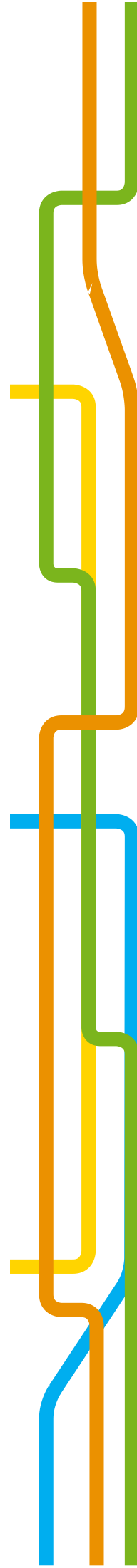


Miljöprövning för tunnelbana till Arenastaden

Bilaga C

PM hydrogeologi



PM Hydrogeologi

Bilaga C

Miljöprövning för tunnelbana till Arenastaden

Titel: PM Hydrogeologi

Konsult: WSP och Kemakta Konsult AB

Författare: Håkan Svensson

Projektledare: Malin Harders

Bilder & illustrationer: WSP, Kemakta och SLL om inget annat anges

Dokumentid: 3140-M35-22-01004

Diarienummer: FUT 2016-0025

Utgivningsdatum: 2017-01-18

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	5
1.1	Planerad vattenverksamhet	5
1.2	Avgränsningar	6
1.3	Frågeställningar	7
1.4	Utredningsmetodik grundvatten	7
1.4.1	Framtagande av utredningsområde	7
1.4.2	Kartläggning av värden samt geologiska och hydrogeologiska egenskaper	8
1.4.3	Framtagande av influensområde	10
1.4.4	Identifiering av känsliga objekt	10
1.4.5	Bedömning av grundvattenpåverkan	11
1.4.6	Framtagande av skadeförebyggande åtgärder	13
1.5	Definitioner och begrepp	14
2	Underlagsmaterial	16
2.1	Inventeringar	16
2.2	Geotekniska, geologiska och hydrogeologiska fältarbeten	16
3	Beskrivning av området	17
3.1	Översiktlig beskrivning	17
3.2	Ytvatten	17
3.3	Berggrund	19
3.4	Jordlager	30
3.4.1	Geotekniska förhållanden	34
3.5	Grundvatten	35
3.6	Vattenbalans och objekt som påverkar vattenbalansen	55
3.6.1	Klimatologi och grundvattenbildning	55
3.6.2	Markanvändning	56
3.6.3	Objekt som påverkar vattenbalansen	57
3.6.4	Vattenbalans	62
3.7	Känsliga objekt/områden	64
3.7.1	Byggnader och anläggningar	64
3.7.2	Energibrunnar	65
3.7.3	Natur- och kulturmiljöer	66
3.7.4	Föroreningar	70
3.7.5	Grundvattenkvalitet	73
3.7.6	Sammanfattning av föroreningssituationen	76
4	Påverkan på vattenmiljön	77
4.1	Influensområde	77
4.2	Bedömning av inläckage	79
4.3	Bedömning av grundvattennivåsänkning med och utan infiltration	82
4.3.1	Översikt av anläggning	82
4.3.2	Känslig grundläggning inom influensområdet	83

4.3.3	Grundvatten i berg	84
4.3.4	Grundvatten i jord.....	85
4.4	Ytvatten.....	91
4.5	Vattenkvalitet.....	91
5	Skyddsinfiltration.....	92
6	Referenser	97
6.1	Framtagna underlagsdokument	97
6.2	Övriga referenser	97

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 C5.1	Sättningskänsliga objekt
Bilaga C6	Hydrogeologiska beräkningar
Bilaga C7	PM sättningar
Bilaga C7.1	Översiktskartor med lägen för provtagningspunkter
Bilaga C8	PM Föroreningar

1 Inledning

Staten, Stockholms läns landsting (SLL), Stockholms stad, Nacka kommun, Solna stad och Järfälla kommun har utifrån den så kallade 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 Odenplan till Arenastaden.

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 infiltrationen av vatten till grundvattenmagasinen.

Den nya tunnelbanan till Arenastaden (Gula linjen) utgörs av cirka fyra 4 kilometer långa spårtunnlar under mark mellan Odenplan och Arenastaden. Gula linjen blir en ny avgrening av befintligt grön linje. Avgreningen blir mellan S.t Eriksplan och Odenplan. Längs sträckningen byggs tre underjordiska tunnelbanestationer; Hagastaden, Hagalunds industriområde och Arenastaden. Spårtunneln med tillhörande anläggningsdelar kommer i huvudsak att vara förlagd i berg förutom, stationsdelar vid Hagastaden, Hagalunds industriområde och Arenastaden samt ventilations- och utrymningsschakt.

1.1 Planerad vattenverksamhet

Eftersom stora delar av anläggningen är belägen i berg, under grundvattenytan, kommer tunnelbanan att 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 vattenverksamheten enligt kapitel 11 miljöbalken.

Huvudtunneln består av dels två enkelspårstunnlar på sträckan Odenplan och Hagastaden och dels av en dubbelspårstunnel på sträckan Hagastaden till Arenastaden. Enkelspårstunnlarna mellan Odenplan och Hagastaden består av en norrgående tunnel som är cirka 960 meter lång och en södergående tunnel som är cirka 620 meter lång. Respektive enkelspårstunnel har en bredd av cirka 5,6 m. Dubbelspårstunneln mellan Hagastaden och Arenastaden är cirka 1950 meter lång. Dubbelspårstunneln har en bredd av 10,5 meter.

Station Hagastaden är cirka 350 meter lång, station Hagalunds industriområde är cirka 380 meter lång och station Arenastaden är cirka 360 meter lång.

Mellan station Hagastaden och station Arenastaden byggs även en cirka 2100 meter lång servicetunnel som är förlagd väster om dubbelspårtunneln. Servicetunneln har en bredd av cirka 3,8 m.

Totalt planeras byggnation av tre arbetstunnlar vid station Hagastaden, station Hagalunds industriområde och station Arenastaden. Arbetstunneln vid Arenastaden kommer att permanentas och under drifttiden övergå till att fungera som servicetunnel. Arbetstunneln vid station Hagalunds industriområde liksom en förgrening av arbetstunneln från Norra Station vid Hagastaden kommer troligtvis att fyllas igen och förslutas efter byggtiden.

Arbetstunnel för byggnation av Hagastadens station samt servicetunnel förgrenar sig i två grenar varav den ena mynnar i arbetstunnel Norra Station för Citybanan och den andra i den befintliga tillfartstunneln Tomtebodavägen för Citybanan. Förgreningen till arbetstunnel Norra Station har en beräknad tunnellängd på cirka 550 meter. Tunneln förläggs med lutning så att en passage under Citybanan möjliggörs. Förgreningen till befintlig tillfartstunnel Tomtebodavägen har en total längd av cirka 200 meter.

Längden av arbetstunneln vid Hagalunds industriområde uppgår till cirka 315 meter. Arbetstunneln kommer även ha en förgrening, cirka 210 meter, som tillgodoser möjligheten att ansluta med arbetstunnlar till rulltrapsschakt. För byggnationen av Arenastadens station samt servicetunnel anläggs en arbetstunnel med en tunnellängd som uppgår till cirka 320 meter. Arbetstunnlarna har en bredd av 5,5 meter och höjd på 6,5 meter.

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, tvärtunnlar och utrymningstunnlar – bortledning av grundvatten under bygg- och drifttid
- Stationer (Hagastaden, Hagalunds industriområde och Arenastaden)
- Arbetstunnlar – bortledning av grundvatten under bygg- och drifttid
- Schakt för uppgångar vid stationer, för ventilation med mera – bortledning av grundvatten vid jord- och bergschakt (under byggtid)
- Skyddsåtgärd vid risk för skadlig grundvattensänkning – infiltration

Infiltration kan bli aktuellt i samband med schakt i jord och inom områden med objekt som kan påverkas negativt till följd av förutsedd grundvattenbortledning. Skyddsinfiltration planeras att utföras vid behov, huvudsakligen under byggtiden, men kan vid speciellt känsliga områden även införas permanent under drifttiden. Exakta utformningar och placering av dessa anläggningar kommer att definieras i ett senare skede.

Inläckande grundvatten till bergtunnlarna och arbetsschakten kommer under byggtiden att samlas upp i tillfälliga pumpgropar, tillsammans med processvatten och nederbörd. Tillsammans benämns detta vatten länshållningsvatten.

Under drifttiden kommer det inläckande grundvattnet att hanteras i en pumpstation med reningsfunktion, en så kallad VA-station, innan det pumpas ut till dagvattenledning och vidare mot recipient där så är möjligt. VA-stationen placeras i någon av tunnelns lågpunkter dit allt inläckande grundvatten rinner.

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

Att leda bort grundvatten innebär att grundvattennivåer i jord och berg sjunker i tunnarnas 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. Vidare kan förändrad strömningsbild påverka mobilisering av föroreningar.

1.4 Utredningsmetodik grundvatten

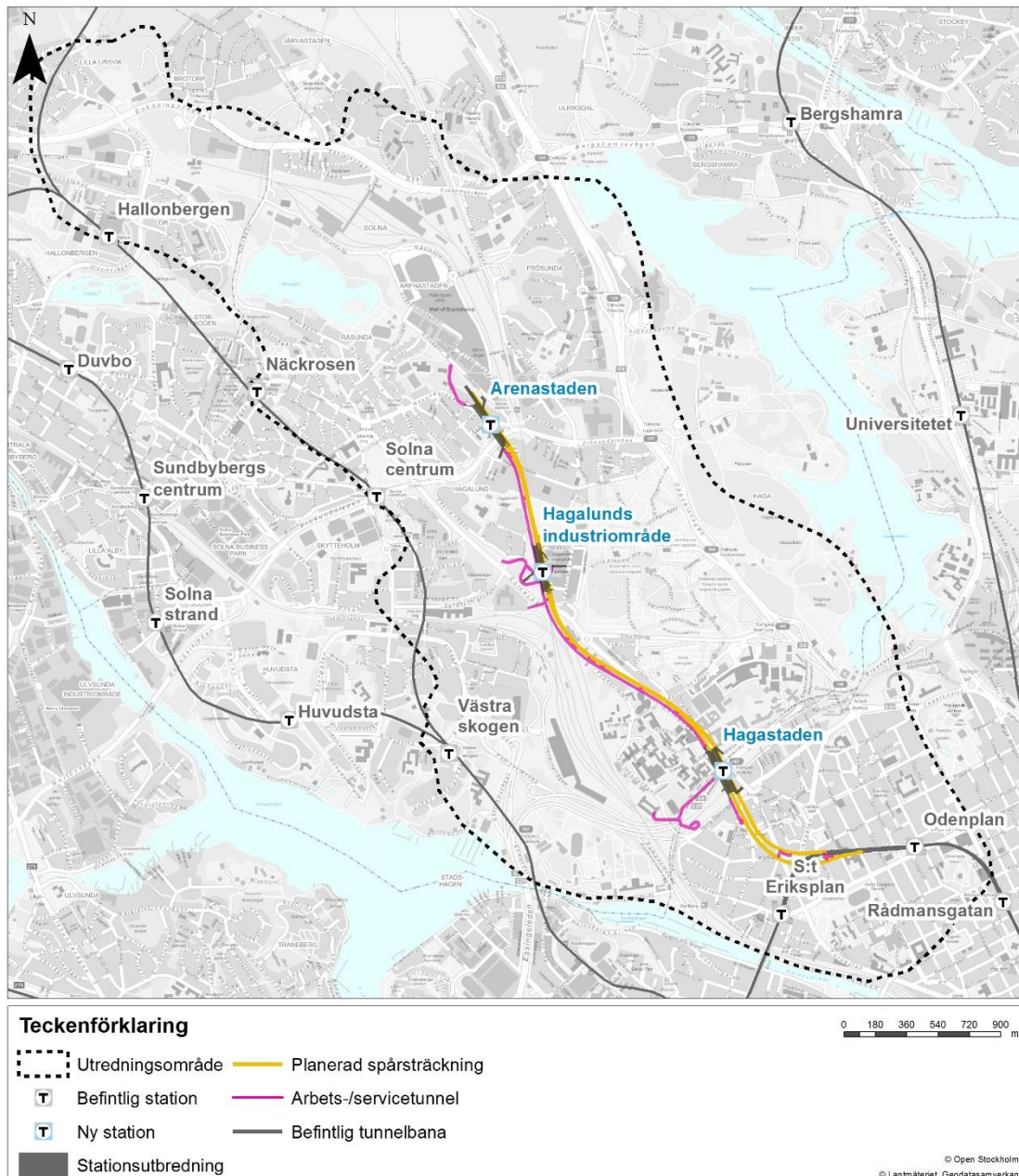
SLL har tagit fram en utredningsmetodik rörande grundvatten, som gäller både utredningar som görs för tillståndsansökan och hantering av risk för skador under byggtid och drifttid. Arbetets olika steg beskrivs nedan.

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 1.

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 1. Översikt av utredningsområdet för Gul linjes sträckning.

1.4.2 Kartläggning av värden samt 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 bland annat karterat bergarter, samt större svaghetszoner. Den byggnadsgeologiska kartan redovisar större svaghetszoner i Stockholm. Dessutom har information angående närliggande tunnlar inhämtats från tunnelägare, exempelvis vad avser tunnelarnas läge, geologi och hur mycket grundvatten som läcker in i tunnelarna.

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 följande borrhningar och tester utförts:

- Jordbergsonderingar för att klarlägga bergytans läge. Har framför allt betydelse för att säkerställa att tunnarna har erforderlig bergtäckning.
- Kärnborrhning och kartering av upptagna borrhkärnor 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. Denna typ av magasin kallas i fortsättningen undre grundvattenmagasin. Dessutom förekommer det ofta grundvatten i fyllningsmassor ovanpå lera. Denna typ av 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 borrhningar, samt genom att utföra nya sonderingsborrhningar.
- Grundvattennivåer har mätts i grundvattenobservationsrör. Utifrån grundvattenmätningarna har grundvattnets flödesriktning och grundvattendelare bestämts.
- 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 arealavgränsning vid beräkning av vattenbalanser.

1.4.2.3 Föroreningar

En övergripande inventering av potentiellt förorenade områden har gjorts baserat på länsstyrelsens MIFO-databas (Metodik för inventering av förorenade områden). 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 sättningkänslighet utretts. Det har gjorts genom att identifiera områden med lera och undersöka leran:

- Tidigare sonderingsborrhningar 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 sonderingsborrhningar 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 propumpningar 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,
- 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 brunnsborrhare är skyldiga att rapportera utförda borrhningar 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 influensområdet för grundvatten 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 respektive kommuns 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 för 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"
- Föroreningar vars mobilitet kan påverkas, men där påverkan är begränsad till en större gradient (och därmed ökad strömningshastighet för grundvattnet) har fått klassningen "mellanrisk"
- 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 bedömningarna av hur grundvattnet kan påverkas vid byggande 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 borrhningar.
- 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 områdets sättningsskänslighet dragits.

1.4.5.2 Bedömning 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 principer använts:

- Vid beräkningar har hänsyn tagits till de osäkerheter som föreligger med avseende på bergets heterogenitet och utfall av planerad tätning av tunnlar. Konservativa parameterintervall har gjorts för att inte underskatta storleken på inläckaget.
- Berggrundens vattenförande förmåga har undersökts genom sammanställning av inläckage till befintliga tunnlar, analys av ett stort antal bergborrade brunnar samt vattenförlustmätningar.
- Grundvattenbildningen har i beräkningarna bestämts med en metod som tar hänsyn till att grundvattenbildningen kan öka om grundvattennivån sjunker samt att grundvattenbildningen ökar vid utförande av infiltration. Det beror på att grundvattenbildningen ökar om grundvattennivån sjunker samt att grundvattentillgången kommer att öka vid utförande av infiltration.
- Erfarenheter från inläckage till andra berganläggningar som byggts i likartad geologisk miljö och med likartade byggmetoder utgör kompletterande underlag för bedömningen.

