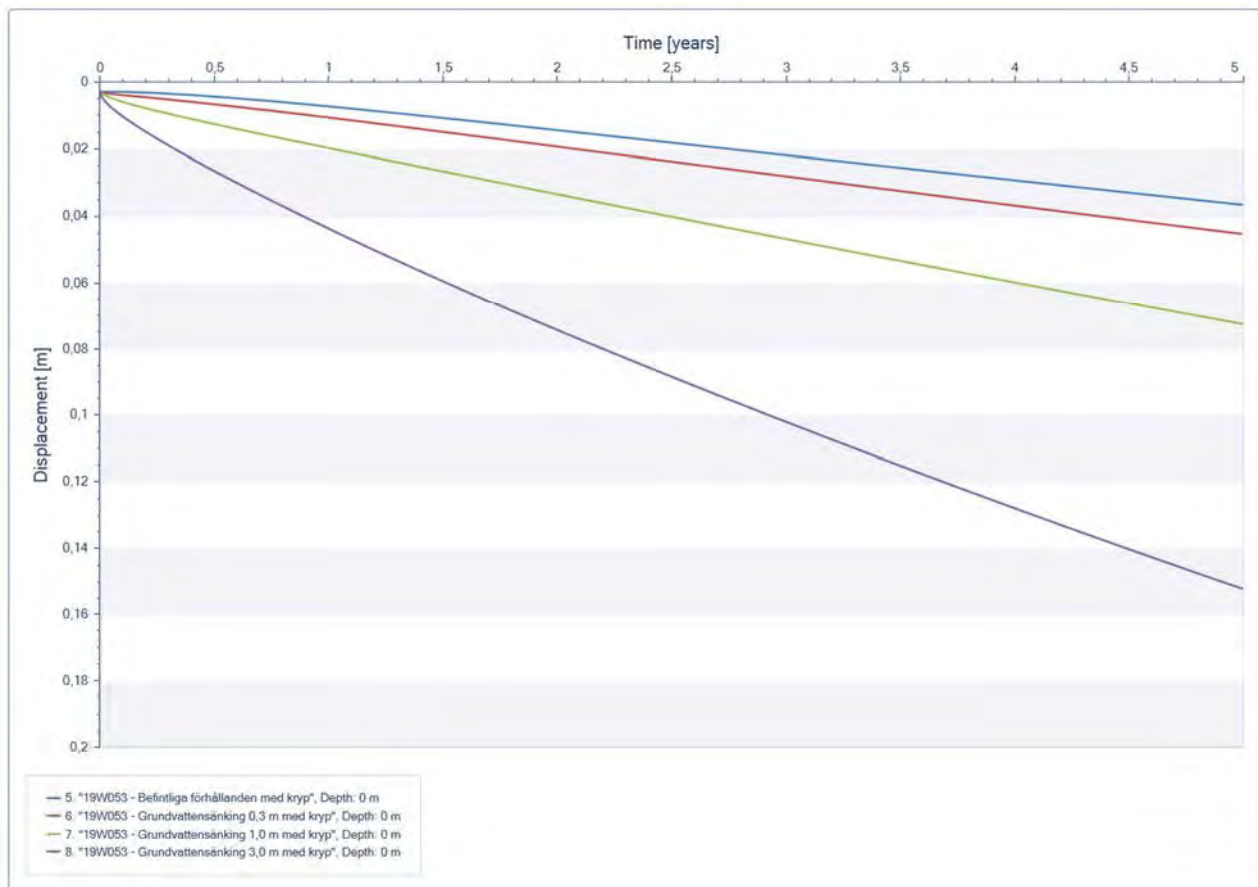
4.4.6 Beräkningsresultat

Resultat från sättningsberäkningar för undersökningspunkten i området redovisas nedan.

4.4.6.1 Punkt 19W053

Tabell 13 Resultat från sättningsberäkningar i undersökningspunkt 19W053. Beräknad sättning i cm.

Grundvattensänkning (m)	1 år (cm)	2 år (cm)	5 år (cm)	10 år (cm)	20 år (cm)	40 år (cm)	100 år (cm)
0	0,7	1,4	3,7	7,0	12,7	20,9	31,7
0,3	1,1	1,9	4,5				
1	2,0	3,3	7,3				
3	4,4	7,4	15,1				



Figur 11. Diagrammet visar marksättningens tillväxt vid nuvarande spänningssituation samt vid 0,3, 1,0 och 3,0 meters grundvattensänkning i undersökningspunkt 19W053.

4.4.7 Bedömning

Leran i området vid undersökningspunkt 19W053 bedöms inte vara konsoliderad för jordens rådande spänningssituation. Detta innebär att marksättningar bedöms pågå i området. Leran inom området är sättningskänslig och vid en grundvattensänkning kommer sättningar att uppstå.

Fler grundvattenmätningar behövs för att kunna se grundvattennivåns variation med nederbörd och årstid.

Enligt [5] uppgår beräknade sättningar vid 3,0 m grundvattensänkning till mellan 1 och 9 centimeter efter 2 år samt mellan 3 och 17 cm efter 50 år. Risk för pågående sättningar noteras för områdets västra delar.

5. Sammanfattning av beräkningar

Denna PM redogör för teoretiskt beräknade sättningar som eventuellt kan uppstå vid en sänkning av grundvattnets trycknivå i samband med byggande av Nya Östbergatunneln.

Grundvattensänkningen antas vara tillfällig under byggtiden, som mest 5 år. Därefter förväntas tunneln fyllas med vatten och grundvattennivån snabbt återställas till samma nivå som innan byggnationen påbörjades. Tunneln planeras under drifttiden vara fylld med vatten och ingen grundvattenbortledning förväntas då ske.

I sättningsberäkningarna har grundvattensänkning antagits ske momentant från dag ett. I verkligheten kommer avsänkningen av porttrycknivån troligen ske gradvis tills en ny jämviktsnivå ställt in sig, då förloppet sker långsamt i täta jordar som lera.

Vid följande provtagningspunkter visar beräkningarna att pågående marksättningar sker: 19W041 (Henriksdal), 19W044 (Henriksdal), 19W007 (Sickla udde), 19W003 (Sickla kanal norra) och 19W053 (Hammarby sjöstad). Vid dessa punkter uppgår beräknade pågående sättningar efter 100 år till mellan 18 och 36 cm utan att grundvattennivån har påverkats. Endast för punkten 19W056 (Sickla udde) visar beräkningarna att pågående sättningar inte sker. För undersökningspunkten finns dock endast ett CRS-försök utfört och beräkningen bedöms osäker.

I de beräknade punkterna uppgår sättningarna vid 0,3 m grundvattensänkning till mellan 1 och 20 cm efter 5 år (den beräknade byggtiden). Vid 1,0 m grundvattensänkning uppgår sättningarna till mellan 2 och 21 cm och vid 3,0 m grundvattensänkning till mellan 7 och 26 cm. De största sättningarna har beräknats för lerområdet vid Sickla Udde.

Sättningar beräknade för områdena Sickla udde, Sickla kanal norra och Hammarby sjöstad enligt [5] är generellt lägre än här redovisade beräkningar. Detta bedöms bero på skillnader i antaganden och beräkningsprinciper. Resultaten i [5] kompletterar beräkningar utförda i denna PM, främst i antal beräkningspunkter.

Vid beräkningarna har det inte funnits långtidsmätningar av grundvattennivåer och årstidsvariationen för respektive grundvattenrör har saknats. Därmed finns en risk att valda grundvattennivåer inte motsvarar en representativ medelnivå. Bedömd grundvattennivå har stor inverkan på storleken på de beräknade sättningarna.

6. Referenser

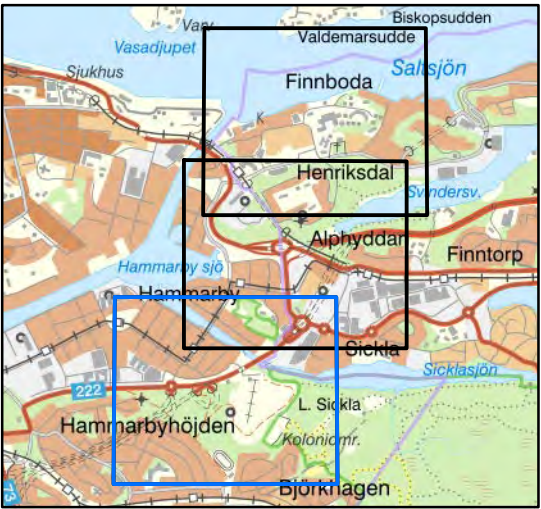
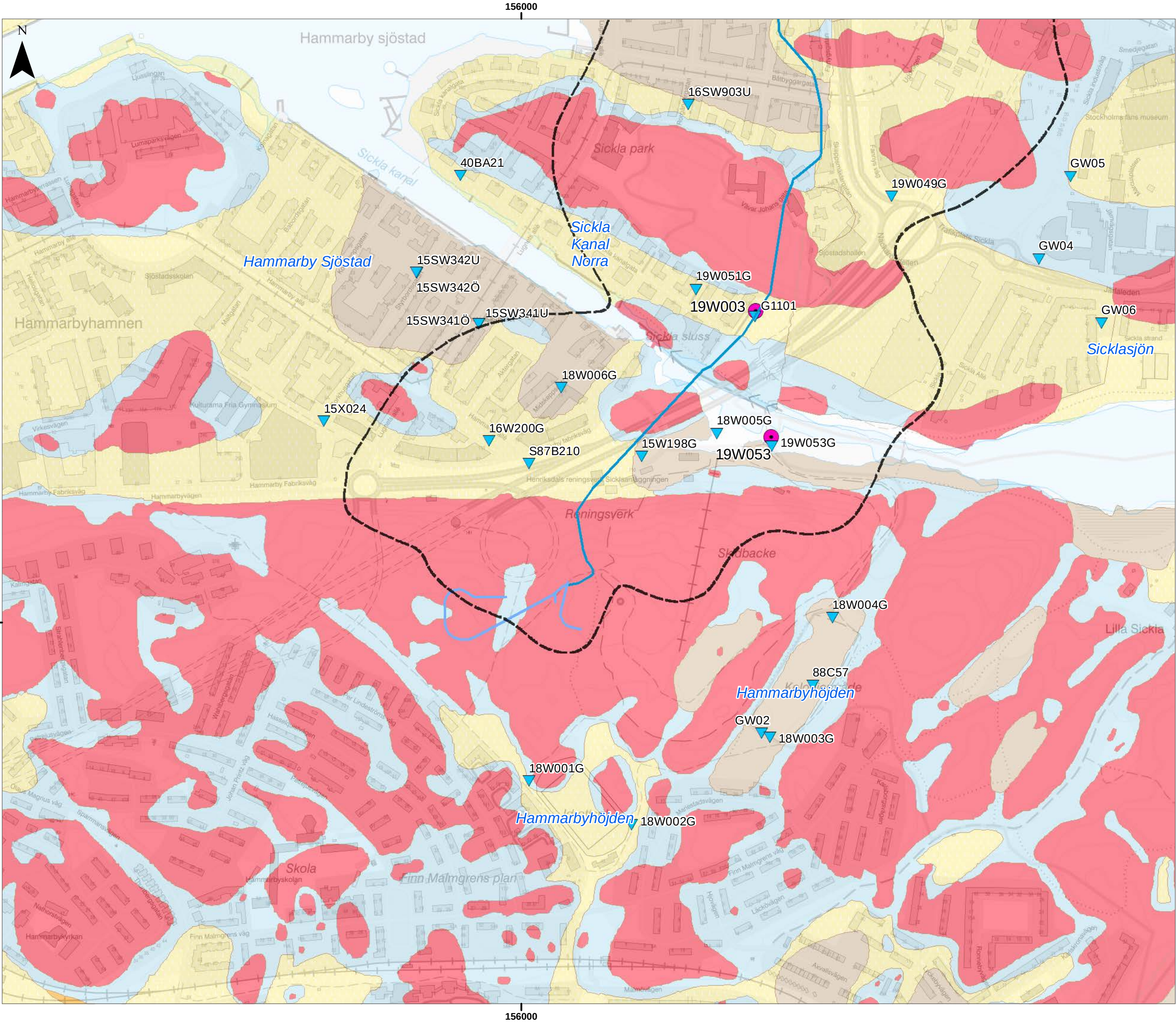
[1] Markteknisk undersökningsrapport (MUR) Nya Östbergatunneln, systemhandling. Dokumentnamn: NÖT01-G1-DDC-T-0001. Daterad 2019-10-30. WSP projektnummer 10281494.

[2] Olsson, M. and Alén, C. (2009) Tekniskt PM-Val av kryptal för lösa plastiska leror. Chalmers Tekniska Högskola. Göteborg.

[3] Claesson, P. (2003). Long-term settlements in soft clays, PhD thesis, Department of Geotechnical Engineering, Chalmers University of Technology, Göteborg.

[4] Larsson, R. Bengtsson, P.-E. & Eriksson, L. (1997). Prediction of settlements of embankments on soft, fine-grained soils, Swedish Geotechnical Institute, Information 13E, Linköping.

[5] PM Hydrogeologi – Bilaga C7 PM Sättningar, Miljöprovning för tunnelbana från Kungsträdgården till Nacka och söderort, Dokumentnamn: 2320-M25-22-0001_bilaga 7, Daterad: 2017-12-21, Stockholms läns landsting, FUT.



Teckenförklaring

- Huvudtunnel
- Arbetstunnel
- Påverkansområde
- Grundvattenrör
- Sättningsberäkningar

