Miljöprövning för tunnelbana från Akalla till Barkarby station

Bilaga C

PM hydrogeologi

Stockholms läns landsting

PM Hydrogeologi

Bilaga C

Miljöprövning för tunnelbana från Akalla till Barkarby station

Stockholms läns landsting

Titel: PM Hydrogeologi
Konsult: Ramböll och Tyréns
Författare: Mattias von Brömssen och Björn Winnerstam, Lena Tilly och Åsa Norman
Projektledare: Anna Nylén
Bilder & illustrationer: Ramböll, Tyréns och SLL om inget annat anges
Dokumentid: 4320-G42-24-04001
Diarienummer: FUT 1511-0220
Utgivningsdatum: 2015-11-27

Distributör: Stockholms läns landsting, förvaltning för utbyggd tunnelbana
Box 225 50, 104 22 Stockholm. Tel: 08 737 25 00. E-post: nyatunnelbanan@sll.se

Innehållsförteckning

1 Inledning 7
1.1 Planerad vattenverksamhet 8
1.2 Avgränsningar 9
1.3 Frågeställningar 9
1.4 Utredningsmetodik grundvatten 9
1.4.1 Framtagande av utredningsområde 9
1.4.2 Kartläggning av värden, geologiska och hydrogeologiska egenskaper 10
1.4.2.1 Berggrund 10
1.4.2.2 Grundvatten i jord 11
1.4.2.3 Föroreningar 11
1.4.2.4 Jordlager och sättningar 11
1.4.2.5 Natur- och kulturvärden 11
1.4.3 Framtagande av influensområde 12
1.4.4 Identifiering av känsliga objekt 12
1.4.4.1 Brunnar 12
1.4.4.2 Sättningar och känslig grundläggning 12
1.4.4.3 Föroreningar 13
1.4.5 Bedömning av grundvattenpåverkan 13
1.4.5.1 Beräkningar av sättningar 14
1.4.5.2 Beräkning av inläckage 14
1.4.5.3 Beräkning av grundvattennivåsänkningar 16
1.4.5.4 Påverkan från befintliga underjordsanläggningar 17
1.4.6 Framtagande av skadeförebyggande åtgärder 17
1.4.6.1 Tätning av tunneln 17
1.4.6.2 Skyddsinfiltration 18
1.5 Definitioner och begrepp 18
2 Underlagsmaterial 21
2.1 Inventeringar 21
2.1.1 Inventering av grundläggning 21
2.1.2 Energibrunnar 22
2.1.3 Befintliga undermarksanläggningar och eventuella miljödomar för dessa 22
2.1.4 Markavvattningsföretag 23
2.1.5 Utredningar om vattenresurser 24
2.1.6 Inventering potentiellt förorenade områden 24
2.2 Kompletterande geotekniska och hydrogeologiska fältarbeten 25
2.2.1 Bestämning av bergets hydrauliska konduktivitet 25
2.2.1.1 Inläckage till befintliga tunnlar och bergrumsanläggningar 25
2.2.1.2 Vattenförlustmätningar i kärnborrhål och hammarborrhål 26
2.2.1.3 Data från energibrunnar 26
2.2.1.4 Skalberoende 26

2.2.2 Provpumpningar och slugtest 26
2.2.3 Grundvattennivåmätningar 27
2.2.4 Jordlagerföljd och provtagning av lera 28
2.3.5Provtagning av jord och grundvatten 28
3 Beskrivning av området 29
3.1 Översiktlig beskrivning 29
3.1.1 Ytvatten 30
3.1.2 Berg 33
3.1.3 Jordlager 33
3.1.4 Grundvatten 35
3.1.4.1 Grundvattennivåer och -strömning 35
3.1.4.2 Jordlagrens och berggrundens vattenförande förmåga 36
3.1.5 Vattenbalans 40
3.1.6 Föroreningar 41
3.1.6.1 Riskvärdering 42
3.2 Delsträcka 1, Akalla station - Hägerstalund 43
3.2.1 Jordlager 43
3.2.2 Berg 43
3.2.3 Grundvatten 45
3.2.4 Vattenbalans och objekt som påverkar vattenbalansen 45
3.2.4.1 Grundvatten 45
3.2.4.2 Ytvatten 46
3.2.5 Känsliga objekt/områden 46
3.2.5.1 Byggnader och anläggningar 46
3.2.5.2 Energibrunnar 47
3.2.5.3 Natur- och kulturmiljöer 47
3.2.5.4 Föroreningar 47
3.3 Delsträcka 2, Hägerstalund – Barkarby handelsplats 48
3.3.1 Jordlager 48
3.3.2 Berg 48
3.3.3 Grundvatten 50
3.3.4 Vattenbalans och objekt som påverkar vattenbalansen 51
3.3.5 Känsliga objekt/områden 52
3.3.5.1 Byggnader och anläggningar 52
3.3.5.2 Energibrunnar 52
3.3.5.3 Natur- och kulturmiljöer 52
3.3.5.4 Föroreningar 52
3.4 Delsträcka 3, Barkarby handelsplats – Barkarby station 53
3.4.1 Jordlager 53
3.4.2 Berg 53
3.4.3 Grundvatten 55
3.4.4 Vattenbalans och objekt som påverkar vattenbalansen 56

3.4.5 Känsliga objekt/områden 56
3.4.5.1 Byggnader och anläggningar 56
3.4.5.2 Energibrunnar 57
3.4.5.3 Natur- och kulturmiljöer 57
3.4.5.4 Föroreningar 58
4 Påverkan på vattenmiljön 59
4.1 Influensområde 59
4.2 Inläckage 60
4.3 Grundvattensänkning med och utan infiltration 61
4.3.1 Berg 63
4.3.2 Jord 63
4.4 Ytvatten 64
4.5 Vattenkvalitet 64
4.6 Kulturmiljöer och fornlämningar 64
4.7 Delsträcka 1 65
4.7.1 Bedömning av inläckage 65
4.7.2 Bedömning av grundvattennivåsänkning med och utan infiltration 66
4.7.2.1 Grundvatten i berg 66
4.7.2.2 Grundvatten i jord 66
4.7.2.3 Ytvatten 67
4.7.3 Vattenkvalitet 67
4.8 Delsträcka 2 67
4.8.1 Bedömning av inläckage 67
4.8.2 Bedömning av grundvattennivåsänkning med och utan infiltration 68
4.8.2.1 Grundvatten i berg 68
4.8.2.2 Grundvatten i jord 69
4.8.3 Ytvatten 69
4.8.4 Vattenkvalitet 70
4.9 Delsträcka 3 70
4.9.1 Bedömning av inläckage 70
4.9.2 Bedömning av grundvattennivåsänkning med och utan infiltration 71
4.9.2.1 Grundvatten i berg 71
4.9.2.2 Grundvatten i jord 71
4.9.3 Ytvatten 73
4.9.4 Vattenkvalitet 73
5 Skyddsinfiltration 74
6 Referensdokument 75

Bilagor

Bilaga C1.	Översiktskarta
Bilaga C2.	Jord- och bergsektioner
Bilaga C3.	Geologisk karta med karterade svaghetszoner
Bilaga C4.	Hydrogeologisk karta med grundvattenmagasin
Bilaga C5.	Influensområde och känsliga objekt
Bilaga C6.	Hydrogeologiska beräkningar
Bilaga C7.	PM Sättningar

1 Inledning

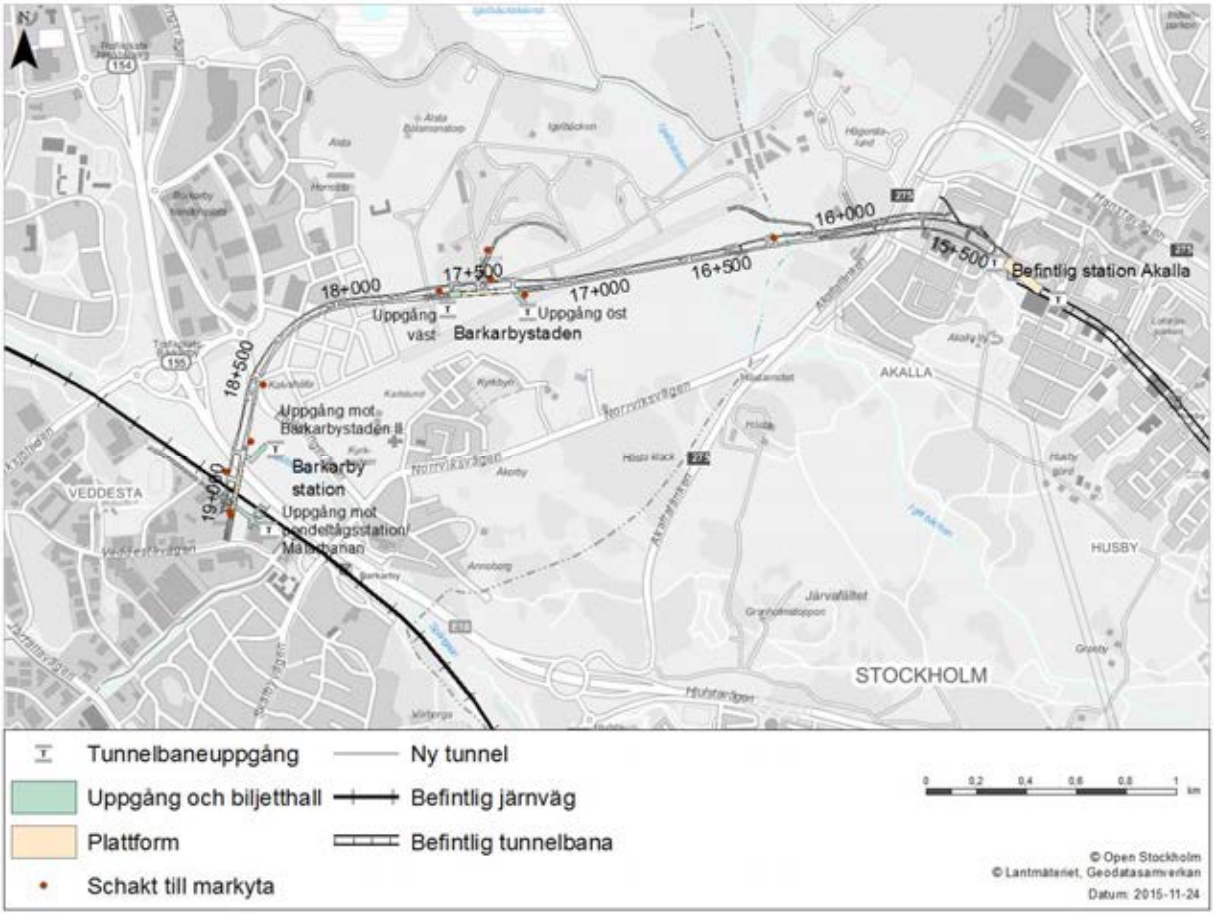
Staten, Stockholms läns landsting, Stockholms stad, Nacka kommun, Solna stad och Järfälla kommun har utifrån 2013 års Stockholmsförhandling tecknat avtal om utbyggnad av 19 kilometer ny tunnelbana, tio nya tunnelbanestationer och nybyggnation av 78 000 bostäder i Stockholms län. Denna promemoria ingår i tillståndsansökan enligt miljöbalken för utbyggnad av tunnelbana från Akalla till Barkarby station.

Syftet med denna promemoria är att beskriva förutsättningar och påverkan rörande hydrogeologi för den tillståndspliktiga vattenverksamheten. Promemorian är utformad så att informationen ska vara tillräcklig för att kunna bedöma konsekvenserna av den planerade grundvattenbortledningen och skyddsinfiltration av vatten till grundvattenmagasinen.

Tunnelbanans Blå linje skall förlängas i en 3,7 km lång tunnel under Järvafältet, från den befintliga stationen i Akalla till Barkarby station. Längs den nya tunnelbanesträckningen planeras två nya stationer, Barkarbystadens station vid nuvarande Barkarby flygfält och Barkarby station vid befintlig pendeltågsstation i Barkarby. Tunnelbaneutbyggnaden kommer passera under den planerade motorvägstunneln Förbifart Stockholm, vidare västerut under Igelbäcken och gamla Barkarby flygfält. Vid Barkarby station passerar planerad tunnelbana under motorvägen E18, Bällstaån och järnvägen Mälarbanan. Vid Barkarby station ska den nya tunnelbanestationen kopplas samman med den nya pendeltågstationen som skall anläggas vid Barkarby station och ersätta den nu befintliga.

För att bygga tunnelbanan kommer fyra arbetstunnlar att anläggas och nyttjas, en befintlig vid Akalla samt tre nya; en i den östra delen av flygfältet, en vid Barkarbystadens station och en vid Barkarby station. Arbetstunneln i Akalla ansluter mot befintlig tunnelbaneanläggning vid Akalla station. Vid Barkarby station är arbetstunneln belägen parallellt med Mälarbanan.

Från stationen i Barkarbystaden planeras en västlig och en ostlig uppgång med biljetthallar i vardera änden. Vid Barkarby station planeras en uppgång i norr, mot den av Järfälla kommun planerade bebyggelsen ”Barkarbystaden II”, och en söderut som ansluter mot befintlig pendeltågsstation. Inom planerna för tunnelbaneanläggningen ingår också teknikutrymmen för bl.a. el och tele samt ventilationstorn. Föreslagen tunnelsträckning, anslutande arbetstunnlar och lägen för stationerna framgår av Figur 1 och Bilaga C1. Se även teknisk beskrivning, teknisk bilaga A till tillståndsansökan.



Figur 1. Översiktskarta.

1.1 Planerad vattenverksamhet

Eftersom stora delar av anläggningen är belägen i berg, under grundvattenytan, kommer tunnelbanan påverka grundvattnet genom ett visst grundvatteninläckage till tunnelanläggningen. I planerade anläggningar kommer inläckande grundvatten att behöva ledas bort under både bygg- och drifttid. För denna verksamhet krävs tillstånd från Mark- och miljödomstolen för vattenverksamhet enligt kapitel 11 om vattenverksamhet, Miljöbalken.

Spårtunnel inklusive stationer samt servicetunnel och tvärtunnlar kommer att anläggas i berg längs hela sträckningen. Spårtunneln är på den första sträckan från Akalla och ca1000 m västerut utformad som enkelspårstunnel och därefter som dubbelspårstunnel. En parallell servicetunnel finns längs stora delar av sträckan och tvärtunnlar som förbinder servicetunneln med spårtunneln ungefär var 300:e meter. Totalt är spårtunneln och servicetunneln vardera cirka 3,3 km lång. Enkelspårstunneln är cirka 6,5 till 7,5 meter bred, dubbelspårstunneln är cirka 10,7 meter bred och servicetunneln cirka 5,5 meter bred.

Arbetstunneln A1 vid Akalla ansluter till befintlig tunnelbaneanläggning vid Akalla station. Arbetstunneln är cirka 350 meter lång med höjden cirka 7,5 meter och bredd cirka 8,5 meter. Tunneln är befintlig men bergförstärkande åtgärder erfordras och en ny anslutning till mark kommer att anläggas. A1 är planerad att användas under drifttiden, bl.a. för utrymning och service.

Mellan Akalla och Barkarbystaden anläggs en tillfällig arbetstunnel A2 som endast kommer att nyttjas för trafik under byggtiden. Arbetstunneln kommer att anläggas i östra delen av flygfältet. Den är cirka 550 lång med höjden cirka 7,5 meter och bredd cirka 8,5 meter.

Arbetstunneln B1, vid Barkarbystadens station, är cirka 550 m lång med höjden cirka 7,5 meter och bredd cirka 8,5 meter.

Vid Barkarby station är arbetstunneln C3 placerad väster om och parallellt med Mälarbanan.

Vid anslutningar mot markytan för arbetstunnlar, uppgångar och ventilationstorn kommer schakt utföras i både jord och berg. För arbetstunnlar och uppgångar byggs betongtunnlar och betongtråg vid anslutning till jordlager.

De delar av anläggningen som kräver tillstånd till vattenverksamhet är:

- Spårtunnel, servicetunnlar – bortledning av grundvatten under bygg- och drifttid
- Arbetstunnlar – bortledning av grundvatten under bygg- och drifttid
- Schakt för uppgångar vid stationer, för ventilation mm – bortledning av grundvatten vid jord- och bergschaktning (under byggtid)
- Skyddsåtgärd vid risk för skadlig grundvattensänkning – infiltration

Utöver grundvattenbortledning kommer även infiltration av vatten att behöva utföras. Infiltration kan bli aktuellt i samband med schakt i jord och inom områden med objekt som kan påverkas negativt till följd av planerad grundvattenbortledning. Exakta utformningar och placering av dessa anläggningar kommer att definieras i ett senare skede.

1.2 Avgränsningar

Denna PM Hydrogeologi beskriver nuvarande grundvattenförhållanden och förväntad påverkan till följd av den planerade vattenverksamheten. Vidare beskrivs objekt som är känsliga för grundvattenpåverkan och bedömda behov av skyddsåtgärder för att minska risken för skador.

1.3 Frågeställningar

Den nya tunnelbanan ska byggas ut under mark. Huvuddelen av anläggningarna kommer att byggas i berg under grundvattennivån. När tunnelbanan byggs och när den är i drift kommer en del av grundvattnet att rinna in i tunneln, detta grundvatten kommer behöva ledas bort. Sådan bortledning av grundvatten kräver tillstånd enligt 11 kapitlet miljöbalken.

Att leda bort grundvatten innebär att grundvattennivåer i jord och berg sjunker i tunnlarnas omgivning. Sänkt grundvattennivå i jord kan i sin tur medföra sättningar i lera som kan skada mark, byggnader och anläggningar. Sänkt grundvattennivå i jord kan också medföra påverkan på grundvattenberoende vegetation. Sänkning av grundvattennivån i berg kan exempelvis medföra att energibrunnar får sänkt kapacitet.

1.4 Utredningsmetodik grundvatten

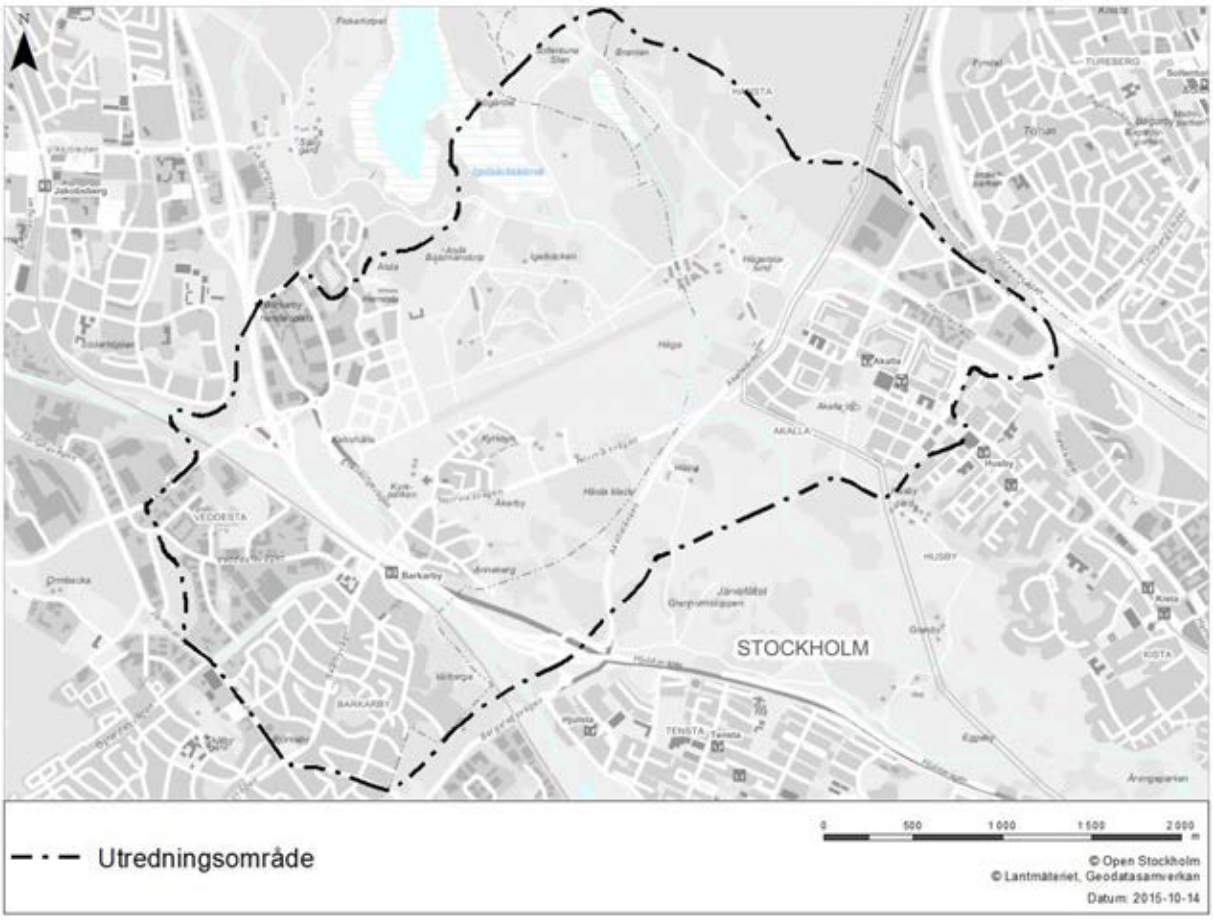
Stockholms läns landsting har tagit fram en utredningsmetodik rörande grundvatten, som gäller både utredningar som görs för tillståndsansökan och hantering av risk för skador under bygg- och drifttid. Arbetets olika steg beskrivs nedan.

1.4.1 Framtagande av utredningsområde

Avgränsning av ett väl tilltaget område för utredningar runt varje planerad utbyggnadsgren. Utredningsområdet för den aktuella sträckan är redovisad i nedanstående figur.

Definition av utredningsområde för grundvatten

Område inom vilket utredningar görs för att klarlägga hydrogeologiska, geologiska och geotekniska förhållanden för att kunna bedöma ett influensområde. Inom utredningsområdet utförs det även inventeringar av naturvärden, kulturvärden, byggnader och anläggningar som kan skadas till följd av vattenverksamheten.



Figur 2. Utredningsområdet.

1.4.2 Kartläggning av värden, geologiska och hydrogeologiska egenskaper

Inom utredningsområdet har bergarter, sprickbildning, hydrogeologi, grundvattenmagasin samt kultur- och naturvärden undersökts och kartlagts.

1.4.2.1 Berggrund

Berggrunden har kartlagts genom att inledningsvis studera kartunderlag från Sveriges Geologiska Undersökning, SGU, och den byggnadsgeologiska kartan för Stockholm. SGU har bl.a. karterat bergarter, samt större sprick- och krosszoner. Den byggnadsgeologiska kartan redovisar större sprick- och krosszoner i Stockholm. Dessutom har information från närliggande tunnlar inhämtats från tunnelägare, både vad avser tunnlarnas läge, geologi och hur mycket grundvatten som läcker in i tunnlarna.

Berggrunden har också kartlagts genom att göra olika typer av förundersökningar. I ett första skede har en kartering utförts av blottade bergytor i befintliga tunnlar och bergrum. Därefter har borrningar och tester utförts:

- Jordbergsonderingar för att klarlägga bergytans läge. Har framför allt betydelse för att säkerställa att tunnlarna har erforderlig bergtäckning.
- Geofysiska mätningar för att utreda bergytans läge och att identifiera större svaghetszoner i berget. Mätningarna har omfattat seismisk undersökning och resistivitetsmätning.
- Etablering av bergborrade brunnar för att undersöka bergets vattenförande förmåga i identifierade svaghetszoner.
- Kärnborrning och kartering av upptagna borrkärnor i syfte att klarlägga bergarter, sprickor och bergets egenskaper.
- Vattenförlustmätningar för att klarlägga bergets vattenförande förmåga.

1.4.2.2 Grundvatten i jord

Grundvatten förekommer i flera olika magasin i jordlagren inom utredningsområdet. Det förekommer också grundvattenmagasin under lerfyllda dalgångar, i friktionsjorden som ligger mellan berget och leran. Detta magasin kallas i fortsättningen undre grundvattenmagasin. Dessutom förekommer det ofta grundvatten i fyllningsmassor ovanpå lera. Detta artificiella magasin kallas i fortsättningen för övre grundvattenmagasin. Undersökningar av grundvatten i jord har utförts enligt följande:

- Grundvattenmagasinens utbredning och avgränsning har bestämts genom att studera tidigare utförda borrningar, samt genom att utföra nya sonderingsborrningar.
- Grundvattennivåer har mätts i grundvattenobservationsrör. Utifrån grundvattenmätningarna har grundvattnets flödesriktning och grundvattendelare kunnat bestämmas.
- Hydrauliska försök, såsom provpumpningar, har utförts för att kartlägga grundvattenmagasinens vattenförande egenskaper. Genom att utföra provpumpningar erhålls också information om magasinens känslighet för grundvattenpåverkan.
- Ytvattendelare har kartlagts, då de ofta sammanfaller med grundvattendelarna. Ytvattendelarna utgör också grunden för beräkning av vattenbalanser.

1.4.2.3 Föroreningar

En övergripande inventering av potentiellt förorenade områden har gjorts baserat på länsstyrelsens MIFO-databas. Genomgång har även gjorts av resultat från tidigare miljöundersökningar från enskilda objekt eller fastigheter där föroreningen bedömts ha potential att påverka vattenkvaliteten i grundvattnet. Dessutom har provtagning av jordlager och grundvatten utförts med avseende på föroreningar, framför allt i samband med provpumpningar och där schakt i jord planeras ske.

1.4.2.4 Jordlager och sättningar

Som underlag för bedömning av skador som kan uppkomma till följd av grundvattenpåverkan har jordlagrens sättningskänslighet utretts. Det har gjorts genom att identifiera områden med lera och undersöka leran:

- Tidigare sonderingsborrningar har samlats in i syfte att kartlägga jordlagerföljder och mäktighet av lera.
- Tidigare provtagning av leran har samlats in i syfte att kartlägga lerans egenskaper, såsom konsolideringsgrad och vattenkvot.
- Nya sonderingsborrningar och provtagning av lera har utförts inom representativa områden. Analys av lerprover har utförts på geotekniskt laboratorium.

1.4.2.5 Natur- och kulturvärden

Natur- och kulturvärden har identifierats genom att inhämta material från berörda kommuner och länsstyrelsen.

1.4.3 Framtagande av influensområde

Vid framtagande av influensområdet används framförallt bedömningar från resultat av hydrogeologiska undersökningar och stabila hydrauliska gränser. Influensområdet bedöms utifrån att tätning utförs enligt vad som beskrivs i den tekniska beskrivningen. Vid framtagande av influensområdet beaktas emellertid inte den skyddsinfiltration som kan behöva utföras.

Influensområdet för grundvatten i jordlagren har huvudsakligen utsträckts till stabila grundvattendelare eller hydrauliska ränder. Undantag gäller för grundvattenmagasin som är så stora att någon påverkan rimligen inte kan ske ända ut till sådana gränser. I dessa fall har resultat från provpumpningar använts som underlag för teoretiska beräkningar av influensområdets utbredning.

Att beräkna grundvattenpåverkan i berg är komplicerat beroende på att förhållandena är så heterogena. Det kan vara svårt att identifiera stabila hydrauliska gränser. I de fall där sådana gränser saknas har en teoretisk beräkning av utbredningen utförts. I sådana beräkningar har influensområdets gräns definierats som gränsen där 0,3 meters trycknivåsänkning i djupt berg beräknas kunna ske. Eftersom beräkningarna ofta överskattar influensområdets utbredning har beräkningarna också kombinerats med erfarenheter av grundvattenpåverkan från andra projekt i Stockholm.

Definition influensområde för grundvatten

Område inom vilket det kan uppkomma grundvattenpåverkan till följd av vattenverksamheten.

1.4.4 Identifiering av känsliga objekt

Inom influensområdet har känsliga byggnader, anläggningar, ledningar, vatten- och energibrunnar, natur- och kulturvärden identifierats. Detta har utförts genom inhämtning av grundläggningsdata för byggnader och anläggningar inom influensområdet, genom utvärdering av jordlagerförhållanden för att identifiering av tänkbara grundvattenkänsliga områden samt genom inhämtning av information om de aktuella kultur- och naturvärdena. Vid behov har inventeringar av de senare genomförts för att dokumentera vilka naturvärden som kan vara känsliga för påverkan på grundvattennivåer.

1.4.4.1 Brunnar

Information om enskilda brunnar har inhämtats från SGU, dit brunnsborrare är skyldiga att rapportera utförda borrningar av brunnar. Fastighetsägare är skyldiga att anmäla bergvärmepumpar till kommunen. Information om bergvärmebrunnar (energibrunnar) har inhämtats från berörda kommuner.

1.4.4.2 Sättningar och känslig grundläggning

Sättningskänsliga jordarter har utretts inom det beräknade influensområdet genom att identifiera områden med lera som inte redan är dränerad. Inom de känsliga områdena har en inventering av grundläggning för byggnader och anläggningar utförts. Inventeringen har utförts genom att inhämta information från kommunens arkiv rörande grundläggning för hus, samt från ledningsägare rörande grundläggning för ledningar. Byggnader och anläggningar som inte är fast grundlagda betraktas som känsliga för grundvattennivåsänkningar.

Klassningen har sammanställts i följande kategorier:

Grundläggningskategori	Känslig för grundvattennivåsänkning i övre magasin	Känslig för grundvattennivåsänkning i undre magasin
Grundlagd på lera	Nej	Ja
Grundlagd på träpålar	Ja	Nej
Golv eller ledning grundlagd på lera	Nej	Ja
Okänd grundläggning	Ja	Ja

1.4.4.3 Föroreningar

Negativa effekter kan uppkomma om inläckande grundvatten för med sig föroreningar. Vidare finns det risk för att ändrade grundvattenförhållanden kring tunneln påverkar eller mobiliserar föroreningar i mark och grundvatten. För att hantera och särskilja potentiellt förorenade områden samt områden där föroreningar påträffats i utförda undersökningar har områdena klassats med avseende på risk för spridning av föroreningar. Klassningen har utgått från föroreningsbilden i mark och grundvatten i de potentiellt förorenade objekt som framkom i samband med utförd inventering samt från resultat från utförda undersökningar i mark och grundvatten. Indelningen har utförts enligt följande:

- Föroreningar som är begränsat mobila i mark och föroreningar som inte har förutsättningar att nå grundvattnet har fått klassningen ”låg risk”
- Föroreningar som ligger på så långt avstånd från planerade anläggningar att förändrade grundvattenströmningar inte kan ske har fått klassningen ”låg risk”
- De föroreningar vars mobilitet kan påverkas, men där påverkan är begränsad till en något större gradient (och därmed ökad strömningshastighet för grundvattnet) har fått klassningen ”mellanrisk”
- De föroreningar som kan påverkas med förändrade gradienter så att föroreningar sprids till tidigare ej förorenade områden, samt föroreningar som kan läcka in i planerade anläggningar, har fått klassningen ”hög risk”

De förorenade områden som fått klassningen mellanrisk och hög risk har därefter studerats vidare. I dessa fall har beräkningar och/eller bedömningar av spridning och påverkan i form av föroreningar i länshållningsvattnet utförts.

1.4.5 Bedömning av grundvattenpåverkan

De resultat som erhållits i hydrogeologiska undersökningar och geologiska karteringar ligger till grund för bedömning av hur grundvattnet kan påverkas vid bygge och drift av tunnelbanan. Huvudsakligen utgår bedömningarna från mätningar och fältundersökningar, kompletterat med beräkningar. De beräkningar som utförts beskrivs kortfattat nedan och mer detaljerat i bifogad beräkningsbilaga, bilaga C6.

1.4.5.1 Beräkningar av sättningar

Vid beräkning av potentiella sättningar har arbetet utförts i följande steg:

- Översiktlig bedömning av lermäktighet genom studier av sedan tidigare utförda borrningar.
- Kompletterande geotekniska markundersökningar.
- Provtagning och analys av lera i de områden där leran är som djupast och där grundvattenpåverkan kan befaras bli som störst.
- Beräkning av sättningar utifrån lerans egenskaper, beräkningarna har utförts för flera olika scenarier för grundvattennivåsänkning, både vad avser storlek och varaktighet.
- Utifrån beräkningsresultaten har generella slutsatser om olika områdens sättningskänslighet dragits.

1.4.5.2 Beräkning av inläckage

Inläckage till en bergtunnel beror av ett flertal olika faktorer, såsom bergets vattenförande förmåga, tunnelns djup, grundvattenbildning och utförande av tätning. Vid bedömning av inläckage till bergtunnlar har följande princip använts:

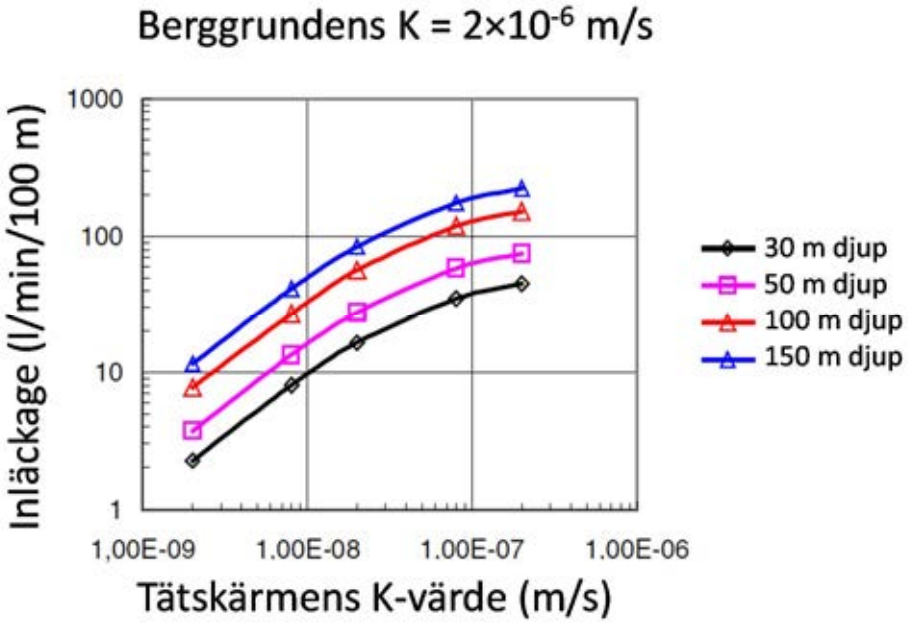
- Beräkningar har utförts med metoder och parametrar som ger konservativa resultat och med hänsyn till de osäkerheter som föreligger har ett väl tilltaget inläckage tagits fram. Eftersom berget är heterogent har berggrundens vattenförande förmåga varierats i beräkningarna.
- Berggrundens vattenförande förmåga har undersökts genom sammanställning av inläckage till befintliga tunnlar, samt analys av ett stort antal bergborrade brunnar.
- Grundvattenbildningen har i beräkningarna bestämts med metoder som överskattar grundvattentillgången i berg. Det beror på att grundvattenbildningen ökar om grundvattennivån sjunker, samt att grundvattentillgången kommer att öka vid utförande av infiltration.
- Beräkningarna har kompletterats med erfarenheter från inläckage i andra berganläggningar som byggts i likartad geologisk miljö med likartade byggmetoder.

Bedömningar av inläckage till öppna schakt under byggtiden har utförts översiktligt. Det beror på att grundvattennivåsänkningar effektivt kan motverkas av infiltration och att storleken på inläckaget då inte har någon praktisk betydelse.

Metodik

Inläckaget till en bergtunnelanläggning bestäms i hög grad av vattengenomsläppligheten (hydrauliska konduktiviteten, K [m/s]), främst i berggrunden och i kontakten mellan berg och jord.

Bergets hydrauliska konduktivitet är beroende av förekomst och egenskaper av sprickor/-system, som för Stockholmsområdet kan förväntas variera mellan 10^{-9} – 10^{-7} m/s med ett medelvärde över en längre sträcka om ca 10^{-8} m/s (Bilaga C6). Inläckaget styrs också i hög grad av de tätningsarbeten som utförs. Det är svårt att på förhand veta exakt vilken effekt tätningen kommet att få. Figur 3 visar förhållandet mellan inläckage och den injekterade zonens täthet för en antagen hydraulisk konduktivitet i berget (Statens Vegvesen 2003, Publikasjon nr. 103).



Figur 3. Inläckagets variation givet olika täthet på tätskärm och tunneldjup (efter Statens Vegvesen 2003).

Grundvattenmodelleringar

En grundvattenmodell har satts upp med hjälp av programvaran Visual MODFLOW Pro, som 3-dimensionella flerlagermodeller. Modellerna har ställts upp för en jämviktslösning (”steady-state”) vilket innebär att modellen gäller för en tidpunkt då hela modellen är i jämvikt. Detta antagande är en förenkling av verkligheten då både nivåer, flöden och grundvattenbildning varierar över året och i samband med eventuell yttre påverkan av vattenbalansen.

Modellen har utformats 150 m djup och i plan är modellområdet väl tilltaget ut från tunnelsträckningen för att randvillkoren inte ska påverka simuleringsresultaten. I modellen har initialt ett rutnät om 40×50 meter använts för större delen av området, medan rutnätet utökats till max 100×80 meter långt från tunnelsträckningen. Detaljmodeller har sedan studerats där gridstorleken minskats till 10×12 meter närmast stationslägen och 20 × 25 meter i närheten av tunnellinje.

I modelleringsarbetet har dräner[1] eller konstant trycknivå använts för simulering av dränerande tunnel/undermarksanläggning samt ytavrinning. Ytvattendragen Bällstaån, Igelbäcken och Stordiket har beaktats i modellen. Grundvattenbildning har i modellen ansatts till 200 mm/år.

Kalibrering har gjorts mot uppmätta grundvattennivåer. Validering har gjorts mot utförda provpumpningar. Modelleringarna redovisas i Bilaga C6.

---

1 Ett randvillkor som kan ansättas för att efterlikna en dränering, t ex en ledningsgrav där grundvattnet vid en viss trycknivå avleds. I de celler där man ansatt ett dränvillkor kommer inte trycknivån att överskrida den valda/ansatta dräneringsnivån. Detta randvillkor kan med fördel användas för att simulera ytvattenavrinning genom att man ansätter en drän strax under markytan över utströmningsområden (eller hela modellen).

Analytiska beräkningar av inläckage till tunneln

Parallellt med modelleringsarbetet har inläckaget både utan och med injektering beräknats analytiskt. Beräkningarna har gjort med ekvationer baserade på Darcys lag. I ekvation 1 nedan visas ekvationen för inläckage (q) utan injektering där K är bergets hydrauliska konduktivitet, h är tunnelns djup under grundvattenytan, r är tunnelradien, och ξ är skinfaktorn. Inläckaget (q) erhålls i m^3/s och meter tunnel.

$$\text{Ekvation 1:} \quad q = \frac{2\pi \times K \times h}{\ln\left(\frac{2h}{r}\right) + \xi}$$

För en injekterad tunnel beräknas inläckaget (q_{inj}) med injektering analytiskt enligt ekvation 2:

$$\text{Ekvation 2:} \quad q_{inj} = \frac{2\pi \times K \times h}{\ln\left(\frac{2h}{r}\right) + \left(\frac{K}{K_i} - 1\right)\ln\left(1 + \frac{t}{r}\right) + \xi}$$

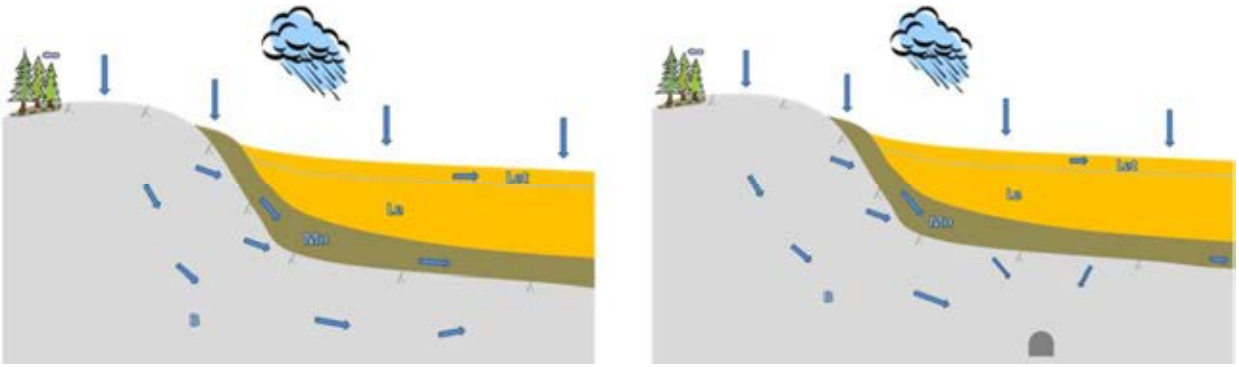
Där K_i är injekteringszonens konduktivitet och t är injekteringszonens utbredning. (Gustafson, 2009). Inläckaget har beräknats för olika scenarion för vattenförande egenskaper i berget och uppnådd täthet (Bilaga C6).

1.4.5.3 Beräkning av grundvattennivåsänkningar

Beräkningar av grundvattennivåsänkningar har utförts lokalt inom influensområdet för att analysera påverkan och effekter vid känsliga objekt. Beräkningarna har utförts med grundvattenmodellen som är anpassade efter den geologiska miljön.

Grundvattenbildningen till berget sker från sprickor i bergpartier där berget går i dagen eller genom kontakt mellan berg och vattenförande jordlager medan grundvattenbildning till jord sker direkt från nederbörd. Grundvattenbildningen till jord och berg är beroende av topografin, jordarternas hydrauliska konduktivitet (K [m/s]), storleken på nederbörden och evapotranspirationens andel av den totala nederbörden och ytavrinningens storlek. Ytavrinningen i sin tur är beroende av topografi, jordartens infiltrationskapacitet och aktuell markanvändning.

Grundvattenbildningens storlek varierar under året. Vid snösmältningen sker en vattenfyllnad av markvattenzonen så att grundvatten kan bildas. Då temperaturen stiger under våren ökar också avdunstningen och under april-maj är avdunstningen större än nederbörden och någon grundvattenbildning sker inte annat än vid en ordentlig rotblöta som kan mätta markvattenzonen. Under hösten minskar avdunstningen igen och markvattenmagasinet fylls på och grundvatten kan bildas. Detta innebär att grundvattennivån ofta varierar med året.



Figur 4. Konceptuell modell över vattenomsättningen i berg och jord med och utan tunnel.

Den största delen av det grundvatten som går ned i berg bildas i jordlagren. Ett uttag av grundvatten från sprickor i berg, t.ex. i form av inläckage till en tunnel, medför en ökad

grundvattenbildning, vilket sker på bekostnad av en reducering av ytavrinningen. Även grundvattenavrinningen minskar vid ett uttag. Grundvattenbortledningen vid en tunnel är ofta mycket liten jämfört med den totala avrinningen men kan ändå påverka trycknivåer i friktionsjord som underlagrar leområden (Figur 4).

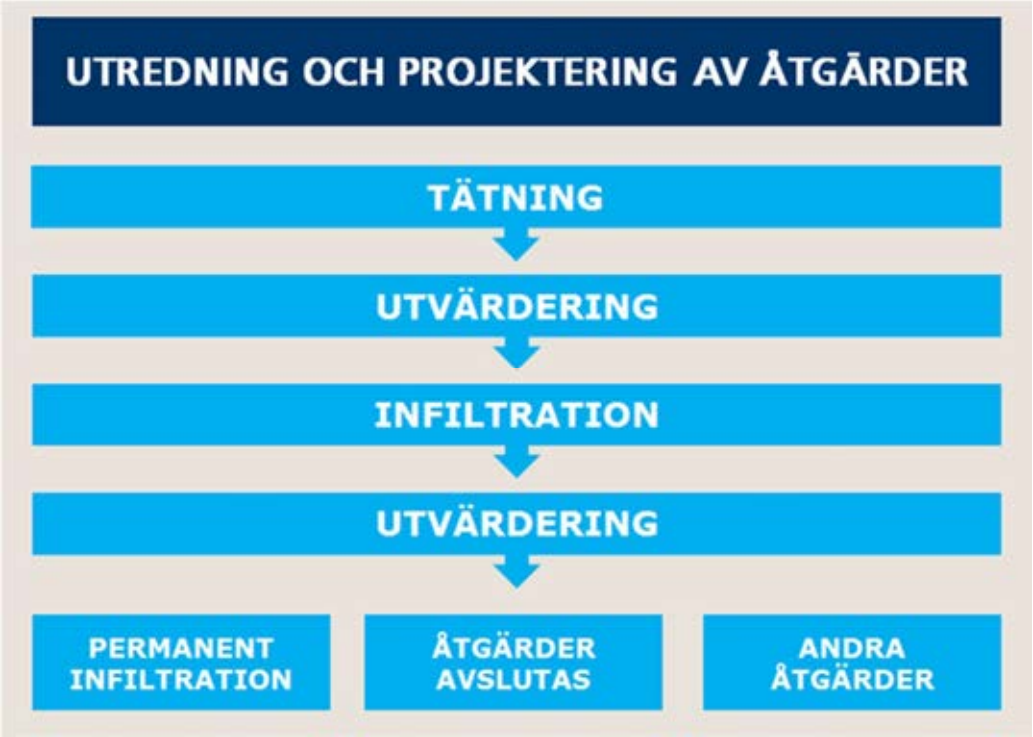
Förbifart Stockholm förväntas byggas efter aktuell tunnel mellan Akalla och Barkarby, men beräkningar i denna rapport görs både för fallet att Förbifart Stockholm inte är byggd respektive fallet att den är byggd.

1.4.5.4 Påverkan från befintliga underjordsanläggningar

Längs den planerade tunnelsträckningen finns flera befintliga berganläggningar, både sådana som korsar och sådana som går längs sträckningen. De befintliga berganläggningarna har en påverkan på grundvattennivåerna i området som är beroende av anläggningarnas läge, tätning etcetera. Hänsyn har tagits till dessa i de beräkningar som upprättats för beräkning av den grundvattenavsänkning som den nu planerade tunneln förväntas ge upphov till.

1.4.6 Framtagande av skadeförebyggande åtgärder

Skador orsakade av sänkning av grundvattennivån uppkommer generellt långsamt. Strategin för de skadeförebyggande åtgärderna är att arbeta i steg, med flera olika skyddsåtgärder och med successiv utvärdering mellan varje steg. Arbetsgången rörande de skadeförebyggande åtgärderna kan sammanfattas i Figur 5.



Figur 5. Arbetsgången för hantering av skadeförebyggande åtgärder.

I denna PM beskrivs förväntade inläckage med angivna tätningsmetoder, i huvudsak förinjektering. Vidare beskrivs förutsättningarna för infiltration, samt förväntad effekt av infiltrationen. Målsättningen med valda tätningsmetoder är att infiltrationen ska minimeras.

1.4.6.1 Tätning av tunneln

Under tunneldrivningen kommer berget kring tunneln att tätas genom kontinuerlig förinjektering. SLL har utarbetat en anvisning för projektering av förinjektering med cementbaserade bruk,

vilken kommer att tillämpas. Omfattning och utförande av tätningen kommer att styras av bergets vattenförande egenskaper och risk för negativ påverkan på omgivningen.

Med den metodik som kommer att tillämpas kan det förväntas att tätningen blir så bra att omfattningen av ytterligare skadeförebyggande åtgärder blir liten. En känslighetsanalys avseende bergets konduktivitet och tätningsresultat har genomförts (Bilaga C6) som underlag för att bedöma inläckage och tätningsåtgärdernas (förinjekteringen) effekt på inläckage och grundvattennivåsänkningar. Utifrån dessa resultat har områden där skyddsinfiltration kan komma att bli aktuellt identifierats. Vid beräkningar har den genomsnittliga hydrauliska konduktiviteten för bergets varierats mellan 2×10^{-8} m/s och 1×10^{-7} m/s och tätningsgraden (den injekterade zonen runt tunneln/anläggningen) mellan 5×10^{-9} m/s och 1×10^{-8} m/s (Bilaga C6).

1.4.6.2 Skyddsinfiltration

För att upprätthålla grundvattennivåerna i områden med byggnader eller konstruktioner med grundvattenberoende grundläggning (det vill säga grundläggning helt eller delvis på lera samt grundläggning på träpålar) eller i särskilt sättningskänsliga områden kan så kallad skyddsinfiltration användas. Skyddsinfiltration är en i Stockholmsområdet väl beprövad metod som kan användas för att hålla uppe nivåer lokalt kring enskilda byggnaders trägrundläggning, eller för att upprätthålla grundvattennivåer inom större områden för att undvika sättningar. Exakta behov av skyddsinfiltration kan inte bestämmas i detta skede. Här redovisas bedömda infiltrationsinsatser, samt förutsättningar för att kunna få erforderlig effekt av infiltrationen.

1.5 Definitioner och begrepp

I följande stycke förklaras en del av 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 hålrum mellan jordpartiklarna. Grundvatten i berg finns i sprickor och mellan sprickorna anses bergmassan vara tät.
Grundvattenbildning	Tillflöde av vatten till grundvattenzonen. Grundvatten bildas i inströmningsområden, där vatten strömmar från markvattenzonen till grundvattenzonen. I utströmningsområden sker ett omvänt flöde.
Grundvattendelare	En gräns för ett grundvattenmagasin. Det kan 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.

Grundvattennivå, Artesiskt grundvatten	Grundvattennivå avser grundvattenytans läge i mark där jämvikt med atmosfärstryck råder och tryckpotentialen är noll. Trycknivån kan avläsas i borrade hål, grävda gropar eller likande. 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.
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).
Sättningskänslig jord	Finjordar som ler- och siltjordar 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. Grus och sand är exempel på friktionsjord.
Fyllningsjord	Utfyllnadsmassor, jord som inte är bildats i naturliga processer på platsen.
Tunnelnivå	Anges som nivå för tunnelbotten.
Byggtid	Det skede under vilket byggnation pågår som förändrar bortledningen av grundvatten, t ex drivning av tunnel och schakt, bergförstärkning, injektering, betongarbeten, m.m.

Drifttid	Det skede som startar då anläggningen är slutbesiktigad och överlåts till driften, och då ingen större förändring av vattenverksamheten längre sker.
Influensområde grundvatten	Område inom vilket det kan uppkomma grundvattenpåverkan till följd av vattenverksamheten.
Markavvattningsföretag	Ett markavvattningsföretag är ex. diken, fördjupning av befintliga vattendrag, sänkning av sjötrösklar etc. för att öka ett områdes värde. Markavvattningsföretag beslutas av domstol (Mark- och miljödomstolen eller tidigare vattendomstol) och har samma juridiska status som ett tillstånd för vattenverksamhet.

2 Underlagsmaterial

2.1 Inventeringar

Följande inventeringar har genomförts:

- Inventering av husgrundläggningar och anläggningar i sättningskänsliga områden (se avsnitt 2.1.1)
- Inventering av brunnar i tillgängliga databaser (se avsnitt 2.1.2):
  o SGUs brunnsdatabas
  o Miljöförvaltningen i Stockholms stad och Järfälla kommun
- Inventering av undermarksanläggningar inklusive eventuella tillstånd (se avsnitt 2.1.3).
- Inventering av tidigare utförda borrningar i jord och berg
- Inventering av befintliga grundvattenobservationsrör inklusive mätningar i dessa, i syfte att erhålla representativa grundvattennivåer längs med sträckan samt för identifiering av för projektet relevanta kontrollrör.
- Information om markavvattningsföretag (se avsnitt 2.1.4)
- Utredningar om vattenresurser (se avsnitt 2.1.5)
- Inventering av potentiellt förorenade områden (se avsnitt 2.1.6)

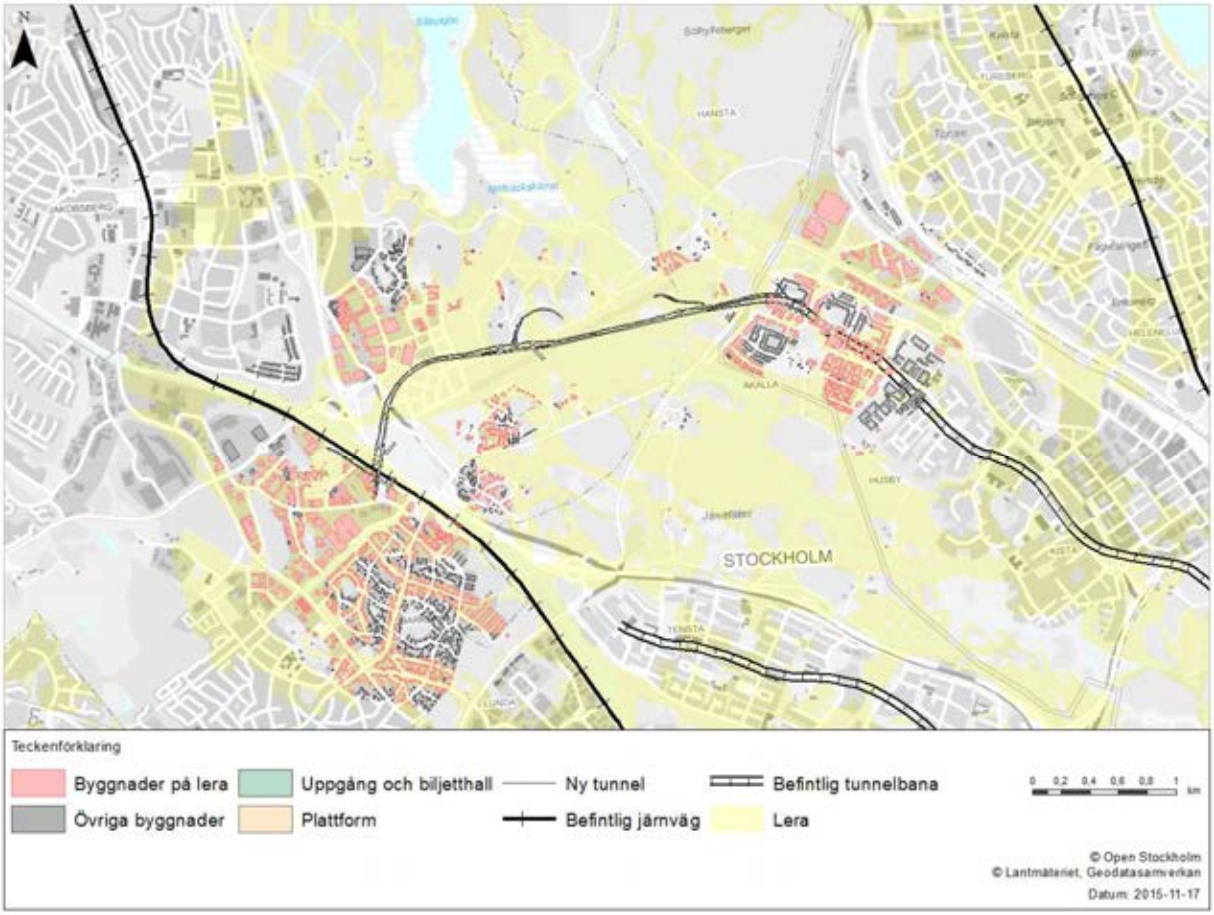
2.1.1 Inventering av grundläggning

Inventeringen har haft som syfte att samla in uppgifter om hus på fastigheter där jordartskartan indikerar lera. Uppgifter har sökts om bl.a. jordlagerföljd, grundläggningsmetod, undergrundens beskaffenhet, antal våningar, byggår m.m. För inventeringen har respektive kommuns fastighetsarkiv använts och sökning utförts i de handlingar som lämnats in till kommunen i samband med bygglovsförfarandet. Detta material är i allmänhet sökbart i databaser på respektive kommun. I Järfälla kommun finns materialet i två databaser AGS och Bygg-R. Pågående ärenden finns i ett pappersarkiv som också inventerats.

Omfattningen av uppgifter i bygglovsärendena varierar, både beroende på husets storlek och beroende på exempelvis när huset byggts. Det kan också variera mellan kommunerna vilka uppgifter som begärts in från byggherren eller fastighetsägaren och vilka som sparats. I Akalla är huvuddelen av byggnaderna flerbostadshus med många tillhörande handlingar. I Järfälla finns det huvudsakligen enbostadshus och informationen är då mer begränsad. Uppgifter om grundläggning är i samband med modernare hus ofta tagna från ett tekniskt samrådsprotokoll där den planerade grundläggningsmetoden anges. För äldre hus finns ofta motsvarande textuppgifter om markbeskaffenhet. Ofta anges här också markens beskaffenhet samt huruvida geoteknisk undersökning genomförts. Geotekniska undersökningar har ofta inte insänts till kommunen eller sparats av kommunen. Grundläggningsritningar saknas oftast både för mindre och större hus i materialet från Järfälla kommun och delvis också från Stockholms stad. Därför har det även varit svårt att få tag på uppgifter om pålning. Det har oftast stannat vid uppgiften att huset ska pålas.

I Järfälla, som har den äldsta bebyggelsen, saknas ibland nybyggnadshandlingar men man har kunnat hitta information om grundläggning i handlingar i tillbyggnadsärenden. Enstaka fastigheter saknar helt uppgifter.

Inventerat material har sparats i en databas med mappar för respektive fastighet. Resultatet från inventeringen redovisas i bilaga C5. I Figur 6 redovisas en översiktskarta med byggnader på lera.



Figur 6. Områden med byggnader på lera.

2.1.2 Energibrunnar

Uppgifter avseende läge och kapacitet för borrade energibrunnar har hämtats från SGU:s brunnsarkiv. Uppgifter om givna tillstånd till utförande av energibrunnar har hämtats från respektive kommun, Järfälla och Stockholm. Resultatet av inventeringarna redovisas på karta i bilaga C5.

SLL har även tagit kontakt med enskilda fastighetsägare inom influensområdet för att få tillgång till energibrunnar i syfte att genomföra grundvattennivåmätningar i dessa. För att möjliggöra mätning krävs en enklare installation i form av ett mätrör som installeras längs med kollektorslangarna i energibrunnen. Eventuell ny information som framkommit i kontakterna med fastighetsägarna har samlats in.

2.1.3 Befintliga undermarksanläggningar och eventuella miljödomar för dessa

Det finns ett flertal befintliga anläggningar inom eller i nära anslutning till utredningsområdet. Vissa av dessa har tillstånd enligt Miljöbalken eller tidigare lagstiftning om vattenverksamhet. Dessa tillstånd beaktas i här aktuellt projekt och de utredningar som upprättats inom ramen för prövningen har inhämtats av SLL.

Trafikverket har erhållit tillstånd från mark- och miljödomstolen för grundvattenbortledning med tillhörande anläggningar från tunneln Förbifart Stockholm. I tillståndet ingår även omläggning av Stordiket. Dom 2014-12-17 i mål nr M 3346-11. Förbifart Stockholm har just börjat byggas. SLL har låtit gå igenom befintliga hydrogeologiska utredningar och beskrivningar för Förbifart Stockholm med särskild fokus på:

- Bergrundsgeologisk tolkning
- Parametervärden (hydraulisk konduktivitet) på berg i Stockholmsregionen
- Injekteringskoncept/-erfarenheter

Trafikverket har erhållit tillstånd från mark- och miljödomstolen för grundvattenbortledning med tillhörande anläggningar för cykeltunnlar mm under Mälarbanan. Dom 2012-12-06 i mål nr M 4983-10.

Järfälla kommun har erhållit tillstånd till en dammanläggning i Igelbäcken för att reglera vattenståndet i Säbysjön. Detta påverkar flödet i Igelbäcken. Dom 1995-12-06 i mål nr VA 23/95.

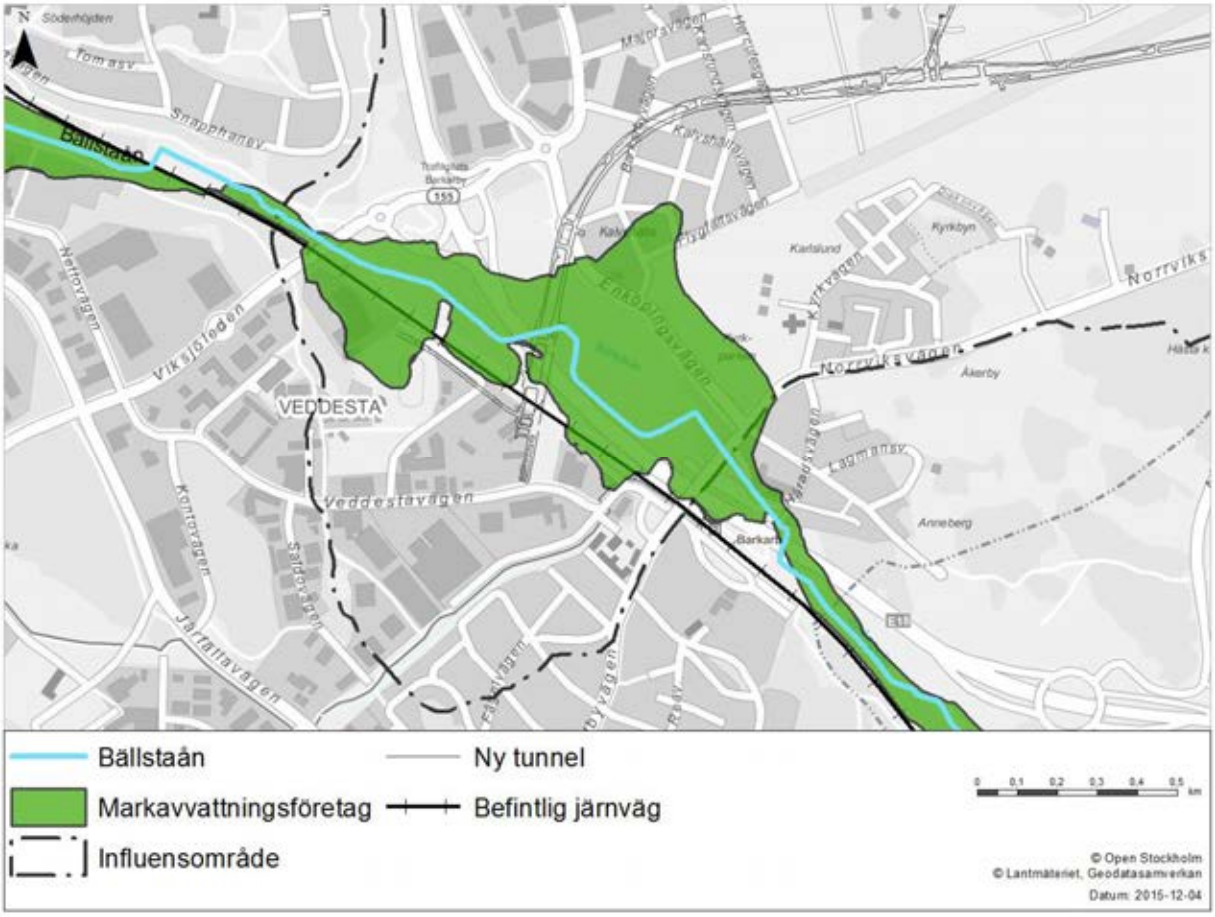
Det finns befintliga tunnlar inom utredningsområdet som är hemliga och som därför inte får redovisas i denna handling. Information om dessa i form av läge, djup, bergförhållanden och inläckage av grundvatten har inhämtats och används för bedömningar av bergförhållanden och anläggningarnas påverkan på grundvattnet.

Information om läge, djup, bergförhållanden och inläckage av grundvatten för befintlig tunnelbana har inhämtats och använts för bedömningar av bergförhållanden och anläggningarnas påverkan på grundvattnet.

Akallaverket AB och Birka Värme Stockholm AB har erhållit tillstånd för verksamhet vid värmeverk. Detta avser dock inte vatten utan avslutning av prövotidsförordnade avseende utsläpp till luft samt slutliga villkor för detta. Dom 2002-02-12 i mål nr M 142-99.

2.1.4 Markavvattningsföretag

Bällstaån är till stor del påverkad genom markavvattningsföretag, två av dessa är delvis överlappande i aktuellt område, se Figur 7. Markavvattningsföretagen benämns Jakobsberg, Viksjö, Väddesta m.fl. ca 1920 (AB_1_0161*) samt Viksjö, Jakobsberg, Kalfhälla m.fl. 1885 (AB_2_0019*). Markavvattningsföretagen löper längs med vattendraget. Det finns idag inga aktiva styrelser registrerade hos Länsstyrelsen i Stockholm.



Figur 7. Markavvattningsföretag längs Bällstaån.

2.1.5 Utredningar om vattenresurser

Följande underlag och utredningar har använts:

- Stockholm Vatten AB ”Uppbyggnad av hydrologisk modell för Igelbäcken samt beräkningar av vattenbalans, geohydrologi och föroreningar”, rapport DHI 2008-02-11.
- Förbifart Stockholm, tillståndsansökan Miljöbalken, PM Hydrogeologi och MKB.
- Förbifart Stockholm, MKB Hansta Natura 2000-område.

2.1.6 Inventering potentiellt förorenade områden

Inventering av potentiellt förorenade områden samt dokumenterat förorenade områden utfördes genom inventering i länsstyrelsens MIFO-databas och GIS-databas. Inventeringen utfördes även genom sökning i Järfälla och Stockholms kommuns arkiv och datasystem avseende förorenade områden och områden där det bedömts finnas risk för mark- och/eller grundvattenförorening. För att få fram ytterligare information studerades historiska flygbilder och kartor samt detaljplaner.

Inventeringen har haft som syfte att få en översiktlig bild över vart inom aktuellt område föroreningar förekommer och/eller misstänks förekomma. Den har även haft som syfte att utgöra underlag för placering av provtagningspunkter och val av analyspaket i den utförda miljötekniska undersökningen. Det sammanlagda resultatet från inventeringen och den miljötekniska undersökningen har legat till grund för den riskklassning avseende risker för spridning av föroreningar som utförts, se vidare Förundersökningsrapport Miljö.

2.2 Kompletterande geotekniska och hydrogeologiska fältarbeten

För att på ett systematiskt sätt svara på de frågeställningar som är förknippade med bortledning av grundvatten och den förestående tillståndsansökan har följande geotekniska och hydrogeologiska undersökningar genomförts.

- Provpumpningar som utgör underlag för att bestämma influensområde och hydrauliska parametrar (se avsnitt 2.2.2).
- Etablering av grundvattenrör och utförande av grundvattennivåmätningar som påbörjades under 2014 och utförts varannan vecka (se avsnitt 2.2.3). Utgör underlag för att beskriva befintliga och framtida grundvattennivåförhållanden i de magasin som ligger inom utredningsområdet.
- Provtagning av lerans sättningskänslighet, kolvprovtagning och CRS – försök (se avsnitt 2.2.4) som underlag till sättningsberäkningar. Utgör underlag för att beskriva områdets sättningsbenägenhet i samband med ev. grundvattennivåförändring.
- Hammarborrhål och kärnborrhål med tillhörande hydrauliska tester i form av vattenförlustmätningar för att bestämma bergets hydrauliska konduktivitet (se avsnitt 2.2.1) och de berggeologiska förhållandena. Resultatet används som underlag för beräkning av inläckage och bedömning av omgivningspåverkan.
- Slugtester för att kunna utvärdera återinfiltrationsmöjligheter vid känsliga objekt (se avsnitt 2.2.1).
- Sonderingar och provtagning av friktionsjord som underlag för att beskriva jordlagerföljden i 3 dimensioner med tillräcklig noggrannhet samt friktionsjordens heterogenitet. Utgör underlag för bl.a. grundvattenmodellering, bestämmande av influensområdet och grundvattenpåverkan samt ev. kontakt mellan grundvattenmagasin och ytvattenförekomster.
- Geofysiska undersökningar för att översiktligt uppskatta jorddjup och förekomst av geologiska svaghetszoner.

2.2.1 Bestämning av bergets hydrauliska konduktivitet

Vid beräkningarna av påverkansområde och inläckage för tunneln har en hydraulisk konduktivitet för berget uppskattats genom följande data (Bilaga C6 och Förundersökningsrapport Hydrogeologi):

- Uppmätt inläckage till befintliga tunnlar längs sträckningen.
- Vattenförlustmätningar i kärn- och hammarborrhål.
- Data från borrade energibrunnar (SGU).
- Provpumpning i berg vid Hägerstalund.

2.2.1.1 Inläckage till befintliga tunnlar och bergrumsanläggningar

Inom utredningsområdet finns redan ett antal tunnlar samt tillstånd att bygga ytterligare tunnlar. Några av dessa är hemligstämplade och för andra finns endast begränsad information om dess läge i plan och profil att tillgå. Aktuella tunnlar samt deras status listas nedan.

- Tunnel för Förbifart Stockholm, tillståndsgiven. Tillstånd har erhållits enligt 2.1.3, i detta dokument har det förutsatts att inläckaget uppgår till det tillståndsgivna. Tunneln förväntas byggas efter aktuell tunnel Akalla- Barkarby.
- Befintlig tunnel. Inläckaget är uppmätt.
- Fortifikationsverkets anläggning. Inläckaget är uppmätt.
- Järva dagvattentunnel. Inga mätningar av inläckage finns.

Berg- och grundvattenförhållandena inom utredningsområdet är påverkade av ovan nämnda berg-konstruktioner. Planerad tunnel för tunnelbana Akalla-Barkarby med tillhörande arbetstunnlar samt tunnel och schakt för ventilation kommer att ytterligare påverka berg- och grundvattenförhållandena.

2.2.1.2 Vattenförlustmätningar i kärnborrhål och hammarborrhål

SLL har låtit utföra vattenförlustmätningar i utförda kärn- och hammarborrhål. Endast en tryckning per test har utförts i enlighet med metodbeskrivningen (Förvaltning för utbyggd tunnelbana, 2015b), med övertryck kring 2 bar. Måttligt vattenövertryck har valts för att minimera risken för spräckning, vidgning och urspolning av bergets sprickor. Minsta mätbara flöde med aktuell utrustning är 0,005 liter/min, med en noggrannhet om ± 1 % och en repetitionsnoggrannhet om ± 0,3 %. Detta motsvarar en minsta mätbar konduktivitet (K-värde) på $6{,}01\times10^{-10}$ m/s. Utförda tester har god marginal till det i metodbeskrivningen minsta anvisade flödet på 0,1 l/min (vilket motsvarar en minsta mätbara konduktivitet på 1×10^{-8} m/s).

Vattenförlustmätningar har utförts i 6 st. kärnborrhål med dubbelmanschett med avstånd om 6 meter samt som helhåls- och halvhålsmätningar. Halvhålsmätningen har utförts i den nedre delen av borrhålen. Testen i kärnborrhålen utfördes med ett pålagt övertryck om 2,0 bar.

Vattenförlustmätningar har utförts i 12 st. hammarborrhål. Pålagt övertryck varierade mellan 1,7 och 2,0 bar även om 2 bar eftersträvats i samtliga mätningar.

2.2.1.3 Data från energibrunnar

Information från SGU gällande befintliga bergborrade brunnar för energiutvinning har sammanställts. En transmissivitet, T (m^2/s), för energibrunnarna inom utredningsområdet har beräknats med hjälp av Thiems ekvation. Vid beräkningarna har en influensradie (R_0) på 1000 m antagits. Resultatet är relativt okänsligt för influensradiens storlek. För de brunnar där brunnsdiametern inte står angiven i databasen har en diameter på 135 mm antagits.

$$\text{Ekvation 3: } T = \frac{Q}{2\pi \cdot \Delta s} \cdot \ln \frac{R_0}{r_w}$$

Från detta har sedan en konduktivitet, K (m/s), beräknats med hjälp av brunnsdjupet utifrån förhållandet mellan transmissivitet och konduktivitet.

2.2.1.4 Skalberoende

Vid bearbetning av konduktivitetsmätningar som underlag för modellering bör man beakta skalberoendet. Det innebär att den hydrauliska konduktiviteten i stor skala som ska gälla för en berganläggning ofta är mindre än det aritmetiska medelvärdet av de hydrauliska konduktiviteterna mätta i liten skala.[2] Detta eftersom de vattenförande sprickorna har ändlig utbredning. Beräkningar utförda med data från konduktiviteter mätta i liten skala ger därför ett konservativt beräknat inläckage och påverkansområde.

2.2.2 Provpumpningar och slugtest

Under november 2014 till januari 2015 har tre stycken provpumpningar i jordbrunnar längs tunnelsträckningen utförts. Resultaten redovisas i sin helhet i bilaga C6 och Förundersökningsrapport hydrogeologi.

---

2 Hydrogeologi för bergbyggare, Gunnar Gustafson, 2009.

Två provpumpningar i jord har utförts i samband med tidigare undersökningar för Trafikplats Akalla/Förbifart Stockholm. Resultaten redovisas i bilaga C6.

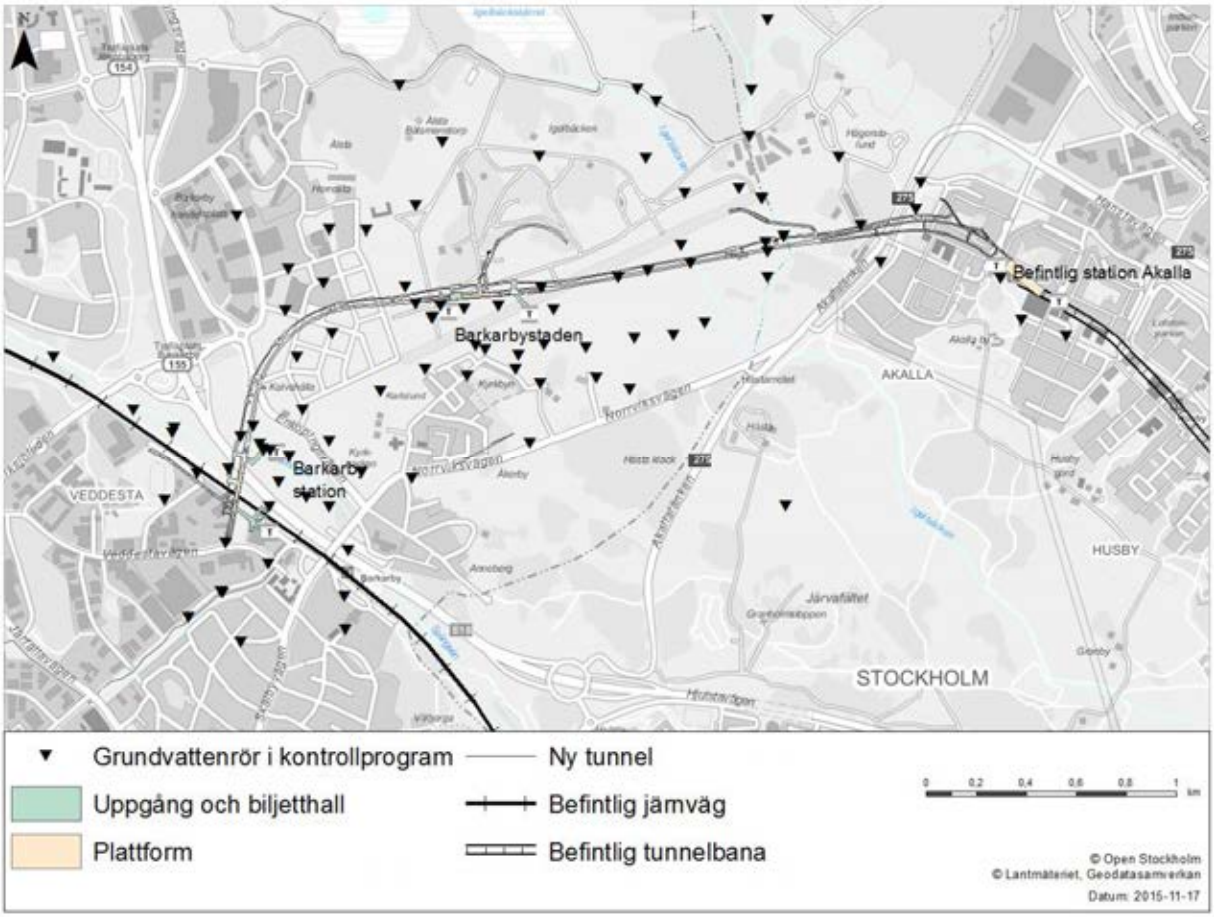
En provpumpning i berg har utförts med mätningar i såväl jord som berg. Fokus för denna provpumpning var att klarlägga eventuell kontakt med grundvattenmagasinen i jord vid Hansta Natura 2000-område samt i Igelbäckens dalgång.

Slugtest har utförts i 14 st. grundvattenrör installerade i underliggande friktionsmaterial.

2.2.3 Grundvattennivåmätningar

Inom det nu aktuella området finns ett antal tidigare installerade rör som mäts av andra projekt samt ett fåtal rör som kvarstår från tidigare avslutade projekt. Av de grundvattennivåmätningar som utförs av andra projekt finns det en mätserie från Förbifarten Stockholm sedan 2008, en mätserie inom ett mindre område vid Barkarby sedan hösten 2012, samt enstaka grundvattenrör som har mätts sedan 1970-talet. Ett 30-tal grundvattenrör har installerats inom området av RTW under 2014 – 2015 och under 2014 installerades ett 50-tal rör av SLL. I dessa rör har grundvattennivån mätts varannan vecka från hösten 2014. Kontrollprogrammet innefattar mer eller mindre kontinuerligt registrering av grundvattennivåer i ca 90 st grundvattenrör inom aktuella området från hösten 2014 till idag. Mätningarna har utförts både manuellt och med automatiska mätare.

I Figur 8 redovisas lägena för de grundvattenrör som använts för mätningar samt de pumpbrunnar som provpumpats. Information om installerade grundvattenrör redovisas i Förundersökningsrapport Hydrogeologi.



Figur 8. Karta med grundvattenrör och pumpbrunnar. För specifika namn på grundvattenrör hänvisas till Bilaga C4.

2.2.4 Jordlagerföljd och provtagning av lera

Här redovisas endast kortfattat hur sättningsberäkningar är genomförda. En fullständig redovisning samt resultat framgår av bilaga C7 och Förundersökningsrapport Geoteknik.

Sättningskänsliga områden har definierats. Inom dessa områden har tidigare utförda, ostörda, jordprovtagningar studerats, såväl som kompletterande.

För att klarlägga jordlagerföljd och bergöverytans läge har sonderingar utförts, både i form av jord-bergsondering och tryck-/viktsondering. Utöver detta har CRS-försök utförts på ostörda kompletterande lerprov liksom sättningsberäkningar.

Beräkningar har genomförts för att kunna bedöma sättningskänsligheten i området för olika framtidsscenarier. Som beräkningsförutsättning har antagits långvarig grundvattensänkning i det undre grundvattenmagasinet med 0,3 meter, 1 meter, 3 meter samt hela lerlagrets mäktighet. Beräkningar har utförts för tidsperspektiven 2, 40 och 100 år.

2.3.5Provtagning av jord och grundvatten

Inventering av förorenade områden samt provtagning av jord och grundvatten har utförts för att kunna bedöma risken för föroreningsspridning och/eller inläckage av förorenat grundvatten på grund av ändrade grundvattenförhållanden kring tunneln.

Provtagning av jord utfördes inom planerade arbetsområden med skruv monterad på borrbandvagn. Jordprover uttogs som samlingsprover varje meter i fyllningsjord ner till dess att naturlig jord påträffades. I den naturliga jorden togs minst ett prov per jordart. Om misstanke förelåg att den naturliga jorden var förorenad togs ytterligare prov. Grundvattenprover togs i 14 rör placerade både i det undre- och i det övre grundvattenmagasinet. Ytterligare beskrivning av provtagningens utförande samt resultat redovisas i Förundersökningsrapport Miljö.

3 Beskrivning av området

3.1 Översiktlig beskrivning

Området karaktäriseras av större slättområden (vid Barkarby flygfält, Barkarby station och kring Igelbäcken) samt höjdpartier. De flesta höjdpartier är mindre men några större sammanhängande förekommer, bland annat vid Akalla och Vålberga (söder om Barkarby station).

Det finns relativt lite befintlig bebyggelse längs sträckningen. Samlad bebyggelse förekommer vid Akalla och Barkarby station. I Järfälla Kyrkby finns radhusbebyggelse och villor. Det finns numera också ett antal stora hus vid Barkarby handelsplats, som är antingen klara eller håller på att byggas.

Sträckningen passerar från Akalla och västerut under Barkarby flygfält där den planerade stationen Barkarbystaden är lokaliserad. På och kring flygfältet planerar Järfälla kommun ny bebyggelse, vilket ingår i uppgörelsen om utbyggnad av tunnelbana.

Sträckningen passerar vidare västerut motorvägen E18, Bällstaån och järnvägen Mälarbanan. Vid Barkarby station ska den nya tunnelbanestationen kopplas samman med pendeltågstationen.

Spårens längd är cirka 2,2 kilometer mellan Akalla och Barkarbystaden samt cirka 1,5 kilometer mellan Barkarbystaden och Barkarby station. Efter Barkarby station fortsätter spåren något, som skydd vid inbromsning.

Eftersom planerad tunnelbana löper längs en lång sträcka har en indelning gjorts i tre delsträckor, se Figur 9. Indelningen baseras i huvudsak på likartade förhållanden avseende tunnelns läge i djupled och geologiska förhållanden (jordlager och djup till berg). Indelningen beaktar även grundvattenförhållanden samt förekomst av potentiella skadeobjekt.