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. Med avseende på att principiell byggmetod för öppna schakter är att schakt sker inom tätspond, kan inläckaget förutses bli litet och kortvarigt under byggtiden.

1.4.5.3 Beräkning av grundvattennivåsänkningar

Numerisk analys har utgjort basen för beräkningarna då analytisk teori svårigen kan hantera komplexa tunnelgeometrier (multipla parallella anläggningar) och inte kan ta hänsyn till att grundvattenytan ovan en dränerande tunnel kan sänkas av som följd av inläckage till densamma. Avsänkning av grundvattenytan ovanför en otät tunnel medför att inläckaget minskar då tryckgradienten från grundvattenytan mot tunnelcentrum minskar. Således används numeriska modeller för studie av trycksänkning kring otät tunnel i berg vid olika inläckage. Dessa beräkningar har utgjort stöd vid avgränsning av influensområde för tunnelbana till Arenastaden.

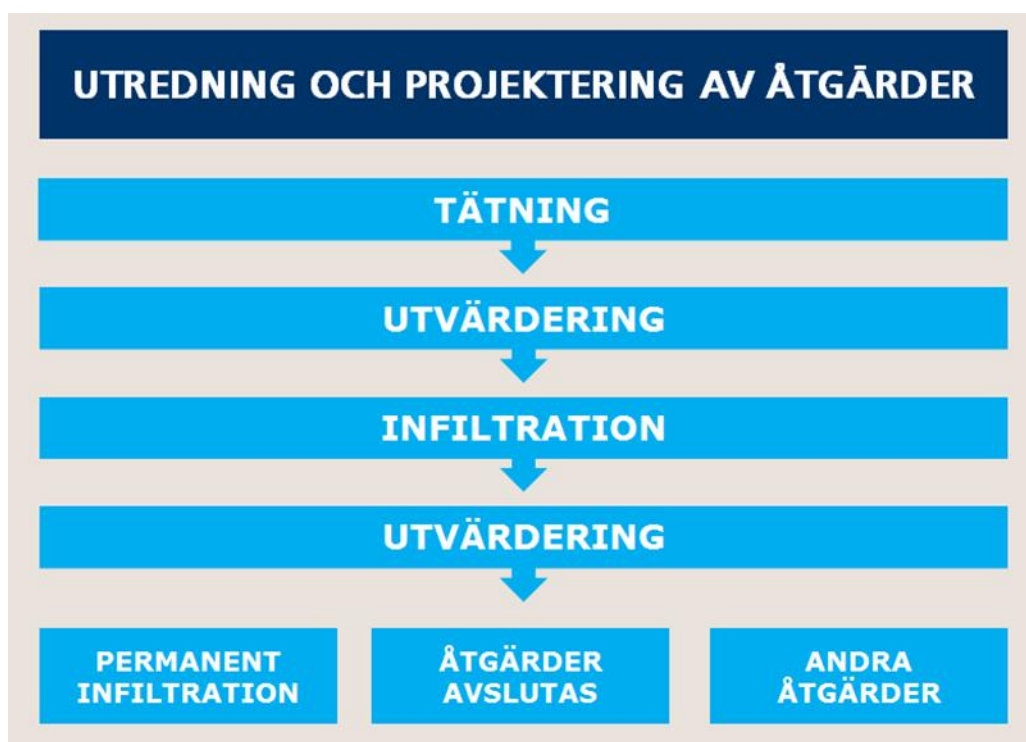
Tunnlar i modellerna simuleras som högkonduktiva strukturer omgivna av en tät zon (injekteringszon). Den högkonduktiva strukturen dräneras ner till tunnelcentrum skapande en

trycksänkning som driver inläckaget genom injekteringszonen. Tunnlar simuleras med ekvivalenta areor och inbördes avstånd som överensstämmer med planerade anläggningar.

Numeriska beräkningar har utförts av inläckage, influensområde och grundvattennivåsänkning. Beräkningar genomförs för avgränsade områden, till exempel där bergtunnelavsnitt passerar under grundvattenmagasin i jord eller genom sprickzoner i berg. En samlad bedömning för hela området görs sedan baserad på de enskilda grundvattenmagasinens utbredning. I den samlade bedömningen ingår kunskap om områdenas jord- och bergförhållanden samt erfarenheter från andra tunnelprojekt i området.

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 sammanfattas i figur 2.



Figur 2. Arbetsgången för hantering av skadeförebyggande åtgärder

I denna PM Hydrogeologi beskrivs förväntade inläckage med angivna tätningmetoder, i huvudsak förinjektering. Vidare beskrivs förutsättningarna för infiltration, samt förväntad effekt av infiltrationen. Målsättningen med valda tätningmetoder 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 vattenförande egenskaper och tätningresultat har genomförts (Bilaga C6) som underlag för att bedöma inläckage och tätning åtgärdernas (förinjekterings) effekt på inläckage och

grundvattennivåsänkningar. Utifrån dessa resultat har områden där skyddsinfiltration kan komma att bli aktuellt identifierats.

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 grundvattennivåer 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 borrarde 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).
Sättningsbenägen 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	Tiden från och med tidpunkten då den tillståndsgivna grundvattenbortledningen påbörjas till och med tidpunkten för godkänd slutbesiktning av tunnelanläggningen. SLL ska underrätta mark- och miljödomstolen och tillsynsmyndigheten om när godkänd slutbesiktning föreligger
Drifttid	Tiden efter byggtidens utgång.
Influensområde grundvatten	Område inom vilket det kan uppkomma grundvattenpåverkan till följd av vattenverksamheten.

2 Underlagsmaterial

2.1 Inventeringar

Följande inventeringar har genomförts:

- Inventering av husgrundläggningar inom utredningsområdet.
- Inventering av brunnar (SGUs brunnssdatabas och Stockholms, Solna och Sundbybergs kommuns arkiv).
- Inventering av undermarksanläggningar.
- Inventering av tidigare utförda borrhningar i jord och berg.
- Inventering av befintliga grundvattenobservationsrör.
- Inventering av potentiellt förorenade områden.

Vidare har genomgång gjorts av följande tidigare utredningar:

- Tunnelbana Odenplan-Karolinska, Inledande miljöbedömning – underlag till förstudie, 2008.
- Karolinskagrenen, Systemhandling, Utredning – Hydrogeologi, 2009.
- Citybanan, Spårtunnel Tomtebodan – Riddarholmen, Vattenverksamhet, PM Geohydrologi, 2007.
- Intunnling av E4/E20 och Värtabanan, vattenverksamhet, PM Hydrogeologi, 2010
- Arenastaden, Geohydrologisk utredning, 2009.
- Utredningar framtagna i samband med projektering av Nya Karolinska sjukhuset.

2.2 Geotekniska, geologiska och hydrogeologiska fältarbeten

Inom pågående uppdrag för byggandet av tunnelbana till Arenastaden har följande undersökningar utförts:

- Geotekniska undersökningar för att utreda jordlagerföljder samt kunskapen om jordlagerföljers egenskaper.
- Geotekniska undersökningar har utförts för att komplettera kunskapen om bergnivån.
- Geotekniska undersökningar och sättningsberäkningar för att bestämma sättningsbenägenhet.
- Installation av grundvattenrör i undre och övre grundvattenmagasin för att utreda grundvattensituationen inom området.
- Provpumpningar och pulstester i undre magasin i jord för att utreda det undre magasinets hydrauliska egenskaper.

- Vattenförlustmätningar i kärnborrhål för att utreda bergets vattenförande egenskaper.
- Provtagning och analys av grundvatten för att utreda förekomst av föroreningar samt kemisk sammansättning.
- Grundvattennivåmätningar.
- Sättningsmätningar.
- Inventering av brunnar.

3 Beskrivning av området

3.1 Översiktlig beskrivning

Spårtunneln med tillhörande anläggningsdelar kommer i huvudsak att vara förlagd i berg förutom vid stationerna vid Arenastaden, Hagalunds industriområde och Hagastaden samt vissa uppgångar och ventilationsschakt där anläggningen kommer att utgöras av betongkonstruktioner förlagda i jord. Vidare kommer även en del av påslagen till arbetstunnlarna att utgöras av betongkonstruktioner förlagda i jord.

Omfattningen på projektet som beskrivs i föreliggande PM begränsas av ett utredningsområde. Inom utredningsområdet utreds hydrogeologiska, geologiska och geotekniska förhållanden för att kunna bedöma tunnelbana till Arenastadens influensområde.

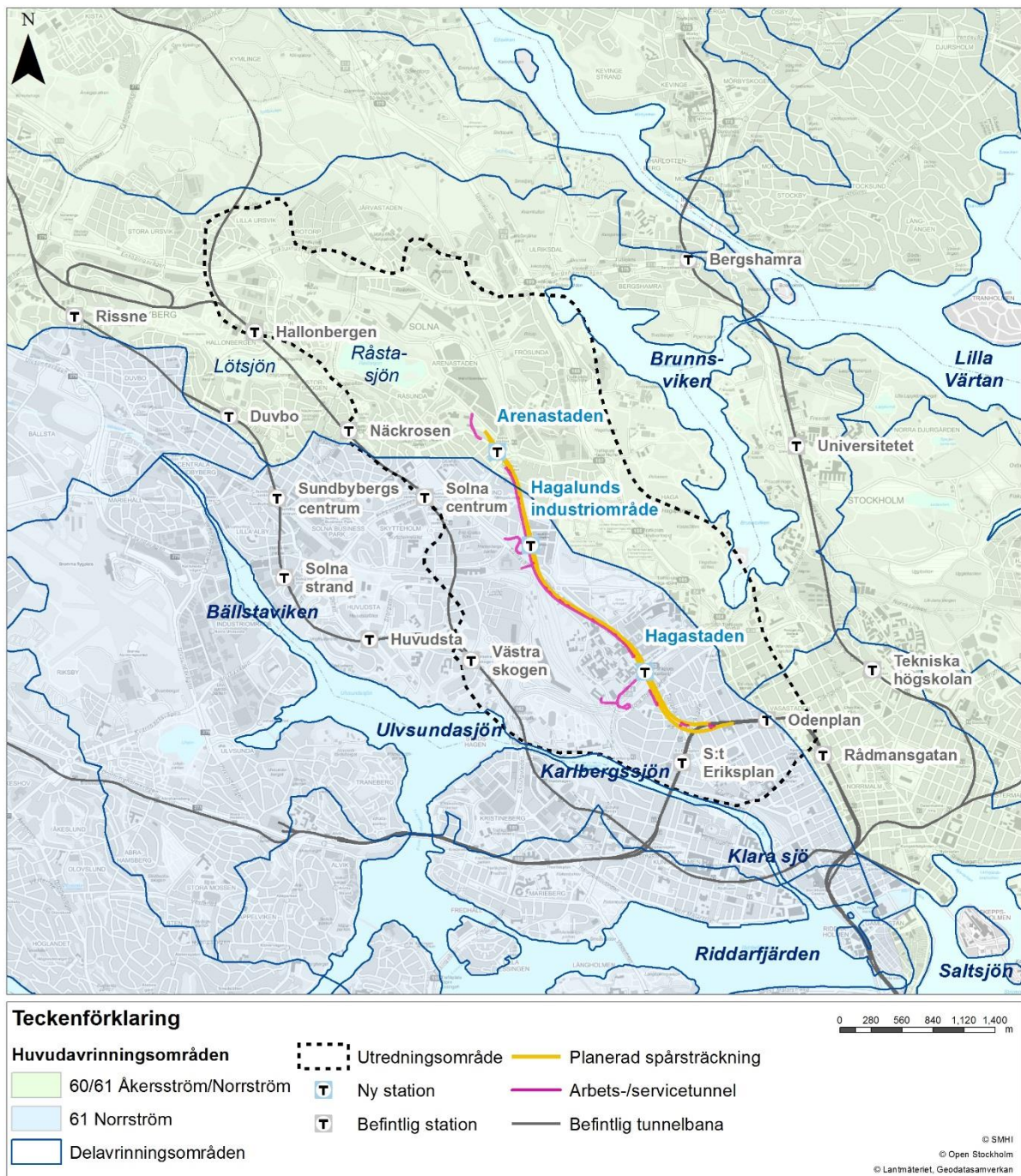
I föreliggande kapitel redovisas översiktligt områdets topografi, geologi och hydrologi.

Området för tunnelbana till Arenastadens sträckning har varierande topografi. Uppstickande bergshöjder i Vasastaden och Karolinska området kan nå upp till drygt +30 medan marknivån vid Norra station ligger på nivå cirka +10 till +15. I anslutning till de centrala delarna av Norra begravningsplatsen finns bergshöjder på cirka +36. Topografin i Hagalund är även varierande med höglänta bergsområden på drygt +30. Området kring Arenastaden domineras av slättmark på nivåer kring ett par meter upp till cirka +10.

Höjdangivelser i denna PM jämte bilagor är i rikets höjdsystem RH2000.

3.2 Ytvatten

Strömningsriktningar och avrinning bestäms av vattendelare. Generellt utgör höjdområden, som bergsryggar, vattendelare. Utredningsområdet delas in i två huvudavrinningsområden enligt SMHI där den södra delen ligger inom Norrströms huvudavrinningsområde (61 och den norra delen inom avrinningsområdet mellan Åkerström och Norrström (60/61), Figur 3. Avrinningen sker ut mot Ulvsundasjön och Mälaren i väster, Karlbergsjön i syd och Brunnsviken i öster.



Figur 3. Delavrinningsområden och huvudavrinningsområden.

Vattenstånd anges i Tabell 1. För Karlbergssjön och Ulvsundasjön gäller samma nivåer som i Mälaren.

Tabell 1. Karakteristiska vattenstånd för Brunnsviken/Saltsjön och Mälaren. Uppgifter för Mälaren är hämtade från SMHI (SMHI, 2016) och för Saltsjön från (Stockholm vatten, 2014).

		Brunnsviken/Saltsjön**	Mälaren*
HHW	Högsta högvattenstånd	+1,29	+1,42
MW	Medelvattenstånd	+0,12	+0,86
LLW	Lägsta lågvattenstånd	-0,57	+0,41

*1968-2015, **2011

I den nordvästra delen av området är Råstasjön belägen. Råstasjön är en grund lerslättsjö. Råstasjöns yta är cirka 16 hektar stort och har ett maxdjup på cirka 4 meter. Medeldjupet är cirka 2 meter. Nivån i sjön regleras med skibord kring +1,6 till +1,7 (Golder, 2009). Vid mycket extrem nederbörd, motsvarande en återkomsttid på 100 år, uppskattas sjöns nivå öka till cirka +3,0 (Solna stad, 2014).

Råstasjön avvattnas till Brunnsviken via utloppsdike. Diket är till största delen kulverterad och mynnar i norra delen av Brunnsviken.