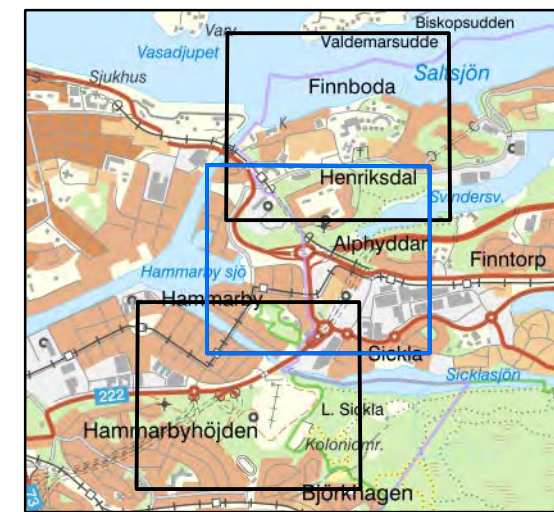
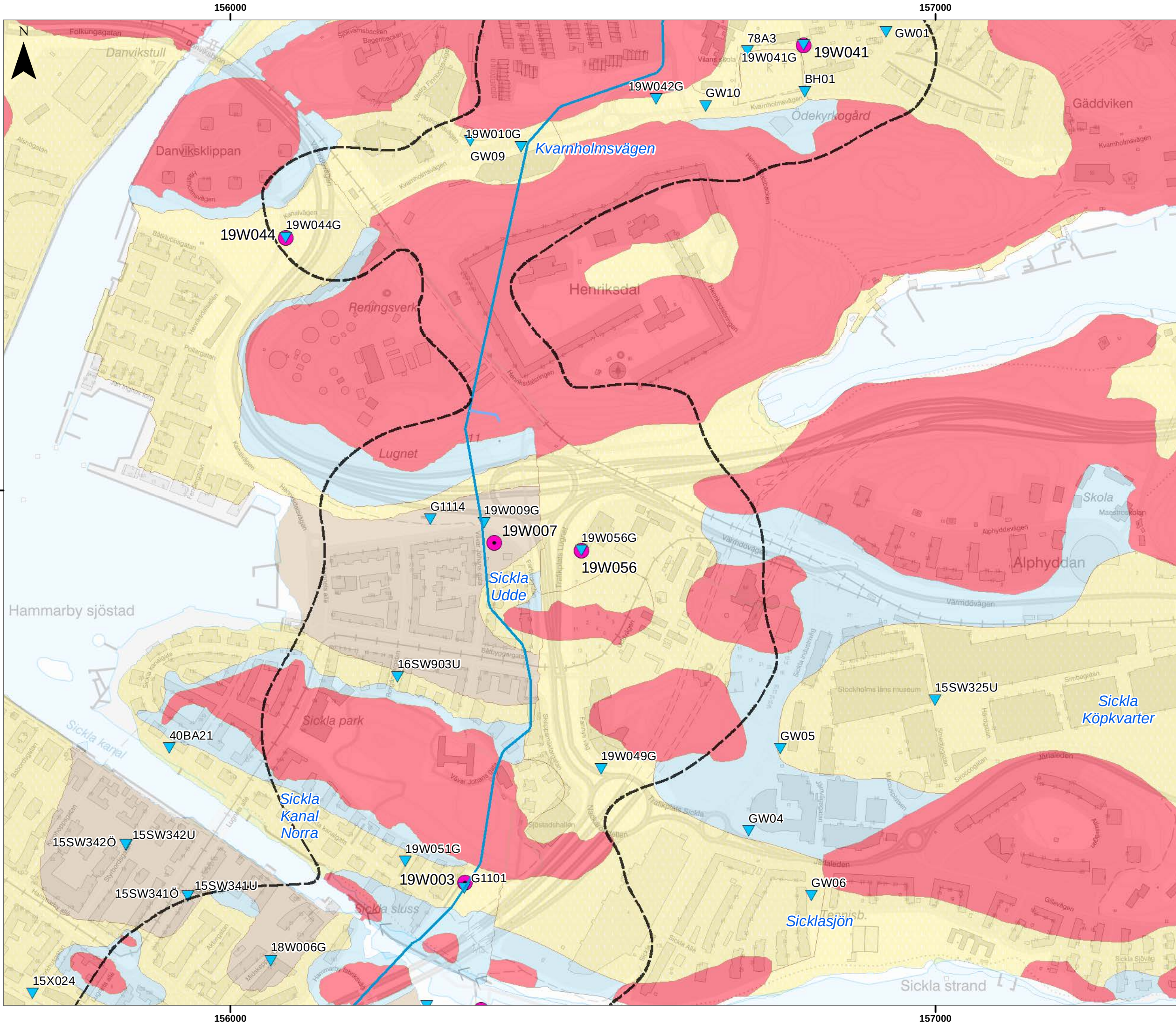
Jordart

- Berg i dagen
- Lera
- Morän
- Organisk jord
- Vatten
- Växellagring

Nya Östbergatunneln PM Sättningar, Bilaga 1

Datum: 2020-03-19
© Open Stockholm, Lantmäteriet
A3, Skala: 1:5,000
Koordinatsystem: SWEREF 99 18 00
0 62.5 125 250 Meters





Teckenförklaring

- Huvudtunnel
- Arbetstunnel
- Påverkansområde
- Grundvattenrör
- Sättningsberäkningar

Jordart

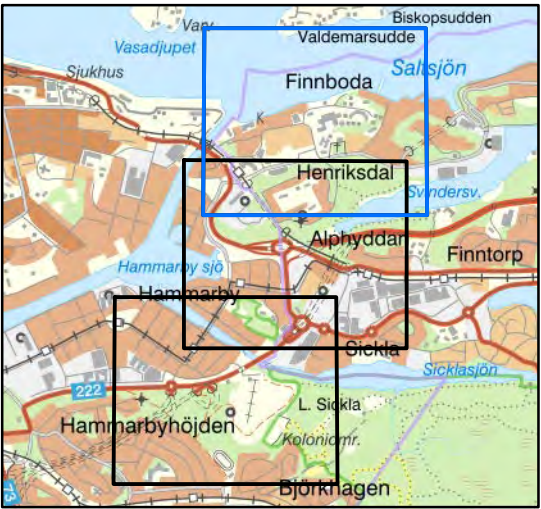
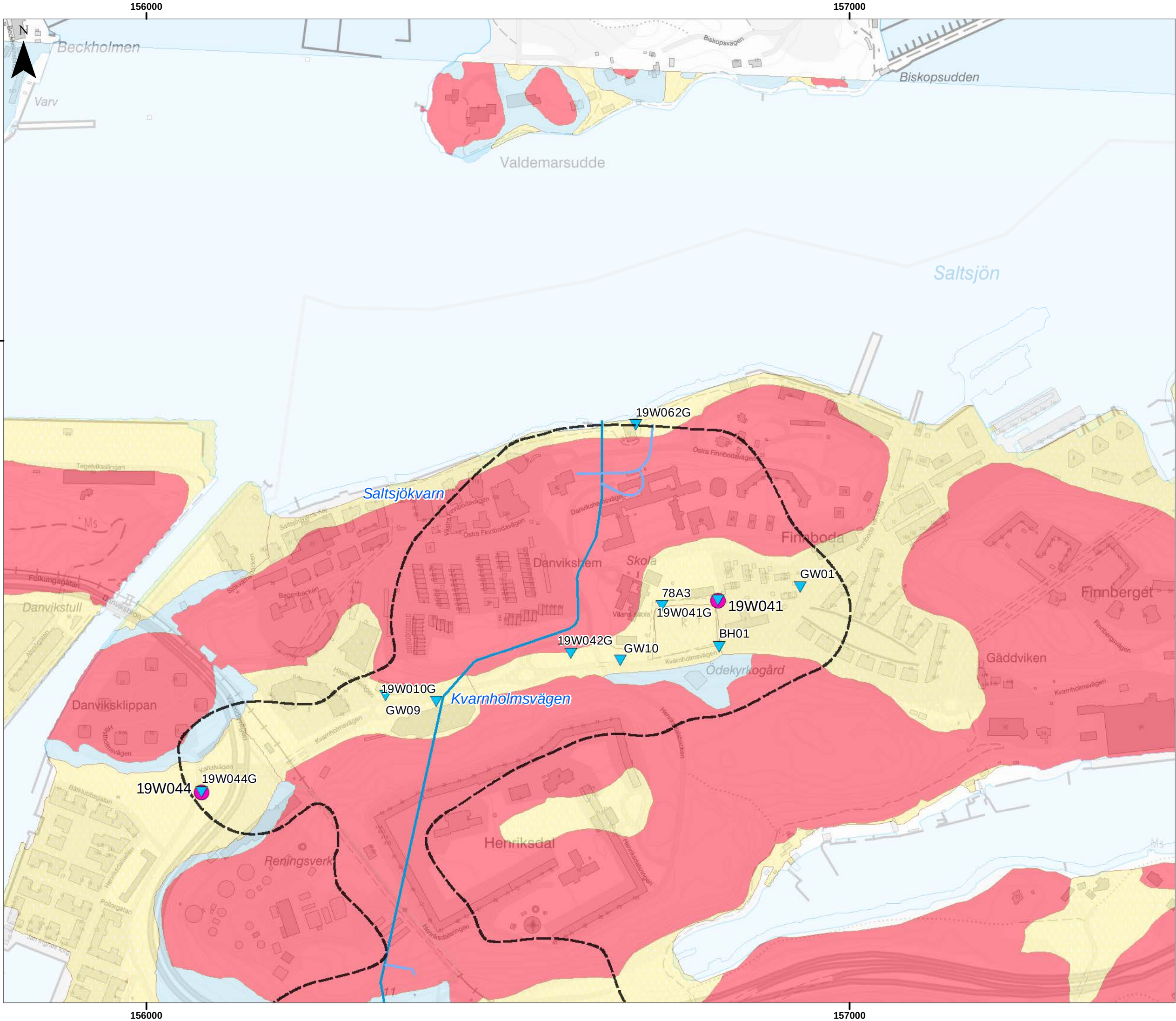
- Berg i dagen
- Lera
- Morän
- Organisk jord
- Vatten

Nya Östbergatunneln PM Sättningar, Bilaga 1

Datum: 2020-03-19
© Open Stockholm, Lantmäteriet
A3, Skala: 1:5,000
Koordinatsystem: SWEREF 99 18 00
0 62.5 125 250 Meters



WSP Sverige
Avdelning Mark och Vatten



Teckenförklaring

- Huvudtunnel
- Arbetstunnel
- Påverkansområde
- Grundvattenrör
- Sättningsberäkningar

Jordart

- Berg i dagen
- Lera
- Morän
- Organisk jord
- Vatten

Nya Östbergatunneln PM Sättningar, Bilaga 1

Datum: 2020-03-19
© Open Stockholm, Lantmäteriet
A3, Skala: 1:5,000
Koordinatsystem: SWEREF 99 18 00
0 62.5 125 250 Meters



Namn Bilaga G6_Hydrogeologiska	Dokumenttitel Bilaga G6: Hydrogeologiska beräkningar	Version 2.0
Författare Patrik Lissel	Ansvarig Tomas Hård	Datum 2020-03-19
Projektnamn Nya Östbergatunneln	Projektnummer 410498	Diarienummer 18MB1337



Nya Östbergatunneln

UNDERLAG
GÄLLANDE 2020-03-19

Bilaga G6: Hydrogeologiska beräkningar

Underlag till tillståndsansökan

Stockholm Vatten AB

Innehållsförteckning

1.	Inledning	3
2.	Plan- och höjdsystem.....	4
3.	Nybildning av grundvatten	5
3.1	Konceptuell beskrivning	5
3.2	Beräkning	6
4.	Bergets genomsläpplighet	8
4.1	Allmänt	8
4.2	SGU:s brunnarkiv	8
4.3	Vattenförlustmätningar	13
4.4	Inläckage till befintliga tunnlar	13
5.	Grundvattenbortledning	13
6.	Påverkansområde	15
7.	Referenser.....	17

Bilagor

Bilaga	Dokumentnummer	Titel
G61		Sammanställning, vattenförlustmätningar
G62		Beräkning av inläckage, huvudtunnel
G63		Modellbeskrivning

Dokumenthistorik

Version	Datum	Version avser
1.0	2020-02-26	Granskningshandling
2.0	2020-03-19	Gällande handling

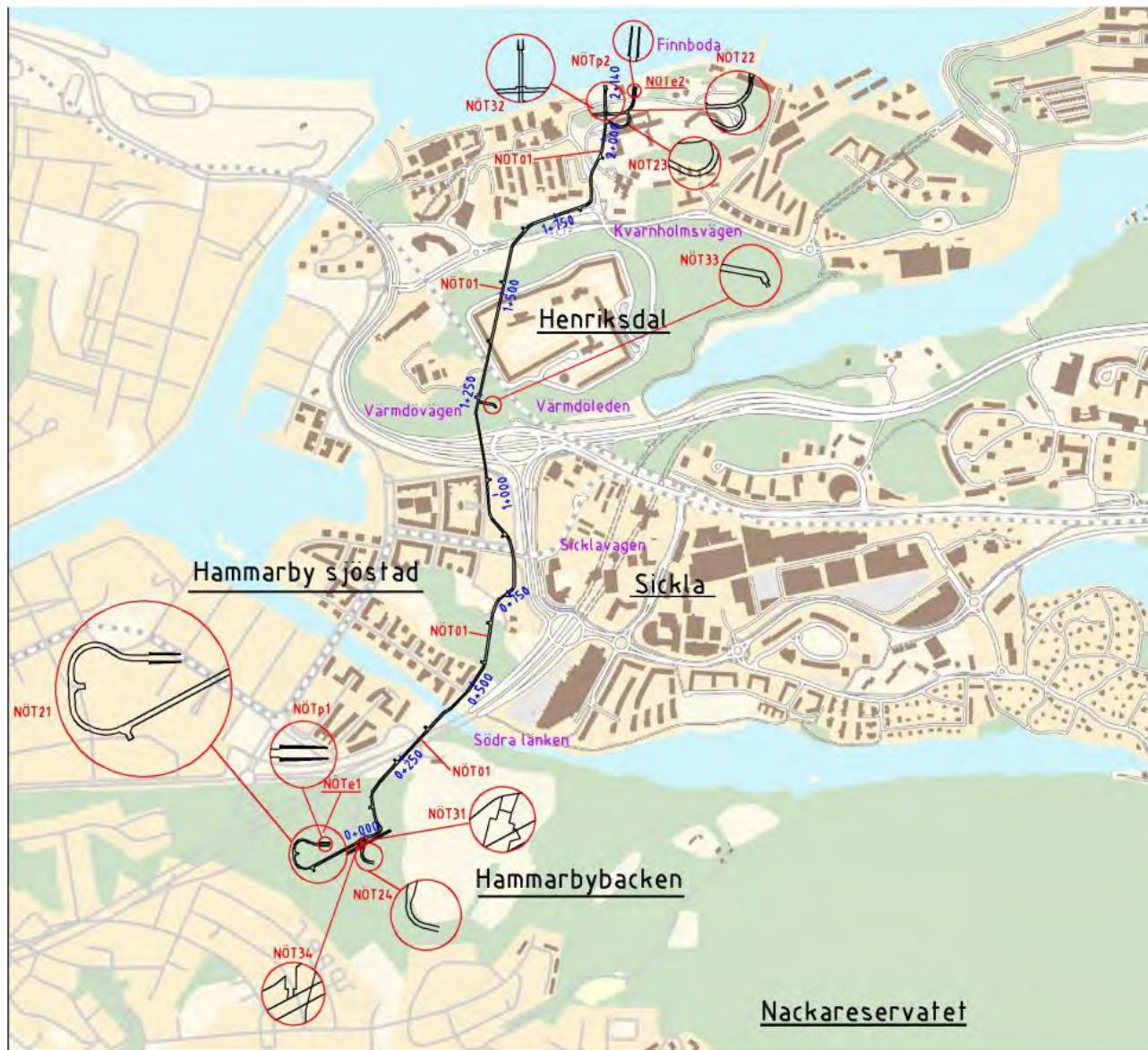
1. Inledning

Denna PM ingår i tillståndsansökan enligt miljöbalken för anläggning och drift av Nya Östbergatunneln.

Syftet med denna PM är att redovisa de hydrogeologiska beräkningar som utförts för att prediktera grundvattenbortledning till planerad anläggning (vattenverksamhet) jämte påverkan på grundvattenförhållanden till följd av denna bortledning.

Ansökt vattenverksamhet omfattar att under bygg- och driftstiden leda bort grundvatten och att vid behov infiltrera vatten under byggskedet. Ansökan omfattar även byggande i vatten under byggskedet. Tillståndsansökan omfattar både bygg- och driftskede. Byggskedet beräknas till maximalt 5 år.

Nya Östbergatunnelns längd blir ca 2860 m varav 2140 m är huvudtunnel. Tunneln drivs via arbetstunnel Hammarbyskogen (NÖT21) och servicetunnel utlopp (NÖT22). Dagvatten från den befintliga Östbergatunneln förs över till Nya Östbergatunneln vid Anslutning Sicklaanläggningen (NÖT31). Tunneln får en lågpunkt vid anslutning till Sicklaschaktet i Henrikdalsanläggningen (NÖT33) vilket möjliggör för överföringsledningar mellan Sickla- och Henrikdalsanläggningen. I lågpunkten förbereds även en tömningsfunktion för Nya Östbergatunneln med sugledning till befintlig pumpstation i Henrikdalsanläggningen. Norr om Henriksdal lutar huvudtunneln upp mot utloppet i Saltsjön. I figur 1 redovisas Nya Östbergatunnelns sträckning, påslag, arbetsområden m.m.