Delsträcka 1: Akalla station-Hägerstalund

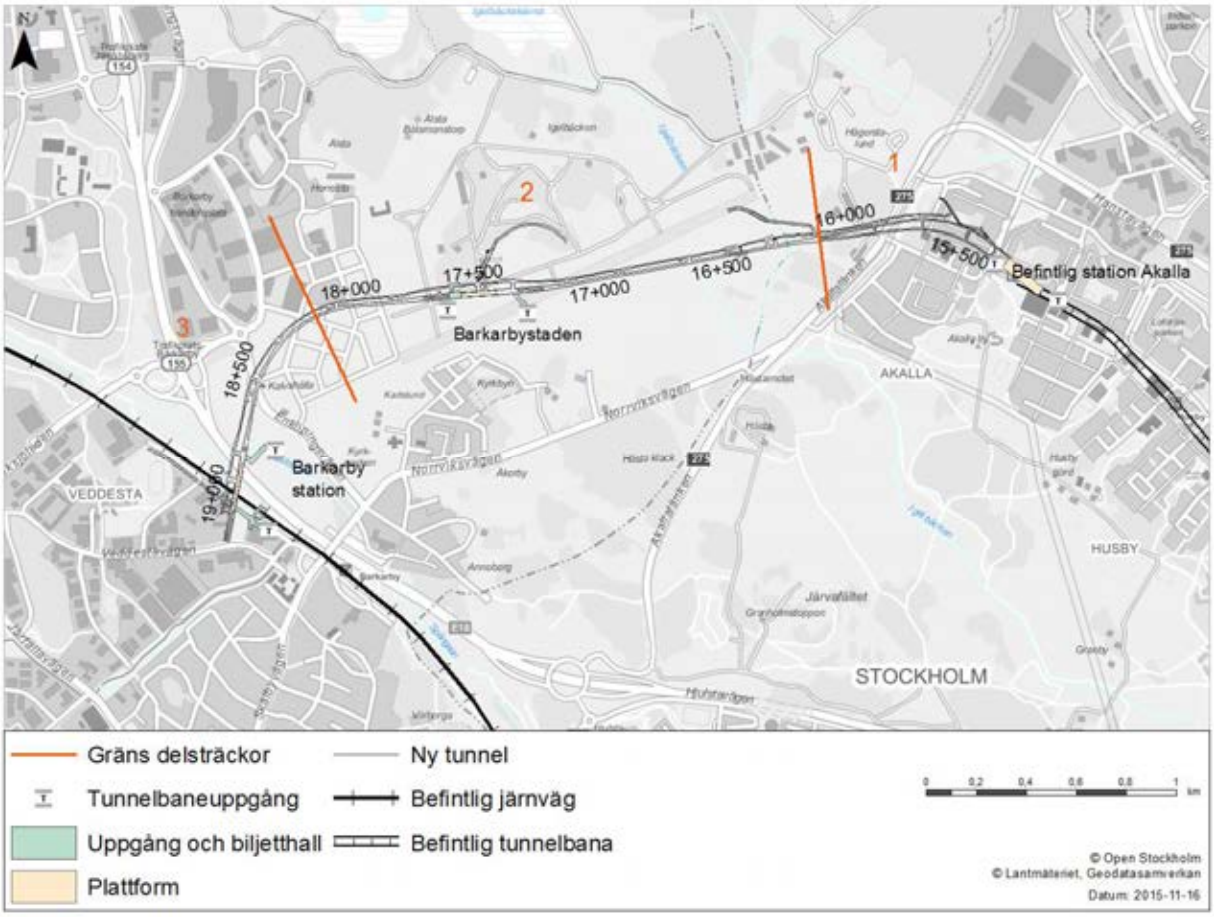
Den befintliga stationen Akalla ligger relativt högt. För att kunna korsa under den planerade vägtunneln för Förbifart Stockholm sänks spårlinjen kraftigt på delsträckan. Berggrundens topografi varierar och även jorddjupen, vilket gör att grundvattenförhållandena också varierar. Längs delsträckan finns samlad bebyggelse och anläggningar som kan utgöra potentiella skadeobjekt.

Delsträcka 2: Hägerstalund – Barkarby handelsplats

På hela delsträckan ligger spårlinjen på ungefär samma djup. Berget ligger relativt ytligt och jordlagren är mestadels tunna. Detta innebär att magasinskapaciteten i jordlagren är begränsad och att inga större sammanhängande grundvattenmagasin förekommer. Inom delsträckan korsas en berggrundsbetingad regional grundvattendelare. Längs delsträckan förekommer få potentiella skadeobjekt.

Delsträcka 3: Barkarby handelsplats – Barkarby station

Djupet till berg varierar kraftigt på delsträckan, och för att erhålla tillräcklig bergtäckning vid Barkarby station sänks därför spårlinjen på sträckan. Partier med stora jorddjup förekommer. Grundvattenytan ligger högt och våtmarker förekommer i lågområden. Större sammanhängande grundvattenmagasin kan förekomma längs Bällstaåns dalgång. Längs delsträckan förekommer mycket bebyggelse och anläggningar som kan utgöra potentiella skadeobjekt.

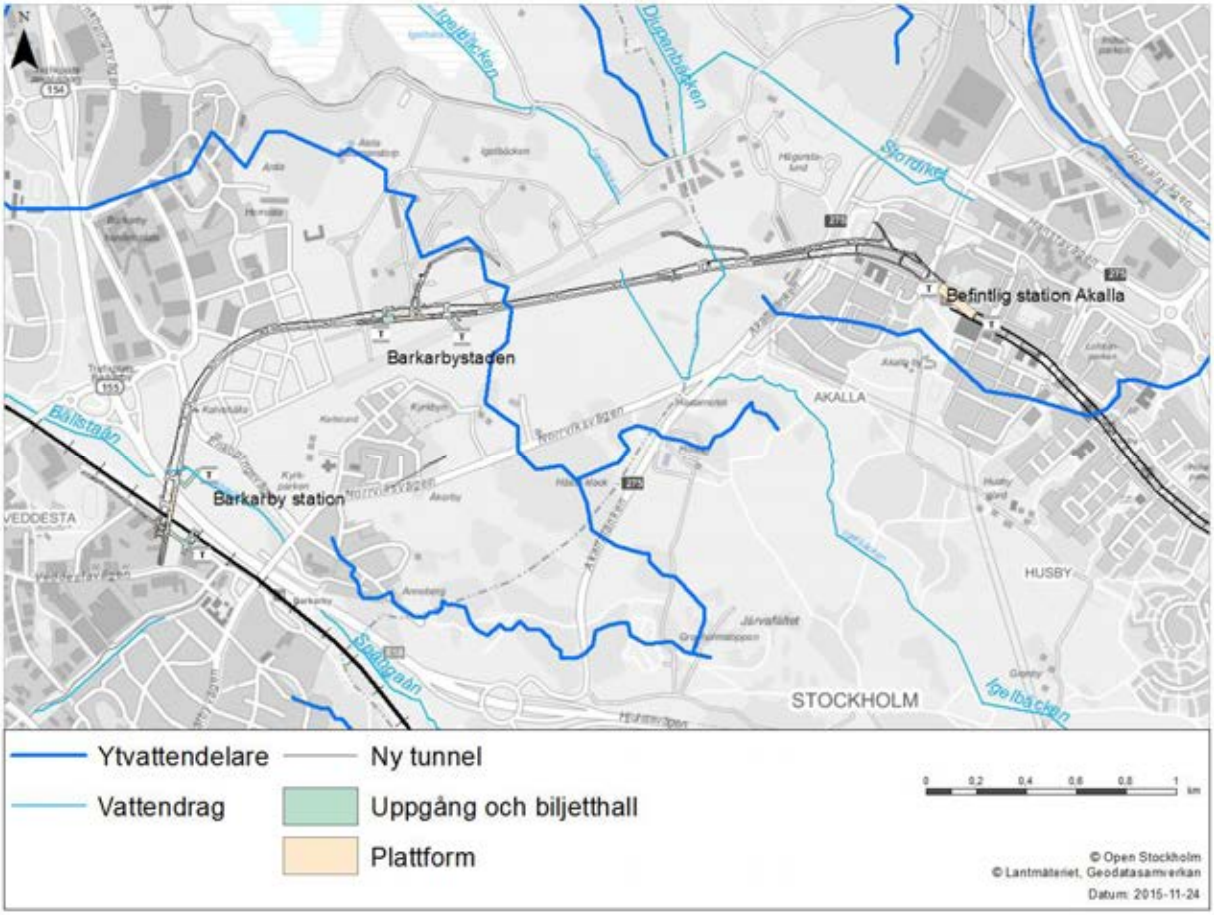


Figur 9. Indelning i delsträckor.

Beskrivningen av området har disponerats med en inledande allmän del följt av områdesvisa redogörelser av förutsättningar och den grundvattenpåverkan som bedöms uppstå inom varje område. Dessa avsnitt har samma disposition och redovisar samma typ av information och man kan välja att endast ta del av ett område utan att missa något underlag eller fakta som presenteras i något annat delområdesavsnitt.

3.1.1 Ytvatten

En regional ytvattendelare löper genom området vid Barkarbyfältet. Barkarbyfältet är inom detta område mycket flackt vilket medför att vattendelaren är svag. Den är diffus och bred, vilket också kan förklara att vattendelaren har definierats med lite varierande läge i olika studier. Sannolikt har marken jämnats av i samband med byggandet av landningsbanan. Den östra delen avvattnas via Igelbäcken mot Östersjön och den västra via Bällstaån mot Mälaren, se Figur 10.



Figur 10. Vattendrag och ytvattendelare.

Igelbäcken rinner från Säbysjön i Järfälla till Edsviken i Solna och har en total längd på 10 km. Delar av Igelbäcken är förlagd i kulvert, bland annat under Barkarby flygplats. Avrinningsområdet är cirka 14,6 km² stort och består mestadels av naturmark och odlad mark samt begränsad del bebyggelse (cirka 2 %). Vattenflödet beror dels av ytavrinning och dagvatten, och dels av Säbysjöns utlopp med reglering. På delar av Igelbäckens totala sträckning är även grundvatteninströmning ett viktigt tillskott. Det största biflödet kommer från Djupanbäcken som löper parallellt med Igelbäcken och ansluter till denna strax väster om Hästa bytomt. Medelvattenföringen i Igelbäcken, vid utloppet, är cirka 100 l/s, medan lägsta flödet är 1,4 l/s och högsta cirka 600 l/s.

Avrinningsområdet för Igelbäcken var större tidigare, men i samband med etablering av bebyggelse inom avrinningsområdet leddes dagvatten över till Järva dagvattentunnel och ut i Edsviken istället för att föras till Igelbäcken. Det sker också ett inläckage av grundvatten till dagvattentunneln, vilket minskar tillskottet av grundvatten till bäcken. Stockholm Vatten AB har uppskattat mängden till 0,4 miljoner m³/år (cirka 13 l/s) och det är beräknat för hela den sträcka av Igelbäcken som påverkas av dagvattentunneln. Det minskade tillskottet av vatten till Igelbäcken har lett till att vattenföringen har minskat. Särskilt sommartid uppstår problem med låg vattenföring och Stockholm Vatten AB tillför vid behov cirka 5 l/s för att förhindra att vattenföringen blir alltför låg i bäcken.

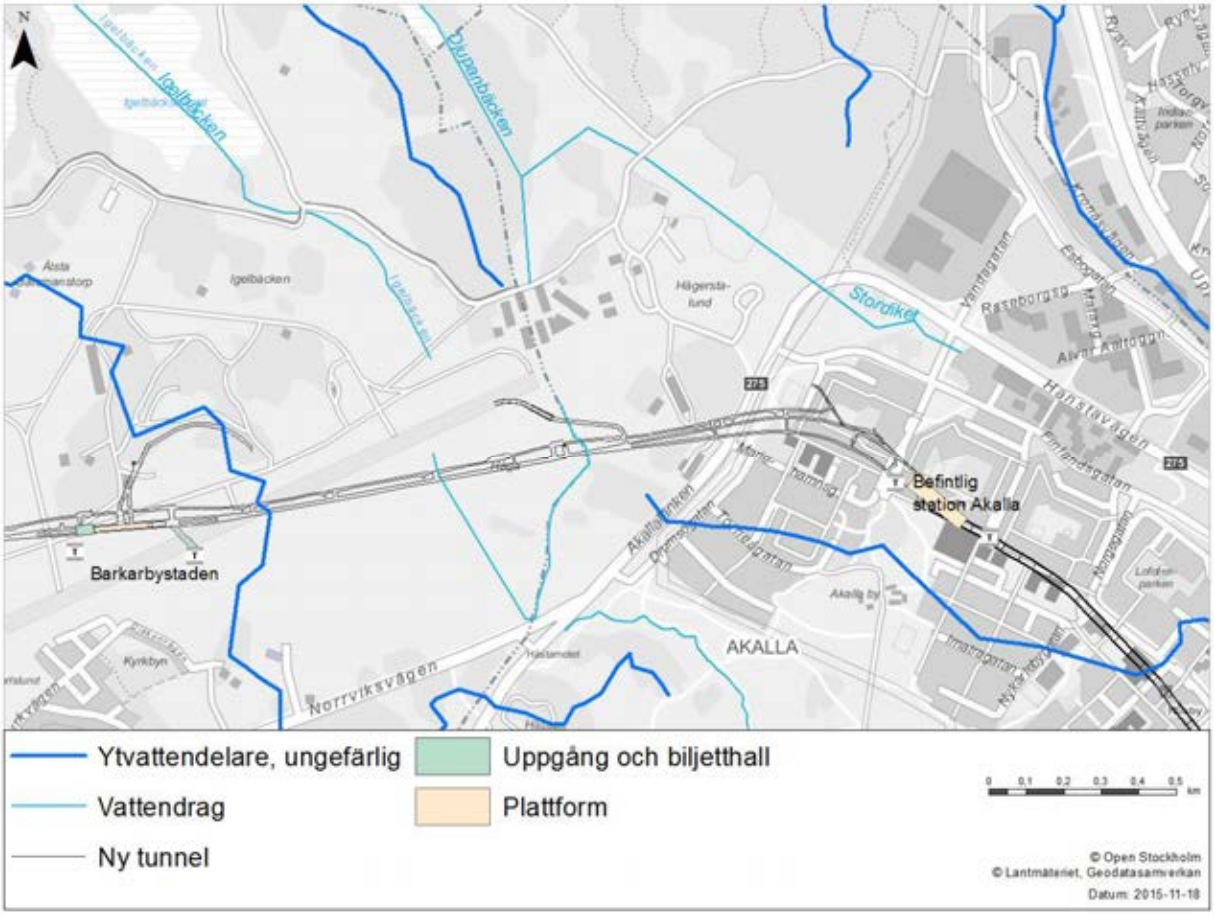
Säbysjön är reglerad vid sitt utlopp, se ovan under miljödomar, vilket påverkar Igelbäcken.

Igelbäcken har relativt höga kväve- och fosforhalter och låga till måttliga halter av metaller. Grundvattnet som rinner till bäcken har förhöjda halter av metaller särskilt i anslutning till Granholmstoppen (tidigare deponi). Det pågår arbete för att förbättra både kvalitet och kvantitet på vatten i bäcken.

Djupanbäcken är ungefär 2 km lång och har sin källa i sjön Djupan i Östra Järvafältets naturreservat. Därifrån rinner den vidare genom Hansta naturreservat för att sedan gå i kulvert under Barkarby flygplats och som öppet dike ned till utloppet i Igelbäcken strax uppströms (norr om) Akallavägen. Ur naturmiljösynpunkt är ett problem med Djupanbäcken dess låga vattenföring, vilken behöver öka både från sjön och från det anslutande Stordiket.

Djupanbäcken har flera biflöden bestående av både mindre och större diken och system. Ett av dem, Stordiket, börjar i Hanstaskogen via ett anslutande dike, korsar Akallalänken och löper via motocrossbanan vidare ut i Djupanbäcken vid Hägerstalund. Vattendragen framgår av Figur 11. Förbi motocrossbanan går diket helt rakt och är delvis lagt i kulvert och delvis öppet.

Avrinningen från diket avleds åt olika håll. På den östra sidan om Akallalänken avleds vatten från Hanstaskogen och vägdagvatten från Akallalänken/Hanstavägen samt det bebyggda området öster om vägen till Järva dagvattentunnel. I kulverten under Akallalänken har ett östligt flöde noterats vid flera tillfällen, vilket indikerar att både flödet öster om vägen samt en begränsad del av dikets flöde västerut går till Järva dagvattentunnel. Resterande flöde i Stordiket västerut går via Djupanbäcken till Igelbäcken. Tillrinningsområdet till Stordiket är idag cirka 0,6 km² stort.



Figur 11. Vattendragen Igelbäcken och Djupanbäcken.

Bällstaån börjar i Jakobsberg och flyter därefter genom Järfälla, Stockholm, Solna och Sundbyberg och leder efter cirka 10 km ut i Bällstaviken. Avrinningsområdet storlek uppgår till cirka 36 km². På sträckan uppströms Barkarby Station är ån belastad med dagvatten från bebyggelse i Järfälla samt av vägdagvatten.

Bällstaån är uträtad samt kulverterad längs flera delsträckor. Ån ingår i flera markavvattningsföretag (se ovan). Medelvattenföringen i ån är 0,250 m³/s vid mynningen.

Åns fallhöjd är endast 10 meter och den saknar strömsträckor. Bällstaån är därför översvämningskänslig och låglänta områden längs ån översvämmas vid höga flöden. Järfälla kommun arbetar med att analysera översvämningsriskerna och planera åtgärder i samband med exploateringen Barkarbystaden II.

Tunneln passerar under Bällstaån vid vilken en uppgång planeras. Detta kräver temporär omläggning, något som hanteras i ett separat ärende via anmälan.

Åkerbykärret är en våtmark belägen vid Hästa klack. Denna ligger uppströms inom en dalgång som dräneras mot området vid Barkarby station där tunnelbanans sträckning går.

3.1.2 Berg

De huvudsakliga bergarterna inom utredningsområdet utgörs av granit, granodiorit av typ Stockholmsgranit och gnejs av sedimentärt ursprung. Det förekommer inslag av pegmatit, amfibolit, syenit och episyenit. Ett flertal olika sprickgrupper förekommer. De sprickmineral som dominerar är kalcit, klorit och olika lermineral.

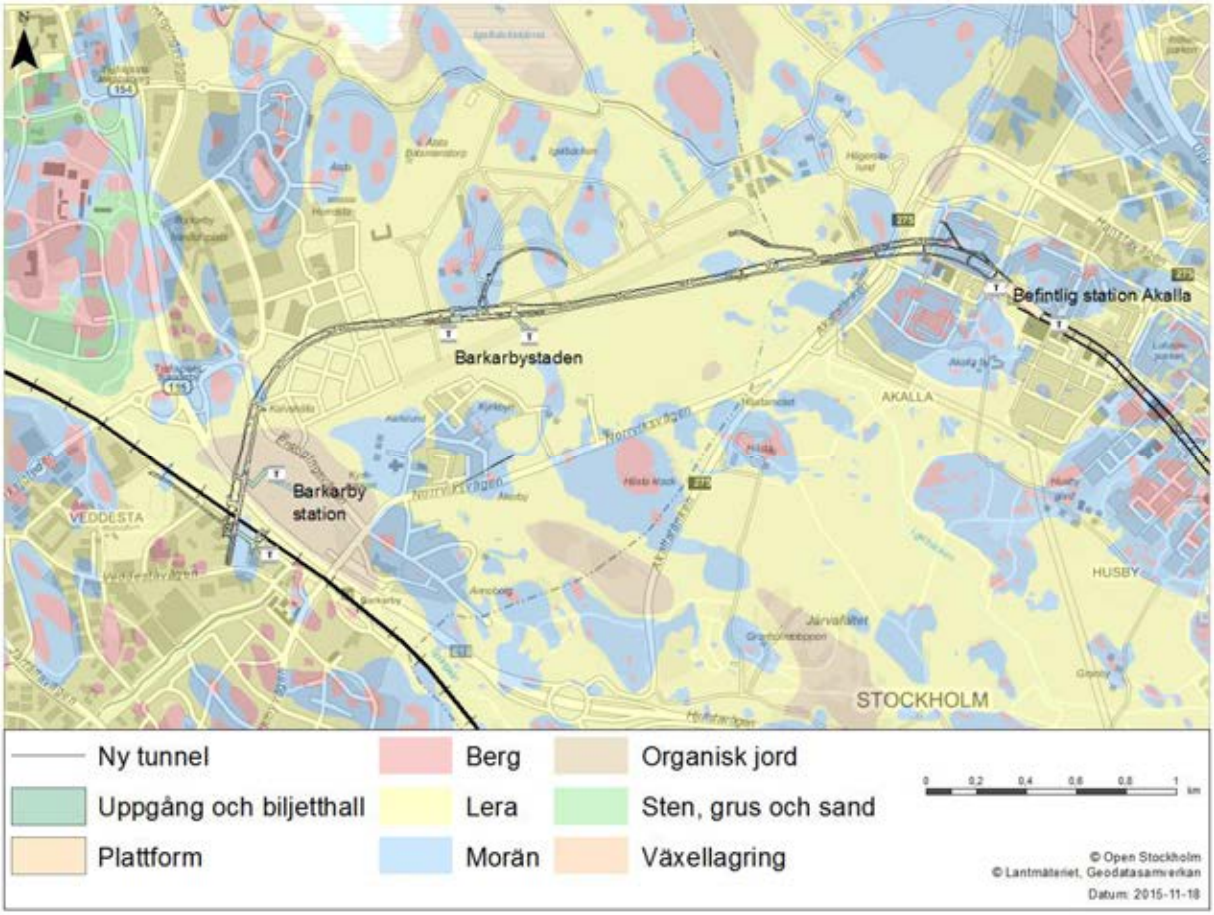
I bilaga C3 redovisas en karta med de svaghetszoner som indikerats antingen genom fältarbeten som utförts inom ramen för projektet, av andra närliggande projekt såsom Förbifart Stockholm eller kartmaterial. Varje möjlig svaghetszon har försetts med ett ID-nummer. De indikerade svaghetszonerna och deras lägen och strykningar är olika väl bestämda. Det kan vara så att två indikerade zoner från olika källor/undersökningsmetoder i själva verket representerar samma fysiska svaghetszon. En beskrivning av kunskapsläget kring respektive indikerad svaghetszon återfinns under respektive delsträcka nedan.

Sex svaghetszoner (id-nummer 1-6 enligt ovan) har tolkats in utifrån resistivitet, seismik och övrig geologisk och hydrogeologisk information. Dessa ses som relativt väl bestämda (troliga). Ytterligare sex svaghetszoner (id-nummer 7-12) har tolkats in med lägre säkerhet, då resultaten av geofysisiska undersökningarna varit mindre säkra). Resterande svaghetszoner har indikerats på underlag från Förundersökningar för Förbifart Stockholm (id-nummer 1-3, 7-9 och 29), SGU:s berggrundskarta (id-nummer 22-36) eller Byggnadsgeologiska kartan (id-nummer 13-21).

3.1.3 Jordlager

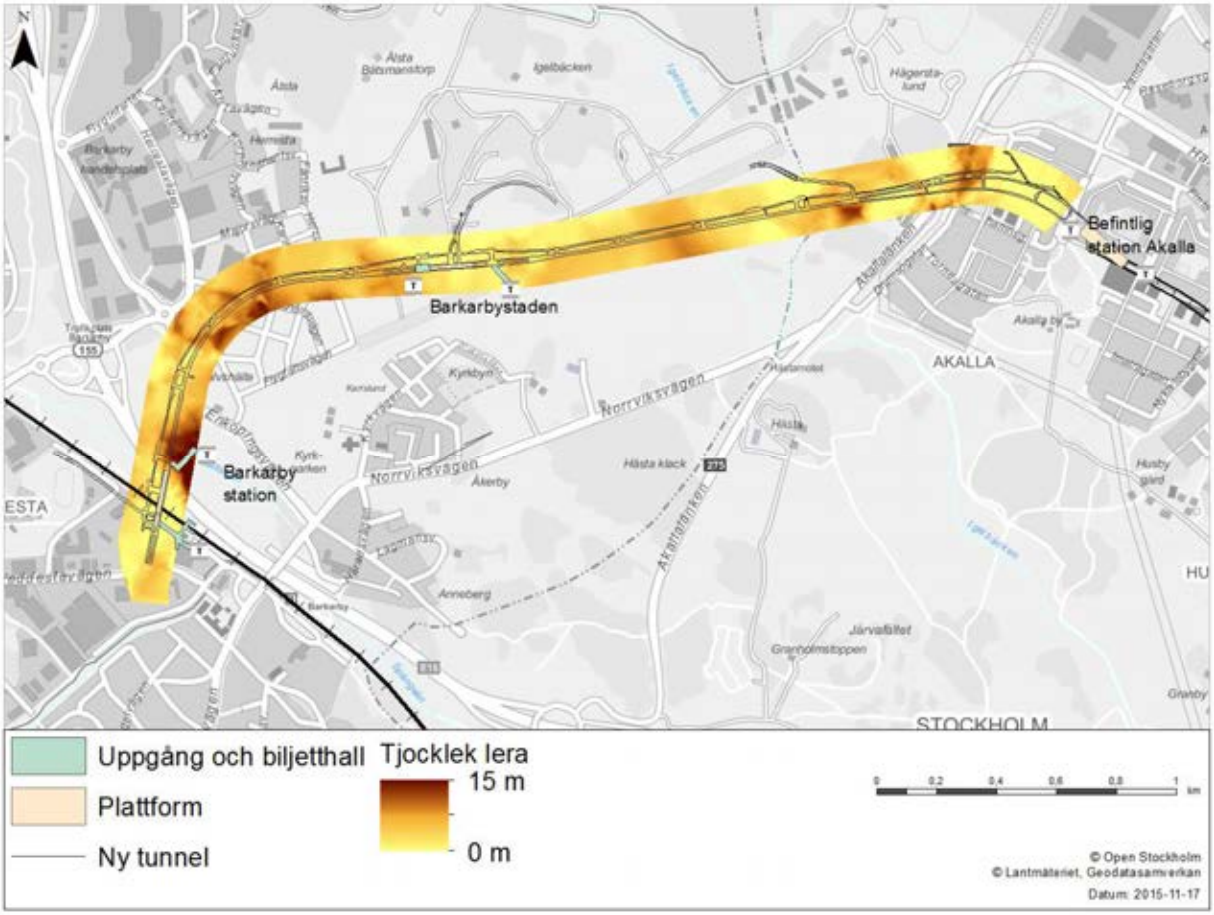
Området karaktäriseras av större sammanhängande lerområden och mindre höjder med berg och morän (se jordartskarta Figur 12). Under leran ligger friktionsjord, ibland klassad som morän, av varierande sammansättning, från relativt finkornig (siltig-sandig) till grovkornig (sandig-grusig).

Det förekommer också lågpartier i terrängen med organisk jord vid markytan, alltså torv, dy eller gyttja/gyttjelera. Dessa återfinns norr om planerad sträckning, vid Säbysjön samt söder om Hästa klack (Åkerbykärret) och vid Barkarby station.



Figur 12. Jordartskarta.

Friktionsjordens sammansättning och lerans sättningskänslighet har undersökts så att påverkan av grundvattensänkning kan beräknas. Lerdjupet längs tunnelsträckningen varierar liksom djupet till berg, se karta i Figur 13. Jordlagerförhållanden beskrivs mer i detalj för respektive delsträcka.



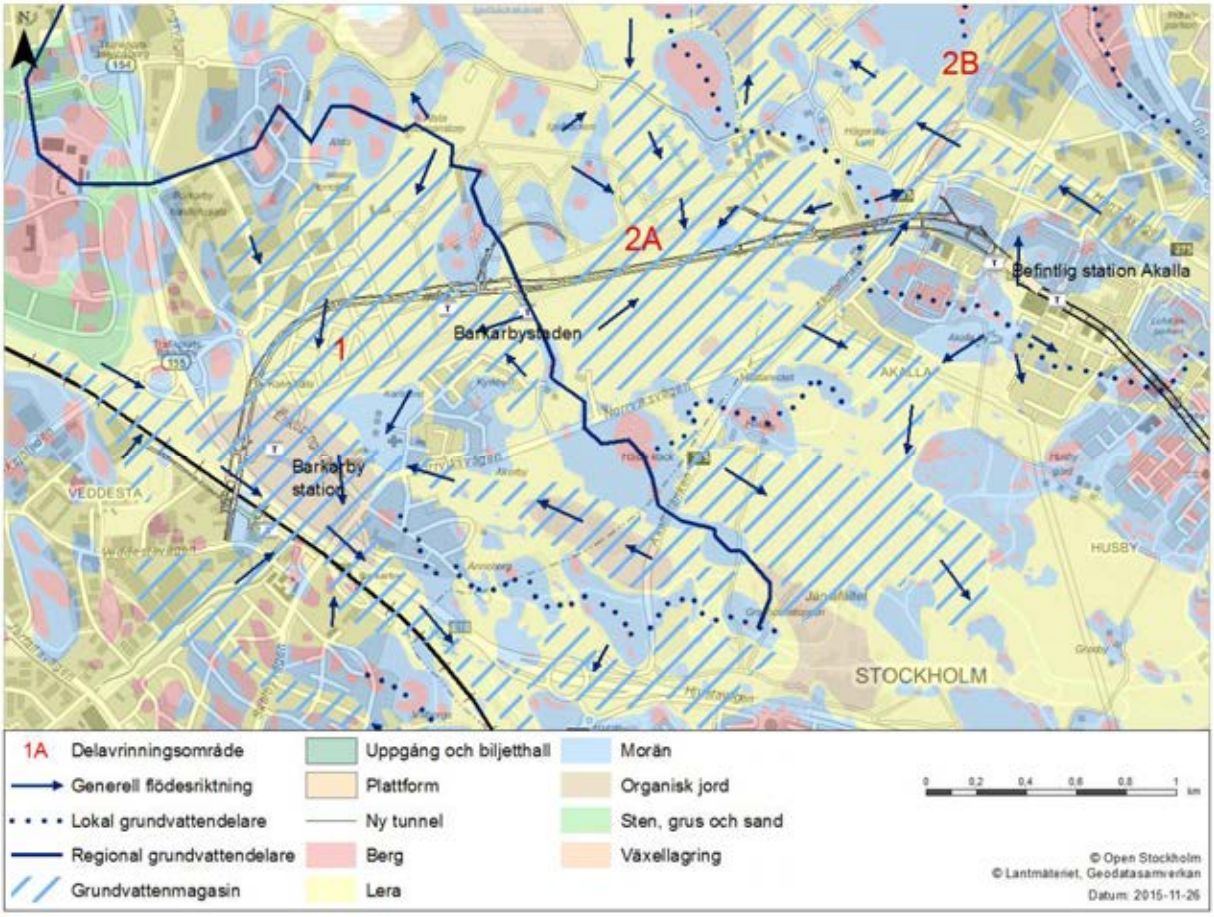
Figur 13. Lerdjup längs med anläggningen.

3.1.4 Grundvatten

Grundvatten förekommer såväl i de lösa jordlagren som i berggrunden. Grundvattensystem i jord finns främst i friktionslager under lerområdena. Dessa är överlag småskaliga med liten magasinskapacitet. Större sammanhängande magasin bedöms förekomma i områden med mäktigare jordlager, t.ex. vid Barkarby station. Inga grundvattenförekomster enligt Ramdirektivet för vatten finns avgränsade inom utredningsområdet varför inga bedömningar av sådana görs. Inte heller något nyttjande för dricksvattenändamål förekommer. Grundvattenförhållandena beskrivs mer i detalj för respektive delsträcka.

3.1.4.1 Grundvattennivåer och -strömning

Med stöd av utförda grundvattennivåmätningar samt tolkningar av geologisk data har en analys av grundvattensystemet i jord gjorts. Denna visar att en regional grundvattendelare, som är betingad av höga berggrundslägen, går över Barkarbyfältet. I likhet med ytvattenförhållandena (se 3.1.1) är den diffus och utgör en bred zon. I området vid grundvattendelaren är jordlagren tunna och friktionslager förekommer inte under leran överallt. Något sammanhängande grundvattenmagasin bedöms därför inte finnas vid grundvattendelarzonen. Sammanhängande grundvattenmagasin förekommer främst i områden med mäktigare jordlager såsom dalgångarna där vattendragen Djupan, Igelbäcken och Bällstaån löper. Grundvattnet öster om grundvattendelaren avrinner via Igelbäckens dalgång mot sydost. Grundvattnet väster om vattendelare avrinner mot Bällstaåns dalgång och vidare längs denna mot sydost. En indelning i grundvattenområden 1 och 2 baseras på denna huvudvattendelare. Grundvattenmagasinet i dalgången med Djupan och Djupanbäcken och Stordiket, 2B, är skiljt från grundvattenområde 2A genom en grundvattendelare. I Figur 14 redovisas en karta med de hydrogeologiska huvuddragen.



Figur 14. Karta med de hydrogeologiska huvuddragen.

Utströmningsområden för grundvatten, med höga grundvattennivåer, förekommer i områden nära Bällstaån och i våtmarksområdena i Djupandalgången samt söder om Hästa klack. Att utströmning av grundvatten sker till ytvatten illustrerar att det finns interaktion mellan grundvatten och ytvatten. Det omvända förhållandet med tillskott av grundvatten till Igelbäcken har konstaterats (se 3.1.1). Inströmning och nybildning av grundvatten sker främst i moränen, d.v.s. inom höjdpartierna och i randzonerna runt dessa.

Variationen i grundvattennivå över tid har studerats med stöd av utförda mätningar. I vissa områden förekommer relativt stora variationer, på upp till 2 - 2,5 meter. Nivåvariationen är dock liten i utströmningsområdena. I Förundersökningsrapport Hydrogeologi redovisas diagram med grundvattennivåer för samtliga observationsrör i jordlager som ingår i kontrollprogrammet. Diagram med grundvattnets nivåvariation har upprättats för de olika grundvattenområdena.

Grundvatten i berg är knutet till de vattenförande svaghetszonerna (bilaga C3) Dessa kan vara mer eller mindre vattenförande. Vissa svaghetszoner är testade med vattenförlustmätningar och provpumpningar.

3.1.4.2 Jordlagrens och berggrundens vattenförande förmåga

En sammanställning av resultaten från utförda fältundersökningar redovisas i Bilaga C6. Baserat på dessa resultat samt erfarenheter från närområdet har värden på jordlagrens och berggrundens vattenförande förmåga valts.

För genomförda modellberäkningar har konduktiviteten för lera ansatts till 2×10^{-9} m/s och för morän till 1×10^{-6} m/s. För berg har konduktiviteten varierats mellan 1×10^{-7} och 2×10^{-8} m/s. Tolkade svaghetszoner och svaghetszoner har ansatts med högre konduktivitet, 5×10^{-7} m/s.

Injektering kring tunnelutförande har ansatts med en konduktivitet på mellan 1×10^{-8} och 5×10^{-9} m/s, medan injektering i svaghetszoner ansatts till 5×10^{-8} m/s. I ytnära berg och berg i dagen i höjdområden har konduktivitet mellan 1×10^{-8} till 5×10^{-8} m/s ansatts då det kan anses att berget är av bättre kvalitet i dessa höjdområden (Bilaga C6).

Mätningar i kärnborrhål

Erhållna konduktivitetsvärden varierar mellan $5{,}7\times10^{-6}$ till $2{,}3\times10^{-11}$ m/s för individuella sektioner. För hel – och halvhålsmätningarna varierar uppmätta konduktivitetsvärden mellan $2{,}3\times10^{-6}$ till $6{,}2\times10^{-8}$ m/s.

För KBH01 och KBH03 ger helhålsmätningen och halvhålsmätning utförd på nedre delen av borrhålet samma resultat. Huvuddelen av inflödet kommer således ur hålets nedre del. För KBH02 ger helhålsmätningen nästan fyra gånger så mycket vatten som halvhålsmätningen i den nedre delen. Här noteras ett kraftigt tillflöde ifrån det ytliga uppspruckna berget från sektionen direkt under foderröret.

Mätningar i hammarborrhål

Erhållna konduktivitetsvärden från hammarborrhålen varierar med över tre tiopotenser, mellan $1{,}6\times10^{-6}$ (15RTBH11) och $2{,}3\times10^{-11}$ (15RTBH16) m/s. Dock ligger lägsta uppmätta värdet under det för metoden minsta mätbara på $6{,}0\times10^{-10}$ m/s och resultatet bör därför tolkas med försiktighet.

Provpumpningar

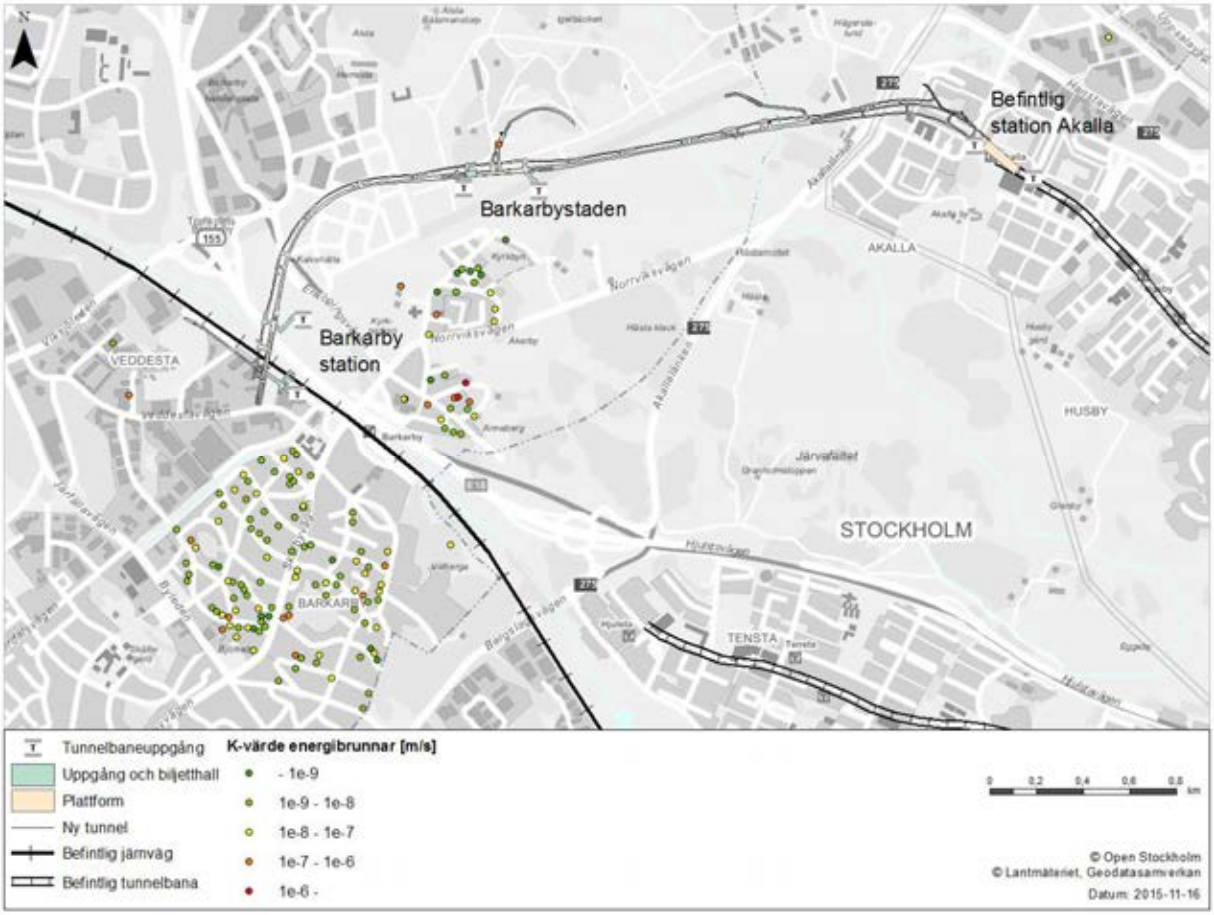
Utförda provpumpningar visar att friktionsmaterialet under leran är relativt genomsläppligt med ett transmissivitetsvärde som varierar mellan $3{,}4\times10^{-4}$ till $1{,}7\times10^{-5}$ m^2/s (motsvarande hydraulisk konduktivitet på $5{,}6\times10^{-6}$ till $1{,}4\times10^{-4}$ m/s), se vidare Bilaga C6.

Data från energibrunnar

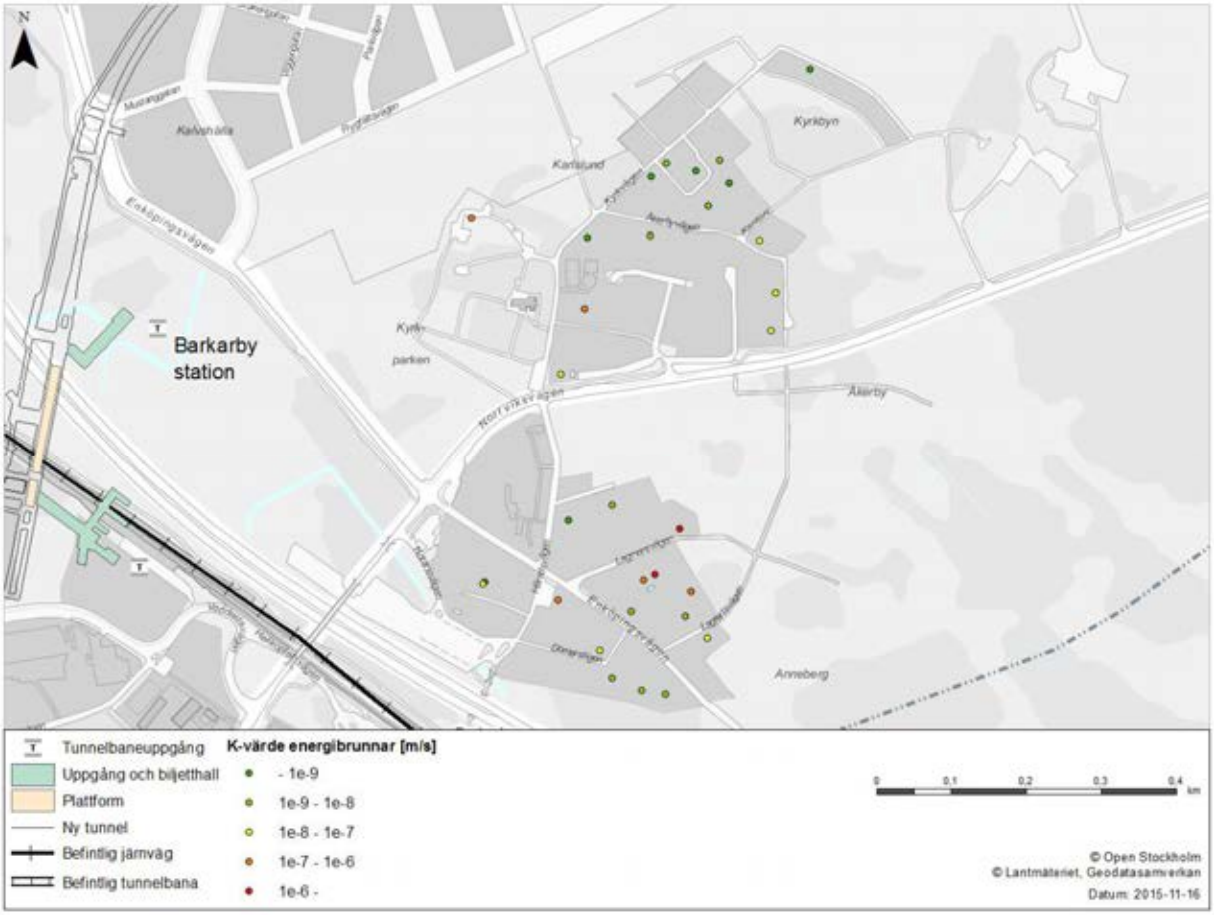
För brunnarna inom området är den framräknade medelkonduktiviteten $1{,}1\times10^{-8}$ m/s (geometriskt medelvärde). Högsta noterade konduktivitetsvärde är $3{,}3\times10^{-6}$ och det lägsta noterade värdet på $5{,}0\times10^{-10}$ m/s. I Figur 15 till 17 illustreras konduktivitetsfördelningen för inventerade områden. Konduktiviteten är beräknad utifrån data från befintliga energibrunnar.

Energibrunnarna är installerade där det finns bebyggelse, vilken främst är belägen inom utredningsområdets höjdpartier. Energibrunnarna bedöms därför representera områden med berg i dagen eller berg under tunt moräntäcke.

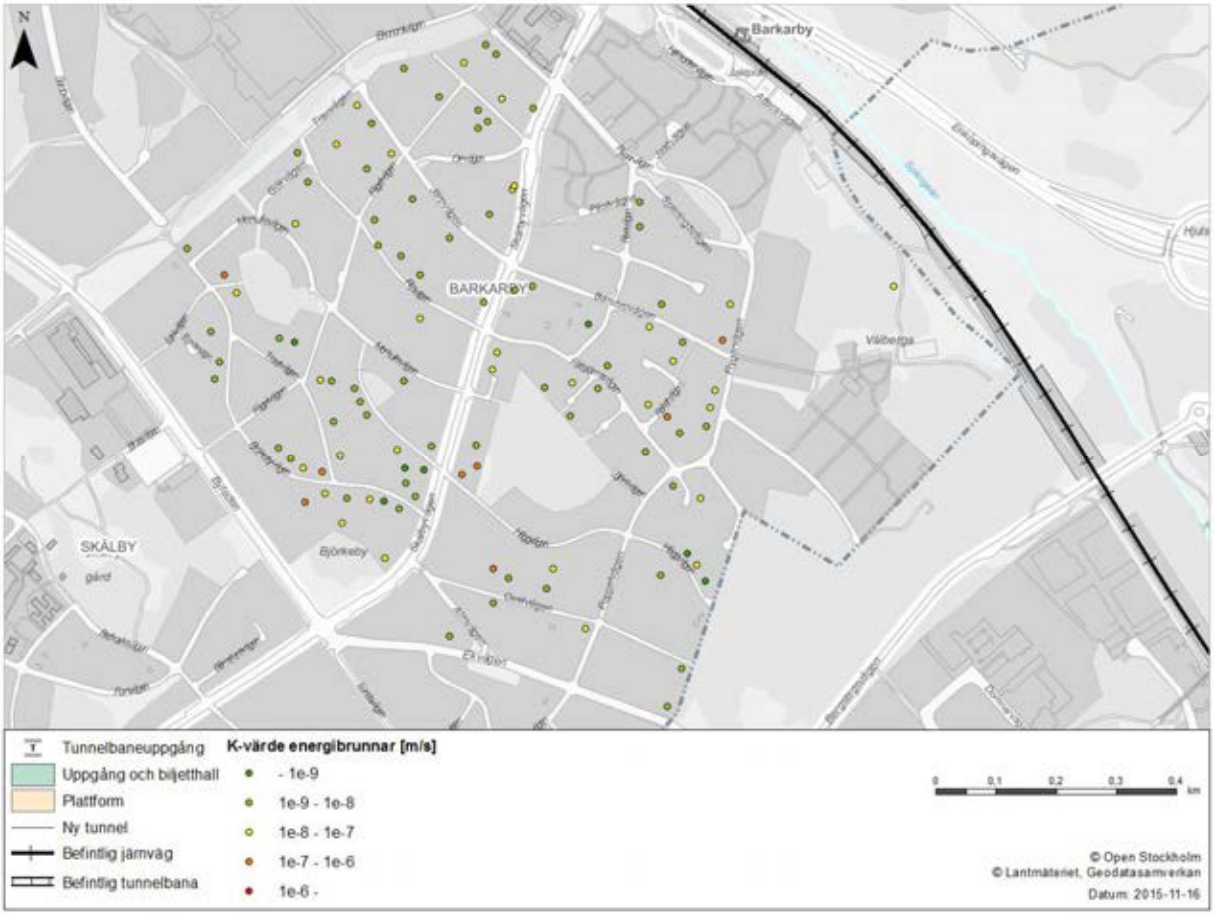
Det är i lågpartierna som berget förväntas vara av sämre kvalitet, och där finns få energibrunnar.



Figur 15. Konduktivitet i berg inom område Järfälla Kyrka (norr om väg E18) och Barkarby (söder om väg E18).



Figur 16. Konduktivitet i berg inom område Barkarbystaden/Järfälla kyrkby.



Figur 17. Konduktivitet i berg inom område Barkarby.

3.1.5 Vattenbalans

Vattenbalanser har ställts upp för de två huvudsakliga avrinningsområdena för grundvatten (delområde 1 och 2), se Figur 14. Beräknad total avrinning för de två avrinningsområdena jämförs med beräknat inläckage till tunneln i tabellen nedan.

Den potentiella grundvattenbildningen (infiltrationen) har ansatts till 200 mm/år i likhet med vad som använts i modelleringsarbetet. Områdets ytliga jordlager domineras av lera men även morän förekommer. Moränförekomsterna är främst lokaliserade intill höjdområdena vilka ofta utgörs av berg i dagen. Storleken av den bebyggda ytan/hårdgjorda ytan inom varje delavrinningsområde påverkar också grundvattenbildningen, vilken normalt bör reducerats med hänsyn till avrinning till dagvattensystem. Delar av avrinningsområdet är idag obebyggt men stora förändringar av den bebyggda ytan sker löpande. Hänsyn till andelen bebyggda områden inom de olika delområdena har i dagsläget inte tagits då det bedöms vara en ständigt ökande siffra.

Den totala avrinningen för de olika avrinningsområdena varierar under året men också från år till år vilket påverkar inläckaget till tunneln. Beräkningarna är utförda för ett genomsnittligt år.

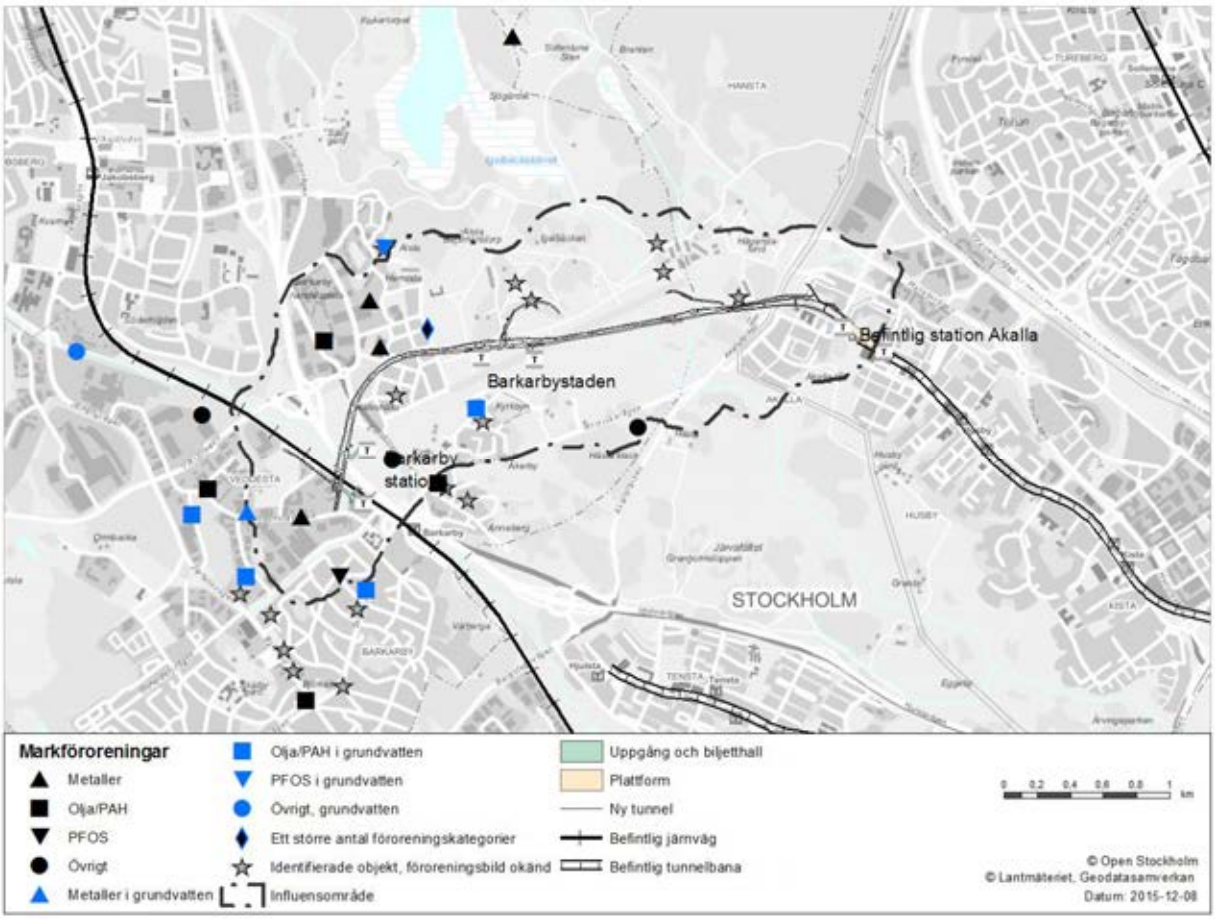
Tabell 1 Avrinning från delområde 1 och 2

	Area (m^2)	Total avrinning (mm/år)	Total avrinning (m^3/år)
Delområde 1	4 662 367	200	932 473
Delområde 2	7 535 939	200	1 507 188
		Totalt:	2 439 661

Tunneln för tunnelbana Akalla-Barkarby kommer att dränera grundvatten både från avrinningsområde 1 och 2.

3.1.6 Föroreningar

Det har pågått verksamheter inom området som kan ha påverkat mark och grundvatten. Inventering av kända objekt har genomförts och redovisas i Figur 18.



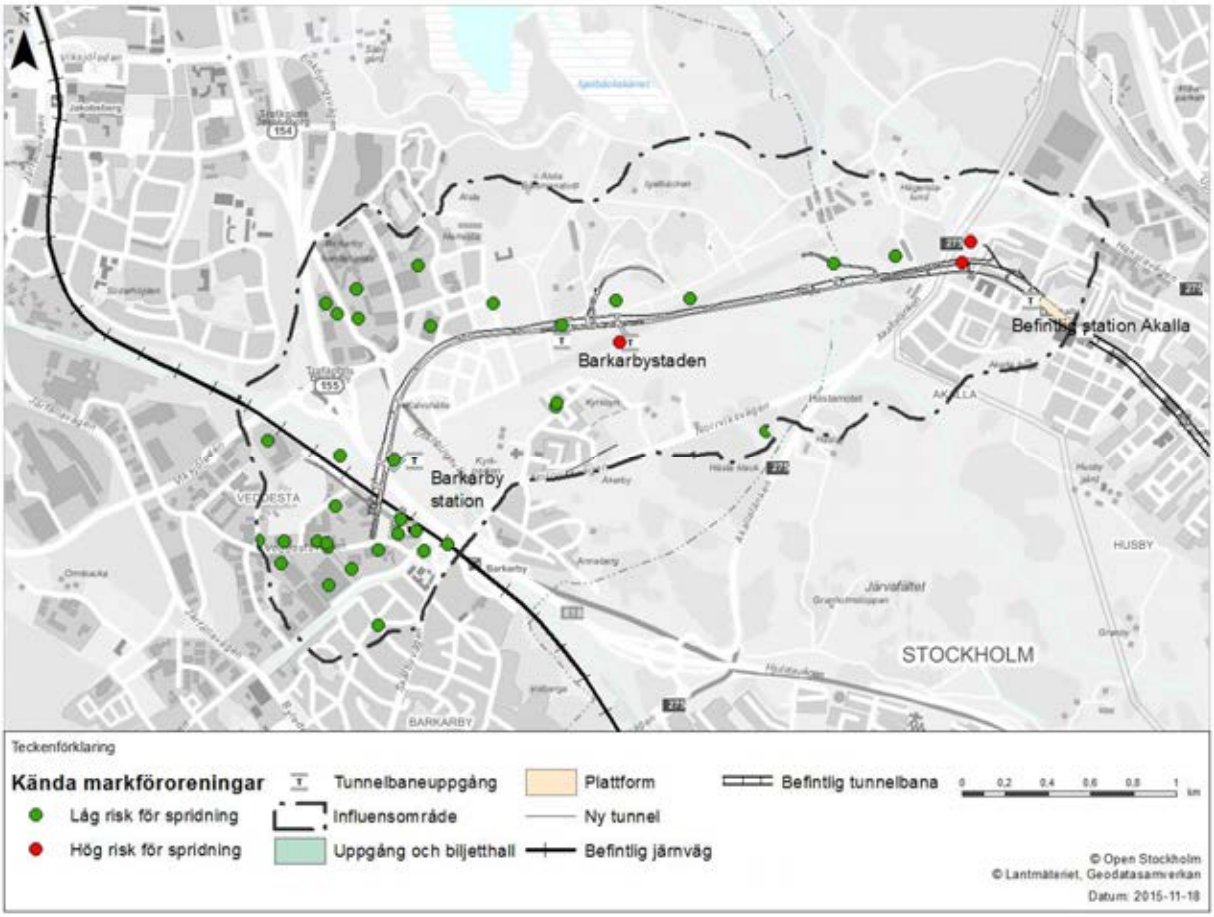
Figur 18. Identifierade objekt där föroreningar har påträffats eller misstänks förekomma.

Tunnelbanans planerade sträckning berör markområden som delvis är av stark urban karaktär men även områden som utgörs av åkermark. De urbana områdena kan delas in i tre delområden; industriområde vid Barkarby/Veddesta, flygfält och militär verksamhet vid Barkarbyfältet samt bostadsområde/idrottsplats vid Akalla. Den dominerande jordlagerföljden är fyllnadsmaterial på lera ovan friktionsjord. På flygfältet och åkermarken finns inom vissa områden ingen fyllnadsjord.

En översiktlig inventering och markundersökning har genomförts inom områden med såväl känd miljöbelastning som områden som inte misstänkts vara förorenade, men som kommer att tas i

anspråk av projektet. Inom projektet inkluderas i den ianspråktagna marken de områden där schaktarbeten kommer att behöva utföras samt de områden som kommer att nyttjas som etableringsytor och tillfartsvägar.

Föroreningshalten i jorden inom området är generellt låg och de flesta provpunkter klassas som rena. De högsta halterna påträffades i området vid fotbollsplanen vid Stenhagsskolan med främst PAH: er och aromater i marken. Här påvisades även alifater, aromater och PAH i grundvattnet. I området runt flygfältet har främst föroreningar i form av alifater, aromater och PAH påträffats. I grundvattnet är halterna relativt låga men en viss påverkan kan ses, främst av nickel i det djupare liggande vattnet inom Barkarby/Veddesta och av bekämpningsmedel inom området vid flygfältet.



Figur 19. Resultat av genomförd markprovtagning.

3.1.6.1 Riskvärdering

Utförd klassning avseende risk för spridning av föroreningar visar enligt använd modell generellt på en låg risk inom hela området undantaget området vid idrottsplatsen i Akalla och området vid flygfältet där militär verksamhet har pågått. Orsaken till den förhöjda risken inom dessa två områden är förhöjda halter av olja i marken vid flygfältet och förhöjda halter av olja i grundvattnet vid Akalla samt att föroreningarna, inom båda områdena, påträffats i fyllnadsmaterial utan underlagrande lera och i direkt anslutning till planerad schakt. I praktiken ses ingen risk med avseende på påverkan på grundvattnet eller mobilisering och spridning via grundvattnet från dessa två områden. Dels förekommer påträffade föroreningar i relativt låga halter, dels kommer de förorenade massorna att schaktas bort och källan till eventuell spridning kommer att försvinna.

Övriga ämnen som påträffats i grundvattnet men som enligt riskvärderingsmodellen hamnar i en låg risk är nickel, bekämpningsmedlet atrazin och PFOS och PFOA. Det grundvatten i vilket samtliga prover är tagna förekommer i jordprofilen ovan berg. För att detta vatten ska kunna

spridas ned till tunneln måste det tränga igenom den bergtäckning som finns ovan tunneln. Detta medför att en eventuell spridning av föroreningar i grundvattnet till tunneln kommer att ske mycket långsamt samtidigt som en stor utspädning av annat tillrinnande grundvatten sker. De halter som eventuellt kommer att finnas i det grundvatten som tränger in i tunneln kommer därmed att vara mycket låga. Innan inläckande vatten i tunneln når en utsläppspunkt till recipient kommer ytterligare utspädning att ske varför den föroreningshalt som påträffats i grundvattnet i utförd undersökning är försumbar.

3.2 Delsträcka 1, Akalla station - Hägerstalund

3.2.1 Jordlager

Delsträcka 1 präglas generellt av förhållandevis små jordmäktigheter. Fastmarkspartier med berg i dagen eller ytnära berg omgärdas av leror av ringa mäktighet som i sin tur överlagrar ganska tunna friktionslager ovan berg. De ytliga friktionsjordarna består oftast av sandig morän som i förekommande fall kan vara både rikblockig och storblockig. Organiska jordar kan också påträffas i ytlagren i linjens närhet. Lokala exempel på förväntade jordlagerföljder redovisas i Bilaga C2, Jord- och bergsektioner.

Mellan fastmarkspartierna i höjd med skärningen Hanstavägen/Akallalänken påträffas större lerdjup i nära anslutning till sträckningen, uppemot 10 meter lokalt. Ca 150-200 meter norr därom förekommer mäktigare leror mer utbrett och ibland överlagras dessa leror av organiska jordar i form av kärrtorv och gyttja.

Under delsträckans västligaste 400 meter passeras ytterligare ett par fastmarkspartier. Mellan dessa förekommer lera med mäktigheter på mellan 0 och 4 meter ovan lager av friktionsjord på mellan 0 och 5 meter.

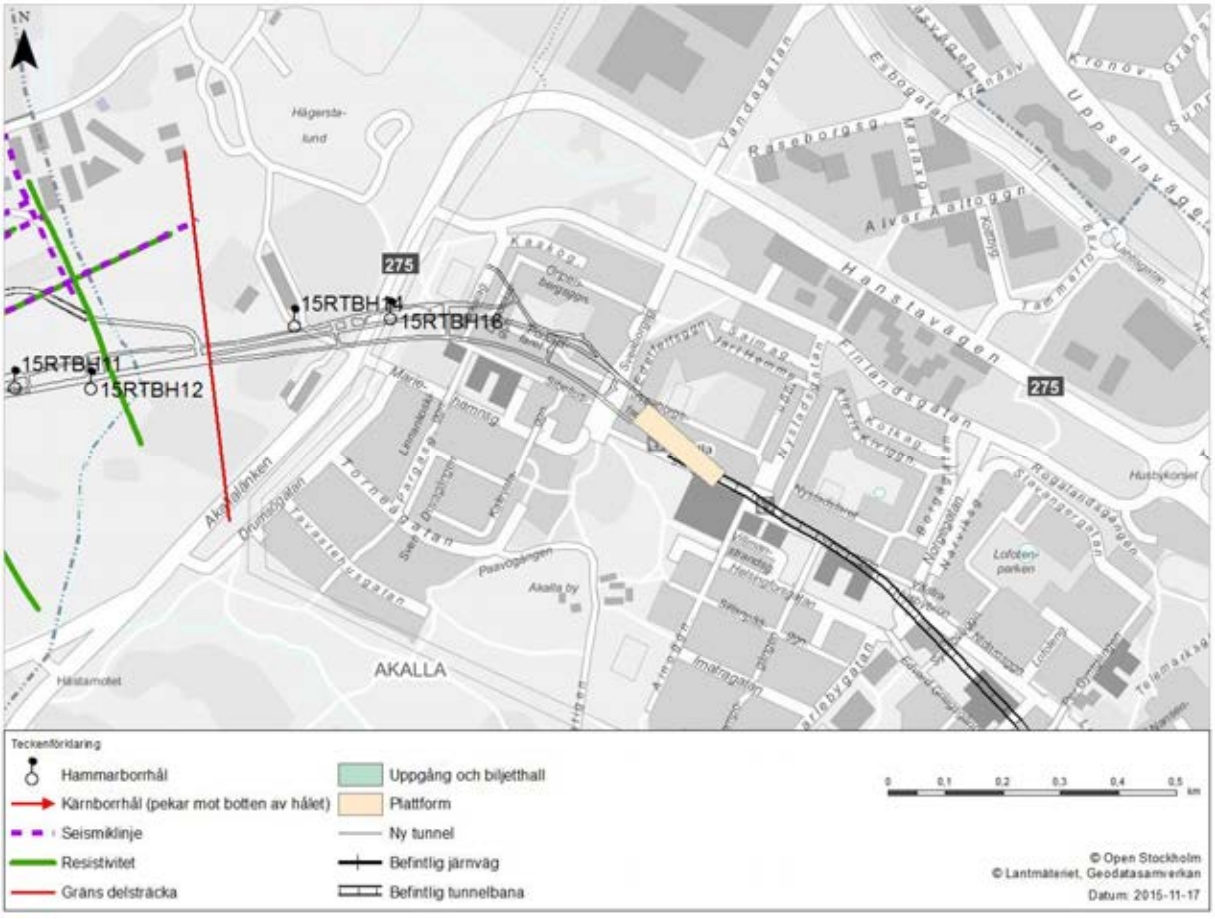
Lerans egenskaper har särskilt undersökts i anslutning till skärningen Hanstavägen/Akallalänken och områdena norr om denna. Organiska ytskikt förekommer här och tilltagande lermäktigheter motsvarar en sättningsbenägenhet som ökar med avståndet till fastmarkspartier. De största beräknade sättningarna baseras på lerprover från området ca 150 m norr om anläggningen, alldeles i skärningen Akallalänken/Hanstavägen. Här motsvarar en teoretisk grundvattensänkning med 0,3 m totalsättningar i storleksordningen 0,05-0,1 m om leran överstiger 5 m mäktighet. Av dessa är omkring 3 cm att förvänta under de första två åren. Vid 1,0 m teoretisk grundvattensänkning blir motsvarande totalsättning i storleksordningen 0,1-0,3 m med en sättningsutveckling under de första två åren på omkring 7 cm. Se vidare Förundersökningsrapport Geoteknik.

3.2.2 Berg

I Akallaområdet består berggrunden huvudsakligen av starkt migmatitiserad gnejs av sedimentärt ursprung. Sprickomvandlingen är generellt svag och kalcit och klorit dominerar som sprickmineral. De dominerande sprickgrupperna i Akallaområdet är nordvästlig med brant stupning, sydostlig med subhorisontell stupning och sydvästlig/nordostlig med subvertikal stupning.

Förundersökningar som genomförts för delområdet innefattar, se Figur 20:

- Kartering av arbetstunnel i befintlig arbetstunnel vid Akalla station, ca 180 m.
- Kartering av tunnel (väggar och tak täckta av sprutbetong) i befintlig spårtunnel vid Akalla station, ca 30 m.
- Två hammarborrhål har utförts.



Figur 20. Lägen för bergundersökningar.

Hammarborrhålen har filmats och sprickkarterats samt vattenförlustmätts, se Tabell 2.

Indikerade svaghetszoner med ID-nummer 27, 28, 30 och 36 (se karta i bilaga C3) har sådana lägen och riktningar (strykningar) att de skulle kunna beröras av delsträcka 1 av planerad anläggning. Informationen om dessa möjliga svaghetszoner kommer endast från Byggnadsgeologiska kartan och deras exakta läge och utsträckning bör därför betraktas som osäkra. I förundersökningarna för Förbifart Stockholm har inga svaghetszoner som skulle kunna skära aktuell delsträcka noterats.

Tabell 2. Resultat av vattenförlustmätningar i hammar- och kärnborrhål längs delsträcka 1.

Borrhål	Antal sektioner med mätbart resultat/ antal testade sekt.	Hydraulisk konduktivitet (m/s)						
		Maximum	Minimum	Helhåls-test	Halvhåls-test	Aritmetiskt medel-värde*	Geometriskt medel-värde*	Median*
15RTBH14	11/11 st. (1,80 bar)	$9{,}78\times10^{-7}$	$9{,}86\times10^{-11}$			$2{,}29\times10^{-7}$	$5{,}39\times10^{-8}$	$9{,}15\times10^{-8}$
15RTBH16	13/13 st. (1,95 bar)	$4{,}93\times10^{-7}$	$2{,}28\times10^{-11}$			$4{,}92\times10^{-8}$	$2{,}95\times10^{-9}$	$4{,}01\times10^{-9}$

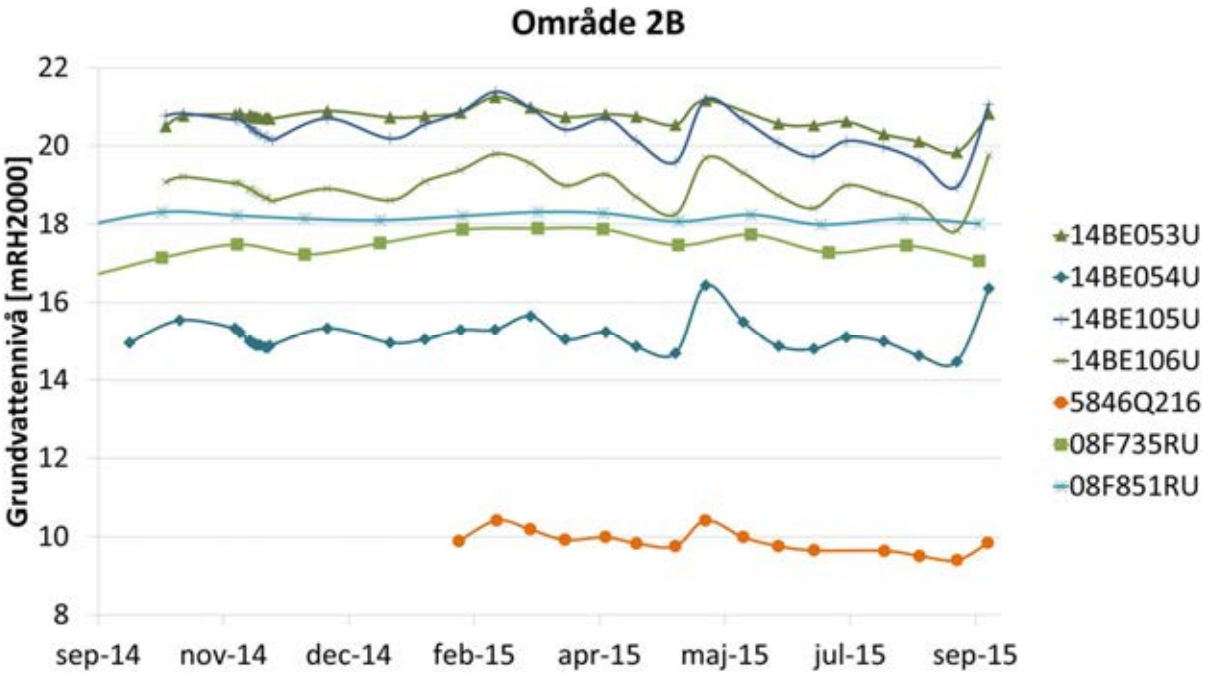
* medel-/medianvärde beräknade på data från testade individuella sektioner, helhåls- och halvhålsvärden ej medräknade

3.2.3 Grundvatten

En lokal grundvattendelare löper i SO-NV riktning genom området. I dalgången norr och öster om grundvattendelaren breder grundvattenområde 2B ut sig (se Figur 14). I de genomsläppliga lagren under leran i dalgången återfinns ett grundvattenmagasin med principiell strömning åt nordväst. Grundvattennivåerna ligger förhållandevis nära markytan och utströmning sker lokalt i våtmarker. Från det förhållandevis höglänta Akalla följer grundvattenströmningen topografin och de nordliga strömmarna avvattnas mot dalgången och mot magasinet. I höjd med Hanstavägens krökning, där dränering sker mot Järva dagvattentunnel, finns en lågpunkt i grundvattenmagasinet. På sluttningen nordost om magasinet ligger Hansta Natura 2000-område. Här förekommer partier med regnvatteninfiltrering och grundvattenbildning (inströmningsområden) såväl som partier där grundvatten strömmar upp till markytan och förs bort i dikessystemen (utströmningsområden). Strömningen följer sluttningens riktning ner mot dalgången och därefter den generella riktningen i grundvattenmagasinet.

Nivåmätningar i rör visar på variationer på uppemot 2,5 m på flera håll inom grundvattenområde 2B, bl.a. i anslutning till fastmarkspartiet strax norr om tunnelsträckningen, ungefär där Hanstavägen blir Akallalänken (se även Figur 21).

I och med de provpumpningar som utförts av Trafikverket inom ramen för projekt Förbifart Stockholm, har det kunnat konstateras att grundvattenmagasinet i jord är sammanhängande längs dalgången.



Figur 21. Grundvattennivådiagram för delavrinningsområde 2B. Koderna motsvarar namn på olika grundvattenrör (se Bilaga C4 för lägen).

3.2.4 Vattenbalans och objekt som påverkar vattenbalansen

3.2.4.1 Grundvatten

Grundvattensituationen i området är påverkad av ett flertal undermarksanläggningar och ledningar. Den befintliga tunnelbanan som går fram till Akalla byggdes under 1970-talet. Den ligger relativt högt och har inte påverkat grundvattenförhållandena i någon större utsträckning. Det genomsnittliga inläckaget motsvarar lite mindre än 2 l/min och 100 meter bergtunnel

(enkelspårstunnel). Under islossning och snösmältning på våren kan inläckaget temporärt öka till upp mot 3,5 l/min och 100 meter bergtunnel.

Öster om utredningsområdet finns en större dagvattentunnel (Järvatunneln) som löper från Akalla mot Edsviken. Det sker ett inläckage av grundvatten till dagvattentunneln, vilket har påverkat grundvattenförhållandena (se vidare delsträcka 2).

Tunneln för Förbifart Stockholm är planerad att byggas och korsningspunkten med tunnelbanan ligger i cirka sektion 16+000. Maximalt tillåtet inläckage till Förbifart Stockholms anläggningar enligt dom förutsätts i utförda beräkningar för nya tunnelbanan. Trafikverket har erhållit tillstånd från mark- och miljödomstolen för grundvattenbortledning med tillhörande anläggningar från tunneln Förbifart Stockholm. I tillståndet ingår även omläggning av Stordiket. Dom 2014-12-17 i mål nr M 3346-11. På aktuell sträcka finns följande villkor på inläckage:

- Sträckan 27/720 – 28/300 (södra tunnelröret, pumpgrop tunneln under Järva) 65 liter/minut (d.v.s. på 580 meter vilket innebär 11,2 l/min/100m).
- Sträckan 28/300 – 29/000 (norra tunnelröret, pumpgrop tunneln under Järva) 90 liter/minut (d.v.s. 700 meter vilket innebär 12,9 l/min/100m).
- För arbetstunnel Hägerstalund tillåts ett inläckage på 20 liter/minut på 250 meter (8 l/min/100m) för tunnelnivå +10 till -16.

Bygget av Förbifart Stockholm förväntas ske efter aktuell tunnel Akalla- Barkarby men kommer att beaktas i denna rapport i de beräkningar och bedömningar som gjorts avseende påverkan på grundvattenmiljön.

3.2.4.2 Ytvatten

Avledning mot Järva dagvattentunnel har påverkat hydrologin genom att minska avrinningsområdet till Stordiket och därmed minska flödet dit. Enligt det tillstånd till vattenverksamhet från mark- och miljödomstolen som Trafikverket har fått för Förbifart Stockholm kommer en omläggning göras av Stordiket, denna kommer att öka tillrinningsområdet och därmed även flödet.

3.2.5 Känsliga objekt/områden

3.2.5.1 Byggnader och anläggningar

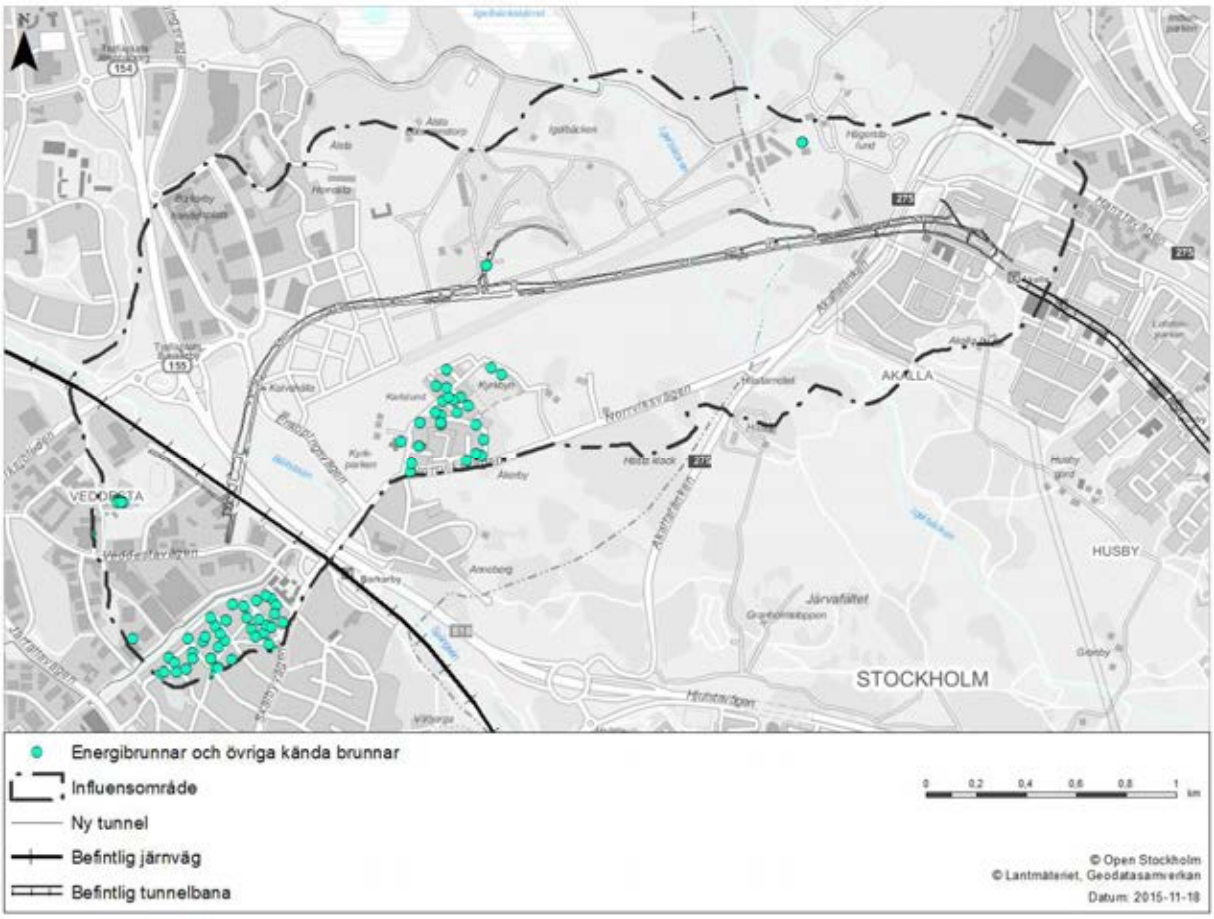
En indelning av byggnader känsliga för grundvattensänkning har gjorts i byggnader med grundläggning på lera och byggnader där grundläggningsuppgift saknas. Resultatet av inventeringen redovisas på karta i bilaga C5.

Känsliga anläggningar framgår av tabell nedan:

15/500-15/660	Vatten, avlopp, spill finns inom 200 m från tunneln (Sibeliusgången), grundlagd på lera
15/660-15/710	Vatten, avlopp spill, avlopp dag korsar tunneln, grundlagd på lera
15/720-15/770	Vatten, avlopp spill, avlopp dag korsar tunneln, grundlagd på lera
15/810	Akallalänken korsar tunneln
15/850	Vatten osäkert läge korsar tunneln, grundlagd på lera

3.2.5.2 Energibrunnar

Endast två energibrunnar har lokaliserats inom undersökningsområdet på denna delsträcka, se Figur 22 och bilaga C5.



Figur 22. Energibrunnar inom influensområdet.

3.2.5.3 Natur- och kulturmiljöer

I dalgången norr om det höjdparti där tunnelbanans sträckning är förlagd ligger de skyddade naturområdena Hansta Natura 2000 samt Djupan med Djupanbäcken och Stordiket. Dessa behandlas främst i MKB: n men tas upp i kapitel 3.3, delsträcka 2.

3.2.5.4 Föroreningar

Inom området har förhöjda halter av PAH och aromater påträffats i de tre provtagningspunkterna 15RT300, 15RT304 och 15RT305. I provtagningspunkt 15RT304 överskrider halten PAH-H i det ytliga jordlagret Avfall Sveriges rekommenderade haltgränser för farligt avfall.

Grundvattnet vid området för fotbollsplanen i Akalla påvisade alifater C16-C35 och PAH-H i rör 15T301, vilket är installerat strax intill den provtagningspunkt (15RT300) där förhöjda halter av organiska ämnen även påträffades i jorden.

Utförd riskvärdering visar att det ej föreligger någon risk för föroreningsspridning till tunneln (se avsnitt 3.1.6.1).

3.3 Delsträcka 2, Hägerstalund – Barkarby handelsplats

3.3.1 Jordlager

Längs i stort sett hela Delsträcka 2 utgörs de ytligaste jordlagren av stora lerområden med varierande, oftast mindre mäktigheter. Mellan lera och berg är friktionsjord, oftast i form av sandig morän, avsatt i relativt tunna lager. De största jorddjupen förekommer närmast söder om sträckningen, särskilt i områdena allra längst västerut vid anslutningen mot Delsträcka 3.

Ett antal mindre fastmarkspartier återfinns längs sträckningens ostligaste 400 meter, men under den därpå följande halvkilometern fram till station Barkarbystaden utgörs de ytligaste skikten uteslutande av lera. Lokalt förekommer längs denna sträcka lerdjup på mellan 8 och 10 meter, men allmänt varierar mäktigheterna mellan 1 och 6 meter. De underliggande friktionsjordarna närmast sträckningen uppvisar i sin tur mäktigheter på mellan 0 och 3 meter.

I höjd med läget för Station Barkarbystaden löper sträckningen vid ytan alldeles intill ett antal fastmarkspartier och här är mäktigheterna naturligen något mindre. Väster om stationsläget och fram till det att sträckningen viker av söderut mot Delsträcka 3 återfinns lerdjup på uppemot 10 meter medan friktionsmäktigheterna varierar mellan 0 och 5 meter.