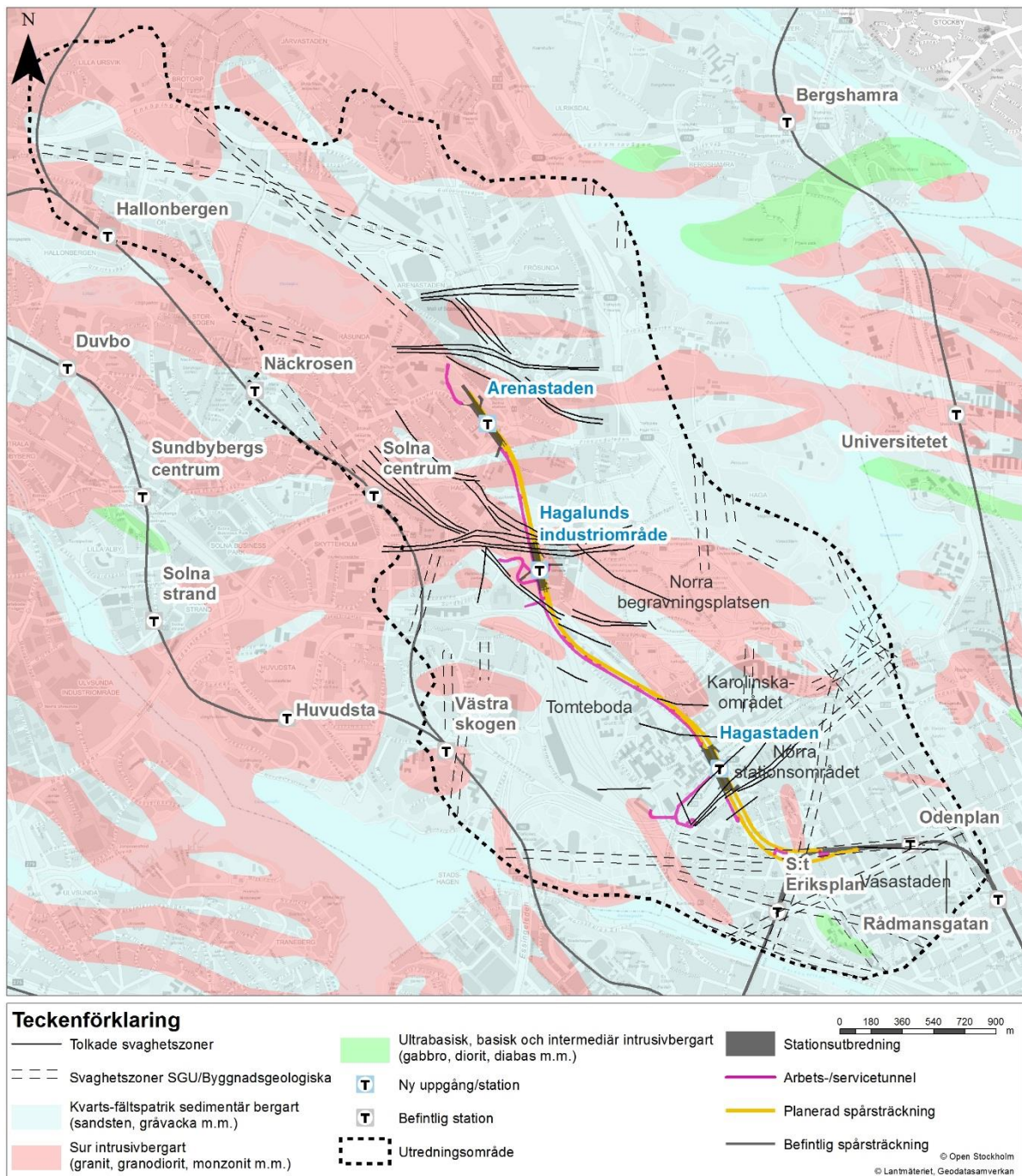
3.3 Berggrund

I detta avsnitt beskrivs bergundsgeologin längs med den planerade sträckningen för Gul linje. Beskrivningen baseras i huvudsak på undersökningar genomförda av WSP under 2014 och 2015 samt undersökningar genomförda i samband med anläggandet av Citybanan. Mer översiktlig geologisk information baseras på uppgifter från byggnadsgeologiska kartan över Stockholm och geologiskt underlag från SGU.

Berggrunden inom utredningsområdet utgörs av kristallin berggrund där bergarterna i huvudsak tillhör gnejsiga och granitiska bergarter från den Svekokarelska orogenesen.

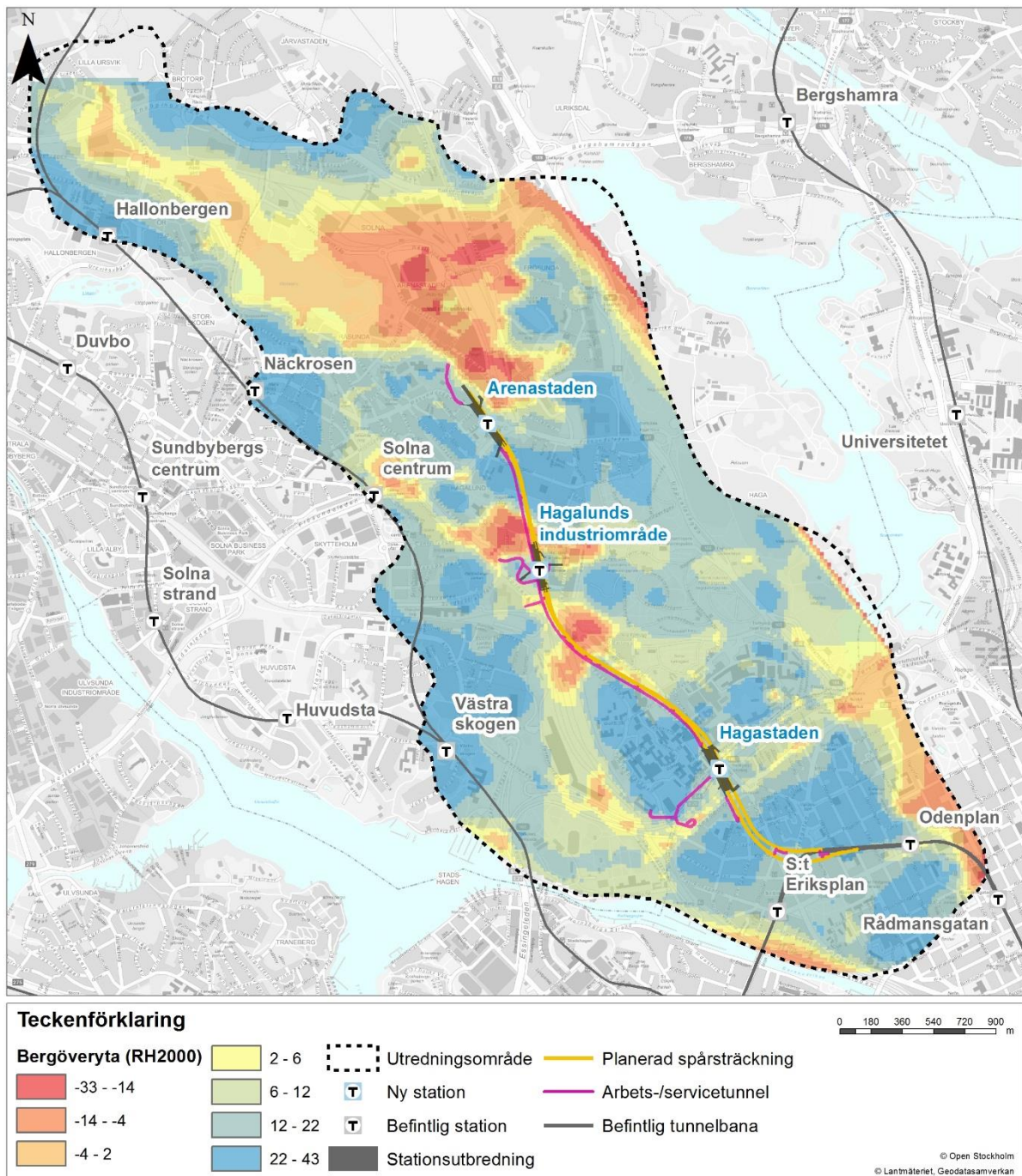
Större stråk med svaghetszoner förekommer längs med hela sträckningen. Ett stråk sträcker sig inom Odenplan i östvästlig riktning längs med Gul linjes sträckning och Karlbergsvägen. Flera stråk har identifierats längs med Norra station med orientering i nordostlig-sydvästlig riktning.

Från Norra begravningsplatsen via Hagalund till Solna centrum sträcker sig en svaghetszon i östvästlig och nordvästlig riktning som korsar Tunnelbana till Arenastaden. Kring Hagalund samt vid Frösunda och in mot Arenastaden sträcker sig ytterligare svaghetszoner i anslutning till den planerade sträckningen. I figur 4 visas var svaghetszonerna är lokaliserade.



Figur 4. Översikt av tolkade svaghetszoner och bergarter inom utredningsområdet.

Bergytans topografi varierar med större sänkor och bergsryggar. I figur 5 visas bergöverytans tolkade nivå. Längs med Tunnelbana till Arenastadens sträckning förekommer ett antal sänkor, de största sänkorna påträffas vid Arenastaden i norr, nord och syd om Norra begravningsplatsen, vid Norra station samt norr om Vasaparken. En mindre sänka förkommer även vid Odenplan.



Figur 5. Tolkad bergöveryta längs med Tunnelbana till Arenastadens sträckning.

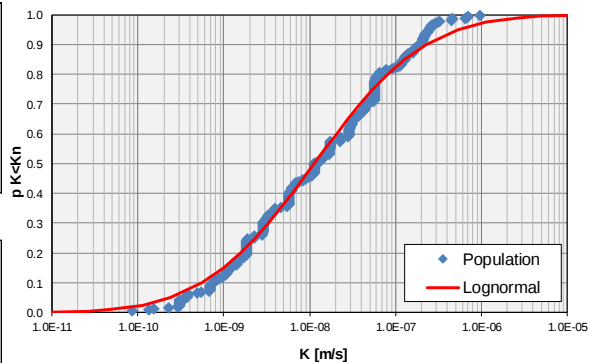
För att erhålla en övergripande bild av bergets vattenförande egenskaper inom utredningsområdet har information från SGU:s brunnarsarkiv analyserats. I brunnarsarkivet har 316 beräkningsbara brunnar påträffats inom utredningsområdet där tillräckligt med information funnits för att beräkna den hydrauliska konduktiviteten efter (Berggren, 1998). Analysen visar att populationen är (förväntat) lognormalfördelad med statistiska parametrar enligt figur 6 nedan. Det geometriska medelvärdet av den hydrauliska konduktiviteten beräknas till $K_g = 1,2 \cdot 10^{-8}$ m/s. Detta kan jämföras med motsvarande analys som utfördes inom ramen för projekt Citybanan, där det beräknades ett geometriskt medelvärde på $K_g = 3,5 \cdot 10^{-8}$ m/s (Banverket, 2007a).

Statistik för populationen

K_a	5.9E-08 m/s	Aritmetisk medelvärde
σ_K	1.1E-07 m/s	Standardavvikelse
$\mu_{\ln K}$	-18.24 ln m/s	Logmedelvärde
$\sigma_{\ln K}$	2.0	Logstandardavvikelse
K_g	1.2E-08 m/s	Geometriskt medelvärde
K_{3D}	2.4E-08 m/s	Effektiv hydraulisk konduktivitet för "stor skala" enligt Matherons förmodan: $K_{3D}=K_g \exp(\sigma_{\ln K}^2/6)$

Anpassad lognormalfördelning

$\mu_{\ln K}$	-18.30 ln m/s	Logmedelvärde
$\sigma_{\ln K}$	2.4	Logstandardavvikelse
K_g	1.1E-08 ln m/s	Geometriskt medelvärde
K_{3D}	2.8E-08 ln m/s	Effektiv hydraulisk konduktivitet för "stor skala" enligt Matherons förmodan: $K_{3D}=K_g \exp(\sigma_{\ln K}^2/6)$



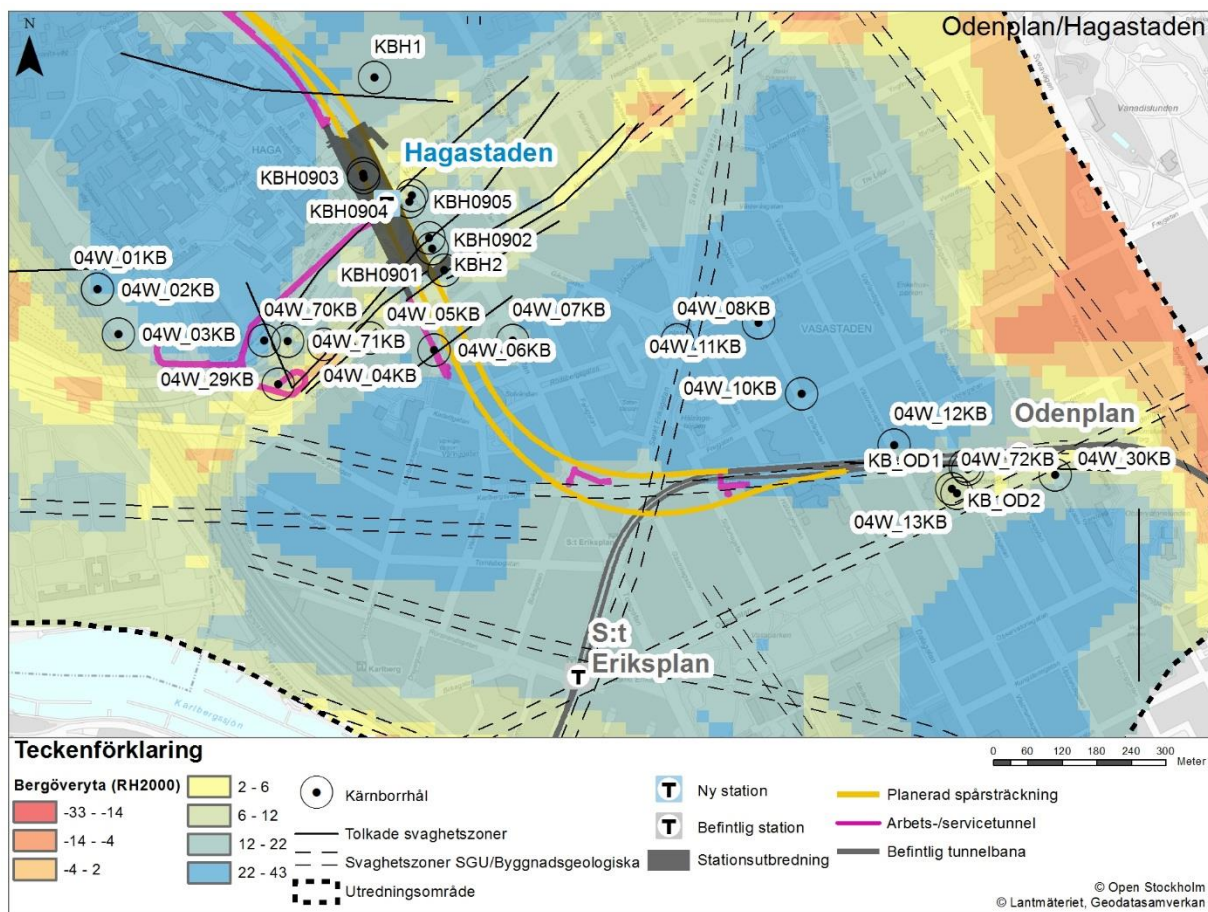
Figur 6 Kumulativ fördelning av konduktivitetsvärden inom utredningsområdet baserat på data från SGU:s brunnarkiv. K är hydraulisk konduktivitet och $p(K \leq K_i)$ är andelen data som understiger ett visst K-värde.

I en liten skala har bergets vattenförande egenskaper studerats genom analys av utförda vattenförlustmätningar, dels från äldre undersökningar och dels från tester utförda inom projektet. Dessa undersökningar är i huvudsak inriktade på att finna förmodade vattenförande strukturer genom riktade undersökningar, varför de inte är representativa för berget i större skala. Vattenförande strukturer kan förväntas i områden som pekats ut som svaghetszoner enligt SGU och i Byggnadsgeologiska kartan samt baserat på svackor i bergöverytan.

Nedan görs sammanfattande beskrivningar av identifierande av svaghetszoner baserat på undersökningar och av bergets genomsläpplighet som kan ha betydelse för hur grundvattnet påverkas kring sträckningen för Tunnelbana till Arenastaden. Beskrivningarna har delats in i fyra delområden längs med sträckningen.