FÖRKLARINGAR

NÖT01 = Gemensamt (Hela Östbergatunneln)

NÖTe1 = Etablering Hammarbyhöjden

NÖTe2 = Etablering Finnbo

NÖTp1 = Påslag Hammarbyhöjden

NÖTp2 = Påslag Finnbo

NÖT21 = Arbetstunnel Hammarbyskogen

NÖT22 = Servicetunnel utlopp

NÖT23 = Arbetstunnel Finnbo

NÖT24 = Förbindelse tunnel
Sicklaanläggningen

NÖT31 = Anslutning Sicklaanläggningen

NÖT32 = Anslutning Utlopp

NÖT33 = Anslutning Henriksdalsanläggningen

NÖT34 = Anslutning Befintlig Östbergatunnel

Figur 1. Nya Östbergatunnelns sträckning, påslag, anslutningar och etableringar.

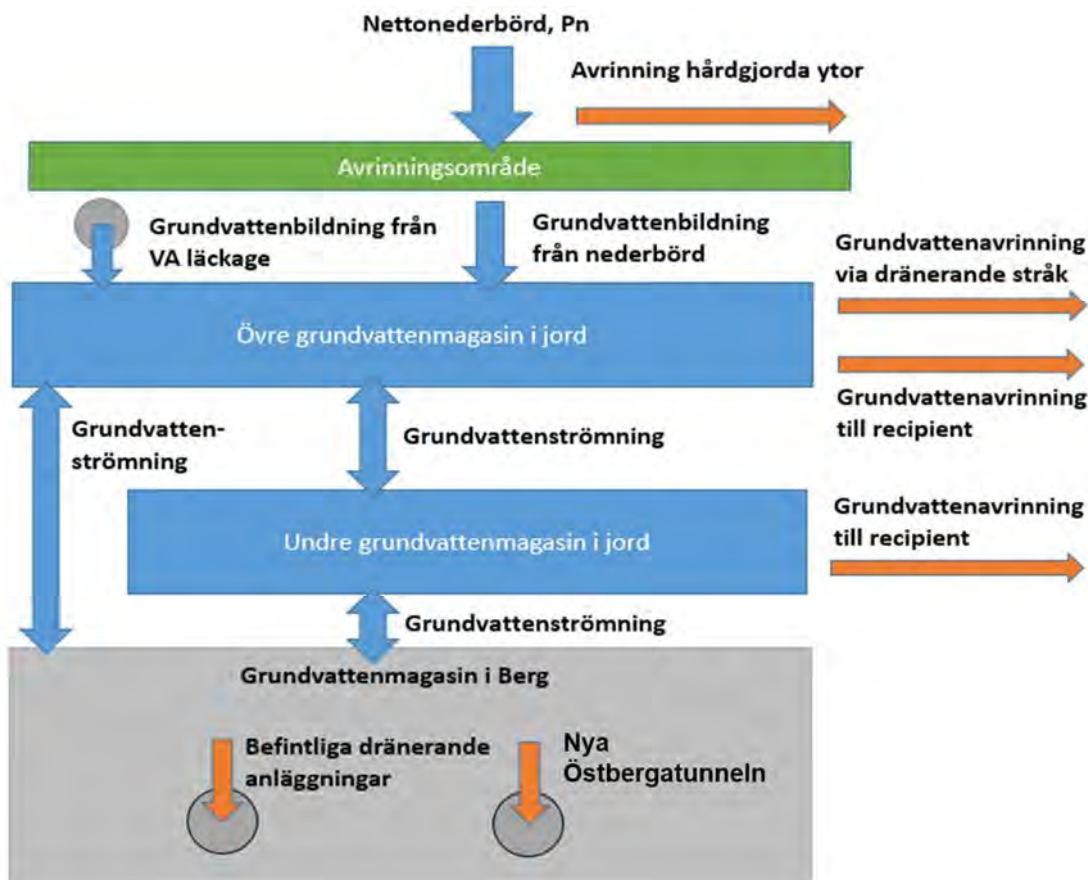
2. Plan- och höjdsystem

Koordinatsystem för projektet är SWEREF 99 18 00 i plan och RH2000 i höjd.

3. Nybildning av grundvatten

3.1 Konceptuell beskrivning

Vatten tillförs grundvattenmagasinen i jord och berg, dels som nybildning som beror på nettonederbörden och dels som grundvattenflöde från andra magasin, exempelvis vid strömning från ett övre till ett undre grundvattenmagasin. I urbana områden tillkommer även tillskott från otäta VA-ledningar. Bortledning av grundvatten sker direkt eller indirekt från samtliga grundvattenmagasin, övre (öppet) och undre magasin i jord samt magasin i berg. Bortledningen medför en lokal omfördelning av vattenströmning mellan magasin. I figur 2 redovisas en konceptuell bild av vattenbalansens olika delar.



Figur 2. Schematisk skiss av vattenbalans.

Grundvattenbildning till berg kan principiellt endast förekomma där det finns en grundvattenyta som ligger nere i berg. I andra fall sker nybildningen till ett magasin i jord som täcker berget och därefter sker en grundvattenströmning till berg från detta överliggande magasin. Det är då huvudsakligen den hydrauliska gradienten som, tillsammans med vattengenomsläppligheten i jord och berg, bestämmer strömningens storlek.

På samma sätt betraktas grundvattenbildning till undre grundvattenmagasin. Läckage genom lera utgör normalt ett mycket litet tillskott till undre magasin. Likaså utgör läckage genom berg till undre magasin vanligen ett mindre tillskott för magasin med måttlig areell utbredning. För stora magasinutbredningar kan tillskottet via berg vara större. Strömning genom friktionsjord i randzoner mellan jord och berg utgör normalt det dominerande tillskottet. Dock är det den hydrauliska gradienten som, tillsammans med vattengenomsläppligheten, bestämmer strömningens storlek. Om en trycksänkning sker i det undre grundvattenmagasinet ökar den hydrauliska gradienten och därmed grundvattenströmningen. Således ökar tillskottet till det undre magasinet från omgivande berg och övre magasin om trycknivån i det undre magasinet sänks.

Nybildningen av grundvatten i den urbana miljön påverkas normalt inte av trycksänkningar då nybildningen är knuten till storlek på nederbörd, infiltrationskapacitet knuten till hårdgörningsgrad samt läckage från VA-system.

Att väsentliga delar av nybildat grundvatten i övre magasin bortförs av dränerande stråk i den urbana miljön, samt att denna andel dräneringsvatten minskar om andelen som tillförs grundvattenmagasin i berg eller undre magasin i jord ökar, är givet. Dränerande stråk kan t ex vara hus- och vägdränering jämte otäta dag- och spillvattenledningen i kombination med den (vanligen) högpermeabla kringfyllnaden i ledningsgravar.

3.2 Beräkning

3.2.1 Allmänt

Nybildning av grundvatten i den urbana miljön kan översiktligt indelas i nybildning via nederbördsinfiltration samt tillskott från läckande VA-system, i huvudsak trycksatta dricksvattenledningar.

Som det visats i flera studier (exempelvis i projekt Västlänken¹, Göteborg) så begränsar jordarterna i obetydlig grad nybildningen av grundvatten i urban miljö. Kalt bergs beskaffenhet, sprickfrekvens och lutningsförhållanden kan dock göra det. Ofta medför det att det uppkommer lokal tillfällig ytaavrinning på berget och det avrunna vattnet infiltrerar istället nedanför bergblotningen. Inom aktuellt område är andel kalt berg i dagen sparsamt förekommande. Vanligen är berget till stor del täckt av hårdgjorda ytor som då ofta är mer styrande (tätare) än det underliggande berget.

3.2.2 Tillgänglig nettonederbörd

En klimatologisk vattenbalans har upprättats för att beskriva hur mycket vatten som rör sig genom området till följd av nederbörd. Den klimatologiska vattenbalansen säger att avrinningen (Q) är lika med skillnaden mellan nederbörd (P) och avdunstning (ET) enligt $Q=P-ET$. Avrinningen kan även betecknas nettonederbörd, P_n .

Den uppmätta nederbörden är i princip alltid mindre än den verkliga. Detta beror på vindförluster, vidhäftningsförluster, mätfel etc. SMHI har beräknat storleken på dessa mätfel varpå en korrigerad nederbörd (P_k) istället kan användas i vattenbalansberäkningen (Alexandersson, 2003). Avdunstningen är inte en parameter som mäts utan den blir en "restterm" i ekvationen. SMHI har en översiktlig kartering som kan visa på storleksordningen av avdunstningen. Avrinningen är bättre känd genom uppmätning av flöden från större avrinningsområden.

Den korrigerade nederbörden för vald representativ mätstation (station 9821) är enligt SMHI 592 mm/år för referensnormalperioden 1961-1990. Genom uppräknig till medelvärde för period 1991-2020 har värdet 605 mm/år valts som representativt för nuvarande förhållanden inom aktuellt område.

Avdunstningen uppges i SMHI:s översiktliga kartering till 400-500 mm/år och avrinningen till ca 190 mm/år. Den klimatologiska vattenbalansen kan därmed tecknas ($P_k-ET=P_n$): $605 - 415 = 190 \text{ mm/år}$ som en bästa uppskattning av nuvarande förhållanden. Nettonederbörden är den andel vatten som finns potentiellt tillgänglig för grundvattenbildning.

¹ <https://www.trafikverket.se/nara-dig/Vastra-gotaland/vi-bygger-och-forbattrar/Vastlanken---smidigare-pendling-och-effektivare-trafik/>

3.2.3 Grundvattenbildning

I den urbana miljön begränsar hårdgjorda ytor till stor del infiltrationen och en betydande del av nederbörden avgår som dagvatten utan att ha infiltrerat i marken. Andelen hårdgjorda ytor varierar inom urbana miljöer t.ex. har industriområden betydligt större andel hårdgjorda ytor än bostadsområden.

För att kunna uppskatta hur mycket av nederbörden som kan infiltrera i marken och bilda grundvatten i den urbana miljön har utredningsområdet delats in i fyra olika typområden; högurbana områden, medelurbana områden, lågurbana områden och grönområden. Högurbana områden innefattar industriområden eller kommersiella områden där ytan till stor del består av asfalt eller takytor. Medelurbana områden är tätbebyggda bostadsområden med större parkeringsplatser och lågurbana områden villaområden. Grönområden är parker eller skogsområden.

För varje typområde har ett mindre område valts ut och en arealberäkning har gjorts för fyra olika kategorier av ytor; takytor, asfalterade ytor, grönytor och övriga ytor (platsättning, grusade ytor och liknande). Areorna har sedan räknats om till en procentandel av typområdets area. För varje yta har en uppskattning gjorts av grundvattenbildning via nederbörd. Uppskattningen utgår ifrån nettonederbörden om 190 mm/år. För takytor har grundvattenbildningen uppskattats till 0 mm/år, asfalt 70 mm/år, grönytor 190 mm/år och övriga ytor 90 mm/år.

Medelläckage från VA-ledningar som använts i beräkningarna är 85 mm/år. Medelläckaget har beräknats utifrån data från Stockholm Vatten över dricksvattenproduktion, dricksvattenförsäljning och avloppsreningsverkens upptagningsområde (Stockholm Vatten och Avfall, 2018), vilket antas vara ungefär detsamma som dricksvattenförsörjningsområdet. Tillskott antas gälla för områden med bebyggelse. I grönområden har läckaget därför satts till noll. För lågurbana områden med fler serviser som kan läcka antas läckaget vara något högre än medeltalet och för högurbana områden med färre serviser antas läckaget vara något lägre.

Den beräknade sammantagna grundvattenbildningen redovisas i tabell 2 nedan.

Tabell 1. Sammanställning olika ytors bidrag till grundvattenbildning (W), andel yta inom de olika typområdena samt den totala grundvattenbildningen per år för varje typområde.

Ytor	Typområde: W [mm/år]	Hög- urbant	Medel- urbant	Låg- urbant	Naturmark
Takytor	0	30%	22%	18%	0%
Asfalt	70	60%	38%	18%	0%
Grönytor	190	7%	37%	62%	100%
Övriga ytor	90	3%	3%	2%	0%
		mm/år	mm/år	mm/år	mm/år
Grundvattenbildning från nederbörd		60	100	140	190
Grundvattenbildning från VA-läckage		70	85	95	0
Grundvattenbildning totalt		130	185	230	190

4. Bergets genomsläpplighet

4.1 Allmänt

Detta kapitel utgör en redovisning av utvärderingen av bergets genomsläpplighet (hydraulisk konduktivitet) inom område för Nya Östbergatunneln. Analysen baseras på material från SGU:s brunnarsarkiv.

4.2 SGU:s brunnarsarkiv

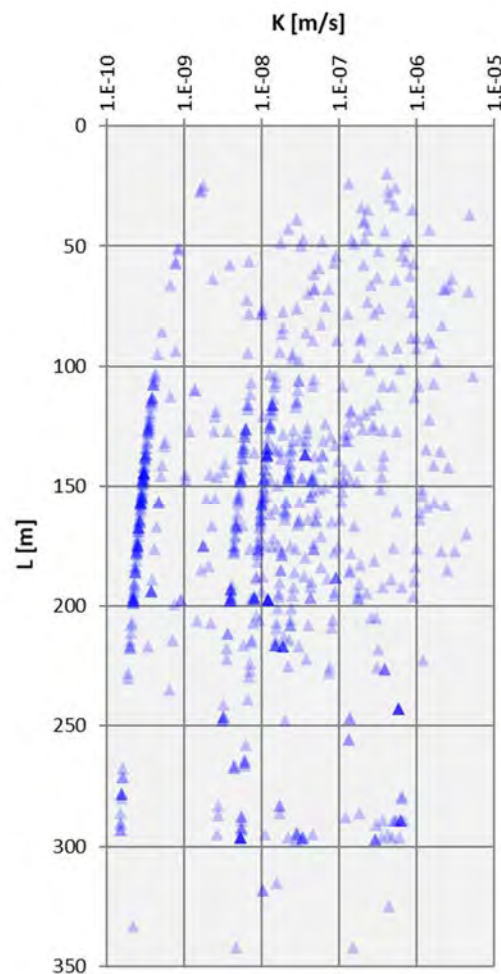
Analys av data från brunnarsarkivet har genomförts genom studie av brunnar inom ett avstånd om ca 3 km från planerad tunnellinge.

Först har en medelkonduktivitet (K) beräknats för respektive brunn som har beräkningsbara data. Beräkningen av K har gjorts efter (Ryd, 2017).

Plottning av beräknade medelkonduktiviteter för respektive brunn har ställts mot, av SGU, bedömd uttagskapacitet i berg för kontroll av eventuella urskiljbara olika hydrogeologiska domäner (figur 4). Som framgår finns en något mer konduktiv domän i väster (domän 1), med generellt högre uttagskapaciteter indikerande mer genomsläppligt berg. För vidare beräkningar antas att brunnar inom domän 2 och 3 kan representera området för Nya Östbergatunneln.