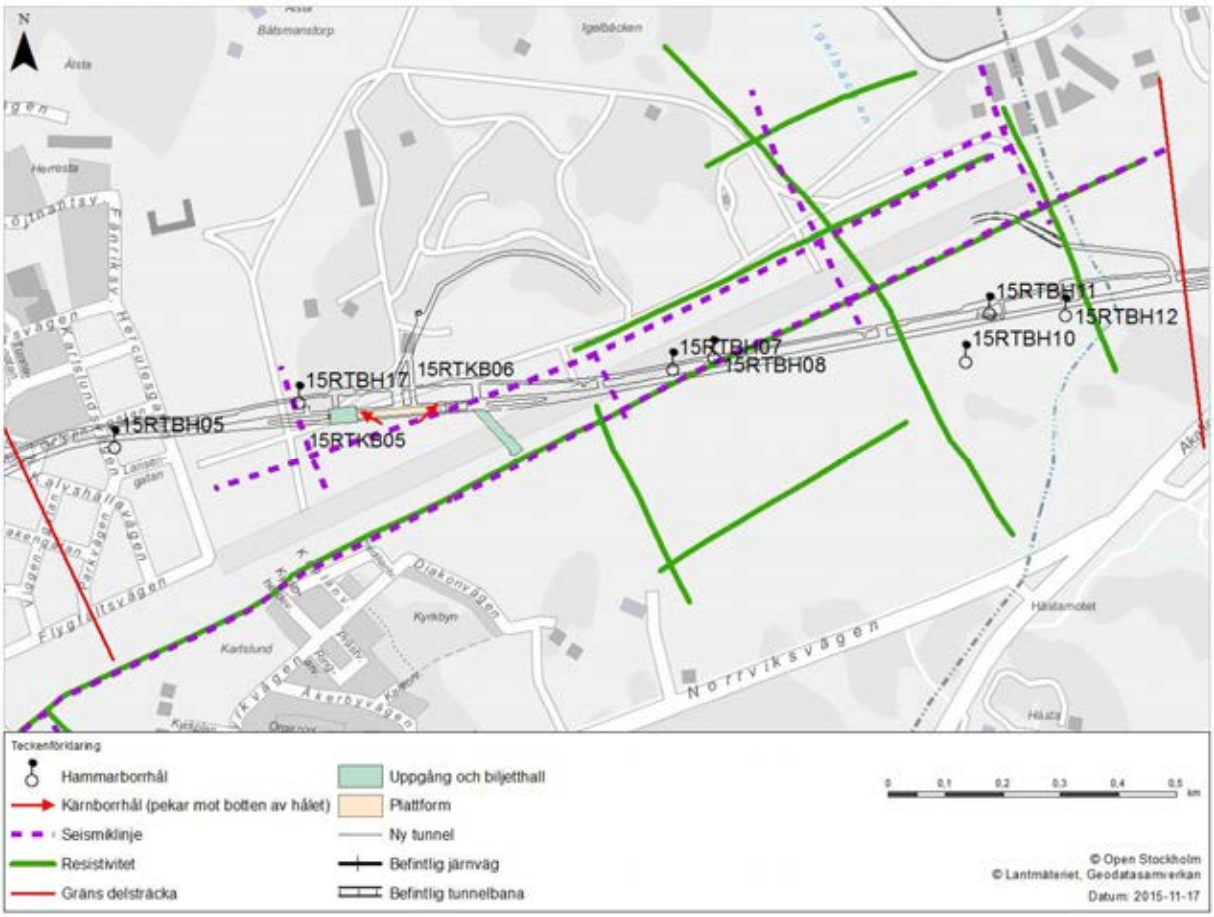
Under stora delar av delsträckan domineras lerlagren norr om anläggningen av torrskorpelera och är därför generellt inte känsliga för sättningspåverkan vid grundvattensänkning. Där större lerdjup förekommer kan dock sättningsbenägenheten vara mer utbredd. Det gäller särskilt för gränstrakterna mot Delområde 3 samt söder om sträckningen, i lerområdena norr om Hästa klack. I det senare fallet motsvarar en teoretisk grundvattensänkning med 0,3 m en totalsättning i storleksordningen 0,1-0,15 m varav uppemot 2 cm kan utvecklas under de första två åren. Motsvarande totalsättning vid en grundvattensänkning med 1,0 m ligger i storleksordningen 0,3-0,4 m och en sättningsutveckling under de första två åren på uppemot 6 cm. Ännu större grundvattensänkningar kan i dessa områden medföra förhållandevis stora totalsättningar på 0,6-1,3 m, med en sättningsutveckling de första två åren i storleksordningen 20 cm (se Bilaga C7). I gränstrakterna mot Delområde 3 kan en grundvattensänkning på 1,0 m medföra totalsättningar på omkring 0,15 m. Av dessa kan uppemot 6 cm utvecklas under de första två åren.

3.3.2 Berg

Berggrunden inom Barkarbyfältet (delsträcka 2) består huvudsakligen av stockholmsgranit, pegmatit och gnejs av sedimentärt ursprung med enstaka förekomst av syenit. De dominerande sprickgrupperna som förekommer här har nordvästliga och sydvästliga och stupar moderat till subvertikalt. Det förekommer även en horisontell grupp.

Fältundersökningar av olika slag för att klarlägga berggrundens sammansättning, dess spricksystem och svaghetszoner samt berggrundens vattenförande förmåga har genomförts. Förundersökningarna redovisas i närmare detalj i Förundersökningsrapport Berg. Förundersökningar som genomförts för delområdet innefattar, se Figur 23:

- Refraktionsseismiska undersökningar har utförts i totalt 7 linjer med en total längd om ca 5 km.
- Resistivitetsundersökning har utförts i totalt 7 linjer med en total längd om ca 6 m för delsträckan.
- Två kärnborrhål har utförts längs delsträckan.
- Kartering av åtkomliga ytor i befintligt bergrum (vars läge på grund av sekretess ej redovisas i figuren).
- Sju hammarborrhål har utförts längs sträckan.



Figur 23. Lägen för bergundersökningar.

Kärnborrhålen har vattenförlustmätts och borrkärnorna har karterats. Hammarborrhålen har filmats och sprickkarterats samt vattenförlustmätts (Förundersökningsrapport Berg).

Tabell 3. Resultat av vattenförlustmätningar i hammar- och kärnborrhål längs delsträcka 2.

Borrhål	Antal sektioner med mätbart resultat/ antal testade sekt.	Hydraulisk konduktivitet (m/s)						
		Maximum	Minimum	Helhåls-test	Halvhåls-test	Aritmetiskt medel-värde*	Geometriskt medel-värde*	Median*
15RTKBH05	8 / 9 st.	$5{,}72\times10^{-6}$	$3{,}73\times10^{-7}$	$1{,}29\times10^{-6}$	$2{,}30\times10^{-6}$	$3{,}39\times10^{-6}$	$3{,}61\times10^{-6}$	$4{,}53\times10^{-6}$
15RTKBH06	2 / 5 st.	$4{,}09\times10^{-6}$	$6{,}85\times10^{-7}$	$9{,}48\times10^{-8}$	$1{,}16\times10^{-6}$	$2{,}39\times10^{-6}$	$1{,}67\times10^{-6}$	$2{,}39\times10^{-6}$
15RTBH05	0/7 st. +2 helhåls	$1{,}06\times10^{-8}$	$6{,}36\times10^{-9}$			$8{,}49\times10^{-9}$**	$8{,}21\times10^{-9}$**	$8{,}49\times10^{-9}$**
15RTBH07	8/8 st. (1,70 bar)	$1{,}14\times10^{-6}$	$4{,}57\times10^{-10}$			$2{,}92\times10^{-7}$	$6{,}02\times10^{-8}$	$1{,}37\times10^{-7}$
15RTBH08	10/10 st. (1,80 bar)	$9{,}50\times10^{-7}$	$1{,}60\times10^{-10}$			$3{,}52\times10^{-7}$	$4{,}41\times10^{-8}$	$5{,}33\times10^{-8}$
15RTBH10	10/10 st.	$8{,}74\times10^{-7}$	$1{,}33\times10^{-10}$			$2{,}73\times10^{-7}$	$1{,}49\times10^{-8}$	$3{,}63\times10^{-8}$
15RTBH11	11/11 st. (1,80 bar)	$1{,}55\times10^{-6}$	$3{,}71\times10^{-9}$			$4{,}47\times10^{-7}$	$1{,}35\times10^{-7}$	$1{,}96\times10^{-7}$
15RTBH12	12/12 st. (1,90 bar)	$8{,}92\times10^{-7}$	$5{,}61\times10^{-10}$			$1{,}66\times10^{-7}$	$1{,}55\times10^{-8}$	$9{,}56\times10^{-9}$
15RTBH17	9/9 st. (1,90 bar)	$5{,}06\times10^{-7}$	$2{,}34\times10^{-11}$			$7{,}20\times10^{-8}$	$6{,}73\times10^{-9}$	$1{,}69\times10^{-8}$

* medel-/medianvärde beräknade på data från testade individuella sektioner, helhåls- och halvhålsvärden ej medräknade
** medel-/medianvärde beräknat på de två helhålsmätningarna i 15RTBH05

Indikerade svaghetszoner i området med läge och riktning sådana att de skulle kunna beröras av delsträcka 2 av planerad anläggning är nr 1, 2, 3, 4, 7,8,9, 10, 15, 17, 21, 25, 28, 29, 30 och 36 (se karta i bilaga C3).

Zonerna 1, 2, 3 och 4 har tolkats utifrån indikationer från både seismik och resistivitetsundersökningar. Zonerna 1, 2 och 3 har även redovisats som möjliga zoner i underlag från Förbifart Stockholm; området där zon 4 ligger berörs ej av Förbifart Stockholms förundersökningar.

Zonerna 7, 8 och 9 är något mindre säkra, men har indikerats både med seismik och med resistivitet. Även zon 10 har tolkats som något mindre säker. En zon har dock konstaterats i kärnborrhål 15RTKBH06, vilket stöder tolkningen att zon 10 verkligen existerar; riktningen är dock osäker.

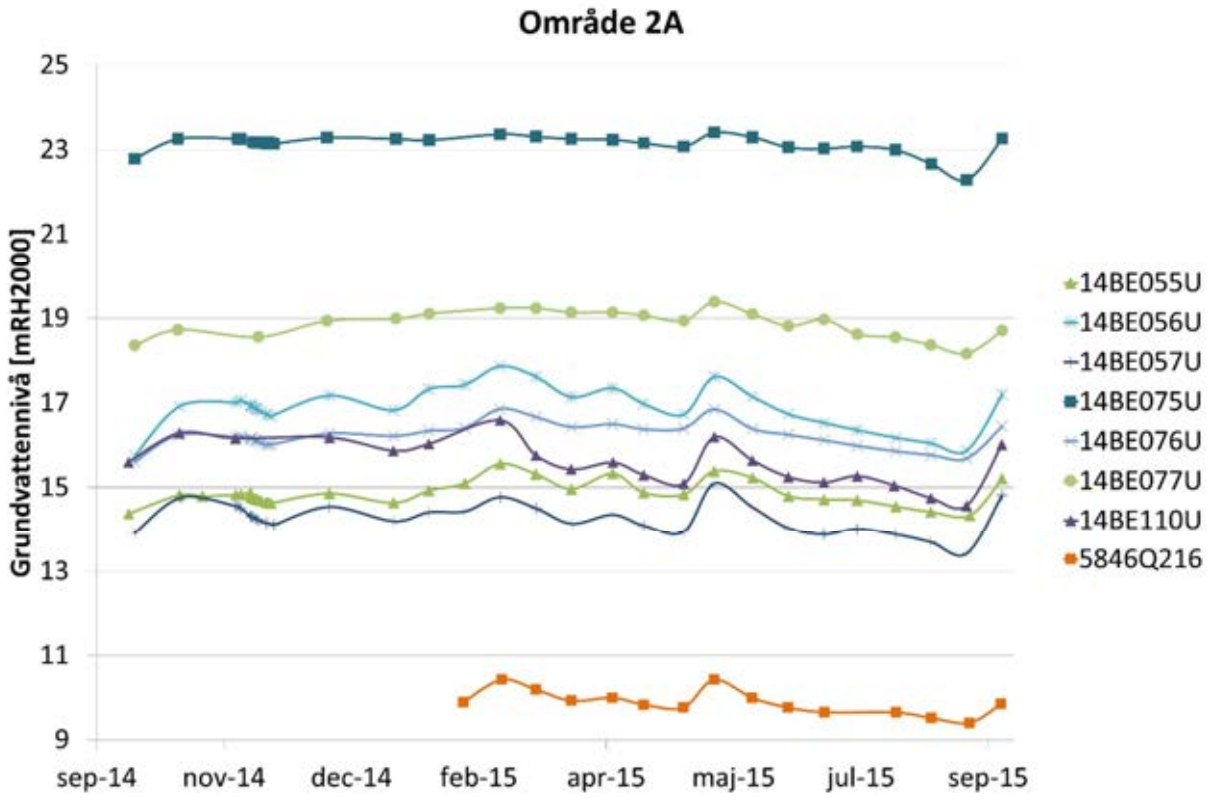
Zonerna 15, 17 och 21 har indikerats endast på SGU:s berggrundsgeologiska karta och zonerna 25, 28, 29, 30 och 36 på Byggnadsgeologiska kartan. Dessa zoner betraktas som mindre säkra än de ovan nämnda. Zon 29 har dock även indikerats inom förundersökningar för Förbifart Stockholm.

3.3.3 Grundvatten

Väster om grundvattenområde 2B breder grundvattenmagasin 2A ut sig under stora delar av Barkarbyfältet. Inom dessa områden är strömningsriktningen allmänt sydlig till sydvästlig norr om anläggningen. Söder om planerad anläggning sker grundvattenströmningen åt sydost, vidare i den allmänna principiella strömningen söderut (se Figur 14).

Nivåmätningar i rör pekar på viss allmän fluktuation hos grundvattenytan (se Figur 24). Mätningar utförda sedan 2014, såväl som mätningar mellan 2008 och 2011, uppvisar variationer i grundvattennivåer på mellan 2 och 2,5 meter. Detta gäller bl.a. alldeles nära sträckningen både öster- och västeröver.

De tunna friktionslagren under leran innebär att det inte finns några större sammanhängande magasin i jord under Barkarbyfältet. En provpumpning i jord har utförts intill Djupanbäcken som underlag för planering av tunnelbanan. Pumpflödet vid provpumpningen var lågt och påverkan förekom endast lokalt. Någon påverkan i dalgången nedanför Hansta Natura-2000 området kunde inte spåras. Detta stöder tolkningen av att det finns en grundvattendelare mellan magasinen.



Figur 24. Grundvattennivådiagram för delavrinningsområde 2A. Koderna motsvarar namn på olika grundvattenrör (se Bilaga C4).

För att klarlägga kontakten mellan grundvattenmagasin i jordlagren och berggrund har en provpumpning genomförts i hammarborrhål 15RTBH12. Detta borrhål bedöms korsa en vattenförande spricksvaghetszon i berg vid Hägerstalund. Vattenförlustmätningen i detta hammarborrhål indikerade hög transmissivitet. Resultaten från provpumpningen visar att endast en lokal påverkan erhålls i jordlagren. Någon påverkan på grundvattenmagasinet i jord under leran i dalgången med Djupan och Djupanbäcken samt Stordiket har inte kunnat spåras. Inte heller syns någon påverkan på grundvattenmagasinet under Igelbäckens dalgång.

De delar av delområdet som bl.a. innefattar merparten av Barkarbystadens station ligger på den västra sidan av den regionala grundvattendelaren. Här strömmar grundvattnet generellt västligt/sydligt från de fastmarkspartier som omgärdar det utbredda lerområdet väster om den framtida stationen. Strömningen sker under leran i de förhållandevis tunna friktionslagren.

Nivåmätningar i rör visar att de största skillnaderna grundvattenytans läge förekommer i områdena kring Barkarbystadens station samt i något fall långt i sydväst, nära den regionala grundvattendelaren. I dessa områden har variationer på uppemot 2,5 meter uppmätts under 2014-2015.

3.3.4 Vattenbalans och objekt som påverkar vattenbalansen

Grundvattensituationen i området är påverkad av ett flertal undermarksanläggningar och ledningar. Det förkommer flera tunnlar och ledningar inom utredningsområdet, deras lägen är dock sekretessbelagda. Förbifart Stockholm planeras och projektet har fått tillstånd att leda bort grundvatten för arbetstunnel vid Hägerstalund.

3.3.5 Känsliga objekt/områden

3.3.5.1 Byggnader och anläggningar

En indelning av byggnader känsliga för grundvattensänkning har gjorts i byggnader med grundläggning på lera och byggnader där grundläggningsuppgift saknas. Resultatet av inventeringen redovisas på karta i bilaga C5.

Känsliga anläggningar framgår av tabell nedan*:*

16/450- 17/500	Norrvattens ledning inom 200 meter, grundlagda på lera
17/370-17/720	Norra delen av Kyrkbyn (med tillhörande VA) finns inom 300 m från tunneln, grundlagd på lera

3.3.5.2 Energibrunnar

Det finns relativt många energibrunnar i radhus- och villabebyggelsen i Kyrkbyn och Barkarbystaden, se bilaga C5.

3.3.5.3 Natur- och kulturmiljöer

Hansta Natura 2000-område har naturvärdesklass 1 (högsta värdet). Värdena är huvudsakligen kopplade till gamla ekar samt död ved, dessa naturtyper bedöms inte vara grundvattenberoende.

Hansta naturreservat med Djupanbäcken bedöms kunna hysa påtagliga naturvärden (klass 3). Stordiket och dammar längs Stordiket bedöms kunna hysa påtagliga naturvärden (klass 3). De utgör vattenmiljö för större vattensalamander samt spridningsstråk för groddjur.

Ytvattnet är uppdämt i dalgången, detta indikerar att tätande lager förekommer eftersom vattnet måste dräneras bort via ett omfattande dikessystem. Sannolikt fungerar även vissa bergpartier dämmande.

Den påverkan som kan uppstå på de hydrologiska förhållandena i dalgången är indirekt och förutsätter att grundvattenförhållandena påverkas så att det inte sker någon utströmning av överskott av grundvatten till våtmarken. Någon sådan påverkan bedöms inte ske, se under grundvatten.

Vid pumpningen som utfördes vid Hanstaområdet (Trafikverket, 2010b) drogs slutsatsen att endast en liten påverkan på grundvattennivåerna i anslutning till Natura 2000 området (Hansta) kan bli aktuell då Förbifarten byggs. Dock erhölls i domen följande villkor här: *Trafikverket ska i bygg- och driftskedet säkerställa att påverkan från Trafikverkets anläggningar inte medför att grundvattennivån i morän i grundvattenrör 10F856RU understiger opåverkad nivå i förhållande till tidigare års nivåfluktuation.*

Igelbäckens kulturreservat innefattar även naturvärden. Dessa kan påverkas negativt av minskat flöde eller försämrad vattenkvalitet.

Tunnelbanan passerar under Håga gamla bytomt (Järfälla 358:1) med tillhörande gravfält (Järfälla 130:1). På platsen har bebyggelse funnits från 1538, men förekomsten av gravar indikerar att bosättningen går tillbaka till yngre järnålder. Gravfältet omfattar 10 gravar. Troligen finns även husgrunder på gravfältet.

3.3.5.4 Föroreningar

I marken kring Fortifikationsverkets fastighet påträffades halter av organiska ämnen över Naturvårdsverkets riktvärde för känslig markanvändning. I en punkt på Barkarby flygfält överskreds även Naturvårdsverkets riktvärde för mindre känslig markanvändning med avseende på PAH och aromater.

I grundvattnet vid området för flygfältet uppmättes både zink och nickel i måttliga halter enligt SGUs klassindelning. Provtagningarna är utförda i grundvattenrör som installerats ca 4 meter under markytan. I tre av de fyra provtagna grundvattenrören inom området för flygfältet påträffades PFOA och i två påträffades PFOS. De uppmätta halterna ligger mellan 1-5 ng/l. Halterna är dock lägre än det riktvärde som av Naturvårdsverket anges för inlandsvatten, vilket är 3µg/l.

I grundvattnet vid flygfältet indikerades även en påverkan av bekämpningsmedlet atrazin och metasubstanser till atrazin i ett av de provtagna rören. Livsmedelsverkets anger i SLVFS 2001:30 för bekämpningsmedel i dricksvatten ett riktvärde på 0,1 µg/l för enskilda substanser och 0,5 µg/l för summa substanser. I det grundvattenprov där bekämpningsmedel påträffades överskrids riktvärdet för summa substanser.

Utförd riskvärdering visar att det ej föreligger någon risk för föroreningsspridning till tunneln.

3.4 Delsträcka 3, Barkarby handelsplats – Barkarby station

3.4.1 Jordlager

Längst norrut, där Delsträcka 3 ansluter mot Delsträcka 2 är jorddjupen ganska stora, uppemot 10-12 m. Efter ca 200 meter av leror övergår ytskikten närmast sträckningen i fastmarkspartier. Både berg i dagen och sandig morän förekommer, liksom områden där sand avsatts direkt mot berget. Jorddjupen är i dessa områden mellan 2 och 6 meter, men tilltar söderut när lera åter dominerar ytlagren. I höjd med Barkarby station och Bällstaån präglas de översta lagren av organiskt material, gyttja, torv och kärrtorv, på uppemot 3 meter. Dessa jordar underlagras av lera och gyttjig lera med mäktigheter på uppemot 20 meter. Leran i sin tur överlagrar ställvis mäktig morän på berg.

Vid de sydliga delarna av Barkarby Station och mot anläggningens och delsträckans sydostligaste ände minskar återigen jorddjupen. De ytligaste jordlagren utgörs här av glaciala leror och fastmarkspartier med sandig morän samt berg i dagen.

Delsträckans nordligaste områden uppvisar på sina håll sättningsbenägen lera (se 3.3.1). Längre söderöver medför de särskilt stora lermäktigheterna också en generell sättningsbenägenhet. En grundvattensänkning med 0,3 m motsvarar allmänt totalsättningar på mellan 0,05 och 0,2 m varav omkring 2 cm kan utvecklas under de första två åren. Motsvarande gäller att vid en grundvattensänkning med 1,0 m är totalsättningar på mellan 0,2 och 0,7 m är att förvänta och att sättningsutvecklingen under de första två åren motsvarar omkring 5-10 cm. Ännu större grundvattensänkningar i dessa områden kan medföra generella totalsättningar på uppemot 1-2,5 m med en utveckling de första två åren på som mest 30 cm (se Bilaga C7).

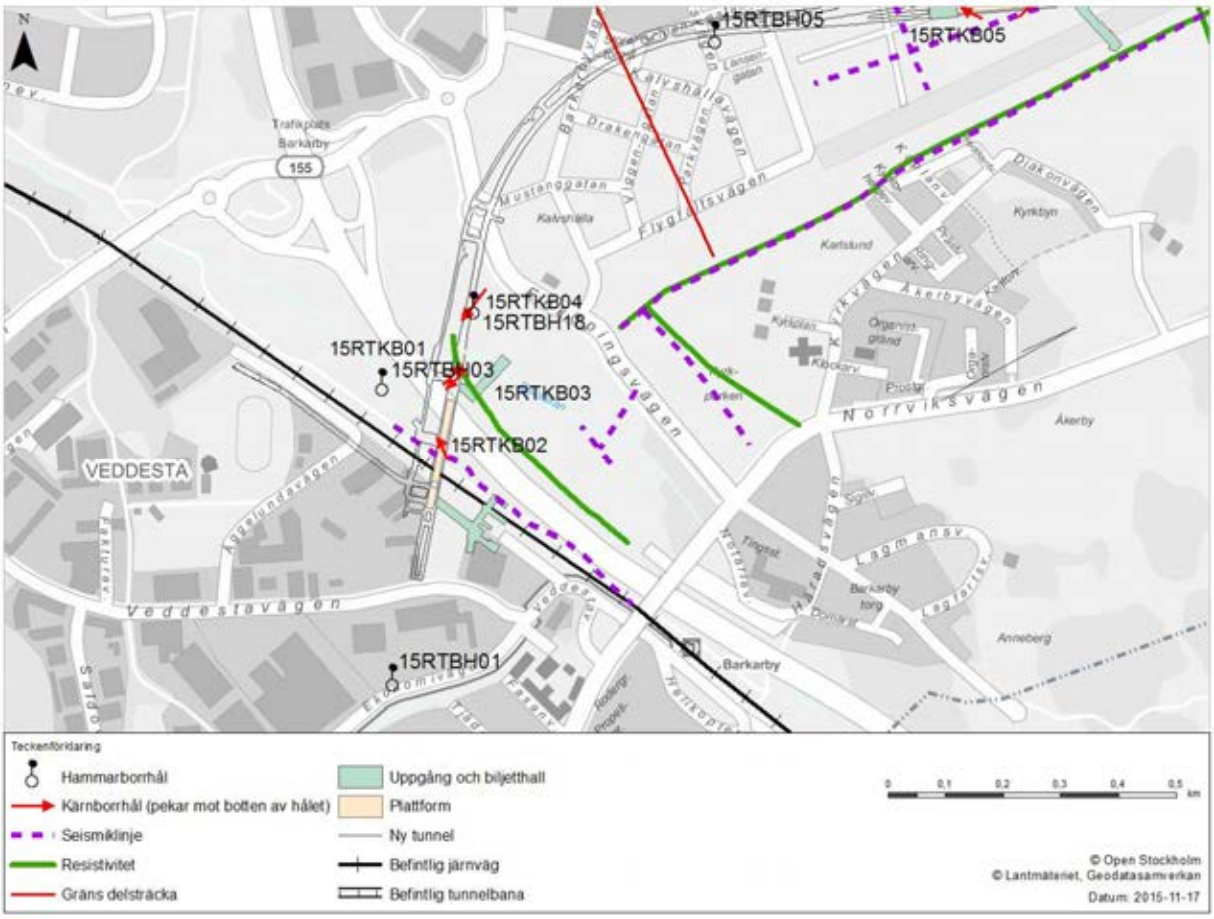
3.4.2 Berg

Berggrunden vid Barkarby station (delsträcka 3) består huvudsakligen av granit, pegmatit och gnejs av sedimentärt ursprung. De dominerade sprickgrupperna som förekommer har sydöstliga och nordvästliga riktningar och stupar subhorisontellt till brant. Ett område med berg av nedsatt hållfasthet och med större förekomst av sprickor, vilket kan indikera hög vattengenomsläpplighet, har påträffats norr om Barkarby station. Berget är mycket poröst och utgörs av episyenit med olika omvandlingsgrader. Lermineral förekommer i nästan alla sprickor.

Fältundersökningar av olika slag för att klarlägga berggrundens sammansättning, dess spricksystem och svaghetszoner samt berggrundens vattenförande förmåga har genomförts. Förundersökningarna redovisas i närmare detalj i Förundersökningsrapport Berg.

Förundersökningar som genomförts för delområdet innefattar, se *Figur 25*:

- Refraktionsseismiska undersökningar har utförts i totalt 4 linjer med en total längd om ca 1 km för delsträckan.
- Resistivitetsundersökningar har utförts i en linje om ca 0,5 km för delsträckan.
- Fyra kärnborrhål har utförts längs delsträckan.
- Tre hammarborrhål har utförts längs delsträckan.
- Jb-sondering för att begränsa möjlig utbredning för området med berg av nedsatt hållfasthet och med större förekomst av sprickor.



Figur 25. Lägen för bergundersökningar.

Kärnborrhålen och hammarborrhålen har vattenförlustmätts och borrkärnorna har karterats där det varit möjligt, se Bilaga C6.

Tabell 4. Resultat av vattenförlustmätningar i hammar- och kärnborrhål längs delsträcka 3.

Borrhål	Antal sektioner med mätbart resultat/ antal testade sekt.	Hydraulisk konduktivitet (m/s)						
		Maximum	Minimum	Helhåls-test	Halvhåls-test	Aritmetiskt medel-värde*	Geometriskt medel-värde*	Median*
15RTKBH01	1 / 9 st.	$1{,}44\times10^{-7}$	$1{,}44\times10^{-7}$	$6{,}23\times10^{-8}$	$1{,}13\times10^{-7}$			
15RTKBH02	4 / 11 st.	$3{,}51\times10^{-6}$	$6{,}61\times10^{-8}$	$5{,}89\times10^{-7}$	$2{,}90\times10^{-7}$	$1{,}08\times10^{-6}$	$3{,}72\times10^{-7}$	$3{,}79\times10^{-7}$
15RTKBH03	0 / 8 st. Hel- och halvhåls			$1{,}57\times10^{-7}$	$8{,}75\times10^{-8}$			
15RTKBH04	Helhåls (hål rasat)			$2{,}20\times10^{-7}$				
15RTBH01	0/11 st. +2 helhåls	$3{,}26\times10^{-9}$	$2{,}84\times10^{-9}$	$3{,}05\times10^{-9}$				
15RTBH03	10/10 st.	$7{,}49\times10^{-7}$	$7{,}88\times10^{-9}$			$1{,}64\times10^{-7}$	$6{,}70\times10^{-8}$	$8{,}00\times10^{-8}$

* medel-/medianvärde beräknade på data från testade individuella sektioner, helhåls- och halvhålsvärden ej medräknade

Indikerade svaghetszoner området med läge och riktning sådana att de skulle kunna beröras av delsträcka 3 av planerad anläggning är nr 5, 6, 13, 14 och 21. Zon 5 och 6 har indikerats i både seismik- och resistivitetsundersökningar, och anses relativt väl bestämda. Zonerna 13, 14 och 21 har indikerats genom SGU:s berggrundskarta.

Därtill finns ett område med berg av nedsatt hållfasthet och med större förekomst av sprickor norr om Barkarby station. Ett kärnborrhål (15RTKBH04) har utförts i detta läge. Vattenförlustmätning av kärnborrhålet har endast kunnat utföras i begränsad omfattning på grund av hål rasat igen. Undersökningar för att avgränsa områdets utbredning har utförts genom Jb-sonderingar och kompletterande kärnborrning och hammarborrning pågår.

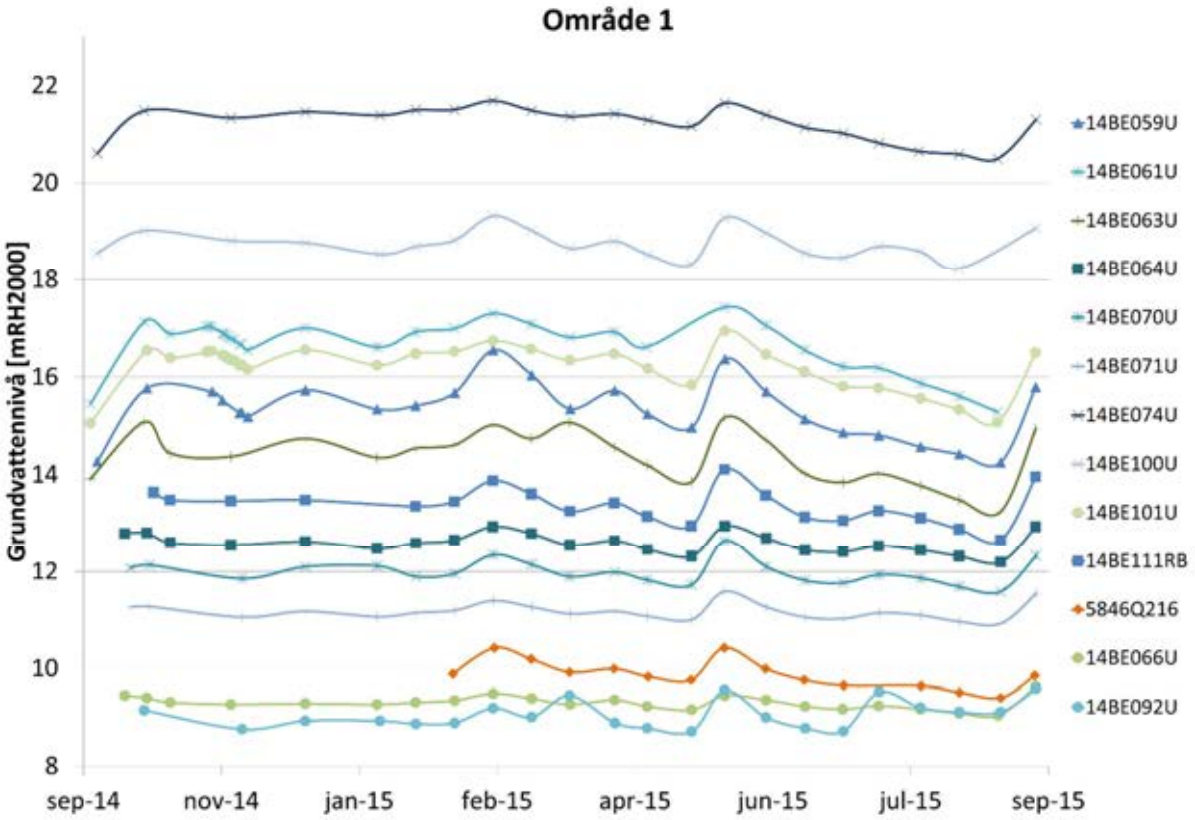
Inga befintliga berganläggningar eller hällar har varit tillgängliga för kartering längs delsträckan.

3.4.3 Grundvatten

Barkarby station ligger inom grundvattenområde 1. Nära Bällstaån ligger grundvattnet ytligt, och det förekommer våtmarker. Grundvattenströmningen sker generellt åt sydost i de ganska mäktiga friktionslagren öster om läget för Barkarby station.

Våtmarken Åkerbykärret är en igenväxt, tidigare sjö. Kärret dräneras mot den större våtmarken nära Barkarby station och vidare till Bällstaån. Tunneln ligger på stort avstånd och berör inte Åkerbykärret.

Aktuella nivåmätningar inom grundvattenområde 1 pekar på enstaka variationer på uppemot 2,5 meter både i söder och norr, nära sträckningen och den planerade stationen Barkarby. Nivåfluktuationer på uppemot 2 meter förekommer sydost om de mäktiga jordlagren öster om Barkarby station. Se även Figur 26.



Figur 26. Grundvattennivådiagram för delavrinningsområde 1. Koderna motsvarar namn på olika grundvattenrör (se Bilaga C4).

3.4.4 Vattenbalans och objekt som påverkar vattenbalansen

Grundvattensituationen i området är påverkad av ett flertal undermarksanläggningar och ledningar.

Det förkommer flera tunnlar inom utredningsområdet. Ytterligare stora ledningar förekommer inom området, deras lägen är dock sekretessbelagda.

3.4.5 Känsliga objekt/områden

3.4.5.1 Byggnader och anläggningar

En indelning av byggnader känsliga för grundvattensänkning har gjorts i byggnader med grundläggning på lera och byggnader där grundläggningsuppgift saknas. Resultatet av inventeringen redovisas på karta i bilaga C5.

Känsliga anläggningar framgår av tabell nedan:

- 18/400-19/050 — Norrvattens ledning inom 200 meter, passerar tunneln vid 18/650 (denna sträcka är nyförlagd och jorden är förstärkt med kc-pelare)

  Kc-pelare installeras i lera och begränsar, men eliminerar inte sättningar.

- 17/850-18/550 — Vatten och avlopp spill, avlopp dag finns nära tunnel och inom 200 m avstånd. Pågående nyproduktion medför kontinuerlig utbyggnad av VA.

  VA ledningarna har okänd förstärkning/grundläggning och betraktas därför som känsliga.

- 18/790 Passage av Bällstaån

  Kulverteringen betraktas som känslig då den ligger i jord, sättningar kan även orsaka ändringar i bäckfåran.

- 18/750-18/950 Inom 200 m finns Bällstaån som delvis är kulverterad (den kulverterade delen är jordförstärkt med kc-pelare).

  KC-pelare installeras i lera och begränsar, men eliminerar inte sättningar.

- 18/850 Passage av E18 (vägen jordförstärkt med vertikaldräner och tryckbank)

  Förstärkningen är endast dimensionerad för befintlig last och tar inte hänsyn till sättningar

- 18/900 Spillvatten korsar tunneln

  Spillvattnet har okänd förstärkning/grundläggning och betraktas därför som känslig.

- 18/950 Passage av Mälarbanan (delvis förstärkt med kc-pelare)

  Kc-pelare installeras i lera och begränsar men eliminerar inte sättningar.

- 18/900-19/100 Kontaktledningsfundament

  Längs med järnvägen finns kontaktledningsfundament som delvis är anlagda genom platta på mark och delvis med kc-pelare.

- 19/150-19/334 Vatten, avlopp, spill finns inom 200 meter från tunnel

  VA ledningarna har okänd förstärkning/grundläggning och betraktas därför som känsliga.

- 19/170 Dagvatten korsar tunneln

  Dagvattentunneln har okänd förstärkning/grundläggning och betraktas därför som känslig.

- 19/240-19/334 Vatten, avlopp, spill korsar tunneln

  VA ledningarna har okänd förstärkning/grundläggning och betraktas därför som känsliga.

3.4.5.2 Energibrunnar

Det förekommer ett stort antal energibrunnar i småhusbebyggelsen inom området. Lägena framgår av karta i bilaga C5.

3.4.5.3 Natur- och kulturmiljöer

Våtmarken Åkerbykärret bedöms ha påtagligt naturvärde, klass 3, kopplat till den hydrologiska regimen.

Såväl analys av jordlagren som tidigare utredningar inom ramen för Förbifart Stockholm visar att grundvattenmagasinet inom detta område har mycket begränsade vattenförande egenskaper.

3.4.5.4 Föroreningar

I marken inom Barkarby/Veddesta har alifater C16-C35 och kobolt påträffats i halter över Naturvårdsverkets riktvärde för känslig markanvändning, KM, i ett flertal punkter. PAH har påträffats över KM i en punkt.

Inom området vid Barkarby/Veddesta har måttliga nickelhalter i grundvattnet uppmätts i tre provtagningspunkter och i hög halt i en provtagningspunkt. Samtliga dessa rör är installerade i friktionsjorden under leran. Inom området uppmättes även zink i måttliga halter i två provtagningspunkter samt arsenik i måttligt höga halter i en provtagningspunkt. Dessa halter uppmättes både i det övre och i det undre grundvattenmagasinet. Jämförelse har gjorts med SGUs klassindelning enligt bedömningsgrunder, rapport 2013:01.

Utförd riskbedömning visar att det inte föreligger någon risk för föroreningsspridning till tunneln.

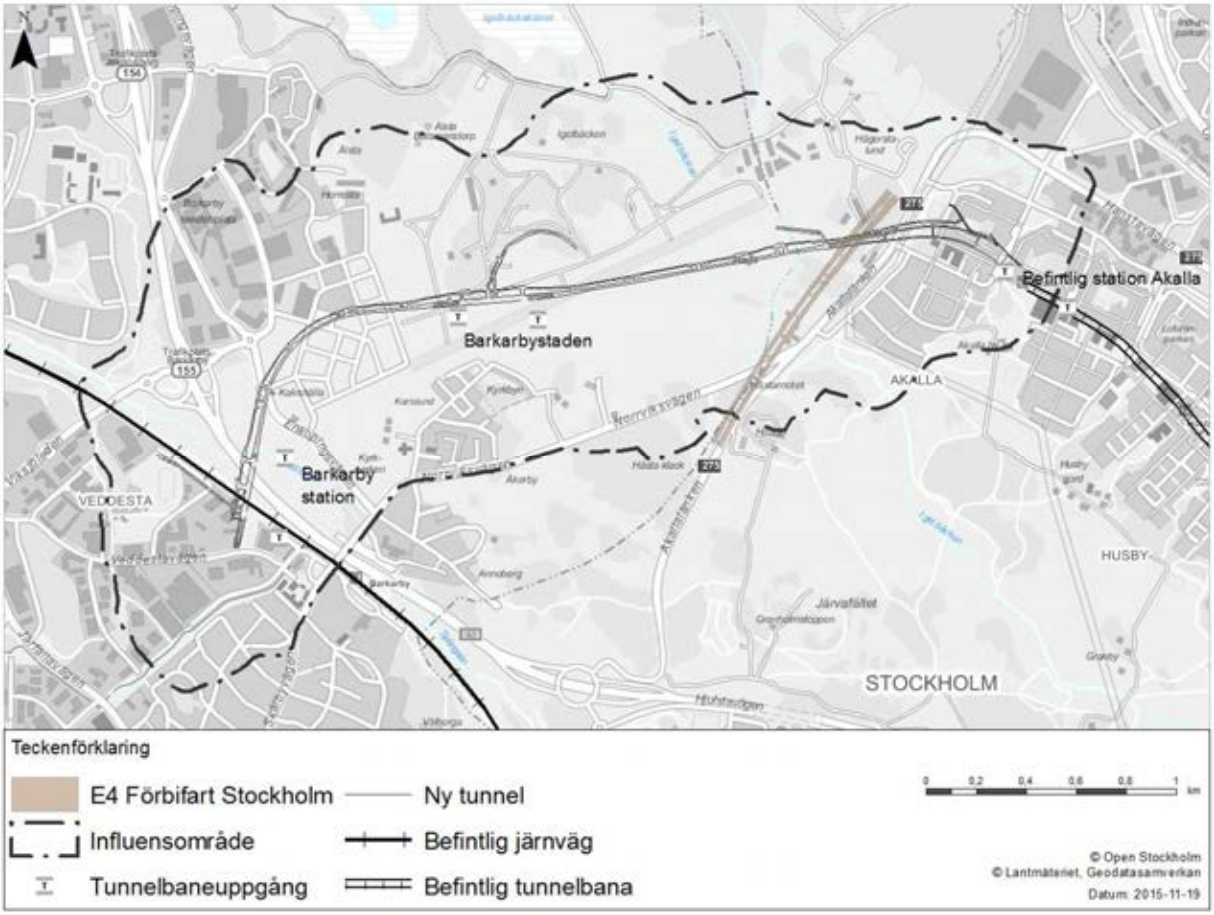
4 Påverkan på vattenmiljön

4.1 Influensområde

Ett influensområde som avgränsar projektets påverkan på grundvattensituationen har tagits fram, i huvudsak baserat på kunskap från följande förhållanden:

- Identifierade grundvattenmagasin, Bilaga C4
- Fasta vattendelare och topografiska förhållanden, Bilaga C4
- Områden med bedömd högre grundvattenbildning, framförallt högre liggande fastmarksområden
- Grundvattenmodelleringsresultat, inklusive känslighetsanalys, Bilaga C6
- Provpumpningar, Bilaga C6

Influensområdets utbredning i öster är i huvudsak avgränsat utifrån topografi, fastmarksområden och de identifierade grundvattenmagasinens begränsning. I nordöst, mot Hansta, baseras influensområdet på grundvattenmagasinens utbredning samt genomförd provpumpning. I norr i första hand på fasta vattendelare och topografi. I västra och sydvästra delen av influensområdet har topografi och fastmarksområden varit styrande. Detsamma gäller för avgränsningen längs med influensområdets södra del där även identifierade vattendelare har varit styrande. Utöver dessa fakta har dessutom genomförda modelleringsresultat nyttjats, men inte varit styrande, för avgränsningen av influensområdet. Vid en analys av influensområdets känslighet för olika inläckage visade grundvattenmodelleringen att utbredningen av grundvattensänkningen i jord och berg inte påverkas i någon högre grad. Det innebär att bedömningen av influensområdets utbredning anses vara på den säkra sidan. Vid upprättande av grundvattenmodellen har Förbifart Stockholms planerade anläggning lagts in, i syfte att studera den kumulativa påverkan avseende avsänkningar och inläckage. Det nu framtagna influensområdet representerar dock endast det område inom vilket detta projekt kan påverka.



Figur 27. Influensområdet.

4.2 Inläckage

Inläckagets storlek har beräknats analytiskt samt med stöd av den grundvattenmodell som ställts upp för projektet (se Bilaga C6). Dessa beräkningar har utgått från de parametervärden som bestämts i de hydrogeologiska och bergtekniska undersökningar som genomförts under 2015 (se Förundersökningsrapport Berg och Hydrogeologi samt Bilaga C6 där förutsättningarna för beräkningar redovisas i detalj). Bergets hydrauliska konduktivitet har varierats mellan 2×10^{-8} m/s och 1×10^{-7} m/s och den injekterade zonen mellan 5×10^{-9} m/s och 1×10^{-8} m/s. I modellen har även identifierade zoner (Bilaga C3 och Bilaga C6) lagts in som mera vattenförande. Nyttjade parametervärden för bergets hydrauliska konduktivitet baseras på data från energibrunnar, befintliga tunnelanläggningar och undersökningar i utförda bergborrhål. En genomsnittlig hydraulisk konduktivitet för berget har bedömts vara inom det redovisade intervallet. Således har en känslighetsanalys genomförts avseende inläckagets storlek och prognostiserad grundvattenavsänkning. Samtidigt har då områden känsliga för avsänkning identifierats, där sannolikheten för skyddsinfiltration är högre och mer omfattande förinjekteringsåtgärder bör vidtas. Vidare påverkar anläggningens geometri, djup från markytan samt jordlagerföljden och topografin beräkningarna av inläckagets storlek. Dessa omständigheter är för projektet relativt väl kända. Trots detta är beräkningarna behäftade med osäkerheter då de geologiska förhållandena är svåra att beskriva i detalj, således redovisas intervall för både beräknade inläckage och prognostiserade grundvattentrycksänkningar.

Det beräknade inläckagets storlek till spår- och servicetunnel varierar mellan ca 4-19 l/min/100 m baserat på delsträcka. Vid stationerna är inläckaget till spår-och servicetunnel något större, mellan ca 5-21 l/min/100 m beroende på vilken täthet berget resp. injekteringen antas ha. Utöver dessa

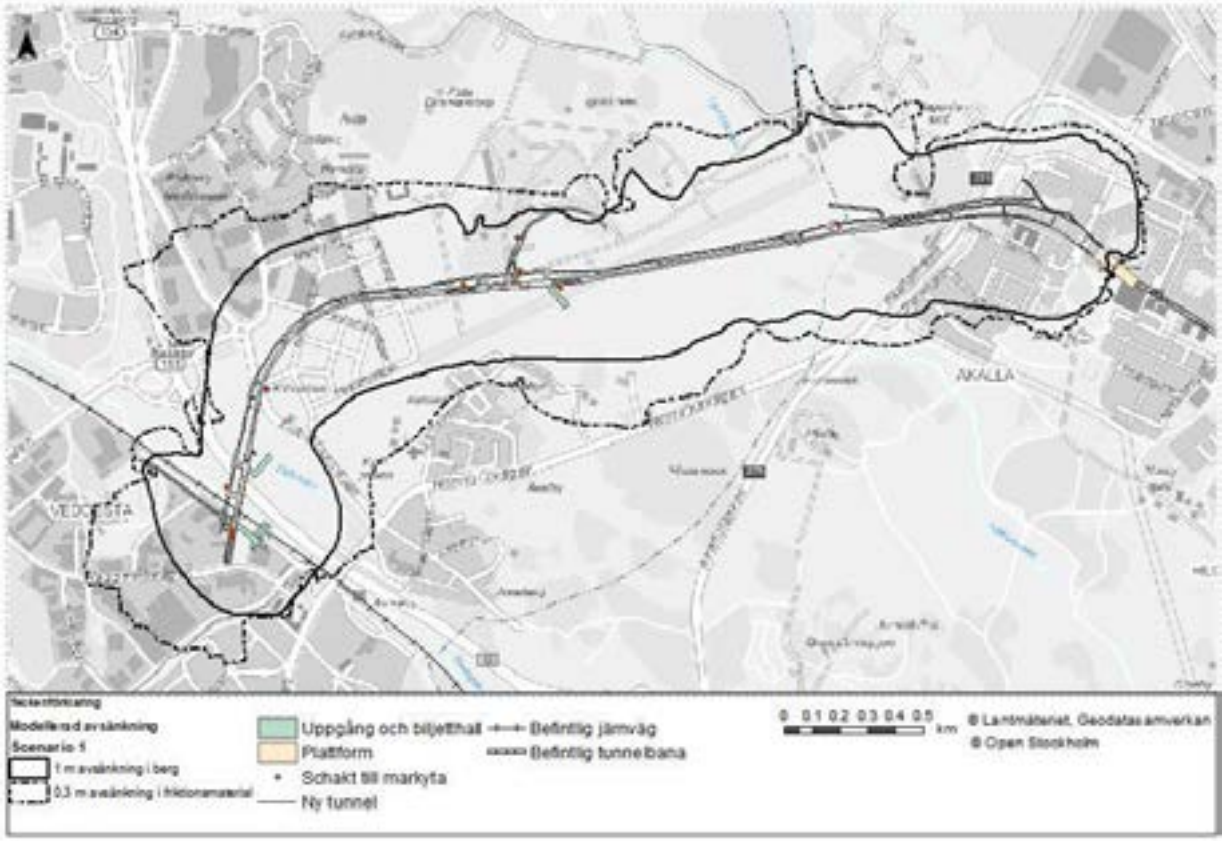
inläckage tillkommer inläckage vid uppgångarna vid respektive station. För uppgång Barkarby station är det beräknade inläckaget 10-15 l/min och vid Barkarbystadens stationsuppångar 11-14 l/min. Inläckagevärdena varierar beroende på vilken hydraulisk konduktivitet som ansätts på berget och vilken tätning som antas kunna uppnås. Modellerade och analytiskt beräknade värden sammanfaller relativt väl och bedömningarna bedöms som robusta (Bilaga C6).

Det totala inläckaget för hela anläggningen, inklusive arbetstunnlar och bergschakt, under drifttiden, har beräknats till mellan 310 och 590 l/min (Bilaga C6). Baserat på erfarenheter från andra jämförbara anläggningar i Stockholm och i det aktuella området bedöms det totala inläckaget till ca 480 l/min även om osäkerheter förekommer avseende bergkvalitet, svaghetszoner och möjlighet till injektering.

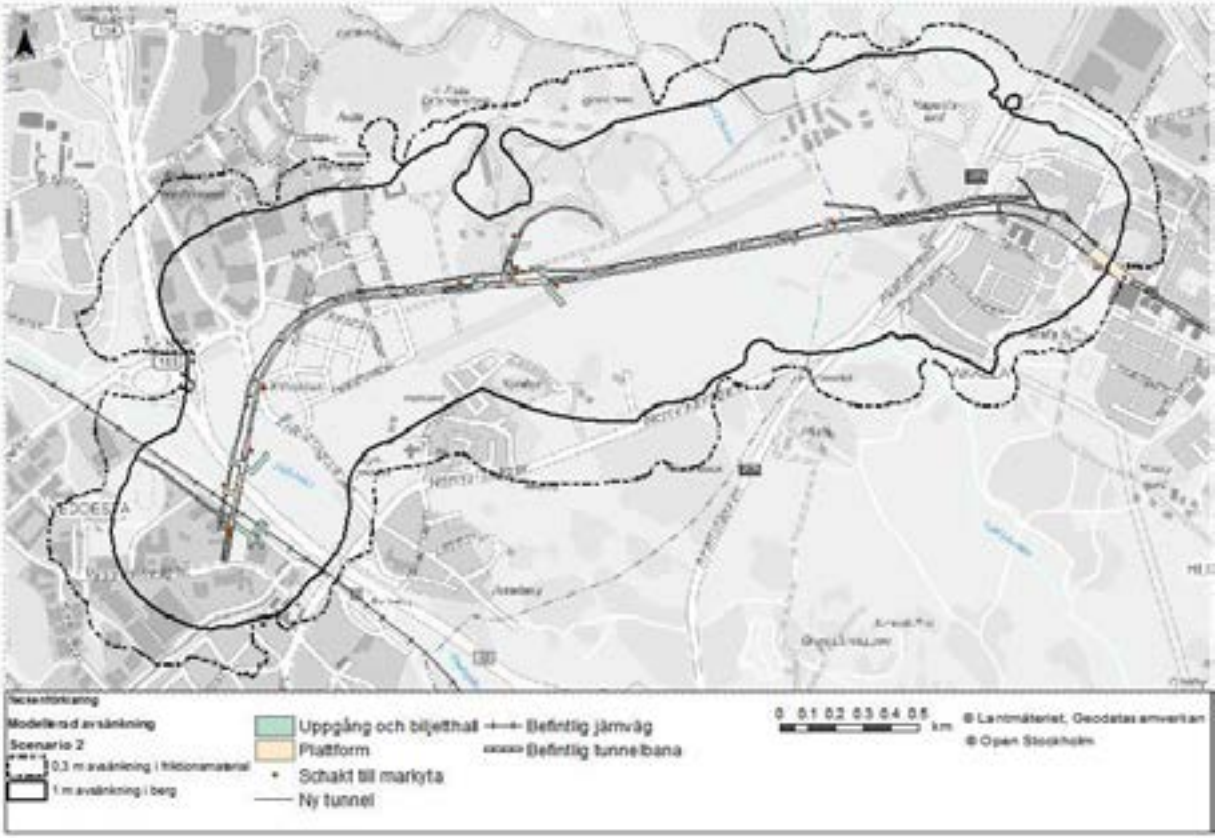
4.3 Grundvattensänkning med och utan infiltration

Med stöd av grundvattenmodellen har avsänkningen i jord (0,3 m) och berg (1,0 m) beräknats. Beräkningarna har gjorts för tre olika scenarion vilka beskrivs i Bilaga C6. Beräkningarna har utförts både för påverkan från enbart tunnelbanan men även för den kumulativa påverkan som den planerade tunnelbanan och Förbifart Stockholm resulterar i.

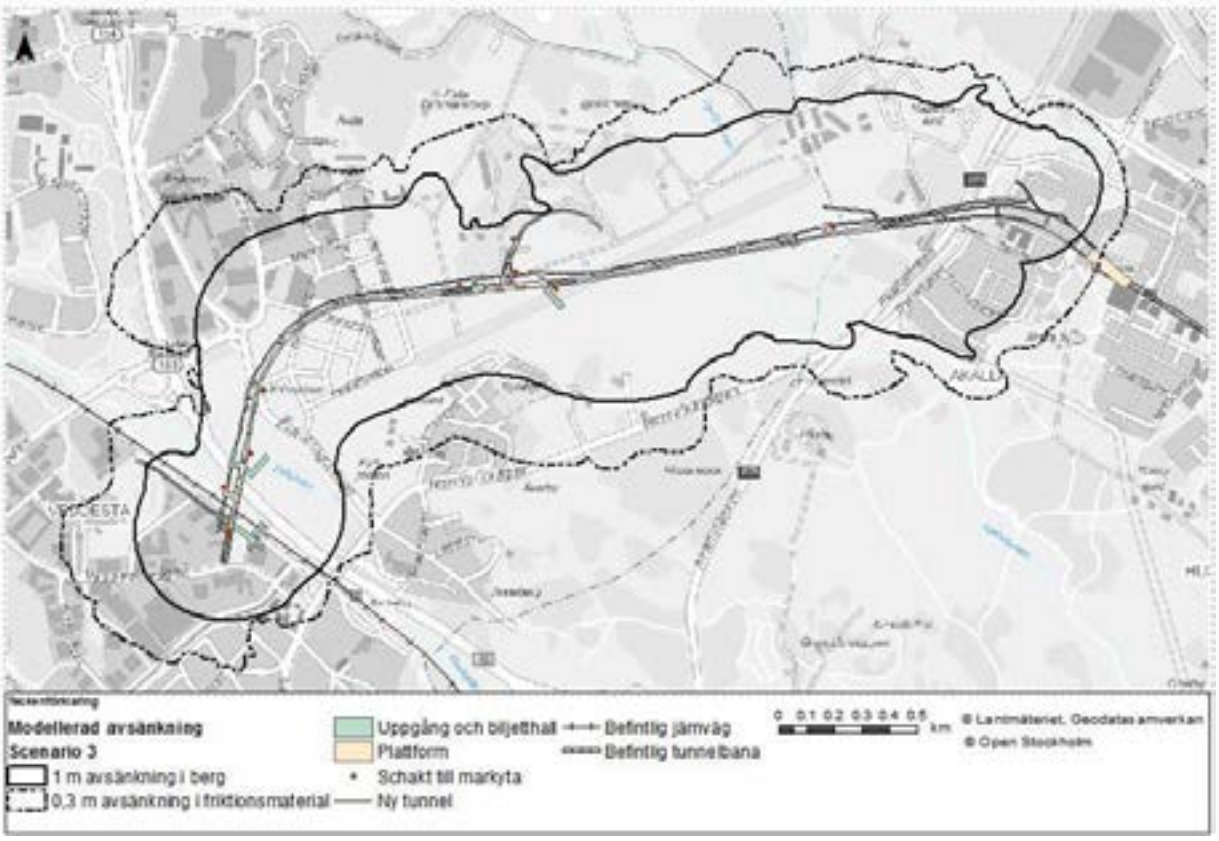
Den prognostiserade avsänkningen blir som störst utefter tunnellinjen med avsänkningar i friktionsjord upp till ca 1-4 meter, ställvis större, i det fall skyddsinfiltration ej nyttjas. För känsliga områden med stora lermäktigheter kommer därför projektet vara förberett för skyddsinfiltration. Grundvattenavsänkningen avtar sedan relativt snabbt på längre avstånd från tunneln (Figur 28, Figur 29, Figur 30).



Figur 28. Scenario 1, avsänkning 0,3 m i friktionsmaterial (streckad linje) och 1 m i berg på tunnelnivå (heldragen linje).



Figur 29. Scenario 2, avsänkning 0,3 m i friktionsmaterial (streckad linje) och 1 m i berg på tunnelnivå (heldragen linje).

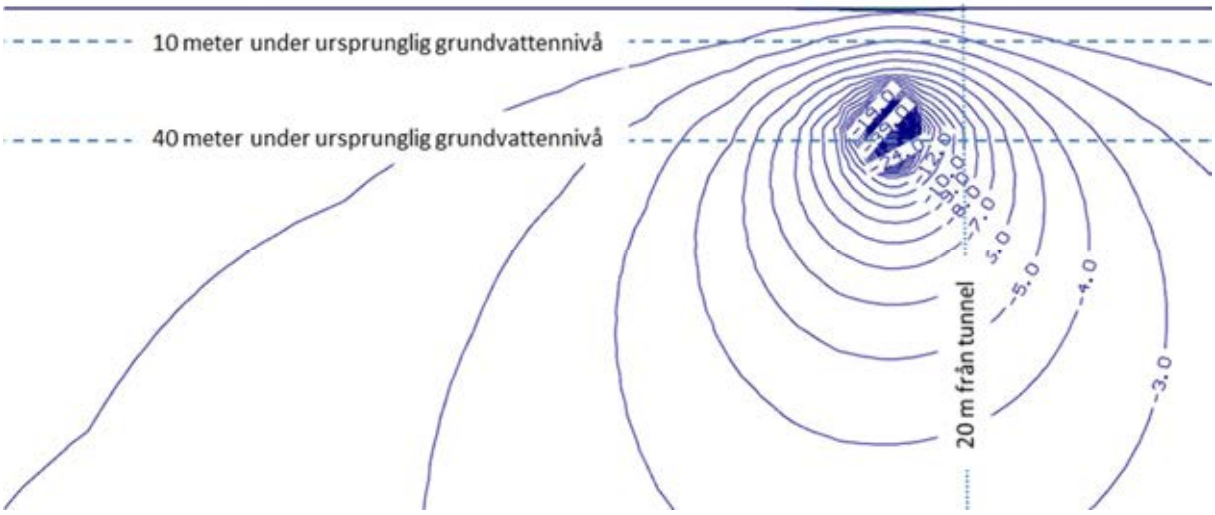


Figur 30. Scenario 3, avsänkning 0,3 m i friktionsmaterial (streckad linje) och 1 m i berg på tunnelnivå (heldragen linje).

4.3.1 Berg

Grundvattentrycknivåerna runt tunneln och uppgångarna varierar beroende på vilket djup grundvattentrycket mäts på, samt avståndet från tunneln. Grundvattentrycknivåsänkningen är som störst vid tunnelns dränerade nivå (ungefär tunnelns botten) i anslutning till tunneln. Där har trycknivån samma värde som den dränerande nivån. Grundvattentrycknivåerna ökar sedan, i princip radiellt, ut från tunneln.

Figur 31 visar principiellt hur grundvattentrycknivåsänkningen i berg runt en tunnel, med en botten 40 m under grundvattennivån, varierar kring tunneln. Här antaget att bergmassan är homogen, vilket är en förenkling av verkligheten eftersom svaghetszoner påverkar avsänkningen. Figuren visar att den beräknade trycknivåavsänkningen i berg, 20 m horisontellt från tunneln, uppgår till 9 m 40 m under marknivån. Mäts istället trycknivån, på samma avstånd från tunneln, men 10 m under marknivån uppgår den beräknade trycknivåavsänkningen till endast 2 m. Eftersom en bergborrad brunn i praktiken endast är ett i bergmassan öppet borrhål kommer trycket i borrhålet jämnas ut genom ett vattenflöde från sprickor i de delar längst borrhålet med högst tryck till delar med lägre tryck tills en jämvikt erhålls. Således blir grundvattennivåsänkningen i en bergborrad brunn betydligt mindre än den trycknivåsänkning som tunneln ger upphov till vid tunnelns nivå.



Figur 31. Beräknade trycknivåer runt en tunnel med dränerande nivå 40 m under mark och en "naturlig" grundvattenyta i marknivå på +0.

4.3.2 Jord

Den prognostiserade avsänkningen utan skyddsinfiltration i friktionsjorden, som underlagrar leran, varierar längs med sträckan mellan 1 – 4 meter, ställvis ännu större. De största avsänkningarna sker närmst tunneln och minskar med avståndet från tunneln. Lokalt kan större avsänkningar ske, t.ex. vid uppgångarna och vid korsningen med Förbifart Stockholm. De prognostiserade avsänkningarna baseras på modelleringsresultat vilka ofta överskattar avsänkningarna eftersom grundvattenbildningen i randzoner i övergång mellan lera, friktionsjord och mot berg ofta underskattas i modellerna. Detta beror på att diskretiseringen av grundvattenbildningsområden i modellerna medför att grundvattenbildning lätt kan underskattas. För mer precisa prognoser kan provpumpningar nyttjas.

Områden med större lerdjup och sättningskänslig lera (Bilaga C7) kan således komma att sätta sig utan skyddsinfiltration. Det gäller särskilt området vid Barkarby station men även inom lerområdet strax väster om Barkarbystadens station såväl som i lokala lersvackor vid passagen med Akallalänken och vid Hägerstalund. I dessa områden finns ett behov av att förbereda för skyddsinfiltration för att säkerställa att inga skadliga sättningar sker.

4.4 Ytvatten

I områden där de ytliga jordlagren utgörs av lera kommer bergtunnlarnas dränerande effekt på grundvattensystemet inte att vara märkbar i de ytliga jordlagren och någon påverkan på naturvärden och biotoper bedöms inte vara trolig.

Bergtunnlarnas dränerande effekt på grundvattensystemet kommer att medföra att grundvattentillgången i friktionsjord och morän i randområden mot berg (hällmark och fastmarksområden) kan komma att minska något. Detta kan i sin tur påverka grundvattenberoende naturvärden och biotoper. Bergtunnlarnas påverkan på vattendrag och sjöar bedöms inte vara betydande.

4.5 Vattenkvalitet

Resultatet från riskvärderingen visar att risken för föroreningsspridning till följd av grundvattenpåverkan är som störst vid försvarets anläggningar på flygfältet samt vid fotbollsplanen och närliggande gräsyta i Akalla. Halterna och mängderna bedöms dock som så pass låga att påverkan på dränvattnet i tunneln bedöms vara försumbara.

Grundvattenbortledningen bedöms inte påverka ytvattenkvaliteten. Tunneln ligger med god bergtäckning och fungerar dränerande längs med hela sträckan. Vart dräneringsvatten under drifttiden skall ledas är ej bestämt i detta skede.

4.6 Kulturmiljöer och fornlämningar

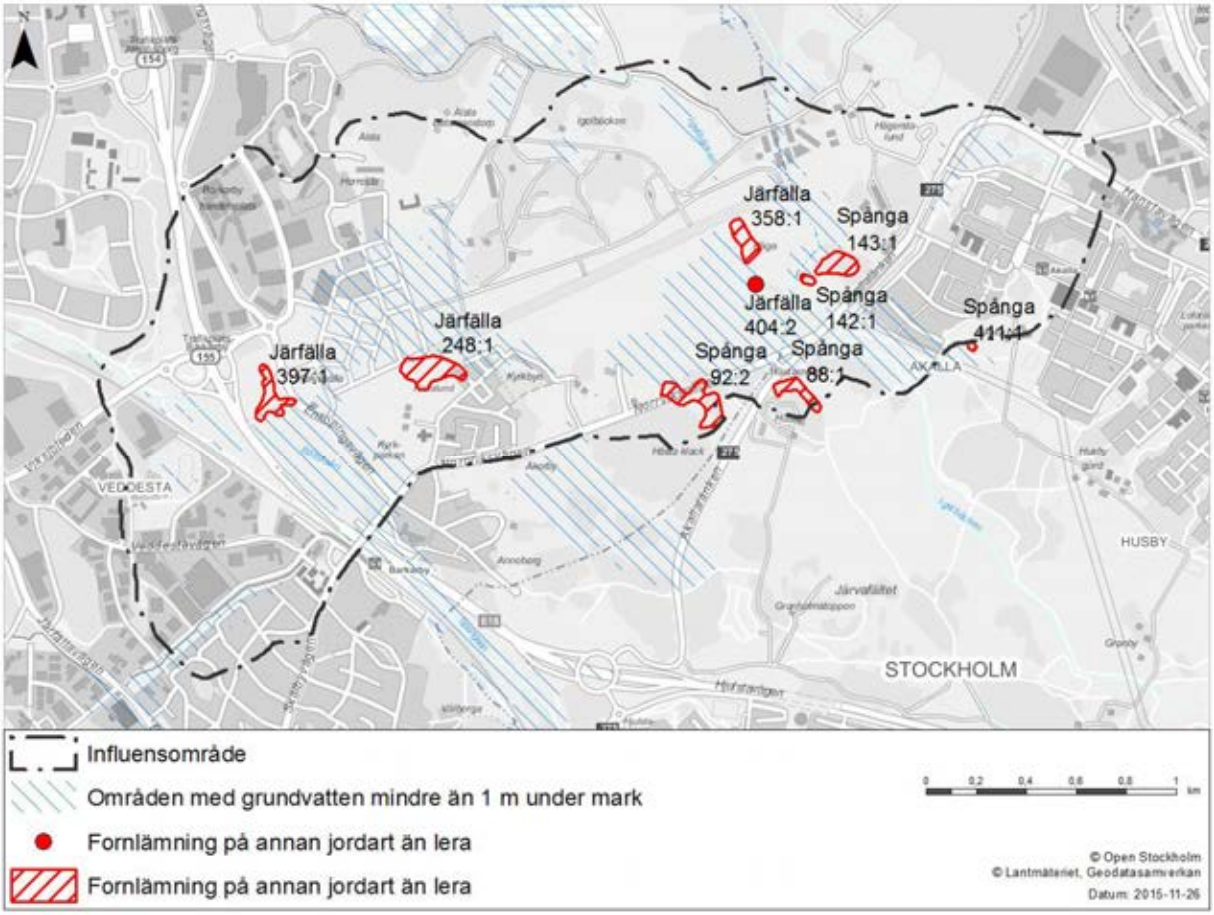
I friktionsjord och morän i randområden mot berg kan grundvattentillgången komma att minska något, till följd av tunnlarnas dränerande effekt. Merparten av fornlämningar i området är lokaliserade till moränhöjder, där berg ibland går i dagen. Bland dessa finns Håga bytomt.

Fornlämningarna ligger på olika djup, vanligen mindre än 0,5 meter. Ibland redan på 5-20 cm djup. Vad gäller husgrunder så utgörs de både av sten och avsatta kulturlager. Alla fornlämningar är både kulturlager (organiskt/ickeorganiskt) och sten.

Det organiska materialet i fornlämningarnas kulturlager bryts ned i kontakt med syre. Kulturlagrens naturliga nedbrytningstakt kan accelerera genom en ökad genomströmning av syreförande vatten, men också av grundvattensänkningar. Kunskapsgrunden är god för stadslager, men dessa skiljer sig avsevärt från kulturlager på landsbygden, genom bland annat tjocklek och andel organiskt material.

Bergtunnlarnas dränerande effekt på grundvattensystemet kommer inte att vara märkbart i områden där de ytliga jordlagren utgörs av lera. Få kända fornlämningar i området ligger på lera.

Fornlämningar i morän har identifierats och analyserats tillsammans med grundvattennivån (Figur 32). Dessa kan potentiellt påverkas vid stora grundvattensänkningar då en grundvattensänkning kan påverka nedbrytningen av kulturlager genom att syre tillförs den omättad zonen. Man kan dock anta att grundvattnet i de aktuella områdena är relativt väl syresatta då grundvattennivåerna varierar över året. De aktuella områdena fungerar dessutom som grundvattenbildningsområden vilket resulterar i att grundvattennivåer upprätthålls av nederbörd. Av den anledningen och det faktum att de flesta lämningar ligger ytligt så kommer den prognostiserade förändrade grundvattennivån endast resultera i försumbara eller små negativa effekter.



Figur 32. Karta med fornlämningar inom influensområdet och där ytligt grundvatten förekommer och som potentiellt kan komma att påverkas.

4.7 Delsträcka 1

Avsnittet behandlar tunnelsträckningen från befintliga tunnelbanestationen vid Akalla fram till Hägerstalund vid längdmätning 16+100, strax öster om arbetstunnel A2. Delsträckan som är ca 800 meter lång och ansluter till Akalla tunnelbanestation på nivån cirka + 5, sträcker sig från Akalla station mot nordost och nedåt. Tunneln passerar under Förbifartens planerade tunnel vid cirka 16+000 m med en bergtäckning om ca 5 meter och ligger på en nivå om cirka - 21 vid 16+100.

4.7.1 Bedömning av inläckage

Inläckaget längs med delsträckan är beräknad till 6-8 l/min/100 m för spår-och servicetunnlar. För de båda arbetstunnlarna, A1 och A2, är inläckaget beräknat till mellan 1-2 l/min/100 m. Det totala inläckaget för hela delsträcka 1 är ca 51-71 l/min.

Inläckaget till tunnelbanan minskar något för de scenarion där Förbifart Stockholm räknas in, detta då även Förbifart Stockholm kommer ha en dränerande funktion och således leda bort delar av det tillgängliga grundvatten som annars dräneras bort via tunnelbanan. När Förbifart Stockholm byggs sänker den tunneln av trycknivåerna som även det medför att inläckaget till den planerade tunnelbanan minskar. Skulle Förbifart Stockholm byggas först resulterar det i ett omvänt scenario, då kommer inläckaget till Förbifart Stockholm minska då tunnelbanan anläggs. De båda projekten har en löpande dialog för att samverka kring bergtekniska, produktionstekniska såväl som hydrogeologiska frågeställningar för att samordna kommande arbeten och skyddsåtgärder.

Grundvattenbortledningen sker för denna delsträcka från delavrinningsområde 2 (i huvudsak från de östra delarna av 2B). Grundvattenbortledningen är konservativt antagen och utan hänsyn tagen till att eventuell skyddsinfiltration kan komma att nyttjas. Resultaten från vattenbalansberäkningarna (se kapitel 3.1.5 och bilaga C6) visar att ca 7 % av den totala avrinningen från hela delområde 2 (dvs 2A och 2B) leds bort. Vart dräneringsvatten under drifttiden skall ledas är ej bestämt i detta skede. Vattenbalansberäkningen visar det fall då dränvattnet leds bort från området.

Bedömning av effekter från inläckage till öppna schakt under byggtiden har endast utförts översiktligt. Det beror på att grundvattennivåsänkningar effektivt kan motverkas av infiltration och att storleken på inläckaget då inte har någon praktisk betydelse, detta gäller särskilt för denna delsträcka där jorddjupen är relativt små.

Inläckaget av grundvatten till tunnelbanetunneln är av sådan storlek, i förhållande till den totala avrinningen, att påverkan på vattenbalansen i området till följd av bortledning av grundvatten endast bedöms resultera i **små negativa effekter** (för redovisning av skala för effekter, se MKB i tillståndsansökan). Påverkan på grundvattenområdet i den känsliga dalgången norr om Akalla, bedöms inte ske. Bedömningarna är konservativa och har här heller inte tagit hänsyn till eventuell skyddsinfiltration eller eventuell återföring av dränvatten till avrinningsområdet, som motverkar effekten av bortledningen.

4.7.2 Bedömning av grundvattennivåsänkning med och utan infiltration

4.7.2.1 Grundvatten i berg

Grundvattentrycknivåerna i bergmassan närmast tunneln kommer sänkas av till dess dränerande nivå, d.v.s. från ca +5 vid Akalla station till ca – 21 m vid Hägerstalund (16+100 m).

Grundvattennivån i berget kan komma att sänkas av flera meter, lokalt ned till tunneltaket om berget har en högre hydraulisk konduktivitet och är mer genomsläppligt. En större avsänkning av grundvattennivån kan ske då flera av varandra dränerande tunnlar, bl.a. den planerade Förbifart Stockholm, ökar dräneringen kumulativt i området. Bergundersökningar strax öster om Akallalänken indikerar ett relativt tätt berg med lägre hydraulisk konduktivitet medan berget vid passagen Förbifart Stockholm synes vara något mer genomsläppligt.

I området saknas bergborrade brunnar eller andra skyddsobjekt som kan påverkas av grundvattenavsänkningar i berg.

Avsänkningen av grundvattennivåer i berg bedöms **inte resultera i några negativa effekter**. I området saknas bergborrade brunnar eller andra skyddsobjekt som kan skadas p.g.a. avsänkta förhållanden av grundvatten i berget.

4.7.2.2 Grundvatten i jord

Utan medräknad skyddsinfiltration är den prognostiserade avsänkningen av grundvattentrycket i friktionsjorden ca 1-3 m längs med denna delsträcka, lokalt upp till cirka 5 meter i svackan och vid passagen av Förbifart Stockholm (kumulativ grundvattennivåsänkning). Störst prognostiserad avsänkning erhålls vid området öster om Akallalänken samt vid passagen av Förbifart Stockholm.

Den största avsänkning erhålls när båda tunnlarna är anlagda. Anledningen är att den planerade tunnelbanan, Förbifart Stockholm och ytterligare en annan befintlig tunnel samverkar dränerande. Den kumulativa effekten från avsänkningen kan således bli relativt stor lokalt.

Vid passagen av Akallalänken där lerdjupet är som störst, ca 8-10 meter, kan de prognostiserade grundvattentrycksänkningarna i friktionsjorden medföra sättningar om flera dm om skyddsinfiltration inte nyttjas (Bilaga C7). Den sammanlagda grundvattenbortledningen bedöms dock inte vara större än att sättningsskador på befintliga vägar, VA-anläggningar och fastigheter kan förhindras genom skyddsinfiltration.

> På grund av risk för sättningsskador på befintlig infrastruktur bedöms avsänkningen av grundvattennivåer i jord kunna resultera i **måttligt negativa effekter om skyddsinfiltration inte nyttjas**. Genom att förbereda för skyddsinfiltration i de riskområden som identifierats (främst 15+700) bedöms projektet resultera i **små eller inga negativa effekter**.

4.7.2.3 Ytvatten

Någon direkt dränering av ytvatten sker inte av bergtunneln, utan dessa påverkas endast indirekt genom minskad grundvattentillrinning. Eftersom minskningen är mycket liten bedöms den ge ingen eller liten påverkan på ytvattendragen Djupan med Djupanbäcken och Stordiket.

> Avsänkningen av grundvattennivåer i jord och berg bedöms resultera i **små eller inga negativa effekter** för ytvatten.

4.7.3 Vattenkvalitet

Resultatet från riskvärderingen visar att risken för föroreningsspridning till följd av grundvattenpåverkan är som störst vid fotbollsplanen och närliggande gräsyta i Akalla. Halterna och mängderna bedöms dock som så pass låga att påverkan på dränvattnet i tunneln bedöms som försumbara.

4.8 Delsträcka 2

Avsnittet behandlar tunnelsträckningen från Hägerstalund till strax väster om Barkarbystadens station och omfattar hela stationen inklusive den planerade arbetstunneln B1 och stationens uppgångar. Delsträckan är ca 2,1 km lång och tunneln ansluter delsträcka 1 i öst på nivån cirka – 21 m för att gå upp något vid stationsläget, till cirka – 15 m, och sedan sjunka till cirka – 21 m i västra delen av delsträckan. Tunnelanläggningen har god bergtäckning längs med hela delsträckan.

4.8.1 Bedömning av inläckage

Inläckaget längs med delsträckan är beräknad till cirka 10-19 l/min/100 m för spår och servicetunnlar, exklusive Barkarbystadens station. För arbetstunneln är inläckaget beräknat till ca 2-3 l/min/100 m. Inläckaget för båda uppgångarna vid Barkarbystadens station är beräknade separat och uppgår till ca 11-15 l/min. Inläckaget till Barkarbystadens stationsområde (spår och servicetunnlar) är beräknat till ca 5-8 l/min/100 m, ett lägre värde på inläckaget trots en större genomsnittsarea i stationsläget förklaras av att bergschakten vid tunnelbaneuppgångarna verkar

dränerande på omgivningen. Det totala inläckaget till stationen (inkl. uppgångar och arbetstunnel) uppgår till ca 7-11 l/min/100 m. Det totala inläckaget för hela delsträcka 2 är ca 190-330 l/min.

Grundvattenbortledningen sker för denna delsträcka från delavrinningsområde 1 och 2 som skiljs åt av en regional vattendelare. Grundvattenbortledningen är konservativt antagen och utan hänsyn tagen till att eventuell skyddsinfiltration kan komma att nyttjas. Resultaten från vattenbalansberäkningarna (Bilaga C6) visar att ca 22 % av den totala avrinningen från delområde 1 leds bort och ca 7 % från delområde 2. Vart dräneringsvatten under drifttiden skall ledas är ej bestämt i detta skede. Vattenbalansberäkningen visar det fall då dränvattnet leds bort från området.

Bedömning av effekter från inläckage till öppna schakt under byggtiden har endast utförts översiktligt. Det beror på att grundvattennivåsänkningar effektivt kan motverkas av infiltration och att storleken på inläckaget då inte har någon praktisk betydelse, detta gäller särskilt för denna delsträcka där jorddjupen är relativt små.

Inläckaget av grundvatten till tunnelbanetunneln är av sådan storlek, i förhållande till den totala avrinningen, att påverkan på vattenbalansen i området till följd av bortledning av grundvatten endast bedöms resultera i **små negativa effekter**. Påverkan på grundvattenområdet i den känsliga dalgången norr om Akalla, bedöms inte ske. Bedömningarna är konservativa och har här heller inte tagit hänsyn till eventuell skyddsinfiltration eller eventuell återföring av dränvatten till avrinningsområdet, som motverkar effekten av bortledningen.

4.8.2 Bedömning av grundvattennivåsänkning med och utan infiltration

4.8.2.1 Grundvatten i berg

Grundvattentrycknivåerna i bergmassan närmast tunneln kommer sänkas av till dess dränerande nivå, d.v.s. mellan ca -15 m och -21 m.

Grundvattennivån i berget kan komma att sänkas av flera meter i direkt anslutning till tunnellinjen, samt lokalt ned till tunneltak i anslutning till uppgångarna vid stationsläget. Avsänkning ned till tunneltaket kan ske lokalt vid stationsläget i det fallet berget har en högre hydraulisk konduktivitet och är mer genomsläppligt. Grundvattennivåobservationer i jord indikerar dock ingen nämnvärd påverkan idag, i det område där stationen skall anläggas.

Erhållna värden på hydraulisk konduktivitet från bergundersökningar längs med delsträckan visar på ett relativt genomsläppligt berg med hydraulisk konduktivitet på drygt 10^{-7} m/s. Genomförd provpumpning i förmodad zon vid Hägerstalund (15RTBH12) uppvisar en hydraulisk konduktivitet om drygt 10^{-6} m/s vilket bedöms som högt. Höga hydrauliska konduktiviteter i berget är jämförelsevis mindre problematiskt för denna delsträcka då skyddsobjekt avseende grundvattennivåsänkning i berg är mycket få i direkt anslutning till tunneln. Inom influensområdet finns energibrunnar vid Järfälla kyrkby söder om anläggningen men på ett avstånd om drygt 250 m. Påverkan på grundvattennivån i bergborrade energibrunnar på det avståndet från tunneln bedöms inte ske. En energibrunn, finns identifierad i anslutning till Fortifikationsverkets fastighet. Denna kan komma att påverkas men i så fall i mindre omfattning (några meters ytterligare avsänkning).

Avsänkningen av grundvattennivåer i berg bedöms **inte resultera i några negativa effekter**. I området saknas bergborrade brunnar eller andra skyddsobjekt som kan skadas p.g.a. avsänkta förhållanden av grundvatten i berget.

4.8.2.2 Grundvatten i jord

Resultatet av utförd provpumpning i berg, 15RTBH12, med mätningar i jordlager visar att grundvattensituationen i jord endast påverkas lokalt. Den känsliga dalgången med ytligt grundvatten i grundvattenområde 2B påverkas inte. Genomförda grundvattensimuleringar styrker dessa slutsatser (Bilaga C6).

Genomförd provpumpning i friktionsjorden strax norr om arbetstunnel A2 gav 1-2 l/min, vid det uttaget var avsänkningen mycket lokal och ca 5 m i pumpbrunnen. Avsänkningen i brunnen är dock påverkad av s.k. skinneffekt varför avsänkningen i brunnen överskattar motsvarande avsänkning i jorden.

Utan medräknad skyddsinfiltration är den prognostiserade avsänkningen av grundvattentrycket i friktionsjorden ca 1-3 m längs med denna delsträcka. De största prognostiserade trycksänkningarna i friktionsjorden sker i området vid arbetstunnel A2 och i direkt anslutning till stationsuppgångarna. Lermäktigheterna längs med sträckan är dock begränsade, från 16+100 till strax väster om Barkarbystadens station varierar lermäktigheterna mellan 1-5 m, varav den övre delen är av torrskorpekaraktär. Vid den regionala vattendelaren är lerdjupen som minst. Från stationens västra del och vidare västerut mot delsträcka 3 ökar lermäktigheterna till ca 10 m. Lokalt kan förekomma mindre områden där lermäktigheten är större (Bilaga C7).

Utan medräknad skyddsinfiltration finns risk för sättningar i samband med grundvattentrycksänkningar i friktionsjorden. Störst risk föreligger vid delsträckans västra del där lermäktigheterna ökar. För övriga sträckan bedöms risken som liten då lerans mäktighet generellt sett är begränsad. I området finns ytterligare två mindre områden där risk för sättningar föreligger; i) strax väster om stationen där lerdjupet är något större, ca 5 m samt ii) strax väster om Igelbäcken där lermäktigheten uppgår till drygt 5 m (Bilaga C7). Den sammanlagda grundvattenbortledningen bedöms dock inte vara större än att sättningsskador på befintliga vägar, VA-anläggningar och fastigheter kan förhindras genom skyddsinfiltration.

På grund av risk för sättningsskador på befintlig infrastruktur bedöms avsänkningen av grundvattennivåer i jord kunna resultera i **måttligt negativa effekter om skyddsinfiltration inte nyttjas**. Genom att förbereda för skyddsinfiltration i de riskområden som identifierats (främst 18+000 – 18+200) bedöms projektet resultera i **små eller inga negativa effekter**.

4.8.3 Ytvatten

Den planerade tunneln passerar Igelbäcken med mycket god bergtäckning, 20-25 m. Jordlagren i detta område består av lera som överlagrar friktionsjord, leran har vissa inslag av siltskikt och/eller sandskikt. Lerans mäktighet varierar mellan ca 1-5 m varav ca 1,5 m av dess översta del utgörs av torrskorpelera. Ställvis kan lerlagret således utgöras endast av torrskorpelera i området. Det är dock sannolikt att leran i själva bäckfåran är tät då denna hålls vattenmättad av bäcken. Förekomst av silt- och eventuella sandskikt resulterar i att leran kan leda mer vatten, särskilt horisontellt. Utförd provpumpning i berg i området resulterade i en avsänkning av grundvattennivåerna i berg på 5 m i pumpbrunnen vid ett uttag om ca 30 l/min. I jord, vid detta

uttag, avsänktes nivån med ca 1,5 m i närmaste observationsrör. Provpumpningen svarar relativt väl mot en förväntad bortledning av grundvatten i tunneln (ca 10 l/min/100 m) samt simulerade grundvattennivåsänkningar i berg (upp till ca 5 m i översta delen av berget) och jord (1-3 m). Således kan en grundvattentrycknivåsänkning i friktionsjorden i området uppgå till någon eller några meter. Avsänkningen är beroende av bergets hydrauliska konduktivitet, eventuella större svaghetszoner samt resultatet från förinjekteringen. Grundvattentrycksänkningen i friktionsjorden bedöms dock inte kunna innebära en direkt dränering av Igelbäcken genom bottensedimenten. En viss indirekt effekt skulle kunna uppkomma genom minskad tillrinning från omgivande grundvattenbildningsområden. Denna effekt bedöms dock som ringa varför risken för påverkan på vattenföringen i Igelbäcken bedöms som liten.