Vasastaden och Odenplan

Sträckningen av svaghetszoner baseras bland annat på uppgifter från Stockholms stads byggnadsgeologiska karta, SGUs berggrundsgeologiska karta och från projekteringen av Citybanan (Banverket, 2007b). Inom Vasastaden och Odenplan sträcker sig svaghetszoner från Odenplan och vidare i västligt riktning längs med Odengatan respektive Karlbergsvägen och således även parallellt längs med Tunnelbana till Arenastadens sträckning.



Figur 7 Översikt av bergborrhål, svaghetszoner och bergöveryta inom området Odenplan, Vasastan och Hagastaden.

Bergets hydrogeologiska egenskaper har undersökts genom vattenförlustmätningar i tretton borrhål inom området Vasastan och Odenplan, se Figur 7.

Vid projekteringen av Citybanan utfördes vattenförlustmätningar i kärnborrhål inom området. Baserat på framräknade konduktivitetsdata för enskilda sektioner bestämdes det geometriska medelvärdet (K_g) för hela borrhålet, Tabell 2.

Tabell 2 Kärnborrhål inom Odenplan och Vasastan med tolkningar av största hydrauliska konduktivitet för en enskild mätsektion i respektive borrhål ($K_{\max}$). Vidare redovisas det geometriska medelvärdet (K_g) av den hydrauliska konduktiviteten för hela testlängden i varje kärnborrhål (Banverket, 2007b).

Kärn- borrhål	Testad borrhåls- längd (m)	Total antal sektioner	Tolkningar och största K-värde ($K_{\max}$)	K_g (m/s)
o4W_10KB	3	1	En sektion med tolkad konduktivitet på $K=2,7 \cdot 10^{-7}$ m/s.	-
o4W_11KB	72	24	Ingen mätbar vattenförlust.	-
o4W_12KB	39	13	En sektion med tolkad konduktivitet på $K_{\max}=5,7 \cdot 10^{-7}$ m/s. Övriga sektioner ingen mätbar vattenförlust.	-
o4W_13KB	24	8	Fem sektioner med tolkad konduktivitet där $K_{\max}=2,8 \cdot 10^{-6}$ m/s. Övriga sektioner ingen mätbar vattenförlust.	$1,3 \cdot 10^{-7}$
o4W_72KB	11	4	En sektion med tolkad konduktivitet på $K=4,4 \cdot 10^{-8}$ m/s. Övriga sektioner ingen mätbar vattenförlust.	-
KB_OD1	76	27	Nio sektioner med tolkad konduktivitet där $K_{\max}=1,3 \cdot 10^{-6}$ m/s. Övriga sektioner ingen mätbar vattenförlust.	$1,0 \cdot 10^{-7}$
KB_OD2	45	16	En sektion med tolkad konduktivitet på $K=2 \cdot 10^{-7}$ m/s. Övriga sektioner ingen mätbar vattenförlust.	-
o4W_30KB	27	9	Fyra sektioner med tolkad konduktivitet där $K_{\max}=6,1 \cdot 10^{-6}$ m/s. Övriga sektioner ingen mätbar vattenförlust.	$2,0 \cdot 10^{-7}$
o4W_04KB	65	21	14 sektioner med tolkad konduktivitet där $K_{\max}=5,8 \cdot 10^{-6}$ m/s. Övriga sektioner ingen mätbar vattenförlust.	$4,0 \cdot 10^{-8}$
o4W_05KB	36	12	Fem sektioner med tolkad konduktivitet där $K_{\max}=7,8 \cdot 10^{-7}$ m/s. Övriga sektioner ingen mätbar vattenförlust.	$1,0 \cdot 10^{-8}$
o4W_29KB	12	4	Fyra sektioner med tolkad konduktivitet där $K_{\max}=3,6 \cdot 10^{-6}$ m/s.	$4,0 \cdot 10^{-7}$
o4W_06KB	24	8	Fem sektioner med tolkad konduktivitet där $K_{\max}=1 \cdot 10^{-6}$ m/s. Övriga sektioner ingen mätbar vattenförlust	$1,6 \cdot 10^{-8}$
o4W_07KB	72	24	Nio sektioner med tolkad konduktivitet där $K_{\max}=3,6 \cdot 10^{-6}$ m/s. Övriga sektioner ingen mätbar vattenförlust.	$1,0 \cdot 10^{-8}$

Mätningar utfördes i tre kärnborrhål vid Odenplan i syfte att undersöka den svaghetszon som sträcker längs Karlbergvägen. I samtliga borrhål (o4W_12KB, o4W_72KB och KB_OD2) mättes inga eller endast ett fåtal vattenförande sektioner. Därför har inga genomsnittliga hydrauliska konduktivitetsvärden uttolkats för kärnborrhålen i sin helhet. Mellan kärnborrhålen varierar den högsta konduktiviteten ($K_{\max}$) för enskilda 3-meterssektioner mellan $K=4 \cdot 10^{-8}$ till $K=6 \cdot 10^{-7}$ m/s. Dock bedöms inte kärnborrhålen ha nått den sökta zonen fullt ut.

I syfte att undersöka eventuella svaghetszoner som sträcker längs Torsgatan utfördes vattenförlustmätningar i kärnborrhål o4W_07KB. Undersökningen indikerade inte förekomst av någon struktur med stor vattengenomsläpplighet. Maximalt tolkad hydraulisk konduktivitet för en enskild sektion var $4 \cdot 10^{-6}$ m/s medan det geometriska medelvärdet bestämdes till $K_g=1 \cdot 10^{-8}$ m/s.

Dock ligger kärnborrhålet cirka 200 meter norr om zonens skärning med Tunnelbana till Arenastaden (Banverket, 2007b).

Norra Station och Karolinska området (Hagastaden)

Enligt byggnadsgeologiska kartan löper svaghetszoner parallellt längs med sydöstra delen av dalgången vid Norra stationsområdet. Detta område undersöktes i samband med framtagande av underlag till systemhandling för Tunnelbana Karolinska grenen som genomfördes under 2008 och 2009 (Sweco, 2008 och Vectura, 2009)

Ytterligare svaghetszoner längs dalgången bekräftas av undersökningar utförda under 2014 inom ramen för projekteringen av Tunnelbana till Arenastaden.

Baserat på utredningar utförda inom ramen för Citybanan har tre större grupper av spricksystem identifierats. Den mest dominanta är en nästan horisontellt orienterad sprickgrupp som bedöms utgöras av så kallade bankningsplan, det vill säga sprickor orsakade av spänningsförändringar i berget i samband med avsmältning av inlandsisen. Den andra gruppen utgörs av en vertikalt stupande sprickgrupp längs södra sidan dalgången vid Norra station som väl sammanfaller med den zon som redovisats i den byggnadsgeologiska kartan. En tredje grupp är en östvästlig brant stupande sprickgrupp där de flesta sprickorna är öppna (Vägverket och Stockholm stad, 2010).

Bergets vattenförande förmåga i Norra stationsområdet har undersökts med hydrauliska undersökningar i kärnborrhål. Som underlag till systemhandling för Tunnelbana Karolinska grenen genomfördes under 2008 och 2009 ett flertal kärnborrhål (Sweco, 2008 och Vectura, 2009). Vattenförlustmätningar genomfördes i sex kärnborrhål i anslutning till sträckningen av Tunnelbana till Arenastaden väster om Solnabron (KBH2, KBH 0901, KBH 0902, KBH 0903, KBH 0904 och KBH 0905), se Figur 7. Vattenförlustmätningarna utfördes i tremetersektioner där mätningar genomfördes vid flera trycknivåer. Analys av de utförda vattenförlustmätningarna har gjorts där hydraulisk konduktivitet för enskilda tremetersektioner tolkats samt att det geometriska medelvärdet beräknats för hela borrhålslängden [1], se Tabell 3.

Vattenförlustmätningarna har utförts som flerstegstester med varierande vattentryck där det första steget med lägst tryck bedöms vara mest representativt för bergets ostörda hydrauliska konduktivitet. Mellan kärnborrhålen varierar den maximala konduktiviteten för enskilda 3-metersektioner mellan $K_{\max}=8 \cdot 10^{-7}$ till $K_{\max}=8 \cdot 10^{-6}$ m/s. I större skala finns en tendens för kristallint berg att konduktiviteten avtar med djupet. Detta kan förklaras av att sprickor ofta har mindre sprickvidd på grund av ökade bergspänningar med ökat djup. Resultaten från de tolkade konduktiviteterna vid Norra station visar dock inget sådant avtagande utan genomsläppliga zoner förekommer längs med hela borrhålsängderna, det vill säga inom bergets översta 40 m. Detta förklaras förmodligen med att det finns en i området dominerande vertikal svaghetszon. Vidare konstateras, baserat på resultatet från utvärderingen av mätningarna, att höga K-värden ($>4 \cdot 10^{-6}$ m/s) är underskattningar. Detta beror vanligen på att man inte klarat av att upprätthålla rapporterat tryck i testsektionen vid stora vattenförluster. Det vill säga K-värdet underskattas vid stora vattenförluster om man räknar med rapporterat tryck.

Tabell 3 Kärnborrhål inom Norra station med tolkningar av största hydrauliska konduktivitet för en enskild mätsektion i respektive borrhål ($K_{\max}$). Vidare redovisas medelvärdet (K_g) av den hydrauliska konduktiviteten för hela testlängden i varje kärnborrhål [1].

Kärn-borrhål	Testad borrhåls-längd (m)	Totalt antal sektioner	Tolkningar och största K-värde ($K_{\max}$)	K_g (m/s)
KBH1	15	6	Fyra sektioner med tolkad konduktivitet där $K_{\max}=1\cdot 10^{-5}$ m/s. Övriga två sektioner ingen mätbar vattenförlust ($K<1\cdot 10^{-7}$ m/s).	$5\cdot 10^{-7}$
KBH2	43	15	Sex sektioner med tolkad konduktivitet där $K_{\max}=8\cdot 10^{-7}$ m/s. Övriga nio sektioner ingen mätbar vattenförlust ($K<9\cdot 10^{-9}$ m/s).	$1,9\cdot 10^{-8}$
KBH0901	68	23	21 sektioner med tolkad konduktivitet där $K_{\max}=8\cdot 10^{-7}$ m/s. Två sektioner ingen mätbar vattenförlust. ($K<9\cdot 10^{-9}$ m/s).	$1,2\cdot 10^{-7}$
KBH0902	38	14	Tolv sektioner med tolkad konduktivitet där $K_{\max}=5\cdot 10^{-6}$ m/s. Två sektioner ingen mätbar vattenförlust. ($K<9\cdot 10^{-9}$ m/s).	$6,2\cdot 10^{-7}$
KBH0903	42	15	Tre sektioner med tolkad konduktivitet där $K_{\max}=8\cdot 10^{-6}$ m/s. Övriga tolv sektioner ingen mätbar vattenförlust. ($K<2\cdot 10^{-8}$ m/s).	-
KBH0904	36	14	Nio sektioner med tolkad konduktivitet där $K_{\max}=8\cdot 10^{-6}$ m/s. Övriga fem sektioner ingen mätbar vattenförlust. ($K<2\cdot 10^{-8}$ m/s).	$1,0\cdot 10^{-7}$
KBH0905	32	11	Fyra sektioner med tolkad konduktivitet där $K_{\max}=8\cdot 10^{-7}$ m/s. Övriga sju sektioner ingen mätbar vattenförlust. ($K<2\cdot 10^{-8}$ m/s)	$1,4\cdot 10^{-8}$

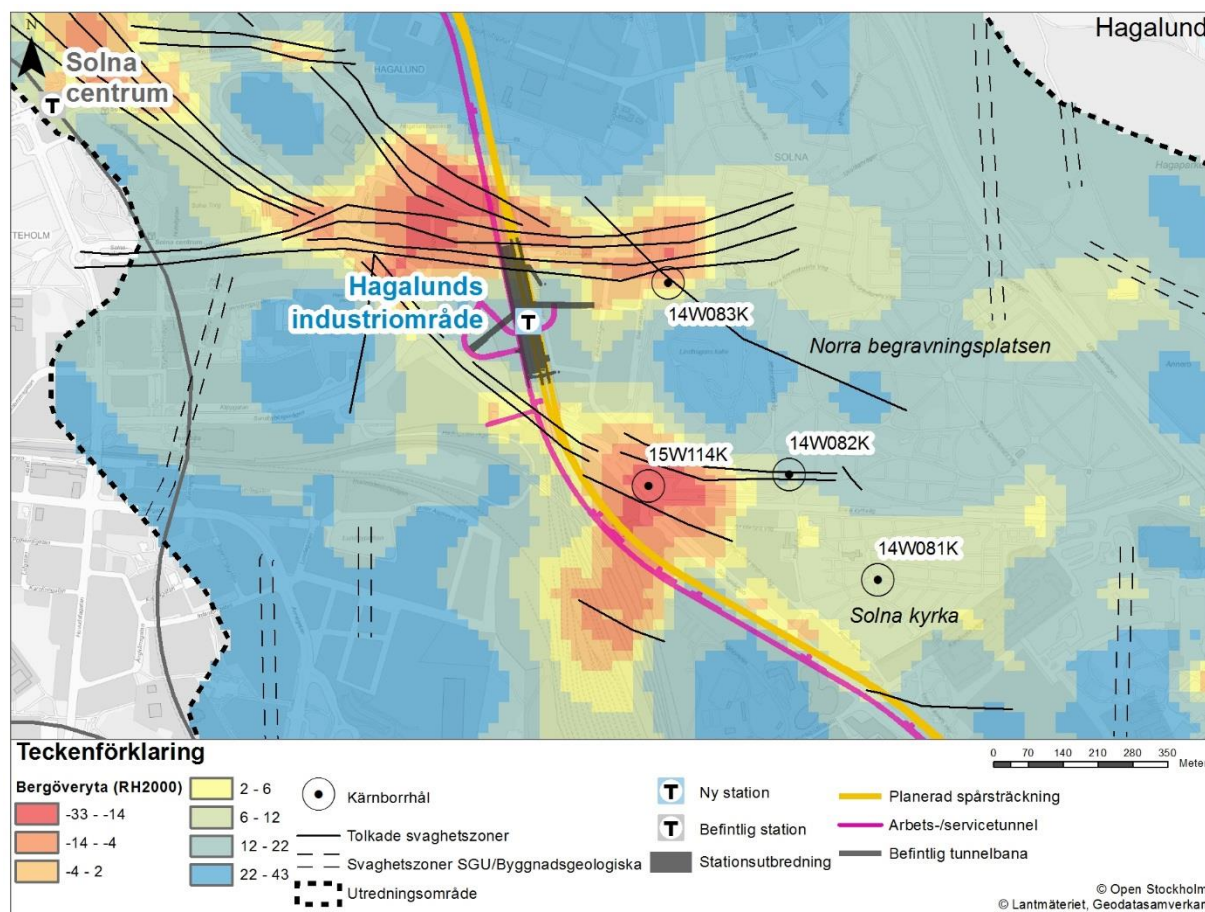
Det geometriska medelvärdet (K_g) för alla borrhålen beräknas till $K_g=5\cdot 10^{-8}$ m/s. Dock bör noteras att kärnborrhålen borrats i syfte att detektera sprickzoner. Detta innebär att medelvärdet inte kan betraktas som representativt för hela bergpartiet där sträckningen av Tunnelbana till Arenastaden planeras inom Norra stationsområdet.

Solna kyrkogård, Norra begravningsplatsen och Hagalund

Lokalisering av svaghetszoner baseras bland annat på uppgifter från Stockholms stads byggnadsgeologiska karta, SGU berggrundskarta samt från undersökningar utförda inom ramen för projekt tunnelbana till Arenastaden. Inom Norra begravningsplatsen och Hagalund har följande stråk av svaghetszoner identifierats:

- Svaghetszoner sträcker sig i nordvästlig riktning, från området kring Solna kyrka, korsande Tunnelbana till Arenastaden, upp mot Solna centrum. Centralt i dalgångar kan bergöverytan förväntas vara uppsprucken och genomsläpplig.
- Svaghetszoner sträcker sig i östvästlig riktning från Norra begravningsplatsen, korsande Tunnelbana till Arenastaden i höjd med Hagalund, och vidare mot Solna centrum. Svaghetszonen sammanfaller med en större dalgång vilket indikerar sämre bergkvalitet.