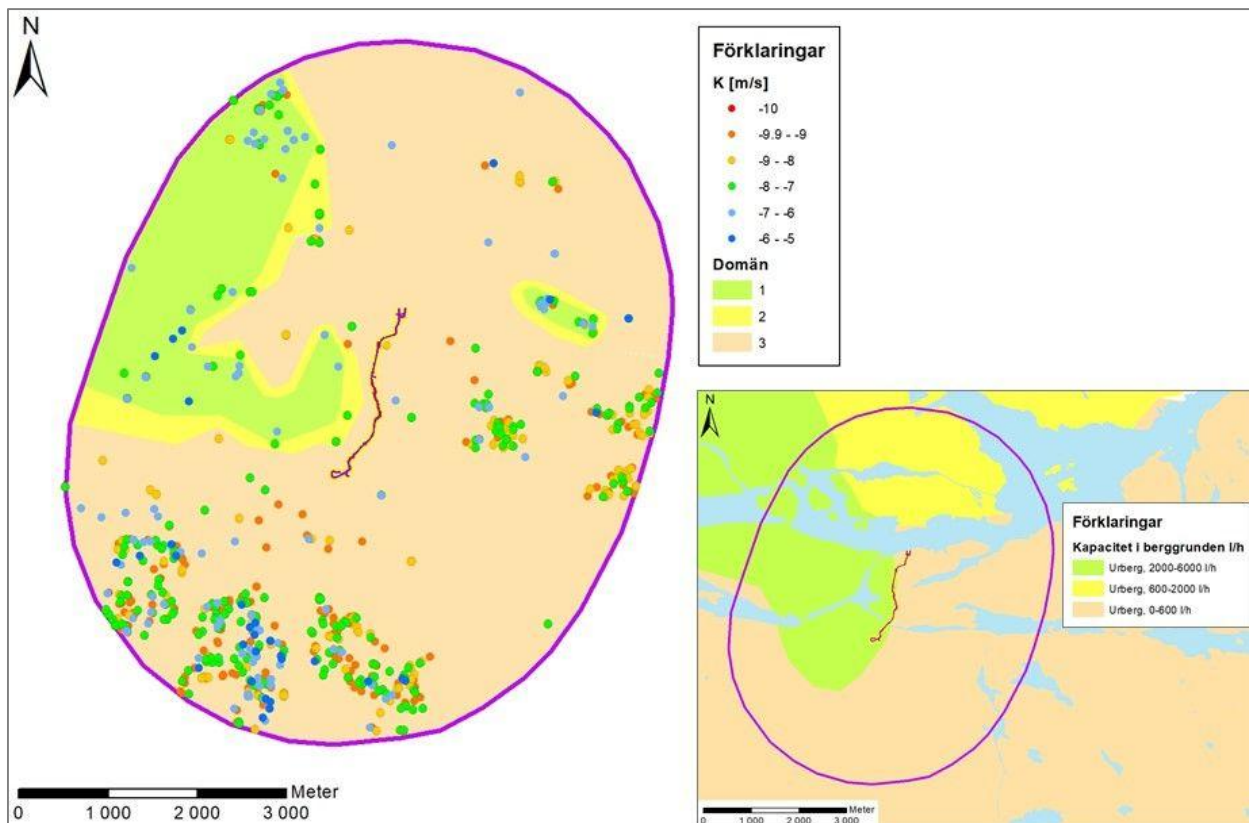
Därefter har fördelningen av beräknade K-värden för olika populationer studerats indelade efter brunnsdjup.

Skäl för indelning i olika populationer är att de vattenförande egenskaperna för det kristallina berget generellt kan antas uppvisa ett tätare berg mot djupet (djupavtagande K). Detta har studerats vid ett antal platser i Sverige (Axelsson & Maersk Hansen, 1997) och är även gällande för aktuellt område, vilket framgår av datapopulationen för alla brunnar (figur 3).



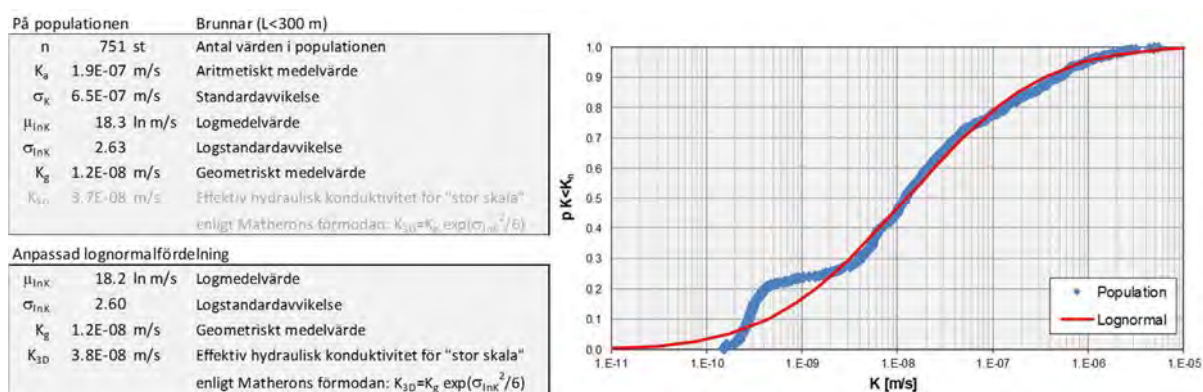
Figur 3. Plottade beräknade K-värden för respektive brunn mot brunnsdjup.

Mönstret i figur 3 avspeglar dock inte det korrekta djupavtagandet, eftersom varje punkt här representerar ett medelvärde av allt berg ovanför punkten. Det har i andra projekt redovisats liknande plottar men mot halva brunnsdjupet som ett "representativt djup" (SKB, 2000). Sådana plottar visar inte heller det korrekta djupavtagandet, möjligen dock med en något bättre visuell passning (se exempel i figur 12).



Figur 4. Beräknade K-värden för respektive brunn samt domänindelning (en domän = svart linje). Infällt till höger ses uttagskapacitet i berg enligt SGU.

Den efterföljande analysen görs på en population där brunnar med $L < 300\text{m}$ samt där brunnar med samma koordinat (eller närliggande), vilka tolkats som borrhålslager, slås samman till ett representativt värde för borrhålslagret (geometriskt medelvärde av K för ingående brunnar i lagret). Detta ger en sammantagen population för vidare analys om 751 värden vilka är lognormalfördelade med statistiska parametrar enligt figur 5.



Figur 5. Beräknade K-värde för brunnar inom domänen samt anpassad lognormalfördelning.

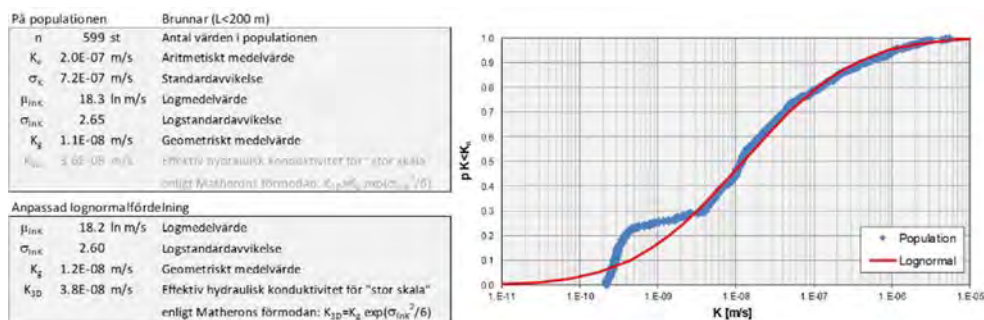
Som tidigare nämnts ger figur 3 inte ger en korrekt bild av djupavtagandet för den hydrauliska konduktiviteten då varje punkt representerar allt berg ovanför det plottade djupet och K-värdet medelkonduktiviteten för detta berg. Därför används här en metod där den sammantagna populationen indelas i olika delmängder efter

brunnsdjup. Varje delmängd analyseras därefter för att beräkna en storskalig hydraulisk konduktivitet (K_{3D}) för respektive studerad population².

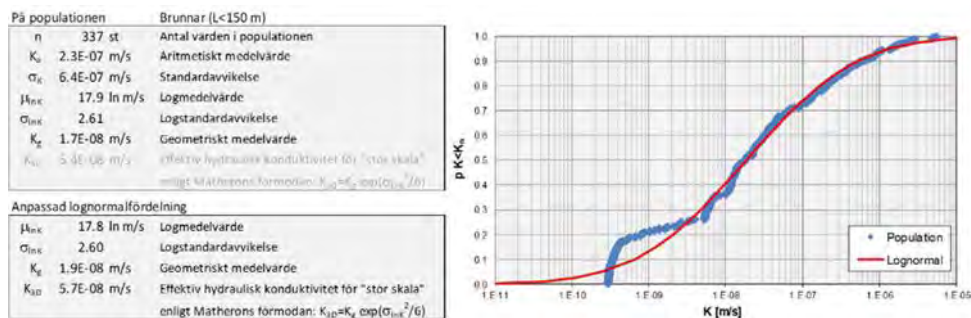
De studerade populationerna har här valts till;

- brunnar med mindre djup i berg (L) än 200 m,
- brunnar med mindre djup i berg (L) än 150 m,
- brunnar med mindre djup i berg (L) än 100 m,
- brunnar med mindre djup i berg (L) än 50 m.

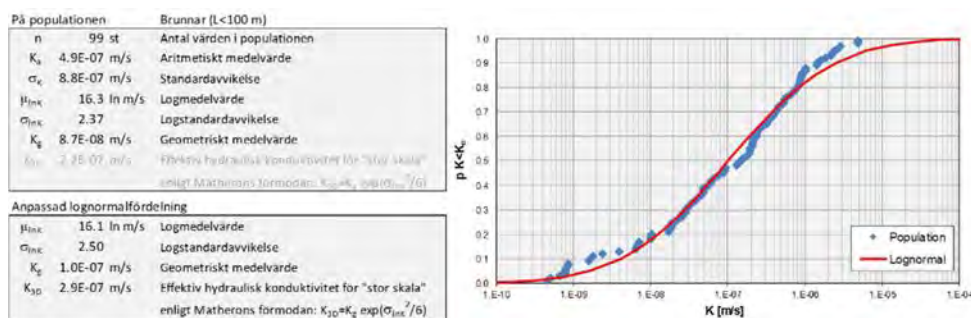
Populationerna är (förväntat) lognormalfördelade (se exempel figur 6 - figur 9). En sammanställning av fördelningarna visar att det finns ett statistiskt säkerställt djupavtagande K (figur 10).



Figur 6. Fördelning av beräknade statistiska parametrar för brunnar med L<200 m.

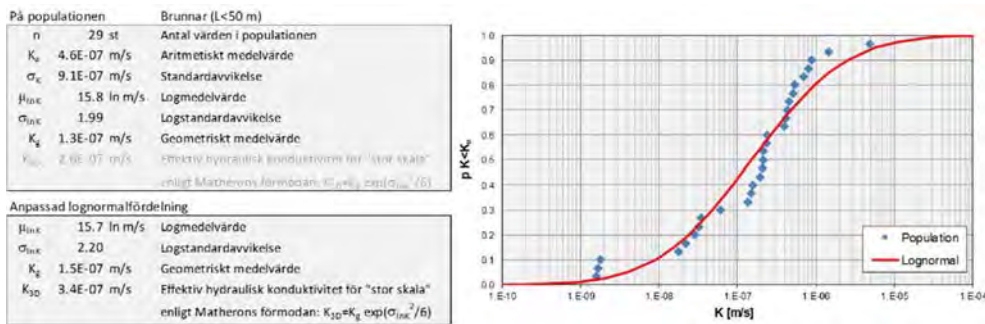


Figur 7. Fördelning av beräknade statistiska parametrar för brunnar med L<150 m.

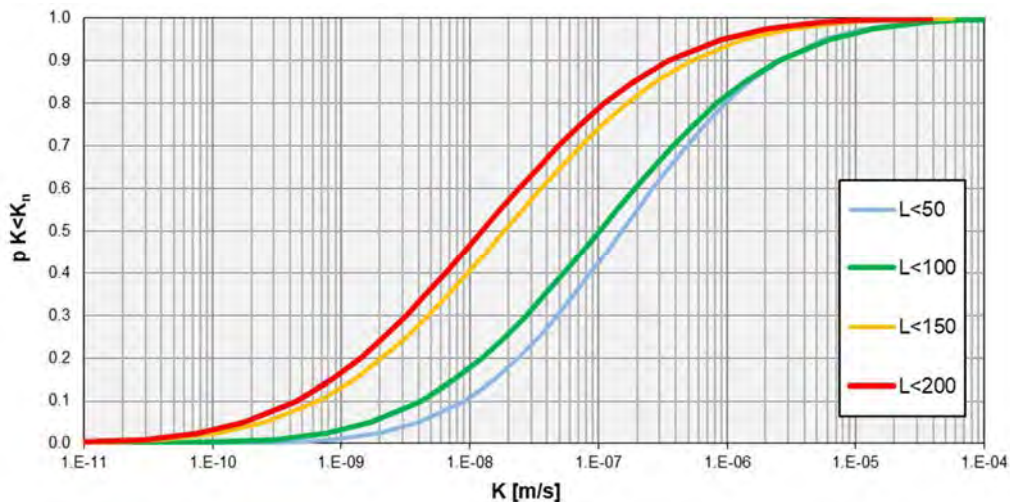


Figur 8. Fördelning av beräknade statistiska parametrar för brunnar med L<100 m.

² Gustafson G. 2009. Hydrogeologi för bergbyggare. Forskningsrådet Formas T2:2009.



Figur 9. Fördelning av beräknade statistiska parametrar för brunnar med L<50 m.



Figur 10. Sammanställning av anpassade lognormalfördelningar för studerade populationer.

Bergets djupavtagande hydrauliska konduktivitet kan beskrivas med en potensfunktion enligt ekvation 1 nedan (Ericsson, Holmén, Rhén, & Blomquist, 2006).

$$K_{ber} = Cd^{-L} \quad (\text{ekv 1})$$

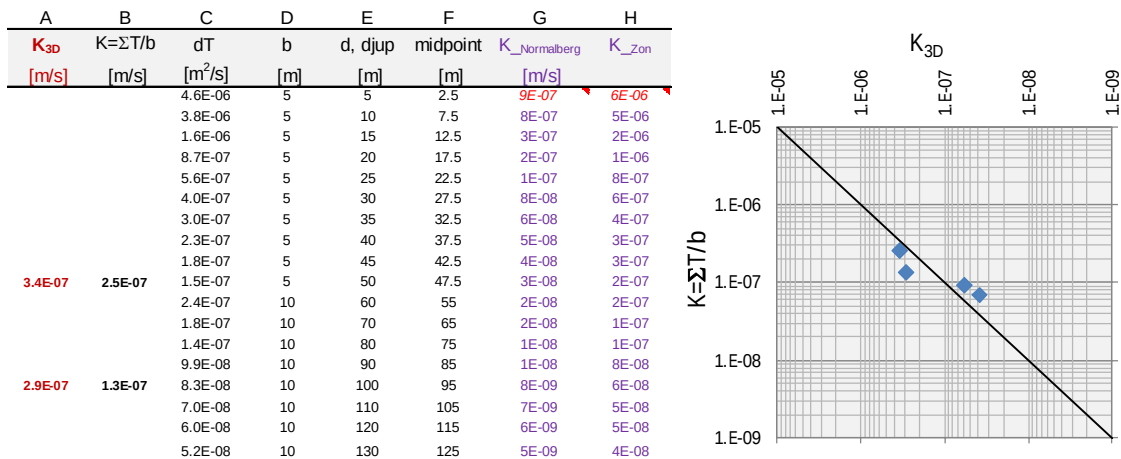
där

C = konstant

d = djup i berg

L = trend för djupavtagande

För bestämning av konstanter (C och L) som ger ett djupavtagande som stämmer med utvärderad population används K_{3D} -värdena för de olika delpopulationerna som passningsparametrar (kolumn A, figur 11) till det beräknade K-värdet med potensfunktionen ($K_{Normalberg}$, kolumn G). Passningen görs manuellt genom en transmissivitetssummering av respektive studerad bergmäktighet, där medelvärdet för konduktiviteten för studerad mäktighet antas till T/b (kolumn B). K för de översta 5 m antas inte följa potentrenden utan ges ett värde om 1,2 x beräknat K för underliggande 5 m. K-värde för zoner har antagit till 10 ggr K-värde för normalberg (högre C-konstant).