För passagen arbetstunnel A2 och Djupanbäcken gäller att bergtäckningen är mindre (ca 7 m) och att överlagrande lermäktighet är ca 3 m varav den översta delen består av torrskorpelera. Under leran finns ett friktionsjordslager om ca 2-3 m. Arbetstunneln kommer således passera ca 14 m under Djupanbäcken. Här bedöms viss risk för påverkan föreligga och extra tätningsåtgärder kan erfordras.

Med föreslagna skyddsåtgärder och kontroller bedöms minskningen av grundvattentillrinning bli liten och detta bedöms ge liten eller ingen påverkan på Igelbäcken och Djupanbäcken.

Avsänkningen av grundvattennivåer i jord och berg bedöms resultera i **små eller inga negativa effekter** för ytvattendragen Igelbäcken och Djupanbäcken.

4.8.4 Vattenkvalitet

Resultatet från riskvärderingen visar att risken för föroreningsspridning till följd av grundvattenpåverkan är som störst vid en punkt vid Fortifikationsverkets anläggning på flygfältet. Halterna och mängderna bedöms dock som så pass låga att påverkan på dränvattnet i tunneln eller anläggningen bedöms som försumbara.

Hur dräneringsvattnet omhändertas och hanteras redovisas i den Tekniska Beskrivningen i Tillståndsansökan.

4.9 Delsträcka 3

Avsnittet behandlar tunnelsträckningen från 18+200 till och med Barkarby station vid ca 19+200. Delsträckan är således ca 1000 meter lång och tunneln passerar under E18 vid ca 18+850 och järnvägen vid ca 19+000. Längs med denna delsträcka sjunker tunneln från ca -21 m till – 27 m vid tunnelns slut.

4.9.1 Bedömning av inläckage

Inläckaget längs med delsträckan är beräknad till ca 4-12 l/min/100 m för spår och servicetunnel (exklusive Barkarby station). För arbetstunnel C3 är inläckaget beräknat till ca 1-3 l/min/100 m. Inläckaget för båda uppgångarna vid Barkarby station är beräknade separat och uppgår till ca 10-15 l/min. Inläckaget till Barkarby stationsområde (spår och servicetunnel) är beräknat till ca 8-21 l/min/100 m. Det totala inläckaget till stationen (stationen inkl. uppgångar och arbetstunnel) uppgår till ca 12-28 l/min/100 m. Det totala inläckaget för hela delsträcka 3 är ca 70-180 l/min.

Grundvattenbortledningen sker för denna delsträcka från delavrinningsområde 1. Grundvattenbortledningen är konservativt antagen och utan hänsyn tagen till att skyddsinfiltration kan komma att nyttjas. Resultaten från vattenbalansberäkningarna (Bilaga C6)

visar att ca 22 % av den totala avrinningen från delområde 1 bortleds. Vart dräneringsvatten under drifttiden skall ledas är ej bestämt i detta skede. Vattenbalansberäkningen visar det fall då dränvattnet leds bort från området.

Bedömning av effekter från inläckage till öppna schakt under byggtiden har endast utförts översiktligt. Det beror på att grundvattennivåsänkningar effektivt kan motverkas av infiltration och att storleken på inläckaget då inte har någon praktisk betydelse, detta gäller särskilt för denna delsträcka där jorddjupen är relativt små.

Inläckaget av grundvatten till tunnelbanetunneln är av sådan storlek, i förhållande till den totala avrinningen, att påverkan på vattenbalansen i området till följd av bortledning av grundvatten endast bedöms resultera i **små negativa effekter**. Bedömningarna är konservativa och har här heller inte tagit hänsyn till eventuell skyddsinfiltration som motverkar effekten av bortledningen.

4.9.2 Bedömning av grundvattennivåsänkning med och utan infiltration

4.9.2.1 Grundvatten i berg

Grundvattentrycknivåerna i bergmassan närmast tunneln kommer sänkas av till dess dränerande nivå, d.v.s. från ca -21 m vid 18+200 till ca – 27 m vid Barkarby stations västra delar.

Grundvattennivån i berget kan komma att sänkas av flera meter, lokalt ned till tunneltaket i direkt anslutning till de planerade uppgångarna, här kommer de relativt djupa bergschakten att dränera berggrunden och ovanliggande jordlager, särskilt i de områden där berget har en högre hydraulisk konduktivitet och är mer genomsläppligt. Bergborrningar och geologiska tolkningar visar minst en större svaghetszon i stationslägets norra del och här är jorddjupen som störst, upp till ca 20 m (Bilaga C7).

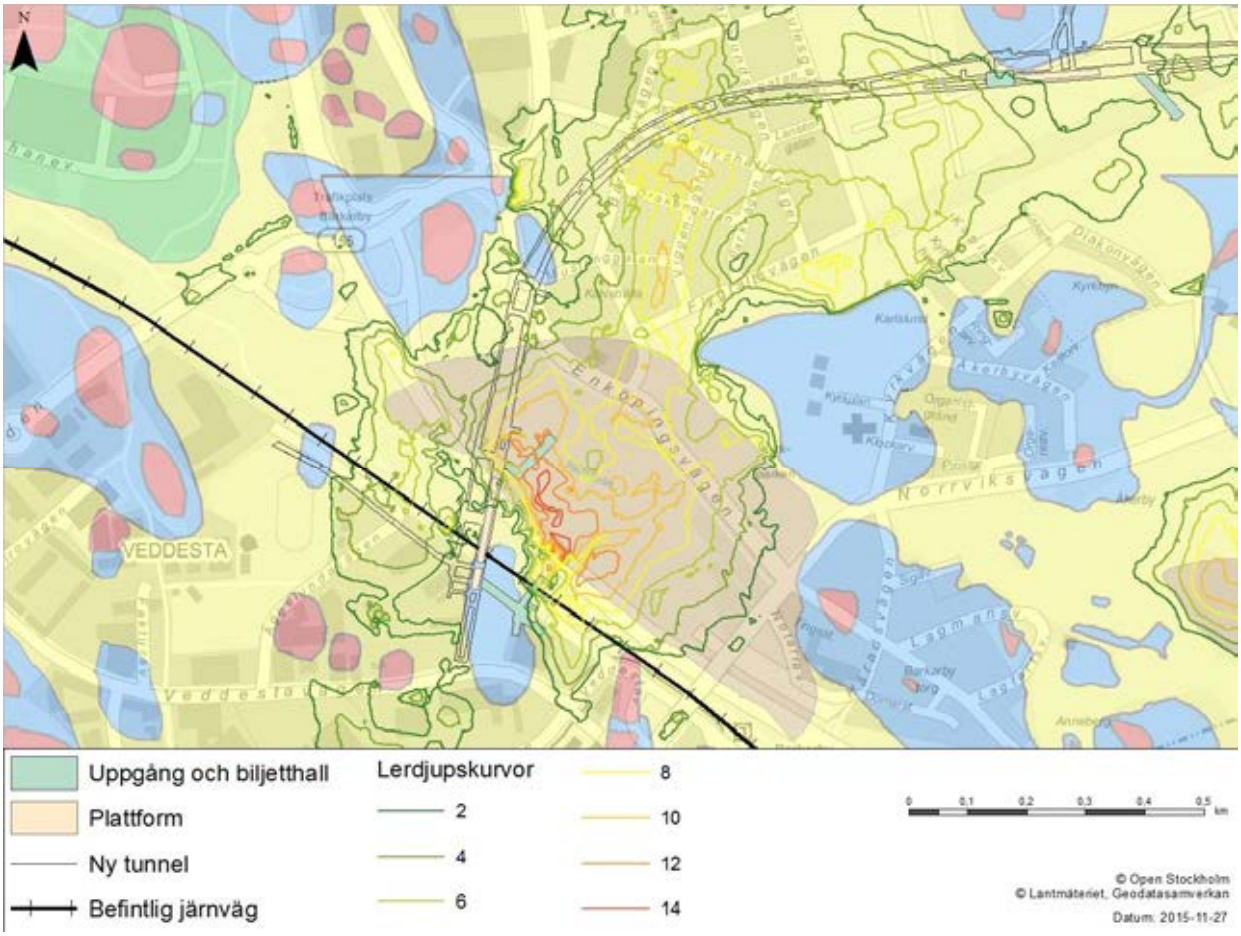
Erhållna värden på hydraulisk konduktivitet från bergundersökningar längs med delsträckan visar på ett relativt genomsläppligt berg med hydraulisk konduktivitet på drygt 10^{-7} m/s. Höga hydrauliska konduktiviteter i berget är jämförelsevis mindre problematiskt för denna delsträcka då skyddsobjekt avseende grundvattennivåsänkning i berg är mycket få i direkt anslutning till tunneln. Inom influensområdet finns energibrunnar söder om stationen men på ett avstånd om drygt 250 m. Påverkan på grundvattennivån i bergborrade energibrunnar på det avståndet från tunneln bedöms inte uppstå.

Avsänkningen av grundvattennivåer i berg bedöms **inte resultera i några negativa effekter**. I området saknas bergborrade brunnar eller andra skyddsobjekt som kan skadas p.g.a. avsänkta förhållanden av grundvatten i berget.

4.9.2.2 Grundvatten i jord

Utan skyddsinfiltration är den prognostiserade avsänkningen av grundvattentrycket i friktionsjorden cirka 1-3 meter, ställvis större, längs med denna delsträcka, vid uppgången vid Barkarby College lokalt större. Då lermäktigheterna längs med denna delsträcka är stora, vid 18+200 uppemot 10 meter och vid uppgång Barkarby College drygt 20 meter riskeras meterstora sättningar om inte skyddsinfiltration nyttjas (Bilaga C7). Här finns dessutom stora mäktigheter (lokalt mer än 10 meter) av friktionsjord med hög hydraulisk konduktivitet, mellan ca 10^{-4} m/s och

10^{-6} m/s (Bilaga C6). Det finns dessutom en korrelation mellan utsträckningen av större lermäktigheter, stora mäktigheter av friktionsjord och identifierade svaghetszoner (Figur 33). Dessa strukturer kan potentiellt ge stora mängder grundvatten och kommunicera hydrauliskt över stora avstånd. Kunskapen om jordlagerföljden inom detta område är relativt god och friktionsjordens hydrauliska konduktivitet är bestämd genom slugtester och provpumpning i området sydost om uppgång Barkarby College (Bilaga C6). Grundvattenmagasinets egenskaper och uthållighet är dock inte bestämd i det läget av de förväntade större grundvattenförande zonerna och/eller i läget för uppgång Barkarby College. Ett större område med nedsatt bergkvalitet är dessutom verifierat genom kärnborrning i ett läge strax norr om stationsläget.



Figur 33. Modellerade lerdjup (isolinjer i grönt, gult, rött) omkring Barkarby station.

Den identifierade, större, svaghetszonen vid KBH04 kan ha en högre hydraulisk konduktivitet än omgivande berg. Vid god hydraulisk kontakt med förekommande, mäktiga och genomsläppliga friktionslager, riskeras stora grundvattenavsänkningar med skadliga sättningar till följd. För att undvika större grundvattennivåsänkningar så att skadliga sättningar inte uppstår på näraliggande känslig objekt (bl.a. järnvägen och E18) vid uppgång Barkarby College behöver tätningsåtgärderna vara effektiva. Det gäller både permanenta och temporära konstruktioner. Utöver dessa skyddsåtgärder behöver även skyddsinfiltration utföras för att säkerställa att skadliga sättningar inte uppstår. Under byggtiden kommer grundvattennivåsänkningar i närmsta området kring schakten inte kunna undvikas helt och här kommer marksättningar att erhållas. Dessa sättningsskador hanteras temporärt under byggtiden. I samband med exploatering av området kommer förstärkningsåtgärder att krävas i vilket fall som helst, varvid det kan säkerställas att skador på mark inte uppkommer.

Störst risk för sättningar föreligger vid cirka 18+200 – 18+400, vid den identifierade svaghetszonen norr om planerad station (vid KBH04) samt i området vid uppgång Barkarby

College mellan cirka 18+600 – 18+800. För de känsligaste delarna kommer tätningsåtgärder, ev. bergförstärkningsåtgärder och skyddsinfiltration att anpassas för att förhindra en grundvattennivåsänkning där tunnelanläggningen korsar zonen.

> På grund av risk för sättningsskador på befintlig infrastruktur bedöms avsänkningen av grundvattennivåer i jord kunna resultera i **måttliga negativa effekter om skyddsinfiltration <u>inte</u> nyttjas**. Förutsatt att skyddsinfiltration i tillräcklig omfattning nyttjas i de riskområden som identifierats (främst 18+200 – 18+400 och 18+600 – 18+800) bedöms projektet resultera i **små eller inga negativa effekter** i områden med störst lerdjup och närhet till de större skyddsobjekten.

4.9.3 Ytvatten

Våtmarken Åkerbykärret vid Hästa klack ligger på stort avstånd och bedöms inte påverkas vilket kan verifieras av genomförd grundvattenmodellering. Bällstaån bedöms inte påverkas av grundvattennivåsänkning då lermäktigheterna är mycket stora vid passagen av tunneln/stationen.

> Avsänkningen av grundvattennivåer i jord och berg bedöms endast resultera i **inga eller små negativa effekter** för ytvatten.

4.9.4 Vattenkvalitet

Bortledning av grundvatten bedöms inte påverka grundvatten- eller ytvattenkvalitet. Tunneln ligger med god bergtäckning och fungerar dränerande längs med hela sträckan.

5 Skyddsinfiltration

Skyddsinfiltration kommer förberedas som åtgärd för att motverka grundvattentrycknivåsänkningar i friktionsjorden som underlagrar sättningskänsliga lerområden där mäktigheten av leran är så stor att sättningar annars kommer utbildas. Skyddsinfiltration genomförs i första hand i jord i anslutning till anläggningen eller nära de känsliga objekten. Skyddsinfiltration kommer nyttjas som åtgärd dels under byggtiden men eventuellt även under drifttiden. Under byggtiden kommer skyddsinfiltration nyttjas i samband med anläggande av de temporära schakter i jord som krävs för att anlägga erforderliga uppgångar, ventilationsschakt m.m. När väl dessa uppgångar och schakt är anlagda blir dessa konstruktioner täta varför skyddsinfiltration för dessa schakt kan avslutas eller minskas i omfattning.

Längs med tunneln passeras ett antal identifierade riskområden där skyddsinfiltration kan bli aktuellt under både bygg och drifttiden. Den sammanlagda grundvattenbortledningen bedöms dock inte vara större än att sättningsskador på befintliga vägar, VA-anläggningar och fastigheter kan förhindras genom skyddsinfiltration.

För delsträcka 1 kan skyddsinfiltration bli aktuellt vid passagen av Akallalänken där lerdjupet är som störst (ca 8-10 m).

För delsträcka 2 kan skyddsinfiltration bli aktuellt vid delsträckans västra del där lermäktigheterna ökar succesivt. För övriga sträckan bedöms risken som liten då lerans mäktighet generellt sett är begränsad. I området finns ytterligare två mindre områden där infiltrations bedöms bli aktuell; ett strax väster om Barkarby stadens station samt ett strax väster om Igelbäcken.

För delsträcka 3 kan skyddsinfiltration bli aktuellt längs med en relativt stor del av sträckan. Det gäller särskilt vid ca 18+200 – 18+400 samt från i området vid uppgång Barkarby College. Skyddsinfiltrationen för delsträcka 3 kommer SLL särskilt att beakta, där stora lermäktigheter förekommer med stora risker för sättningar om grundvattennivåförändringar erhålls, samt befintlig järnväg, motorväg/E18, större vägar samt VA-ledningar som finns i detta område.

6 Referensdokument

Förundersökningsrapport Geoteknik (4320-G41-24–04002), 2015-11-27

Förundersökningsrapport Hydrogeologi (4320-G42-22-04011), 2015-11-27

Förundersökningsrapport Miljö (4320-G43-23-04020), 2015-11-27

Förundersökningsrapport Berg (4320-B41-32-04040), 2015-11-27

Statens Vegvesen (2003) Tunneler, Undersökelser og krav til innlekkasje for å ivareta ytre miljö. Publikasjon nr. 103, Vegdirektoratet, Miljö- og sammfunnstjenlige tunneler, Teknologiavdelingen

Livsmedelsverkets dricksvattenföreskrifter (SLVFS 2001:30) - Livsmedelsverkets föreskrifter om dricksvatten, SLVFS 2001:30

Sveriges geologiska undersökning. Bedömningsgrunder för grundvatten. SGU-rapport 2013:01

Vårt uppdrag är att genomföra tunnelbanans utbyggnad och övriga åtgärder inom ramen för 2013 års Stockholmsförhandling. Det innebär planering, projektering och byggnation av ny tunnelbana och nya stationer på fyra olika sträckor. I vårt uppdrag ingår också planering och projektering av nya fordonsdepåer samt upphandling av signalsystem och vagnar. Totalt innebär utbyggnaden en samlad investering på 25,7 miljarder kronor. Byggstarten beräknas kunna ske år 2016.

Stockholms läns landsting
Förvaltning för utbyggd tunnelbana
Box 22550, 10422 Stockholm
Telefon: 08-737 25 00

Stockholms läns landsting

PM Hydrogeologi

Bilaga C1
Översiktskarta

Miljöprövning för tunnelbanan från Akalla till Barkarby station

Datum: 2015-11-27

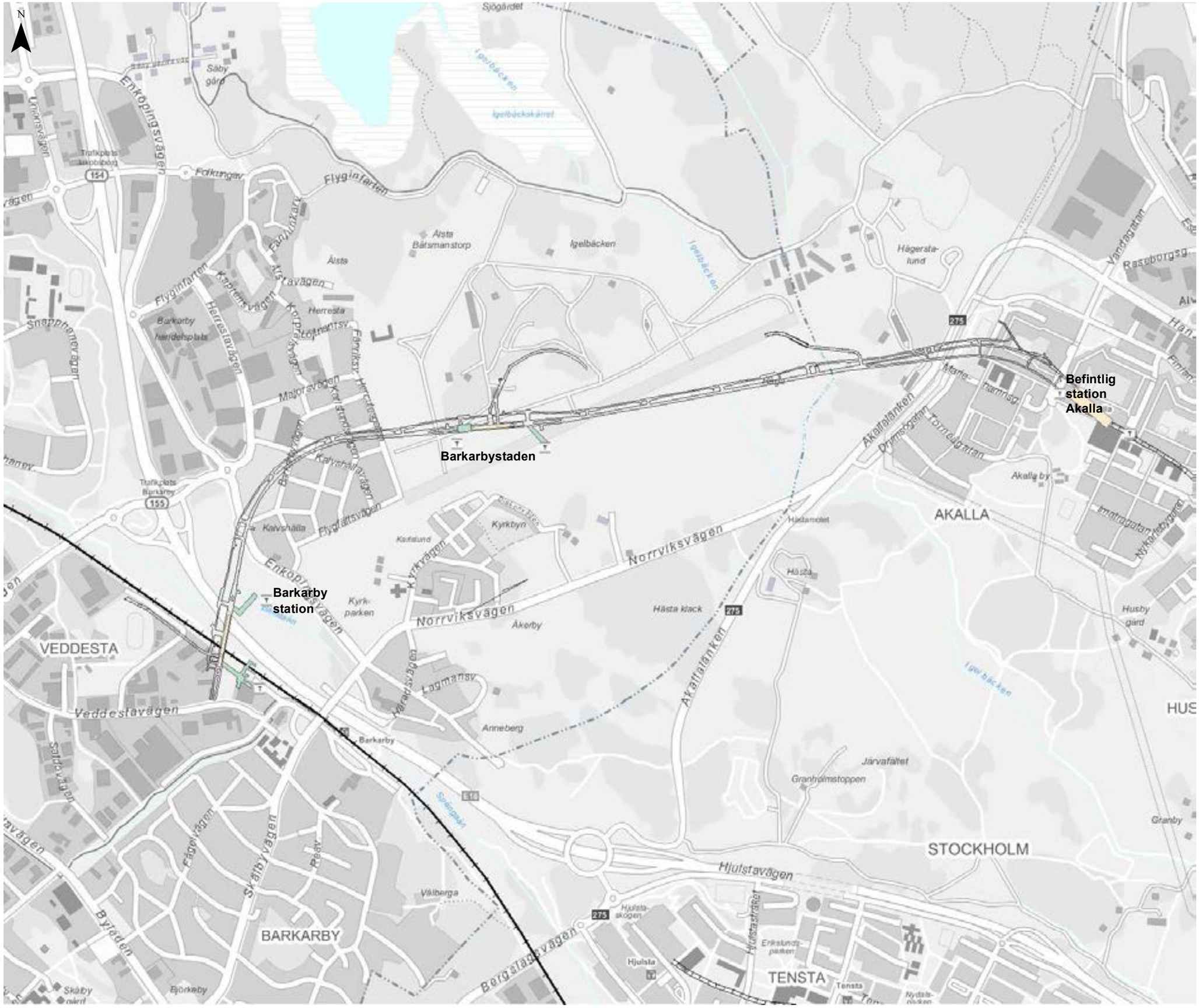
Skala (A3): 1:13 000

0 0,1 0,2 0,3 0,4 0,5 km

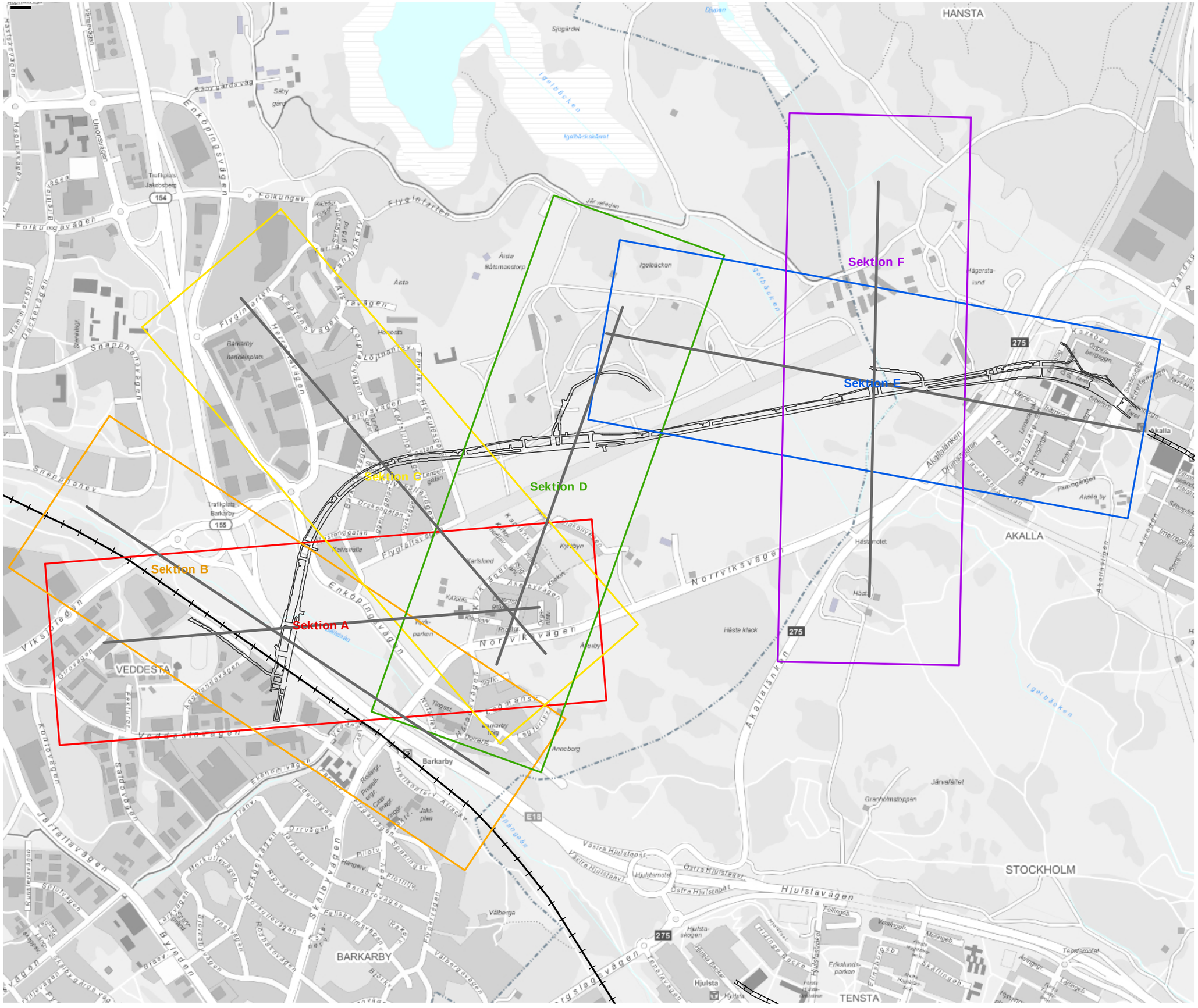
© Lantmäteriet, Geodatasamverkan
© Open Stockholm

Teckenförklaring

- Stationsentré
- Uppgång och biljetthall
- Plattform
- Ny tunnel
- Befintlig järnväg
- Befintlig tunnelbana



Förvaltning för utbyggd tunnelbana
STOCKHOLMS LÄNS LANDSTING



PM Hydrogeologi

Bilaga C2

Jord- och bergsektioner

Översikt

Sida 1 av 7

Miljöprövning för tunnelbana från Akalla till Barkarby station

Datum: 2015-11-27

Skala (A3): 1:13 000

0 0,1 0,2 0,3 0,4 0,5 km

© Lantmäteriet, Geodatasamverkan
© Open Stockholm

De färgade rutorna motsvarar kartutsnittet för respektive sektionsbilaga.

Jordlagerföljderna är baserade på geotekniska borrdata, byggnadsgeologiska kartan över Stockholm, SGU:s jordartskarta samt markdata och data från SGU:s brunnsarkiv. Utifrån varierande grader av information för olika områden har interpoleringar och anpassningar genomförts för att generera 3D-ytor för sektionsskärning. Sektionerna är alltså att betrakta som geologiska förväntningsmodeller och inte som genomgående exakta beskrivningar av verkligheten.

Förvaltning för utbyggd tunnelbana
STOCKHOLMS LÄNS LANDSTING

PM Hydrogeologi

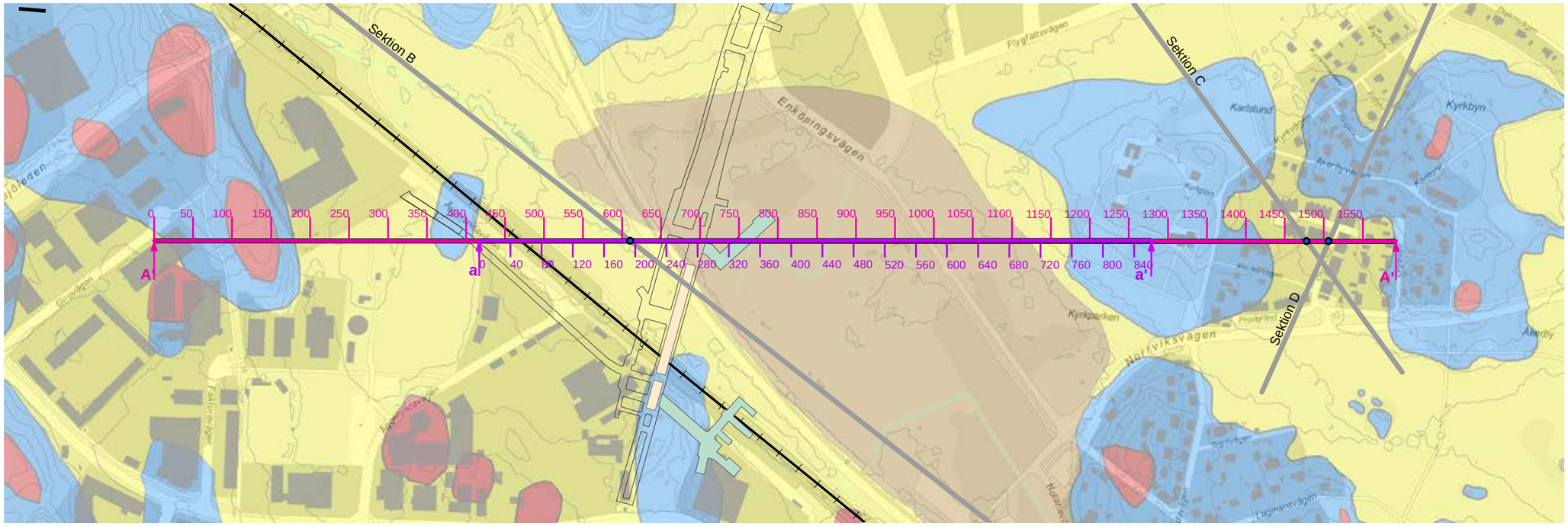
Bilaga C2

Jord- och bergsektioner

Sektion A

Sida 2 av 7

Miljöprövning för tunnelbana från Akalla till Barkarby station

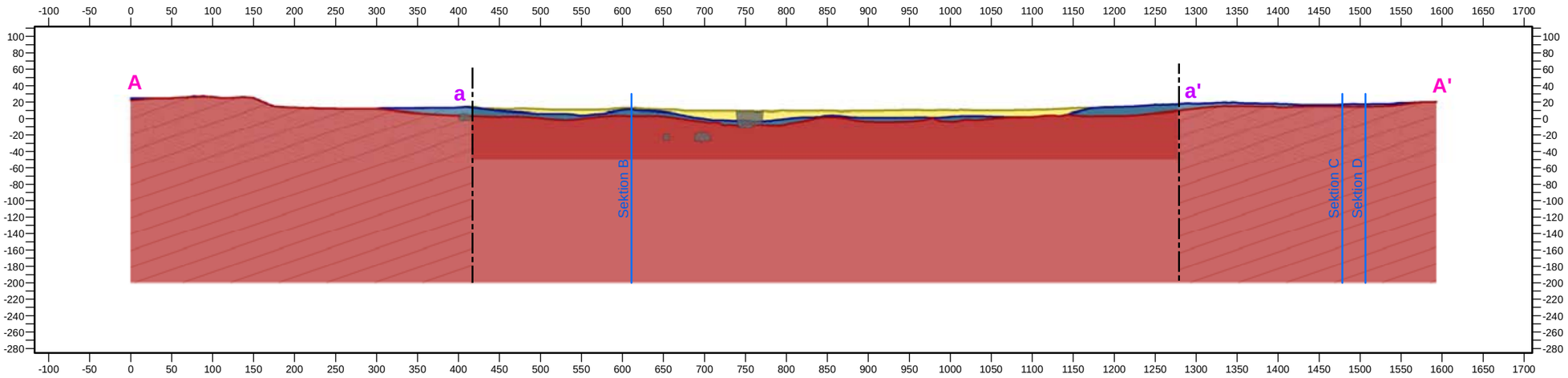


Datum: 2015-11-27

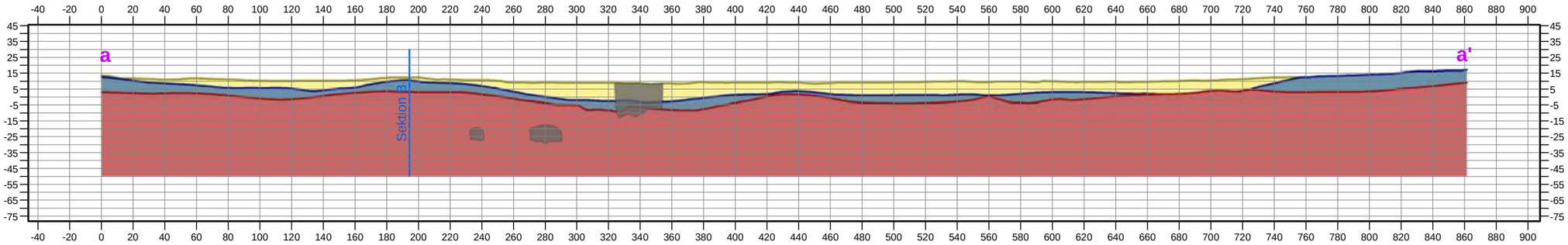
Skala (A3): 1:6 000

0 0,05 0,1 0,15 0,2 0,25 km

© Lantmäteriet, Geodatasamverkan
© Open Stockholm



1:6 000



1:3 000

Teckenförklaring sektioner

Planerad anläggning

Geologi

Berg

Lera

Friktionsjord

Skraffering motsvarar områden med mindre underlag till den geologiska förväntningsmodellen.

Förvaltning för utbyggd tunnelbana

STOCKHOLMS LÄNS LANDSTING

PM Hydrogeologi

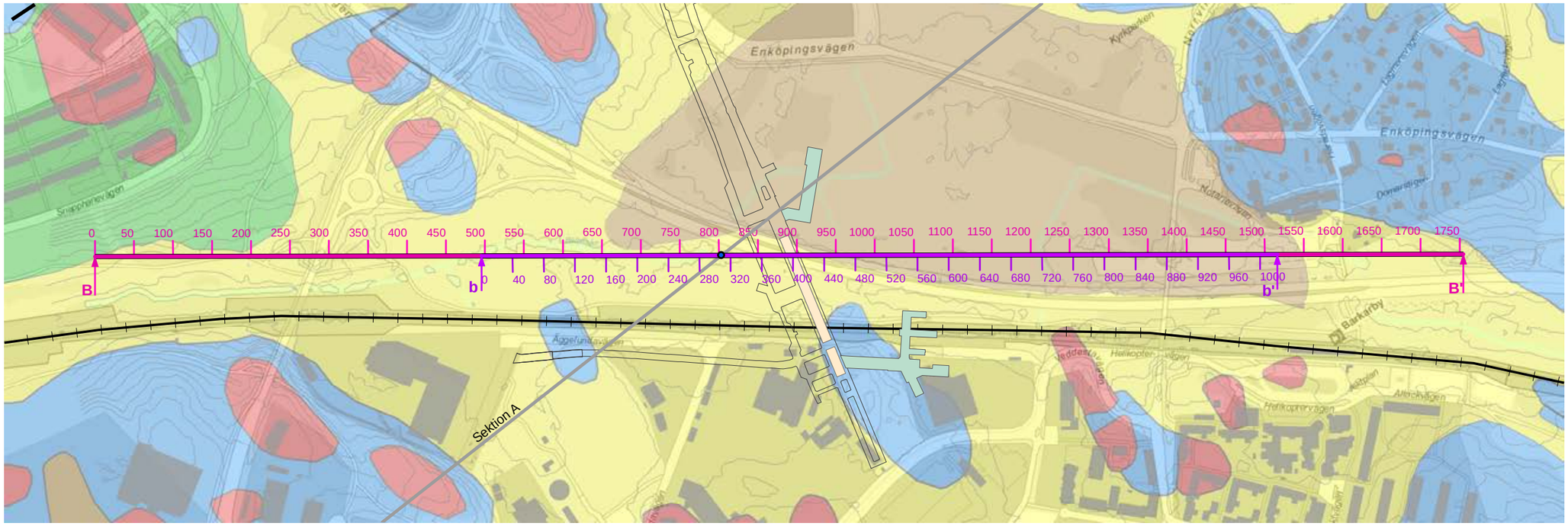
Bilaga C2

Jord- och bergsektioner

Sektion B

Sida 3 av 7

Miljöprövning för tunnelbana från Akalla till Barkarby station

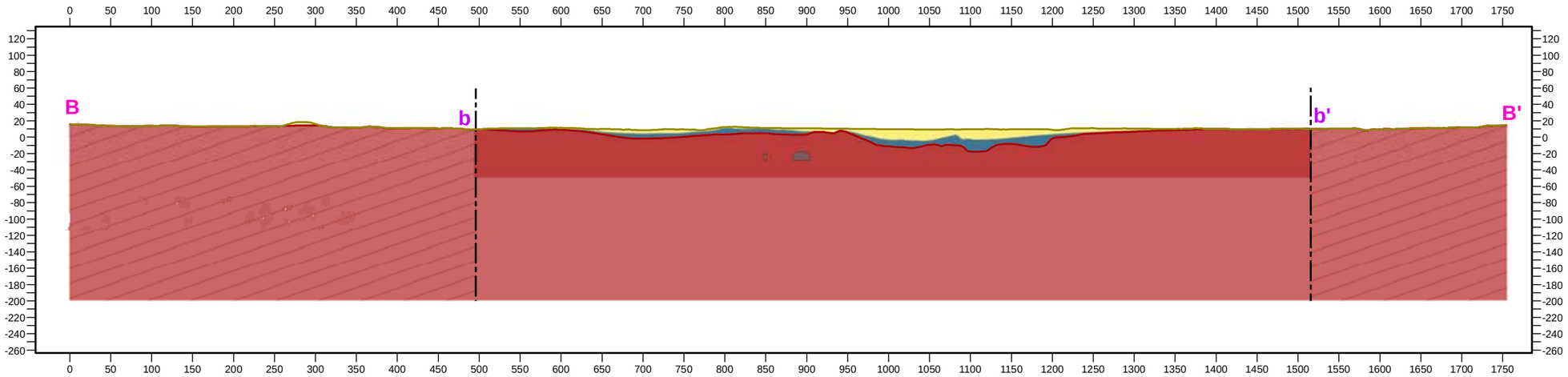


Datum: 2015-11-27

Skala (A3): 1:6 000

0 0,05 0,1 0,15 0,2 0,25 km

© Lantmäteriet, Geodatasamverkan
© Open Stockholm



1:6 000

Teckenförklaring sektioner

Planerad anläggning

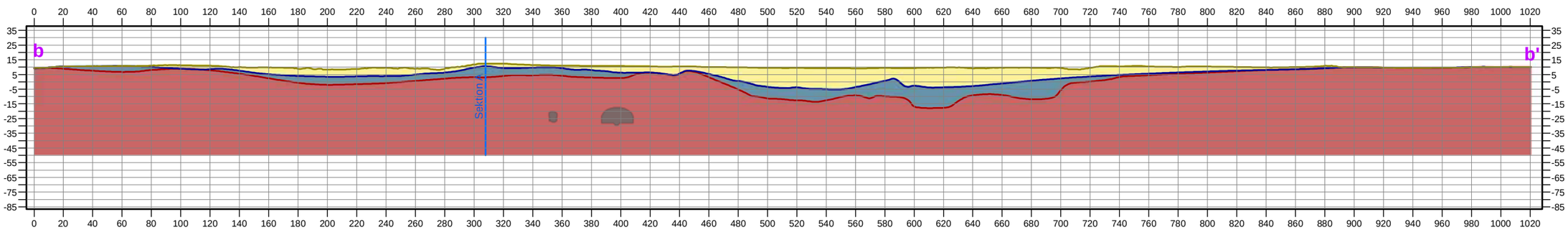
Geologi

Berg

Lera

Friktionsjord

Skraffering motsvarar områden med mindre underlag till den geologiska förväntningsmodellen.



1:3 000

Förvaltning för utbyggd tunnelbana
STOCKHOLMS LÄNS LANDSTING

PM Hydrogeologi

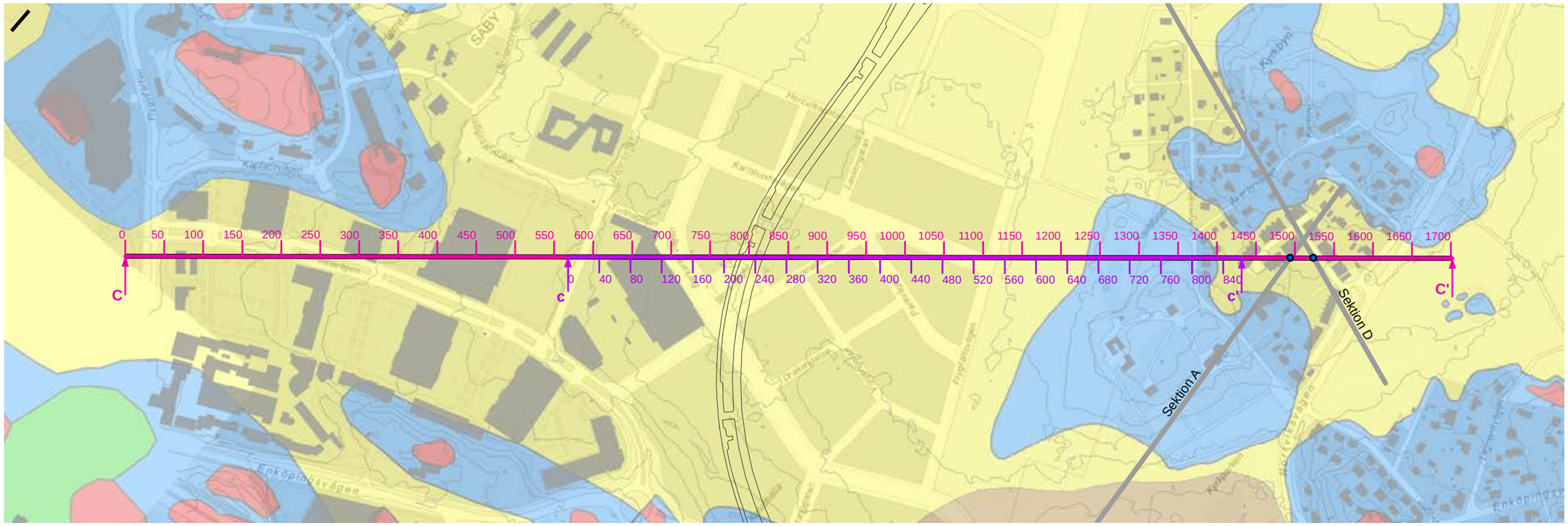
Bilaga C2

Jord- och bergsektioner

Sektion C

Sida 4 av 7

Miljöprövning för tunnelbana från Akalla till Barkarby station

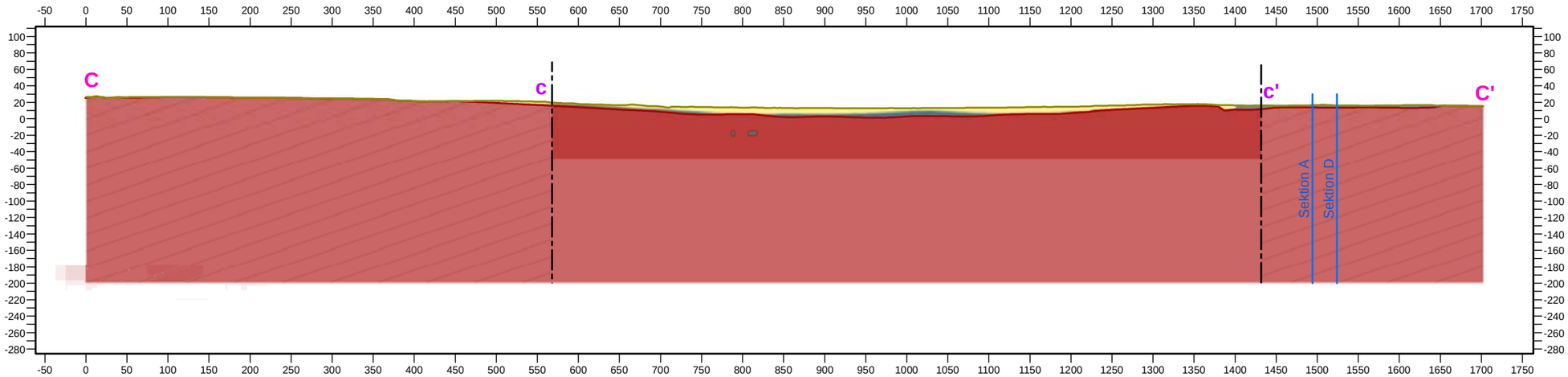


Datum: 2015-11-27

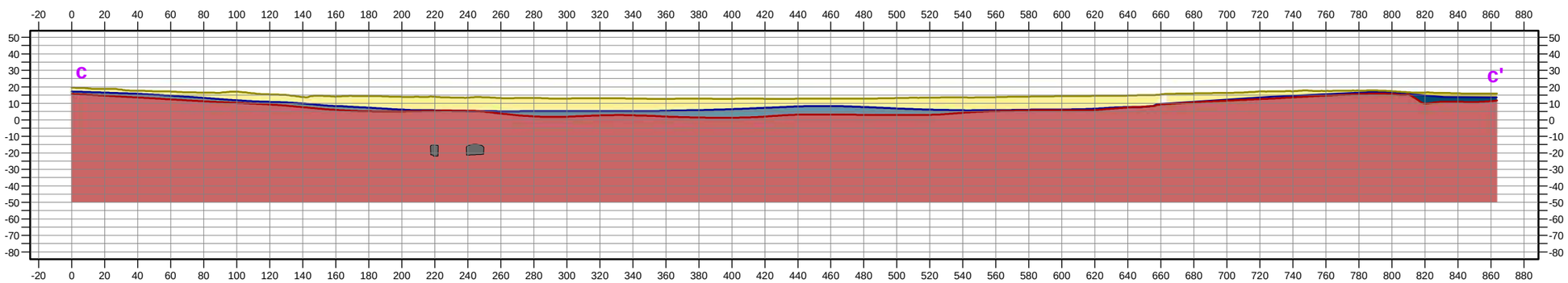
Skala (A3): 1:6 000

0 0,05 0,1 0,15 0,2 0,25 km

© Lantmäteriet, Geodatasamverkan
© Open Stockholm



1:6 000



1:3 000

Teckenförklaring sektioner

Planerad anläggning

Geologi

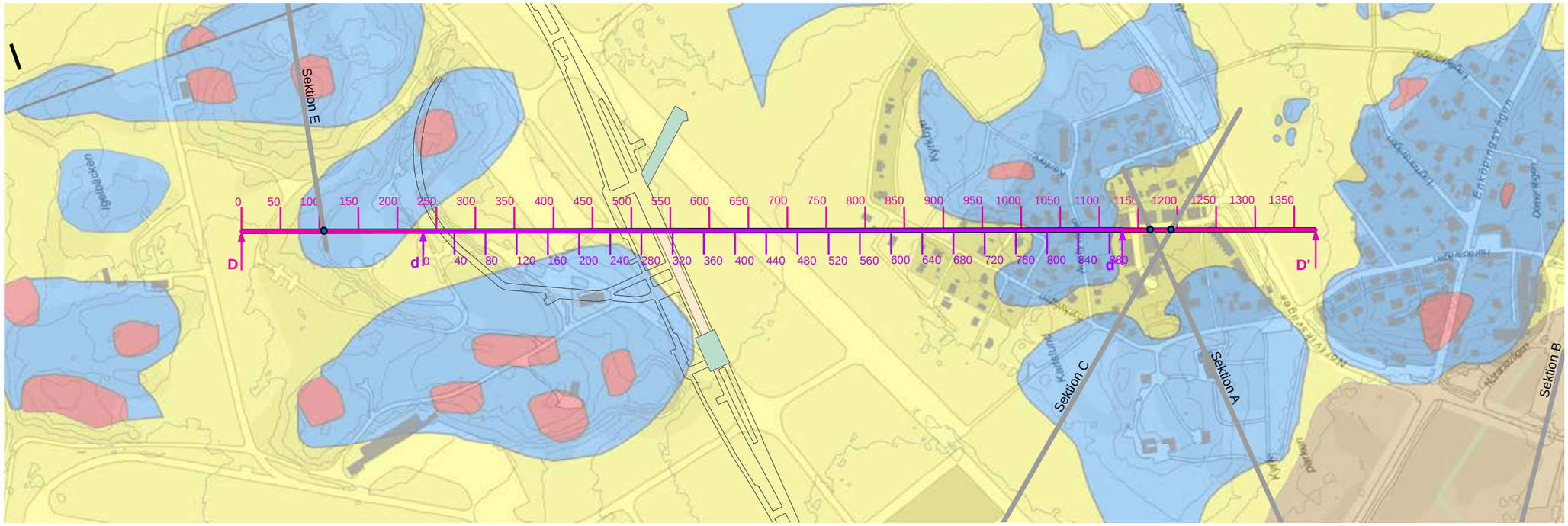
Berg

Lera

Friktionsjord

Skraffering motsvarar områden med mindre underlag till den geologiska förväntningsmodellen.

Förvaltning för utbyggd tunnelbana
STOCKHOLMS LÄNS LANDSTING



PM Hydrogeologi

Bilaga C2

Jord- och bergsektioner

Sektion D

Sida 5 av 7

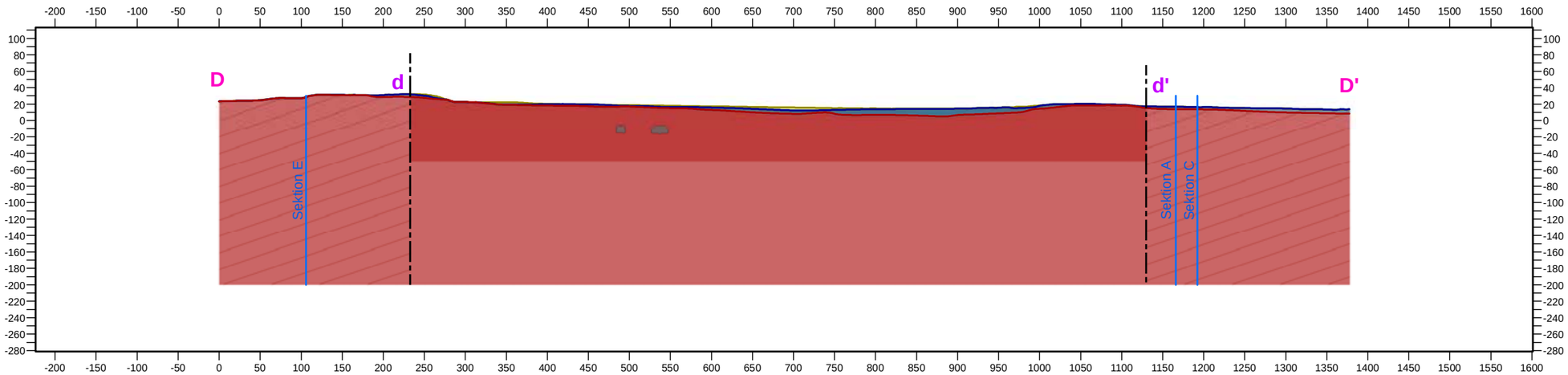
Miljöprövning för tunnelbana från Akalla till Barkarby station

Datum: 2015-11-27

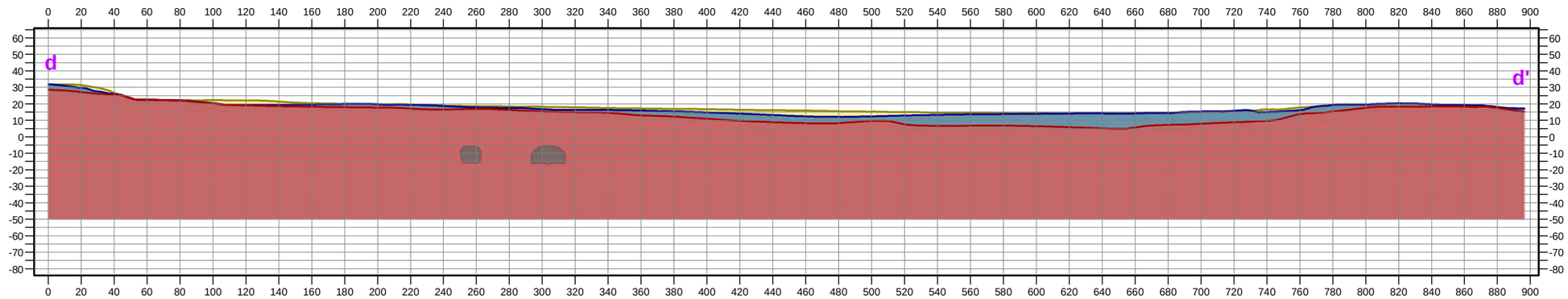
Skala (A3): 1:6 000

0 0,05 0,1 0,15 0,2 0,25 km

© Lantmäteriet, Geodatasamverkan
© Open Stockholm



1:6 000



1:3 000

Teckenförklaring sektioner

Planerad anläggning

Geologi

Berg

Lera

Friktionsjord

Skraffering motsvarar områden med mindre underlag till den geologiska förväntningsmodellen.

Förvaltning för utbyggd tunnelbana
STOCKHOLMS LÄNS LANDSTING

PM Hydrogeologi

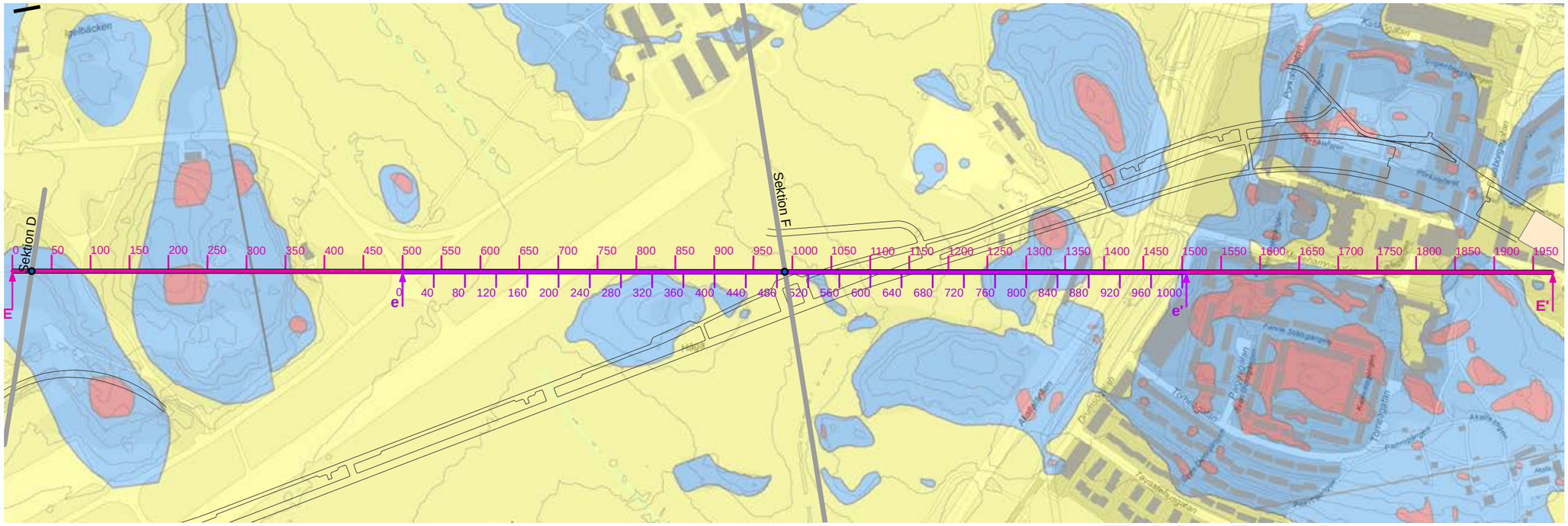
Bilaga C2

Jord- och bergsektioner

Sektion E

Sida 6 av 7

Miljöprövning för tunnelbana från Akalla till Barkarby station

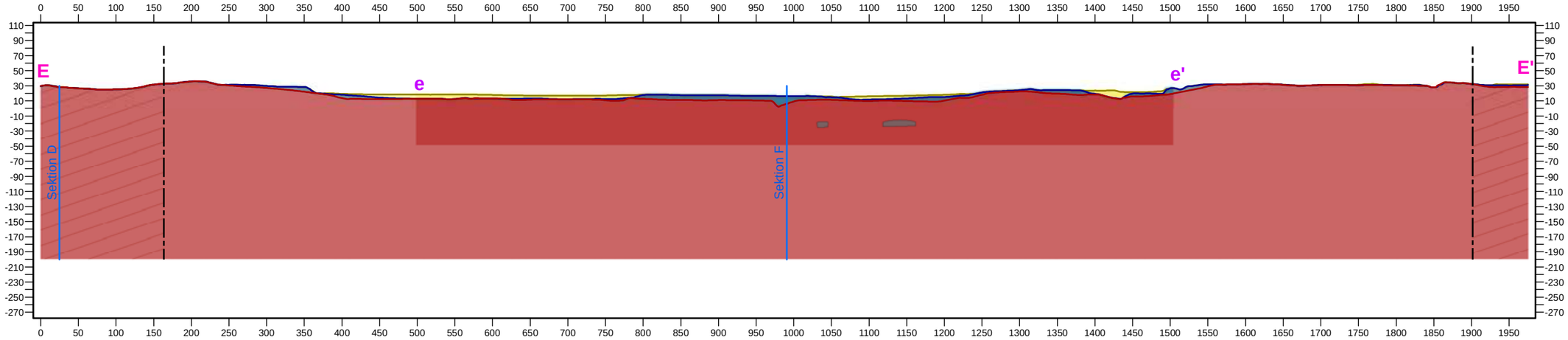


Datum: 2015-11-27

Skala (A3): 1:6 000

0 0,05 0,1 0,15 0,2 0,25 km

© Lantmäteriet, Geodatasamverkan
© Open Stockholm



1:6 000

Teckenförklaring sektioner

Planerad anläggning

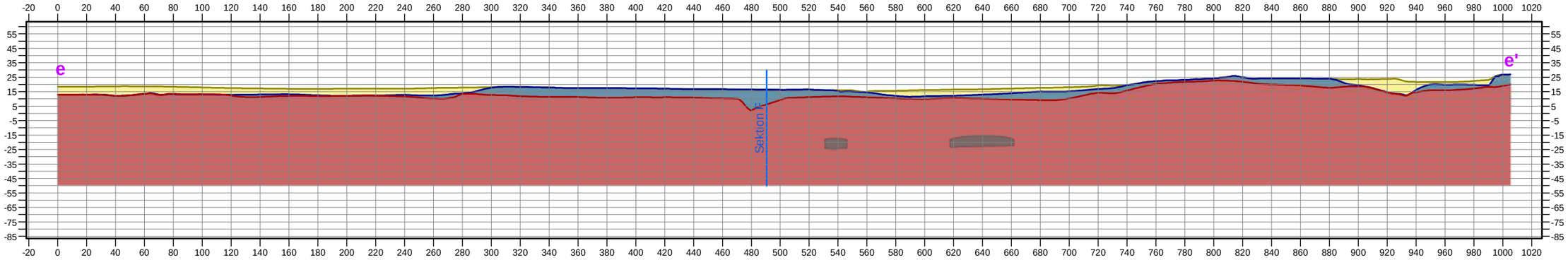
Geologi

Berg

Lera

Friktionsjord

Skraffering motsvarar områden med mindre underlag till den geologiska förväntningsmodellen.



1:3 000

Förvaltning för utbyggd tunnelbana
STOCKHOLMS LÄNS LANDSTING

PM Hydrogeologi

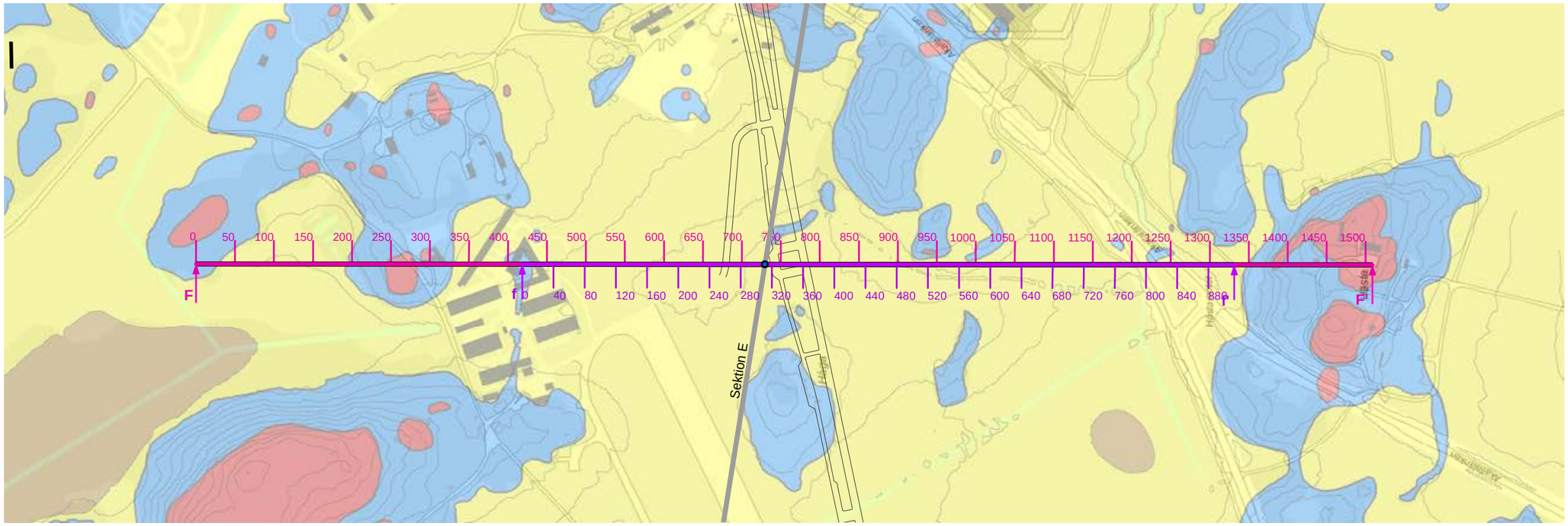
Bilaga C2

Jord- och bergsektioner

Sektion F

Sida 7 av 7

Miljöprövning för tunnelbana från Akalla till Barkarby station

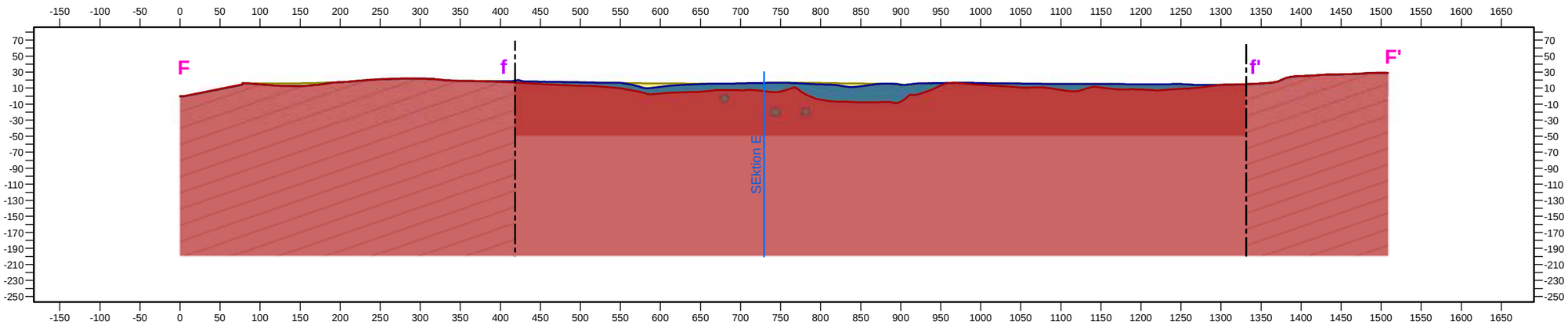


Datum: 2015-11-27

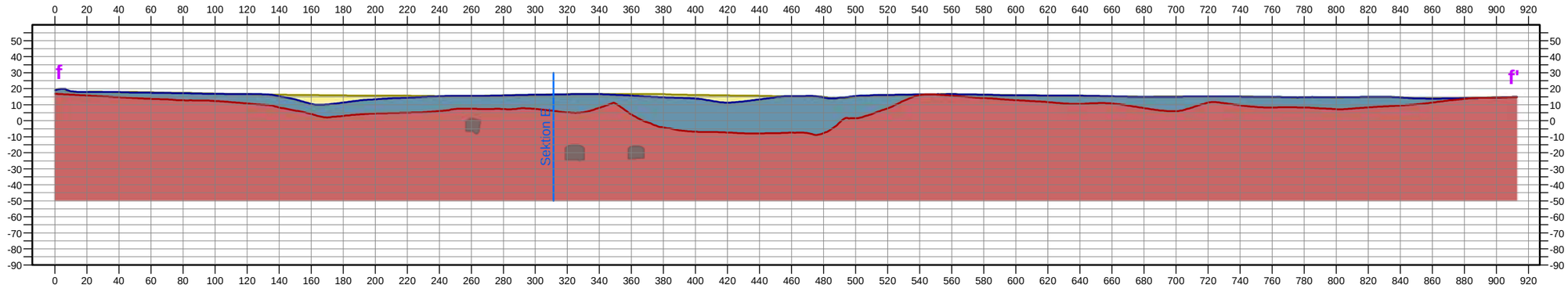
Skala (A3): 1:6 000

0 0,05 0,1 0,15 0,2 0,25 km

© Lantmäteriet, Geodatasamverkan
© Open Stockholm



1:6 000



1:3 000

Teckenförklaring sektioner

Planerad anläggning

Geologi

Berg

Lera

Friktionsjord

Skraffering motsvarar områden med mindre underlag till den geologiska förväntningsmodellen.

Förvaltning för utbyggd tunnelbana
STOCKHOLMS LÄNS LANDSTING

PM Hydrogeologi

Bilaga C3
Geologisk karta med karterade sprickzoner

Miljöprövning för tunnelbana från Akalla till Barkarby station

Datum: 2015-11-27

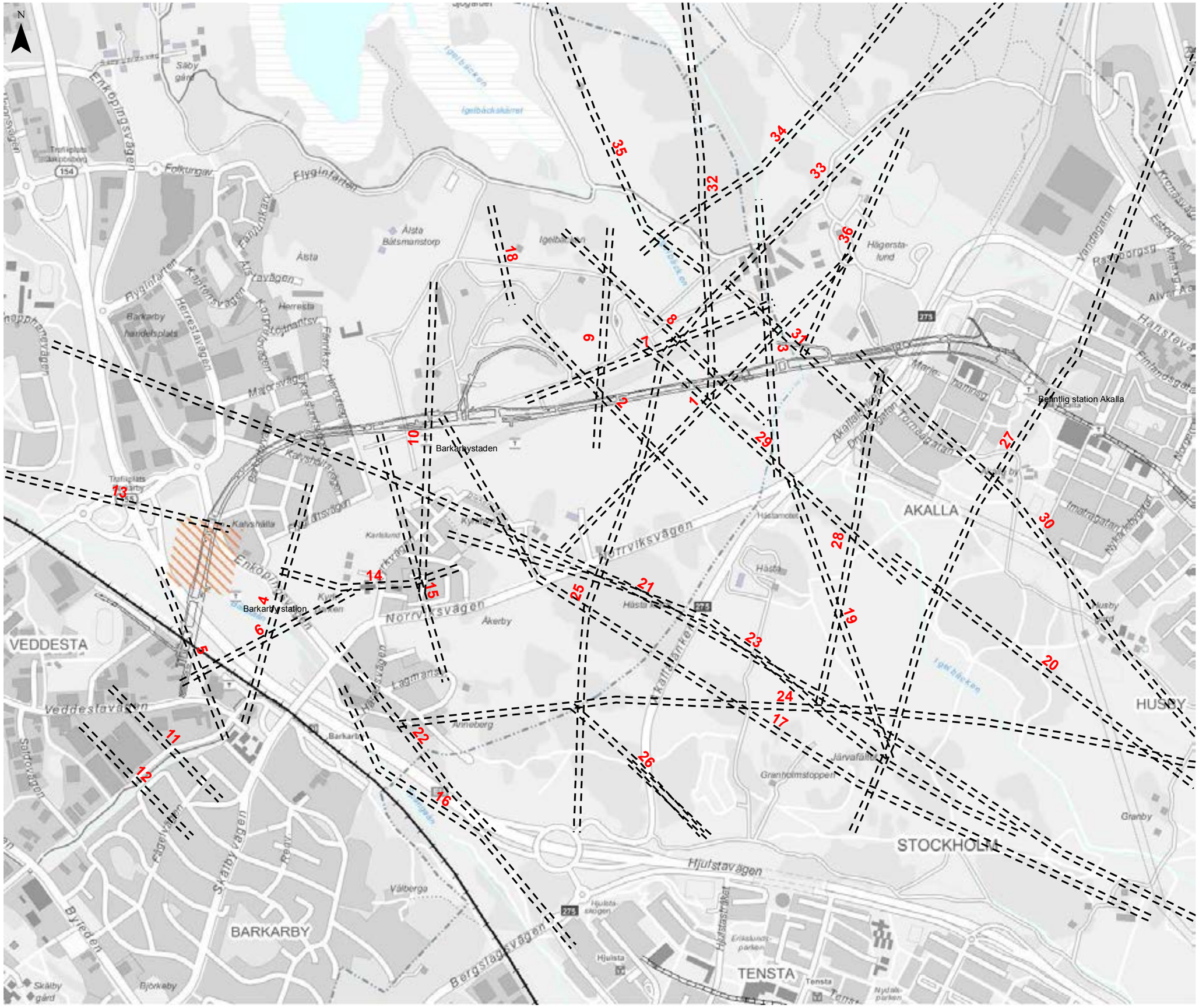
Skala (A3): 1:13 000

0 0,1 0,2 0,3 0,4 0,5 km

© Lantmäteriet, Geodatasamverkan
© Open Stockholm

Teckenförklaring

- Indikerad svaghetszon med id-nummer. Preliminärt läge och tolkning
- Område med poröst berg med större förekomst av sprickor
- Stationsentré
- Befintlig järnväg
- Befintlig tunnelbana
- Ny tunnel


N
Barkarbystaden
Barkarby station
Befintlig station Akalla
AKALLA
VEDDESTA
BARKARBY
TENSTA
HUSBY
STOCKHOLM
Norrviksvägen
Hjulstavägen
Bergslagsvägen
Veddestavägen
Enköpingsvägen
Flygfältet
Folkungav
Åsta
Herresta
Hägerstalund
Hästa
Järvafältet
Granholmstoppen
Akerby
Lagmansö
Arnieberg
Kalvshälla
Skälby gård
Björkeby
Byfeden
Skälbyvägen
Fågelvägen
Saldovägen
Kapitelsvägen
Majorsvägen
Kanslihovägen
Kungsängsvägen
Kungsängsgatan
Kungsängsstigen
Kungsängsplan
Kungsängsparken
Kungsängsskolan
Kungsängsbron
Kungsängsbrunnen
Kungsängsbron
Kungsängsbrunnen
Kungsängsbron
Kungsängsbrunnen

PM Hydrogeologi

Bilaga C4.1
Hydrogeologisk karta med grundvattenmagasin

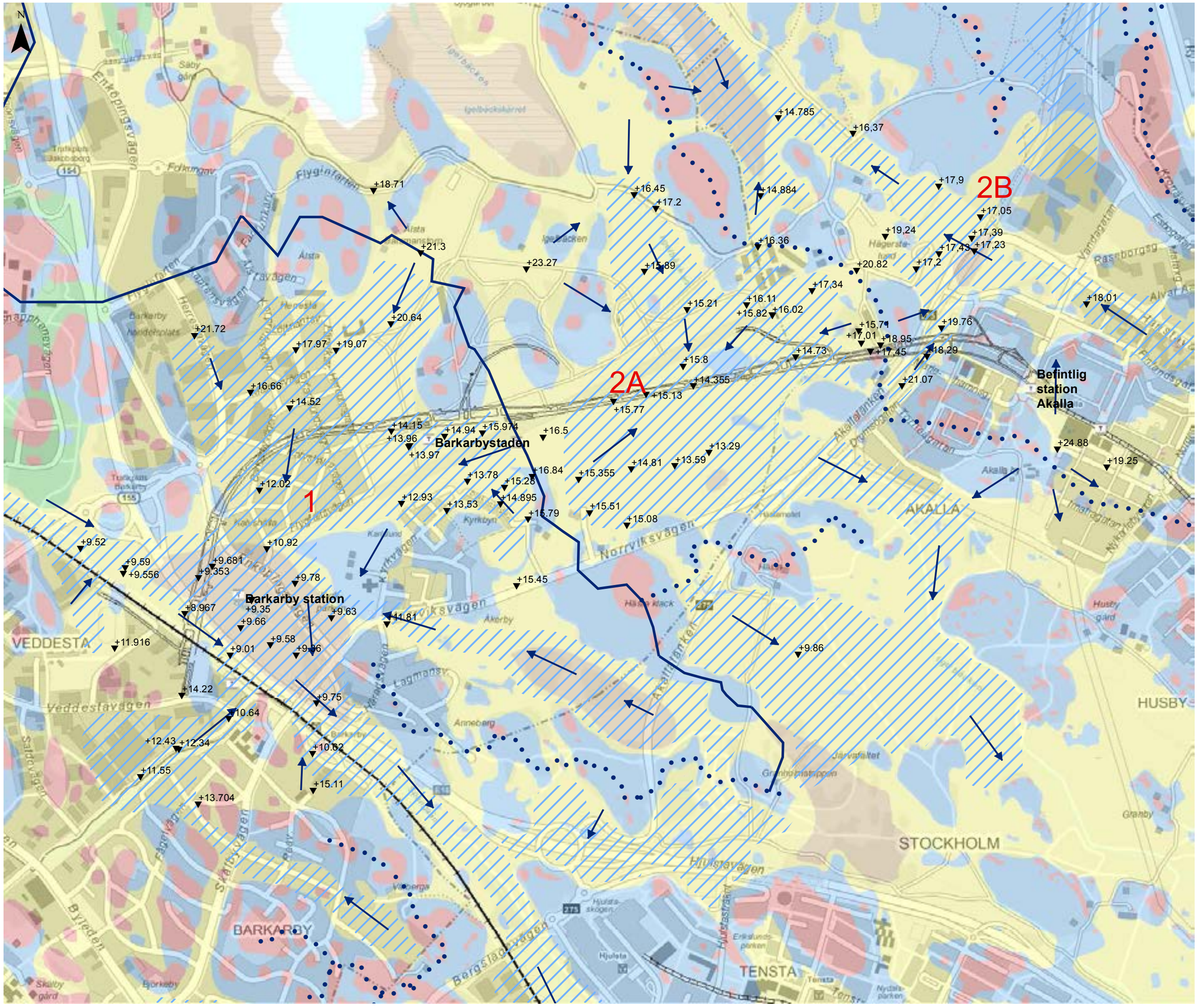
Miljöprövning för tunnelbana från Akalla till Barkarby station

Datum: 2015-11-27

Skala (A3): 1:13 000

0 0,1 0,2 0,3 0,4 0,5 km

© Lantmäteriet, Geodatasamverkan
© Open Stockholm



Teckenförklaring

- Grundvattenrör, nivåer 20150904 och 20150908
- Generell flödesriktning
- Lokal grundvattendelare
- Regional grundvattendelare
- Grundvattenmagasin
- Stationsentré
- Ny tunnel
- Befintlig järnväg
- Befintlig tunnelbana
- Berg
- Lera
- Morän
- Organisk jord
- Sten, grus och sand
- Växellagring

Förvaltning för utbyggd tunnelbana
STOCKHOLMS LÄNS LANDSTING

PM Hydrogeologi

Bilaga C4.2
Grundvattenrör

Miljöprövning för tunnelbana från Akalla till Barkarby station

Datum: 2015-11-27

Skala (A3): 1:13 000

0 0,1 0,2 0,3 0,4 0,5 km

© Lantmäteriet, Geodatasamverkan
© Open Stockholm

Teckenförklaring

- Grundvattenrör
- Stationsentré
- Ny tunnel
- Befintlig järnväg
- Befintlig tunnelbana

Förvaltning för utbyggd tunnelbana
STOCKHOLMS LÄNS LANDSTING

PM Hydrogeologi

Bilaga C5.1
Brunnar

Miljöprövning för tunnelbana från Akalla till Barkarby station

Datum: 2015-11-27

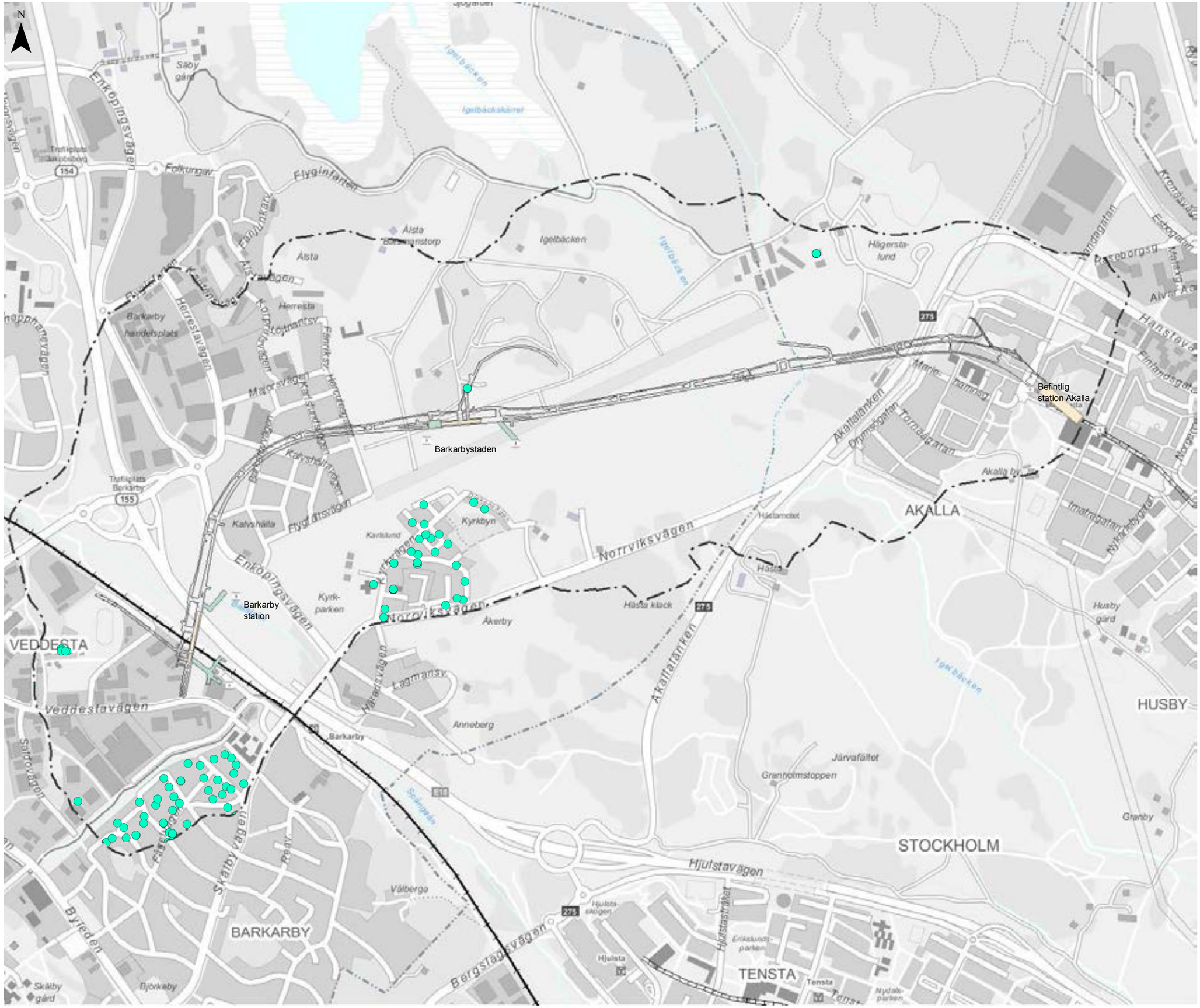
Skala (A3): 1:13 000

0 0,1 0,2 0,3 0,4 0,5 km

© Lantmäteriet, Geodatasamverkan
© Open Stockholm

Teckenförklaring

- Energibrunnar och övriga kända brunnar
- Influensområde
- Tunnelbaneuppgång
- Uppgång och biljetthall
- Plattform
- Ny tunnel
- Befintlig järnväg
- Befintlig tunnelbana



Förvaltning för utbyggd tunnelbana
STOCKHOLMS LÄNS LANDSTING

PM Hydrogeologi

Bilaga C5.2
Influensområde och känsliga objekt

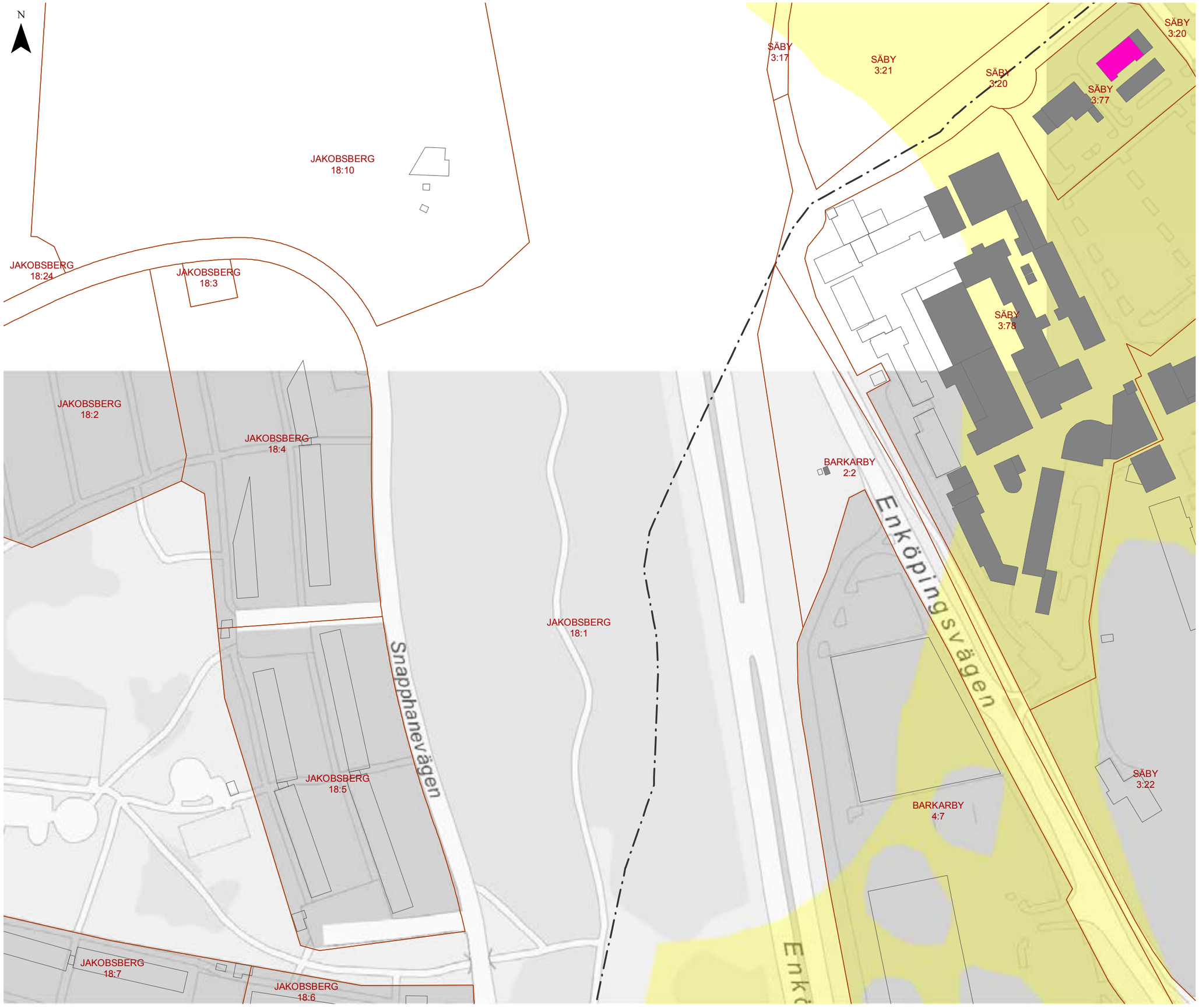
Miljöprövning för tunnelbana från Akalla till Barkarby station