Inom ramen för projekt tunnelbana till Arenastaden har vattenförlustmätningar utförts i fyra stycken kärnborrhål längs med den planerade sträckningen inom området Solna kyrkogård, Norra begravningsplatsen och Hagalund, Figur 8. Kärnborrhållens läge planerades efter en preliminär sträckning varför undersökningarna ligger ett litet stycke ifrån linjens slutgiltiga dragning inom områdena Solna kyrkogård, Norra begravningsplatsen och Hagalund. Dock är undersökningarna utförda i flera av de svaghetszoner som korsar linjen vilket medför att slutsatser ändå kan dras om svaghetszonernas hydrauliska egenskaper.



Figur 8 Översikt av bergborrhål, svaghetszoner och bergöveryta inom Solna kyrkogård, Norra begravningsplatsen och Hagalund.

Vattenförlustmätningarna utfördes i sex-metersektioner där mätningar genomfördes i ett trycksteg. Analys av de utförda vattenförlustmätningar har gjorts där hydraulisk konduktivitet för enskilda sektioner tolkats samt att det geometriska medelvärdet beräknats för hela borrhållslängden [1] se tabell 4.

I tabell 4 redovisas tolkade hydrauliska konduktivitetsvärden. Den utvärderade maximala hydrauliska konduktiviteten varierar mellan $K=2,3 \cdot 10^{-7}$ till $K=1,4 \cdot 10^{-4}$ m/s för de fyra kärnborrhållen. Resultaten från de tolkade konduktiviteterna visar inget generellt djupavtagande utan genomsläppliga zoner förekommer längs med hela borrhållslängderna vilket motsvarar ett totalt borrhållsdjup på mellan 44 till 56 meter. Geometriskt medelvärdet för respektive kärnborrhål varierar mellan $K_g=2,5 \cdot 10^{-8}$ till $K_g=4,6 \cdot 10^{-6}$ m/s.

Tabell 4 Kärnborrhål inom området Solna kyrkogård, Norra begravningsplatsen och Hagalund med tolkningar av största hydrauliska konduktivitet för en enskild mätsektion i respektive borrhål ($K_{\max}$). Vidare redovisas medelvärde (K_g) av den hydrauliska konduktiviteten för hela den testade längden i varje kärnborrhål. Populationen av de hydrauliska konduktiviteterna för mätsektionerna antas vara lognormalfördelad.

Kärnborrhål	Testad borrhåls-längd (m)	Total antal sektioner	Tolkningar och största K-värde ($K_{\max}$)	K_g (m/s)
14Wo81K	48	8	Åtta sektioner med tolkad konduktivitet där $K_{\max}=1,4 \cdot 10^{-4}$ m/s.	$1,4 \cdot 10^{-7}$
14Wo82K	58	6	Sex sektioner med tolkad konduktivitet där $K_{\max}=2,3 \cdot 10^{-7}$ m/s.	$2,5 \cdot 10^{-8}$
14Wo83K	39	7	Sju sektioner med tolkad konduktivitet där $K_{\max}>1,0 \cdot 10^{-4}$ m/s**	$4,6 \cdot 10^{-6}$
15W114K	24	4	Fyra sektioner med tolkad konduktivitet där $K_{\max}=3,4 \cdot 10^{-7}$ m/s.	$1,1 \cdot 10^{-7}$

**Vattenförlusten är uppmätt till det värde, som teoretiskt sett, maximalt kan uppnås på grund av begränsning av vattenflöde i använd mätutrustning.

Av de fyra bergborrhålen uppvisar 14Wo83 både hög hydraulisk konduktivitet i enskilda sexmetersektioner samt även medelvärdet för hela borrhålslängden. Detta indikerar att zonen i nordsydlig riktning som sträcker från Norra begravningsplatsen och som korsar Tunnelbana till Arenastaden kan innebära genomsläppligt berg i höjd med Solnavägens korsning med Solna kyrkväg.

Arenastaden och Frösunda

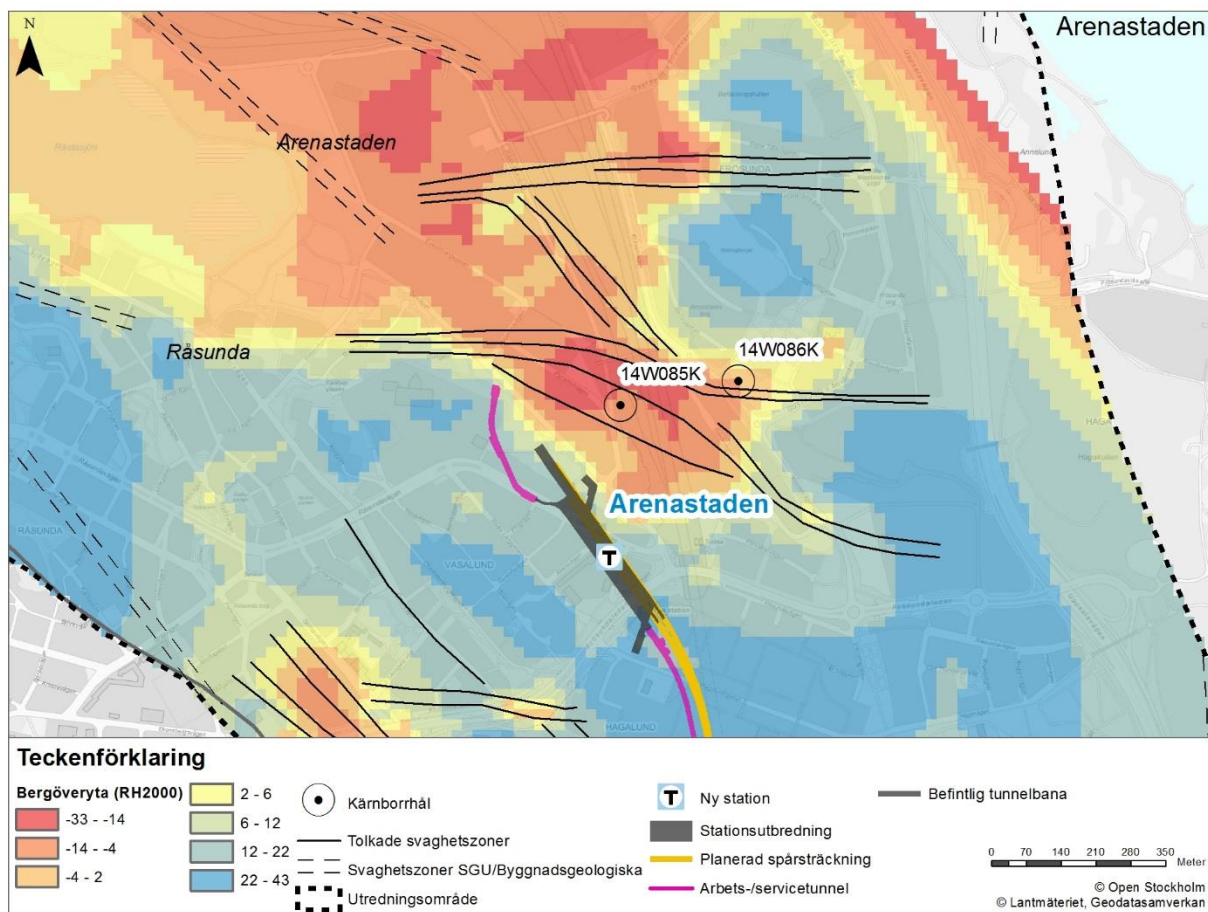
Lokalisering av svaghetszoner baseras bland annat på uppgifter från SGUs berggrundskarta samt från undersökningar utförda inom ramen för projekt tunnelbana till Arenastaden.

Vattenförlustmätningar har utförts i två kärnborrhål för att identifiera vattenförande strukturer i den större bergsvacka som är belägen öster om station Arenastaden, se Figur 9.

Inom området för det undre magasinet i Arenastaden har följande större stråk av svaghetszoner identifierats:

- Ett större stråk stryker i östvästlig riktning mot Råsunda.
- Ett större stråk, stryker i östvästlig riktning via de centrala delarna av Arenastaden.

Zonerna sammanfaller med större svackor i bergöverytan där mer genomsläppligt berg kan förväntas.



Figur 9 Översikt av bergborrhål, svaghetszoner och bergöveryta inom området kring station Arenastaden.

I tabell 5 redovisas tolkade hydrauliska konduktivitetvärden. Den utvärderade maximala hydrauliska konduktiviteten varierar mellan $K=2,6 \cdot 10^{-6}$ till $K=1,2 \cdot 10^{-5}$ m/s för de två kärnborrhålen. Resultaten från de tolkade konduktiviteterna visar ett avtagande med djupet i 14Wo85 men en ökande genomsläpplighet i 14Wo85 mot djupet vilket indikerar att borrhålet är placerat i en större svaghetszon.

Tabell 5 Kärnborrhål inom området kring station Arenastaden med tolkningar av största hydrauliska konduktivitet för en enskild mätsektion i respektive borrhål ($K_{\max}$). Vidare redovisas medelvärdet (K_g) av den hydrauliska konduktiviteten för hela testlängden i varje kärnborrhål Populationen av de hydrauliska konduktiviteterna för mätsektionerna antas vara lognormalfördelad.

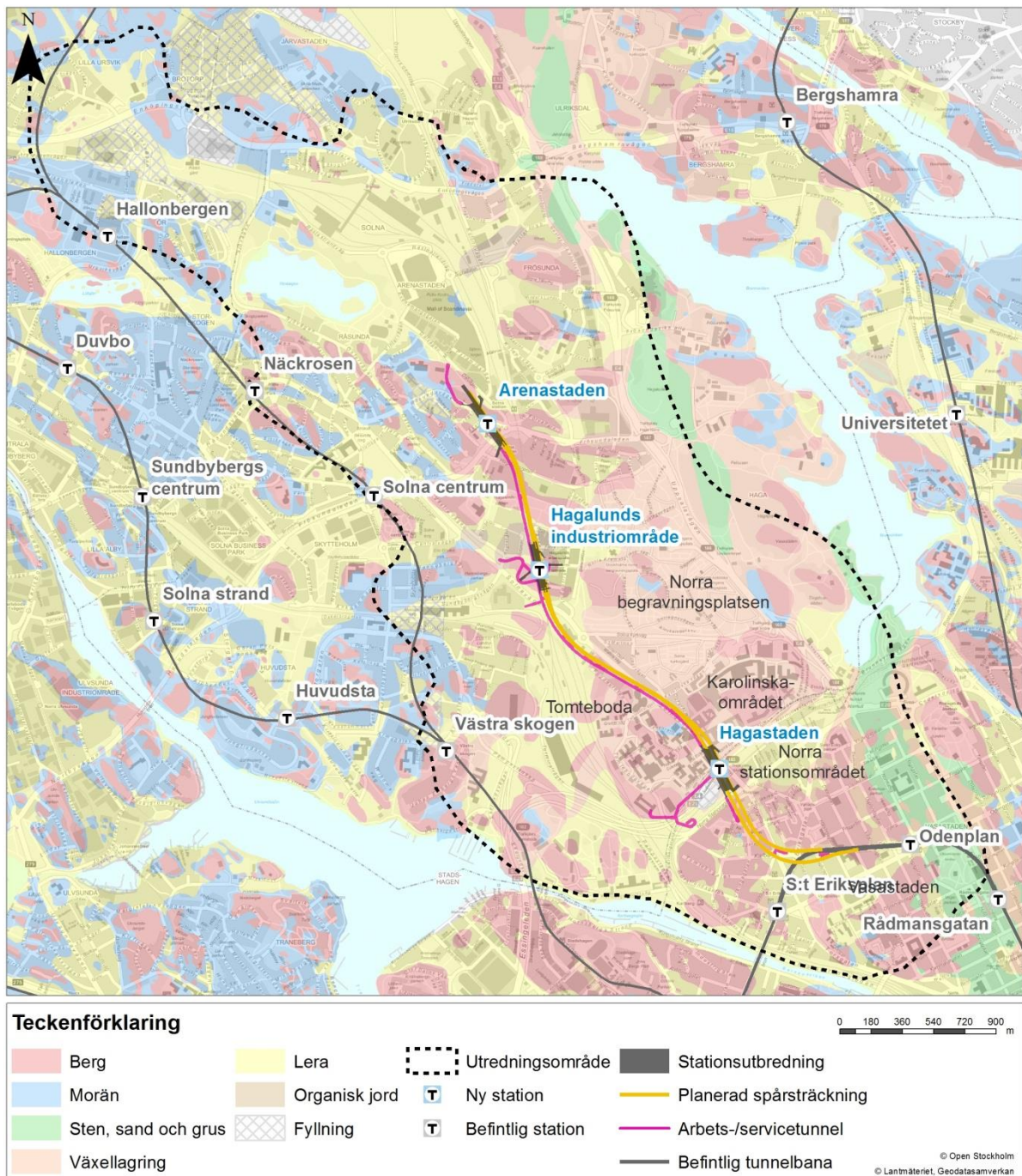
Kärn-borrhål	Testad borrhåls-längd (m)	Total antal sektioner	Tolkningar och största K-värde ($K_{\max}$)	K_g (m/s)
14Wo85K	54	9	Nio sektioner med tolkad konduktivitet där $K_{\max}=1,2 \cdot 10^{-5}$ m/s.	$4,1 \cdot 10^{-7}$
14Wo86K	54	9	Nio sektioner med tolkad konduktivitet där $K_{\max}=2,6 \cdot 10^{-6}$ m/s.	$4,1 \cdot 10^{-8}$