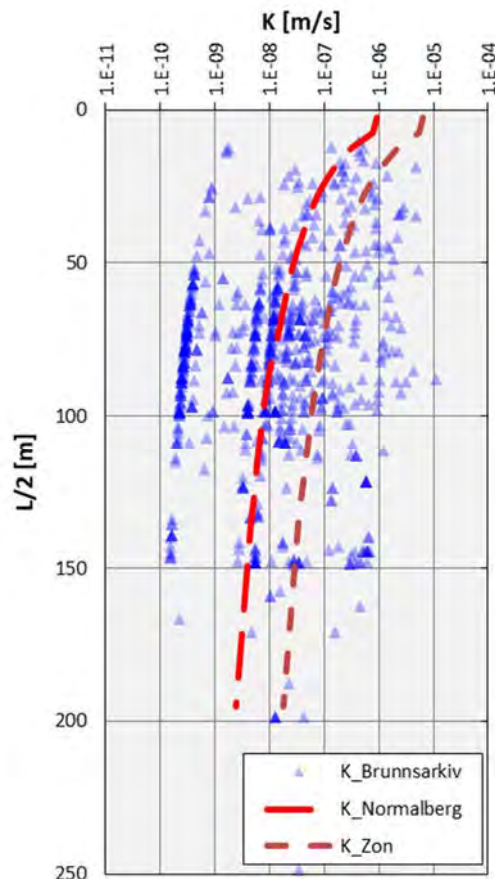
Figur 11. Princip för beräkning av konstanterna C och L mot passningsparametrar K_{3D} (tabellutsnitt).

Olika värden på C och L kan ge i princip lika god passning mot K_{3D} -värdena, varför det slutliga valet av konstanter även inbegriper en rimlighetsbedömning av konduktiviteter på större djup. I detta fall har det bedömts att det sannolikt inte är tätare berg på 200 m djup än ca $K=1 \cdot 10^{-9}$ m/s. Valda konstanter för normalberg är $C=2,6 \cdot 10^{-5}$ och $L=-1,75$, resulterande i funktion för djupantagande K enligt figur 12. För zoner har antagits $C=1,8 \cdot 10^{-4}$ och $L=-1,75$.

Osäkerheten i metoden ligger till stor del i den av brunnborraren bedömda brunnskapaciteten (påverkar beräknat K_{medel} för brunnen). Fördelen med metoden är det stora dataunderlaget och den "slumpartade" spridningen av datapunkter, jämfört med riktade undersökningar mot svaghetszoner.

En annan osäkerhet som brukar anföras rörande data från brunnarsarkivet är den bias som introduceras för de fall man borrar efter vatten. Då är det vanligt att man avbryter borrning då man nått en viss kapacitet eller överger borrning vid ett visst djup om sökt kapacitet inte erhållits. Detta kan ge en skev bild av permeabilitetens djupavtagande.

Men i den urbana miljön inom domänen är borrning efter vatten sällan förekommande och den absoluta merparten (ca 90%) av brunnarna är energibrunnar. För dessa finns inte ovanstående invändning.



Figur 12. Plottade beräknade K-värden för respektive brunn mot $L/2$ jämte anpassad funktion för djupavtagande K-värde för normalberg och zoner.

4.3 Vattenförlustmätningar

Tidigare undersökningar i berg inom Nya Östbergatunnelns närområde har inventerats och sammanställts (bilaga G61).

Undersökningar härrör från projekt Södra länken respektive Utbyggnad av tunnelbanan (Nackagrenen).

Dessa undersökningar görs normalt som en riktad sökning efter svaghetszoner, varför de har en tendens att uppvisa högre konduktiviteter och inte speglar normalberget. Dock kan partier mellan påträffade svaghetszoner i dessa undersökningar visa på konduktivitetvärden som kan vara mer representativa för normalberget.

Utvärderade K-värden från dessa vattenförlustmätningar faller väl inom den generella beskrivningen för berget enligt figur 12.

4.4 Inläckage till befintliga tunnlar

Inom aktuellt område finns ett mycket stort antal befintliga tunnlar och anläggningar i berg. För den stora merparten av dessa anläggningar har det inte varit möjligt att erhålla information om inläckage, främst då tunnarna är byggda för vattenransport och mätning därmed inte är möjlig.

För trafiktunnel Södra länken finns dock information om inläckage till olika tunneldelar inom aktuellt område. Inläckagets storlek och den geografiska fördelningen av detsamma följer väl vad som här antas om dels bergets vattenförande egenskaper och dels den grundvattentrycknivå som kan förväntas verka på de aktuella tunneldelarna.

Informationen har införlivats i den tredimensionella grundvattenmodell som upprättats för prediktion av förändrade grundvattenförhållanden till följd av förutsebar grundvattenbortledning till Nya Östbergatunneln (bilaga G63).

5. Grundvattenbortledning

Beräkning av inläckage till planerad anläggning har gjorts med analytisk modell efter (Gustafson, 2009):

$$q = \frac{2\pi K_b H}{\ln\left(\frac{2H}{r}\right) + \left(\frac{K_b}{K_i} - 1\right) \ln\left(1 + \frac{t}{r}\right) + \xi} \quad (\text{ekv 2})$$

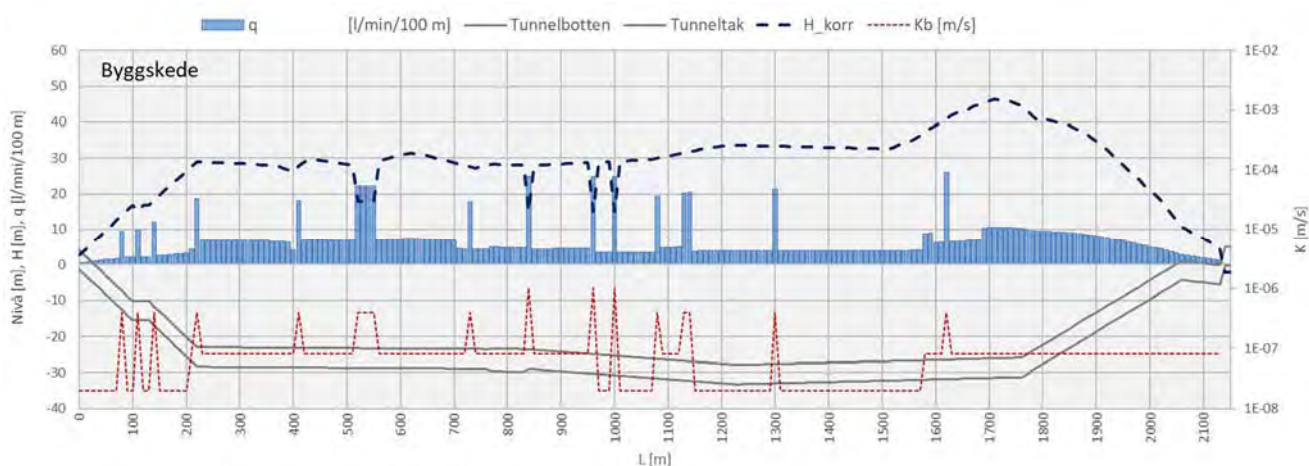
där

q	Inläckage till tunnel per längdmeter
r	Ekvivalent tunnelradie
H	Grundvattentryck vid tunnelcentrum
K_b	Bergets hydrauliska konduktivitet
K_i	Injekteringszonens hydrauliska konduktivitet
t	Injekteringszonens mäktighet
ξ	Skinfaktor

I bilaga G62 redovisas gällande geometrier för huvudtunnel och grundvattentrycknivåer, predikterad bergkvalitet representerat av antagen representativ hydraulisk konduktivitet i berg för tunnelnivån, förutsebar täthet på injekterat berg samt beräknat inläckage för bygg- respektive driftskede. Skinfaktor har antagits till noll med avseende på att beräkningen gäller för en nyutsprängd tunnel.

Giltigheten i den analytiska modellen ovan har testats genom simulering av relevanta akviferuppsättningar och tunnelgeometrier i numeriska modeller. Det är välkänt att det för en mer ytligt förlagd tunnel inte kommer att beräknas ett korrekt inläckage (q) med ekvation 2. Detta då grundvattenytan ovanför en tunnel kommer att sänkas av som följd av ett större inläckage vilket minskar H och därmed q . Den analytiska modellen förutsätter dock konstant grundvattenyta ovanför tunneln. Ofta erhålls en överprediktion om ca 5%-10% med den analytiska modellen jämfört med en numerisk modell där hänsyn tas till avsänkning av grundvattenytans läge, men med i övriga samma parameter för beräkning av q . För att ta hänsyn till detta har det antagits en sänkning av grundvattentrycknivån (H) sker inom delsträckor där det predikteras sämre bergkvalitet och därmed större inläckage under byggskedet (se figur 13 samt bilaga G62). Sådan grundvattensänkning antas där det annars hade beräknats orimligt stora lokala inläckage (mer vatten än vad som rimligen kan transporteras genom en svaghetszon i berget).

Beräknat inläckage till huvudtunneln (byggskede) varierar mellan 0,5 L/min/100 m och 26 L/min/100 m, med ett medeltal om 6,5 L/min/100 m för huvudtunneln. Totalt för hela tunnelanläggningen (huvudtunnel jämte anslutnings-, förbindelse-, service- och arbetstunnlar) beräknas en grundvattenbortledning om upp till ca 150 L/min för byggskedet (tabell 2).

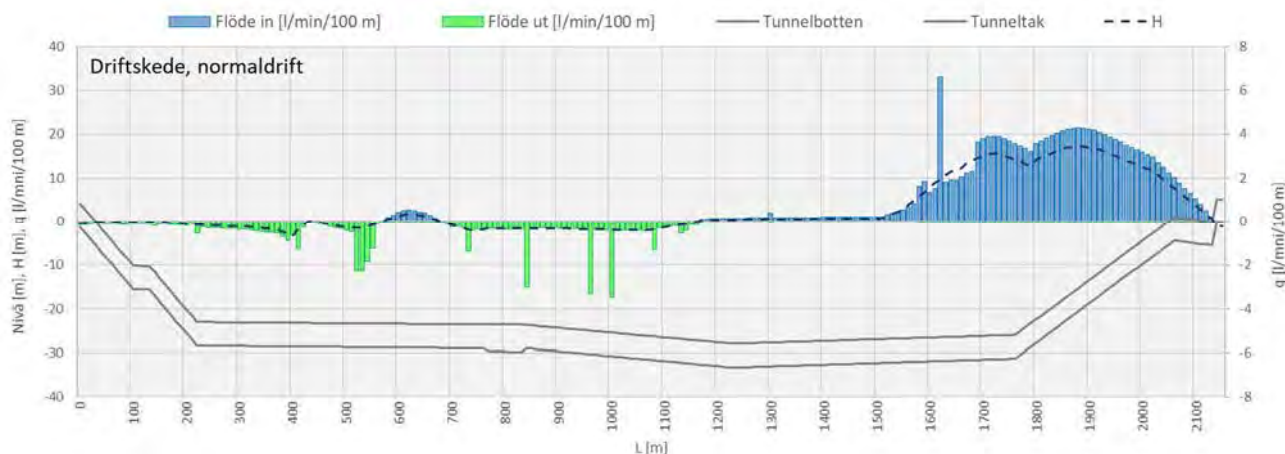


Figur 13. Beräknat inläckage till huvudtunnel för byggskedet, se även bilaga G62.

Tabell 2. Beräknat inläckage till planerad anläggning, huvudtunnel (NÖT01) jämte övriga tunneldelar, byggskede.

Parameter / Tunnel	NÖT01	NÖT21	NÖT22	NÖT23	NÖT24	NÖT33	Totalt
Längd [m]	2146	336	157	95	88	50	2872
Q_{tot} [l/min]	139.8	0.1	4.3	2.3	0.0	2.4	148.9
q_{medel} [l/min/100 m]	6.5	0.0	2.7	2.4	0.0	4.7	5.2
q_{max} [l/min/100 m]	26.1	0.4	5.3	3.1	0.0	4.1	26.1
q_{min} [l/min/100 m]	0.5	0.2	0.7	1.7	0.0	3.8	0.2

För driftskedet kommer huvudtunneln normalt vara vattenfylld och skillnaden mellan trycknivån i tunneln och omgivande grundvattentryck är generellt liten. På sträckan fram till ca km 1+1160 predikteras i huvudsak ett mindre utläckage av vatten snarare än ett inläckage, enär trycklinjen i tunneln ligger något högre än omgivande grundvattentryck i berget. Längst i norr förutses ett fortsatt inläckage, även om detta är betydligt mindre än för byggskedet. För driftskedet (vid normaldrift) beräknas en total grundvattenbortledning från planerade anläggningar om ca 25 L/min samt ett totalt utläckage om ca 5 L/min (tabell 3).



Figur 14. Beräknat inläckage till huvudtunnel vid normaldrift, se även bilaga G62.

Tabell 3. Beräknat läckage (in och ut) till planerad anläggning, huvudtunnel (NÖT01) jämte övriga tunneldelar, byggskede.

Parameter	NÖT01 _{in}	NÖT01 _{ut}	NÖT21	NÖT22	NÖT23	NÖT24	NÖT33	Tot in	Tot ut
Längd [m]	2146	2146	336	157	95	88	50	2872	2872
Q _{totalt} [l/min]	18.3	-4.9	-0.1	4.3	2.1	0.0	0.1	24.8	5.0
q _{medel} [l/min/100 m]	0.9	-0.2	0.0	2.7	2.2	0.0	0.2	0.9	0.2
q _{max} [l/min/100 m]	6.6	0.0	-0.1	5.3	2.4	0.0	0.2	-	-
q _{min} [l/min/100 m]	0.0	-3.5	0.0	0.7	1.7	0.0	0.2	-	-

6. Påverkansområde

Påverkansområde för grundvatten definieras här som det område inom vilket praktisk påverkan på grundvattenförhållanden kan förutses kunna komma att uppstå som följd av planerad vattenverksamhet.

Som gräns för praktisk påverkan antas en grundvattensänkning om 0,3 m (R₀₃).

För avgränsning av påverkansområde för ytligt grundvatten, används konservativt en beräknad trycksänkning i ytligt berg. Detta då det är osäkert hur den hydrauliska kontakten mellan jord och berg är beskaffad i varje given punkt. Om den är god kan trycksänkningen i jord få i princip samma utsträckning som trycksänkningen i ytligt berg. Är kontakten mindre god kommer trycksänkning i jord att bli mindre än trycksänkningen i ytligt berg.