Datum: 2015-11-27

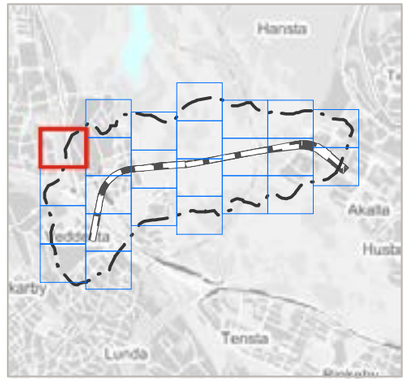
Skala (A3): 1:2 000

0 20 40 60 80 100 m

© Lantmäteriet, Geodatasamverkan
© Open Stockholm



- Okänd grundläggning
- Grundläggning på lera
- Övriga byggnader
- Fastighetsgräns
- Influensområde



Förvaltning för utbyggd tunnelbana
STOCKHOLMS LÄNS LANDSTING

PM Hydrogeologi

Bilaga C5.2
Influensområde och känsliga objekt

Miljöprövning för tunnelbana från Akalla till Barkarby station

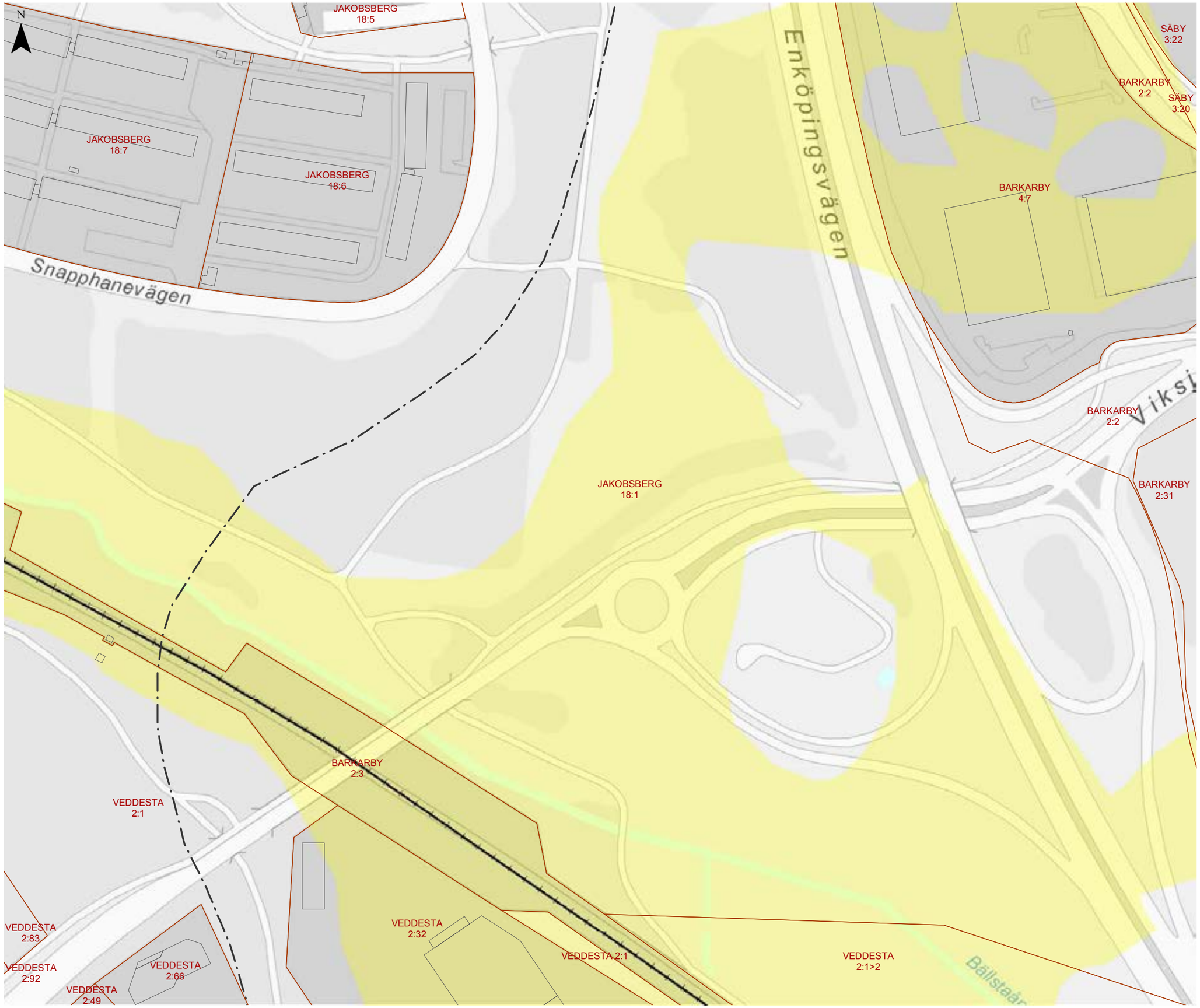
Datum: 2015-11-27

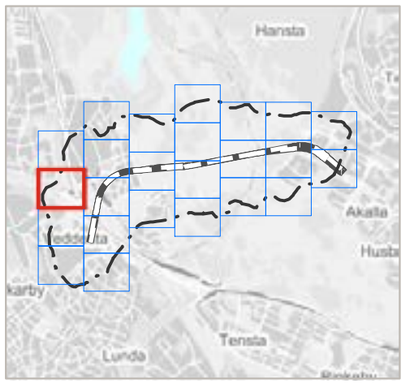
Skala (A3): 1:2 000

0 20 40 60 80 100 m

© Lantmäteriet, Geodatasamverkan
© Open Stockholm

- Övriga byggnader
- Fastighetsgräns
- Influensområde
- Befintlig järnväg
- Område med lera





Förvaltning för utbyggd tunnelbana
STOCKHOLMS LÄNS LANDSTING

PM Hydrogeologi

Bilaga C5.2
Influensområde och känsliga objekt

Miljöprövning för tunnelbana från Akalla till Barkarby station

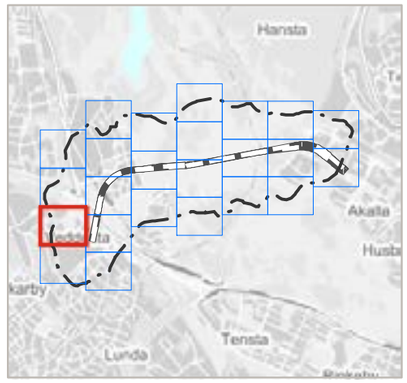
Datum: 2015-11-27

Skala (A3): 1:2 000

0 20 40 60 80 100 m

© Lantmäteriet, Geodatasamverkan
© Open Stockholm

- Okänd grundläggning
- Energibrunnar och övriga kända brunnar
- Övriga byggnader
- Fastighetsgräns
- Influensområde
- Ny tunnel
- Befintlig järnväg



Förvaltning för utbyggd tunnelbana
STOCKHOLMS LÄNS LANDSTING

PM Hydrogeologi

Bilaga C5.2
Influensområde och känsliga objekt

Miljöprövning för tunnelbana från Akalla till Barkarby station

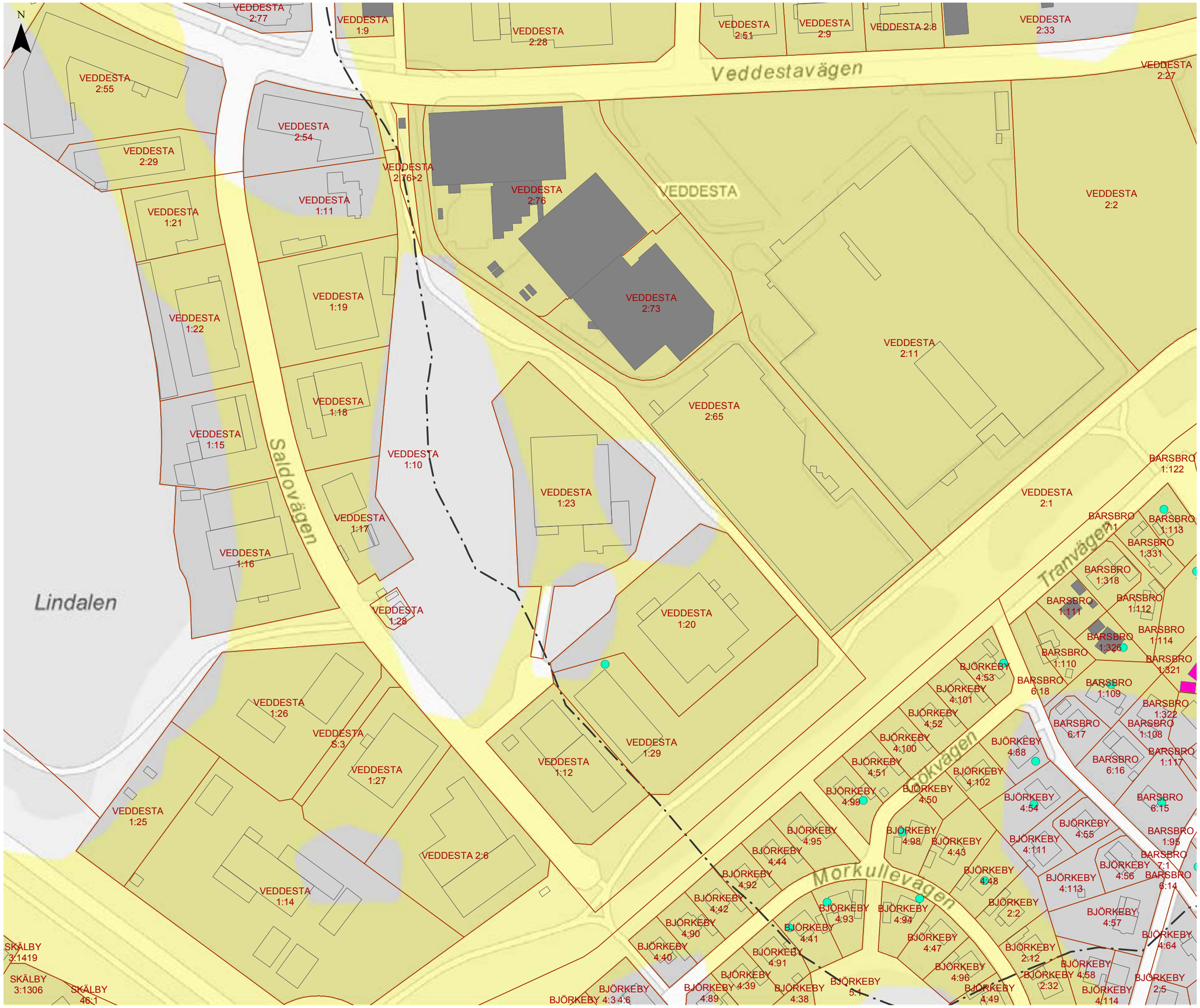
Datum: 2015-11-27

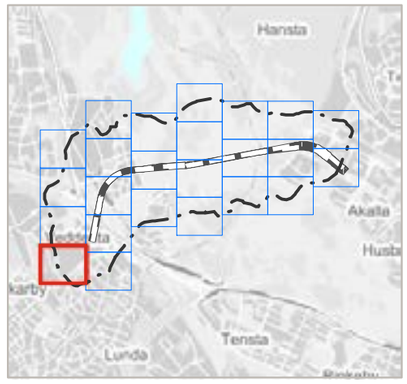
Skala (A3): 1:2 000

0 20 40 60 80 100 m

© Lantmäteriet, Geodatasamverkan
© Open Stockholm

- Okänd grundläggning
- Grundläggning på lera
- Energibrunnar och övriga kända brunnar
- Övriga byggnader
- Fastighetsgräns
- Influensområde





Förvaltning för utbyggd tunnelbana
STOCKHOLMS LÄNS LANDSTING

PM Hydrogeologi

Bilaga C5.2
Influensområde och känsliga objekt

Miljöprövning för tunnelbana från Akalla till Barkarby station

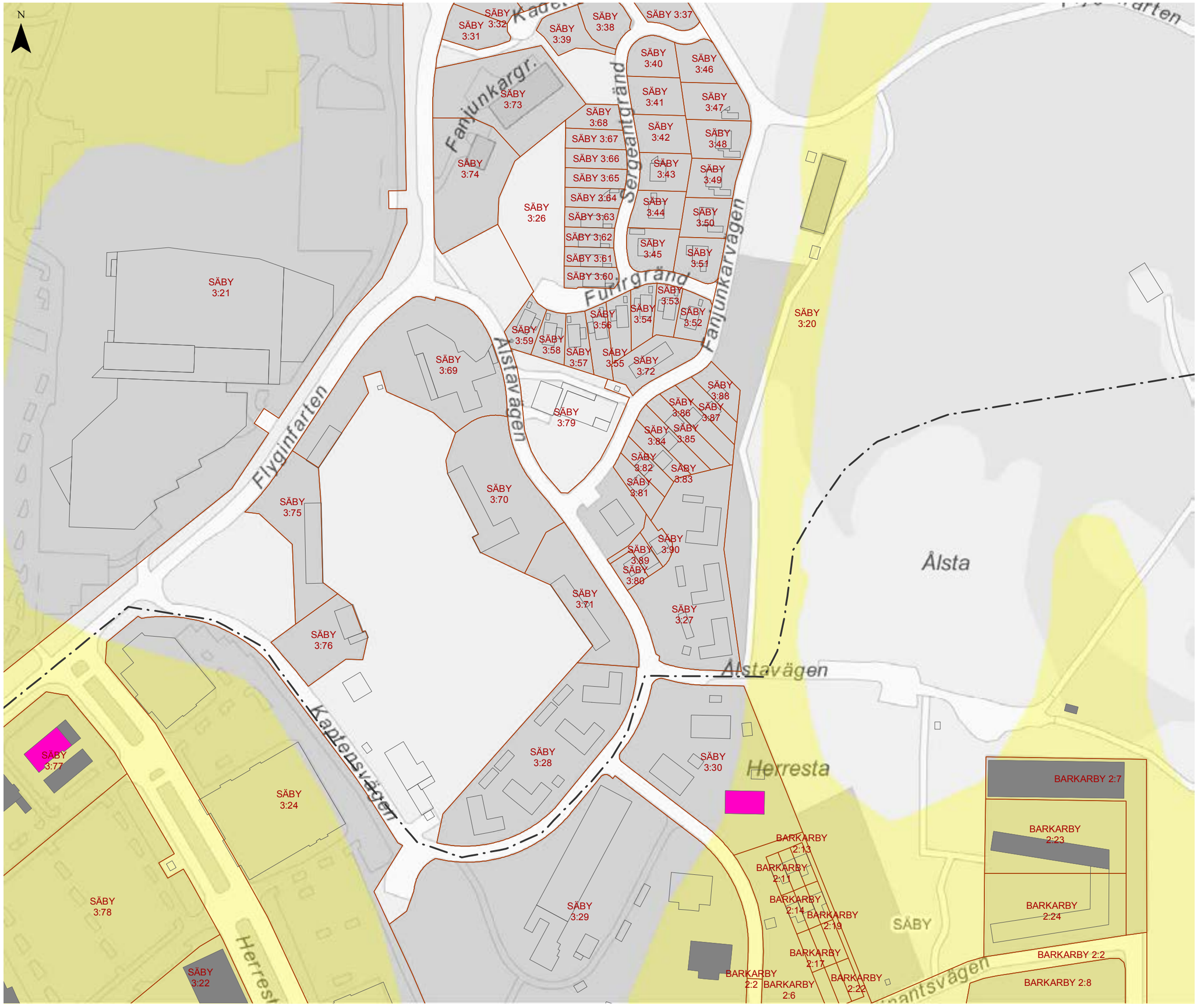
Datum: 2015-11-27

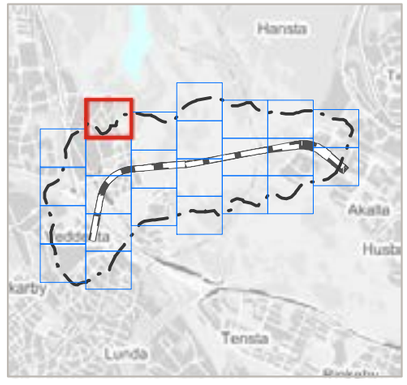
Skala (A3): 1:2 000

0 20 40 60 80 100 m

© Lantmäteriet, Geodatasamverkan
© Open Stockholm

- Okänd grundläggning
- Grundläggning på lera
- Övriga byggnader
- Fastighetsgräns
- Influensområde





Förvaltning för utbyggd tunnelbana
STOCKHOLMS LÄNS LANDSTING

PM Hydrogeologi

Bilaga C5.2
Influensområde och känsliga objekt

Miljöprövning för tunnelbana från Akalla till Barkarby station

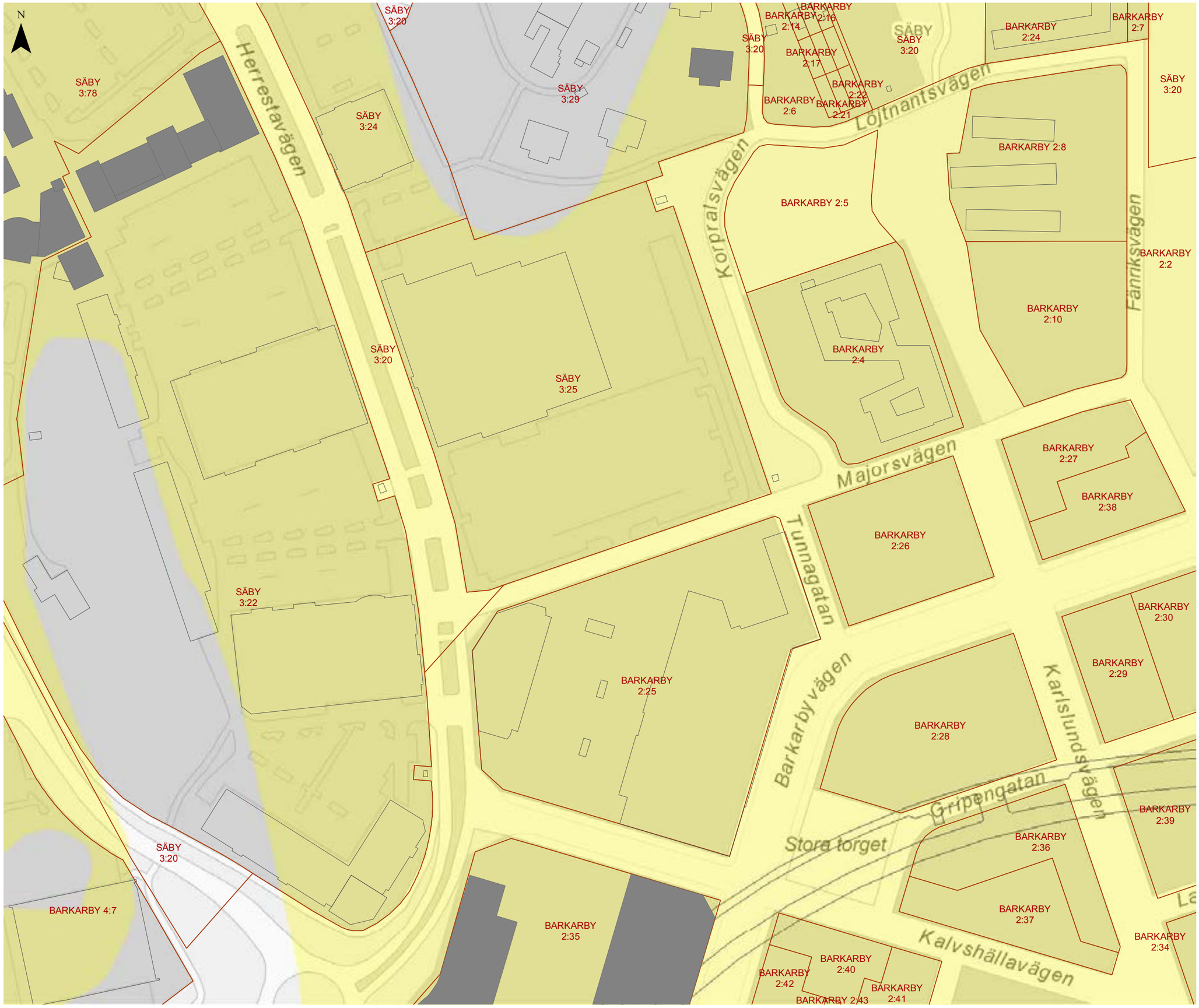
Datum: 2015-11-27

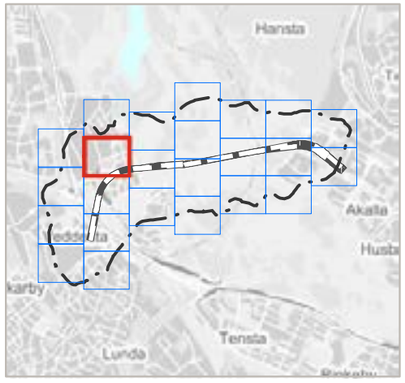
Skala (A3): 1:2 000

0 20 40 60 80 100 m

© Lantmäteriet, Geodatasamverkan
© Open Stockholm

- Okänd grundläggning
- Övriga byggnader
- Fastighetsgräns
- Influensområde
- Ny tunnel





Förvaltning för utbyggd tunnelbana
STOCKHOLMS LÄNS LANDSTING

PM Hydrogeologi

Bilaga C5.2
Influensområde och känsliga objekt

Miljöprövning för tunnelbana från Akalla till Barkarby station

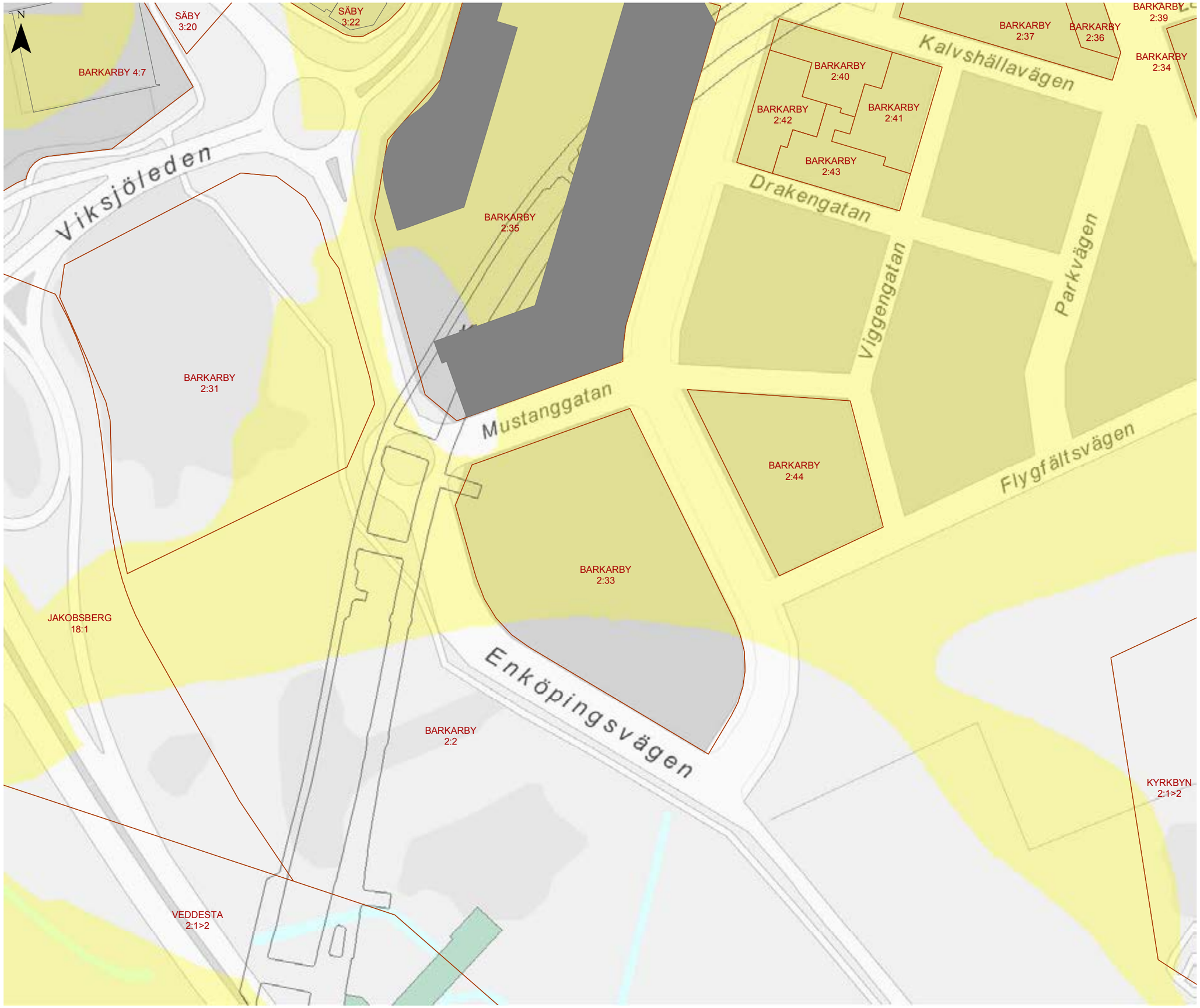
Datum: 2015-11-27

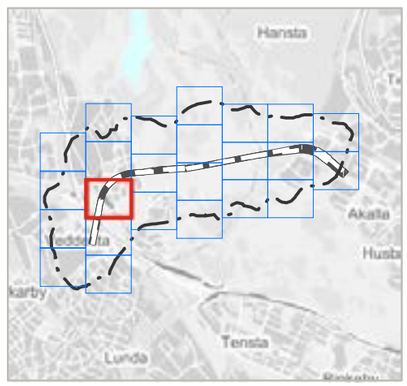
Skala (A3): 1:2 000

0 20 40 60 80 100 m

© Lantmäteriet, Geodatasamverkan
© Open Stockholm

- Okänd grundläggning
- Övriga byggnader
- Fastighetsgräns
- Influensområde
- Uppgång och biljetthall
- Ny tunnel
- Område med lera





Förvaltning för utbyggd tunnelbana
STOCKHOLMS LÄNS LANDSTING

PM Hydrogeologi

Bilaga C5.2
Influensområde och känsliga objekt

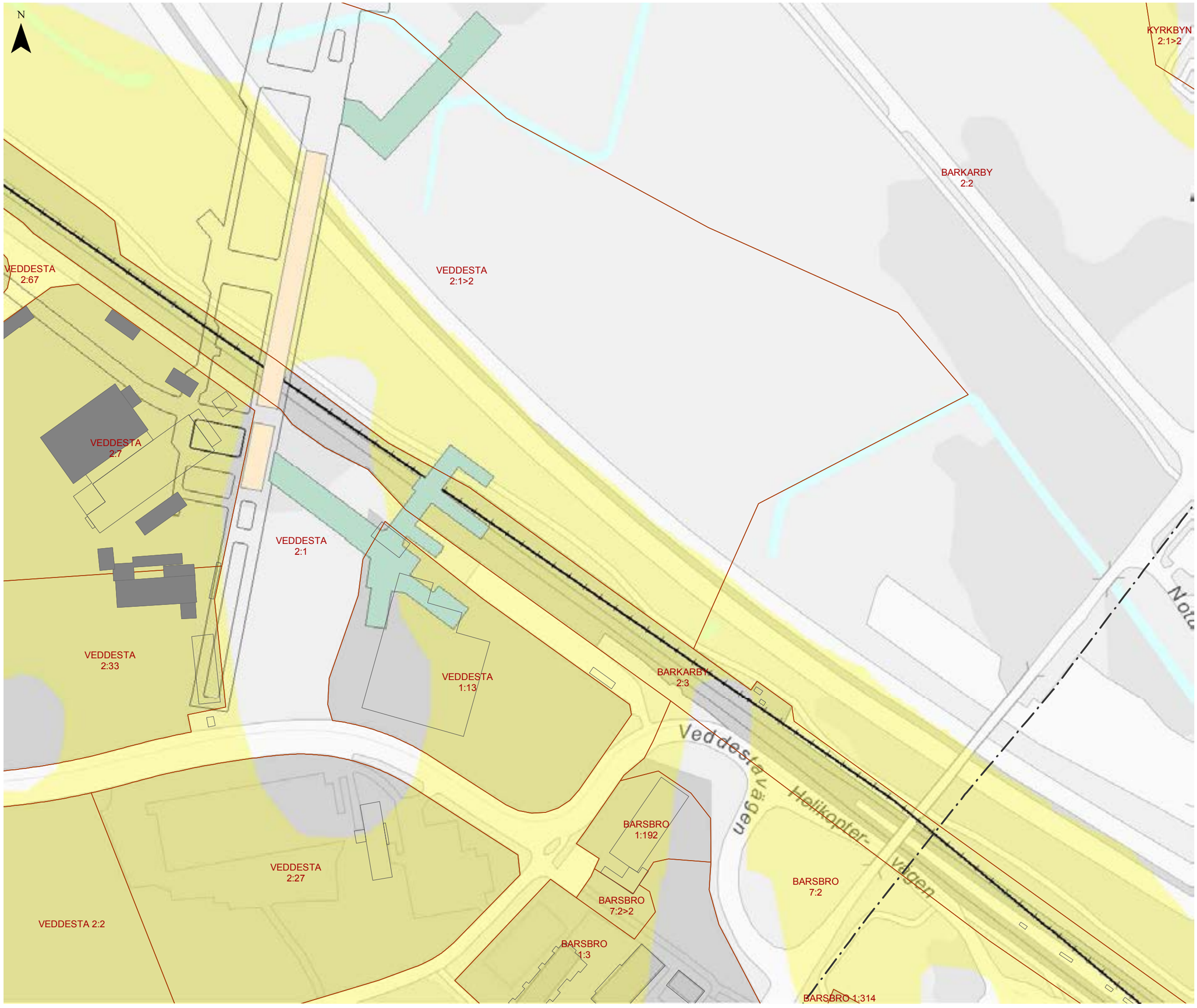
Miljöprövning för tunnelbana från Akalla till Barkarby station

Datum: 2015-11-27

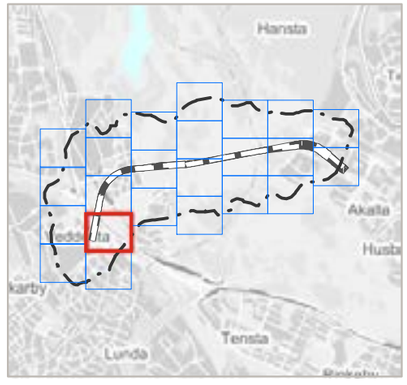
Skala (A3): 1:2 000

0 20 40 60 80 100 m

© Lantmäteriet, Geodatasamverkan
© Open Stockholm



- Okänd grundläggning
- Övriga byggnader
- Fastighetsgräns
- Influensområde
- Uppgång och biljetthall
- Plattform
- Ny tunnel
- Befintlig järnväg
- Område med lera



Förvaltning för utbyggd tunnelbana
STOCKHOLMS LÄNS LANDSTING

PM Hydrogeologi

Bilaga C5.2
Influensområde och känsliga objekt

Miljöprövning för tunnelbana från Akalla till Barkarby station

Sida 9 av 24

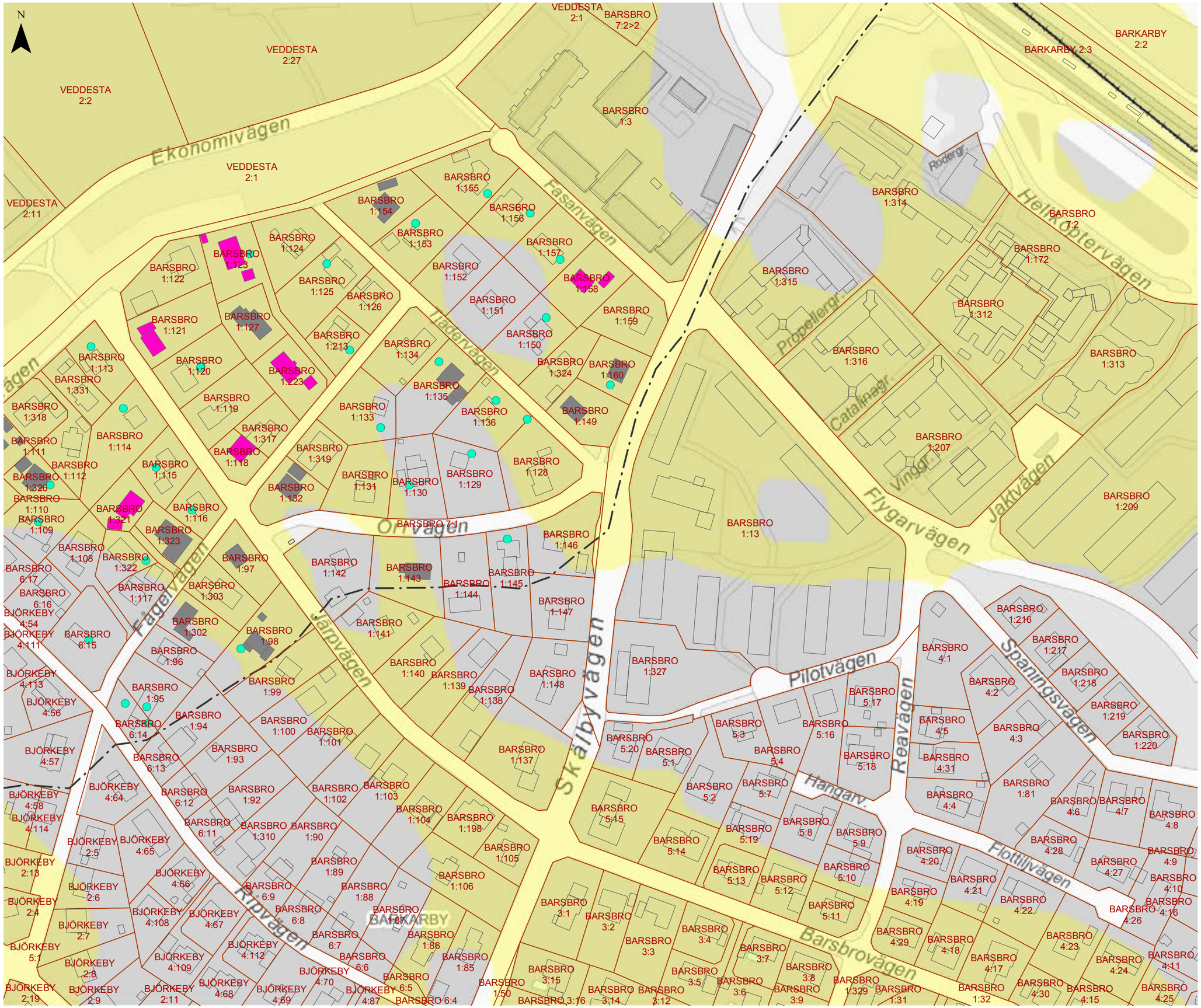
Datum: 2015-11-27

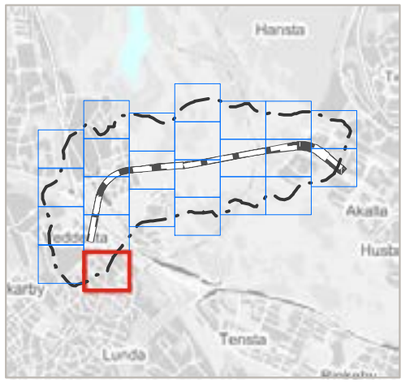
Skala (A3): 1:2 000

0 20 40 60 80 100 m

© Lantmäteriet, Geodatasamverkan
© Open Stockholm

- Okänd grundläggning
- Grundläggning på lera
- Energibrunnar och övriga kända brunnar
- Övriga byggnader
- Fastighetsgräns
- Influensområde
- Befintlig järnväg





Förvaltning för utbyggd tunnelbana
STOCKHOLMS LÄNS LANDSTING

PM Hydrogeologi

Bilaga C5.2
Influensområde och känsliga objekt

Miljöprövning för tunnelbana från Akalla till Barkarby station

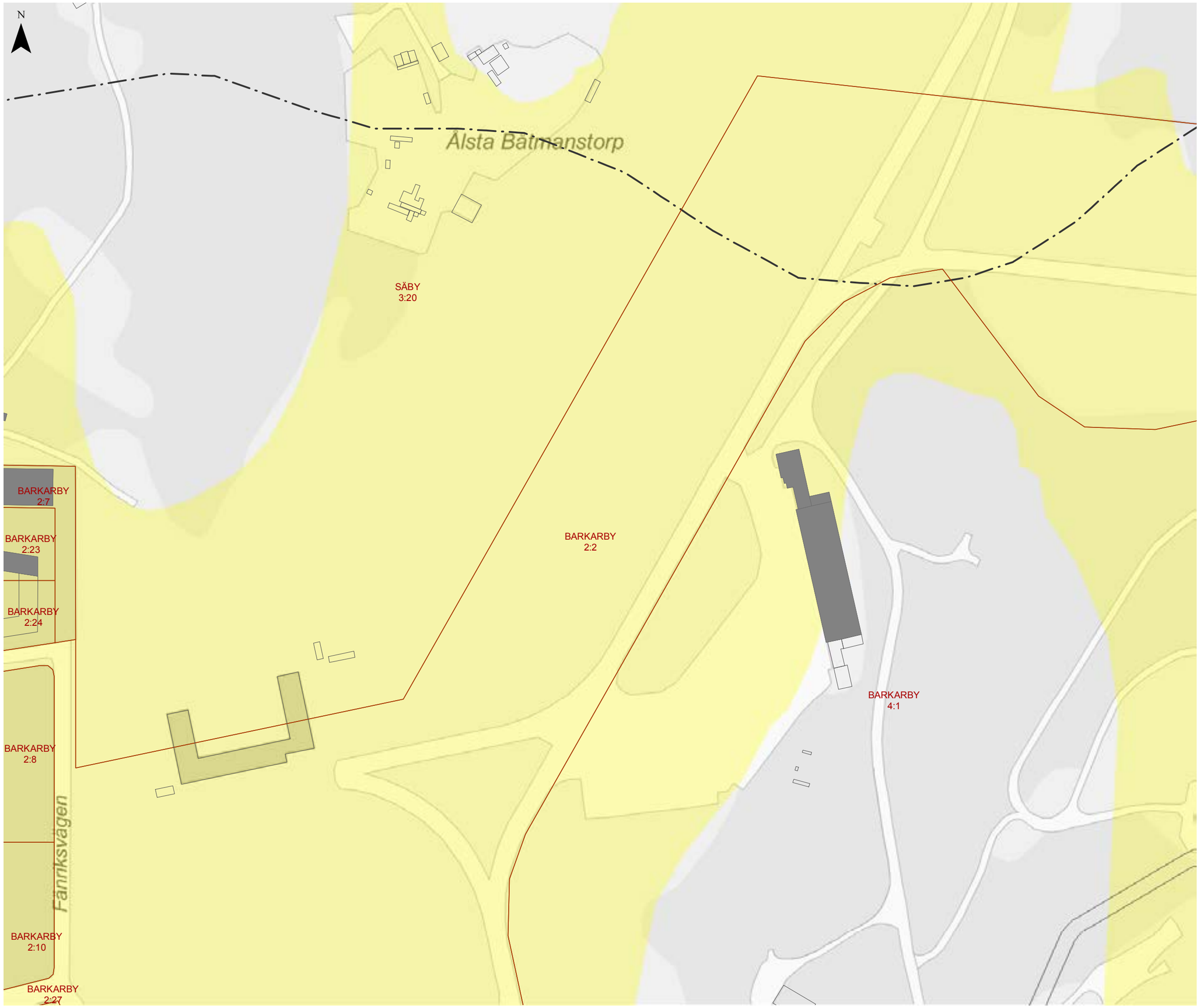
Datum: 2015-11-27

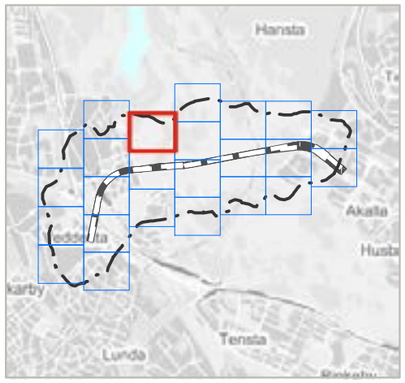
Skala (A3): 1:2 000

0 20 40 60 80 100 m

© Lantmäteriet, Geodatasamverkan
© Open Stockholm

- Okänd grundläggning
- Övriga byggnader
- Fastighetsgräns
- Influensområde
- Ny tunnel





Förvaltning för utbyggd tunnelbana
STOCKHOLMS LÄNS LANDSTING

PM Hydrogeologi

Bilaga C5.2
Influensområde och känsliga objekt

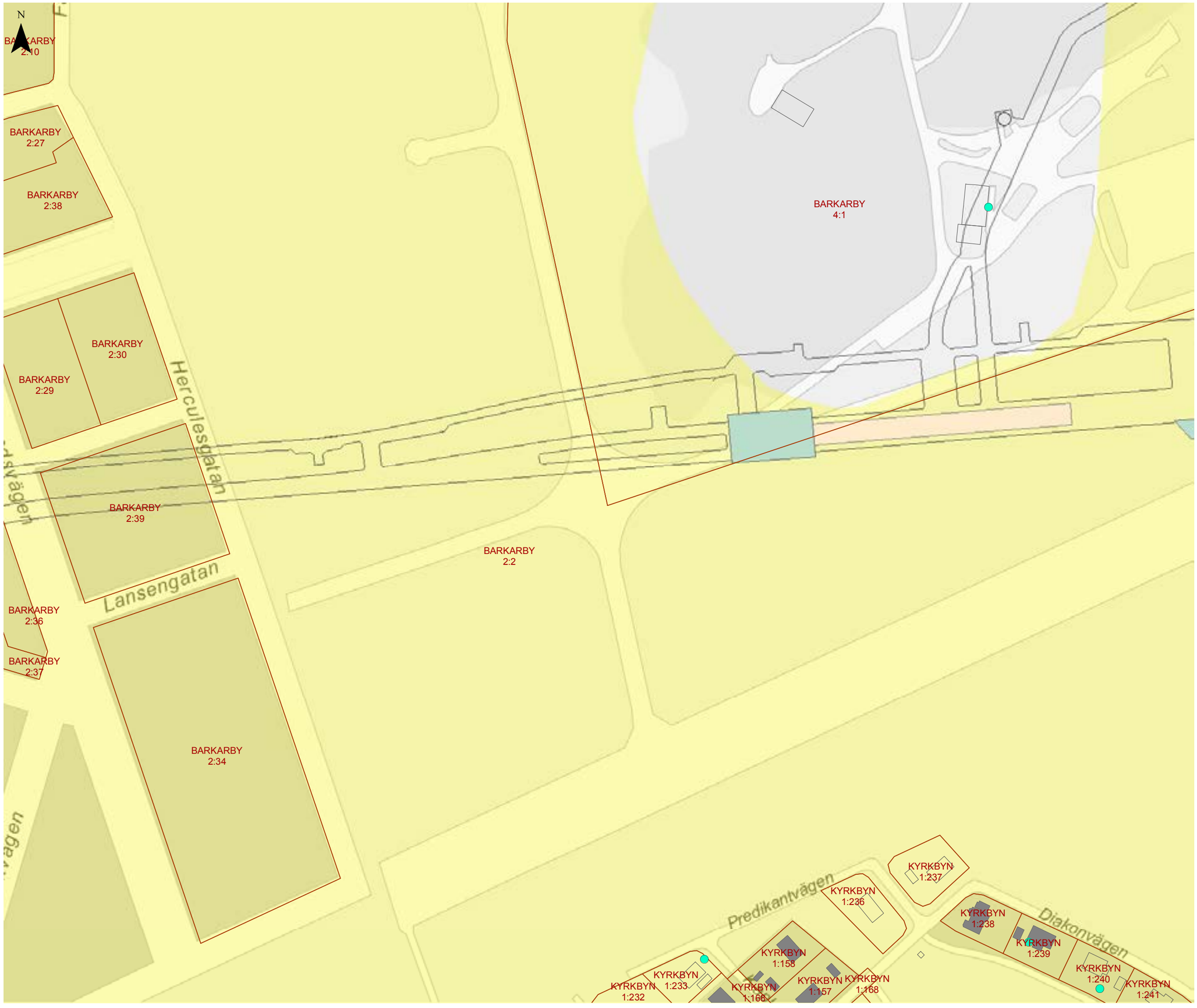
Miljöprövning för tunnelbana från Akalla till Barkarby station

Datum: 2015-11-27

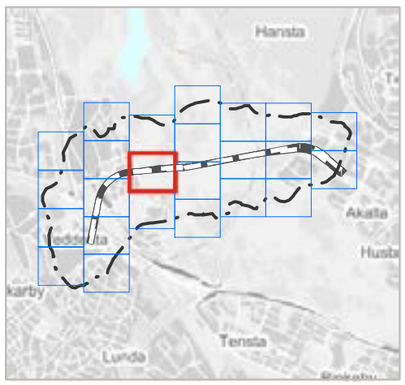
Skala (A3): 1:2 000

0 20 40 60 80 100 m

© Lantmäteriet, Geodatasamverkan
© Open Stockholm



- Okänd grundläggning
- Energibrunnar och övriga kända brunnar
- Övriga byggnader
- Fastighetsgräns
- Influensområde
- Uppgång och biljetthall
- Plattform
- Ny tunnel
- Område med lera



Förvaltning för utbyggd tunnelbana
STOCKHOLMS LÄNS LANDSTING

PM Hydrogeologi

Bilaga C5.2
Influensområde och känsliga objekt

Miljöprövning för tunnelbana från Akalla till Barkarby station

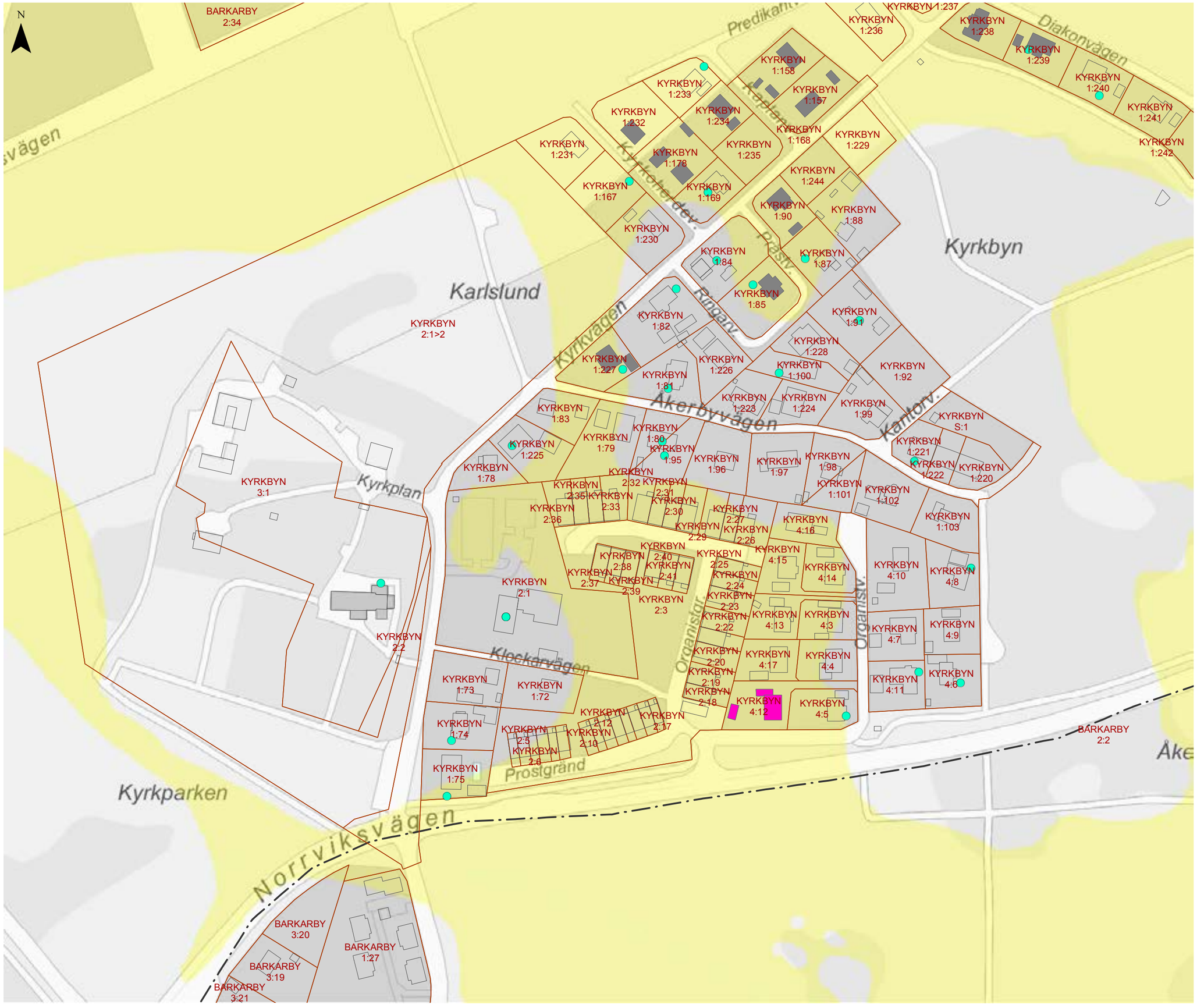
Datum: 2015-11-27

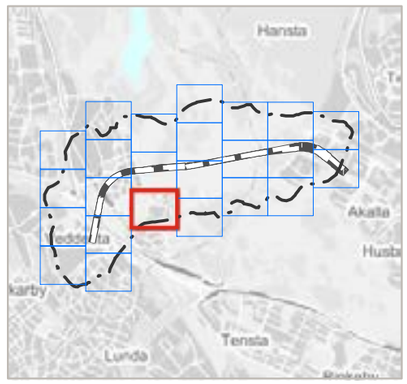
Skala (A3): 1:2 000

0 20 40 60 80 100 m

© Lantmäteriet, Geodatasamverkan
© Open Stockholm

- Okänd grundläggning
- Grundläggning på lera
- Energibrunnar och övriga kända brunnar
- Övriga byggnader
- Fastighetsgräns
- Influensområde
- Område med lera





Förvaltning för utbyggd tunnelbana
STOCKHOLMS LÄNS LANDSTING

PM Hydrogeologi

Bilaga C5.2
Influensområde och känsliga objekt

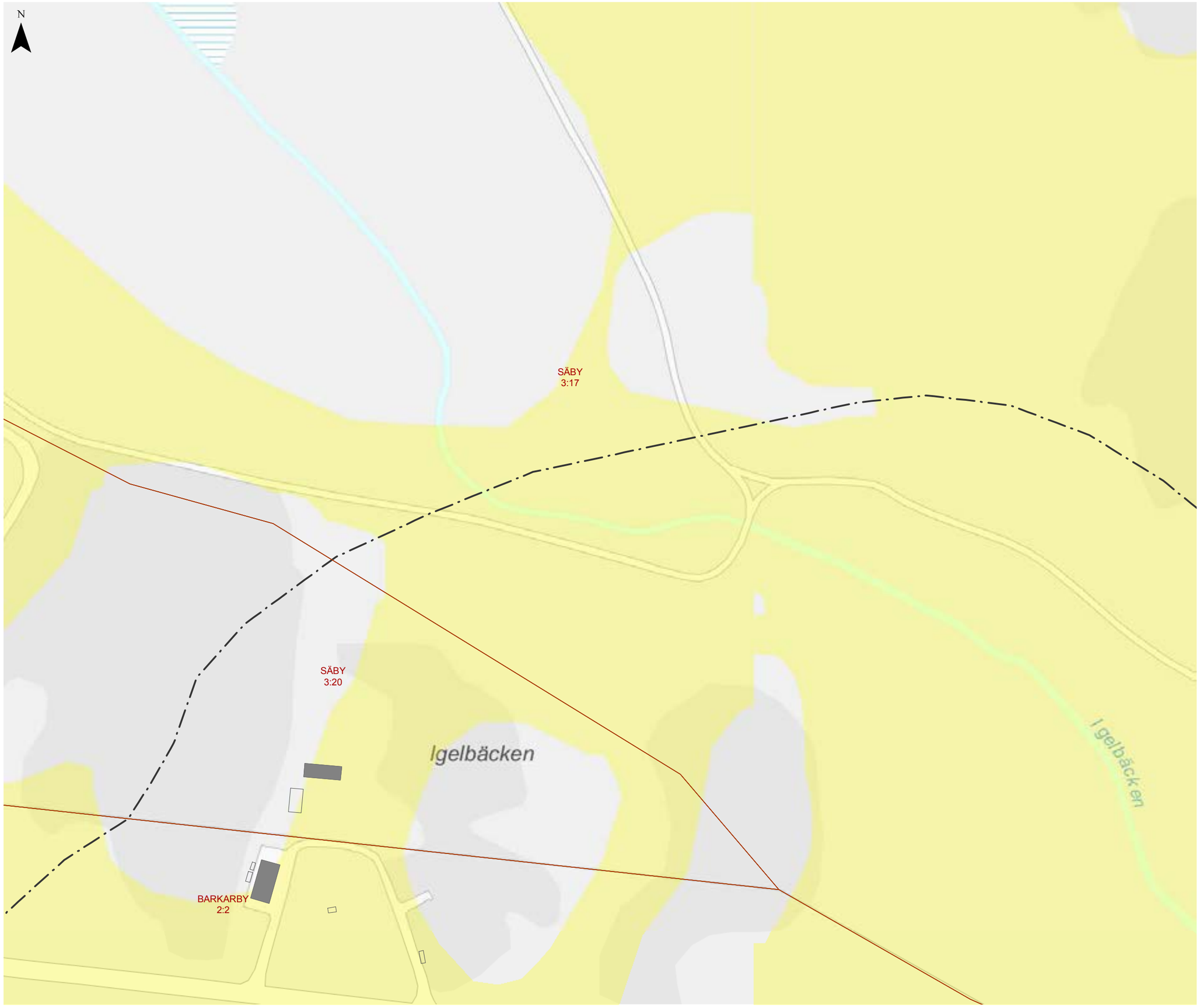
Miljöprövning för tunnelbana från Akalla till Barkarby station

Datum: 2015-11-27

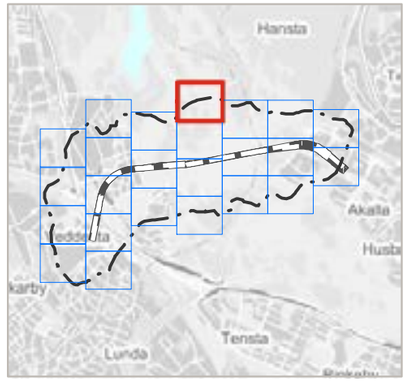
Skala (A3): 1:2 000

0 20 40 60 80 100 m

© Lantmäteriet, Geodatasamverkan
© Open Stockholm



Okänd grundläggning
Övriga byggnader
Fastighetsgräns
Influensområde
Område med lera



Förvaltning för utbyggd tunnelbana
STOCKHOLMS LÄNS LANDSTING

PM Hydrogeologi

Bilaga C5.2
Influensområde och känsliga objekt

Miljöprövning för tunnelbana från Akalla till Barkarby station

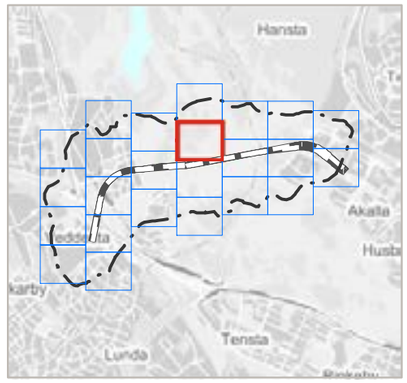
Datum: 2015-11-27

Skala (A3): 1:2 000

0 20 40 60 80 100 m

© Lantmäteriet, Geodatasamverkan
© Open Stockholm

- Okänd grundläggning
- Övriga byggnader
- Fastighetsgräns
- Influensområde
- Ny tunnel
- Område med lera



Förvaltning för utbyggd tunnelbana
STOCKHOLMS LÄNS LANDSTING

PM Hydrogeologi

Bilaga C5.2
Influensområde och känsliga objekt

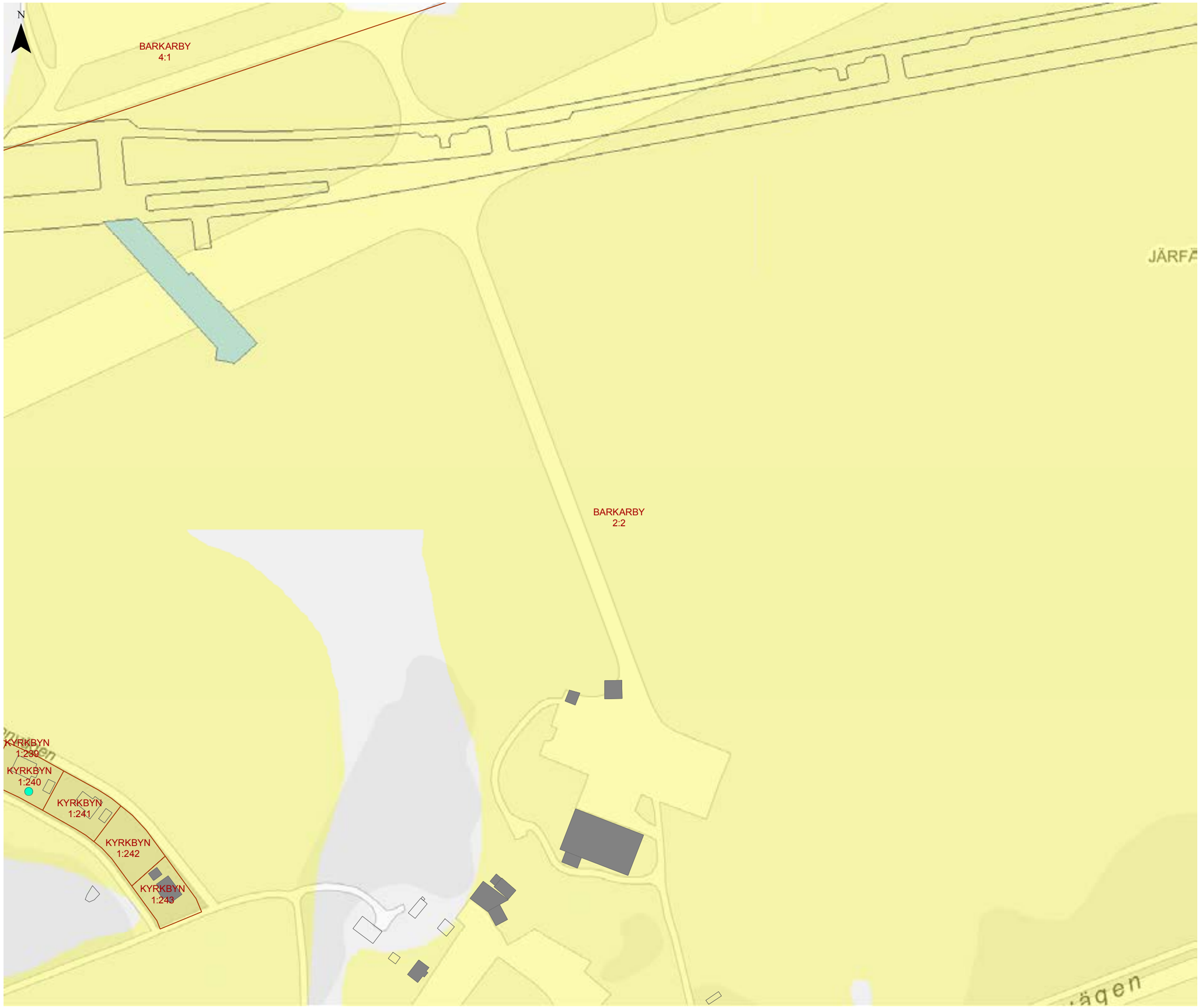
Miljöprövning för tunnelbana från Akalla till Barkarby station

Datum: 2015-11-27

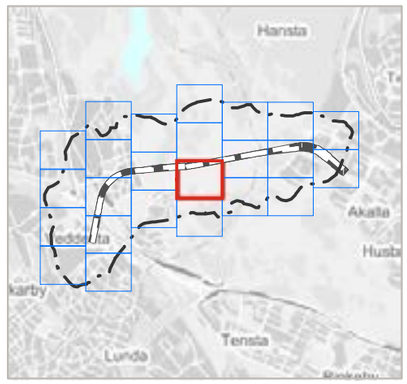
Skala (A3): 1:2 000

0 20 40 60 80 100 m

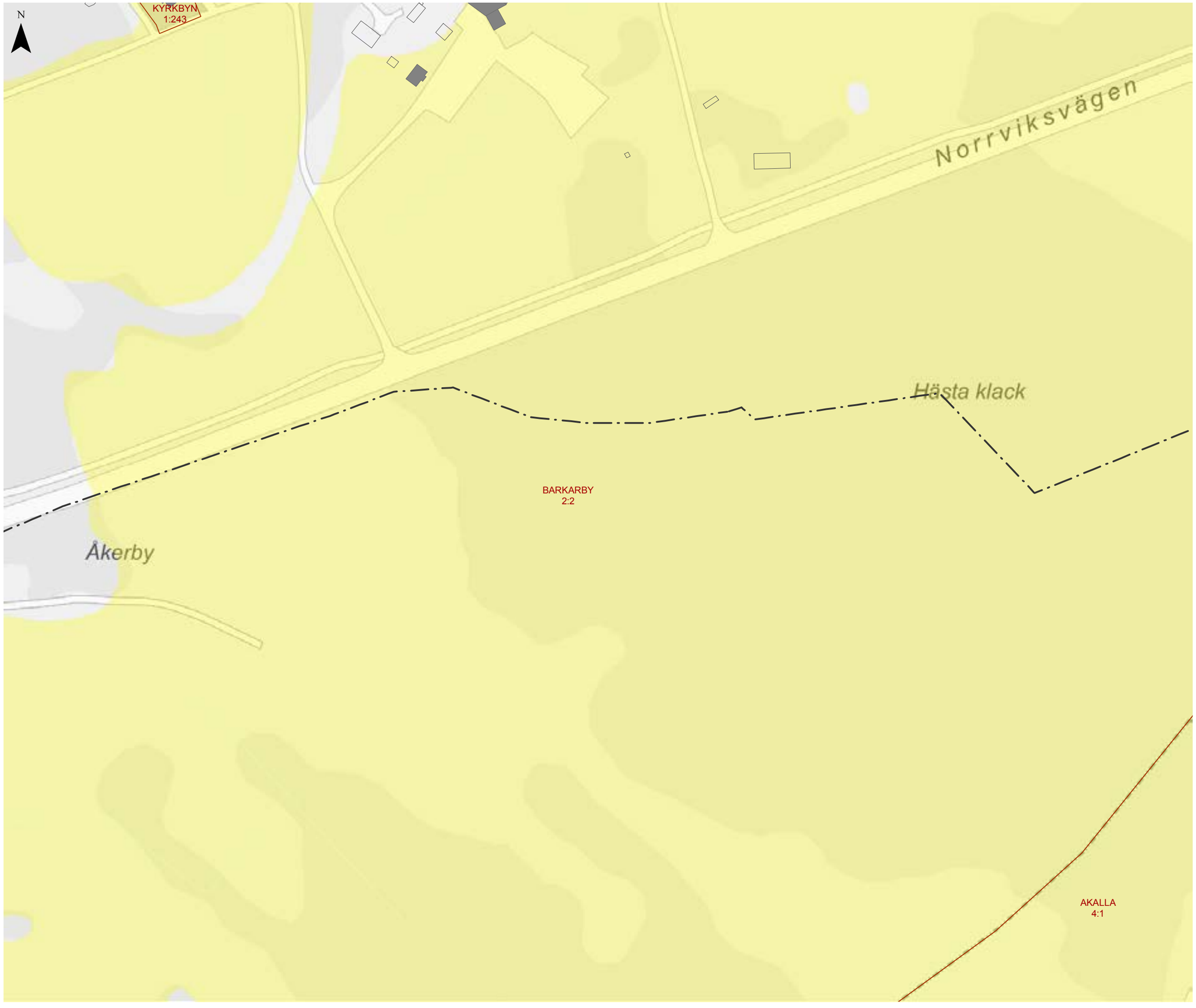
© Lantmäteriet, Geodatasamverkan
© Open Stockholm



- Okänd grundläggning
- Energibrunnar och övriga kända brunnar
- Övriga byggnader
- Fastighetsgräns
- Influensområde
- Uppgång och biljetthall
- Ny tunnel
- Område med lera



Förvaltning för utbyggd tunnelbana
STOCKHOLMS LÄNS LANDSTING



PM Hydrogeologi

Bilaga C5.2
Influensområde och känsliga objekt

Miljöprövning för tunnelbana från Akalla till Barkarby station

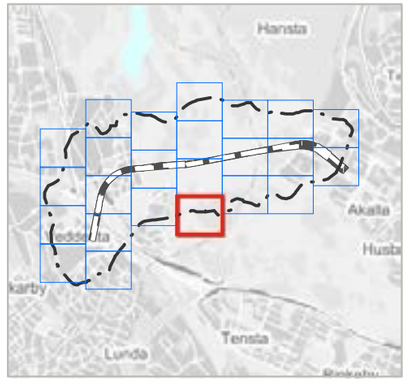
Datum: 2015-11-27

Skala (A3): 1:2 000

0 20 40 60 80 100 m

© Lantmäteriet, Geodatasamverkan
© Open Stockholm

- Okänd grundläggning
- Övriga byggnader
- Fastighetsgräns
- Influensområde
- Område med lera



Förvaltning för utbyggd tunnelbana
STOCKHOLMS LÄNS LANDSTING

PM Hydrogeologi

Bilaga C5.2
Influensområde och känsliga objekt

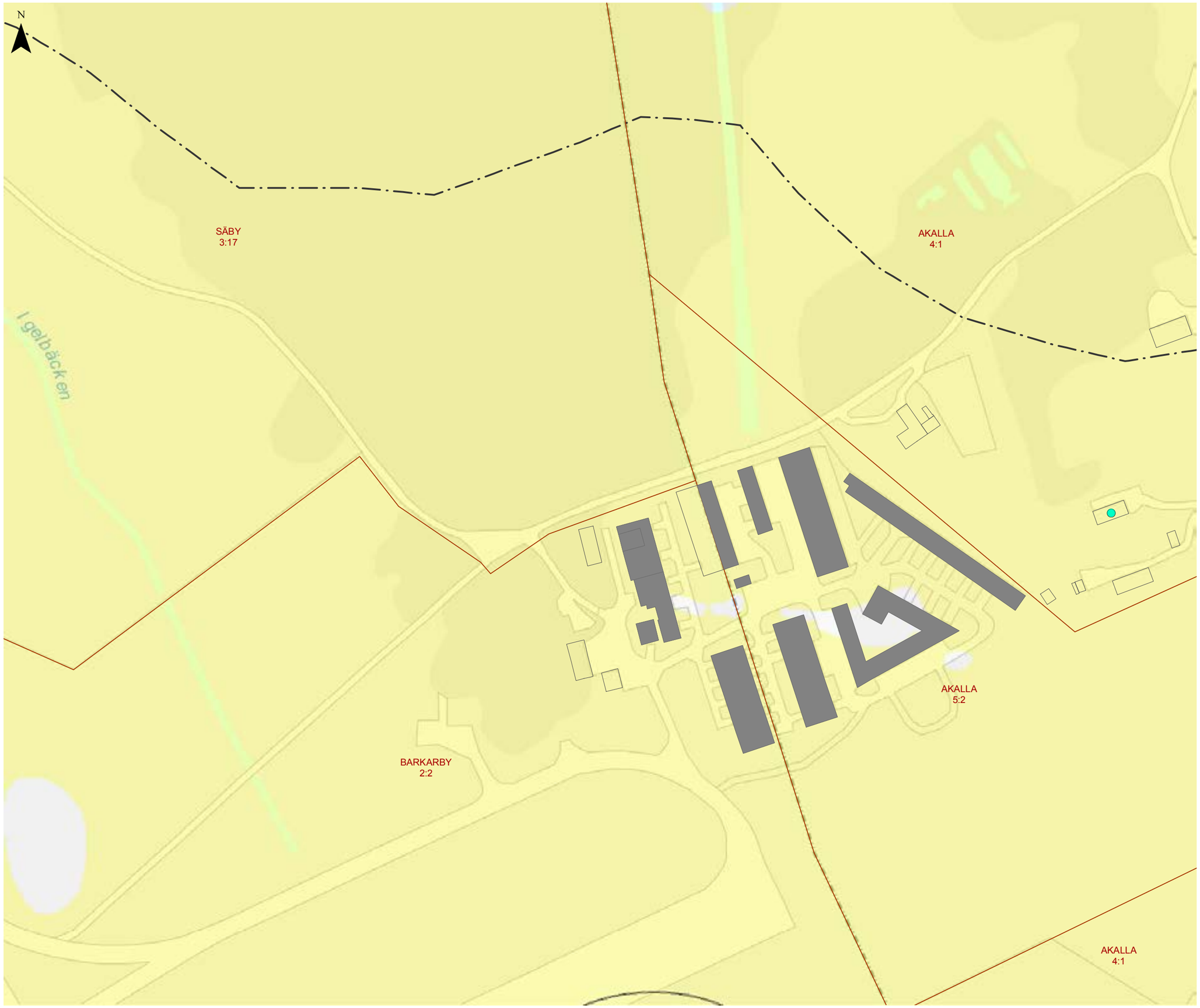
Miljöprövning för tunnelbana från Akalla till Barkarby station

Datum: 2015-11-27

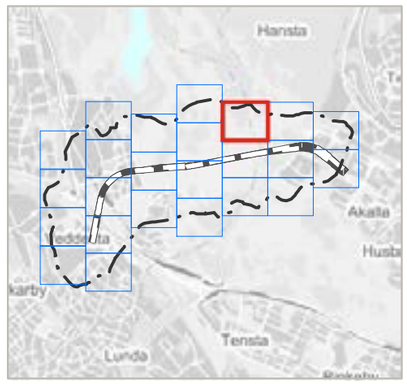
Skala (A3): 1:2 000

0 20 40 60 80 100 m

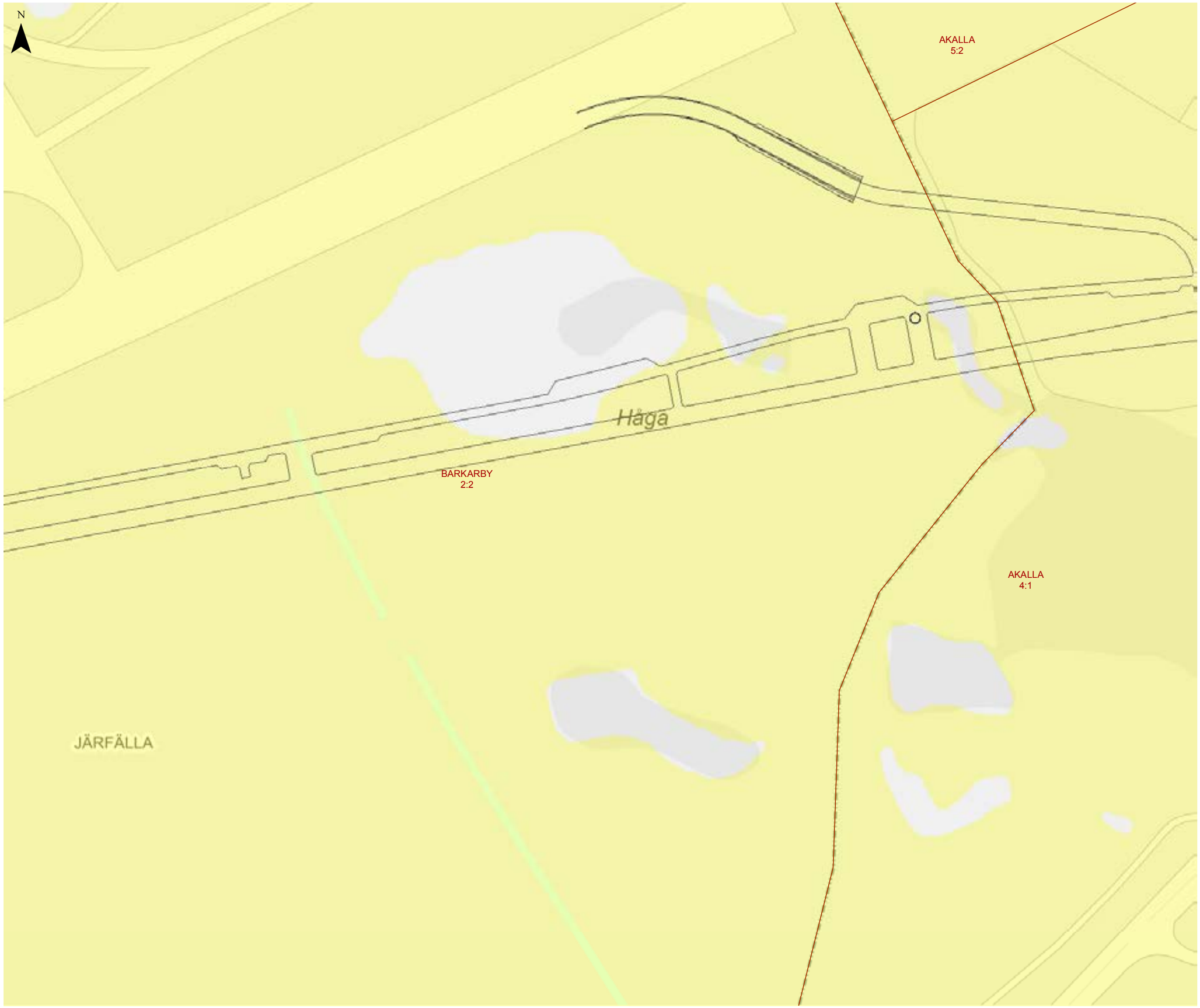
© Lantmäteriet, Geodatasamverkan
© Open Stockholm



- Okänd grundläggning
- Energibrunnar och övriga kända brunnar
- Övriga byggnader
- Fastighetsgräns
- Influensområde
- Område med lera



Förvaltning för utbyggd tunnelbana
STOCKHOLMS LÄNS LANDSTING



PM Hydrogeologi

Bilaga C5.2
Influensområde och känsliga objekt

Miljöprövning för tunnelbana från Akalla till Barkarby station

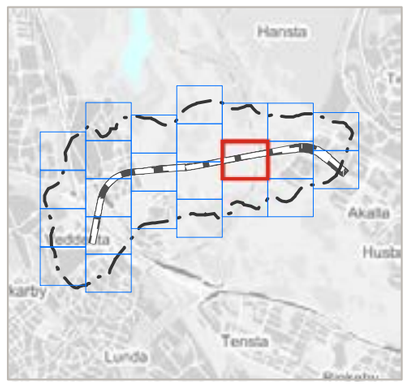
Datum: 2015-11-27

Skala (A3): 1:2 000

0 20 40 60 80 100 m

© Lantmäteriet, Geodatasamverkan
© Open Stockholm

Fastighetsgräns
Influensområde
Ny tunnel
Område med lera



Förvaltning för utbyggd tunnelbana
STOCKHOLMS LÄNS LANDSTING

PM Hydrogeologi

Bilaga C5.2
Influensområde och känsliga objekt

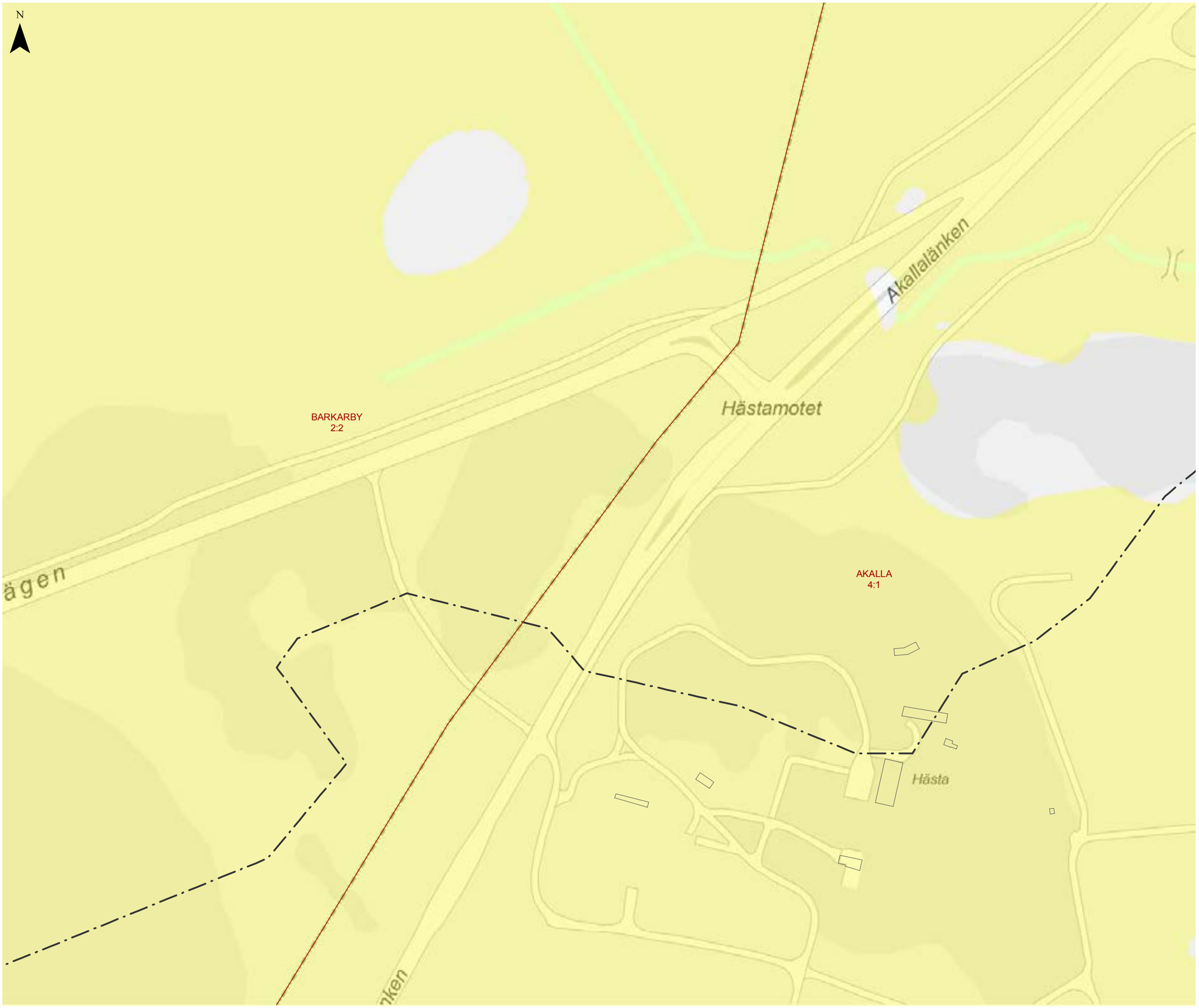
Miljöprövning för tunnelbana från Akalla till Barkarby station

Datum: 2015-11-27

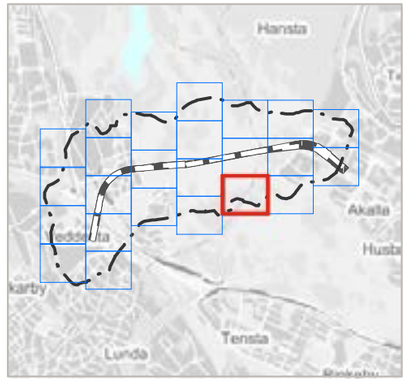
Skala (A3): 1:2 000

0 20 40 60 80 100 m

© Lantmäteriet, Geodatasamverkan
© Open Stockholm



Övriga byggnader
Fastighetsgräns
Influensområde
Område med lera



Förvaltning för utbyggd tunnelbana
STOCKHOLMS LÄNS LANDSTING

PM Hydrogeologi

Bilaga C5.2
Influensområde och känsliga objekt

Miljöprövning för tunnelbana från Akalla till Barkarby station

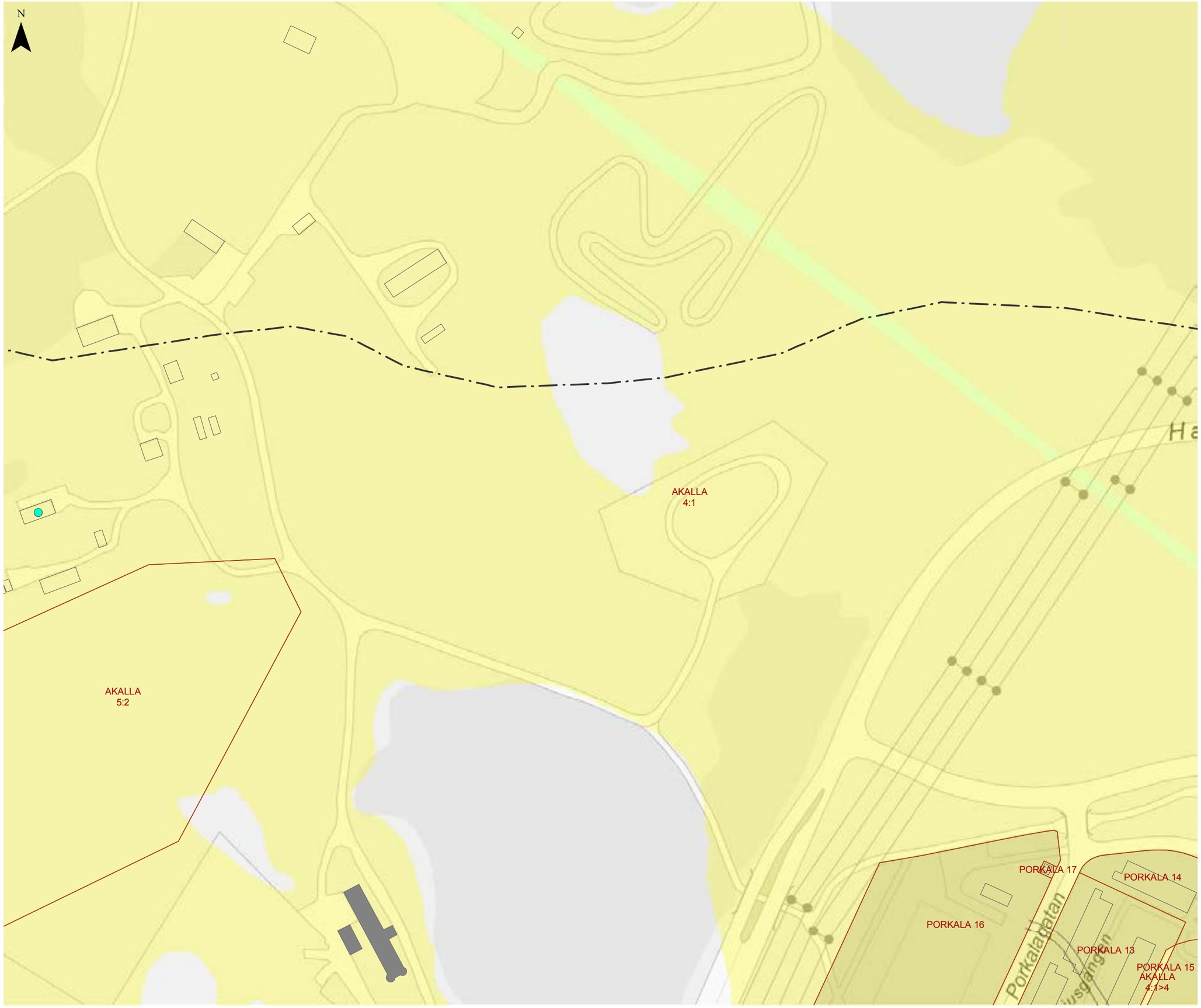
Datum: 2015-11-27

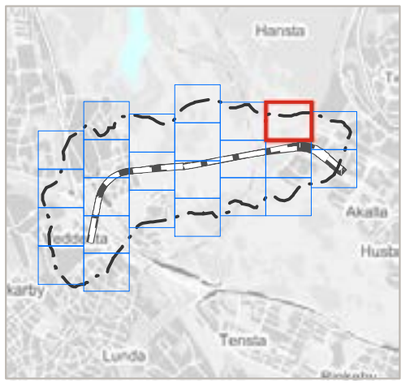
Skala (A3): 1:2 000

0 20 40 60 80 100 m

© Lantmäteriet, Geodatasamverkan
© Open Stockholm

- Okänd grundläggning
- Energibrunnar och övriga kända brunnar
- Övriga byggnader
- Fastighetsgräns
- Influensområde
- Ny tunnel
- Område med lera