3.4 Jordlager

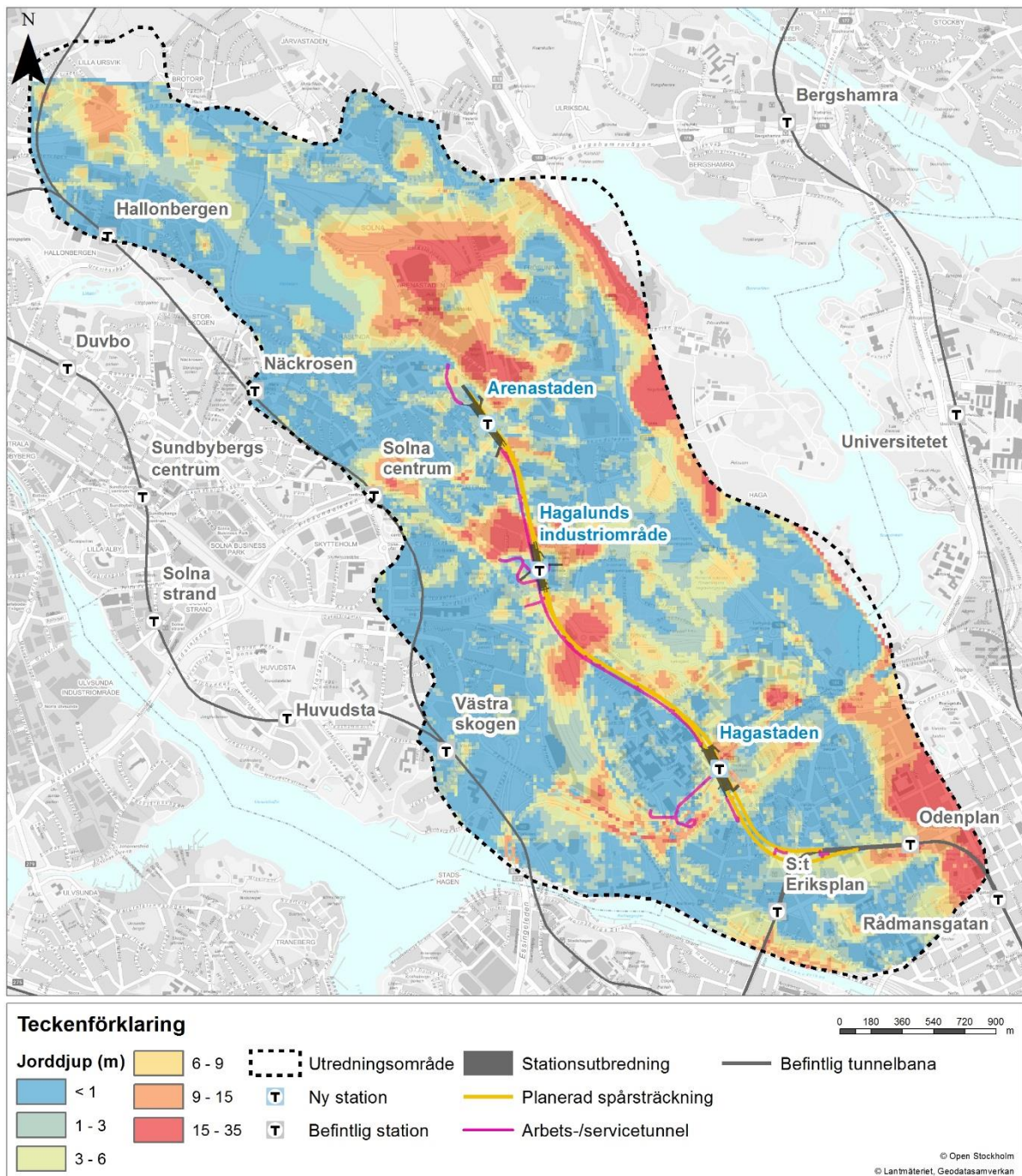
Områdets jordartsgeologi framgår i figur 10. De östra delarna av utredningsområdet domineras av Stockholmsåsens isälvsavlagring som sträcker sig i nordnordvästlig riktning. Isälvsavlagringen består främst av grus och sand med inslag av sten och block. Direkt väster om åsen förekommer sandiga jordar och ytterligare väster ut finns bergsområden med lerfyllda sänkor. Jorddjupet varierar mycket inom utredningsområdet. De största jorddjupen sammanfaller med bergöverytans svackor; störst är jorddjupet i anslutning till sänkorna kring Norra begravningsplatsen. I figur 11 visas jorddjupskartan över utredningsområdet. I bilaga C2 redovisas sektioner med jordmaktigheter och lerdjup längs med spårlinjen.

Området kring Vasastaden och Odenplan utgörs till stor del av bergsområden som delvis är övertäckta av tunna jordlager. Området genomkorsas av ett fåtal lerfyllda sänkor med orientering i huvudsak i nordväst-sydost. Området kring Norra station utgörs i huvudsak av en nordost-sydvästorienterad jordfylld dalgång. Området norr om Norra station (Karolinska området) domineras av ett bergsområde med inslag av mindre sandfyllda svackor. Norr om Karolinska området är Norra begravningsplatsen belägen. Norra begravningsplatsen utgörs av ett par jordfyllda sänkor avgränsande av höjdparter med friktionsmaterial på berg. Sänkorna utgörs av lerlager överlagrande friktionsjord. Österut domineras området av sand- och grusavlagringar. Hagalund domineras i öst av sand och grusavlagringar, det vill säga i anslutning till Stockholmsåsen, och i väst av lerfyllda sänkor överlagrande friktionsmaterial. Sänkorna i Hagalund avgränsas norrut av ett bergsområde. Längre norrut i området kring Arenastaden och Frösunda domineras jordtäcket i huvudsak av mäktiga lerlager.

Generellt återfinns fyllningsmassor ovan naturliga jordlager inom bebyggda områden.



Figur 10 Geologisk översiktskarta. Området kring Vasastaden och Norra station representeras med byggnadsgeologiska kartan (Stockholms stad) och Karolinska området och vidare norrut representeras med en förenklad tolkning baserad på SGU:s jordartskarta.



Figur 11 Tolkade jorddjup längs med Tunnelbana till Arenastadens sträckning.

Vasastaden och Odenplan

Marken vid Odenplan ligger på nivån cirka +22 och längre österut sjunker topografin brant mot Sveavägen till nivån +10. Norr och söder om Odenplan stiger topografin till nivån cirka +30 respektive cirka +27.

Området kring Vasastaden och Odenplan utgörs till stor del av bergsområden som delvis är övertäckta av tunna jordlager. I öster domineras Vasastaden av Stockholmsåsen eller Brunkebergsåsen. Observatorielunden är en rest av de grusformationer som präglar åsen.

En större lerfylld sänka med orienteringen nordost-sydväst sträcker sig från Barnhusviken i syd, via Vasaparken och upp till Odenplan. Sänkan kan delas in i två mindre delområden, dels Odenplan och dels området norr om Vasaparken, bilaga C2, sektion 3+400 till 3+600 respektive

3+800 till 4+200. Lersänkan vid Odenplan gränsar i öster mot Stockholmsåsen och i norr och söder mot bergshöjder där marklagret endast utgörs av ett tunt fyllningslager ovanpå bergöverytan. Jordlagren vid Odenplan utgörs överst av ett fyllnadslager, cirka 1-5 meter mäktigt, följt av ett lerlager, generellt cirka 5 meter mäktigt men lermäktigheter på upp till 9 meter förekommer, som i sin tur överlagrar ett moränjordlager på berg. Moränjordlagrets mäktighet varierar mellan 2 och 10 meter, där de största mäktigheterna förekommer i bergsvackor (Banverket, 2007a).

Lersvackan norr om Vasaparken avgränsas av Karlbergsvägen i norr och i syd Odengatan och Vasaparken. Generellt är djupet till fast botten mellan Karlbergsvägen och Odengatan 8–17 meter under gatunivå. Lagerföljden består av fyllning, upp till 4–7 meter, följt av 4–9 meter lera. Närmast berget återfinns friktionsjord med varierande mäktighet av 0–3 meter. I anslutning till Sankt Eriksplan och Odengatan påträffas de minsta jorddjupen på ett par meter, en svagt markerad bergtröskel bildas mot slutningen mot Klara sjö, Berget går ställvis i dagen i västra delen av Vasaparken (Banverket, 2007a). Uppmätta jorddjup i det lerfyllda området mellan Sankt Eriksplan och Klara sjö, benämnt Atlasområdet, uppgår till mellan 6 och 9 meter.

Hagastaden (Norra station och Karolinska området)

Norra stationsområdet utgörs av en väl avgränsad lerfylld dalgång med orientering SV-NO, bilaga C2, sektion 4+500 till 4+800 Dalgången avgränsas av Karolinska området i NV och Vasastaden i SO. Dalgången begränsas i SV av Karlbergskanalen och i NO av Brunnsviken. En bergsrygg, i nivå med Solnabron/Solnavägen, delar in dalgången i två delområden: östliga sänkan respektive västliga sänkan. I jämnhöjd med bergsryggen har dalgången även sin högsta punkt på cirka +15. Lokalt vid Solnabron saknas jordlager. Jordlagren i den östliga sänkan utgörs av fyllnadslager med en mäktighet av 1-4 meter följt av ett lerlager med en mäktighet på cirka 3-10 meter. Lerlagret överlagrar friktionsjord på berg. Jordlagermäktigheten i den västliga sänkan uppgår centralt i dalgången till minst cirka 15 meter, varav fyllnadslagret uppgår till cirka 7 meter underlagrat av ett upp till 7 meter mäktigt lerlager på friktionsmaterial. Friktionsmaterialet består i huvudsak av sand- och grusavlagringar (Vägverket och Stockholm stad, 2010). Uppmätta jorddjup i det lerfyllda området mellan Norra stationssänkans västra del och Karlbergskanalen, Karlbergsområdet, uppgår till mellan 4 och 7 meter.

Karolinska området utgörs i huvudsak av ett bergsområde med tunt jordtäck. I de mer höglänta partierna är jordmäktigheterna någon till några meter. Närmare Norra Länken, det vill säga i de södra delarna av området, kan jorddjupet uppgå till drygt 10 meter. Lagerföljden i närheten av Solnabron utgörs av 4 meter fyllnadsmaterial och 6 meter lera som överlagrar cirka 1 meter morän på berg (Vectura, 2009).

Solna kyrkogård, Norra begravningsplatsen och Hagalund

Området utgörs av två större jordfyllda sänkor, ett område som sträcker sig från Solna kyrkogård västerut in över Huvudsta. Det andra området sträcker sig från Norra begravningsplatsen in över Hagalund. Sänkorna separeras av en höjdrygg i östvästlig riktning som i huvudsak utgörs av områden med berg i dagen, bilaga C, se sektion 5+700 till 6+700.

Sänkan i området kring Solna kyrkogård, längs sträckningen av Tunnelbana till Arenastaden, utgörs av växellagrade jordar där lera överlagrar siltlager som i sin tur överlagrar sandiga lager med ökande andel sten- och grusfraktion mot djupet. Jorddjup förekommer på mellan 8-15 meter där ytliga lerlager med mäktigheter på 4-6 meter kan konstateras. Tunnelbana till Arenastaden passerar de centrala och djupaste delarna av sänkan, där jorddjup på cirka 27 meter uppmätts. Lerlagrets mäktighet uppgår där till cirka 13 meter överlagrande 2 meter sand följt av 11 meter friktionsjord. Väster om Tunnelbana till Arenastaden minskar åter jorddjupet.

Sänkan i området kring Norra begravningsplatsen, längs sträckningen av Tunnelbana till Arenastaden, utgörs av växellagrade jordar där lera dominerar i ytan. Jorddjup på cirka 24 meter har konstaterats där lerlagret uppgår till 19 meter. I lerlagren finns ett fåtal insprängda skikt av sandiga jordar med någon meters mäktighet. Det understa lagret utgörs av friktionsjord. Längre västerut, närmare Tunnelbana till Arenastaden, har jorddjup på drygt 25 meter konstaterats där ett 5 meter mäktigt lerlager överlagrar 14 meter siltlager följt av 5 meter friktionsjord med inslag av block.

Arenastaden

Direkt norr om station Arenastaden breder ett större sammanhängande lerområde ut sig som sträcker sig mellan Stockholmsåsen i öster och förbi Råstasjön i väster, och mellan Enköpingsvägen i norr och Hagalund i söder. Spårsträckningen för station Arenastaden är dock belägen i anslutning till ett bergsområde med ringa jorddjup. Norr om station Arenastaden, visar undersökningar ett ökande jorddjup. Jorddjup konstateras där på 12 meter där fyllningen överlagrar 8 meter silt. Längre norrut visar undersökningar på jorddjup på 18 meter.

3.4.1 Geotekniska förhållanden

I bilaga C7 PM Sättningar behandlas beräkningar av sättningar orsakade av grundvattensänkningar inom bedömt 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.

Beräkning av sättningsrisk (konsolideringssättningar under lång tid, 100 år) har utförts för 0,3, 1 och 3 meters antagen grundvattensänkning. Sättningsbenägna områden definieras som områden där det sannolikt förekommer minst 1 meter lös lera. Generellt ökar sättningsbenägenheten mot de centrala delarna av lerfyllda svackor där lermäktigheterna är större än vid randzonerna.

Vid Odenplan finns lera med upp till 9 meters mäktighet. Trycknivån i det undre grundvattenmagasinet ligger lägre än lerans underkant och i området bedöms sättningsbenägenheten därför som liten.

I anslutning till sänkan norr om Vasaparken finns generellt halvfast lera med upp till 6 meters mäktighet. I mitten av området är dock leran mindre fast, sättningsbenägenheten bedöms därför som måttlig.

Inom Sabbatsberg finns lera med upp till 6 meters mäktighet. Leran innehåller silt- och sandskikt. Lerans sättningsbenägenhet bedöms som liten i hela området.

Sänkan norr om Tegnerlunden innehåller växellagrad och fast lera. Sättningsbenägenheten i hela området bedöms som liten.

Inom Norra station, västra delen finns siltig och sandig lera med upp till 7 meters mäktighet. Sättningsbenägenheten i hela området bedöms som liten.

Inom Norra station, östra delen påträffas upp till cirka 4 meter sättningsbenägen lera i korsningen mellan Norra stationsgatan och Hälsingegatan. Sättningsbenägenheten bedöms som måttlig i området.

I anslutning till området kring Nya Karolinska finns halvfast lera med sandskikt på upp till 6 meters mäktighet. Delar av området bedöms som sättningsbenäget.

Vid Norra begravningsplatsen, södra sänkan, har sättningsberäkningar utförts för en lermäktighet på 12,5 meter. De största lermäktigheterna påträffas i Solnavägen vid Tomtebodan i områdets mitt

och vid Solnavägens korsning med Karolinska vägen i områdets sydöstra del. Större delen av området bedöms ha stor sättningsbenägenhet.

Inom Norra begravningsplatsen, norra sänkan, finns sättningsbenägna lerlager med mäktigheter på upp till 21 meter. Större delen av området bedöms ha stor sättningsbenägenhet.

I området kring Huvudsta finns överkonsoliderad lera med upp till cirka 5 meters mäktighet. Sättningsbenägenheten bedöms som måttlig i området.

Inom Pampas finns lera med upp till 5 meters mäktighet. Leran inom området består främst av lera med torrskorpekaraktär samt delvis av lera med lös till halvfast lagring. Sättningsbenägenheten i hela området bedöms som måttlig.

Inom Tomtebodan finns lera med upp till 12 meters mäktighet. Leran inom området består främst av lera med torrskorpekaraktär samt delvis av lera med lös till halvfast lagring. Utförda undersökningar visar att leran är överkonsoliderad. Sättningsbenägenheten bedöms som liten till måttlig.

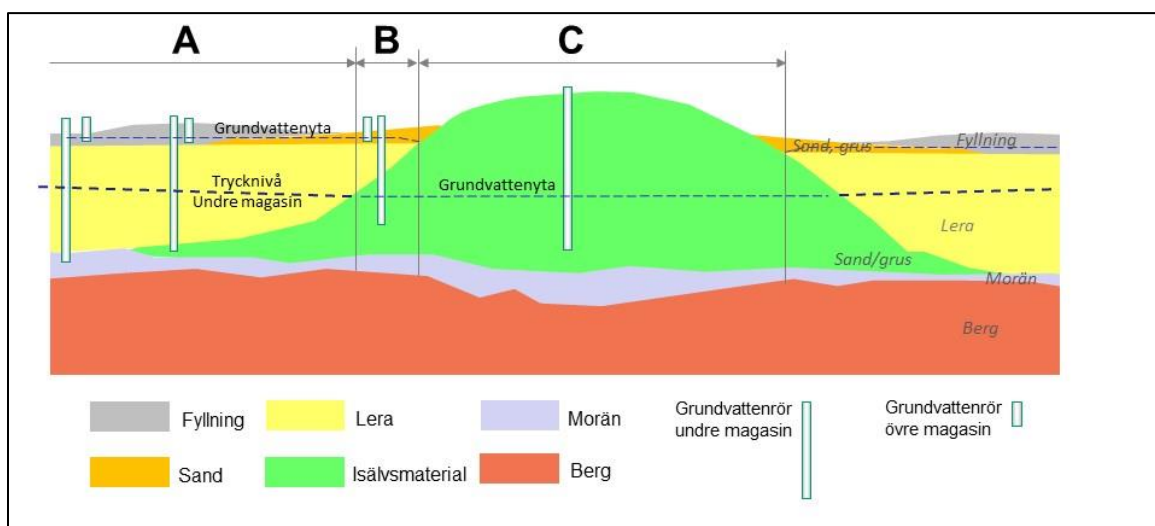
Inom området Arenastaden varierar den sättningsbenägna lerans mäktighet mellan 3 och 18 meter där sättningar beräknats. De största lermäktigheterna påträffas i områdets södra del. Området är mycket stort och sträcker sig som mest nästan 3 km åt nordväst räknat från station Arenastaden. Större delen av området bedöms ha stor sättningsbenägenhet.