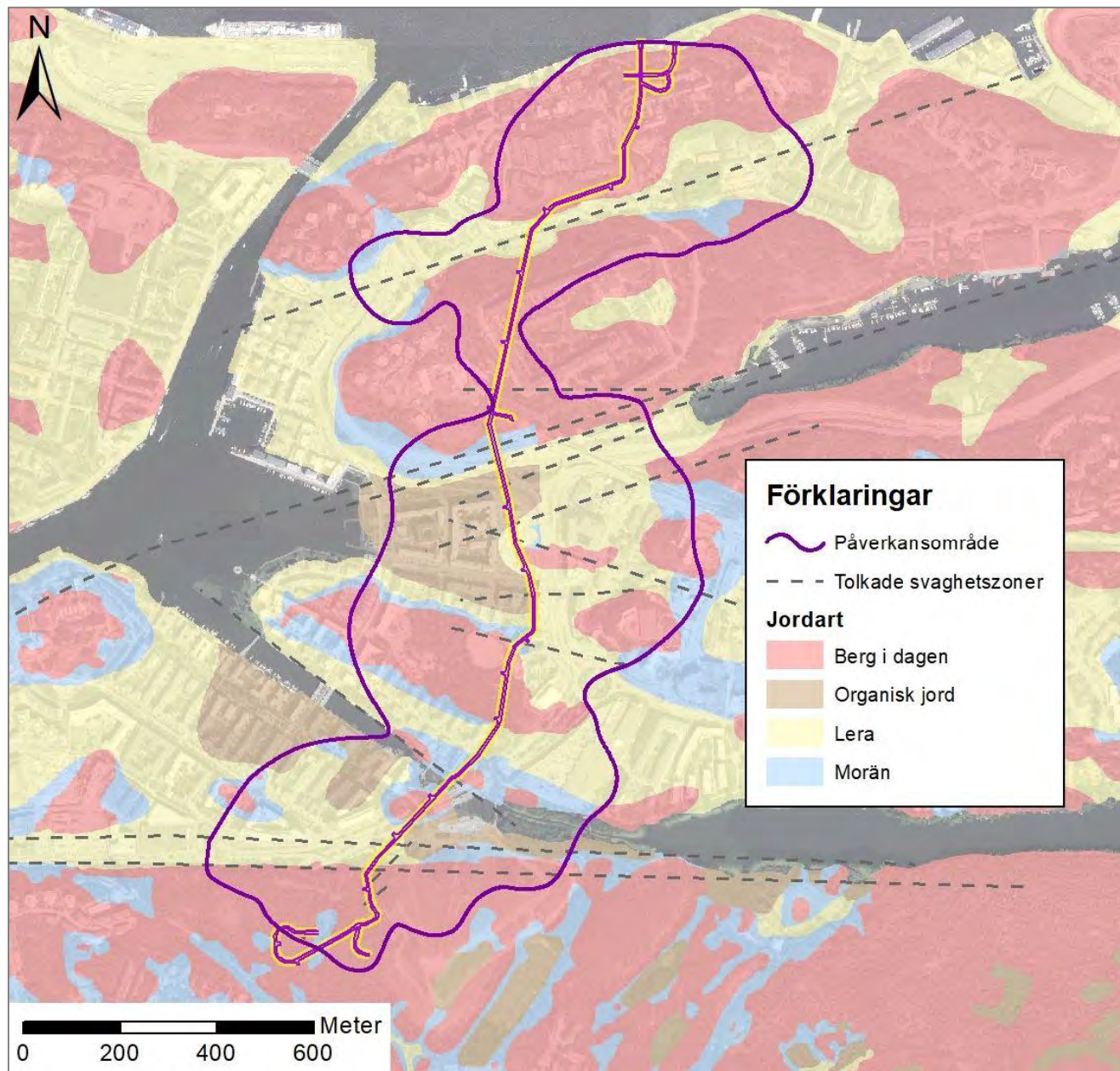
Beräkning av påverkan på grundvattenförhållanden har gjorts genom simulering av i denna PM beskriven predikerad grundvattenbortledning till planerade anläggningar med hjälp av numerisk tredimensionell grundvattenmodellering (se bilaga G63).

Påverkansområde för grundvatten ska tolkas som att det inom detta område förutses finnas risk för förändring av grundvattenförhållanden i sådan utsträckning att det kan påverka brunnar, sättningskänslig mark och grundvattenberoende ekosystem.

Beräknad utbredning för påverkansområde för grundvatten framgår av figur 15.

För driftskedet (vid normaldrift med vattenfylld tunnel) kommer påverkansområdet vara betydligt mindre än här redovisat påverkansområde för byggskedet. Dock måste det finnas möjlighet till underhåll av anläggningen varvid tunneln måste kunna tömmas på vatten. Under sådana tillfällen, förutsebart ca 1 gång per 10 år, kommer påverkansområdet tillfälligt kunna nå ut mot (inte till) den gräns som här redovisas för byggskedet. Att ett tillfälligt framtida påverkansområde vid tömd tunnel inte kan förutses nå ut till här redovisad gräns för

påverkansområde beror dels på att tidsutsträckning med tillfälligt tömd tunnel är begränsad, varvid den tillfälligt ökade trycksänkningen kring tunneln inte hinner utbildas fullt ut, och dels på att tunneln med tiden kommer att bli tätare till följd av naturliga processer (utveckling av så kallat *skin* (Lissel, 2018)).

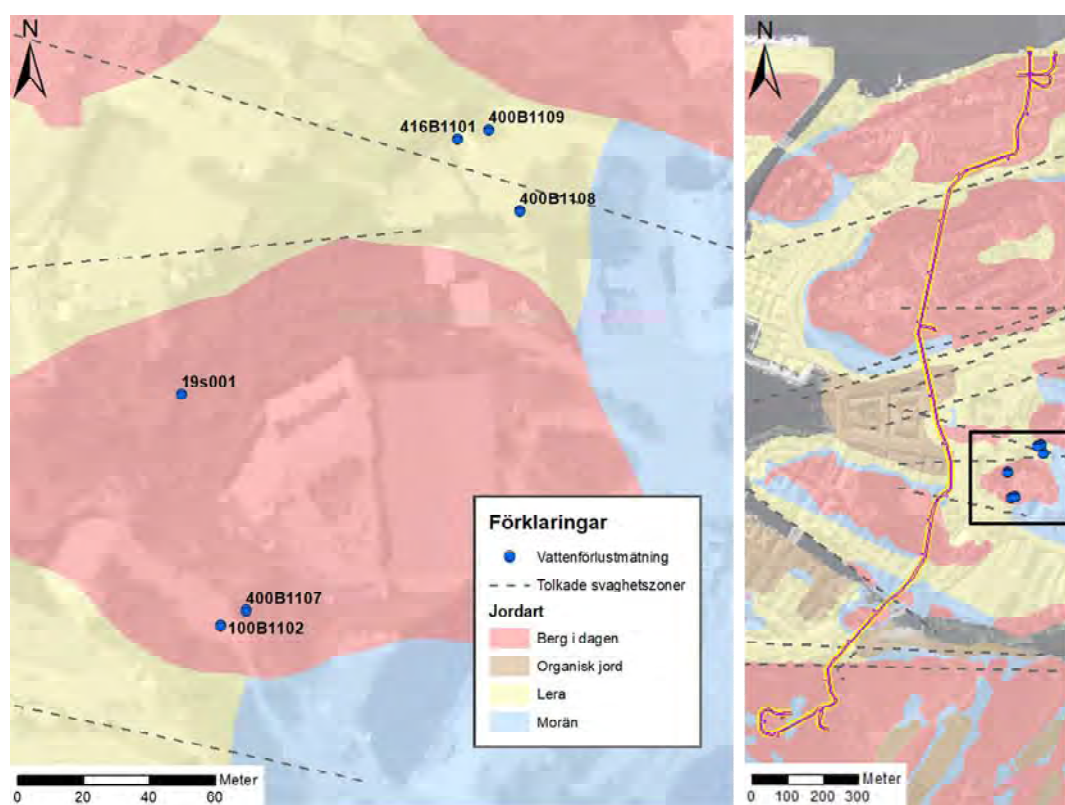
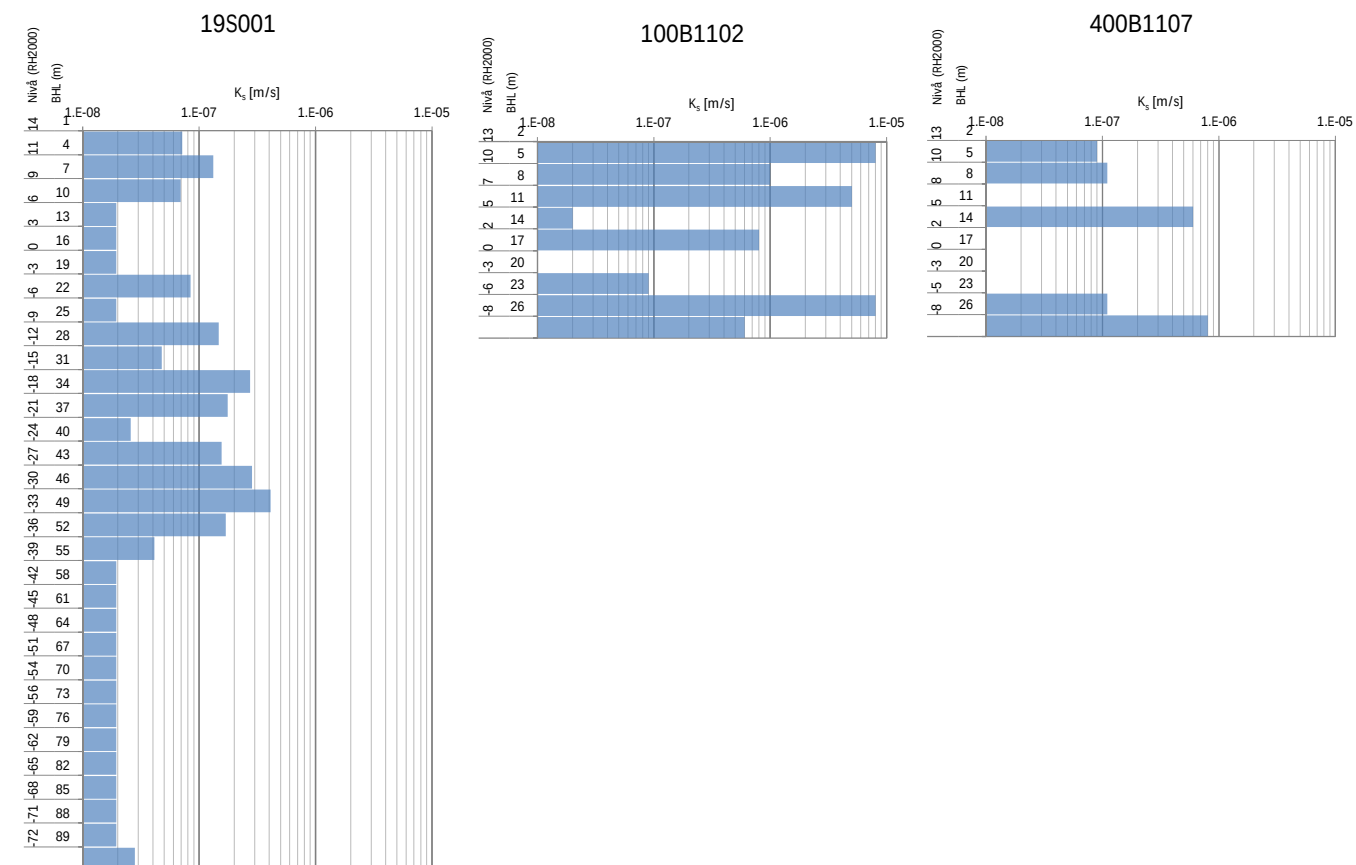


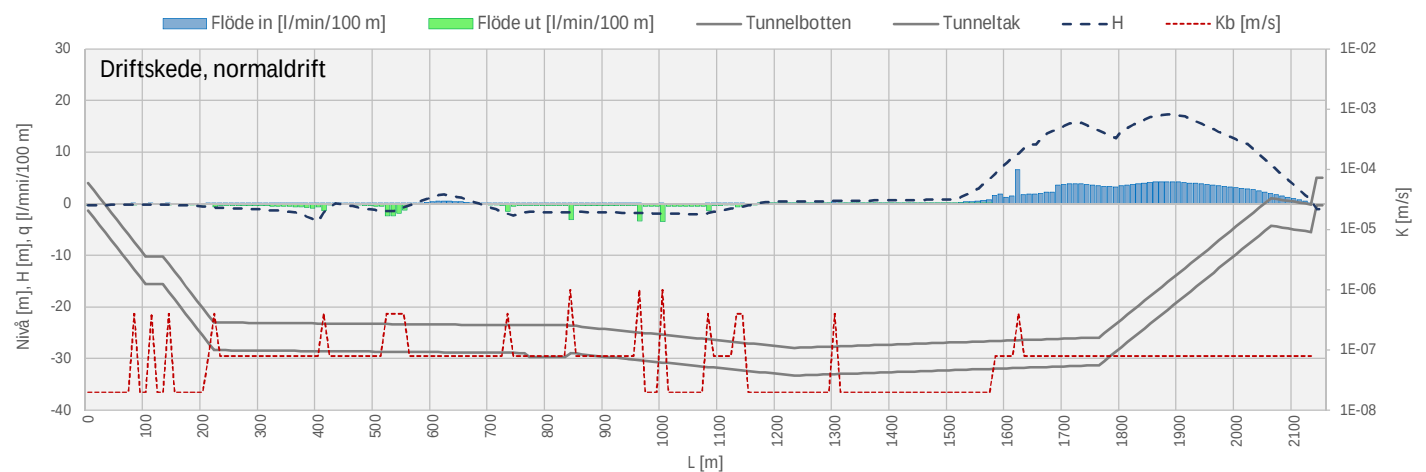
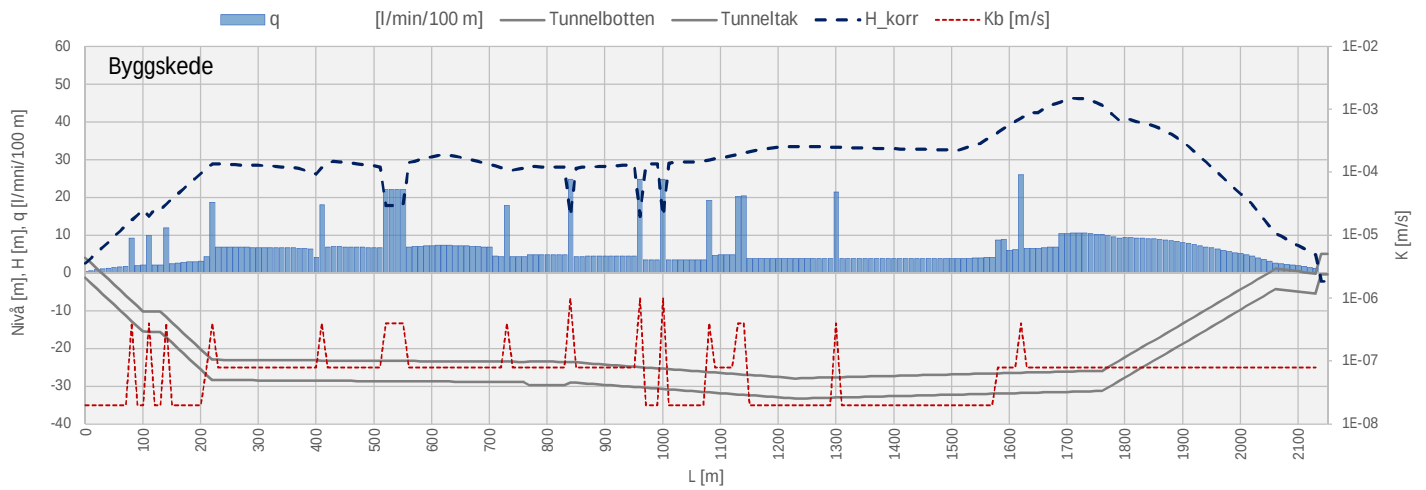
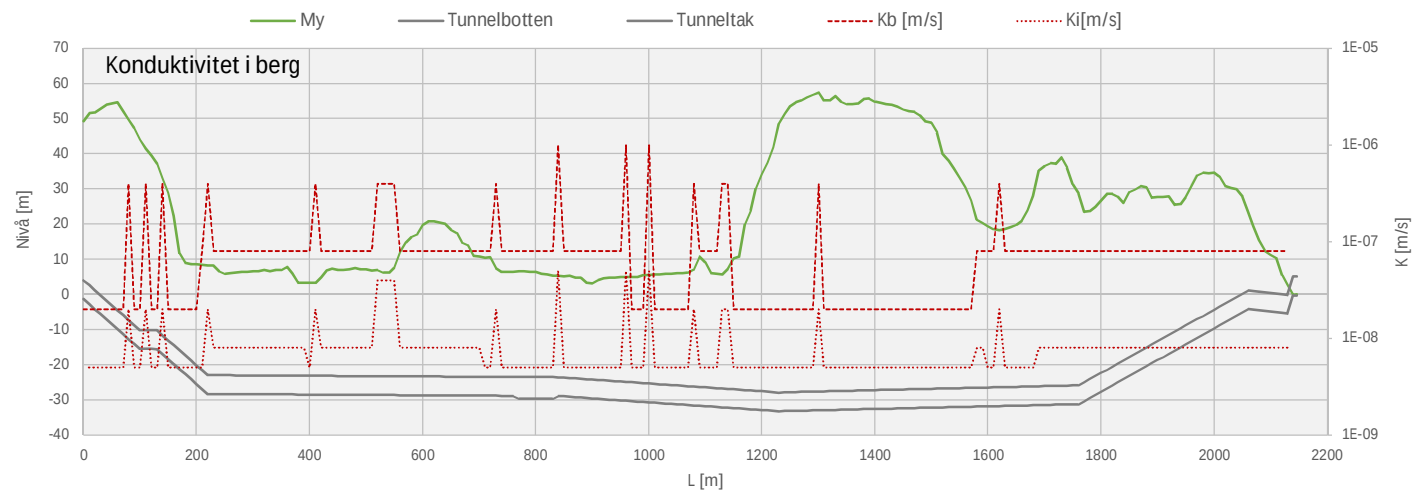
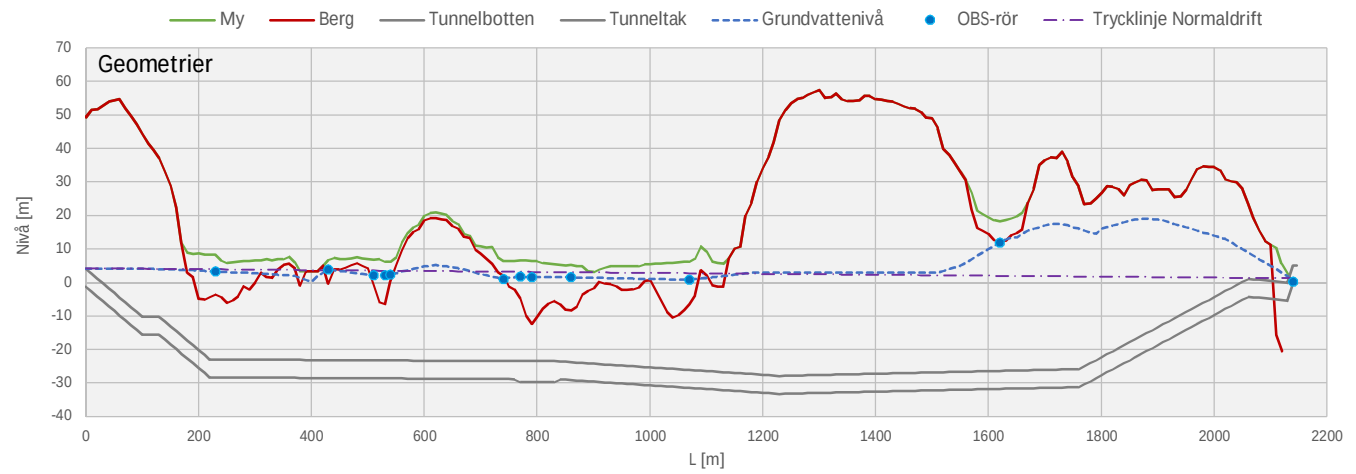
Figur 15. Påverkansområde för grundvatten ($s > 0,3$ m avsänkning).