Förvaltning för utbyggd tunnelbana
STOCKHOLMS LÄNS LANDSTING

PM Hydrogeologi

Bilaga C5.2
Influensområde och känsliga objekt

Miljöprövning för tunnelbana från Akalla till Barkarby station

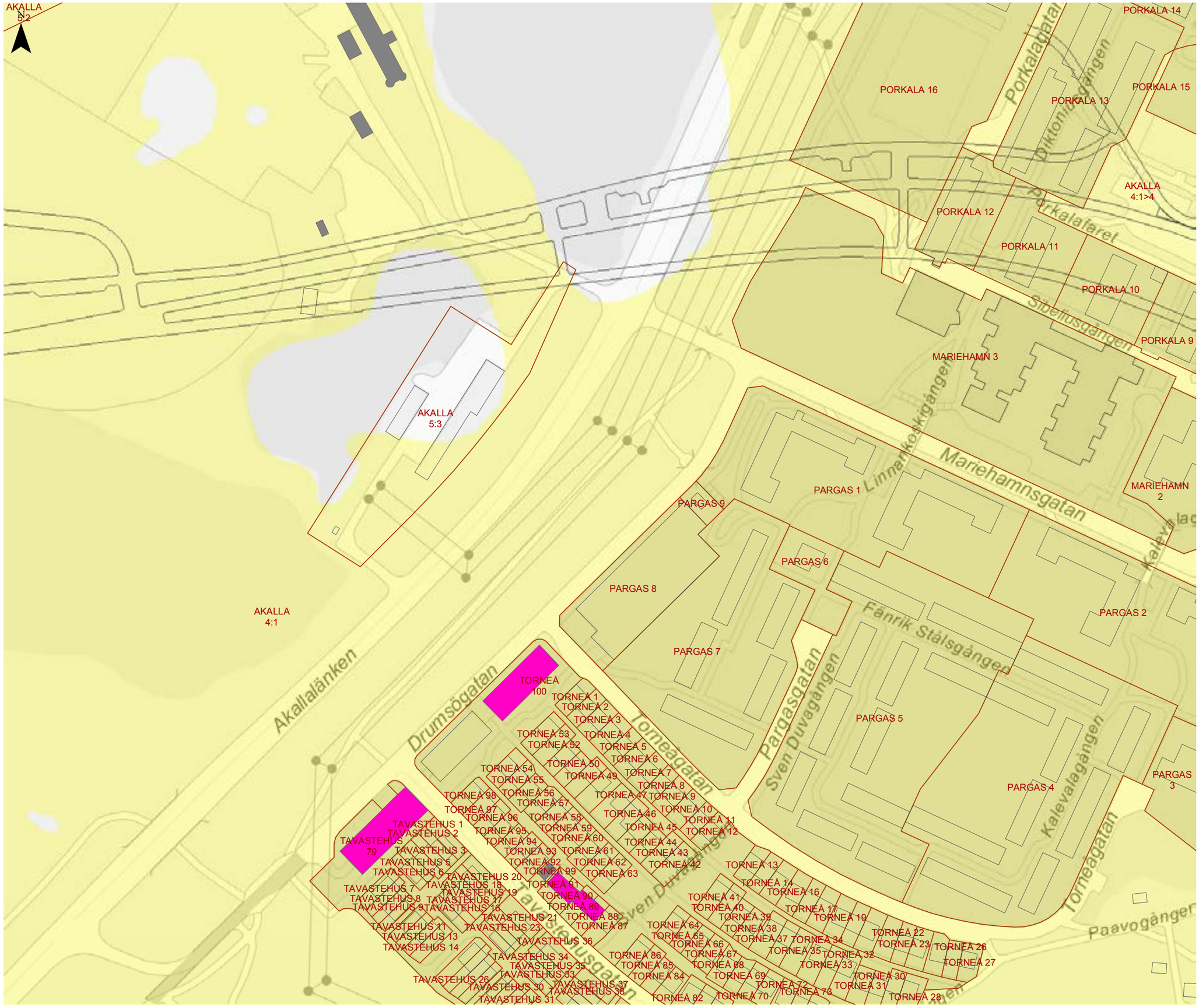
Datum: 2015-11-27

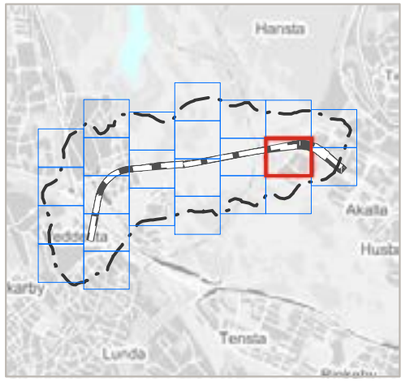
Skala (A3): 1:2 000

0 20 40 60 80 100 m

© Lantmäteriet, Geodatasamverkan
© Open Stockholm

- Okänd grundläggning
- Grundläggning på lera
- Övriga byggnader
- Fastighetsgräns
- Influensområde
- Ny tunnel
- Område med lera





Förvaltning för utbyggd tunnelbana
STOCKHOLMS LÄNS LANDSTING

PM Hydrogeologi

Bilaga C5.2
Influensområde och känsliga objekt

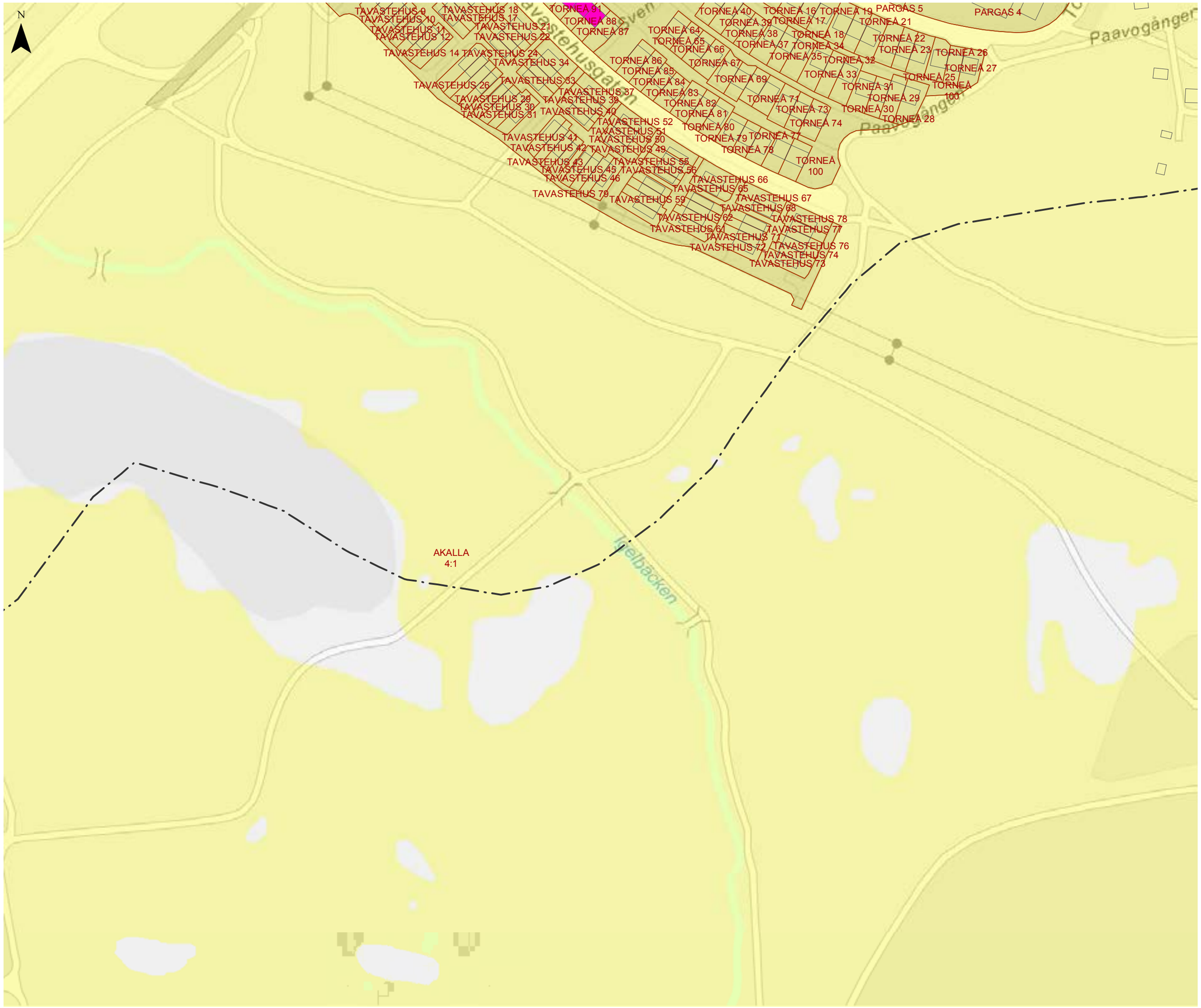
Miljöprövning för tunnelbana från Akalla till Barkarby station

Datum: 2015-11-27

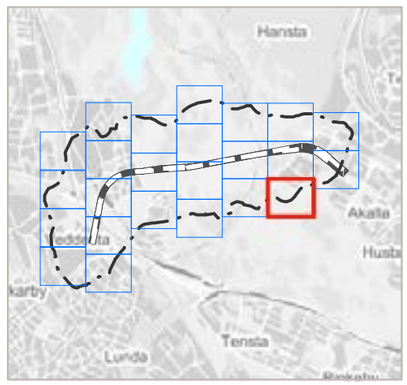
Skala (A3): 1:2 000

0 20 40 60 80 100 m

© Lantmäteriet, Geodatasamverkan
© Open Stockholm



Grundläggning på lera
Övriga byggnader
Fastighetsgräns
Influensområde
Område med lera



Förvaltning för utbyggd tunnelbana
STOCKHOLMS LÄNS LANDSTING

PM Hydrogeologi

Bilaga C5.2
Influensområde och känsliga objekt

Miljöprövning för tunnelbana från Akalla till Barkarby station

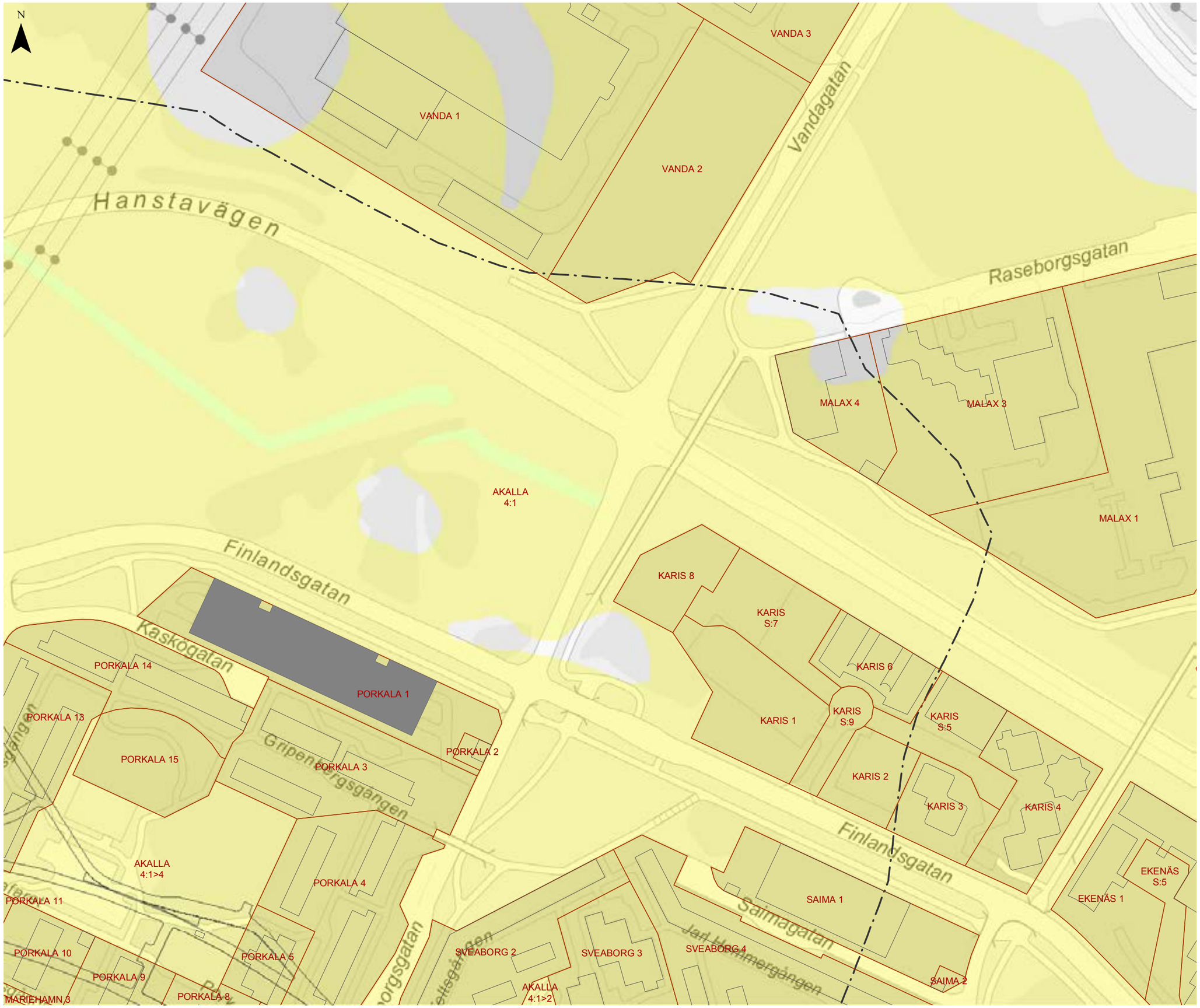
Datum: 2015-11-27

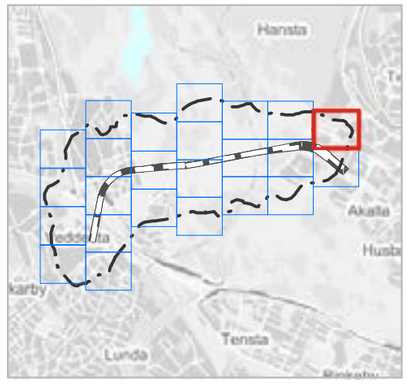
Skala (A3): 1:2 000

0 20 40 60 80 100 m

© Lantmäteriet, Geodatasamverkan
© Open Stockholm

- Okänd grundläggning
- Övriga byggnader
- Fastighetsgräns
- Influensområde
- Ny tunnel
- Område med lera





Förvaltning för utbyggd tunnelbana
STOCKHOLMS LÄNS LANDSTING

PM Hydrogeologi

Bilaga C5.2
Influensområde och känsliga objekt

Miljöprövning för tunnelbana från Akalla till Barkarby station

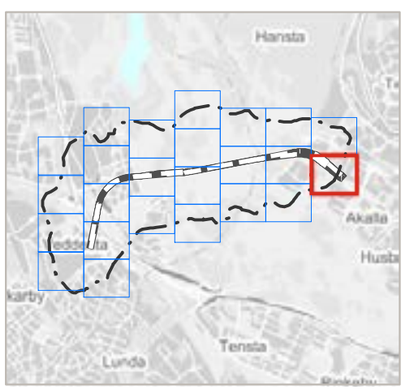
Datum: 2015-11-27

Skala (A3): 1:2 000

0 20 40 60 80 100 m

© Lantmäteriet, Geodatasamverkan
© Open Stockholm

- Övriga byggnader
- Fastighetsgräns
- Influensområde
- Plattform
- Ny tunnel
- Befintlig tunnelbana
- Område med lera



Förvaltning för utbyggd tunnelbana
STOCKHOLMS LÄNS LANDSTING

PM Hydrogeologi

Bilaga C6

Hydrogeologiska beräkningar

Miljöprövning för tunnelbana från Akalla till Barkarby station

Stockholms läns landsting

Titel: PM Hydrogeologi– Bilaga C6 Hydrogeologiska beräkningar
Konsult: Ramböll
Författare: Carl Skult och Christina Jenkins
Projektledare: Anna Nylén
Bilder & illustrationer: Ramböll och Tyréns
Dokumentid: 4320-G42-22-04007
Diarienummer: FUT 1511-0220
Utgivningsdatum: 2015-11-27

Distributör: Stockholms läns landsting, förvaltning för utbyggd tunnelbana
Box 225 50, 104 22 Stockholm. Tel: 08 737 25 00. E-post: nyatunnelbanan@sll.se

Innehållsförteckning

1 Inledning 4
2 Sammanställning av data 4
2.1 Inläckage till befintliga bergrumsanläggningar 4
2.2 Vattenförlustmätningar i kärn- och hammarborrhål 5
2.3 Data från energibrunnar 6
2.4 Slugtest i friktionsmaterial 6
2.5 Provpumpning i friktionsmaterial 7
2.6 Provpumpning i berg, brunn 15RTBH12 7
2.7 Skalberoende 8
3 Vattenbalansberäkningar 8
4 Grundvattenmodellering 9
4.1 Konceptuell modell 9
4.1.1 Grundvattenbildning 10
4.1.2 Jordlagerföljd 10
4.1.3 Ytvatten 11
4.1.4 Flöde i berg 11
4.1.5 Dränerande anläggningar 11
4.2 Numerisk modell 11
4.2.1 Randvillkor 12
4.2.2 Egenskapsområden 13
4.3 Känslighetsanalys och modellscenarion 14
4.4 Modellresultat 15
4.4.1 Kalibrering 15
4.4.2 Validering mot provpumpningar 15
4.4.3 Känslighetsanalys och inläckage 16
4.4.4 Beräknat influensområde 18
5 Analytiska beräkningar av inläckage till tunnel för tunnelbana Akalla-Barkarby 18
6 Vattenbalans kontra inläckage 20
Referenser 22

Bilagor

Bilaga C6.1 Modellerad avsänkning scenario 1-3

1 Inledning

I föreliggande bilaga presenteras antaganden och beräkningar för det aktuella influensområdet och beräkning av inläckage för tunnelbana Akalla-Barkarby. Underlag i form av beräknad hydraulisk konduktivitet, inläckagemätningar i befintliga tunnlar och hydrogeologiska fältundersökningar har använts tillsammans med grundvattenmodellering i Visual MODFLOW. Därutöver har vattenbalansberäkningar utförts och jämförts med modelldata.

2 Sammanställning av data

En sammanställning av inläckage och hydrogeologiska fältundersökningar presenteras nedan. Samtliga hydrogeologiska fältundersökningar presenteras i större detalj i förundersökningsrapport Hydrogeologi (SLL, 2015c).

2.1 Inläckage till befintliga bergrumsanläggningar

Inom utredningsområdet finns redan ett antal befintliga tunnlar samt tillstånd att bygga ytterligare tunnlar. Några av dessa är hemligstämplade och för andra finns endast begränsad information om dess läge i plan och profil att tillgå. Aktuella anläggningar samt deras status listas nedan.

1. Tunnel för Förbifart Stockholm. Trafikverket har erhållit tillstånd från mark- och miljödomstolen för grundvattenbortledning med tillhörande anläggningar från tunneln Förbifart Stockholm. I tillståndet ingår även omläggning av Stordiket. Dom 2014-12-17 i mål nr M 3346-11.

   På aktuell sträcka finns följande villkor på inläckage:

- Sträckan 27/720 – 28/300 (södra tunnelröret, pumpgrop tunneln under Järva) 65 liter/minut (dvs. på 580 meter vilket innebär 11,2 l/min/100m).
- Sträckan 28/300 – 29/000 (norra tunnelröret, pumpgrop tunneln under Järva) 90 liter/minut (dvs. 700 meter vilket innebär 12,9 l/min/100m).
- För arbetstunnel Hägerstalund tillåts en avsänkning av grundvattennivån från +10 till -16 meter med ett inläckage på 20 liter/minut på 250 meter (8 l/min/100m).

   Det är oklart om Förbifart Stockholm kommer att byggas före eller efter nya tunnelbanan. Påverkan från Förbifarten beaktas i denna rapport.

2. Fortums fjärrvärmetunnel. Tunnelns läge är hemlig men inventerad för Förbifart Stockholms räkning. Inläckaget är mätt till i medeltal 3,5-5 l/min/100 meter tunnel.

3. Fortifikationsverkets anläggning. Anläggningen är en f.d. flyghangar. Hangaren har hemligt läge men har inventerats. Dessutom finns ett omfattande drän- och dagvattensystem i anslutning till flygfältet som påverkar grundvattennivåerna.

4. Dagvattentunnel. Tunnels läge är hemlig (inventerad i läge men ej djup för Förbifart Stockholms räkning). Det finns för tillfället inga mätningar av inläckage.

5. Station Akalla. Inläckage har uppmätts av Trafikförvaltningen (Trafikförvaltningen SLL, 2015) för tunnelsträckan Akalla-Husby. Medelinläckaget uppskattas till ca 90 l/min på 1710 m tunnelbana, vilket motsvarar ca 5,2 l/min/100 m.

Grundvattenförhållandena inom utredningsområdet är påverkade av ovan nämnda berg-konstruktioner. Planerad tunnel för tunnelbana Akalla-Barkarby med tillhörande arbetstunnlar samt tunnel och schakt för ventilation kommer att ytterligare påverka bergförhållandena.

2.2 Vattenförlustmätningar i kärn- och hammarborrhål

Züblin har utfört vattenförlustmätningar i installerade kärn- och hammarborrhål. I *Tabell 1* presenteras en sammanställning av resultat från dessa vattenförlustmätningar. Utvärderingen av både hammarborrhålen och kärnborrhålen är mer utförligt redovisade i förundersökningsrapport Berg (SLL, 2015d). Värden med fetstil indikerar ett uppmätt K-värde framräknat av ett flöde under angivet minsta mätbara flöde och är därmed att betrakta med viss försiktighet. Vid bedömning av K har medelvärden för uppmätta sektioner använts.

Tabell 1. Sammanställning av beräknad hydraulisk konduktivitet (m/s) från vattenförlustmätningar i kärnborrhål och hammarborrhål

Borrhål	Antal sektioner med mätbart resultat/ antal testade sekt.	Hydraulisk konduktivitet (m/s)						
		Maximum	Minimum	Helhåls-test	Halvhåls-test	Aritmetiskt medel-värde*	Geometriskt medel-värde*	Median*
15RTKBH01	1 / 9 st	$1{,}44\times10^{-7}$	$1{,}44\times10^{-7}$	$6{,}23\times10^{-8}$	$1{,}13\times10^{-7}$			
15RTKBH02	4 / 11 st	$3{,}51\times10^{-6}$	$6{,}61\times10^{-8}$	$5{,}89\times10^{-7}$	$2{,}90\times10^{-7}$	$1{,}08\times10^{-6}$	$3{,}72\times10^{-7}$	$3{,}79\times10^{-7}$
15RTKBH03	0 / 8 st Hel- och halvhåls			$1{,}57\times10^{-7}$	$8{,}75\times10^{-8}$			
15RTKBH04	Helhåls (hål rasat)			$2{,}20\times10^{-7}$				
15RTKBH05	8 / 9 st	$5{,}72\times10^{-6}$	$3{,}73\times10^{-7}$	$1{,}29\times10^{-6}$	$2{,}30\times10^{-6}$	$3{,}39\times10^{-6}$	$3{,}61\times10^{-6}$	$4{,}53\times10^{-6}$
15RTKBH06	2 / 5 st	$4{,}09\times10^{-6}$	$6{,}85\times10^{-7}$	$9{,}48\times10^{-8}$	$1{,}16\times10^{-6}$	$2{,}39\times10^{-6}$	$1{,}67\times10^{-6}$	$2{,}39\times10^{-6}$
15RTBH01	0/11 st +2 helhåls	$3{,}26\times10^{-9}$	$2{,}84\times10^{-9}$	$3{,}05\times10^{-9}$				
15RTBH03	10/10 st	$7{,}49\times10^{-7}$	$7{,}88\times10^{-9}$			$1{,}64\times10^{-7}$	$6{,}70\times10^{-8}$	$8{,}00\times10^{-8}$
15RTBH05	0/7 st +2 helhåls	$1{,}06\times10^{-8}$	$6{,}36\times10^{-9}$			$8{,}49\times10^{-9}$**	$8{,}21\times10^{-9}$**	$8{,}49\times10^{-9}$**
15RTBH07	8/8 st (1,70 bar)	$1{,}14\times10^{-6}$	$4{,}57\times10^{-10}$			$2{,}92\times10^{-7}$	$6{,}02\times10^{-8}$	$1{,}37\times10^{-7}$
15RTBH08	10/10 st (1,80 bar)	$9{,}50\times10^{-7}$	$1{,}60\times10^{-10}$			$3{,}52\times10^{-7}$	$4{,}41\times10^{-8}$	$5{,}33\times10^{-8}$
15RTBH10	10/10 st	$8{,}74\times10^{-7}$	$1{,}33\times10^{-10}$			$2{,}73\times10^{-7}$	$1{,}49\times10^{-8}$	$3{,}63\times10^{-8}$
15RTBH11	11/11 st (1,80 bar)	$1{,}55\times10^{-6}$	$3{,}71\times10^{-9}$			$4{,}47\times10^{-7}$	$1{,}35\times10^{-7}$	$1{,}96\times10^{-7}$
15RTBH12	12/12 st (1,90 bar)	$8{,}92\times10^{-7}$	$5{,}61\times10^{-10}$			$1{,}66\times10^{-7}$	$1{,}55\times10^{-8}$	$9{,}56\times10^{-9}$
15RTBH14	11/11 st (1,80 bar)	$9{,}78\times10^{-7}$	$9{,}86\times10^{-11}$			$2{,}29\times10^{-7}$	$5{,}39\times10^{-8}$	$9{,}15\times10^{-8}$
15RTBH16	13/13 st (1,95 bar)	$4{,}93\times10^{-7}$	$2{,}28\times10^{-11}$			$4{,}92\times10^{-8}$	$2{,}95\times10^{-9}$	$4{,}01\times10^{-9}$
15RTBH17	9/9 st (1,90 bar)	$5{,}06\times10^{-7}$	$2{,}34\times10^{-11}$			$7{,}20\times10^{-8}$	$6{,}73\times10^{-9}$	$1{,}69\times10^{-8}$

* medel/medianvärde beräknade på data från testade individuella sektioner, helhåls- och halvhålsvärden ej medräknade
** medel/medianvärde beräknade på data från helhålstest

Erhållna K-värden varierar mellan $5{,}7\times10^{-6}$ till $2{,}3\times10^{-11}$ m/s för individuella sektioner. För hel – och halvhålsmätningarna varierar uppmätta k-värde mellan $2{,}3\times10^{-6}$ till $6{,}2\times10^{-8}$ m/s.

Erhållna k-värden från hammarborrhålen varierar med över tre tiopotenser, mellan $1,6\times10^{-6}$ (15RTBH11) och $2,3\times10^{-11}$ (15RTBH16) m/s. Dock ligger minsta uppmätta K-värdet under det för metoden minsta mätbara på $6,0\times10^{-10}$ m/s och resultatet behöver därför tolkas med försiktighet.

2.3 Data från energibrunnar

Information från SGU gällande befintliga bergborrade brunnar för energiutvinning har sammanställts. En transmissivitet, T (m^2/s), för energibrunnarna inom utredningsområdet har beräknats med hjälp av Thiems ekvation. Vid beräkningarna har en influensradie (R_0) på 1000 m antagits godtyckligt. En känslighetsanalys av betydelsen av influensradien visar att en fördubbling eller halvering av R_0 endast påverkar K-värdet med några procentenheter. Undersökningarna presenteras mer utförligt i dokument Förundersökningsrapport Hydrogeologi, (SLL, 2015c).

För de energibrunnar inom området där hydraulisk konduktivitet kunnat beräknas (ca 180 st brunnar) ligger den beräknade geometriska medelkonduktiviteten på $1,1\times10^{-8}$ m/s med medianvärde på $7,7\times10^{-9}$ m/s. Högsta noterade konduktivitetsvärde är $3,3\times10^{-6}$ m/s och det lägsta noterade värdet på $5,0\times10^{-10}$ m/s.

Energibrunnarna är installerade där det finns bebyggelse, vilken främst är belägen inom utredningsområdets höjdpartier. Energibrunnarna representerar därför områden med berg i dagen eller berg under tunt moräntäcke.

I lågpartierna förväntas berget vara av sämre kvalitet, och där finns få energibrunnar.

2.4 Slugtest i friktionsmaterial

Slugtest har utförts i tio stycken grundvattenrör. Rören är installerade i undre friktionsmaterial. Undersökningarna presenteras mer utförligt i dokument Förundersökningsrapport Hydrogeologi, (SLL, 2015c). Resultaten av utvärderade slugtest presenteras i *Tabell 2* nedan.

Tabell 2. Sammanställning av från slugtest beräknad hydraulisk konduktivitet

Rör	Utvärderat K-värde (m/s)	Kommentar
15RT106	$2,58\times10^{-6}$	
15RT106-2	$1,71\times10^{-6}$	Återhämtning
15RT120-2	$1,28\times10^{-7}$	
15RT314	$4,46\times10^{-6}$	
15RT315	$5,65\times10^{-6}$	
15RT322	$4,26\times10^{-7}$	
15RT322-2	$3,02\times10^{-7}$	Återhämtning
15RT323	$1,11\times10^{-6}$	
15RT323-2	$3,15\times10^{-7}$	Upprepat försök
15RT325	$9,22\times10^{-7}$	
15RT326	$2,84\times10^{-7}$	
15RT326-2	$5,71\times10^{-7}$	Återhämtning
15RT327	$1,32\times10^{-6}$	
15RT327-2	$1,18\times10^{-6}$	Återhämtning

2.5 Provpumpning i friktionsmaterial

SLL har som underlag för projekteringen under november 2014 till januari 2015 utfört tre stycken provpumpningar i jordbrunnar längs tunnelsträckningen. Resultaten redovisas i rapport *Provpumpning i jord Akalla-Barkarby* (SLL, 2015a). Rapporten kommenteras och återfinns som bilaga i förundersökningsrapport hydrogeologi (SLL, 2015c).

Av SLL utförda provpumpningar visar att friktionsmaterialet under leran är relativt genomsläppligt med ett transmissivitetsvärde som varierar mellan $3{,}4\times10^{-4}$ till $1{,}7\times10^{-5}$ m^2/s (motsvarande hydraulisk konduktivitet på $5{,}6\times10^{-6}$ till $1{,}4\times10^{-4}$ m/s). Generellt uppvisar friktionsmaterialet i den östra delen av Barkarbyfältet lägre genomsläpplighet.

2.6 Provpumpning i berg, brunn 15RTBH12

Under augusti 2015 har Ramböll utfört en provpumpning i hammarborrhål 15RTBH12, under ca sex veckor. Avsänknings- och återhämtningsförloppet var stört av nederbörd och pumpförloppet stördes av att flödet behövde justerats flera gånger efter pumpstart. Provpumpningen redovisas i mer detalj i förundersökningsrapport Hydrogeologi (SLL, 2015c).

Under hela pumpperioden låg flödet i medeltal på 44 l/min (tidsviktat medelvärde). Respons på pumpningen mättes i 13 observationsrör, installerade både i berg och i jord. Då pumpförloppet var väldigt oregelbundet har fokus lagts på utvärdering av återhämtningsförloppet. Eftersom grundvattennivåerna under hela mätperioden präglades av påverkan av nederbörd har endast responsen i pumpbrunnen samt det närmast liggande observationsröret kunnat utvärderas. Resultat från utvärderingarna sammanfattas i Tabell 3 nedan.

Tabell 3. Sammanställning av från provpumpning beräknad hydraulisk konduktivitet

Rör	Theis recovery method (Theis-Jacob)	Theis återhämtning (Theis-Agarwal)	Kommentar
	K-värde (m/s)	K-värde (m/s)	
15RTBH12	$2{,}65\times10^{-6}$	$2{,}34\times10^{-6}$	Återhämtningsdata för pumpbrunn i berg, beräknat utifrån en akvifersmäktighet på 51 meter (längden öppet hål i brunnen).
15RT330	$3{,}55\times10^{-6}$	$2{,}51\times10^{-6}$	Återhämtningsdata för observationsrör installerat i undre magasin, avstånd 36 m från pumpbrunnen (liksom för ovan beräknat utifrån en akvifersmäktighet på 51 meter, även om friktionslagrets mäktighet är betydligt mindre).

De uppmätta grundvattennivåer för återhämtningen som utvärderats maskeras av generellt sjunkande nivåer. Detta leder till att magnituden på återhämtningen och därmed beräknat K-värde överskattas.

2.7 Skalberoende

Vid bearbetning av konduktivitetsmätningar som underlag för modellering bör man beakta skalberoendet. Det innebär att den hydrauliska konduktiviteten i stor skala som ska gälla för en berganläggning ofta är mindre än det aritmetiska medelvärdet av de hydrauliska konduktiviteterna mätta i liten skala.[1] Detta eftersom de vattenförande sprickorna har ändlig utbredning. Beräkningar utförda med data från konduktiviteter mätta i liten skala ger därför ett konservativt beräknat inläckage och påverkansområde.

3 Vattenbalansberäkningar

Nederbörd, evaporation, transpiration (ibland evapotranspiration) och grundvattenavrinning/-bildning är betydelsefulla indata vid grundvattenmodellering. Vattenbalansen för ett område kan skrivas:

$$P = ET + R_S + R_G - \Delta S$$

där

P = Nederbörd (eng. Precipitation)
ET = Evapotranspiration (avdunstning från markyta och vegetation)
R_S = Ytavrinning (eng. Surface Runoff)
R_G = Grundvattenavrinning/bildning (eng. Groundwater Recharge)
ΔS = Magasinsförändring

Den korrigerade nederbörden (P) uppgår till ca 650 mm/år över Stockholmsområdet. Evapotranspirationen (ET) i området är ca 450 mm/år[2] och avrinningen ($R_S + R_G$) är uppskattad till ca 200 mm/år. Under de kallare månaderna (dec-mar) samt under sommaren (jun-aug) bildas inget eller litet grundvatten. Den huvudsakliga grundvattenbildningen sker således under snösmältningen och hösten.

Vattenbalansen för området vid opåverkade förhållanden finns redovisade i Figur 1.

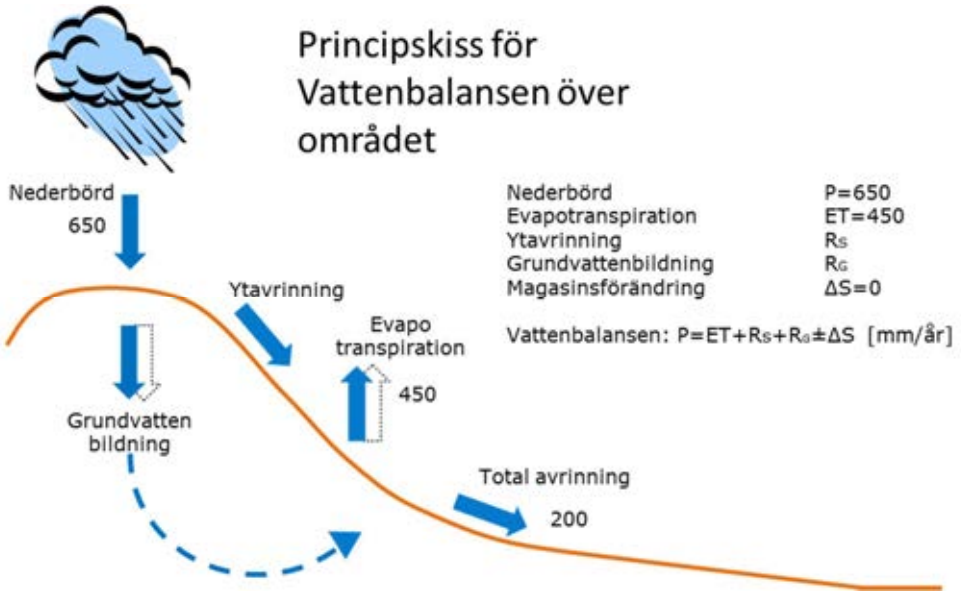
Grundvattenbildningen, ”recharge” till de övre jordlagren har i grundvattenmodellen satts till 200 mm/år.[3]

---

1 Hydrogeologi för bergbyggare, Gunnar Gustafson, 2009.

2 SMHI

3 Grundvattenbildning i svenska typjordar – översiktlig beräkning med en vattenbalansmodell, A. Rodhe et al. 2006



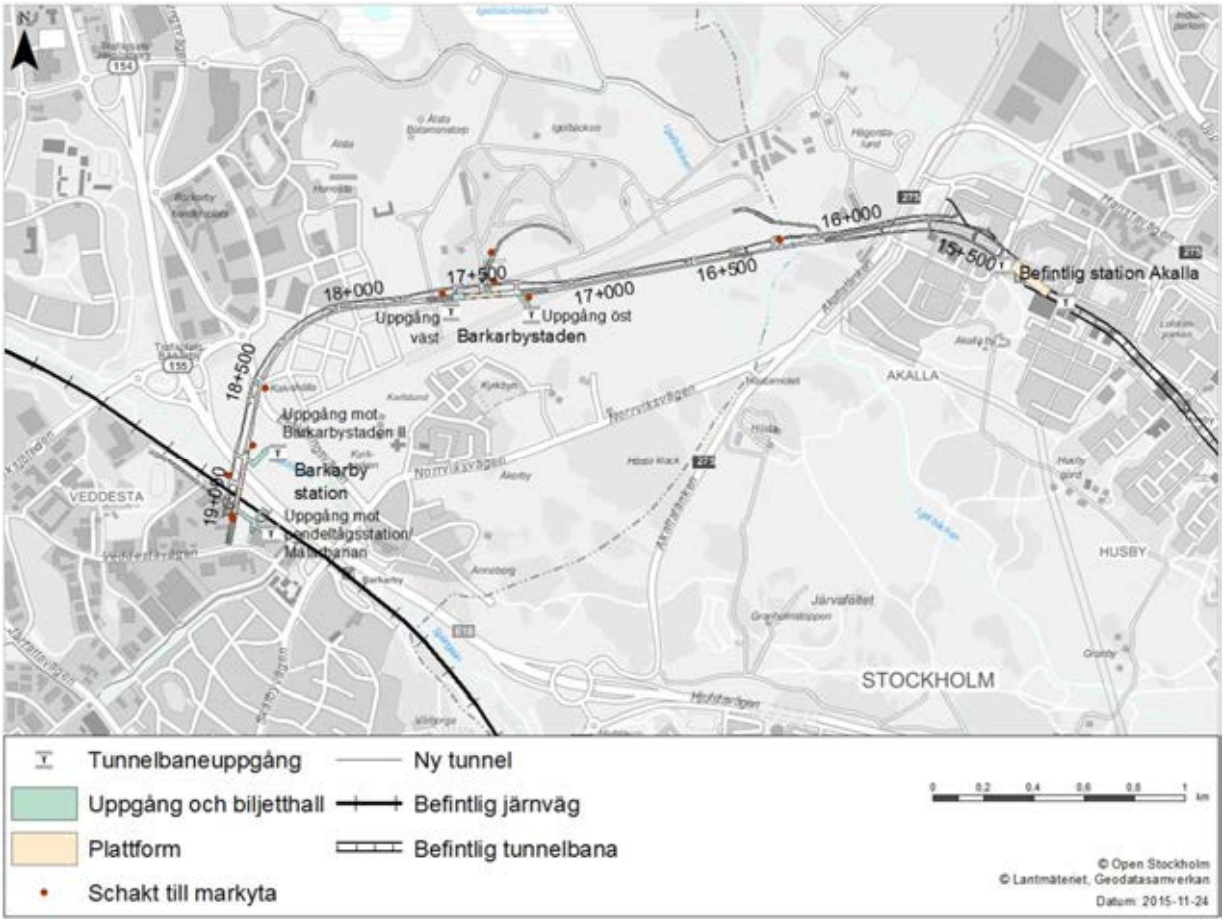
Figur 1. Vattenbalansen över området utan grundvattenuttag. Enhet mm/år.

4 Grundvattenmodellering

Grundvattenmodellerna har satts upp med hjälp av programvaran Visual MODFLOW Pro (version 2011.1), som 3-dimensionella flerlagermodeller. Modellerna är så kallade ”finita differensmodeller”, FDM. Modellerna har ställts upp för en jämviktslösning (”steady-state”) vilket innebär att modellen gäller för en tidpunkt då hela modellen är i jämvikt. Detta antagande är en förenkling av verkligheten då både nivåer, flöden och grundvattenbildning varierar över året.

4.1 Konceptuell modell

Planerade anläggningar med uppgångar och arbetstunnlar som ingått i modellen redovisas i *Figur 2*. Området beskrivs i detalj i PM hydrogeologi. Här följer en kort summering av områdesegenskaper för den konceptuella modellen.



Figur 2. Översiktskarta med planerad anläggning.

4.1.1 Grundvattenbildning

Grundvattenbildningen till berget sker från sprickor i bergpartier där berget går i dagen eller genom kontakt mellan berg och vattenförande jordlager medan grundvattenbildning till jord sker direkt från nederbörd. Grundvattenbildningen till jord och berg är beroende av topografin, jordarternas hydrauliska konduktivitet (K [m/s]), storleken på nederbörden, evapotranspirationens andel av den totala nederbörden och ytavrinningens storlek. Ytavrinningen i sin tur är beroende av topografi, jordarternas infiltrationskapacitet och aktuell markanvändning.

Grundvattenbildningens storlek varierar under året. Vid snösmältningen sker en vattenfyllnad av markvattenzonen så att grundvatten kan bildas. Då temperaturen stiger under våren ökar också avdunstningen och under april-maj är avdunstningen större än nederbörden och någon grundvattenbildning sker inte annat än vid en ordentlig rotblöta som kan mätta markvattenzonen. Under hösten minskar avdunstningen igen och markvattenmagasinet fylls på och grundvatten kan bildas. Detta innebär att grundvattennivån ofta varierar med året. Vid steady-state-modellering är detta förenklat till en medelgrundvattenbildning under hela året.

I området sker den största grundvattenbildningen till berg från mer genomsläppliga jordlager vilka är koncentrerade speciellt till höjdpartier och där berget går i dagen.

4.1.2 Jordlagerföljd

Området karaktäriseras av större sammanhängande leområden och mindre höjder med berg och morän. Under leran/moränen ligger friktionsjord (ibland klassad som morän) av varierande sammansättning, från relativt finkornig (siltig-sandig) till grovkornig (sandig-grusig).

Det förekommer också områden med organisk jord vid markytan, alltså torv, dy eller gyttja/gyttjelera. Ett sådant område finns i sydvästra delen (Åkerbykärret söder om Hästa klack) som utgör en tidigare sjö som är utdikad. Även runt Säbysjön förekommer organiska jordlager.

Konceptuellt är området förenklat till ett övre lager bestående av morän, lera, torv och berg i dagen, baseras på Stockholms byggnadsgeologiska karta där det översta lagret i modellen har en konduktivitet motsvarande jordartskartan. Detta lager underlagras av ett lager friktionsmaterial och berg i dagen, vilket i sin tur underlagras av bergöveryta.

4.1.3 Ytvatten

Bällstaån, Igelbäcken och Stordiket löper genom modellområdet. Lokalt påverkar dessa vattendrag de ytliga grundvattennivåerna genom inströmning och utströmning.

4.1.4 Flöde i berg

Vattenflödet i berg sker i bergets sprickstrukturer och styrande för inläckaget till planerad tunnel är framförallt bergets hydrauliska konduktivitet (K) vilken är beroende av bland annat sprickfrekvensen, sprickornas egenskaper och utbredning. Utbredningen av sprickor och dess egenskaper kan variera inom en relativt begränsad yta men om den betraktade bergvolymen är tillräckligt stor kan dock bergets genomsnittliga egenskaper beskrivas som ett poröst och isotropt medium. Konduktiviteten för bergmassan genom vilken tunneln löper ses som en enhet där hänsyn tas till svaghetszoner eller zoner med bättre kvalitet på berg (t.ex. berg i dagen) som passeras men ej olika bergarter.

4.1.5 Dränerande anläggningar

Ett uttag i berget, t.ex. i form av inläckage till en tunnel, medför en ökad grundvattenbildning vilket sker på bekostnad av en reducering av ytavrinningen. Även grundvattenavrinningen minskar vid ett uttag. Anläggningar beskrivna i kap 2.1 har lagts in i modellen. Befintliga tunnlar och bergrum i området är hemliga och men läge och dränerande djup är ungefärligt representerat i modellen.

Förbifarten kommer precis som tunnelbanan att påverka grundvattennivåerna i området men även inläckaget i övriga dränerande anläggningar, eftersom både Förbifarten och tunnelbanan kommer ha en dränerande funktion och således leda bort delar av det tillgängliga grundvatten som annars dräneras bort i andra anläggningar. Konceptuellt har hänsyn tagits till Förbifartens sträckning som är inlagd i ungefärligt läge efter befintliga ritningar, med samma förutsättningar på tätningsåtgärder som tunnelbana Akalla-Barkarby.

4.2 Numerisk modell

Modellen har utformats 150 m djup och i plan är modellområdet väl tilltaget ut från tunnelsträckningen för att randvillkoren inte ska påverka simuleringsresultaten. Markytans geometri har beskrivits med hjälp av kommunernas respektive laserscanningar samt nivåkurvor från grundkartor där utbredning av laserscanning ej täckt hela området. Bergöveryta och överyta för undre lager friktionsmaterial har närmast tunnelsträckningen tagits fram genom interpolering av schablontolkade geotekniska sonderingar, seismik och resistivitet. Utanför undersökningsområdet har tolkade hjälppunkter, baserat på studie av det geologiska kartbladet, använts för interpolering av ytor. I modellen har initialt ett rutnät om 40×50 m använts för större delen av området, medan rutnätet utökats till max 100×80 m långt från tunnelsträckningen.

Detaljmodeller har sedan studerats där gridstorleken minskats till 10×12 m närmast stationslägen och 20×25 m i närheten av tunnellinje.

4.2.1 Randvillkor

I modelleringsarbetet har dräner eller konstant tryck använts för simulering av dränerande tunnel/undermarksanläggningar samt ytavrinning.

En drän har lagts i modellernas översta lager. Randvillkoret tar bort överskottsvatten ur modellen då nivån når högre än 1 meter under marknivån. Det vatten som tas bort kan sägas representera ytavrinning. Hur mycket vatten som tas bort beror främst på vilken hydraulisk konduktivitet marken (berg eller lösa jordlager) ges i modellen, hur topografin avspeglas samt vilket grundvattenuttag som sker i jord eller berg i modellen.

Drän har också använts för att simulera kända befintliga tunnlar eller andra bergrumsanläggningar, samt för att simulera den del av Förbifart Stockholm som kommer att korsa tunnelsträckningen.

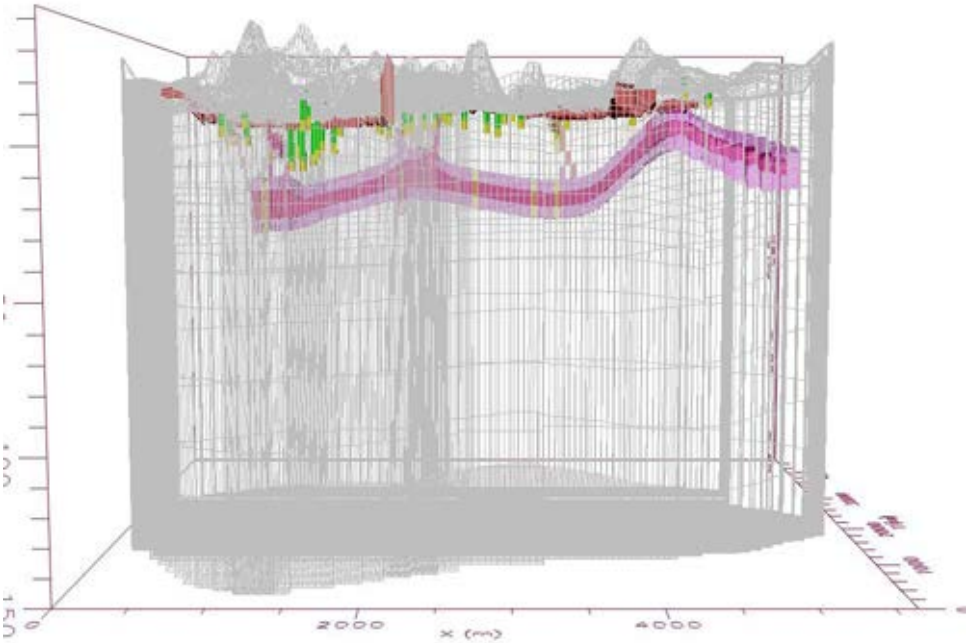
För att simulera Bällstaån, Djupanbäcken, Igelbäcken och Stordiket i modellen har dessa celler tilldelats en konstant trycknivå baserad på uppmätta vattennivåer 2015-05-20 i ett antal punkter längs vattendragen. Uppmätta värden är tänkta att avspegla en medelvattensituation.

Konstant tryck har också använts för att simulera den planerade tunneln enligt ritningar tillgängliga 2015-10-21.

Då grundvattendelare inte alltid funnits inom rimligt avstånd från tunneln har vissa ytterränder i modellen ansatts med s.k. generell trycknivå, vilket innebär att vatten tillåts passera in eller ut genom modellområdet till en extern källa/recipient beroende på modellerad trycknivå.

Total grundvattenbildning har i modellen ansatts till 200 mm/år till det översta jordlagret. Av dessa 200 mm bedöms grovt att 1/3 infiltrerar ned till djupare liggande berg. Resterande vatten upphåller sig i ytligare jordlager eller transporteras till utströmningsområden och avleds som ytvatten och tas i modellen hand om av ytliga dräner beskrivna ovan.

Ett utsnitt ur modellen presenteras i Figur 3.



Figur 3. Modelluppbyggnad, planerad tunnel. Höjdskalan är överdriven med en faktor 20.

4.2.2 Egenskapsområden

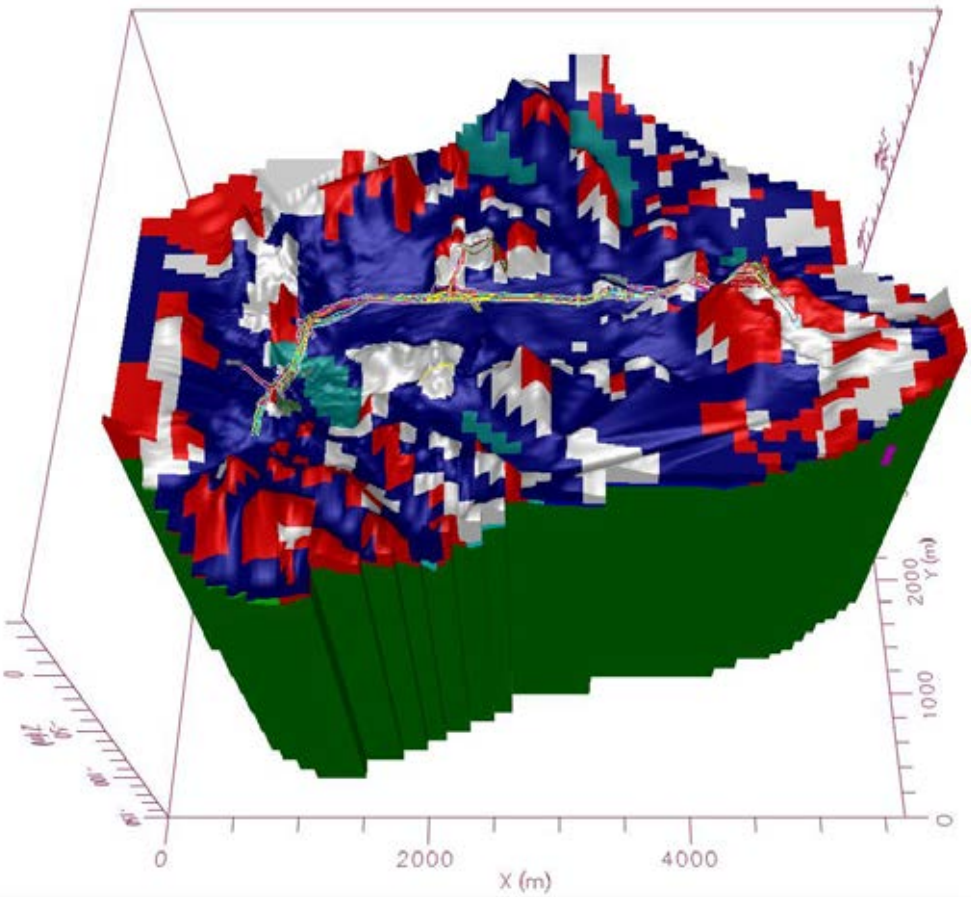
En resultatsammanställning av hydraulisk konduktivitet i friktionsmaterial och berg från fältundersökningar redovisade i kapitel 2 återfinns i *Tabell 4*.

Tabell 4 Sammanställning av hydraulisk konduktivitet

	Berg				Friktionsmaterial			
	KBK, HBH	KBK, HBH	Energibrunnar	Provpumpning	Slugtest	Provpumpning		
	Median för uppmätta sektioner	Helhålstest		Hansta		1	2	3
	$3{,}79\times10^{-7}$	$6{,}23\times10^{-8}$		$2{,}70\times10^{-6}$	$2{,}60\times10^{-6}$	$5{,}63\times10^{-6}$	$6{,}87\times10^{-5}$	$6{,}94\times10^{-5}$
	$4{,}53\times10^{-6}$	$5{,}89\times10^{-7}$		$2{,}30\times10^{-6}$	$1{,}70\times10^{-6}$		$4{,}16\times10^{-5}$	$1{,}78\times10^{-5}$
	$2{,}39\times10^{-6}$	$1{,}57\times10^{-7}$			$1{,}30\times10^{-7}$		$5{,}29\times10^{-5}$	$1{,}40\times10^{-4}$
	$8{,}00\times10^{-8}$	$2{,}20\times10^{-7}$			$4{,}50\times10^{-6}$		$2{,}37\times10^{-5}$	
	$1{,}37\times10^{-7}$	$1{,}29\times10^{-6}$			$5{,}70\times10^{-6}$			
	$5{,}33\times10^{-8}$	$9{,}48\times10^{-8}$			$4{,}30\times10^{-7}$			
	$3{,}63\times10^{-8}$	$3{,}05\times10^{-9}$			$3{,}00\times10^{-7}$			
	$1{,}96\times10^{-7}$	$8{,}49\times10^{-9}$			$1{,}10\times10^{-6}$			
	$9{,}56\times10^{-9}$				$3{,}20\times10^{-7}$			
	$9{,}15\times10^{-8}$				$9{,}20\times10^{-7}$			
	$4{,}01\times10^{-9}$				$2{,}80\times10^{-7}$			
	$1{,}69\times10^{-8}$				$5{,}70\times10^{-7}$			
					$1{,}30\times10^{-6}$			
					$1{,}20\times10^{-6}$			
aritmetiskt medel	$6{,}60\times10^{-7}$	$3{,}03\times10^{-7}$	$1{,}57\times10^{-7}$		$1{,}50\times10^{-6}$	$5{,}63\times10^{-6}$	$4{,}67\times10^{-5}$	$7{,}57\times10^{-5}$
median	$8{,}58\times10^{-8}$	$1{,}26\times10^{-7}$	$7{,}67\times10^{-9}$		$1{,}01\times10^{-6}$	$5{,}63\times10^{-6}$	$4{,}73\times10^{-5}$	$6{,}94\times10^{-5}$
geometriskt medel	$1{,}00\times10^{-7}$	$8{,}92\times10^{-8}$	$1{,}10\times10^{-8}$		$8{,}75\times10^{-7}$			

Hydraulisk konduktivitet för lera har i modellen ansatts till 2×10^{-9} m/s och för morän till 1×10^{-6} m/s. Dessa värden baseras på erfarenheter från tidigare arbeten. För undre friktionsmaterial har medianvärden från provpumpning 1-3 använts för respektive område.

Hydraulisk konduktivitet i berg har i modellutförandet varierats mellan olika scenarier beskrivna i kapitel 4.4.3. Detta är gjort som en känslighetsanalys där värdet på den genomsnittliga hydrauliska konduktiviteten varierats för att se hur detta påverkar inläckage och påverkansområde. Utförda vattenförlustmätningar visar på en medelkonduktivitet i berg kring 1×10^{-7} m/s medan utvärdering av energibrunnar pekar på en konduktivitet runt 1×10^{-8} m/s enligt sammanställning i *Tabell 4*. Större delen av bergmassan har därför ansatts med en konduktivitet på 1×10^{-7} m/s, men i en känslighetsanalys har också K-värde i berg på 2×10^{-8} m/s använts. Då de flesta energibrunnar är borrade på höjdområden, och då ytnära berg/berg i dagen kan anses vara av bättre kvalitet i höjdområden, har ett högre K-värde (1×10^{-8} alternativt 5×10^{-8} m/s) ansatts för berg i dagen i modellen. Tolkade eventuella sprickzoner och svaghetszoner (nr 1-12 redovisade i bilaga C3) har ansatts med högre konduktivitet, 5×10^{-7} m/s. Injektering kring tunnelutförande har ansatts med en konduktivitet på 1×10^{-8} alternativt 5×10^{-9} m/s medan injektering i sprickzoner ansatts till 5×10^{-8} m/s. Injektering har ansatts runt projekterad tunnel, befintlig tunnelbana vid Akalla samt sträckning av Förbifart Stockholm men inte kring befintliga tunnlar eller bergrum. Injekteringszonens mäktighet varierar något och är beroende av cellstorlek. Ett utsnitt av egenskapsområden presenteras i *Figur 4*.



Figur 4. Utsnitt ur modellen, egenskapsområden. Blått motsvarar lera, grönt berg, rött berg i dagen, grått morän, turkos torvområden.

4.3 Känslighetsanalys och modellscenarion

En modell är alltid behäftad med osäkerheter, både vad gäller uppbyggnad och indata. För att uppskatta variationer i påverkan har vissa parametrar varierats inom rimliga intervall, och olika påverkansområden och inläckage har beräknats.

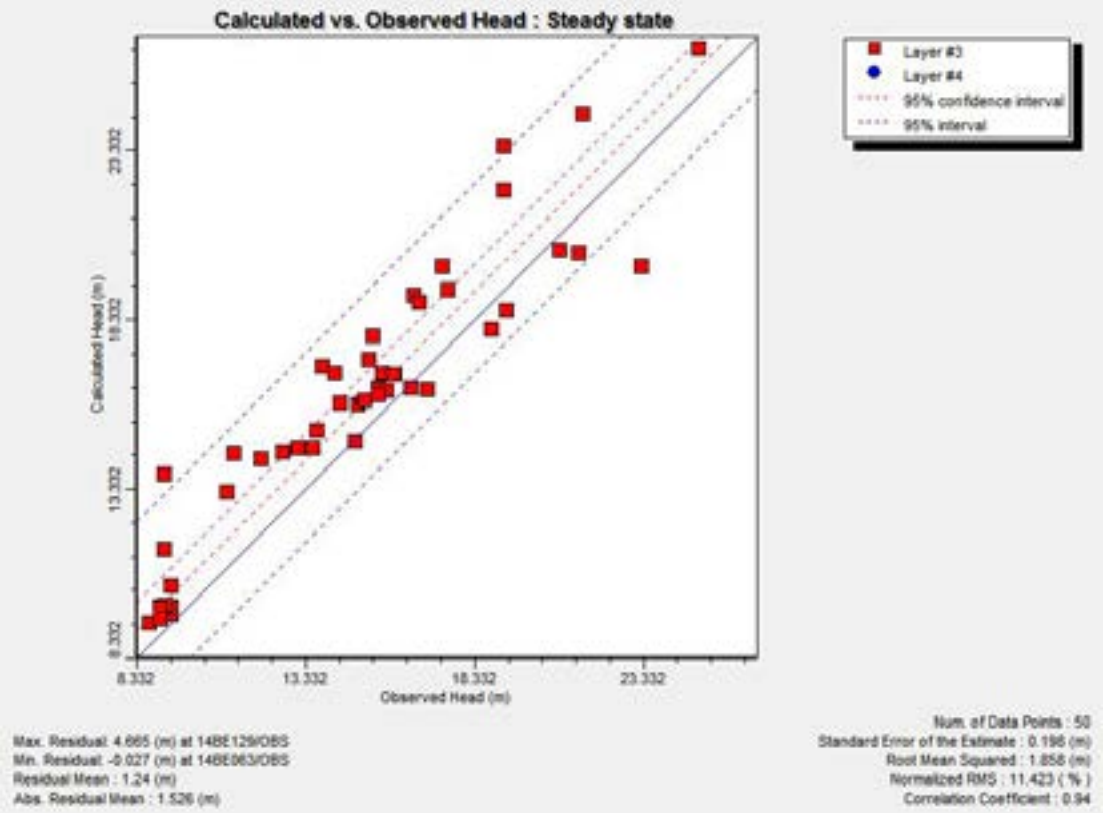
Den hydrauliska konduktiviteten (K) i berg samt tätningsgraden kring tunnel har bedömts ha störst inverkan på modellresultatet och har därför varierats, se kapitel 4.4.3. Hydraulisk konduktivitet i tunnelinjektering baseras på erfarenhetsvärden av injektering.

Modellen har först körts opåverkad från tunnelutförande och Förbifart Stockholm för att simulera nuvarande förhållanden. Därefter har modellen körts med tunnelbaneutförande och jämförts mot nuvarande nivåer. Därefter har utförande med både Förbifart Stockholm och tunnelbana körts samtidigt och jämförts mot befintliga nivåer. Slutligen har ett utförande med bara Förbifart Stockholm körts för att bedöma inverkan av Förbifarten ifall den av någon anledning byggs före tunnelbanan. Påverkan har beräknats från de tidigare modellerade grundvattennivåerna. Influensområde i berg och i undre friktionsmaterial har tagits fram från modellerna, där påverkan i berg har definierats som trycknivåsänkning på 1 m på samma nivå som tunneln, och påverkan i undre friktionsmaterial har definierats som 0,3 m trycknivåsänkning.

4.4 Modellresultat

4.4.1 Kalibrering

Observerade grundvattennivåer i området är inlagda i modellen som observationsbrunnar. Vattennivå baseras på ett medelvärde från tre mätningar under februari-april 2015. Mot dessa nivåer har en kalibrering gjorts för scenario 2 enligt kap 4.4.3. Kalibreringen visar på en absolut medelavvikelse på ca 1,5 m, se Figur 5.



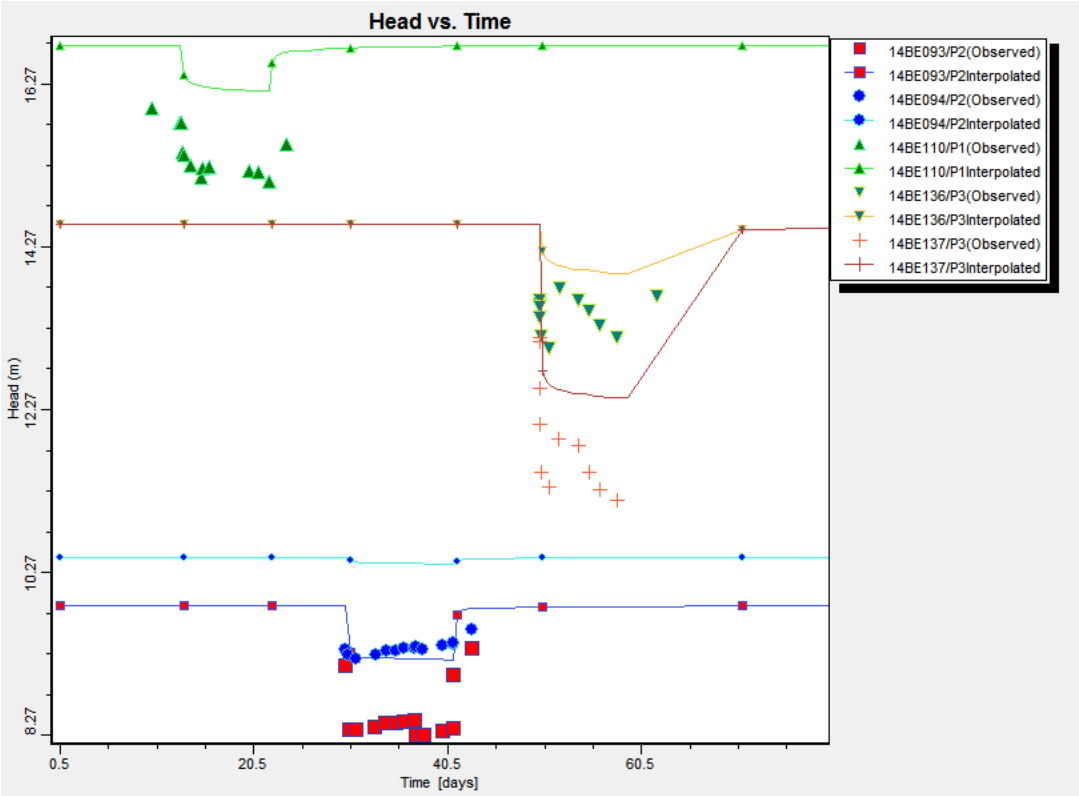
Figur 5. Kalibrering av simulerade grundvattennivåer mot uppmätta grundvattennivåer.

Kalibreringen är relativt överensstämmande med verkligheten, men av modellen beräknade trycknivåer ligger generellt 1,5 m högre än uppmätta nivåer. De två brunnar med störst avvikelse uppåt (4,5 m för högt beräknade nivåer mot observerade nivåer) ligger i utkanten av modellen där topografin är mindre bra avspeglad av verkligheten, vilket är en bidragande faktor till felaktiga beräkningar. Den brunn med störst avvikelse nedåt (3,5 m för lågt beräknade nivåer mot observerade nivåer) ligger i närheten av ett större bergrum där inläckaget troligen överskattas i modellen.

Man bör beakta att grundvattennivåerna i området påverkas av ett omfattande gammalt drän- och dagvattensystem i anslutning till flygfältet, vilket leds ut till Igelbäcken. Detta drän- och dagvattensystem har ej tagits hänsyn till i modellen. Det innebär att grundvattennivåerna i detta område troligen är ytterligare något avsänkta i verkligheten än vad som återspeglas i modellen, vilket i sin tur överskattar inläckageberäkningarna något.

4.4.2 Validering mot provpumpningar

En enkel transient validering av modellen har gjorts mot provpumpningar utförda av SLL under 2014-2015, se Figur 6. Samtliga observationsbrunnar med bedömd påverkan från pumpningen har tagits med i valideringen.



Figur 6. Provpumpning 1-3 utförda 2014-2015.

Valideringen visar att modellen svarar på en störning i någorlunda rätt storleksordning även om stationära nivåer ibland ligger en bit ifrån varandra (medelfel 1,5 meter enligt kalibrering).

4.4.3 Känslighetsanalys och inläckage

Den hydrauliska konduktiviteten (K) i berg har bedömts ha stor inverkan på modellresultatet och har därför varierats. Tre scenarion har satts upp för att bedöma känsligheten i ansatt K-värde, se *Tabell 5*. I scenario 1 ansätts ett lågt K-värde i berg jämfört med uppmätt K i vattenförlustmätningar. I scenario 2 ansätts K-värde enligt resultat från vattenförlustmätningar och med en tätningsgrad som bedöms som relativt lätt att uppnå med konventionell betongtätning. I scenario 3 används samma K som i scenario 2 men med en högre tätningsgrad som bedöms som svårare att uppnå med konventionell betongtätning.

Tabell 5. Ansatt hydraulisk konduktivitet, scenario 1-3.

Hydraulisk konduktivitet K (m/s)	Scenario 1, lågt K	Scenario 2, högt K, låg tätningsgrad	Scenario 3, högt K, hög tätningsgrad
Lera	$2{,}0\times10^{-9}$	$2{,}0\times10^{-9}$	$2{,}0\times10^{-9}$
Morän	$1{,}0\times10^{-6}$	$1{,}0\times10^{-6}$	$1{,}0\times10^{-6}$
Torv underlagrad av lera	$2{,}0\times10^{-8}$	$2{,}0\times10^{-8}$	$2{,}0\times10^{-8}$
Berg	$2{,}0\times10^{-8}$	$1{,}0\times10^{-7}$	$1{,}0\times10^{-7}$
Bergknallar	$1{,}0\times10^{-8}$	$5{,}0\times10^{-8}$	$5{,}0\times10^{-8}$
Troliga sprickzoner	$5{,}0\times10^{-7}$	$5{,}0\times10^{-7}$	$5{,}0\times10^{-7}$
Injektering	$5{,}0\times10^{-9}$	$1{,}0\times10^{-8}$	$5{,}0\times10^{-9}$
Injektering sprickor	$5{,}0\times10^{-8}$	$5{,}0\times10^{-8}$	$5{,}0\times10^{-8}$

Modellkörningar med ansatta parametrar enligt *Tabell 5* har resulterat i beräknade inläckage enligt *Tabell 6*.

Tabell 6. Beräknade inläckage i tunnlar och undermarksanläggningar (liter per minut och hundra meter tunnel). För varje scenario har inläckage beräknats vid nuvarande grundförhållanden (GF), drifttid tunnelbana Akalla-Barkarby (TAB), drifttid Förbifart Stockholm (FFS) och drifttid då både Förbifart Stockholm och tunnelbana Akalla-Barkarby är implementerade (FFS + TAB)

	Scenario 1, låg K				Scenario 2, hög K, låg tätningsgrad				Scenario 3, hög K, hög tätningsgrad			
Inläckage (l/min/100 m)	GF	TAB	FFS	FFS + TAB	GF	TAB	FFS	FFS + TAB	GF	TAB	FFS	FFS + TAB
Tunnelbana sträckan Akalla-Barkarby inkl uppgångar och arbetstunnlar	0,5	8,1	0,5	7,9	0,8	15,4	0,9	14,9	0,8	12,0	0,9	11,7
Befintlig tunnelbana Akalla mot Husby	8,1	8,1	8,6	8,1	17,0	16,5	16,7	16,5	17,0	12,2	12,3	12,2
Fortifikationsverkets anläggningar (l/min)	69	59	106	59	141	96	143	95	141	107	143	107
Hemliga tunnlar (Fortum fjärrvärme, dagvatten)	6,6	5,6	5,7	4,8	15,6	11,8	12,8	9,8	15,6	12,7	13,5	11,1
Förbifart Stockholm	-	-	5,3	4,6	-	-	9,5	7,2	-	-	7,7	5,6
Arbetstunnel A1	-	1,4	-	1,4	-	1,3	-	1,3	-	1,2	-	1,2
Arbetstunnel A2	-	1,3	-	1,0	-	1,5	-	1,3	-	1,3	-	1,0
Arbetstunnel B1	-	2,0	-	2,0	-	2,5	-	2,5	-	1,7	-	1,7
Arbetstunnel C3	-	1,2	-	1,2	-	2,7	-	2,7	-	1,5	-	1,5
Spår och servicetunnlar delsträcka 1 Akalla stn - Hägerstalund	-	5,5	-	5,1	-	8,0	-	7,1	-	6,8	-	6,1
Spår och servicetunnlar delsträcka 2 Hägerstalund - Barkarby handelsplats (exkl Barkarbystaden station)	-	9,9	-	9,6	-	18,7	-	18,1	-	15,1	-	14,7
Spår och servicetunnlar delsträcka 3 Barkarby handelsplats - Barkarby station (exkl Barkarby station)	-	4,1	-	4,1	-	11,5	-	11,5	-	7,5	-	7,5
Spår och servicetunnlar Barkarbystaden station	-	4,8	-	4,8	-	7,8	-	7,7	-	6,4	-	6,4
Spår och servicetunnlar, Barkarby station	-	7,5	-	7,5	-	20,7	-	20,7	-	15,1	-	15,1
Uppgångar Barkarby station (l/min)	-	10,1	-	10,1	-	14,8	-	14,8	-	13,4	-	13,4
Uppgångar Barkarbystaden (l/min)	-	11,1	-	11,1	-	14,5	-	14,4	-	12,3	-	12,3
Station Barkarbystaden inkl uppgångar och arbetstunnel	-	7,4	-	7,4	-	11,1	-	11,0	-	9,0	-	9,0
Station Barkarby inkl uppgångar och arbetstunnel	-	11,6	-	11,6	-	28,0	-	28,0	-	20,4	-	20,4
Totalt delsträcka 1 (l/min)	-	51		46		71		63		61		54
Totalt delsträcka 2 (l/min)		186		182		333		323		269		263
Totalt delsträcka 3		72		72		183		183		129		129

	Scenario 1, låg K				Scenario 2, hög K, låg tätningsgrad				Scenario 3, hög K, hög tätningsgrad			
Inläckage (l/min/100 m)	GF	TAB	FFS	FFS + TAB	GF	TAB	FFS	FFS + TAB	GF	TAB	FFS	FFS + TAB
(l/min)												
Totalt alla delsträckor (l/min)		309				586				458		

Beräknade inläckage i *Tabell 6* visar på relativt höga inläckage i befintliga anläggningar under nuvarande förhållanden redan i scenario 1, jämfört med uppmätta inläckage presenterade i kapitel 2.1 (8,1 respektive 6,6 l/min/100 m mot uppmätta värden på 3,5-5 l/min/100 m för befintlig tunnelbana Akalla-Husby respektive dagvatten- och fjärrvärmetunnlar). Inläckaget till dagvatten- och fjärrvärmetunnlarna minskar till 5,6 l/min/100 m när Tunnelbana Akalla-Barkarby tas i drift och till 4,8 l/min/100 m när både tunnelbanan och Förbifart Stockholm är i drift. Inläckage till befintlig tunnelbana Akalla-Husby påverkas inte direkt av varken tunnelbanan eller förbifarten. Inläckage till Fortifikationsverkets anläggningar minskar med nästan 15 % då tunnelbanan tas i drift men ej ytterligare av förbifarten.

Totalt inläckage till tunnelbanan då den tas i drift har beräknats till mellan 7,6 och 14,6 l/min/100 m exklusive arbetstunnlar för de tre scenarierna. Det innebär att beräkningar av inläckage till tunnelbanan är känsligt för vilket K-värde som ansätts.

4.4.4 Beräknat influensområde

I bilaga 6.1 redovisas av modellen beräknat influensområde för tunnelbana Akalla-Barkarby, scenario 1-3.

5 Analytiska beräkningar av inläckage till tunnel för tunnelbana Akalla-Barkarby

Parallellt med modelleringsarbetet har inläckaget både utan och med injektering beräknats analytiskt. Beräkningarna har gjort med ekvationer baserade på Darcy´s lag. Nedan visas ekvationen för inläckage (q) utan injektering där K är bergets hydrauliska konduktivitet, h är tunnelns djup under grundvattenytan, r är tunnelradien, och ξ är skinfaktorn. Inläckaget (q) erhålls i m^3/s och meter tunnel.

$$q = \frac{2\pi \times K \times h}{\ln\left(\frac{2h}{r}\right) + \xi}$$

För en injekterad tunnel beräknas inläckaget (q_{inj}) med injektering analytiskt med ekvationen:

$$q_{inj} = \frac{2\pi \times K \times h}{\ln\left(\frac{2h}{r}\right) + \left(\frac{K}{K_i} - 1\right)\ln\left(1 + \frac{t}{r}\right) + \xi}$$

Där K_i är injekteringszonens konduktivitet och t är injekteringszonens medeltjocklek. (Gustafson, 2009)

Beräkningarna förutsätter att grundvattennivån ovan tunneln ligger kvar nära markytan. För ett stort inläckage kommer detta inte vara fallet utan grundvattennivån ovan tunneln kommer då sänkas märkbart och beräknat inläckage överskattas. För beräkningarna har 25 m bergtäckning antagits, tunnelradien är ansatt till 5,9 m för ett enkelt spår (→11,7/2 enl typritning för dubbelspårstunnel).

Tabell 7. Analytisk beräkning av inläckage till planerad tunnel med och utan injektering för varierande K-värde, Skinfaktor=3, Injekterade zonen=5 m och rt=5,9 m vilket motsvarar ett spår

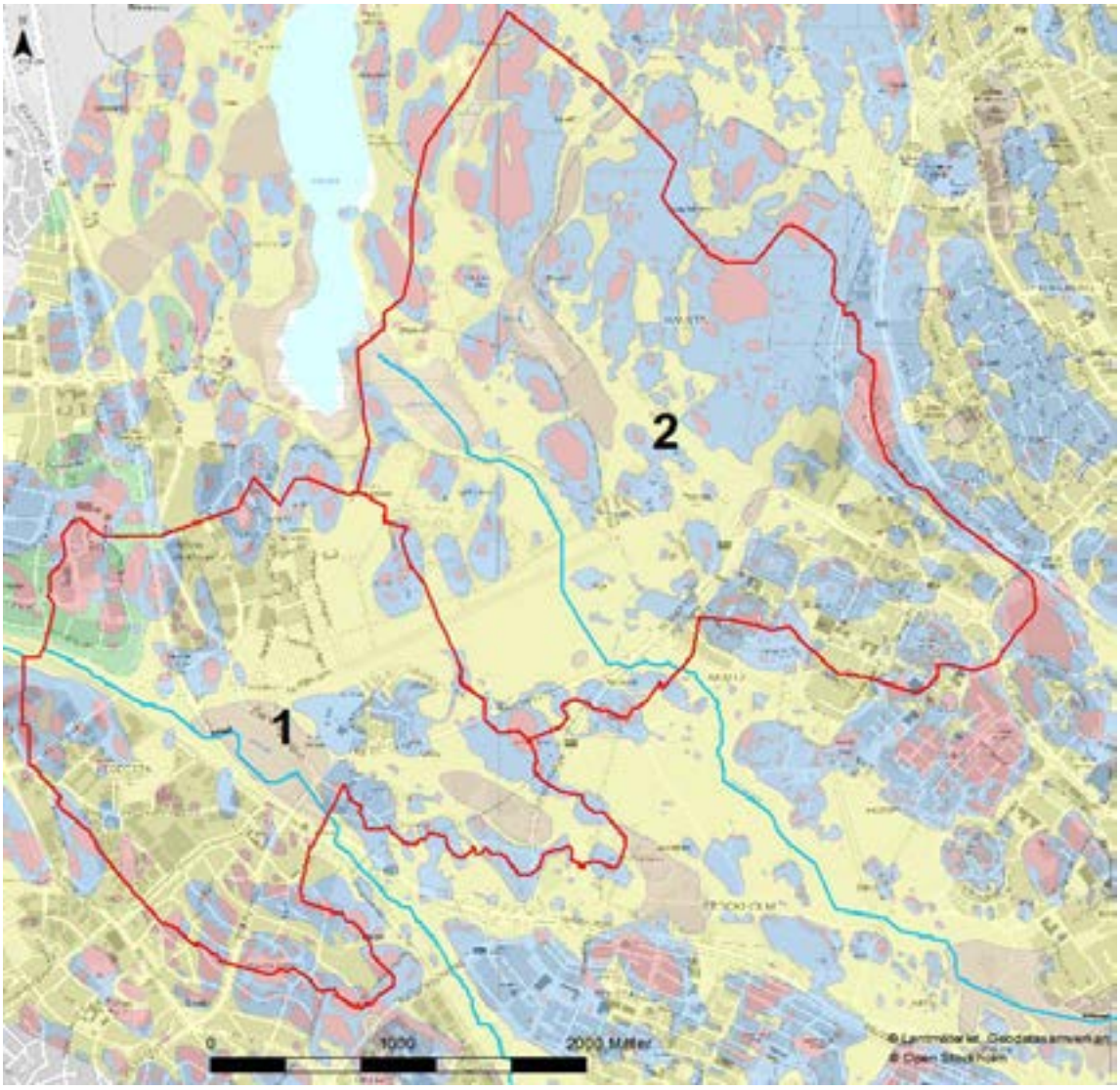
Tunnel Akalla-Barkarby	Otätad tunnel		Tätad tunnel	
	K (m/s)	Q (l/min/100 m)	K_i (m/s)	Q_{inj} (l/min/100 m)
K max för energibrunnar	3×10^{-6}	550	3×10^{-7}	260
Antaget K, tätning en tiopotens (scenario 2)	1×10^{-7}	18,3	1×10^{-8}	8,8
Antaget K, tätning 1½ tiopotens (scenario 3)	1×10^{-7}	18,3	5×10^{-9}	5,6
Antaget K, tätning en tiopotens (scenario 1)	2×10^{-8}	3,7	5×10^{-9}	2,7
K medel för energibrunnar	1×10^{-8}	2	1×10^{-9}	1
K min för energibrunnar	5×10^{-10}	0,1	Samma som för otätad	0,1

Dessa siffror kan jämföras med modellerat medelinflöde till tunnelbanan (inklusive uppgångar) på 7,6 l/min/100 m vid scenario 1, 14,6 l/min/100 m vid scenario 2, och 11,5 l/min/100 m vid scenario 3. Det bör beaktas att analytiskt beräknade inläckage endast är beräknade för enkelspårstunnel, i verkligheten tillkommer uppgångar, servicetunnel, parallelltunnlar och dubbelspår, varför överensstämmelsen mellan modellerade och analytiskt beräknade inläckage bedöms som relativt god. Analytiska beräkningar av inläckage är dock alltid behäftade med osäkerheter.