3.5 Grundvatten

Större sammanhängande förekomster av grundvatten förekommer i huvudsak i öppna sprickor i berg, i naturliga friktionsjordlager samt i mer eller mindre omfattning i fyllnadsmaterial. Sprickor i berg uppträder som svaghetszoner eller som system av enskilda sprickor som i varierande grad kommunicerar med varandra. Då den planerade sträckningen till största delen går i berg kommer främst grundvattenförhållandena i berget att påverkas. Längs sträckan för Tunnelbana till Arenastaden förekommer även ett antal grundvattenmagasin i jord. I de flesta fall förekommer grundvattenmagasinen i sänkor som undre grundvattenmagasin i friktionsjord överlagrad av lera.

Strömningsriktningar och avrinning bestäms av vattendelare. Generellt utgör höjdområden, i form av bergsryggar, vattendelare. Utredningsområdet kan indelas i mindre delavrinningsområden med avgränsade undre grundvattenmagasin i jord som står i liten hydraulisk förbindelse med varandra, huvudsakligen via berg.

Grundvattenmagasinen i jord förekommer dels som slutna grundvattenmagasin i friktionsjord under lera och dels som öppna grundvattenmagasin, vanligen i ytligt liggande fyllning eller naturlig jord, se Figur 12.



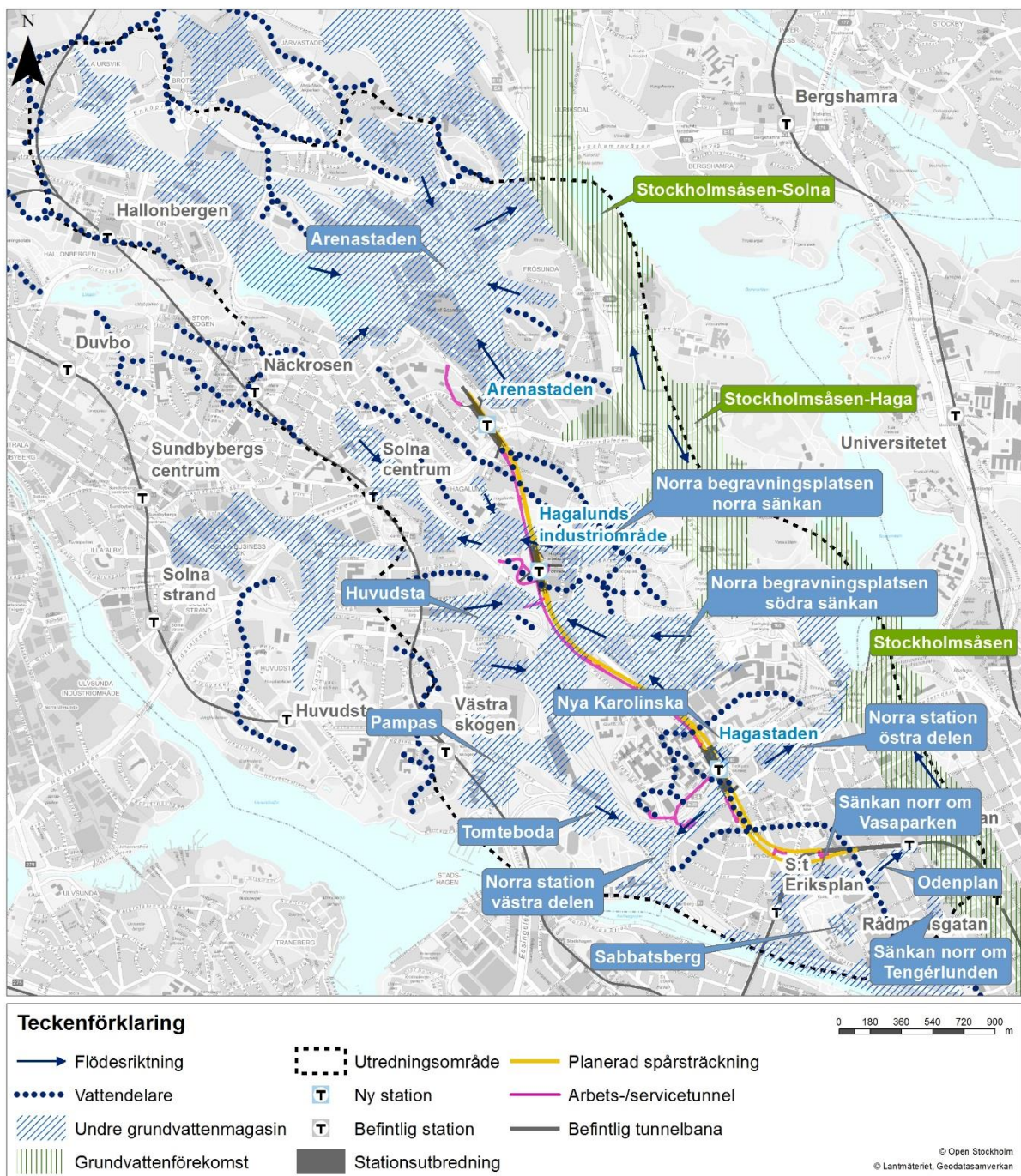
Figur 12 Schematisk figur av olika typer av grundvattenmagasin.

Inom område A finns ett övre öppet magasin i friktionsjord (fyllning) och ett undre slutet magasin i friktionsjord (isälvsmaterial på morän eller enbart morän). Trycknivån i det undre magasinet ligger lägre än grundvattenytan i det övre magasinet. Inom område B finns ett övre öppet magasin i friktionsjord (sand) och ett undre öppet magasin i friktionsjord (isälvsmaterial på morän). Grundvattenytan i det undre magasinet ligger lägre än grundvattenytan i det övre magasinet. Inom område C finns ett öppet magasin i isälvsmaterial.

En trycksänkning i ett slutet grundvattenmagasin under sättningsbenägen lera kan leda till marksättningar. Dessa magasin betecknas därför som känsliga och karteras specifikt.

Öppna grundvattenmagasin finns i princip inom hela utredningsområdet; dessa magasin betraktas inte som känsliga med avseende på sättningsrisker. Grundvattennivåerna i dessa magasin styrs till stor del av dränerande stråk i den urbana miljön, hårdgörningsgrad av mark samt förekomst av så kallat lokalt omhändertagande av vatten (LOD-anläggningar). Många av dessa magasin är inte varaktiga under året utan är periodvis torra. Normalt har grundvattenytans läge i dessa magasin ingen koppling till risk för sättningar och liten koppling till växttillgängligt vatten. Inom vissa områden med ytligt liggande grundvattenytan kan en koppling till växttillgängligt vatten finnas. Detta är dock ovanligt i den urbana miljön. Öppna magasin pekas därför inte ut specifikt i grundvattenkarteringen med undantaget för Stockholmsåsen.

Grundvattenmagasinen i naturlig jord visas översiktligt i figur 13 och tabell 6.



Figur 13 Områdesindelning och grundvattenmagasin i jord, tolkade vattendelare och flödesriktningar inom utredningsområdet.

Tabell 6 Områdesindelning och grundvattenmagasin i jord

Delområde	Grundvattenmagasin
Vasastaden och Odenplan	Odenplan Sänkan norr om Vasaparken Sabbatsberg Sänkan norr om Tegnérkunden Stockholmsåsen
Hagastaden (Norra station och Karolinska området)	Norra station, västra delen Norra station, östra delen Nya Karolinska
Norra begravningsplatsen och Hagalund	Norra begravningsplatsen, södra sänka Huvudsta Norra begravningsplatsen, norra sänkan Pampas Tomteboda
Arenastaden och Frösunda	Arenastaden

Grundvattenmagasin i fyllnadsmaterial är inte medtagna i tabellen men beskrivs i följande text för respektive delområde.

Nedan beskrivs grundvattenmagasinen inom de olika delområdena.

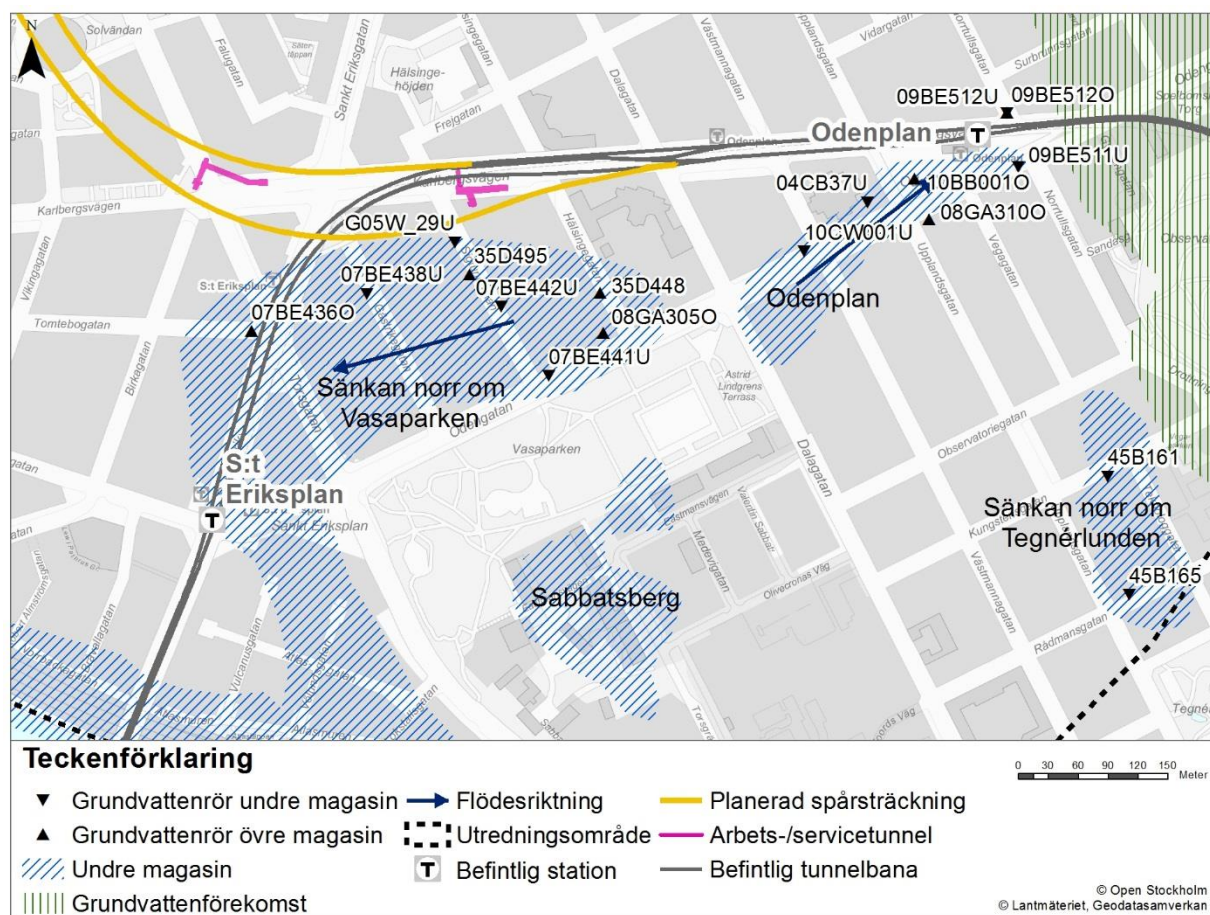
Vasastaden och Odenplan

Inom Odenplansområdet har två grundvattenmagasin i jord identifierats; ett övre magasin i fyllningen och ett undre magasin i morän under lera. Det övre och undre magasinet separeras av ett lerlager medan det undre jordmagasinet och grundvatten i bergets spricksystem står i direkt kontakt med varandra. Kontakt mellan de övre och undre jordmagasinen kan förekomma i randområden där lerlagret är tunt eller där till exempel pålning eller borrhning skapat hål genom lerlagret. Dock är det övre magasinet vid Odenplan i stora delar endast tillfälligt och ofta torrt.

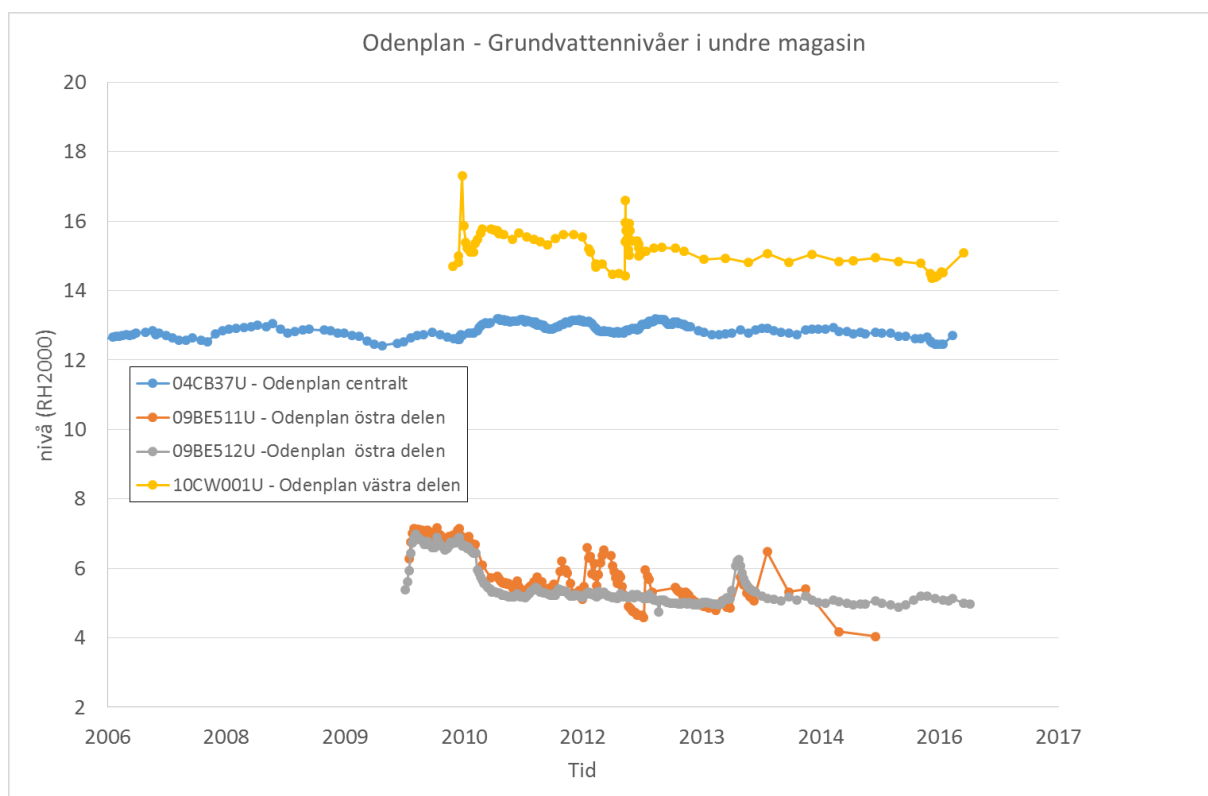
Grundvattennivåuppgifter inom området har registrerats från olika grundvattenrör sedan 1975. Nya rör har även installerats från 2003 i samband med projekteringen av Citybanan. Rören är fördelade mellan det övre och det undre jordmagasinet. I figur 14 visas placeringen av de grundvattenrör vars mätserier redovisas i diagram i figur 15 och figur 16.