7. Referenser

- Alexandersson, H. (2003). *Korrektion av nederbörd enligt enkel klimatologisk metodik*. SMHI.
- Axelsson, C.-L., & Maersk Hansen, L. (1997). *Grundvattenströmning i kristallint berg. Rapport 4818*. Naturvårdsverket.
- Ericsson, L., Holmén, J., Rhén, I., & Blomquist, N. (2006). *Storregional grundvattenmodellering – fördjupad analys av flödesförhållanden i östra Småland. Jämförelse av olika konceptuella beskrivningar*. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- Gustafson, G. (2009). *Hydrogeologi för bergbyggare*. Forskningsrådet Formas T2:2009.
- Lissel, P. (2018). *PM Bolmentunneln. Samband mellan inläckage och omgivningspåverkan, en notering om skineffekt*. WSP.
- Ryd, E. (2017). *Samband mellan kapacitet vid borrning och transmissivitet i kristallint och sedimentärt berg*. Uppsala universitet.
- SKB. (2000). *Förstudie Östhammar. Slutrapport. Rapport R-00-24*. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- Stockholm Vatten och Avfall. (2018). *Miljörapport 2018*. Stockholm Vatten och Avfall.

Arkivborrning; vattenförlustmätningar i kärnborrhål





Namn	Dokumenttitel Bilaga G63: Modellbeskrivning	Version 2.0
Författare Patrik Lissel	Ansvarig Tomas Hård	Datum 2020-03-19
Projektnamn Nya Östbergatunneln	Projektnummer 410498	Diarienummer 18MB1337



Nya Östbergatunneln

UNDERLAG
GÄLLANDE 2020-03-19

Bilaga G63: Modellbeskrivning

Underlag till tillståndsansökan

Stockholm Vatten AB

Innehållsförteckning

1.	Mjukvara.....	3
2.	Avgränsning och geometri.....	3
2.1	Modellområde.....	3
2.2	Randvillkor.....	4
3.	Hydrauliska parametrar.....	5
4.	Kalibrering	5
5.	Prediktiv simulering.....	7

Dokumenthistorik

Version	Datum	Version avser
1.0	2020-02-26	Granskningshandling
2.0	2020-03-19	Gällande handling

1. Mjukvara

En tredimensionell numerisk grundvattenmodell har byggts upp i programmet Visual Modflow (VMF).

VMF bygger på finita differenskode MODFLOW (Harbaug & McDonald 1988) som simulerar grundvattenflöde i tre dimensioner. Koden är en av den mest spridda och allmänt accepterade koderna för numerisk modellering av grundvattenflöden.

Mer information kan fås från exempelvis Waterloo Hydrogeologic på Internetadress

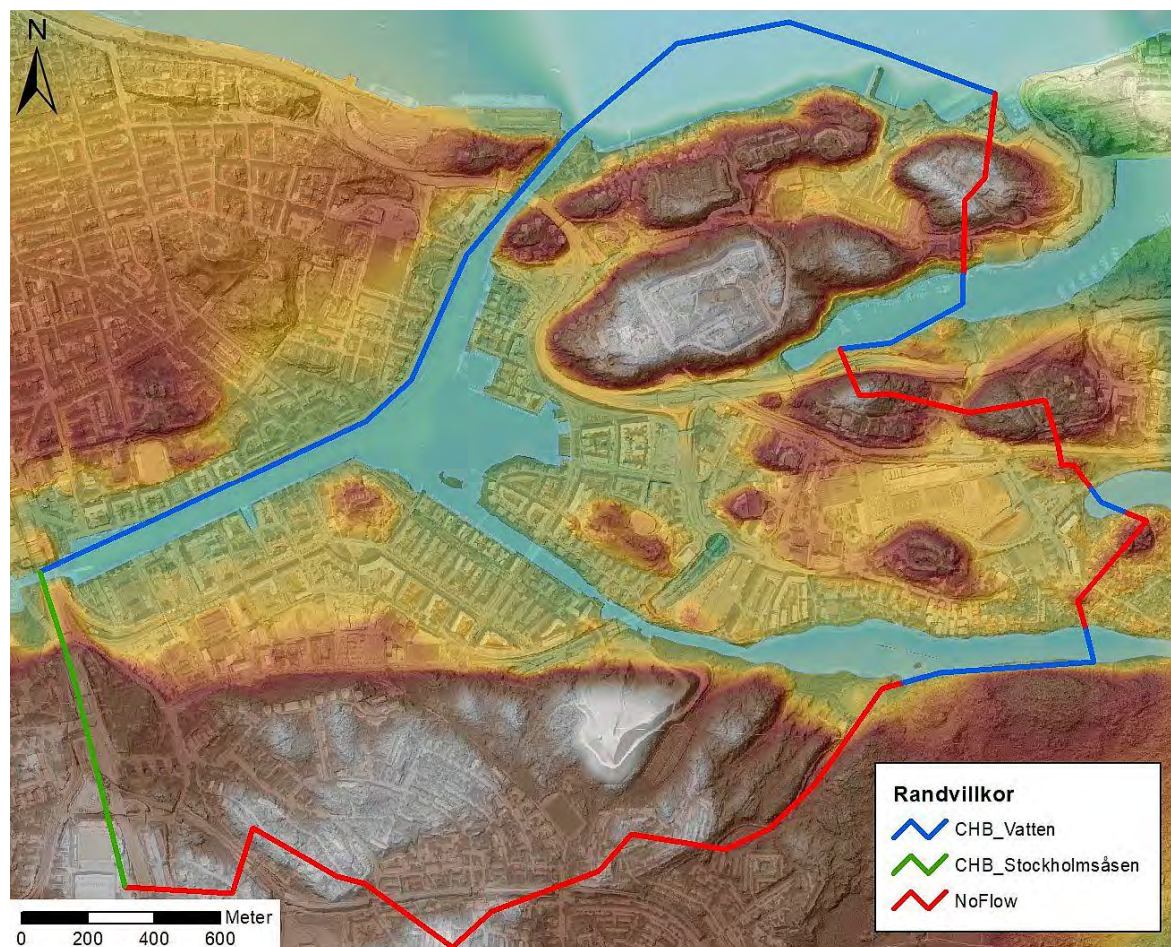
<https://www.waterloohydrogeologic.com>

2. Avgränsning och geometri

2.1 Modellområde

För modellavgränsning har en avgränsning gjorts av det hydrauliska system som bedöms kunna påverkas av planerad vattenverksamhet (figur 1). Modellområdet omfattar en areal om ca 5 km². Området har indelats i ett rutnät (grid) med en cellstorlek i plan om 20 x 20 m, lokalt med en högre diskretisering. Djupet i modellen representerar 250 m berg och därövan jordlager.

Modellen har 14 beräkningslager för att kunna representera de olika jordlagren samt underliggande berg. Vad avser simulering av grundvatten i jord har fokus legat på representation av undre magasin i friktionsjord under lera. Diskretisering av berget i (generellt) 12 beräkningslager har gjorts för att i modellen kunna representera djupavtagande konduktivitet.



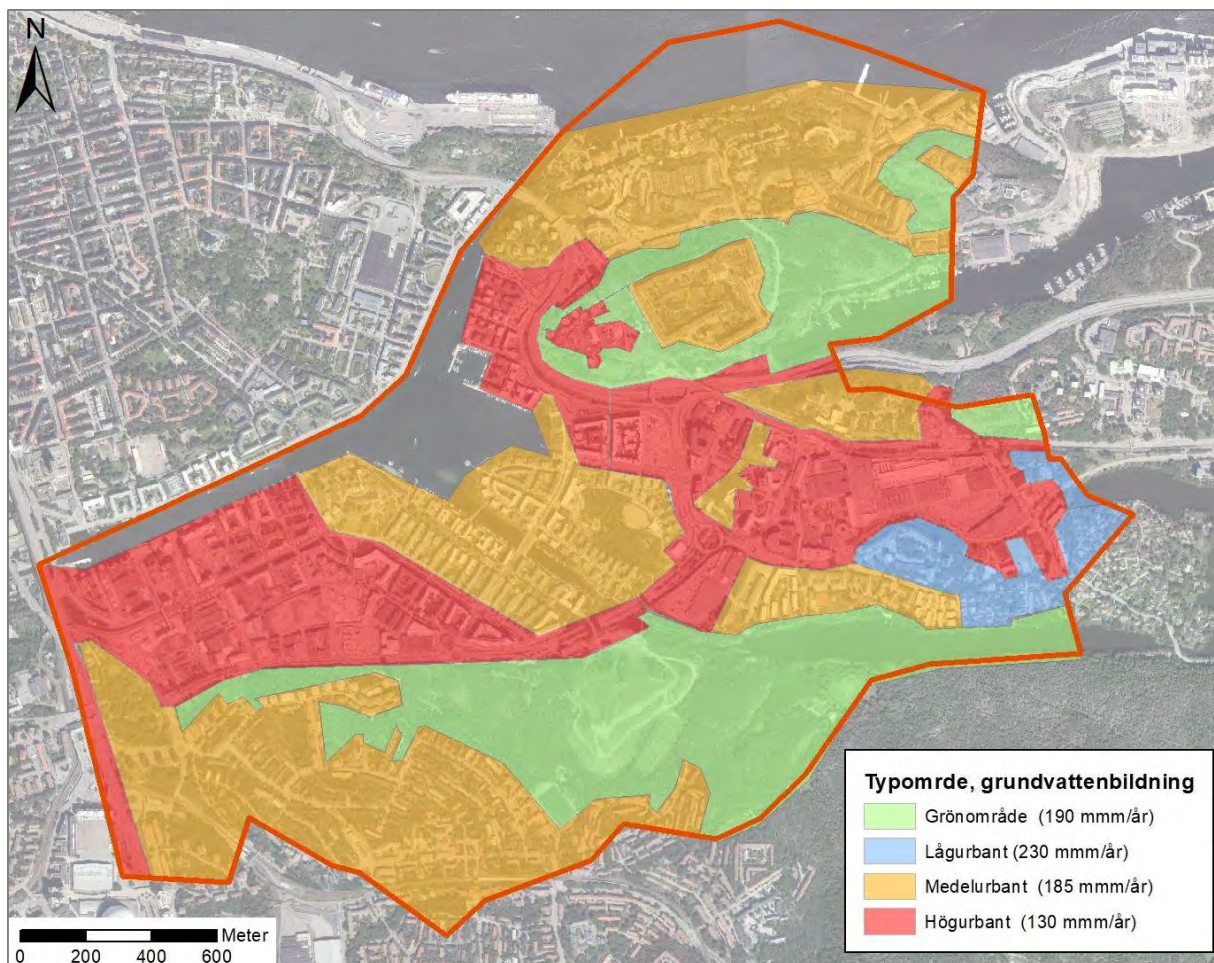
Figur 1. Modellområde med randvillkor.

2.2 Randvillkor

Den hydrauliska avgränsningen baseras huvudsakligen på randvillkor som på goda grunder kan ses som "säkra" vad avser flöde. Där det stått att finna har därför topografiskt betingade vattendelare använts i möjligaste utsträckning. Detta avser vattendelare inom höjdområden som domineras av tunna moränjordar på berg eller berghällar. Över dessa randvillkor tillåts inget flöde passera (NoFlow). Undantagsvis har ett randvillkor med NoFlow använts där det inte är en vattendelare, utan en lokal dalgång inom vilken grundvattenflödet på goda grunder kan antas strömma parallellt med randvillkoret. Vidare har ytvattenområden nyttjats där det övre beräkningslagret antas ha en konstant trycknivå (Constant Head Boundary, CHB) korresponderande med vattennivån inom området. Djupare beräkningslager (utan randvillkor) kommer inom dessa områden få en uppåtriktad grundvattenströmning till ytvattenområdena, således följa de generella principer som kan förväntas av strömning inom sådana områden. Ett särskilt område med CHB har ansatts i västra kanten av Brunkebergsåsen, indikerande att den grundvattenbortledning kring Nya Östbergatunneln som simuleras i modellen förutsebart inte kan förändra grundvattennivåerna i åsen.

Generellt har randvillkor ansatts på sådant avstånd från planerade anläggningar att dessa inte ska kunna påverka eller påverkas av de förändringar som görs i modellens fokusområde, d v s centralt i modellen vid planerade anläggningar.

Som övre randvillkor simuleras nybildning av grundvatten (Recharge, RCH), vilket ansatts mot bakgrund av uppskattad grundvattenbildning från nederbördsinfiltration jämte läckage från VA-system. Inom lerområden och lokala lågområden simuleras avledning av ytligt grundvatten till dräneringar i den urbana miljön genom ansättande av en ytligt ligga dränering (Dain Boundary).



Figur 2. Ansatt grundvattenbildning som övre randvillkor i modellen.