6 Vattenbalans kontra inläckage

Utredningsområdet har delats in i två huvudsakliga vattenbalansområden, på kartan i Figur 7 kallade 1 och 2. Beräknad total avrinning för de två avrinningsområdena jämförs med beräknat inläckage till tunneln i tabellen nedan.

Den potentiella grundvattenbildningen (infiltrationen) har ansatts till 200 mm/år i likhet med vad som använts i modelleringsarbetet. Områdets ytliga jordlager domineras av lera men även morän förekommer. Moränförekomsterna är främst lokaliserade intill höjdområdena vilka ofta utgörs av berg i dagen. Storleken av den bebyggda ytan/hårdgjorda ytan inom varje delavrinningsområde påverkar också grundvattenbildningen, vilken normalt bör reducerats med hänsyn till avrinning till dagvattensystem. Delar av avrinningsområdet är idag obebyggt men stora förändringar av den bebyggda ytan sker löpande. Hänsyn till andelen bebyggda områden inom de olika delområdena har i dagsläget inte tagits då det bedöms vara en ständigt ökande siffra.



Figur 7. Vattenbalansområde 1 och 2.

Den totala avrinningen för vattenbalansområdena varierar under året men också från år till år vilket påverkar inläckaget till tunneln. För att underlätta beräkningarna är de utförda för ett genomsnittligt år, se *Tabell 8*.

Tabell 8. Avrinningsberäkningar för vattenbalansområde 1 och 2

	Area (m2)	Total avrinning (mm/år)	Total avrinning (m3/år)
Vattenbalansområde 1	4 662 367	200	932 473
Vattenbalansområde 2	7 535 939	200	1 507 188
		Totalt:	2 439 661

Tunneln för tunnelbana Akalla-Barkarby kommer att dränera grundvatten både från avrinningsområde 1 och 2. Från modellen har grundvattenbortledning från delområde 1 beräknats till maximalt 201 700 m^3/år och från delområde 2 beräknats till 106 500 m^3/år. Andel av grundvattenbildning som bortleds presenteras i *Tabell 9*. Att bortledningen är så pass mycket större för delområde 1 trots liknande tunnellängd beror på att stationslägen, arbetstunnlar och uppgångar är koncentrerade i delområde 1.

Tabell 9. Jämförelse mellan beräknat inläckage och grundvattenbildning (total avrinning) för vattenbalansområde 1 och 2

	Tunnelsträcka (m)	Total avrinning (m3/år)	GV-bortledning (m3/år)	Andel av gv-bildningen som bortleds
Delområde 1	2 030	932 473	201 700	22 %
Delområde 2	2 300	1 507 188	106 500	7 %
Totalt	4 330	2 439 661	308 200	13 %

Grundvattenbortledningen är konservativt antagen och utan hänsyn tagen till att skyddsinfiltration med stor sannolikhet kommer nyttjas.

Andelen bortdränerat grundvatten jämfört med grundvattenbildningen är störst för vattenbalansområde 1 där beräknad dränering till tunneln utgör upp till 22 % av grundvattenbildningen. För vattenbalansområde 2 beräknas 7 % av den totala grundvattenbildningen dräneras bort. Totalt för de båda vattenbalansområdena kommer 13 % av den totala grundvattenbildningen att dräneras bort.

Referenser

Gustafson, G. (2009). Hydrogeologi för bergbyggare. Formas.

SLL. (2015a). Provpumpning i jord Akalla Barkarby. 2015-02-26, Stockholms Läns Landsting.

SLL. (2015b). Anvisningar för hydrauliska tester i bergborrhål. 2015-03-11, Stockholms Läns Landsting.

SLL. (2015c). *Förundersökningsrapport Hydrogeologi (4320-G42-22-04011).* Stockholms läns landsting.

SLL. (2015d). *Förundersökningsrapport Berg (4320-G42-22-04010).* Stockholms läns landsting.

Trafikförvaltningen SLL. (2015). *PM Inläckage Akalla - Underlag till Förvaltning av Utbyggd Tunnelbana.*

Trafikverket. (2010a). Rapport Hydrogeologisk undersökning, daterad 2010-06-30, revA 2010-10-22. *Provpumpning Akalla 2009 (0G14H026)*.

Trafikverket. (2010b). Rapport Hydrogeologisk undersökning, daterad 2010-06-30, revA 2010-10-22. *Provpumpning Akalla 2010 (0G14H027)*.

Vårt uppdrag är att genomföra tunnelbanans utbyggnad och övriga åtgärder inom ramen för 2013 års Stockholmsförhandling. Det innebär planering, projektering och byggnation av ny tunnelbana och nya stationer på fyra olika sträckor. I vårt uppdrag ingår också planering och projektering av nya fordonsdepåer samt upphandling av signalsystem och vagnar. Totalt innebär utbyggnaden en samlad investering på 25,7 miljarder kronor. Byggstarten beräknas kunna ske år 2016.

Stockholms läns landsting
Förvaltning för utbyggd tunnelbana
Box 22550, 10422 Stockholm
Telefon: 08-737 25 00

Stockholms läns landsting

PM Hydrogeologi

Bilaga C6.1

Modellerad avsänkning scenario 1-3

Miljöprövning för tunnelbana från Akalla till Barkarby station

Stockholms läns landsting

Modellerad avsänkning

Scenario 1

Datum: 2015-11-27

Skala (A3): 1:13000

0 0.1 0.2 0.3 0.4 0.5 km

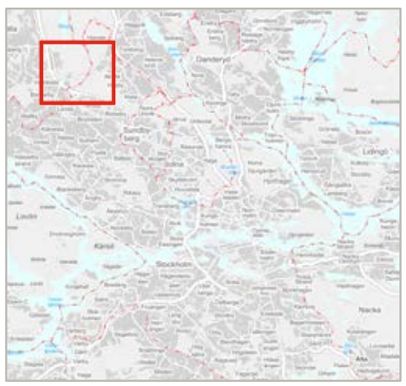
© Lantmäteriet, Geodatasamverkan
© Open Stockholm

Teckenförklaring

Modellerad avsänkning

Scenario 1

- 1 m avsänkning i berg
- 0,3 m avsänkning i friktionsmaterial
- Uppgång och biljetthall
- Plattform
- Schakt till markyta
- Ny tunnel
- Befintlig järnväg
- Befintlig tunnelbana
- Berg
- Lera
- Morän
- Organisk jord
- Sten, grus och sand
- Växellagring



Förvaltning för utbyggd tunnelbana
STOCKHOLMS LÄNS LANDSTING

Modellerad avsänkning

Scenario 2

Datum: 2015-11-27

Skala (A3): 1:13000

0 0.1 0.2 0.3 0.4 0.5 km

© Lantmäteriet, Geodatasamverkan
© Open Stockholm

Teckenförklaring

Modellerad avsänkning

Scenario 2

- 0,3 m avsänkning i friktionsmaterial
- 1 m avsänkning i berg
- Uppgång och biljetthall
- Plattform
- Schakt till markyta
- Ny tunnel
- Befintlig järnväg
- Befintlig tunnelbana
- Berg
- Lera
- Morän
- Organisk jord
- Sten, grus och sand
- Växellagring

Förvaltning för utbyggd tunnelbana
STOCKHOLMS LÄNS LANDSTING

Modellerad avsänkning

Scenario 3

Datum: 2015-11-27

Skala (A3): 1:13000

0 0.1 0.2 0.3 0.4 0.5 km

© Lantmäteriet, Geodatasamverkan
© Open Stockholm

Teckenförklaring

Modellerad avsänkning

Scenario 3

- 1 m avsänkning i berg
- 0,3 m avsänkning i friktionsmaterial
- Uppgång och biljetthall
- Plattform
- Schakt till markyta
- Ny tunnel
- Befintlig järnväg
- Befintlig tunnelbana
- Berg
- Lera
- Morän
- Organisk jord
- Sten, grus och sand
- Växellagring

Förvaltning för utbyggd tunnelbana
STOCKHOLMS LÄNS LANDSTING

PM Hydrogeologi

Bilaga C7

PM Sättningar

Miljöprövning för tunnelbana från Akalla till Barkarby station

Stockholms läns landsting

Titel: PM Hydrogeologi– Bilaga C7 PM Sättningar
Konsult: Tyréns
Författare: Stephan Hellgren och Victor Enbom
Projektledare: Anna Nylén
Bilder & illustrationer: Tyréns
Dokumentid: 4320-G41-24-04001
Diarienummer: FUT 1511-0220
Utgivningsdatum: 2015-11-27

Distributör: Stockholms läns landsting, förvaltning för utbyggd tunnelbana
Box 225 50, 104 22 Stockholm. Tel: 08 737 25 00. E-post: nyatunnelbanan@sll.se

Innehållsförteckning

1 Inledning och syfte 6
2 Allmänna förutsättningar 6
2.1 Referenslista 6
2.2 Urval av områden 6
2.2.1 Område 1 7
2.2.2 Område 2 7
2.2.3 Område 3 7
2.3 Marksättningars utbildande 8
2.4 Beräkningsgång 9
2.5 Programvara 9
2.6 Redovisningens omfattning 9
2.7 Beteckningar och höjdsystem 10
3 Indata för beräkningar 10
3.1 Allmänt 10
3.2 Portryck och grundvattensänkning 11
3.3 Sättningsparametrar 11
3.3.1 Antagna parametrar för överslagsberäkning i område 1 12
4 Beräkningsresultat 13
4.1 Område 1 13
4.1.1 Översiktliga markförhållanden 13
4.1.2 Sättningar 13
Provtagningspunkt 10W069 13
Provtagningspunkt 14RT054 15
4.2 Område 2 16
4.2.1 Översiktliga markförhållanden 16
4.2.2 Sättningar 17
Provtagningspunkt 10R038 17
Provtagningspunkt 10W183 18
Provtagningspunkt B603 20
Provtagningspunkt 15RT419 21
Provtagningspunkt 15RT430 23
Provtagningspunkt 15RT432 24
Provtagningspunkt 14W011 26
Provtagningspunkt 14W037 28
Provtagningspunkt 11R128 30
Provtagningspunkt B452 32
4.3 Område 3 34
4.3.1 Översiktliga markförhållanden 34
4.3.2 Sättningar 35

Provtagningspunkt 14T09 35
Provtagningspunkt 14T19 37
Provtagningspunkt 12CW63B 38
Provtagningspunkt 14RT055 40
Provtagningspunkt 14RT061 41
Provtagningspunkt 08F634 43
Provtagningspunkt 08F730 45
Provtagningspunkt 14RT058 46
Provtagningspunkt 14RT057 48
Provtagningspunkt 14RT060 49
Provtagningspunkt 14RT062 50
Provtagningspunkt 08F720 52
5 Sammanställning av beräkningar 53
5.1 Område 1 53
5.2 Område 2 54
5.3 Område 3 56

Bilagor

Bilaga C7.1. Planskisser (3 sidor) med lägen för provtagningsmetoder.

1 Inledning och syfte

Inför utbyggnaden av tunnelbanan mellan Akalla och Barkarby analyseras risker för påverkan med avseende på grundvattensänkningar i samband med projektets genomförande. Detta PM behandlar beräkningar av sättningar orsakade av grundvattensänkningar inom bedömnt influensområde för grundvatten. Huvudsyftet är att beskriva och bedöma hur lerområden påverkas av en grundvattensänkning till följd av planerad grundvattenbortledning i de nya tunnelbaneanläggningarna samt kvantifiera sättningarnas storlek.

2 Allmänna förutsättningar

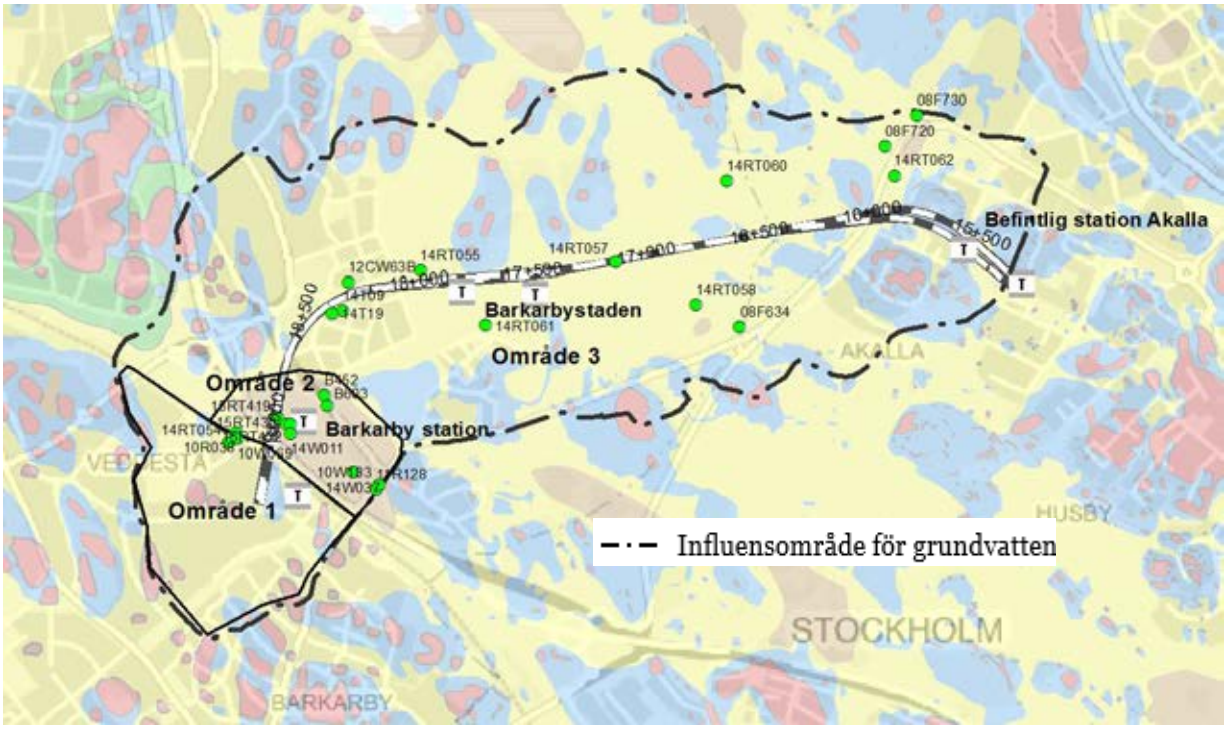
Dokumentet avser uteslutande mark- och jordrörelser som uppkommer genom konsolidering av kohesionsjordar, orsakade av grundvattennivåsänkning vid byggande av projektets tunnlar och schakter. Utförda geotekniska undersökningar och resultat från utförda laboratorieanalyser på ostörda lerprover redovisas i ”Förundersökningsrapport Geoteknik”.

2.1 Referenslista

Förundersökningsrapport Geoteknik, dokumentid: 4320-G41-24-04002

2.2 Urval av områden

Beräkningar inriktas på en marksättning eller markrörelse som har sitt ursprung i en förmodad grundvattensänkning, varför inriktningen helt har varit områden med lös och sättningsbenägen lera. Efter bedömning och indelning av geologiska områden har kolvprover tagits upp inom områden med stora lermäktigheter. Proverna har analyserats på lab genom s.k. CRS-försök varifrån deformationsparametrar erhållits. Följande områden/sträckning har bedömts ligga inom besläktade geologiska formationer, se figur 2.1.1 nedan.



Figur *2.1.1. Redovisning av geologiska områden*

2.2.1 Område 1

Området utgörs av mark som är anlagd och bebyggd. Karaktären på bebyggelse avgränsas av Ekonomivägen. Norr om denna finns industri- och kontorsbebyggelse och söder om vägen finns bostadsbebyggelse.

En stor del av området är hårdgjord med utlagd fyllningsjord.

Marknivåerna varierar i huvudsak mellan ca +12 och +20. Högre nivåer påträffas i bostadsområdet söder om Ekonomivägen samt vid några mindre höjdpartier i övriga delar av området.

2.2.2 Område 2

Området utgörs av huvudsakligen plan, gräsbeväxt delvis sank mark, ställvis bevuxen med buskar och träd.

Inom området är jorddjupen generellt större än övriga två områden. Fyllningsjord återfinns ställvis i området bl.a. för en infartsparkering i söder och för byggvägar. Marknivåerna varierar i huvudsak mellan ca +8,5 och +12. De högre nivåerna påträffas i norr och alldeles öster om Enköpingsvägen.

2.2.3 Område 3

Områdets västra del utgörs till stor del av mark som är anlagd och bebyggd, övriga ytor består huvudsakligen av gräsbeväxt mark som ställvis är hårdgjord. I den nordvästra delen finns Barkarby handelsplats som längre söderut övergår i de nya bostadskvarter som nu håller på att uppföras på Barkarbyfältet. I sydvästra delen finns Järfälla Kyrkby som delas av Norrviksvägen. Utlagd fyllningsjord återfinns på stora delar av området. I tunnelbanans sträckning varierar marknivån mellan +12 och +19.

Från blivande station Barkarbystaden och österut består marken till stor del av naturmark fram till Akallalänken. Inom detta område finns det nu nedlagda Barkarby flygfält. Vid denna anläggning och vid de mindre vägar som finns inom området återfinns utlagd fyllningsjord. Marknivåerna längs med tunnelbanans sträckning varierar i huvudsak mellan ca +15 och +23. De högre nivåerna påträffas i läget för Akallalänken och det lägre nivåerna vid passagen av Igelbäcken.

Öster om Akallalänken och fram till station Akalla består området till större delen av anlagd mark främst i form av vägar och byggnader. Marknivån i tunnelbanans sträckning varierar kring +20 i området närmast Akallalänken. Därefter stiger markytan till som mest ca +40 i bostadsområdet Akalla.

2.3 Marksättningars utbildande

Marksättningar kan uppkomma av flera olika orsaker som exempelvis vid en grundvattensänkning. Grundvattensänkningen kan ske både i det övre och i det undre grundvattenmagasinet och ge upphov till marksättningar.

Vid en grundvattensänkning sänks portrycket i leran. Detta är en långsam process som resulterar i att portrycket vill återställa sig till ett jämviktstillstånd. Processen då portryckutjämning sker är mycket långsam i täta jordlager som t.ex. lera, medan den i grövre jordarter som t.ex. silt, sand och grus går betydligt snabbare.

Under portryckutjämningen sker en konsolidering av leran, vilket innebär en deformation genom volymminskning. Volymminskningen motsvarar helt den vattenutpressning som sker. I friktionsjordarter dräneras vattnet ut relativt snabbt och volymminskningen i dessa jordarter är inte av betydelse.

Man skiljer mellan primär och sekundär konsolidering. Med primär konsolidering avses den hydrodynamiskt fördröjda delen av volymminskningen. Med sekundär konsolidering avses volymminskning genom krypning i "jordskelettet". Primär och sekundär konsolidering sker i praktiken i stort sett samtidigt och är därför svåra att särskilja.

Jord som tidigare varit utsatt för belastning eller en tidigare långvarig avsänkt grundvattennivå får en viss överkonsolidering. Detta innebär att jorden tål att bli belastad upp till denna nivå utan att primärkonsolidering sker.

Förhållandet mellan förkonsolideringsspänningen (σ'_c) och jordens rådande vertikala effektivspänning σ'_o kallas överkonsolideringskvot, OCR ($OCR=\sigma'_c/\sigma'_o$). En kvot på 1-1,5 benämns som normalkonsoliderad eller svag överkonsoliderad, en kvot på 1,5-10 som överkonsoliderad och en kvot på >10 som starkt överkonsoliderad. Befinner sig överkonsolideringskvoten under 1 innebär detta att konsolideringen ännu inte är helt utmynnad till rådande vertikala effektivspänning, således pågår konsolideringen.

Jord som inte uppnått konsolidering för rådande belastning betecknas vanligen underkonsoliderad.

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

Marksättningar är alltså tidsberoende och även små sättningar kan pågå under lång tid, upp till mellan 50 och 100 år. Beräkningsmässigt utbildas huvuddelen av sättningen under ungefär 2/3-delar av den totala sättningsperioden.

Sättningens storlek och tidsberoende varierar med såväl jordens egenskaper, såsom förekomst av sand- och siltskikt, lerans mäktighet och grundvattensänkningens varaktighet. Marksättningar kan även uppstå genom att en belastning påförs jorden genom exempelvis uppfyllning.

Sättningar kan även utbildas utan grundvattensänkning och utan uppfyllning. Inom lerområden med fyllning kan den jorden ovanför leran innehålla en del organiskt material som långsamt bryts ned, vilket ger omlagringar i materialet och sättningar. Sättningens storlek blir i dessa fall sannolikt inte så stor och framförallt utbildas den lokalt.

I område 2 består jorden i ytan av kärrtorv med mäktigheter som varierar mellan 0-1 meter. Laboratorieundersökningar gällande torvens sättningsegenskaper har inte utförts. Vid utförda sättningsberäkningar har därför lera förutsatts från markytan. Detta innebär att vi inte tar hänsyn till den eventuellt pågående förmultningen av torven. Det är svårt att bedöma sättningar orsakade av förmultning. Storleken på sättningen kan bli något större än primära sättningar, och beror främst av ytvattenhanteringen i området.

2.4 Beräkningsgång

Sättningsberäkningar har utförts med beräkningsprogrammet GS-sättning, som baseras på Chalmersmodellen. Den i sin tur har sin grund i Terzaghis (1923) modell för endimensionell konsolidering. Beräkningarna har även kontrollerats med enkla manuella överslagsberäkningar. Dessa är sättningsberäkningar för CRS-försök på lera enligt givna förhållanden som även har sin grund i Terzaghis modell.

Inom influensområdet för grundvatten har tre områden definierats, se avsnitt 2.1, inom vilka det finns risk för utbildning av marksättningar. Inledningsvis har befintliga ostörda lerprovtagningar studerats. Även kompletterande provtagningar och beräkningar har utförts.

Kompressionsförsök, s.k. CRS-försök, har utförts systematiskt på samtliga upptagna ostörda lerprov och sättningsberäkningar har utförts för samtliga punkter där kompressionsprov utförts.

Sättningsberäkningar har generellt utförts för en teoretisk grundvattensänkning med 0,3 m, 1 m, 3 m samt ned till lerans underkant, från bedömt rådande grundvattennivåer.

2.5 Programvara

Beräkningar har utförts i GS-sättning och sparats som borrhålsnamn.sxml.

2.6 Redovisningens omfattning

Beräkningar har utförts för att kunna bedöma sättningskänsligheten i området vid olika framtidsscenarier. Som beräkningsförutsättning har antagits långvarig grundvattensänkning i det undre grundvattenmagasinet med 0,3 m, 1 m, 3 m och ned till underkant lera. Beräkningar har utförts för tidsperspektiven 2 år respektive 40 år, samt 100 år (totalsättning).

Sättningsberäkningarna är baserade på resultaten från CRS-försök utförda på ostörda lerprover från kolvprovtagningar. Laboratorieanalyserna har utförts av SWECO Geolab i Stockholm för kompletterande provtagningar. Tidigare inventerade CRS-försök är utförda på olika platser.

Sättningsberäkningar har endast utförts på kolvprovtagningar där CRS-försök har kunnat utföras och gett tillförlitliga resultat.

De redovisade resultaten är beräknade sättningar med analyserade parametrar i enstaka punkter och nivåer och därmed endast visar storleksordningen av den sättning som kan förväntas vid respektive antagen grundvattensänkning. Lokala variationer inom respektive område kan förkomma med avseende på lerans mäktighet och egenskaper.

Vid beräkningar av krypsättning nyttjas krypparametrar. Krypparametrarna är empiriska värden samt beräknade värden bestämda med utgångspunkt från jordens vattenkvot. Vid längre tidsperspektiv än två år ger krypparametrar i beräkningar en större betydelse och kan ge väsentliga resultatskillnader om man jämför med endast primära sättningar.

2.7 Beteckningar och höjdsystem

I följande tabeller redovisas ett antal parametrar som utnyttjats vid beräkning. Parametrarna och dess beteckningar följer SGF/BGS beteckningssystem som är branschspecifik.

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

<u>Parametrar från CRS-försök</u>

σ'_C = förkonsolideringstryck (kPa)

σ'_L = gränstryck (kPa)

M_0 = kompressionsmodul under förkonsolideringstrycket

M_L = kompressionsmodul över förkonsolideringstrycket

M' = kompressionsmodul för spänningar över gränstrycket

k_i = initiell permeabilitet

β_k = ändring av permeabilitet med kompression

<u>Indata för GS Sättning utöver resultat från CRS-försök</u>

a_0 och a_1 = faktorer som beskriver övergången mellan M_o och M_L

b_0 och b_1 = faktorer som beskriver övergången mellan r_0 och r_1

t_{ref} = referenstiden

K_{init} = jordens in-situ permeabilitet

r_0 = tidsmotståndstalet för spänningar upp till $b_0 \cdot \sigma'_C$
r_1 = tidsmotståndstalet för spänningar som överstiger $b_1 \cdot \sigma'_C$

3 Indata för beräkningar

3.1 Allmänt

Den jordmodell som har använts i programmet heter Chalmers with creep respektive Chalmers without creep. Permeabilitetsmodellen kallas för Log based strain.

3.2 Portryck och grundvattensänkning

Sättningarnas storlek vid en teoretisk grundvattensänkning är beroende på vilken nivå som grundvattenytan är ansatt vid beräkningsstart. En högre ansatt nivå innebär att sättningarna blir mindre vid en teoretisk grundvattensänkning än om en lägre nivå var ansatt vid beräkningsstart.

Förekommer utbildad torrskorpelera i provtagningspunkten är grundvattenytan ansatt till underkant torrskorpelera, dvs grundvattnets medeltrycknivå under tid. I provtagningspunkter med svårtolkad torrskorpelera har närliggande sonderingspunkter och avläsningar i närliggande grundvattenrör studerats i syfte att välja indata för grundvattennivå i beräkningarna. I torrskorpelera har sättningar redan skett och beaktas inte ur sättningssynpunkt.

Portrycket antas vara hydrostatiskt genom hela lermäktigheten.

Inom utförda beräkningar har grundvattensänkningar utförts på 0,3 m, 1 m, 3m och till lerans underkant. Grundvattensänkningen sker i beräkningar vid tidens start (1 dag).

3.3 Sättningsparametrar

Nedan beskrivs generella sättningsparametrar.

	Fyllning	Torrskorpelera
Densitet	19 kN/m^3	17 kN/m^3
M_0	20000 kPa	20000 kPa
M_L	20000 kPa	20000 kPa
σ'_C	150 kPa	150 kPa
σ'_L	300 kPa	300 kPa
K_{init}	0,1	0,1
β_k	3,5	3,5
a_0	0,8	0,8
a_1	1,0	1,0

K_{init} =utvärderas ur CRS för aktuellt σ'_0 . OBS $K_{init} \neq K_i$ från CRS. För fyllning sätts K_{init} = 0,1. C_{eps} för F sätts till 3,5.

t_{ref} = -0,00274 år (-1 dag)

I de jordlager där krypning beaktas har även följande värden antagits:

r_0 = (tidsmotstånd vid spänning upp till $B_0 * \sigma'_C$) r_0 bestäms enligt klassning av belastningsfall mot förkonsolideringstrycket. Tre fall finns, belastningsfall under förkonsolideringstrycket, över förkonsolideringstrycket och överkonsolidering där krypningar anses vara minimala.

$r_1 = 75/w_L^{1,5}$ (tidsmotstånd vid spänning upp till $B_1 * \sigma'_C$).

b_0 = 0,8

b_1 = 1,1

3.3.1 Antagna parametrar för överslagsberäkning i område 1

Överslagsberäkning har utförts för att få en uppfattning av eventuella sättningar i delar av område 1 där provtagningar ej utförts, se avsnitt 5.1.

För detta har normalkonsoliderade förhållanden antagits enligt dessa kriterer: $\sigma'_c < \sigma'_{v0} + \Delta\sigma'_v < \sigma'_L$ samt $\sigma'_{v0} > \sigma'_c$, där σ'_{v0} är jordens effektivspänning och $\Delta\sigma'_v$ är spänningsändring vid grundvattensänkning. Sättningen blir då $s=\sum h(\Delta\sigma'_v/M_L)$, där $\sum h$ är lermäktigheten. Förklaring av övriga parametrar utförs i kap 2.6 ovan.

4 Beräkningsresultat

Nedan sammanfattas de övergripande förutsättningarna, jordlagerföljd, konsoliderings-förhållanden och beräkningsresultat för respektive provtagningspunkt. Punkternas placering framgår av bilaga 1. På planskisserna finns även geografiska namn som stöd vid läsning av översiktliga markförhållanden.

4.1 Område 1

4.1.1 Översiktliga markförhållanden

Området karaktäriseras av större sammanhängande leområden i Veddesta industriområde. Enligt utförda sonderingar är leran här ca 4-6 m mäktig varav de översta 1-2 m är av torrskorpekaraktär. Leran i området är ställvis varvig med inslag av tunnare siltskikt. Ovan leran ligger fyllningsjord. I södra delen av området finns ett höjdområde med friktionsjord på berg. I svackor där det finns lera uppgår lerans mäktighet till ca 3-5 meter varav de översta 1-3 m är av torrskorpekaraktär. Ställvis inom området påträffas berg i dagen. Friktionsjorden under leran har varierande sammansättning, från relativt finkornig till grovkornig.

Längs tunnelsträckningen mellan ca 18+900 och 19+000 varierar jorddjupet mellan ca 2-5 meter och jordlagren består av lera som underlagras av friktionsjord på berg. Leran är här av torrskorpekaraktär.

Från ca 19+100 till ca 19+158 (tunnelslut) passeras ett fastmarksparti där jorddjupet som mest är ca 7 meter. Jordlagren består under en utlagd fyllningsjord av friktionsjord som vilar på berg. Ställvis förekommer ett tunt lager lera med torrskorpekaraktär ovan friktionsjorden.

4.1.2 Sättningar

Provtagningspunkt 10W069

Marknivå (m)	Grundvattennivå (m)	Jordlager ovan leran (m)	Lermäktighet (m)
+10,9	+8,9 (uk torrskorpa)	2	5

Lerans parametrar, utvärderade från CRS-försök							
Djup (m)	σ'_C	σ'_L	M_0	M_L	M'	k_i	β_k
3	28	63	2267	380	15	0,0158	4,2
4	45	69	2640	433	14,7	0,012	3,0
6	81	121	3675	608	16	0,0129	4,2

Tabell 4.1.2.1. Indata för provtagningspunkt 10W069

I aktuell provtagningspunkt består jorden överst av ett tunt lager fyllningsjord. Därunder består jorden av ca 7 m lera, varav de två övre metrarna består av torrskorpelera, som via ett lager friktionsmaterial vilar på berg.

Enligt utförda CRS-försök pågår primära konsolideringssättningar på nivån 3 m under markytan.

Enligt utförda CRS-försök och beräknade grundvattensänkningar uppstår krypsättningar i hela jordprofilen.

Utförda CRS-försök visar att leran är konsoliderad enligt nedan:

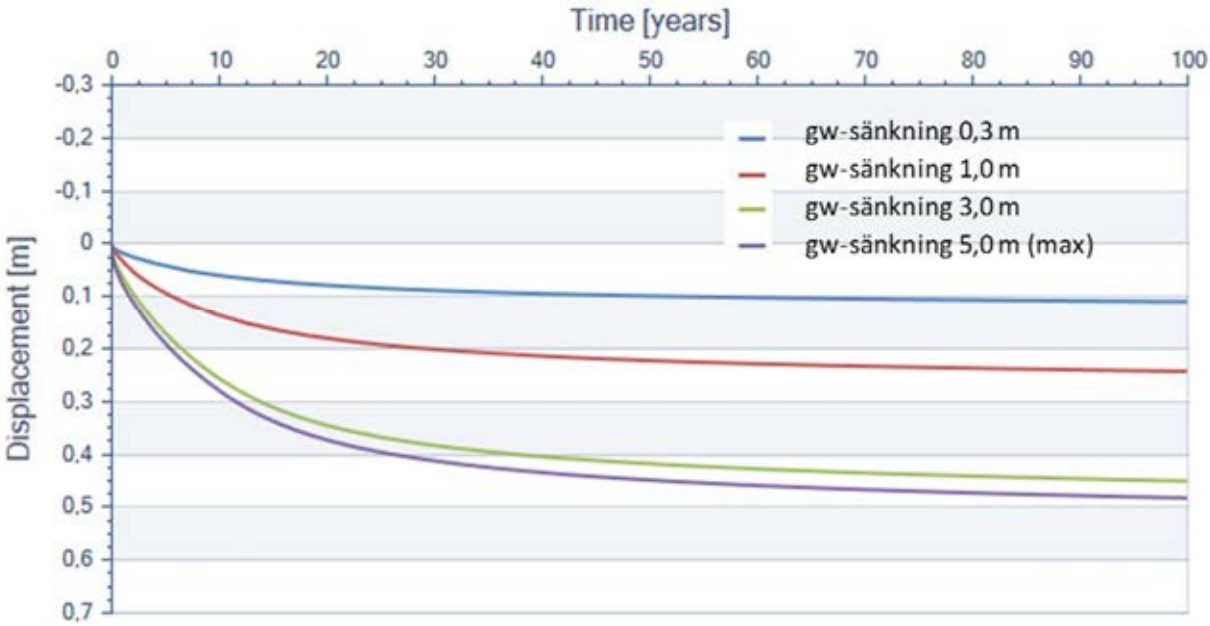
Nivå under markyta (m)	OCR
3	0,7
4	1,0
6	1,3

Tabell 4.1.2.2. OCR för provtagningspunkt 10W069

Resultat från sättningsberäkningarna visas i nedanstående tabell och figur.

Grundvattensänkning (m)	Sättning efter 2 år (m)	Sättning efter 40 år (m)	Sättning efter 100 år (m)
0,3	0,02	0,09	0,11
1	0,05	0,21	0,24
3	0,09	0,40	0,45
5 (hela lerlagret)	0,11	0,43	0,48

Tabell 4.1.2.3. Sättningsresultat provtagningspunkt 10W069



Figur 4.1.2.1. Sättningsresultat provtagningspunkt 10W069

Provtagningspunkt 14RT054

Marknivå (m)	*Grundvattennivå (m)*	*Jordlager ovan leran (m)*	*Lermäktighet (m)*
+11,9	+9,9 (uk torrskorpa)	2	1,5

Lerans parametrar, utvärderade från CRS-försök							
Djup (m)	σ'_C	σ'_L	M_0	M_L	M'	k_i	β_k
2,5	116	245	5290	2050	12,7	0,0158	0,45290

Tabell 4.1.2.4. Indata för provtagningspunkt 14RT054

I aktuell provtagningspunkt består jorden överst av fyllningsjord som underlagras av torrskorpelera ned till ca 2 m under markytan. Därunder består jorden av ca 1,5 m lera som via ett lager friktionsmaterial vilar på berg.

Enligt utförda CRS-försök pågår inga primära konsolideringssättningar.

Enligt utförda CRS-försök och beräknade grundvattensänkningar uppstår inga krypsättningar i jordprofilen.

Utförda CRS-försök visar att leran är konsoliderad enligt nedan:

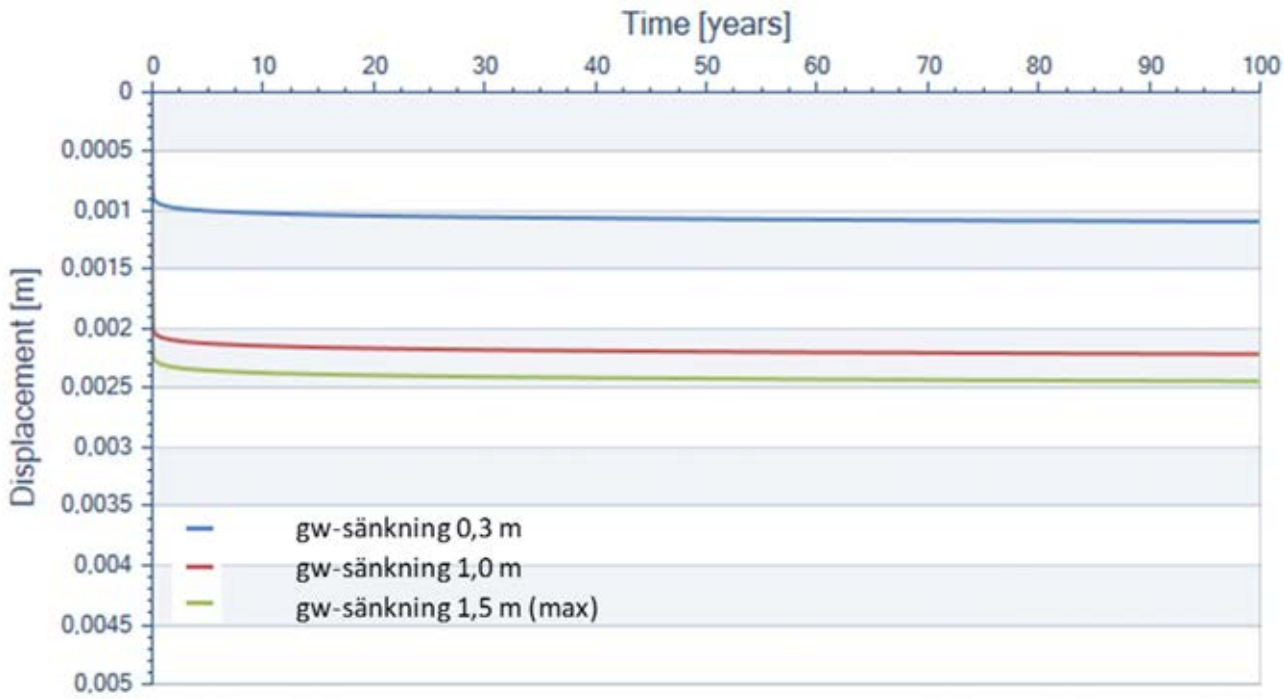
Nivå under markyta (m)	OCR
2,5	2,8

Tabell 4.1.2.5. OCR för provtagningspunkt 14RT054

Resultat från sättningsberäkningarna visas i nedanstående tabell och figur.

Grundvattensänkning (m)	Sättning efter 2 år (m)	Sättning efter 40 år (m)	Sättning efter 100 år (m)
0,3	0	0	0
1	0	0	0
1,5 (Hela lerlagret)	0	0	0

Tabell 4.1.2.6. Sättningsresultat provtagningspunkt 14RT054



Figur 4.1.2.2. Sättningsresultat provtagningspunkt 14RT054

4.2 Område 2

4.2.1 Översiktliga markförhållanden

Jorden i består närmast markytan av organiskt material, s.k. kärrtorv. Torven underlagras av lera vars övre del består av gyttjelera. På djupet är leran varvig. Under leran finns friktionsjord på berg.

Den organiska jordens mäktighet varierar mestadels mellan 0-1 m, lokalt förekommer större mäktigheter i den södra delen. Minst mäktighet påträffas i läget för tunnelbanans sträckning i den norra delen. Lerans mäktighet varierar mellan 2-18 m. Inom en stor del av området överstiger lerans mäktighet 10 meter. Störst mäktighet återfinns i den södra delen närmast Norrviksvägen och minst mäktighet återfinns i norra delen där område 2 angränsar till ett fastmarksområde.

Längs med tunnelsträckningen kring 18+550 och fram till ca 18+600 består jorden av lera med torrskorpekaraktär som underlagras av ett tunt lager friktionsjord som vilar på berg. Ställvis på sträckan är den naturliga jorden utbytt mot en utlagd fyllningsjord. Djupet till berg varierar mellan 3-5 m.

Från 18+600 och fram till ca 18+700 ökar jorddjupet snabbt till att överstiga 15 m. Vid 18+650 överstiger djupet till berg 20 meter. Jorden längs denna sträcka består av lera som underlagras av friktionsjord på berg. Lerans mäktighet uppgår som mest till ca 8 meter. Ställvis påträffas i ytan organisk kärrtorv alternativt gyttjelera.

Från 18+700 till 18+900 minskar jorddjupet för att vid slutet av sträckan vara 5 m. Jordlagren består av lera som underlagras av friktionsjord på berg. Störst lermäktighet ca 8-10 m påträffas strax norr om passagen med E18.

4.2.2 Sättningar

Provtagningspunkt 10R038

Marknivå (m)	Grundvattennivå (m)	Jordlager ovan leran (m)	Lermäktighet (m)
+10	+9,3 (uk torrskorpa)	0,7	4,8

Lerans parametrar, utvärderade från CRS-försök							
Djup (m)	σ'_C	σ'_L	M_0	M_L	M'	k_i	β_k
2,5	28	54	2588	226	13,7	0,0347	2,4
3,5	38	49	2367	141	15,3	0,0379	3,1
4,5	43	91	3750	403	16,6	0,0095	2,7

Tabell 4.2.2.1. Indata för provtagningspunkt 10R038

I aktuell provtagningspunkt består jorden av lera ned till ca 5,5 m djup vars övre del, ca 0,7 m är av torrskorpekaraktär. Leran underlagras av friktionsmaterial som vilar på berg.

Enligt utförda CRS-försök pågår inga primära konsolideringssättningar.

Enligt utförda CRS-försök och beräknade grundvattensänkningar uppstår krypsättningar i hela jordprofilen.

Utförda CRS-försök visar att leran är konsoliderad enligt nedan:

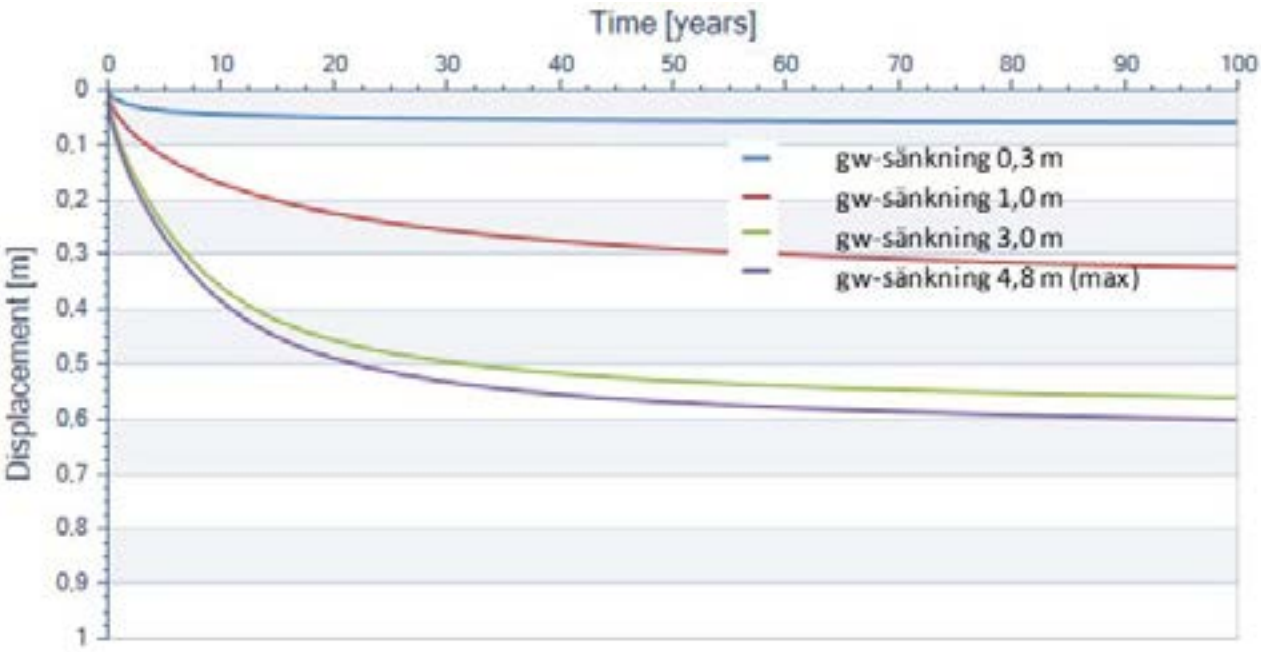
Nivå under markyta (m)	OCR
2,5	1,2
3,5	1,3
4,5	1,1

Tabell 4.2.2.2. OCR för provtagningspunkt 10R038

Resultat från sättningsberäkningarna visas i nedanstående tabell och figur.

Grundvattensänkning (m)	Sättning efter 2 år (m)	Sättning efter 40 år (m)	Sättning efter 100 år (m)
0,3	0,03	0,05	0,06
1	0,07	0,27	0,32
3	0,14	0,52	0,56
4,8 (hela lerlagret)	0,15	0,55	0,60

Tabell 4.2.2.3. Sättningsresultat provtagningspunkt 10R038



Figur 4.2.2.1. Sättningsresultat provtagningspunkt 10R038

Provtagningspunkt 10W183

Marknivå (m)		Grundvattennivå (m)		Jordlager ovan leran (m)		Lermäktighet (m)	
+9,1		+9,1		1		14	
Lerans parametrar, utvärderade från CRS-försök							
Djup (m)	σ'_C	σ'_L	M_0	M_L	M'	k_i	β_k
2,5	15	63	2253	365	12	0,0079	3,4
4,5	23	62	1467	371	13,9	0,0221	4
6,5	41	64	2367	362	13,7	0,0054	2,5
8,5	75	94	3000	314	17,5	0,0126	1,3
11	93	125	4320	488	16,6	0,0205	2,4

Tabell 4.2.2.4. Indata för provtagningspunkt 10W183

I aktuell provtagningspunkt består jorden överst av ca 1 m fyllningsjord som underlagras av ca 0,5 m lerig gyttja. Därefter följer lera vars mäktighet uppgår till knappt 14 m. I lerans övre del återfinns inslag av gyttja och mot djupet finns det inslag av sulfid. Leran underlagras av friktionsjord som vilar på berg.

Enligt utförda CRS-försök pågår primära konsolideringssättningar kring nivån 4,5 m under markytan.

Enligt utförda CRS-försök och beräknade grundvattensänkningar uppstår krypsättningar i hela jordprofilen från ca 1m grundvattensänkning.

Utförda CRS-försök visar att leran är konsoliderad enligt nedan:

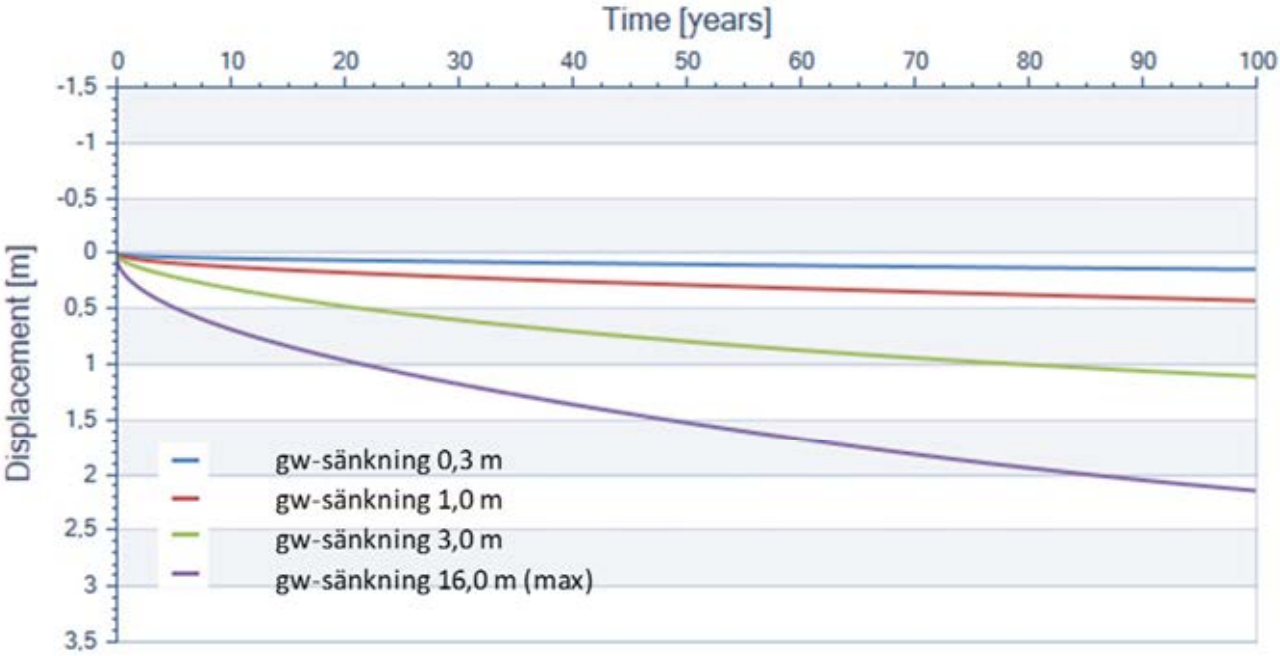
Nivå under markyta (m)	OCR
2,5	1,1
4,5	0,9
6,5	1,1
8,5	1,5
11	1,4

Tabell 4.2.2.5. OCR för provtagningspunkt 10W183

Resultat från sättningsberäkningarna visas i nedanstående tabell och figur.

Grundvattensänkning (m)	Sättning efter 2 år (m)	Sättning efter 40 år (m)	Sättning efter 100 år (m)
0,3	0,02	0,08	0,14
1	0,05	0,25	0,42
3	0,12	0,7	1,1
14 (hela lerlagret)	0,3	1,35	2,1

Tabell 4.2.2.6. Sättningsresultat provtagningspunkt 10W183



Figur 4.2.2.2. Sättningsresultat provtagningspunkt 10W183.

Provtagningspunkt B603

Marknivå (m)	Grundvattennivå (m)	Jordlager ovan leran (m)	Lermäktighet (m)
+10,0	+9 (bedömd utifrån gw-rör 14BE094)	1	7,7

Lerans parametrar, utvärderade från CRS-försök							
Djup (m)	σ'_C	σ'_L	M_0	M_L	M'	k_i	β_k
3,5	53	71	1920	365	12,4	0,0196	2,6
5,5	44	68	2680	391	11,9	0,0120	3,6
7,5	42	64	3625	316	14,1	0,0066	3,4
8,5	64	95	3900	551	17,3	0,0110	3,6

Tabell 4.2.2.7. Indata för provtagningspunkt B603

I aktuell provtagningspunkt består jorden överst av fyllningsjord ned till drygt 1 m djup. Därunder består jorden av lerig gyttja/gyttjig lera och lera med en mäktighet på ca 7,5-8 m som vilar på friktionsjord på berg.

Enligt utförda CRS-försök pågår primära konsolideringssättningar kring nivån 7,5 m under markytan.

Enligt utförda CRS-försök och beräknade grundvattensänkningar uppstår krypsättningar i hela jordprofilen från ca 1 m grundvattensänkning.

Utförda CRS-försök visar att leran är konsoliderad enligt nedan:

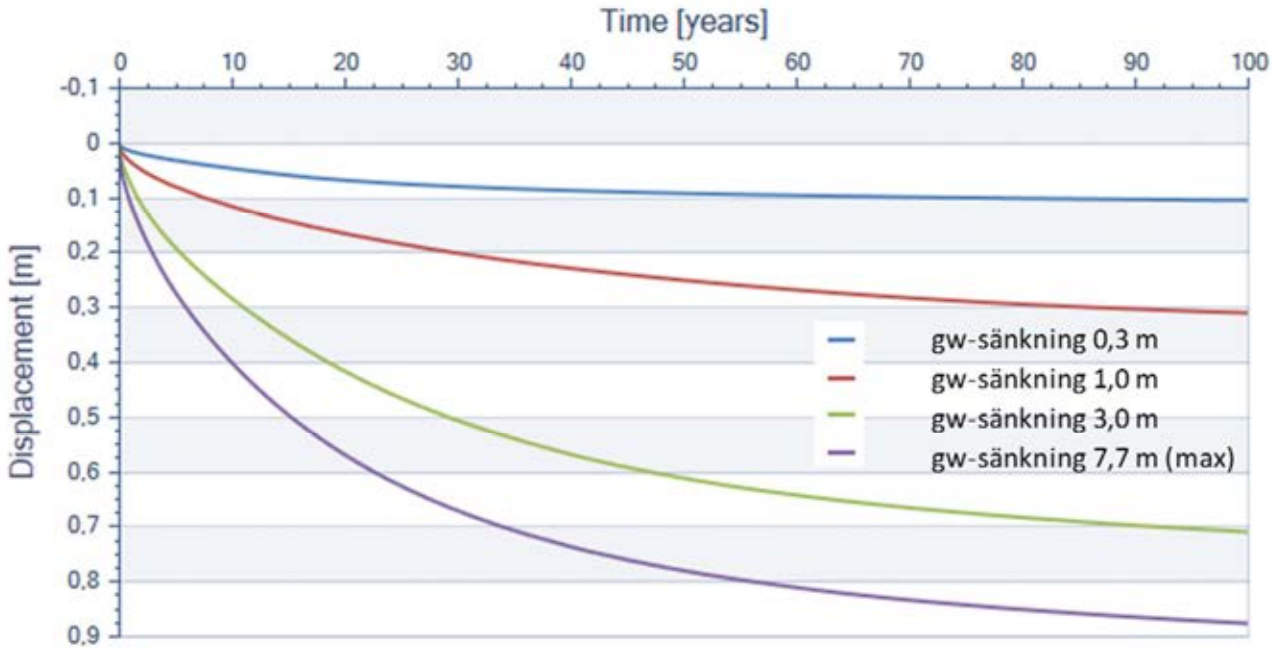
Nivå under markyta (m)	OCR
3,5	1,8
5,5	1,1
7,5	0,8
8,5	1,0

Tabell 4.2.2.8. OCR för provtagningspunkt B603

Resultat från sättningsberäkningarna visas i nedanstående tabell.

Grundvattensänkning (m)	Sättning efter 2 år (m)	Sättning efter 40 år (m)	Sättning efter 100 år (m)
0,3	0,02	0,09	0,1
1	0,05	0,23	0,31
3	0,11	0,57	0,71
7,7 (hela lerlagret)	0,16	0,73	0,87

Tabell 4.2.2.9. Sättningsresultat provtagningspunkt B603



Figur 4.2.2.3. Sättningsresultat provtagningspunkt B603.

Provtagningspunkt 15RT419

Marknivå (m)		Grundvattennivå (m)		Jordlager ovan leran (m)		Lermäktighet (m)	
+9		+9		0		12	
Lerans parametrar, utvärderade från CRS-försök							
Djup (m)	σ'_C	σ'_L	M_0	M_L	M'	k_i	β_k
3	24	55	1350	269	8	0,041	4,9
6	26	51	2100	267	15,3	0,0088	4,4
9	74	105	2200	554	14,8	0,0252	2,1

Tabell 4.2.2.10. Indata för provtagningspunkt 15RT419

I aktuell provtagningspunkt består jorden överst av ca 1 m gyttja/torv som underlagras av ca 11-12 m lera. Leran underlagras av friktionsmaterial som vilar på berg.

Enligt utförda CRS-försök pågår primära konsolideringssättningar kring nivån 6 m under markytan.

Enligt utförda CRS-försök och beräknade grundvattensänkningar uppstår krypsättningar i hela jordprofilen från ca 1 m grundvattensänkning.

Utförda CRS-försök visar att leran är konsoliderad enligt nedan:

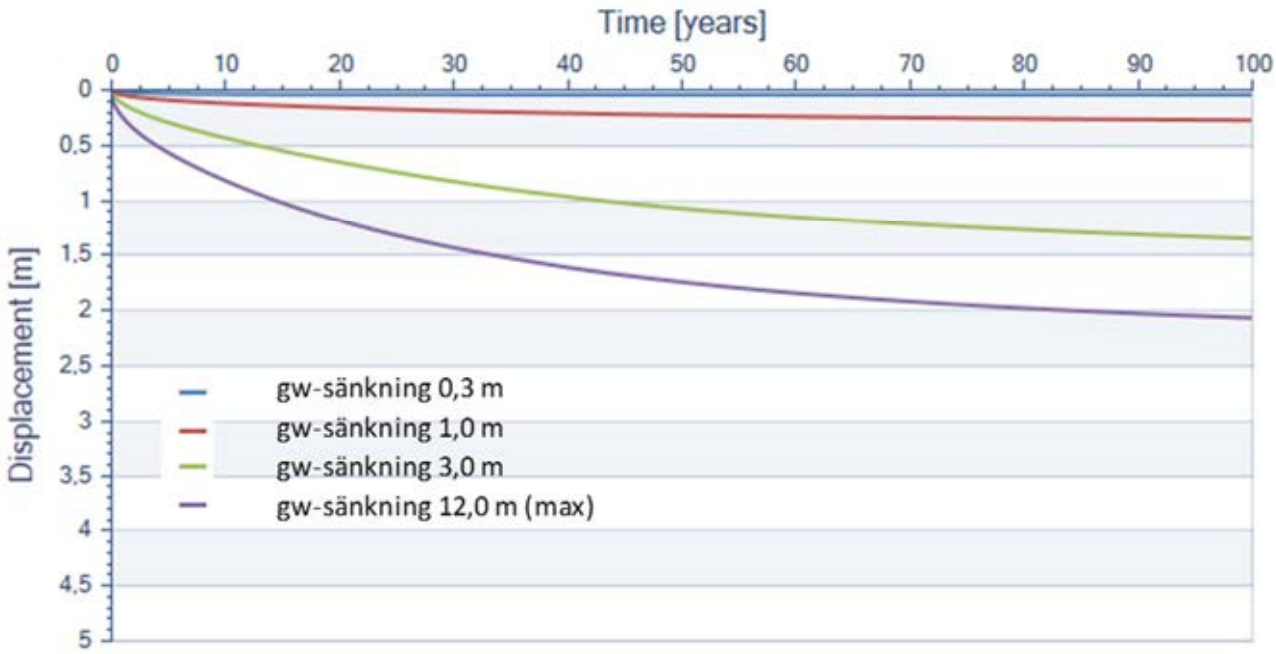
Nivå under markyta (m)	OCR
3	2,4
6	0,9
9	1,5

Tabell 4.2.2.11. OCR för provtagningspunkt 15RT419

Resultat från sättningsberäkningarna visas i nedanstående tabell och figur,

Grundvattensänkning (m)	Sättning efter 2 år (m)	Sättning efter 40 år (m)	Sättning efter 100 år (m)
0,3	0,02	0,03	0,04
1	0,05	0,2	0,26
3	0,17	0,96	1,34
12 (hela lerlagret)	0,34	1,6	2,06

Tabell 4.2.2.12. Sättningsresultat provtagningspunkt 15RT419



Figur 4.2.2.4. Sättningsresultat provtagningspunkt 14RT419.

Provtagningspunkt 15RT430

Marknivå (m)	Grundvattennivå (m)	Jordlager ovan leran (m)	Lermäktighet (m)
+8,8	+8,8	0	12

Lerans parametrar, utvärderade från CRS-försök							
Djup (m)	σ'_C	σ'_L	M_0	M_L	M'	k_i	β_k
4	21	36	1233	184	13,8	0,0126	3,9
7	45	64	2588	251	15,6	0,0442	2,5
10	103	152	4050	587	15,9	0,0038	2,3

Tabell 4.2.2.13. Indata för provtagningspunkt 15RT430

I aktuell provtagningspunkt består jorden överst av torv och gyttja ned till ca 3 m djup. Därefter följer lera ned till ca 12 m djup. Sulfidinnehåll har påträffats på 4 m djup.

Enligt utförda CRS-försök pågår primära konsolideringssättningar kring nivån 4 m under markytan.

Enligt utförda CRS-försök och beräknade grundvattensänkningar uppstår krypsättningar ned till nivå 7 m under markytan från 0,3 m grundvattensänkning och i hela jordprofilen från ca 3 m grundvattensänkning.

Utförda CRS-försök visar att leran är konsoliderad enligt nedan:

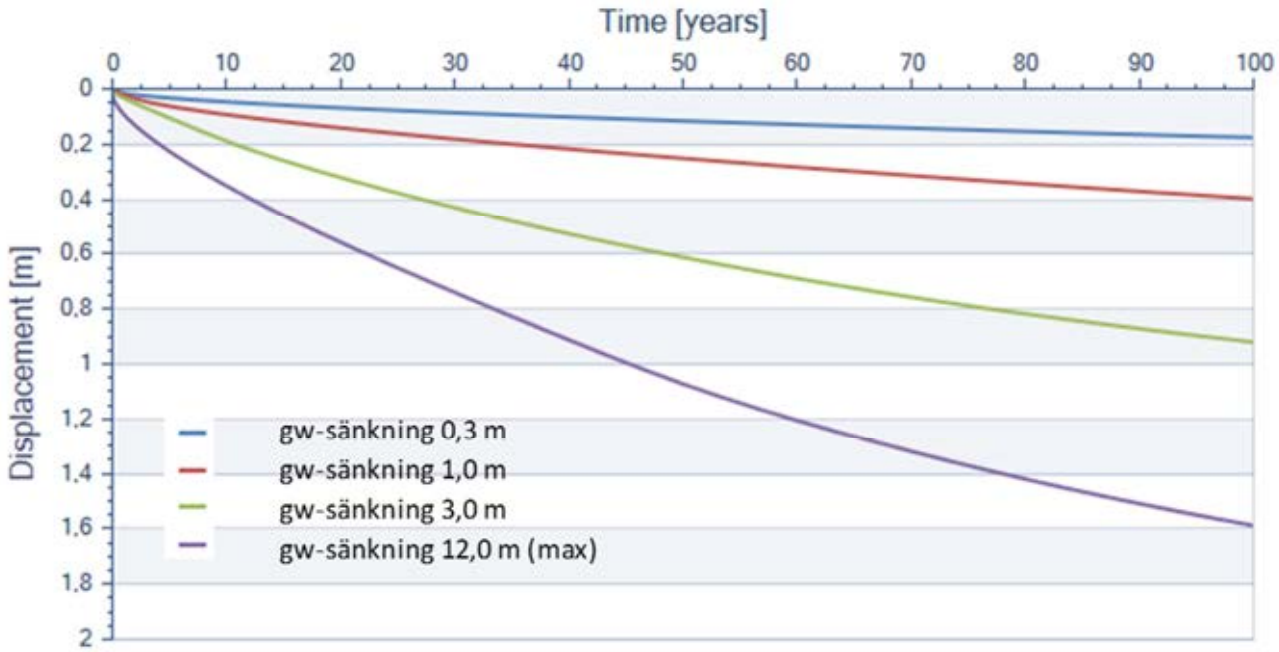
Nivå under markyta (m)	OCR
4	0,9
7	1
10	1,6

Tabell 4.2.2.14. OCR för provtagningspunkt 15RT430

Resultat från sättningsberäkningarna visas i nedanstående tabell och figur.

Grundvattensänkning (m)	Sättning efter 2 år (m)	Sättning efter 40 år (m)	Sättning efter 100 år (m)
0,3	0,02	0,1	0,17
1	0,03	0,21	0,39
3	0,05	0,52	0,92
12 (hela lerlagret)	0,13	0,91	1,58

Tabell 4.2.2.15. Sättningsresultat provtagningspunkt 15RT430



Figur 4.2.2.5. Sättningsresultat provtagningspunkt 15RT430.

Provtagningspunkt 15RT432

Marknivå (m)		Grundvattennivå (m)		Jordlager ovan leran (m)		Lermäktighet (m)	
+9		+9		0		12	
Lerans parametrar, utvärderade från CRS-försök							
Djup (m)	σ'_C	σ'_L	M_0	M_L	M'	k_i	β_k
5	28	52	1823	291	14,3	0,0098	3,4
8	50	84	3201	370	16,3	0,0167	2,5
11	121	146	3368	646	15,4	0,0211	1,8

Tabell 4.2.2.16. Indata för provtagningspunkt 15RT432

I aktuell provtagningspunkt består jorden överst av torv, gyttja och sulfidhaltig lera ned till ca 3 m djup. Därefter följer lera ned till 12 m djup. Sulfidinnehåll har påträffats på nivån 5 respektive 8 m djup. Leran underlagras av friktionsmaterial som vilar på berg.

Enligt utförda CRS-försök pågår primära konsolideringssättningar kring nivån 4 m under markytan.

Enligt utförda CRS-försök och beräknade grundvattensänkningar uppstår krypsättningar ned till nivå 8 m under markytan från 0,3 m grundvattensänkning och i hela jordprofilen från ca 3 m grundvattensänkning.

Utförda CRS-försök visar att leran är konsoliderad enligt nedan:

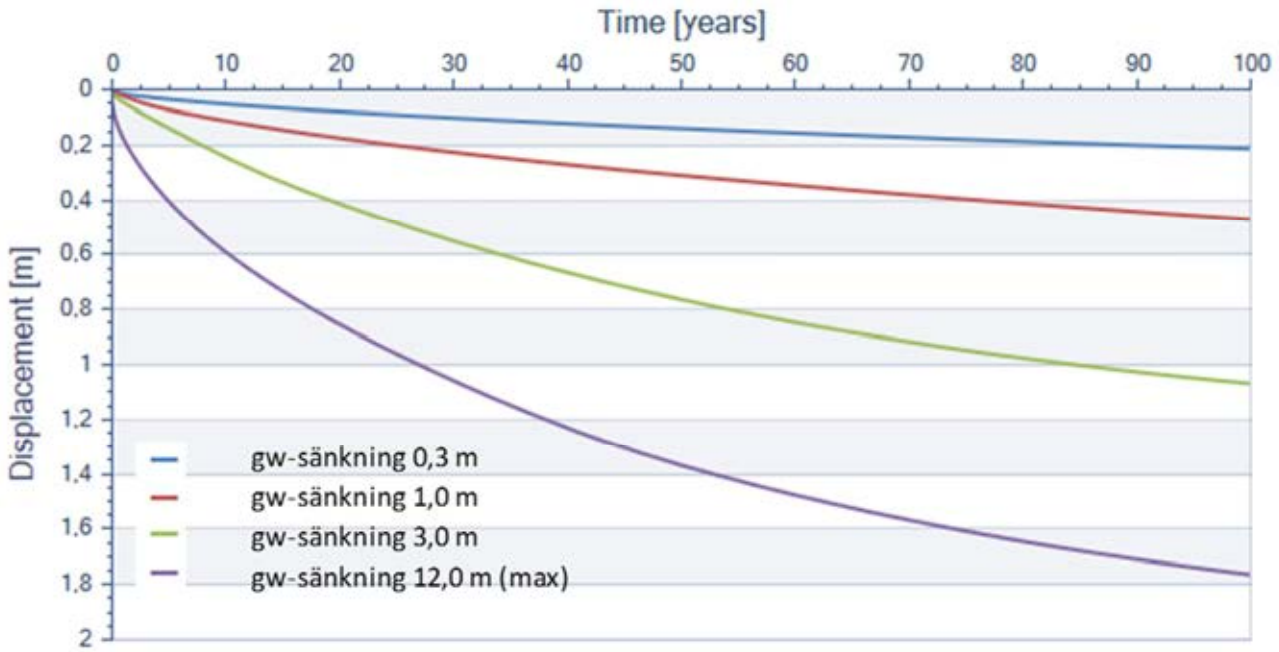
Nivå under markyta (m)	OCR
5	0,9
8	1
11	1,7

Tabell 4.2.2.17. OCR för provtagningspunkt 15RT432

Resultat från sättningsberäkningarna visas i nedanstående tabell och figur.

Grundvattensänkning (m)	Sättning efter 2 år (m)	Sättning efter 40 år (m)	Sättning efter 100 år (m)
0,3	0,02	0,12	0,21
1	0,03	0,27	0,47
3	0,07	0,66	1,07
12 (hela lerlagret)	0,24	1,23	1,76

Tabell 4.2.2.18. Sättningsresultat provtagningspunkt 15RT432



Figur 4.2.2.6. Sättningsresultat provtagningspunkt 15RT432.

Provtagningspunkt 14W011

Marknivå (m)		Grundvattennivå (m)		Jordlager ovan leran (m)		Lermäktighet (m)	
+8,9		+8,9		0		14,5	
Lerans parametrar, utvärderade från CRS-försök							
Djup (m)	σ'_C	σ'_L	M_0	M_L	M'	k_i	β_k
1,5	18	31	1600	149	11,1	0,0536	3,1
2,5	20	33	883	131	12,1	0,0410	4,1
3,5	21	47	1750	288	13	0,0139	3,1
5	21	57	2000	277	15,6	0,0234	3,4
7	55	82	3000	350	16,8	0,0092	3,2
9	78	110	3938	417	17,6	0,0082	2,6
11	104	155	4250	528	18	0,0095	2,1
13	89	169	6650	1056	15	0,0060	3,3

Tabell 4.2.2.19. Indata för provtagningspunkt 14W011

I aktuell provtagningspunkt består jorden överst av ca 0,5 m gyttja. Därunder består jorden av ca 14 m lera som via ett lager friktionsmaterial vilar på berg. Mellan ca 3 till 5 m djup har sulfidinnehåll påträffats.

Enligt utförda CRS-försök pågår inga primära konsolideringssättningar.

Enligt utförda CRS-försök och beräknade grundvattensänkningar uppstår krypsättningar i hela jordprofilen från ca 1 m grundvattensänkning.

Utförda CRS-försök visar att leran är konsoliderad enligt nedan:

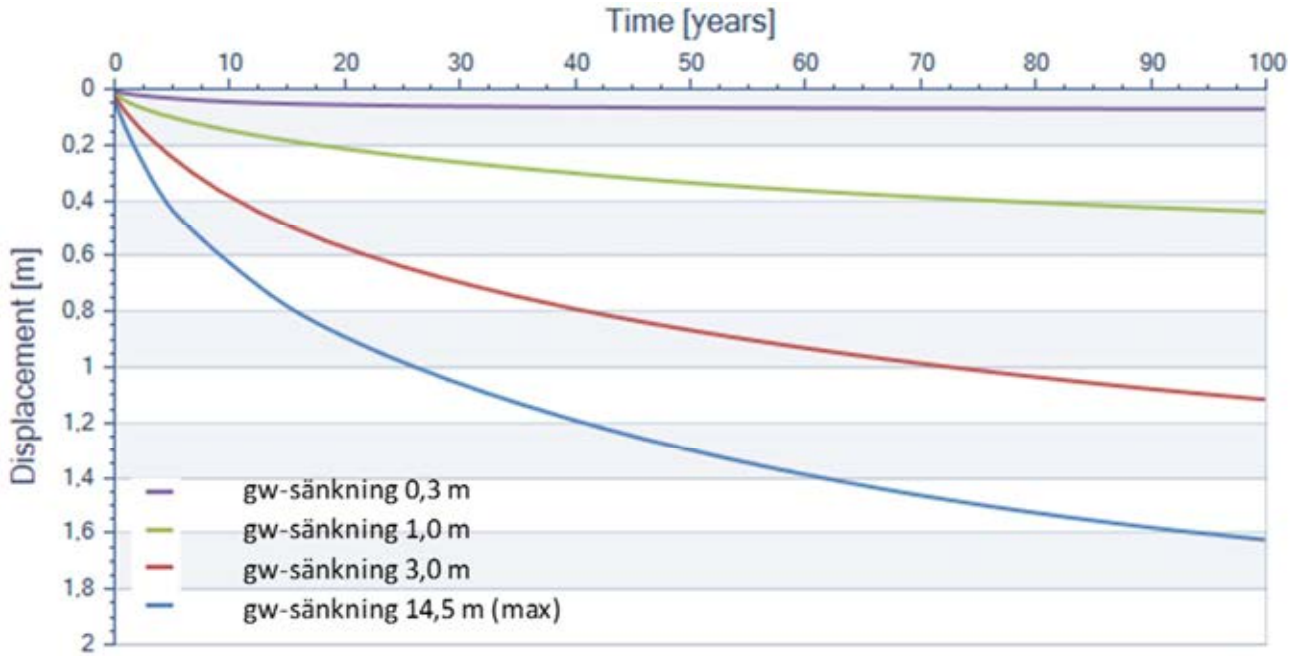
Nivå under markyta (m)	OCR
1,5	2,6
2,5	1,7
3,5	1,2
5	1,2
7	1,4
9	1,4
11	1,5
13	1,1

Tabell 4.2.2.20. OCR för provtagningspunkt 14W011

Resultat från sättningsberäkningarna visas i nedanstående tabell och figur.

Grundvattensänkning (m)	Sättning efter 2 år (m)	Sättning efter 40 år (m)	Sättning efter 100 år (m)
0,3	0,02	0,06	0,07
1	0,05	0,30	0,44
3	0,12	0,79	1,11
14,5 (hela lerlagret)	0,22	1,19	1,62

Tabell 4.2.2.21. Sättningsresultat provtagningspunkt 14W011



Figur 4.2.2.7. Sättningsresultat provtagningspunkt 14W011.

Provtagningspunkt 14W037

Marknivå (m)		Grundvattennivå (m)		Jordlager ovan leran (m)		Lermäktighet (m)	
+8,9		+8,9		0		18	
Lerans parametrar, utvärderade från CRS-försök							
Djup (m)	σ'_C	σ'_L	M_0	M_L	M'	k_i	β_k
1,5	25	48	1500	194	8	0,0536	3,5
2,5	25	43	1420	170	14,5	0,0536	3,4
3,5	30	52	1480	213	15,7	0,0631	3,1
4,5	36	69	1200	249	11	0,0316	2,1
6	45	60	2400	226	12,8	0,0180	2,5
8	59	84	2880	503	17,6	0,0136	3,1
10	83	122	4250	479	14,6	0,0164	3,3
12	83	127	4380	738	13,6	0,0126	4,2
14	134	171	5110	634	16	0,0069	2,3
16	115	204	5463	1158	15,6	0,0063	3,6

Tabell 4.2.2.22. Indata för provtagningspunkt 14W037

I aktuell provtagningspunkt består jorden överst av ca 1 m gyttja. Därunder består jorden av ca 17 m lera som via ett lager friktionsmaterial vilar på berg. På 3,5 m, 8 m och 12-14 m djup har sulfidinnehåll påträffats.

Enligt utförda CRS-försök pågår inga primära konsolideringssättningar.

Enligt utförda CRS-försök och beräknade grundvattensänkningar uppstår krypsättningar i hela jordprofilen från ca 3 m grundvattensänkning.

Utförda CRS-försök visar att leran är konsoliderad enligt nedan:

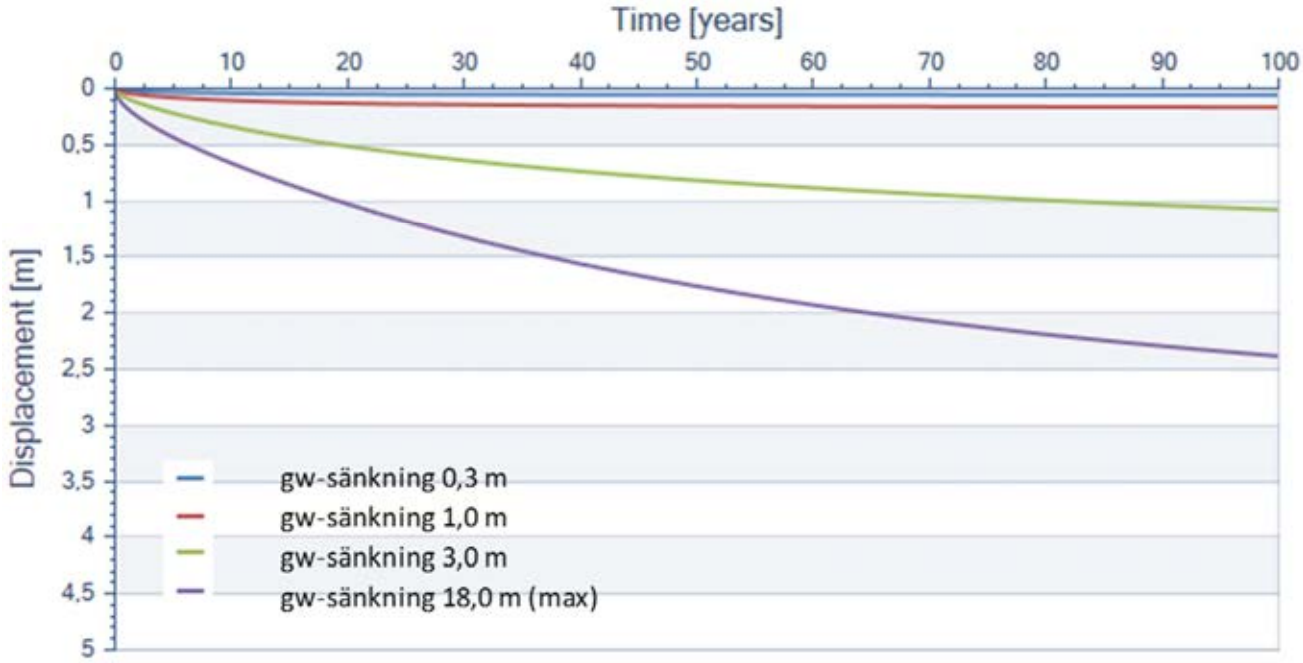
Nivå under markyta (m)	OCR
1,5	4,9
2,5	2,3
3,5	1,8
4,5	1,7
6	1,4
8	1,3
10	1,4
12	1,1
14	1,5
16	1,1

Tabell 4.2.2.23. OCR för provtagningspunkt 14W037

Resultat från sättningsberäkningarna visas i nedanstående tabell och figur.

Grundvattensänkning (m)	Sättning efter 2 år (m)	Sättning efter 40 år (m)	Sättning efter 100 år (m)
0,3	0,02	0,04	0,05
1	0,04	0,14	0,16
3	0,12	0,73	1,07
18 (hela lerlagret)	0,24	1,55	2,37

Tabell 4.2.2.24. Sättningsresultat provtagningspunkt 14W037



Figur 4.2.2.7. Sättningsresultat provtagningspunkt 14W037.

Provtagningspunkt 11R128

Marknivå (m)	Grundvattennivå (m)	Jordlager ovan leran (m)	Lermäktighet (m)
+8,6	+8,6 (bedömd utifrån gw-rör 11R125GV)	0	15,5

Lerans parametrar, utvärderade från CRS-försök							
Djup (m)	σ'_C	σ'_L	M_0	M_L	M'	k_i	β_k
3	24	46	2300	207	11,3	0,041	2,9
5	39	66	1050	341	11,4	0,0284	1
7	31	67	2467	441	15,7	0,0123	3,8
10	84	127	3220	671	20,3	0,0136	3,8

Tabell 4.2.2.25. Indata för provtagningspunkt 11R128

I aktuell provtagningspunkt består jorden överst av ca 1 m gyttja. Därunder består jorden av ca 14,5 m lera som via ett lager friktionsmaterial som vilar på berg. På 7 m och 10 m djup har sulfidinnehåll påträffats.

Enligt utförda CRS-försök pågår primära konsolideringssättningar kring nivån 7 m under markytan.

Enligt utförda CRS-försök och beräknade grundvattensänkningar uppstår krypsättningar i hela jordprofilen.

Utförda CRS-försök visar att leran är konsoliderad enligt nedan:

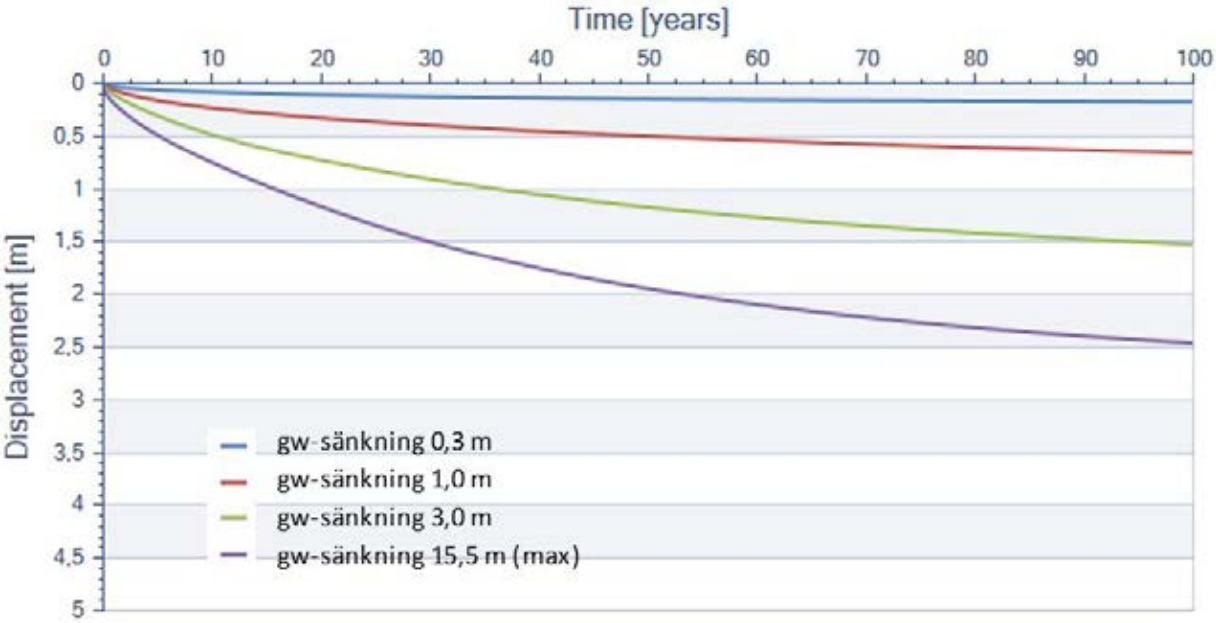
Nivå under markyta (m)	OCR
3	1,3
5	1,4
7	0,7
10	1,4

Tabell 4.2.2.26. OCR för provtagningspunkt 11R128

Resultat från sättningsberäkningarna visas i nedanstående tabell och figur.

Grundvattensänkning (m)	Sättning efter 2 år (m)	Sättning efter 40 år (m)	Sättning efter 100 år (m)
0,3	0,03	0,13	0,16
1	0,08	0,44	0,65
3	0,15	1,04	1,51
15,5 (hela lerlagret)	0,27	1,74	2,45

Tabell 4.2.2.27. Sättningsresultat provtagningspunkt 11R128



Figur 4.2.2.8. Sättningsresultat provtagningspunkt 11R128.

Provtagningspunkt B452

Marknivå (m)	Grundvattennivå (m)	Jordlager ovan leran (m)	Lermäktighet (m)
+10,2	+8,9 (uk torrskorpa)	1,3	6,2

Lerans parametrar, utvärderade från CRS-försök							
Djup (m)	σ'_C	σ'_L	M_0	M_L	M'	k_i	β_k
2	47	92	3413	681	13,9	0,023	0,8
3	37	66	1307	360	11,7	0,0079	3,7
4	55	83	2888	559	15,3	0,0104	2,9
5	51	86	3000	702	16,5	0,0073	3,2
6,5	61	87	2603	521	14,6	0,0044	4,1

Tabell 4.2.2.28. Indata för provtagningspunk B452

I aktuell provtagningspunkt består jorden överst av knappt 1,5 m torrskorpelera. Därunder består jorden av drygt 6 m lera som via ett lager friktionsmaterial vilar på berg. Från 4 m djup har sulfidinnehåll påträffats.