3. Hydrauliska parametrar

Ansatta hydrauliska parametrar speglar det geologiska material som simuleras i den numeriska modellen. De parametrar som är av huvudsakligt intresse är horisontell och vertikal hydraulisk konduktivitet (K_h , K_v), medan magasincoefficients (S_y , S_s) endast krävs för transienta studier. Här har endast stationära bräkningar erfordrats.

Fördelning i plan för jordlager (beräkningslager 1 och 2) följer i stort den SGU:s jordarskartering samt, där denna har yttäckning, den byggnadsgeologiska kartan avseende jordartsindelning jämte tolkning av var undre magasin under lera bedöms förekomma. Kring berghöjder har en särskild övergångszon ansatts för att i modellen kunna simulera en accentuerad strömning från övre magasin till undre magasin inom dessa randzoner.

Typiska värden på ansatta hydrauliska egenskaper framgår av figur 3. För berg har antagits successivt tätare berg mot djupet. Svaghetszoner i berg har simulerats som stråk med högre konduktivitet, ca 5-10 ggr högre än omgivande berg. Dessa med konduktiva zoner har antagits sammanfalla med förmodade svaghetszoner. Av modelleringstekniska skäl simuleras zonerna som vertikala, vilket inte behöver överensstämja med verkliga förhållanden. Konceptuellt är det dock viktigt att få med de mer vattenförande zonerna i berget i modellen även om deras faktiska läge i rummet är osäkert.

Lager	Öppet mag	Undre mag	K_h [m/s]	K_v [m/s]
L1	Morän	Lera	10^{-8}	10^{-9}
L2		Umag	$10^{-4} - 10^{-6}$	$10^{-4} - 10^{-7}$
L3				
L4				
L5				
L6				
L7				
L8				
L9				
L10				
L11				
L12				
L13				
L14				

Randzon

Berg

Djupavtagande K enligt formel $K = Cd^L$

1E-06 5E-07

Figur 3. Konceptuell modell med generella hydrauliska egenskaper (K).

4. Kalibrering

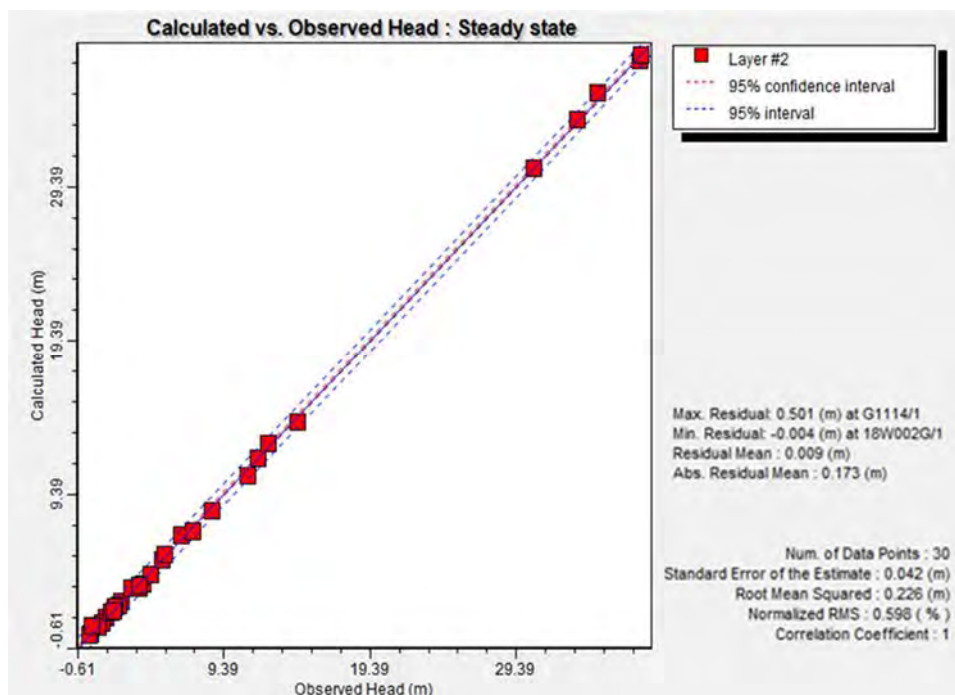
Modellen har kalibrerats mot uppmätta grundvattennivåer i undre magasin samt inläckage till trafiktunneldelar med känt inläckage (delar av Södra länken).

Kalibreringsprocessen har även innefattat en anpassning av inläckage till vissa befintliga tunnlar med okänt inläckage mot bakgrund av uppmätt trycknivå i undre magasin i nära anslutning till dessa tunnlar.

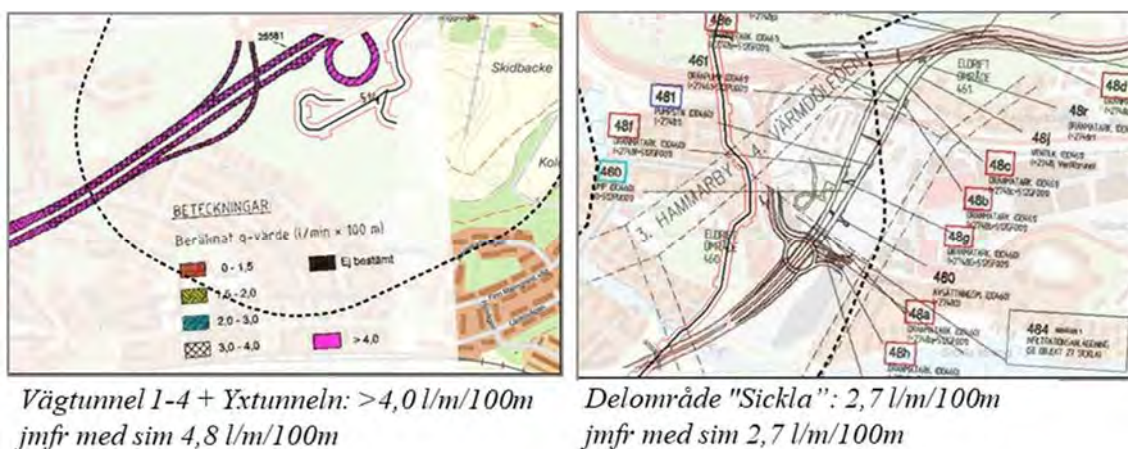
Övriga befintliga tunnlar med okänt inläckage har givits en otäthet som medför ett simulerat inläckage som, mot bakgrund av andra liknande tunnlar i området och det vattentryck som kan antas verka på tunnelarna ifråga, bedömts vara rimligt till sin storlek.

Sammantaget har närmare 50 befintliga tunnlar och anläggningar i berg simulerats i modellen.

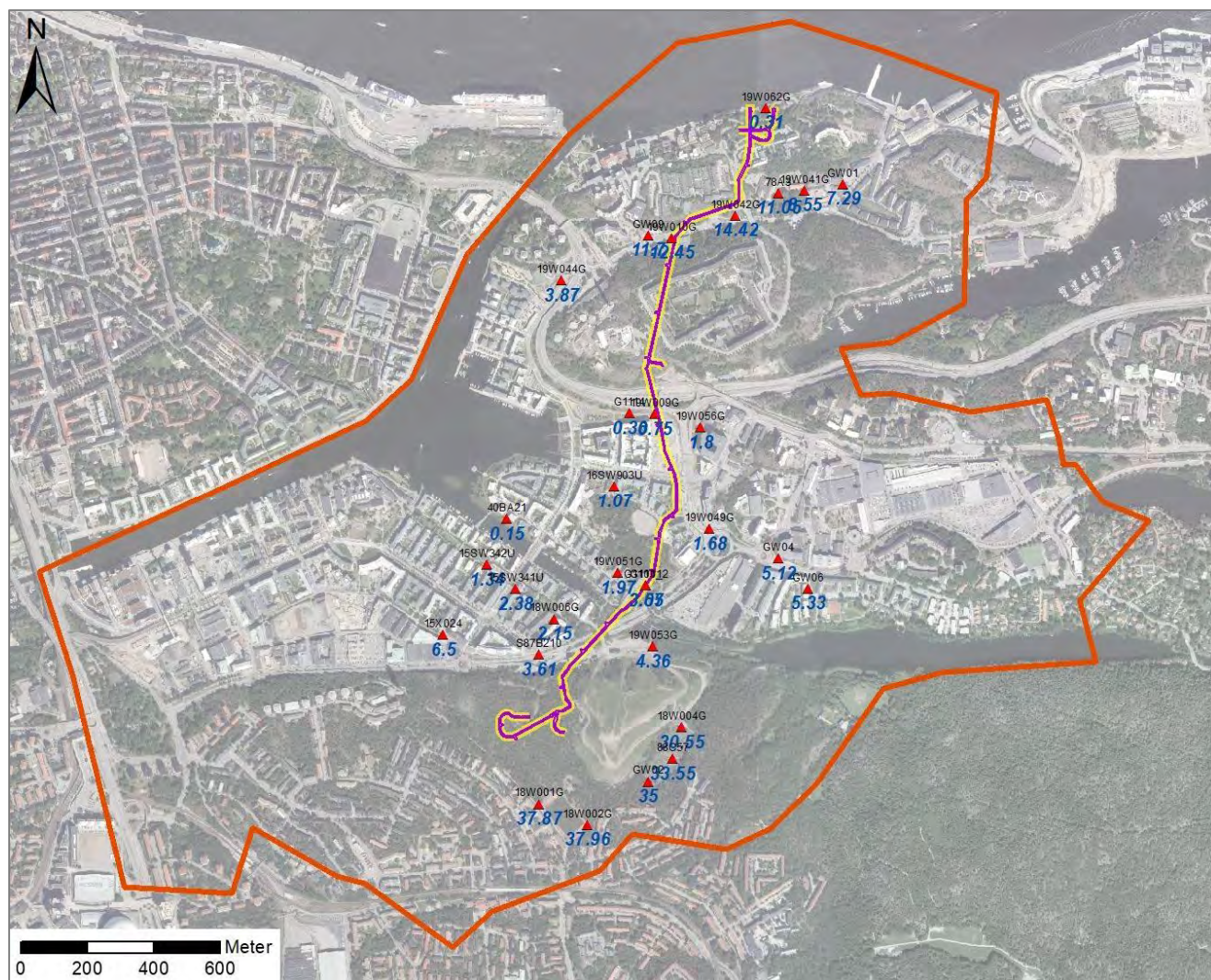
Resultat av kalibreringen kan illustreras med en jämförelse mellan utvärderade medelgrundvattentrycknivåer i undre magasin och simulerade grundvattentrycknivåer (figur 4). Kalibreringspunkternas lägen framgår av figur 6) Vidare kan en jämförelse göras mellan beräknade uppmätta inläckage till delar av Södra länken och i modellen simulerat inläckage (figur 5).



Figur 4. Resultat av kalibrering mot grundvattentrycknivåer i undre magasin.



Figur 5. Kartutdrag från kontrollprogram för Södra länken med beräknade uppmätta inläckage till olika tunneldelar jämfört med i modellen simulerade inläckage.



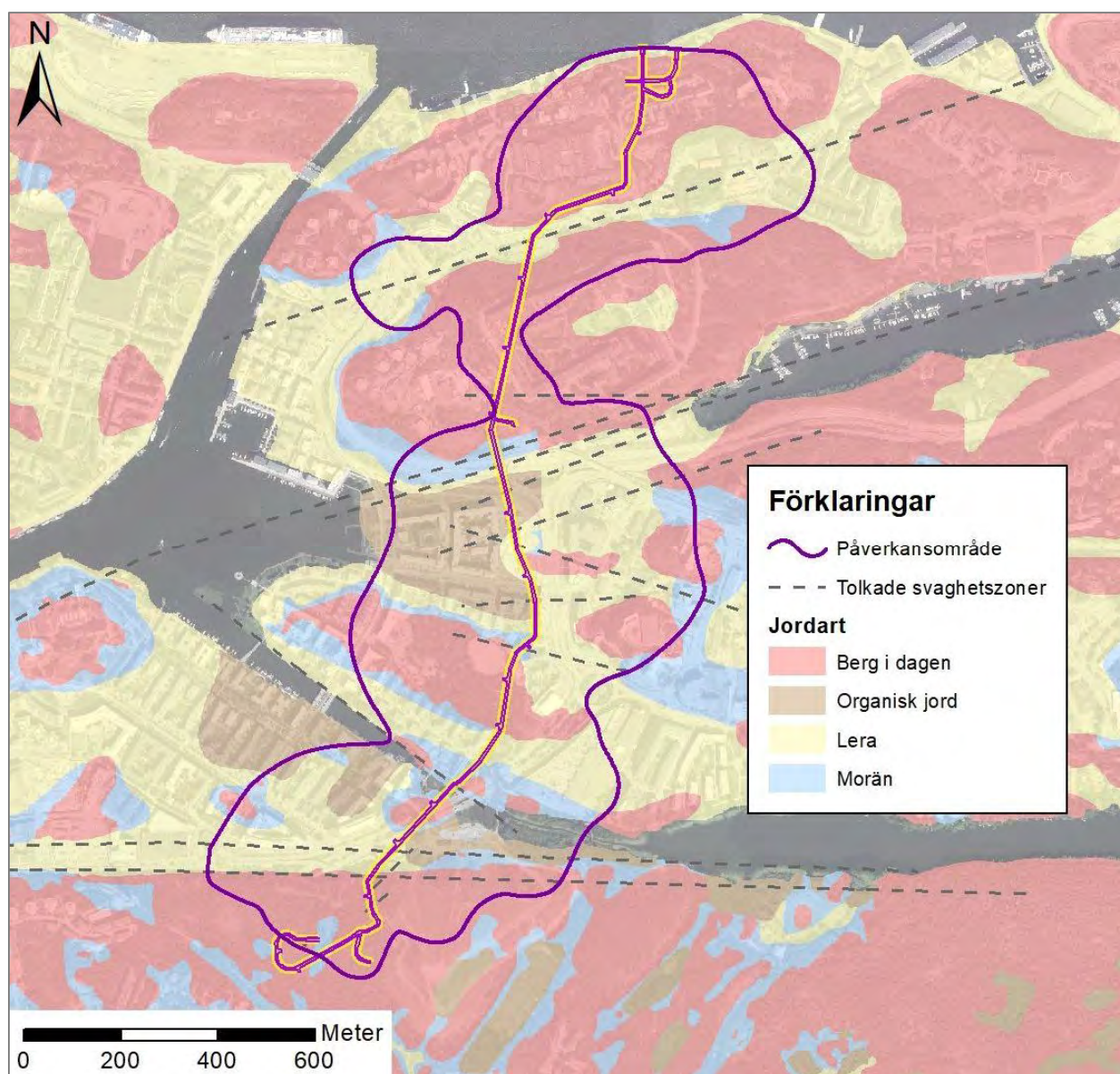
Figur 6. Kalibreringspunkter jämte utvärderad representativ medelgrundvattentrycknivå i respektive punkt.

5. Prediktiv simulering

Simulering av inläckage till den planerad Nya Östbergatunneln, inkluderande samtliga delar, har gjorts genom att i modellen simulera tunneln som en dränering i berget på den nivå där anläggningen planeras samt att tillse att grundvattenbortledning från simulerade tunneldelar motsvarar sökt grundvattenbortledningen (150 L/min eller 6,5 L/min/100 m).

Den påverkan på grundvattenförhållanden som denna grundvattenbortledning beräknas medföra redovisas som ett avgränsat påverkansområde för grundvatten i figur 7. Gräns för påverkansområde har satts vid en predikterad trycksänkning i ytligt berg om 0,3 m.

Det kan noteras att påverkansområdets utbredning påverkas av befintliga anläggningar i berg, vilket är särskilt tydligt vid Henriksdals reningsverk.



Figur 7. Predikterat påverkansområde för grundvatten vid sökt grundvattenbortledning.