Enligt utförda CRS-försök pågår inga primära konsolideringssättningar.

Enligt utförda CRS-försök och beräknade grundvattensänkningar uppstår krypsättningar från ca 3 m under markytan i hela jordprofilen.

Utförda CRS-försök visar att leran är konsoliderad enligt nedan:

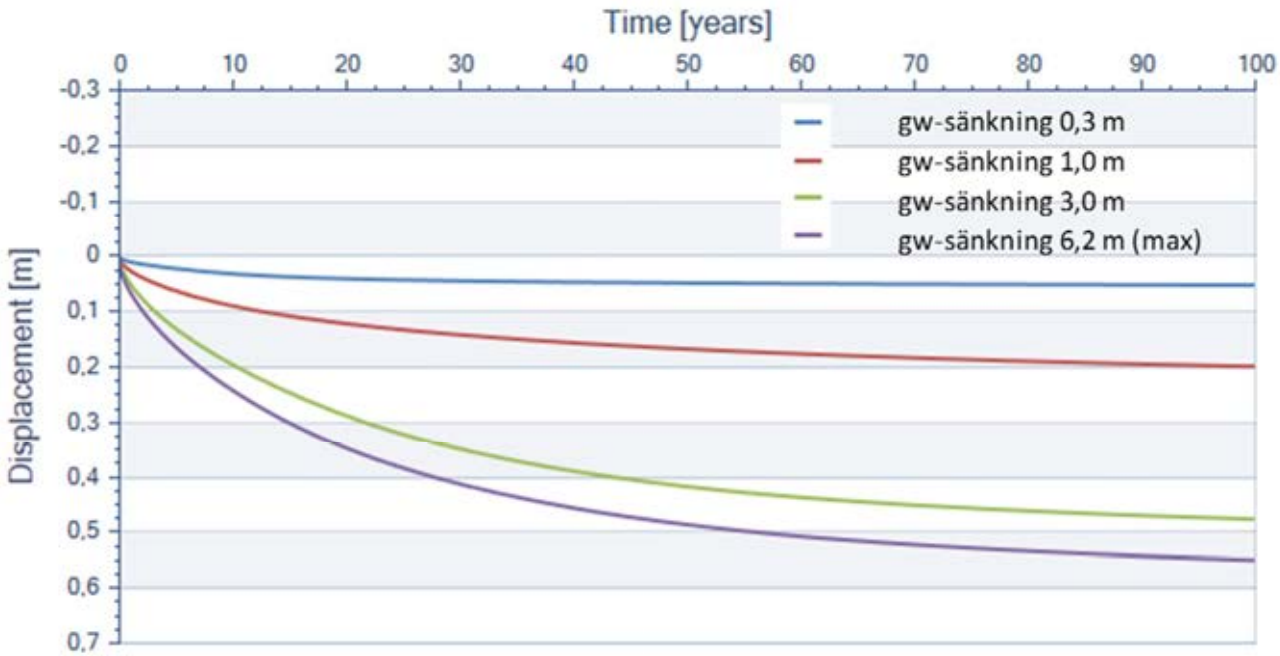
Nivå under markyta (m)	OCR
2	1,7
3	1,1
4	1,4
5	1,1
6,5	1,1

Tabell 4.2.2.29. OCR för provtagningspunkt B452

Resultat från sättningsberäkningarna visas i nedanstående tabell och figur.

Grundvattensänkning (m)	Sättning efter 2 år (m)	Sättning efter 40 år (m)	Sättning efter 100 år (m)
0,3	0,01	0,05	0,05
1	0,04	0,15	0,2
3	0,07	0,39	0,48
6,2 (hela lerlagret)	0,09	0,45	0,55

Tabell 4.2.2.30. Sättningsresultat provtagningspunkt B452



Figur 4.2.2.9. Sättningsresultat provtagningspunkt B452.

4.3 Område 3

4.3.1 Översiktliga markförhållanden

Området karaktäriseras av större sammanhängande lerområden med mindre höjdpartier bestående av friktionsjord på berg, ställvis påträffas berg i dagen. Friktionsjorden har varierande sammansättning, från relativt finkornig (siltig-sandig) till grovkornig (sandig-grusig). I området kring Akallalänken/Hanstavägen finns ett mindre område där jorden närmast markytan består av organisk kärrtorv och gyttjelera.

I området förekommer varvig lera, främst i anslutning till fastmarksområden. De största lerdjupen påträffas söder om planerad tunnelbanesträckning. Norr om planerad tunnelbanesträckning, mellan 16+400 och 18+000, är stor del av lerans mäktighet av torrskorpekaraktär.

Lerans mäktighet inom området varierar i stort mellan 1-14 meter. Ca 300 m norr om tunnelbanans passage av Akallalänken förekommer lerdjup på uppemot 14 m. I korsningspunkten med Akallalänken är lerdjupet ca 8-10 m. Vid provtagningspuntkerna 14T09 och 14T19 ca 100 m söder om längdmätning 18+100 är leran också ca 10 m mäktig.

Vid Akalla station löper tunneln inom ett höjdparti med mestadels berg i dagen.

Längs tunnelbanans vidare sträckning förbi Barkarbyfältet och fram till läget för station Barkarbystaden passerar tunnelbanesträckningen några höjdpartier med berg/morän. Däremellan påträffas lera med mäktigheter mellan 1 och 5 m. Den övre delen av leran är av torrskorpekaraktär. Underliggande friktionsjord är mellan 1 och 3 m. Lokalt kan förekomma mindre områden där lermäktigheten är något större.

Vid station Barkarbystaden är jorddjupet i den östra delen cirka 3 till 4 m och i den västra ca 6 till 7 m. Centralt vid stationen är jorddjupet mindre och varierar mellan 1 och 3 m. Lerans mäktighet varierar mellan 1 och 3 m och den övre delen är av torrskorpekaraktär. Friktionsjordens mäktighet varierar mellan 1 och 4 m. I området kring stationens mitt påträffas utlagd fyllningsjord direkt på berg. Längs den gamla landningsbanan förekommer fyllningsjord.

Väster om station Barkarbystaden ökar jorddjupet och lerans mäktighet. Störst jorddjup på ca 13 m påträffas vid längdmätning av 18+100. Lermäktigheten är här ca 6 meter. Vidare västerut minskar jorddjupet för att vid 18+550 vara mellan 1 till 3 m.

4.3.2 Sättningar

Provtagningspunkt 14T09

Marknivå (m)	Grundvattennivå (m)	Jordlager ovan leran (m)	Lermäktighet (m)
+12,4	Antagen +10,9 (bedömd utifrån uk torrskorpa i intilliggande sonderingspunkter)	1,5	8,8

Lerans parametrar, utvärderade från CRS-försök							
Djup (m)	σ'_C	σ'_L	M_0	M_L	M'	k_i	β_k
3	65	107	2500	672	14,3	0,0054	1,5
5,5	52	104	3250	689	16,5	0,0079	3,8
8	85	137	4675	673	17,7	0,0092	4

Tabell 4.3.2.1. Indata för provtagningspunkt 14T09

I aktuell provtagningspunkt består jorden överst av mullhaltig jord och därefter följer drygt 1 m lerig sandig silt. Därunder består jorden av drygt 8,5 m lera som via ett lager friktionsmaterial vilar på berg. På 5,5 m och 8 m djup har sulfidinnehåll påträffats.

Enligt utförda CRS-försök pågår inga primära konsolideringssättningar.

Enligt utförda CRS-försök och beräknade grundvattensänkningar uppstår krypsättningar från ca 3 m under markytan i hela jordprofilen.

Utförda CRS-försök visar att leran är konsoliderad enligt nedan:

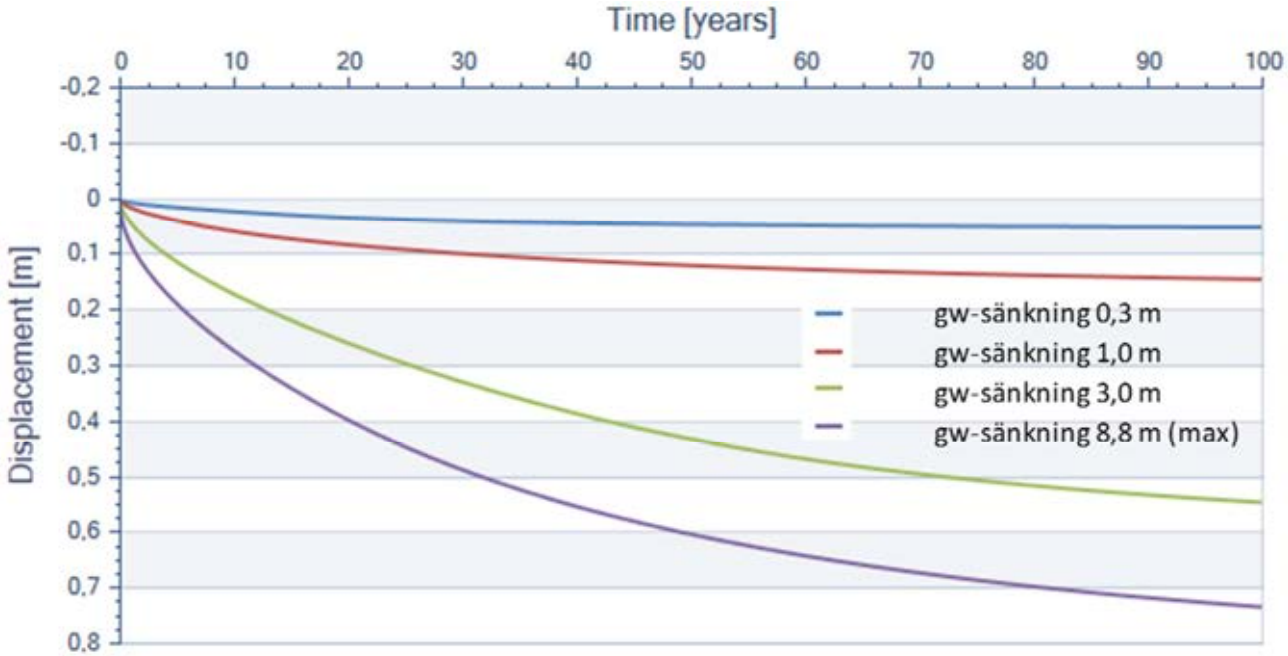
Nivå under markyta (m)	OCR
3	1,8
5,5	1,0
8	1,2

Tabell 4.3.2.2. OCR för provtagningspunkt 14T09

Resultat från sättningsberäkningarna visas i nedanstående tabell och figur.

Grundvattensänkning (m)	Sättning efter 2 år (m)	Sättning efter 40 år (m)	Sättning efter 100 år (m)
0,3	0,01	0,04	0,05
1	0,02	0,11	0,14
3	0,06	0,38	0,54
8,8 (hela lerlagret)	0,12	0,55	0,73

Tabell 4.3.2.3. Sättningsresultat provtagningspunkt 14T09



Figur 4.3.2.1. Sättningsresultat provtagningspunkt 14T09.

Provtagningspunkt 14T19

Marknivå (m)	Grundvattennivå (m)	Jordlager ovan leran (m)	Lermäktighet (m)
+12,6	+10,9 (uk torrskorpa)	1,5	5,5

Lerans parametrar, utvärderade från CRS-försök							
Djup (m)	σ'_C	σ'_L	M_0	M_L	M'	k_i	β_k
2,5	79	120	4380	744	16,7	0,0057	2,5
4,5	70	99	4125	578	15,1	0,0126	3,1
6,5	68	96	3550	879	17,9	0,0069	2,6

Tabell 4.3.2.4. Indata för provtagningspunkt 14T19

I aktuell provtagningspunkt består jorden överst av mullhaltig jord och därefter följer drygt 1 m silt och torrskorpelera. Därunder består jorden av ca 5,5 m lera som via ett lager friktionsmaterial vilar på berg. På 4,5 m djup har sulfidinnehåll påträffats.

Enligt utförda CRS-försök pågår inga primära konsolideringssättningar.

Enligt utförda CRS-försök och beräknade grundvattensänkningar uppstår krypsättningar från ca 2,5 m under markytan i hela jordprofilen.

Utförda CRS-försök visar att leran är konsoliderad enligt nedan:

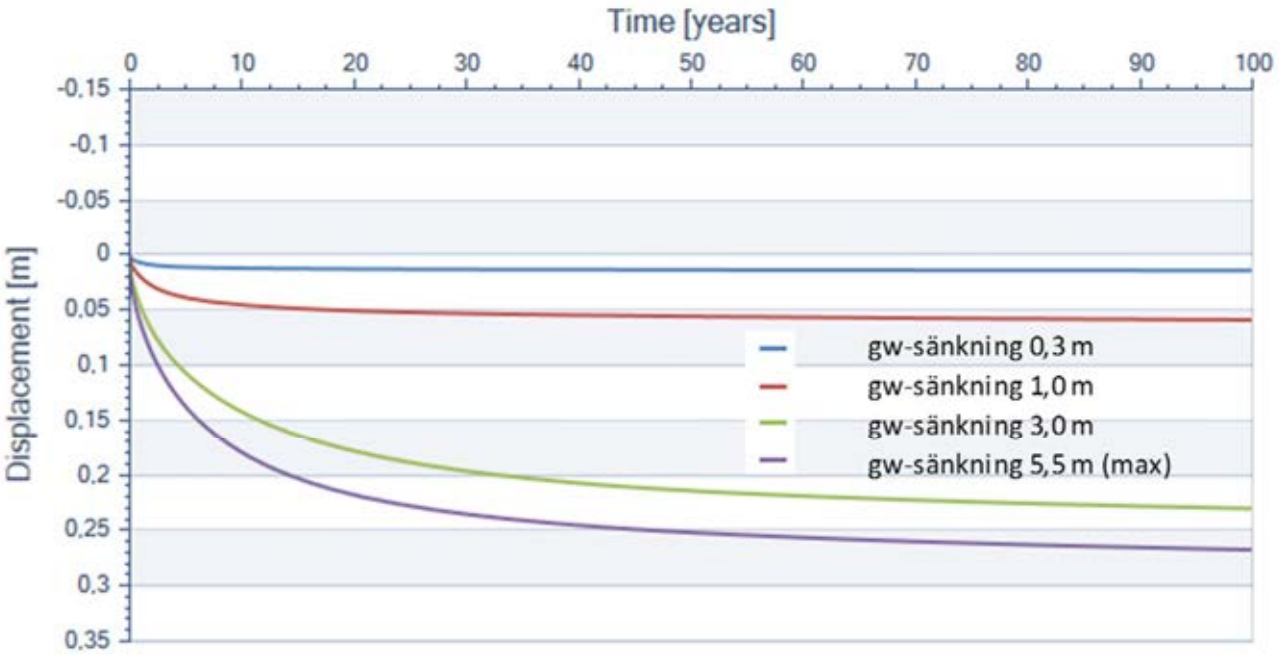
Nivå under markyta (m)	OCR
2,5	2,4
4,5	1,5
6,5	1,1

Tabell 4.3.2.5. OCR för provtagningspunkt 14T19

Resultat från sättningsberäkningarna visas i nedanstående tabell och figur.

Grundvattensänkning (m)	Sättning efter 2 år (m)	Sättning efter 40 år (m)	Sättning efter 100 år (m)
0,3	0,01	0,01	0,02
1	0,03	0,05	0,06
3	0,07	0,21	0,23
5,5 (hela lerlagret)	0,09	0,25	0,27

Tabell 4.3.2.6. Sättningsresultat provtagningspunkt 14T19



Figur 4.3.2.2. Sättningsresultat provtagningspunkt 14T19.

Provtagningspunkt 12CW63B

Marknivå (m)	Grundvattennivå (m)	Jordlager ovan leran (m)	Lermäktighet (m)
+13,8	+12,3 (uk torrskorpa)	1,5	5,7

Lerans parametrar, utvärderade från CRS-försök							
Djup (m)	σ'_C	σ'_L	M_0	M_L	M'	k_i	β_k
3	92	193	6543	1573	14,8	0,0107	3,6
4	56	138	3277	796	15,8	0,0126	4,3
6	61	115	2671	632	13,7	0,0199	2,2

Tabell 4.3.2.7. Indata för provtagningspunkt 12CW63B

I aktuell provtagningspunkt består jorden överst av mullhaltig fyllningsjord och därefter följer torrskorpelera ned till drygt 1,5 m under markytan. Därunder består jorden av drygt 5,5 m lera som via ett lager friktionsmaterial vilar på berg.

Enligt utförda CRS-försök pågår inga primära konsolideringssättningar.

Enligt utförda CRS-försök och beräknade grundvattensänkningar uppstår krypsättningar från ca 4 m under markytan i hela jordprofilen.

Utförda CRS-försök visar att leran är konsoliderad enligt nedan:

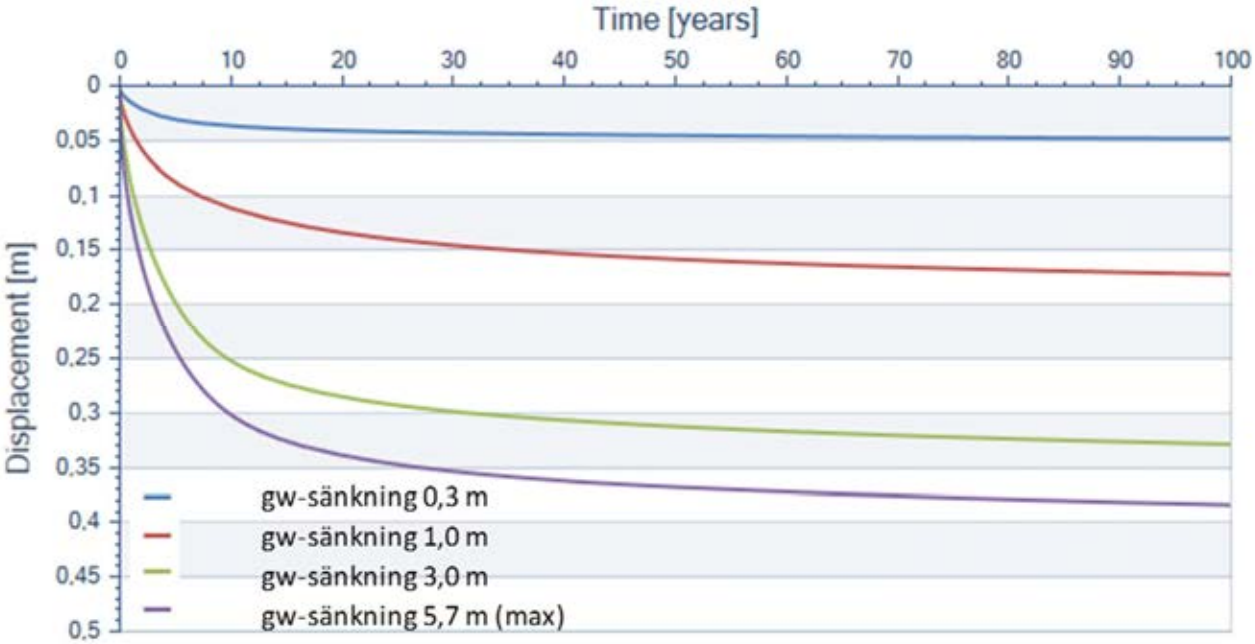
Nivå under markyta (m)	OCR
3	2,4
4	1,2
6	1,1

Tabell 4.3.2.8. OCR för provtagningspunkt 12CW63B

Resultat från sättningsberäkningarna visas i nedanstående tabell och figur.

Grundvattensänkning (m)	Sättning efter 2 år (m)	Sättning efter 40 år (m)	Sättning efter 100 år (m)
0,3	0,02	0,04	0,05
1	0,06	0,15	0,17
3	0,12	0,31	0,33
5,7 (hela lerlagret)	0,16	0,36	0,38

Tabell 4.3.2.9. Sättningsresultat provtagningspunkt 12CW63B



Figur 4.3.2.3. Sättningsresultat provtagningspunkt 12CW63B

Provtagningspunkt 14RT055

Marknivå (m)	Grundvattennivå (m)	Jordlager ovan leran (m)	Lermäktighet (m)
+14,8	+12,8 (uk torrskorpa)	2,5	3,5

Lerans parametrar, utvärderade från CRS-försök							
Djup (m)	σ'_C	σ'_L	M_0	M_L	M'	k_i	β_k
3	154	336	6900	2703	11,1	0,0947	1,8
5	115	156	3967	823	15,2	0,0281	1,9

Tabell 4.3.2.10. Indata för provtagningspunkt 14RT055

I aktuell provtagningspunkt består jorden överst av mullhaltig jord och därefter följer drygt 6 m lera vars övre 2,5 m är av torrskorpekaraktär. Därunder består jorden av friktionsmaterial som vilar på berg.

Enligt utförda CRS-försök pågår inga primära konsolideringssättningar.

Enligt utförda CRS-försök och beräknade grundvattensänkningar uppstår krypsättningar i den nedre delen av jordprofilen vid 3 m grundvattensänkning.

Utförda CRS-försök visar att leran är konsoliderad enligt nedan:

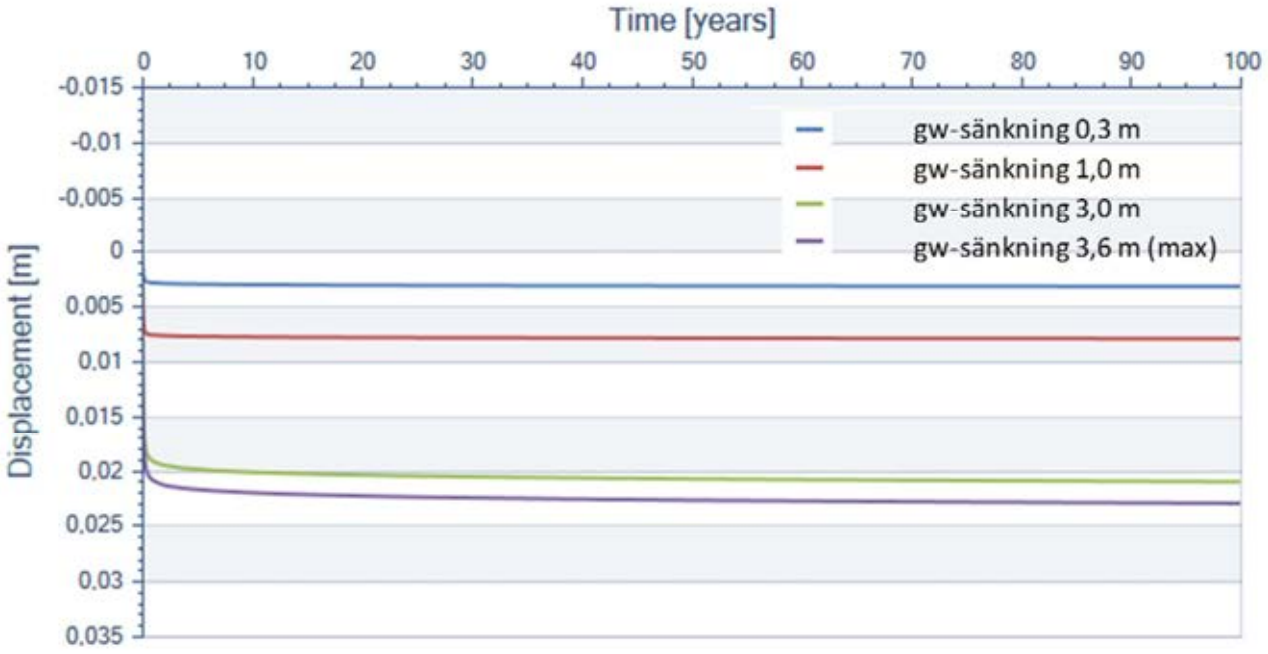
Nivå under markyta (m)	OCR
3	2,8
5	1,7

Tabell 4.3.2.11. OCR för provtagningspunkt 14RT055

Resultat från sättningsberäkningarna visas i nedanstående tabell och figur.

Grundvattensänkning (m)	Sättning efter 2 år (m)	Sättning efter 40 år (m)	Sättning efter 100 år (m)
0,3	0	0	0
1	0,01	0,01	0,01
3	0,02	0,02	0,02

Tabell 4.3.2.12. Sättningsresultat provtagningspunkt 14RT055



Figur 4.3.2.4. Sättningsresultat provtagningspunkt 14RT055

Provtagningspunkt 14RT061

Marknivå (m)	Grundvattennivå (m)	Jordlager ovan leran (m)	Lermäktighet (m)
+14,7	+13,2 (uk torrskorpa)	1,5	2,5

Lerans parametrar, utvärderade från CRS-försök							
Djup (m)	σ'_C	σ'_L	M_0	M_L	M'	k_i	β_k
2	188	388	11730	4653	7,6	0,0126	4,7
3	95	144	3787	1383	15,2	0,0347	1,9

Tabell 4.3.2.13. Indata för provtagningspunkt 14RT061

I aktuell provtagningspunkt består jorden överst av mullhaltig jord och därefter följer drygt 1,5 m torrskorpelera. Därunder består jorden av 2-2,5 m lera som via ett lager friktionsmaterial vilar på berg.

Enligt utförda CRS-försök pågår inga primära konsolideringssättningar.

Enligt utförda CRS-försök och beräknade grundvattensänkningar uppstår krypsättningar från ca 4 m under markytan i hela jordprofilen.

Utförda CRS-försök visar att leran är konsoliderad enligt nedan:

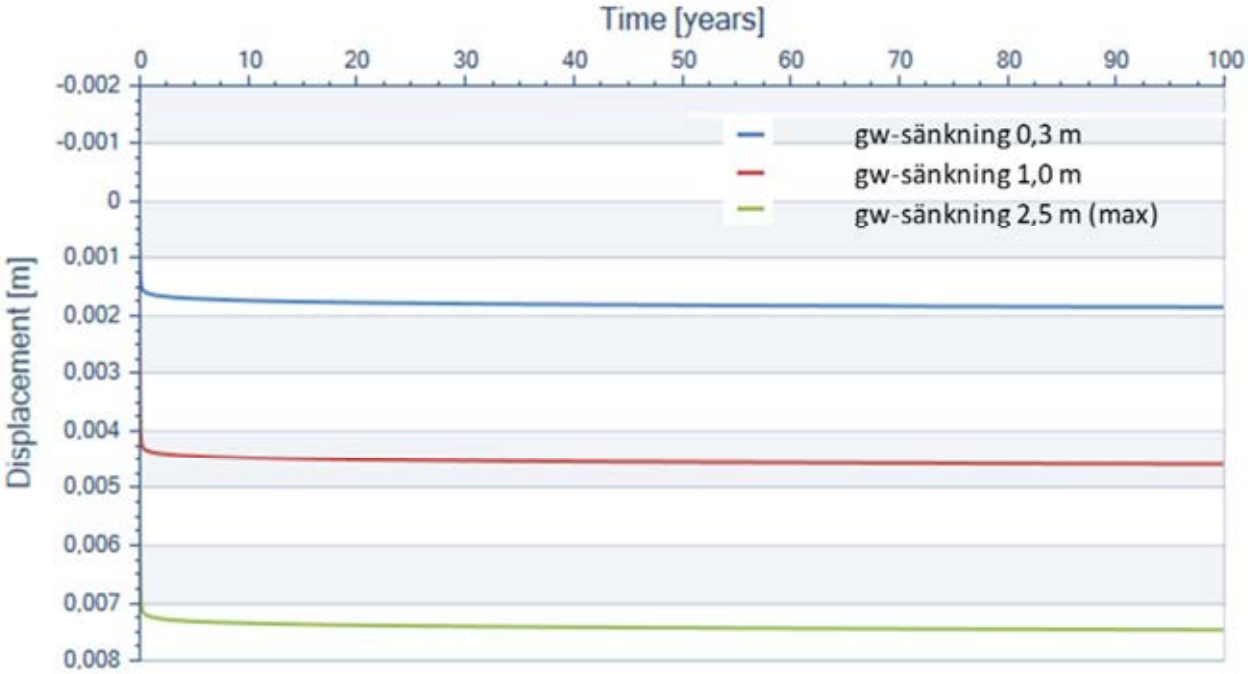
Nivå under markyta (m)	OCR
2	5,9
3	2,4

Tabell 4.3.2.14. OCR för provtagningspunkt 14RT061

Resultat från sättningsberäkningarna visas i nedanstående tabell och figur.

Grundvattensänkning (m)	Sättning efter 2 år (m)	Sättning efter 40 år (m)	Sättning efter 100 år (m)
0,3	0	0	0
1	0,01	0,01	0,01
2,5 (hela lerdjupet)	0,01	0,01	0,01

Tabell 4.3.2.15. Sättningsresultat provtagningspunkt 14RT061



Figur 4.3.2.5. Sättningsresultat provtagningspunkt 14RT061

Provtagningspunkt 08F634

Marknivå (m)	Grundvattennivå (m)	Jordlager ovan leran (m)	Lermäktighet (m)
+13,4	+13,4	0	7

Lerans parametrar, utvärderade från CRS-försök							
Djup (m)	σ'_C	σ'_L	M_0	M_L	M'	k_i	β_k
2	97	160	6325	1163	14,7	0,0568	3,4
3	54	87	2167	462	12,5	0,0095	1
4	46	56	2250	241	17,1	0,0155	4,9
5	68	92	2875	231	16,8	0,0107	4,0
6	71	94	2640	328	15,6	0,0120	4,4

Tabell 4.3.2.16. Indata för provtagningspunkt 08F634

I aktuell provtagningspunkt består jorden överst av mullhaltig jord och därefter följer ca 7 m lera som via ett lager friktionsmaterial vilar på berg. På 4 och 6 m djup har sulfidinnehåll påträffats.

Enligt utförda CRS-försök pågår inga primära konsolideringssättningar.

Enligt utförda CRS-försök och beräknade grundvattensänkningar uppstår krypsättningar från ca 2 m under markytan i hela jordprofilen vid en grundvattensänkning på 3 m.

Utförda CRS-försök visar att leran är konsoliderad enligt nedan:

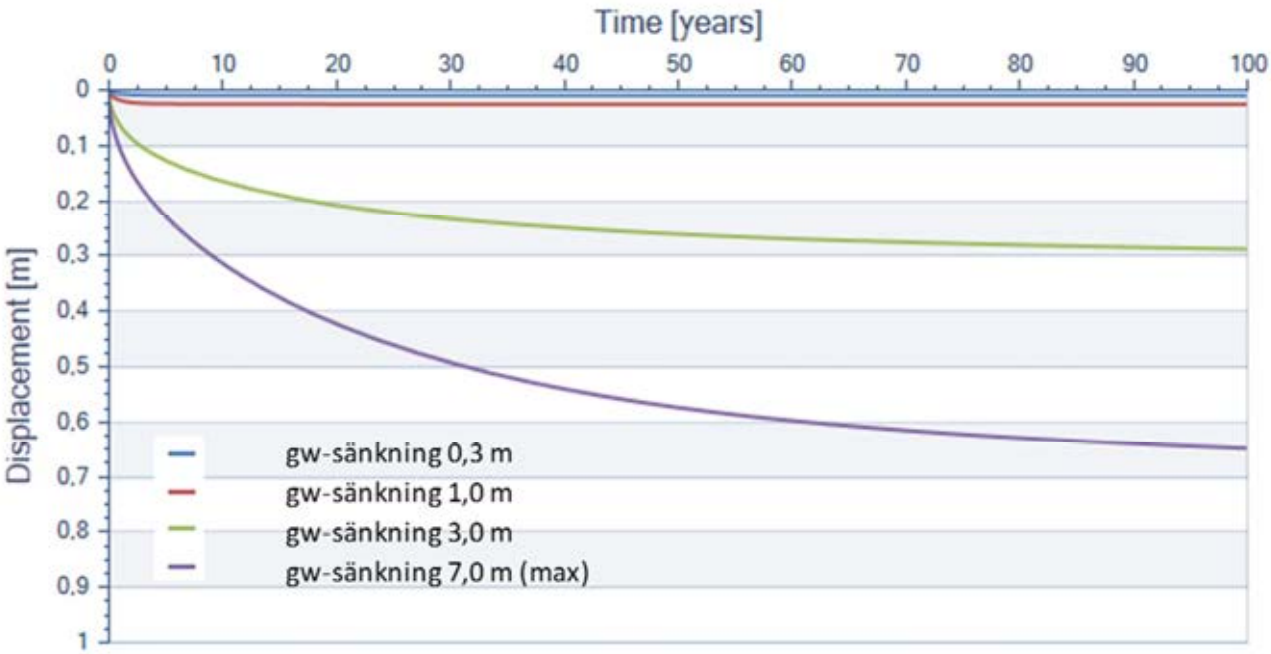
Nivå under markyta (m)	OCR
2	6,1
3	2,5
4	1,6
5	1,9
6	1,7

Tabell 4.3.2.17. OCR för provtagningspunkt 08F634

Resultat från sättningsberäkningarna visas i nedanstående tabell och figur.

Grundvattensänkning (m)	Sättning efter 2 år (m)	Sättning efter 40 år (m)	Sättning efter 100 år (m)
0,3	0,01	0,01	0,09
1	0,02	0,03	0,03
3	0,09	0,25	0,29
7 (hela lerdjupet)	0,15	0,54	0,65

Tabell 4.3.2.18. Sättningsresultat provtagningspunkt 08F634



Figur 4.3.2.6. Sättningsresultat provtagningspunkt 08F634

Provtagningspunkt 08F730

Marknivå (m)	Grundvattennivå (m)	Jordlager ovan leran (m)	Lermäktighet (m)
+18,2	+17,6 (uk torrskorpa)	0,6	8

Lerans parametrar, utvärderade från CRS-försök							
Djup (m)	σ'_C	σ'_L	M_0	M_L	M´	k_i	β_k
2	37	64	1925	439	12,7	0,0221	1,2
3	26	57	2538	394	12,9	0,0193	3,6
5	67	97	2000	468	12,0	0,0104	3,6
7	80	121	3600	688	18,5	0,0079	2,3

Tabell 4.3.2.19. Indata för provtagningspunkt 08F730

I aktuell provtagningspunkt består jorden överst av mullhaltig jord och därefter följer torrskorpelera ned till ca 0,6 m under markytan. Därunder består jorden av ca 8 m lera som via ett lager friktionsmaterial vilar på berg. Kring 2 och 5 m djup har sulfidinnehåll påträffats.

Enligt utförda CRS-försök pågår inga primära konsolideringssättningar.

Enligt utförda CRS-försök och beräknade grundvattensänkningar uppstår krypsättningar från ca 4 m under markytan i hela jordprofilen.

Utförda CRS-försök visar att leran är konsoliderad enligt nedan:

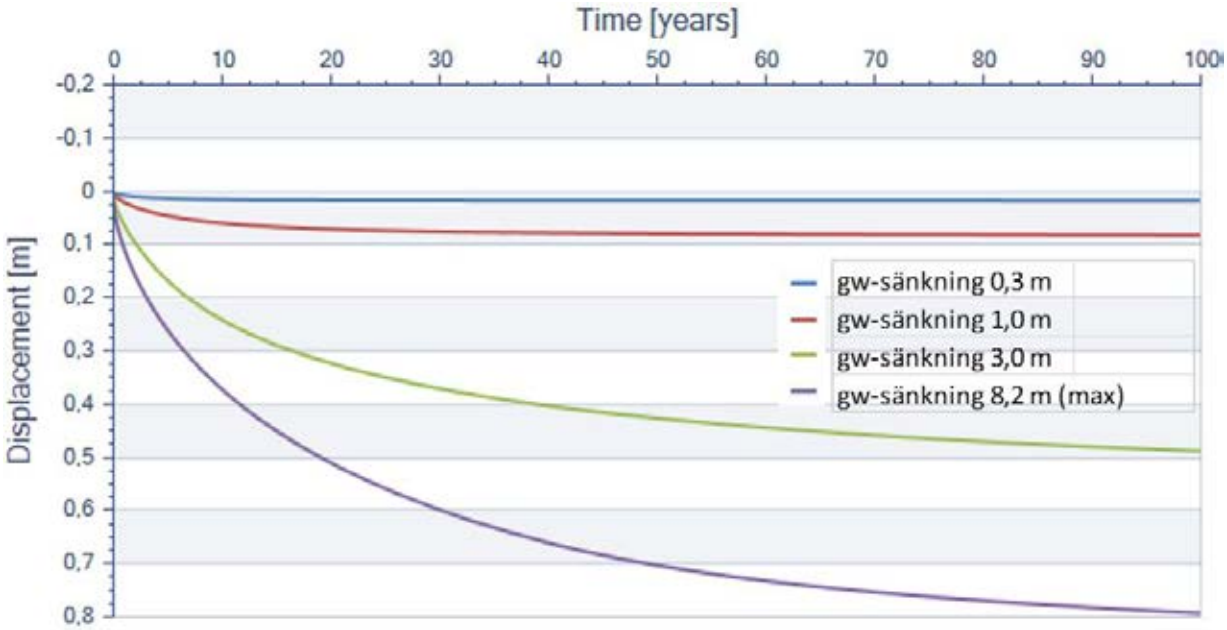
Nivå under markyta (m)	OCR
2	1,9
3	1
5	1,8
7	1,6

Tabell 4.3.2.20. OCR för provtagningspunkt 08F730

Resultat från sättningsberäkningarna visas i nedanstående tabell och figur.

Grundvattensänkning (m)	Sättning efter 2 år (m)	Sättning efter 40 år (m)	Sättning efter 100 år (m)
0,3	0,01	0,02	0,02
1	0,03	0,08	0,08
3	0,09	0,4	0,49
8,2 (hela lerdjupet)	0,13	0,66	0,79

Tabell 4.3.2.21. Sättningsresultat provtagningspunkt 08F730



Figur 4.3.2.7. Sättningsresultat provtagningspunkt 08F730

Provtagningspunkt 14RT058

Marknivå (m)		Grundvattennivå (m)		Jordlager ovan leran (m)		Lermäktighet (m)	
+13,2		+12,6 (uk torrskorpa)		0,6		10	
Lerans parametrar, utvärderade från CRS-försök							
Djup (m)	σ'_C	σ'_L	M_0	M_L	M'	k_i	β_k
2	49	81	1470	484	11,7	0,1262	4,9
4	29	50	1725	217	15,9	0,012	2,7
6	41	70	1727	403	14,9	0,0057	2,6
8	79	106	2700	504	17,0	0,0063	1,6

Tabell 4.3.2.22. Indata för provtagningspunkt 14RT058

I aktuell provtagningspunkt består jorden överst av mullhaltig jord och därefter följer torrskorpelera ned till ca 0,6 m under markytan. Därunder består jorden av ca 10 m lera som via ett lager friktionsmaterial vilar på berg. På 4, 6 och 8 m djup har sulfidinnehåll påträffats.

Enligt utförda CRS-försök pågå primära konsolideringssättningar i lerlagrets mellersta del.

Enligt utförda CRS-försök och beräknade grundvattensänkningar uppstår krypsättningar från ca 4m under markytan i hela jordprofilen.

Utförda CRS-försök visar att leran är konsoliderad enligt nedan:

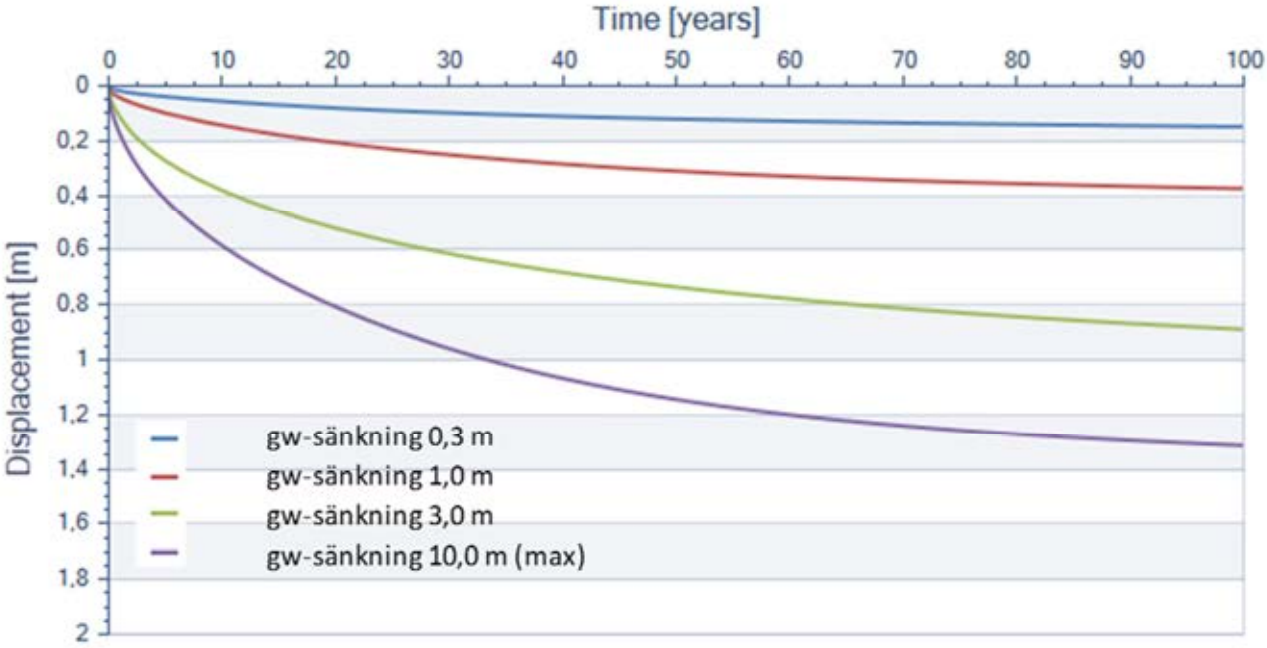
Nivå under markyta (m)	OCR
2	2,6
4	0,9
6	0,9
8	1,4

Tabell 4.3.2.23. OCR för provtagningspunkt 14RT058

Resultat från sättningsberäkningarna visas i nedanstående tabell.

Grundvattensänkning (m)	Sättning efter 2 år (m)	Sättning efter 40 år (m)	Sättning efter 100 år (m)
0,3	0,02	0,11	0,15
1	0,06	0,28	0,37
3	0,16	0,68	0,88
10 (hela lerdjupet)	0,25	1,06	1,31

Tabell 4.3.2.24. Sättningsresultat provtagningspunkt 14RT058



Figur 4.3.2.8. Sättningsresultat provtagningspunkt 14RT058

Provtagningspunkt 14RT057

Marknivå (m)	Grundvattennivå (m)	Jordlager ovan leran (m)	Lermäktighet (m)
+17,4	+14,4 (uk torrskorpa)	3	1

Lerans parametrar, utvärderade från CRS-försök							
Djup (m)	σ'_C	σ'_L	M_0	M_L	M'	k_i	β_k
3,5	171	190	13217	5274	7,5	0,0041	5,3

Tabell 4.3.2.25. Indata för provtagningspunkt 14RT057

I aktuell provtagningspunkt består jorden överst av mullhaltig jord och därefter följer ca 3 m torrskorpelera. Därunder består jorden av ca 1 m lera som via ett lager friktionsmaterial vilar på berg.

Enligt utförda CRS-försök pågår inga primära konsolideringssättningar.

Enligt utförda CRS-försök och beräknade grundvattensänkningar uppstår inga krypsättningar i jordprofilen.

Utförda CRS-försök visar att leran är konsoliderad enligt nedan:

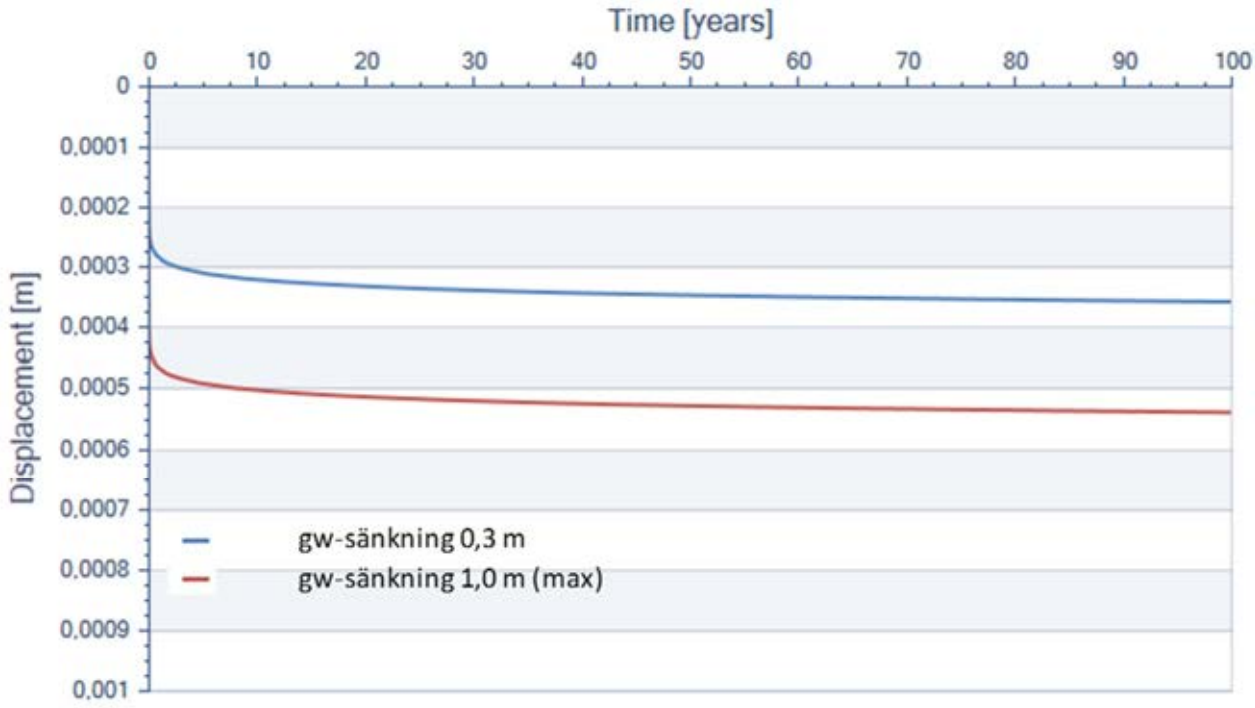
Nivå under markyta (m)	OCR
3,5	2,9

Tabell 4.3.2.26. OCR för provtagningspunkt 14RT057

Resultat från sättningsberäkningarna visas i nedanstående tabell och figur.

Grundvattensänkning (m)	Sättning efter 2 år (m)	Sättning efter 40 år (m)	Sättning efter 100 år (m)
0,3	0	0	0
1 (hela lerlagret)	0	0	0

Tabell 4.3.2.27. Sättningsresultat provtagningspunkt 14RT057



Figur 4.3.2.9. Sättningsresultat provtagningspunkt 14RT057

Provtagningspunkt 14RT060

Marknivå (m)	Grundvattennivå (m)	Jordlager ovan leran (m)	Lermäktighet (m)
+16,8	+15,3 (uk torrskorpa)	1,5	1,5

Lerans parametrar, utvärderade från CRS-försök							
Djup (m)	σ'_C	σ'_L	M_0	M_L	M´	k_i	β_k
2,5	47	126	2947	935	13	0,0066	3,4

Tabell 4.3.2.28. Indata för provtagningspunkt 14RT060

I aktuell provtagningspunkt består jorden överst av fyllningsjord och därefter följer torrskorpelera ned till 1,5 m under markytan. Därunder består jorden av ca 1,5 m lera som via ett lager friktionsmaterial vilar på berg.

Enligt utförda CRS-försök pågår inga primära konsolideringssättningar.

Enligt utförda CRS-försök och beräknade grundvattensänkningar uppstår krypsättningar i jordprofilen.

Utförda CRS-försök visar att leran är konsoliderad enligt nedan:

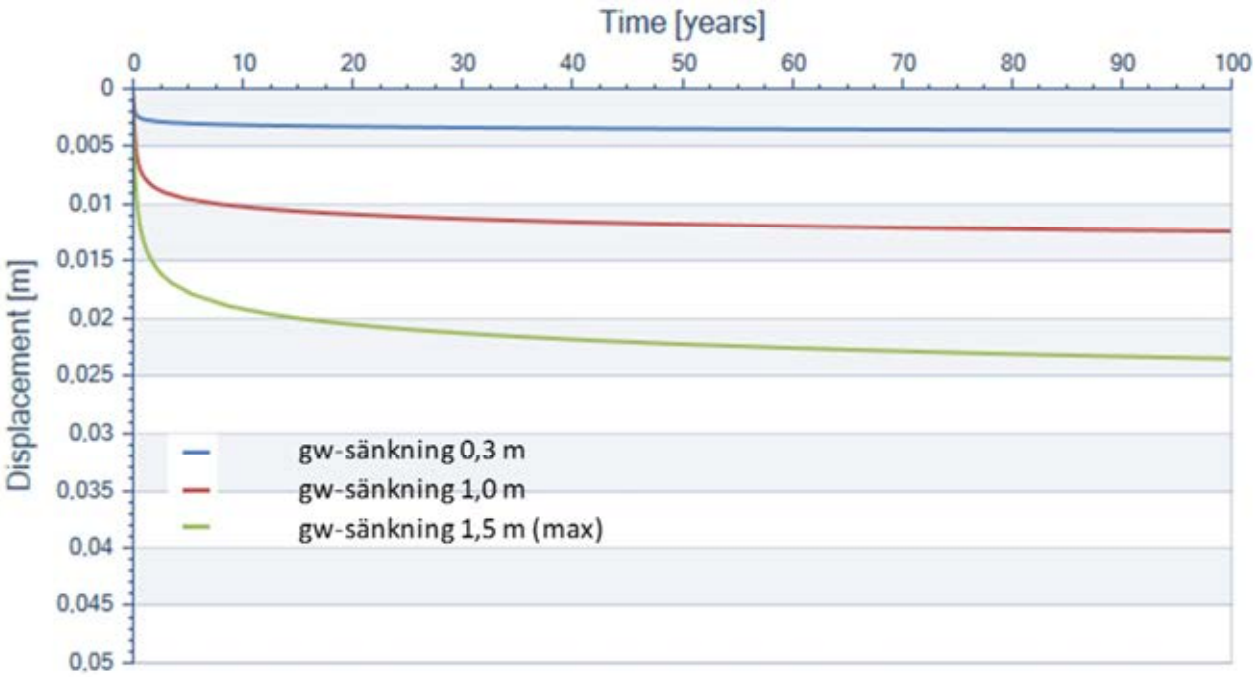
Nivå under markyta (m)	OCR
2,5	1,4

Tabell 4.3.2.29. OCR för provtagningspunkt 14RT060

Resultat från sättningsberäkningarna visas i nedanstående tabell och figur.

Grundvattensänkning (m)	Sättning efter 2 år (m)	Sättning efter 40 år (m)	Sättning efter 100 år (m)
0,3	0	0	0
1	0,01	0,01	0,01
1,5 (hela lerdjupet)	0,02	0,02	0,02

Tabell 4.3.2.30. Sättningsresultat provtagningspunkt 14RT060



Figur 4.3.2.10. Sättningsresultat provtagningspunkt 14RT060

Provtagningspunkt 14RT062

Marknivå (m)	Grundvattennivå (m)	Jordlager ovan leran (m)	Lermäktighet (m)
+18,2	+17,7 (uk torrskorpa)	0,5	5,5

Lerans parametrar, utvärderade från CRS-försök							
Djup (m)	σ'_C	σ'_L	M_0	M_L	M'	k_i	β_k
2	32	53	1050	233	10,7	0,0316	2,5
4	30	53	1925	365	12,5	0,0126	4,6

Tabell 4.3.2.31. Indata för provtagningspunkt 14RT062

I aktuell provtagningspunkt består jorden överst av mullhaltig jord och därefter följer ca 0,5 m torrskorpelera. Därunder består jorden av ca 5,5 m lera som via ett lager friktionsmaterial vilar på berg.

Enligt utförda CRS-försök pågår inga primära konsolideringssättningar.

Enligt utförda CRS-försök och beräknade grundvattensänkningar uppstår krypsättningar från ca 1 m under markytan i hela jordprofilen vid en grundvattensänkning på 1 m.

Utförda CRS-försök visar att leran är konsoliderad enligt nedan:

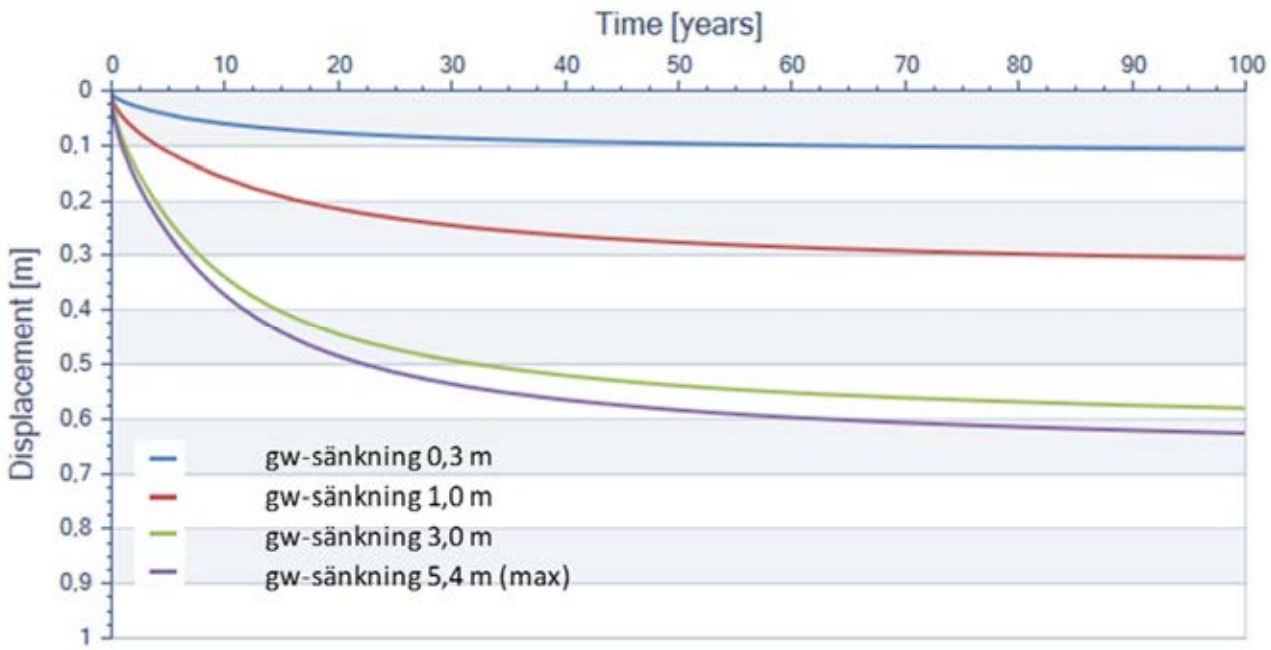
Nivå under markyta (m)	OCR
2	1,8
4	1

Tabell 4.3.2.32. OCR för provtagningspunkt 14RT062

Resultat från sättningsberäkningarna visas i nedanstående tabell och figur.

Grundvattensänkning (m)	Sättning efter 2 år (m)	Sättning efter 40 år (m)	Sättning efter 100 år (m)
0,3	0,03	0,09	0,11
1	0,07	0,26	0,3
3	0,13	0,52	0,58
5,4 (hela lerdjupet)	0,15	0,56	0,62

Tabell 4.3.2.33. Sättningsresultat provtagningspunkt 14RT062



Figur 4.3.2.11. Sättningsresultat provtagningspunkt 14RT062

Provtagningspunkt 08F720

Marknivå (m)	Grundvattennivå (m)	Jordlager ovan leran (m)	Lermäktighet (m)
+18,2	+17,6 (uk torrskorpa)	0,6	3,4

Lerans parametrar, utvärderade från CRS-försök							
Djup (m)	σ'_C	σ'_L	M_0	M_L	M'	k_i	β_k
2	78	155	2040	1058	14,8	0,0167	0,4
3	47	53	2000	164	13,7	0,0196	4,2

Tabell 4.3.2.34. Indata för provtagningspunkt 08F720

I aktuell provtagningspunkt består jorden överst av mullhaltig jord och därefter följer drygt 0,5 m torrskorpelera. Därunder består jorden av knappt 3,5 m lera som via ett lager friktionsmaterial vilar på berg.

Enligt utförda CRS-försök pågår inga primära konsolideringssättningar.

Enligt utförda CRS-försök och beräknade grundvattensänkningar uppstår krypsättningar i den nedre delen av leran vid en grundvattensänkning på 1 m.

Utförda CRS-försök visar att leran är konsoliderad enligt nedan:

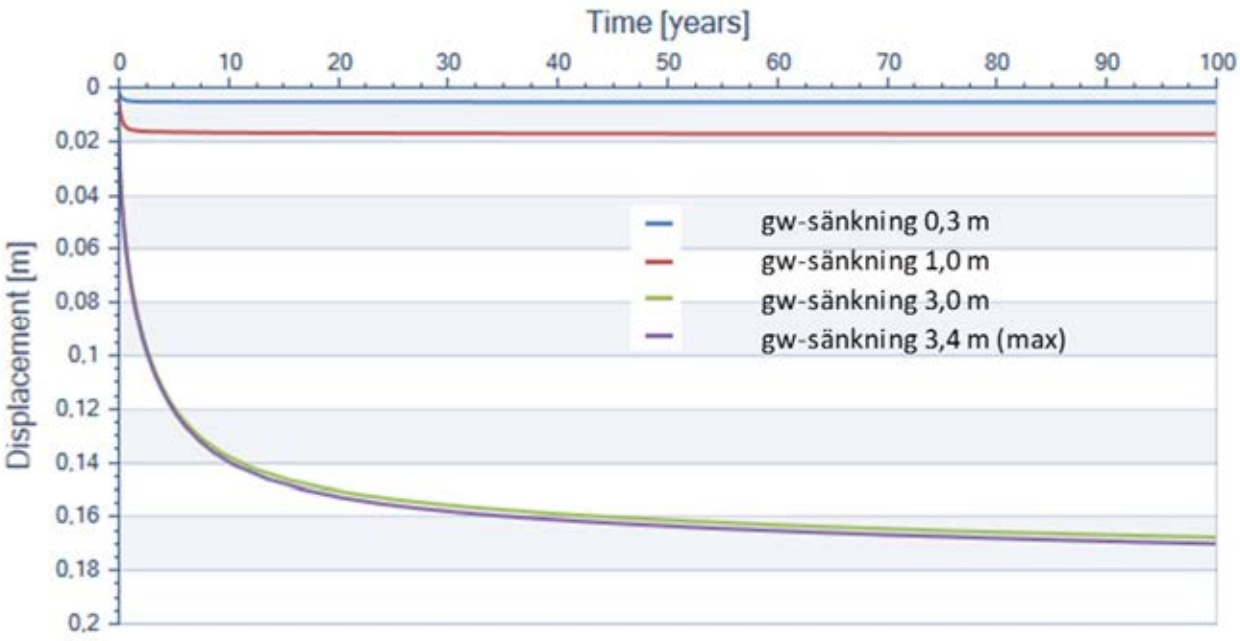
Nivå under markyta (m)	OCR
2	3,8
3	1,7

Tabell 4.3.2.35. OCR för provtagningspunkt 08F720

Resultat från sättningsberäkningarna visas i nedanstående tabell och figur.

Grundvattensänkning (m)	Sättning efter 2 år (m)	Sättning efter 40 år (m)	Sättning efter 100 år (m)
0,3	0,01	0,01	0,01
1	0,02	0,02	0,02
3	0,09	0,16	0,17
3,4 (hela lerdjupet)	0,09	0,16	0,17

Tabell 4.3.2.36. Sättningsresultat provtagningspunkt 08F720



Figur 4.3.2.12. Sättningsresultat provtagningspunkt 08F720

5 Sammanställning av beräkningar

5.1 Område 1

I punkter där sättningar beräknats varierar den sättningsbenägna lerans mäktighet mellan ca 1,5 - 5 meter. De största lermäktigheterna påträffas i områdets norra del och i gränsen mot område 2. Inom området finns fastmarksområden och ju närmre dessa man kommer avtar lerans mäktighet.

I den norra delen av området bedöms den sättningsbenägna lerans mäktighet som mest vara ca 5 meter. I östra delen, i gränsen mot område 2, kan lokalt lera med större mäktighet påträffas. I övriga delar av området visar utförda sonderingar att lerans mäktighet som mest är omkring 2 meter.

I den norra delen utvecklas totalsättningar (100 år) i storleksordningen 0,1 m med en teoretisk grundvattensänkning på 0,3 m varav det under de två till tre första åren utvecklas sättningar i storleksordningen 0,02 m. Vid 1,0 m teoretisk grundvattensänkning utvecklas totalsättningar i storleksordningen 0,2-0,3 m och redan efter ett par år har sättningar i storleksordningen 0,05 m utvecklats. I södra delen i gränsen mot område 2 är lerans mäktighet större och mer sättningsbenägen. I detta område utvecklas sättningar i storleksordning som beräknats för område 2.

I den västra och södra delen av området har provtagning av leran inte utförts. Jorden består här av flera fastmarkspartier samt lerpartier som genom andra undersökningar visar på mindre lermäktighter, upp till 2 m, som dessutom är överlagrade av torrskorpelera. Den bedöms således vara mindre sättningskänslig än leområdet nord/nordväst om Barkarby Station.

Vid en överslagsberäkning av teoretisk grundvattensänkning på 1,0 m bedöms sättningarna maximalt uppgå till 0,01-0,02 m/m lera. För redogörelse, se avsnitt 3.3.1.

I nedanstående tabeller redovisas beräknade sättningar uppkomna av en permanent grundvattensänkning på 0,3 och 1 meter. Beräkningsresultat från övriga grundvattenavsänkningar redovisas i kapitel 4.1.2.

Provtagningspunkt	Mäktighet lera (m)	Sättning efter 2 år (m)	Sättning efter 40 år (m)	Sättning efter 100 år (m)
10W069	5	0,02	0,09	0,11
14RT054	1,5	0	0	0

Tabell 5.1.1. Sättningsresultat vid 0,3 m grundvattensänkning, provtagningspunkter område 1

Provtagningspunkt	Mäktighet lera (m)	Sättning efter 2 år (m)	Sättning efter 40 år (m)	Sättning efter 100 år (m)
10W069	5	0,05	0,21	0,24
14RT054	1,5	0	0	0

Tabell 5.1.2. Sättningsresultat vid 1 m grundvattensänkning, provtagningspunkter område 1

5.2 Område 2

I punkter där sättningar beräknats varierar den sättningsbenägna lerans mäktighet mellan ca 5 och 18 meter. De största lermäktigheterna påträffas i områdets södra delar och minskar sedan norrut. Området gränsar till några fastmarksområden och ju närmre dessa man kommer ju mer avtar lerans mäktighet.

Vid en teoretisk grundvattensänkning med 0,3 m utvecklas totalsättningar (100 år) i storleksordningen 0,05-0,21 m varav det under de två till tre första åren utvecklas sättningar i storleksordningen 0,02-0,03 m. Vid 1,0 m teoretisk grundvattensänkning utvecklas totalsättningar i storleksordningen 0,2-0,6 m och redan efter ett par år har sättningar i storleksordningen 0,05 m utvecklats.

I nedanstående tabeller redovisas beräknade sättningar uppkomna av en permanent grundvattensänkning på 0,3 och 1 meter. Beräkningsresultat från övriga grundvattenavsänkningar redovisas i kapitel 4.2.2.

Provtagningspunkt	Mäktighet lera (m)	Sättning efter 2 år (m)	Sättning efter 40 år (m)	Sättning efter 100 år (m)
10R038	4,8	0,03	0,05	0,06
10W183	14	0,02	0,08	0,14
B603	7,7	0,02	0,09	0,1
15RT419	12	0,02	0,03	0,04
15RT430	12	0,02	0,1	0,17
15RT432	12	0,02	0,12	0,21
14W011	14,5	0,02	0,06	0,07
14W037	18	0,02	0,04	0,05
11R128	15,5	0,03	0,13	0,16
B452	6,2	0,01	0,05	0,05

Tabell 5.2.1. Sättningsresultat vid 0,3 m grundvattensänkning, provtagningspunkter område 2

Provtagningspunkt	Mäktighet lera (m)	Sättning efter 2 år (m)	Sättning efter 40 år (m)	Sättning efter 100 år (m)
10R038	4,8	0,07	0,27	0,32
10W183	14	0,05	0,25	0,42
B603	7,7	0,05	0,23	0,31
15RT419	12	0,05	0,2	0,26
15RT430	12	0,03	0,21	0,39
15RT432	12	0,03	0,27	0,47
14W011	14,5	0,05	0,30	0,44
14W037	18	0,04	0,14	0,16
11R128	15,5	0,08	0,44	0,65
B452	6,2	0,04	0,15	0,2

Tabell 5.2.2. Sättningsresultat vid 1 m grundvattensänkning, provtagningspunkter område 2

5.3 Område 3

I punkter där sättningar beräknats varierar den sättningsbenägna lerans mäktighet mellan ca 1- 10 meter. De största lermäktigheterna påträffas alldeles öster om Enköpingsvägen (punkt 14T09), strax norr om korsningen Norrviksvägen/Akallalänken (punkt 14RT058 och 08F634), vid passage under Akallalänken och där Akallalänken övergår i Hanstavägen (punkt 08F730). Inom området finns ett flertal fastmarksområden och ju närmre dessa man kommer ju mer avtar lerans mäktighet.

Vid en teoretisk grundvattensänkning med 0,3 meter utvecklas totalsättningar (100 år) i storleksordningen 0,05-0,1 m i områden där lerans mäktighet överstiger ca 5 m varav det under de två till tre första åren utvecklas sättningar i storleksordningen 0,02-0,03 m. Vid 1,0 m teoretisk grundvattensänkning utvecklas totalsättningar i storleksordningen 0,15-0,3 m och redan efter ett par år har sättningar i storleksordningen 0,05 m utvecklats.

Norr om planerad tunnelbanesträckning, från ca 16+000 fram till gränsen mot område 2 består stor del av förekommande lera av torrskorpelera. Beräkningarna visar att inga sättningar uppkommer vid eventuella grundvattensänkningar. Lokalt påträffas sättningsbenägen lera med mäktigheter upp till ca 1-2 m enligt utförda sonderingar. Beräkningar visar att vid en teoretisk grundvattensänkning på 1,0 m utvecklas totalsättningar i storleksordningen 0,01-0,02 m.

I nedanstående tabeller redovisas beräknade sättningar uppkomna av en permanent grundvattensänkning på 0,3 och 1 m. Beräkningsresultat från övriga grundvattenavsänkningar redovisas i kapitel 4.3.2.

Provtagningspunkt	Mäktighet lera (m)	Sättning efter 2 år (m)	Sättning efter 40 år (m)	Sättning efter 100 år (m)
14T09	8,8	0,01	0,04	0,05
14T19	5,5	0,01	0,01	0,02
12CW63B	5,7	0,02	0,04	0,05
14RT055	3,5	0	0	0
14RT061	2,5	0	0	0
08F634	7	0,01	0,01	0,09
08F730	8	0,01	0,02	0,02
14RT058	10	0,02	0,11	0,15
14RT057	1	0	0	0
14RT060	1,5	0	0	0
14RT062	5,5	0,03	0,09	0,11
08F720	3,4	0,01	0,01	0,01

Tabell 5.3.1. Sättningsresultat vid 0,3 m grundvattensänkning, provtagningspunkter område 3

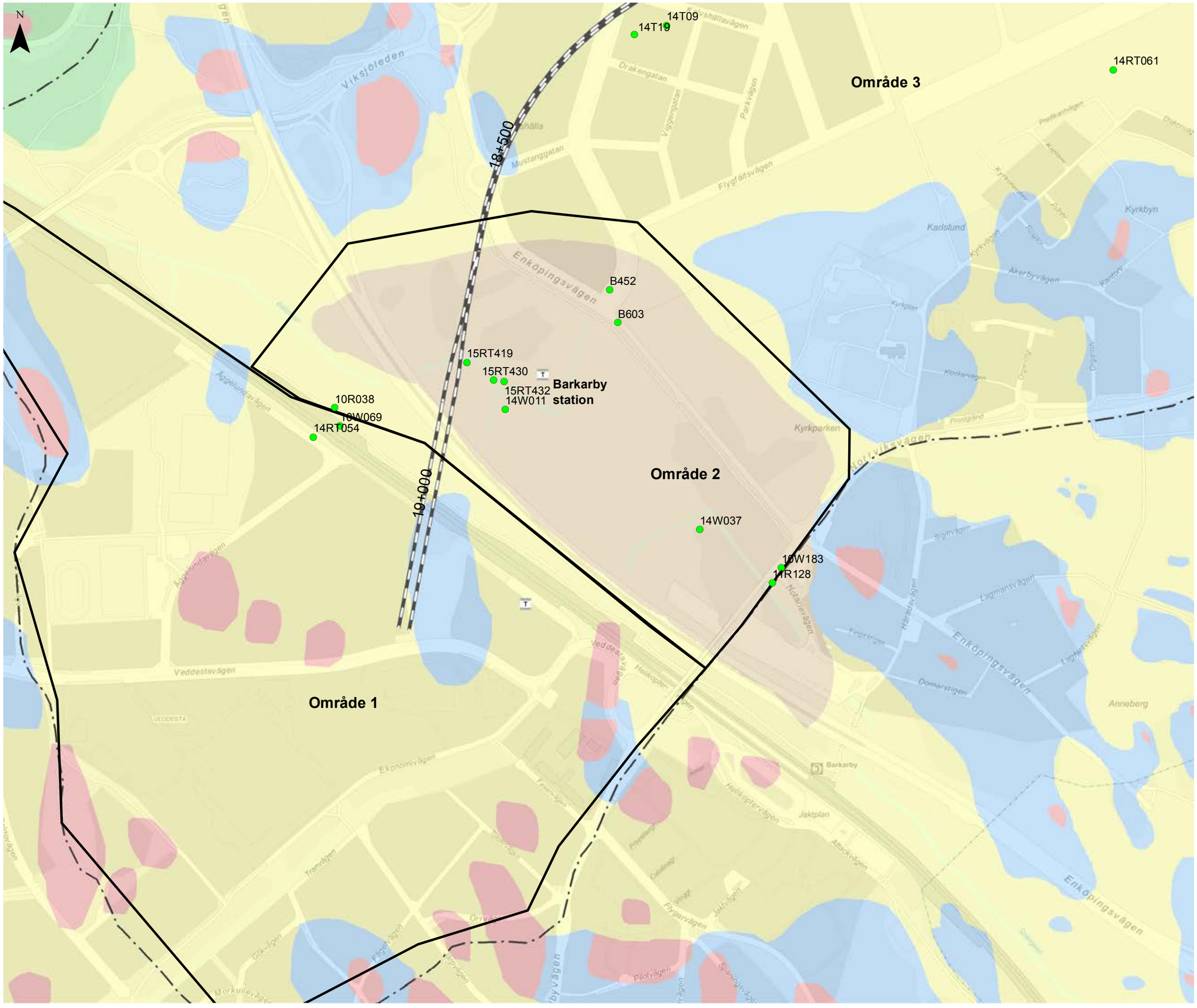
Provtagningspunkt	Mäktighet lera (m)	Sättning efter 2 år (m)	Sättning efter 40 år (m)	Sättning efter 100 år (m)
14T09	8,8	0,02	0,11	0,14
14T19	5,5	0,03	0,05	0,06
12CW63B	5,7	0,06	0,15	0,17
14RT055	3,5	0,01	0,01	0,01
14RT061	2,5	0,01	0,01	0,01
08F634	7	0,02	0,03	0,03
08F730	8	0,03	0,08	0,08
14RT058	10	0,06	0,28	0,37
14RT057	1	0	0	0
14RT060	1,5	0,01	0,01	0,01
14RT062	5,5	0,07	0,26	0,3
08F720	3,4	0,02	0,02	0,02

Tabell 5.3.2. Sättningsresultat vid 1 m grundvattensänkning, provtagningspunkter område 3

Vårt uppdrag är att genomföra tunnelbanans utbyggnad och övriga åtgärder inom ramen för 2013 års Stockholmsförhandling. Det innebär planering, projektering och byggnation av ny tunnelbana och nya stationer på fyra olika sträckor. I vårt uppdrag ingår också planering och projektering av nya fordonsdepåer samt upphandling av signalsystem och vagnar. Totalt innebär utbyggnaden en samlad investering på 25,7 miljarder kronor. Byggstarten beräknas kunna ske år 2016.

Stockholms läns landsting
Förvaltning för utbyggd tunnelbana
Box 22550, 10422 Stockholm
Telefon: 08-737 25 00

Stockholms läns landsting



PM Sättningar

Bilaga C7.1
Kolvprovtagningar
Sida 1 av 3

Miljöprövning för tunnelbana från Akalla till Barkarby Station

Planritning.
Punkter: 14T19, 14T09, 14RT061, 14RT054, 10W069, 10R038, 15RT419, 15RT430, 15RT432, 14W011, B452, B603, 14W037, 10W183 samt 11R128

Datum: 2015-11-27
Skala (A3): 1:5 000

0 40 80 120 160 200 m

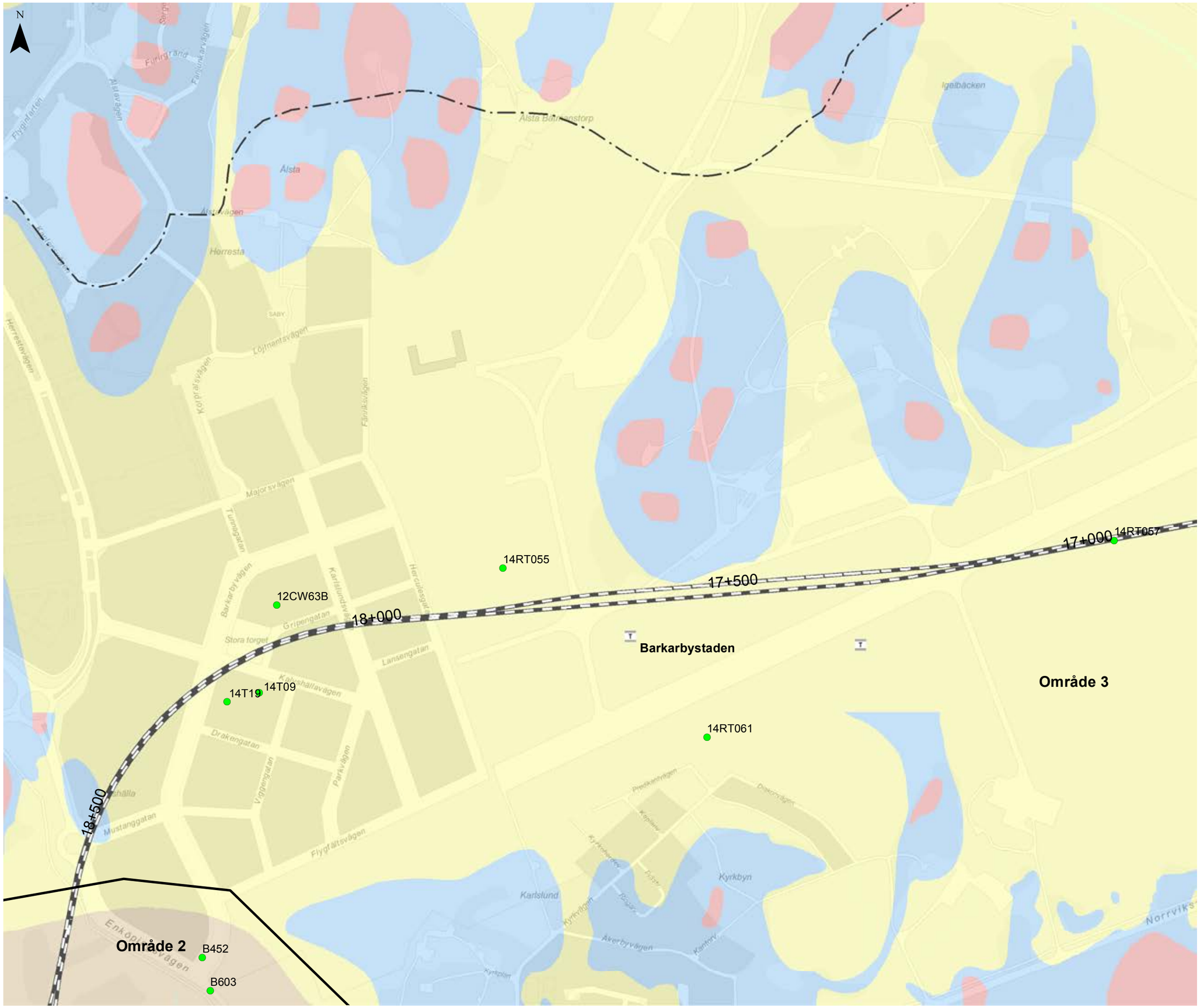
© Lantmäteriet, Geodatasamverkan

© Open Stockholm

Teckenförklaring

- Kolvprovtagningar
- Delområden sättning
- Influensområde
- Tunnelbaneuppgång
- Föreslagen spårsträckning
- Berg
- Lera
- Morän
- Organisk jord
- Sten, grus och sand
- Växellagring

Förvaltning för utbyggd tunnelbana
STOCKHOLMS LÄNS LANDSTING



PM Sättningar

Bilaga C7.1
Kolvprovtagningar
Sida 2 av 3

Miljöprövning för tunnelbana från Akalla till Barkarby Station

Planritning.
Punkter: B452, B603, 14T19, 14T09, 12CW63B, 14RT055, 14RT061, samt 14RT057

Datum: 2015-11-27
Skala (A3): 1:5 000

0 40 80 120 160 200 m

© Lantmäteriet, Geodatasamverkan

© Open Stockholm

Teckenförklaring

- Kolvprovtagningar
- Delområden sättning
- Influensområde
- Tunnelbaneuppgång
- Föreslagen spårsträckning
- Berg
- Lera
- Morän
- Organisk jord
- Sten, grus och sand
- Växellagring

Förvaltning för utbyggd tunnelbana
STOCKHOLMS LÄNS LANDSTING

PM Sättningar

Bilaga C7.1
Kolvprovtagningar
Sida 3 av 3

Miljöprövning för tunnelbana från Akalla till Barkarby Station

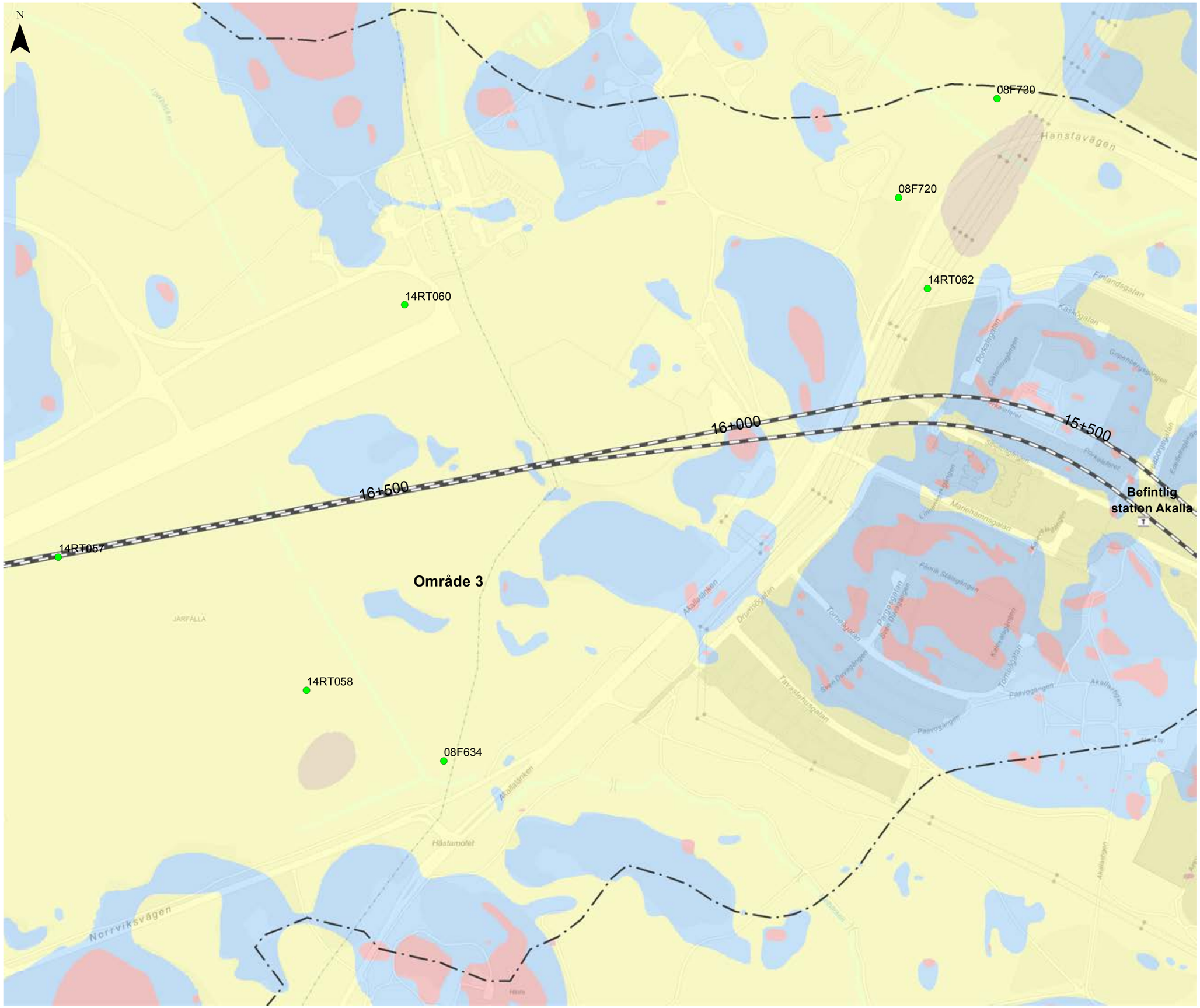
Planritning.
Punkter: 14RT060, 14RT062, 08F720, 08F730, 14RT057, 14RT058 samt 08F634

Datum: 2015-11-27
Skala (A3): 1:5 000

0 40 80 120 160 200 m

© Lantmäteriet, Geodatasamverkan

© Open Stockholm



Teckenförklaring

- Kolvprovtagningar
- Delområden sättning
- Influensområde
- Tunnelbaneuppgång
- Föreslagen spårsträckning
- Berg
- Lera
- Morän
- Organisk jord
- Sten, grus och sand
- Växellagring

Förvaltning för utbyggd tunnelbana
STOCKHOLMS LÄNS LANDSTING