För grundvattenrören i den västra, men främst i östra delen, av Odenplan konstateras en viss nedåtgående trend för vattennivåer i både i det övre och i det undre magasinet. Exempelvis har

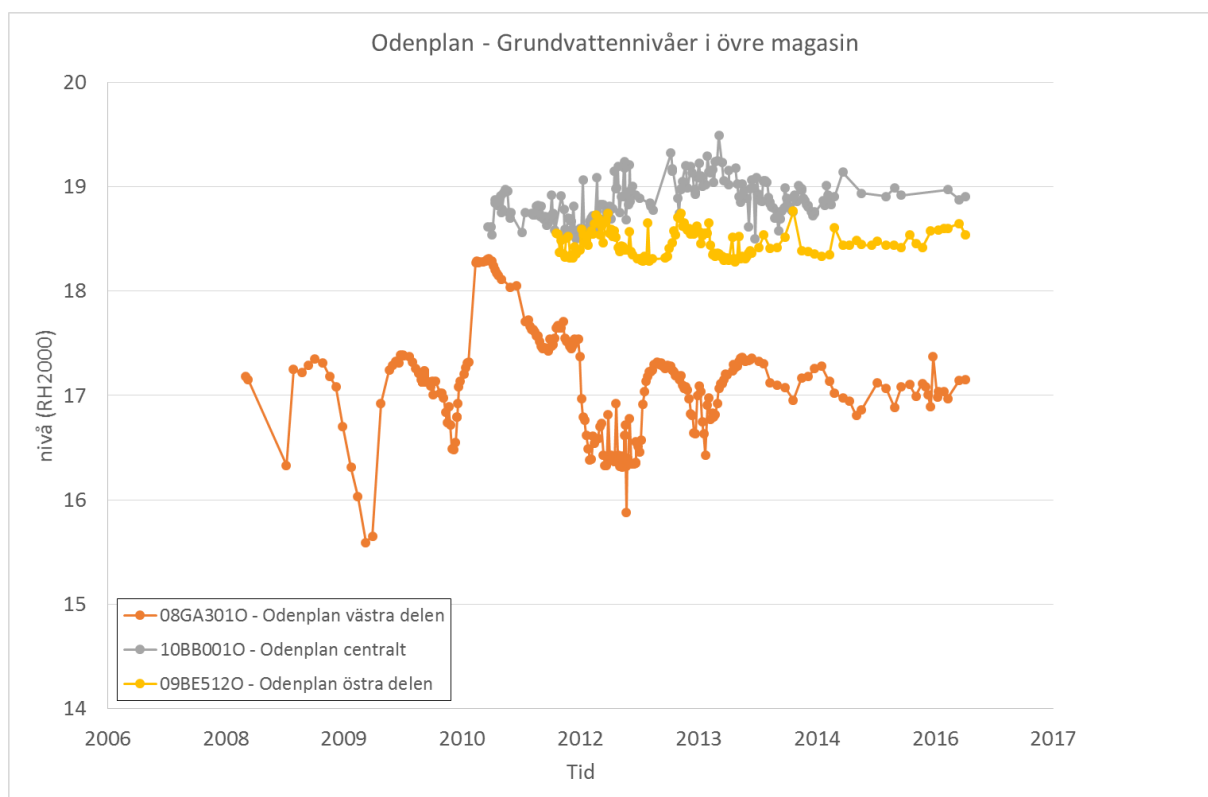
medelgrundvattennivån för 2010 och 2014 i rör 09BE511U i östra delen av det undre magasinet sjunkit från +6,9 till +5,5.



Figur 14 Grundvattenrör i jordmagasin i anslutning till Vasastaden och Odenplan. Endast rör redovisas där mätserier i föreliggande kapitel utvärderats.



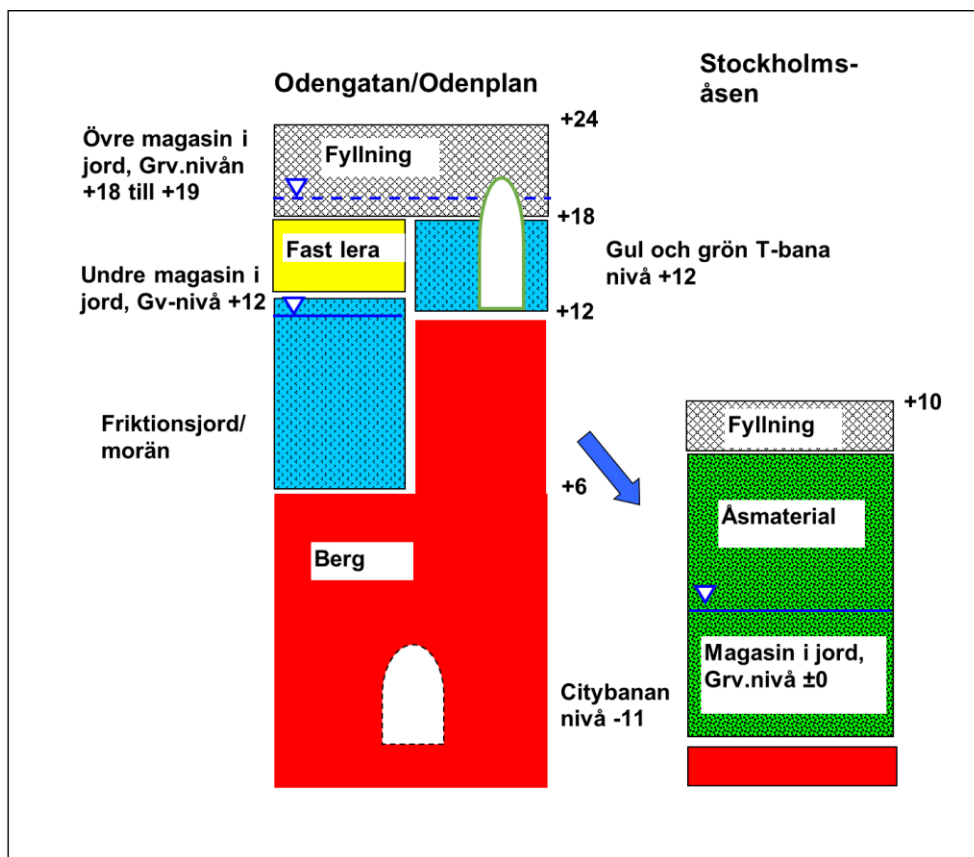
Figur 15 Nivåmätningar i det undre grundvattenmagasinet vid Odenplan.



Figur 16 Nivåmätningar i det övre grundvattenmagasinet vid Odenplan

I hela Odenplans närområde visar kontinuerliga mätningar att nivåerna varierar relativt måttligt (cirka 1 till drygt 2 meter) i det övre grundvattenmagasinet. Dock är det övre magasinet vid Odenplan i stora delar endast tillfälligt och ofta torrt. Nivåerna i det undre jordmagasinet varierar i samma omfattning. Grundvattennivåerna i det övre magasinet ligger cirka 3-15 meter över nivåerna i det undre magasinet. Bedömningen görs att det övre och undre magasinet har begränsad hydraulisk förbindelse (Banverket, 2007a).

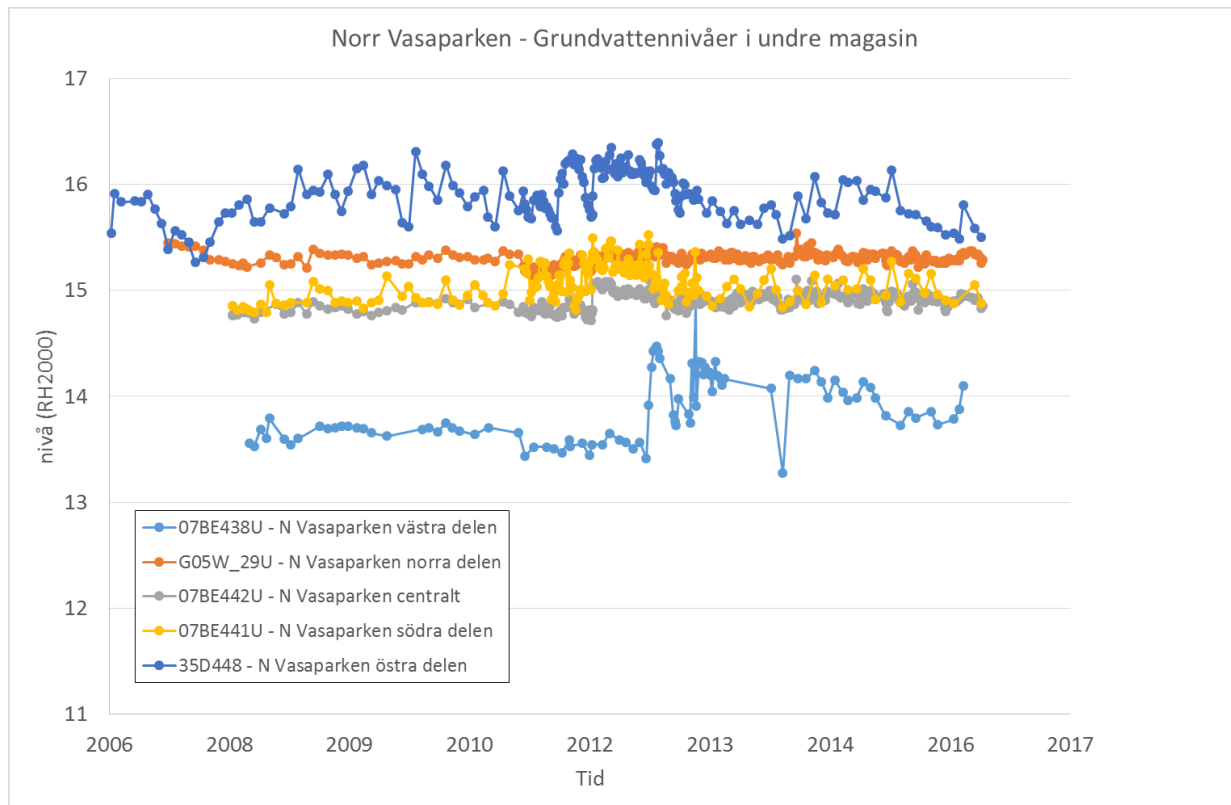
Sammanfattningsvis kan det undre grundvattenmagasinet vid Odenplan beskrivas som en smal jordfylld sänka. Grundvattennivån styrs av en bergtröskel vid den östra delen av Odenplan, det vill säga avvattning sker mot Stockholmsåsen och magasinet bedöms inte ha förbindelser med andra magasin. I väster begränsas magasinet av en vattendelare i höjd med Dalagatan. Påfyllning av grundvatten sker via randzonen till sänkan från omgivande berg. Från det övre magasinet sker grundvattentillströmning där ett visst tillskott av vatten kan ske från läckande vatten-, dagvatten- och avloppsledningar. Magasinet dräneras av Grön linje, Citybanan, ledningstunnlar och andra undermarksanläggningar. Vid Odenplan ligger grundvattennivån i det undre magasinet i väster på +15 och i öster på +5. Nivåerna i de övre magasinerna varierar mellan +17 och +19 där de lägre nivåerna uppmäts i de västra delarna av Odenplan. Baserat på genomförda hydrauliska tester (provpumpning och pulstester) i det undre magasinet har transmissiviteten tidigare uppskattats till cirka 10^{-4} m²/s (Banverket, 2007a).



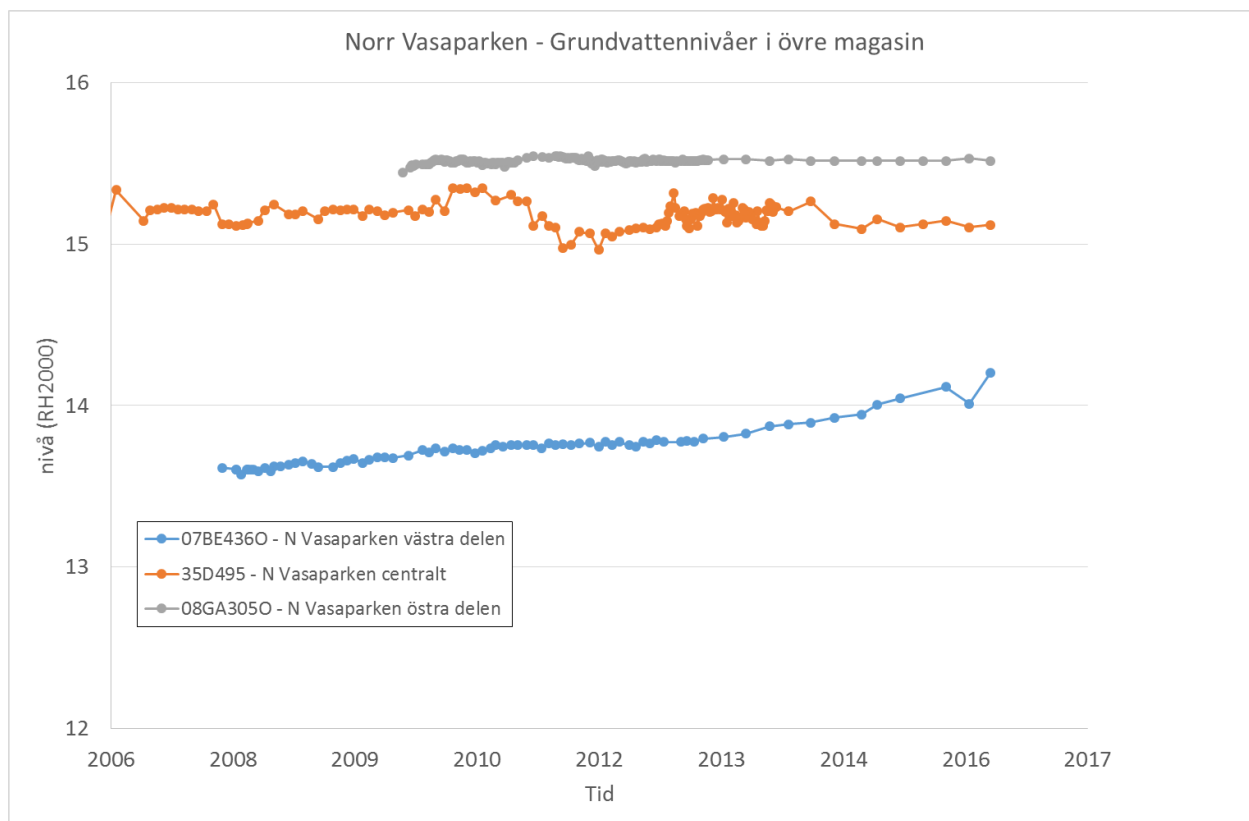
Figur 17 Konceptuellt tvärsnitt genom grundvattenmagasin vid Odenplan. Flödespilen representerar flödesriktningen mot Stockholmsåsen som ligger längre österut.

Sänkan norr om Vasaparken utgörs av ett större sammanhängande undre magasin i jord. Nivåuppgifter inom området har registrerats från olika grundvattenrör sedan 1970-talet, bland annat inom Stockholms stads kontrollprogram. Nya rör har installerats i samband med två större undersökningar som genomförts inom området. Under perioden 2000 till 2003 installerades flera

rör i samband med projektering och byggnation av ett underjordiskt parkeringsgarage under Sankt Eriksplan. Vidare har ett antal rör installerats i samband med inventering av geotekniska förhållanden i korsningen Sankt Eriksgatan/Karlbergsvägen vid undersökningen för Huvudstatunneln 2004. Nya rör har även installerats från 2003 i samband med projekteringen av Citybanan. Rören är fördelade mellan det övre och det undre jordmagasinet. I figur 14 visas placeringen av de grundvattenrör vars mätserier redovisas i diagram i figur 18 och figur 19.



Figur 18 Nivåmätningar i det undre grundvattenmagasinet norr om Vasaparken.



Figur 19 Nivåmätningar i det övre grundvattenmagasinet norr om Vasaplan.

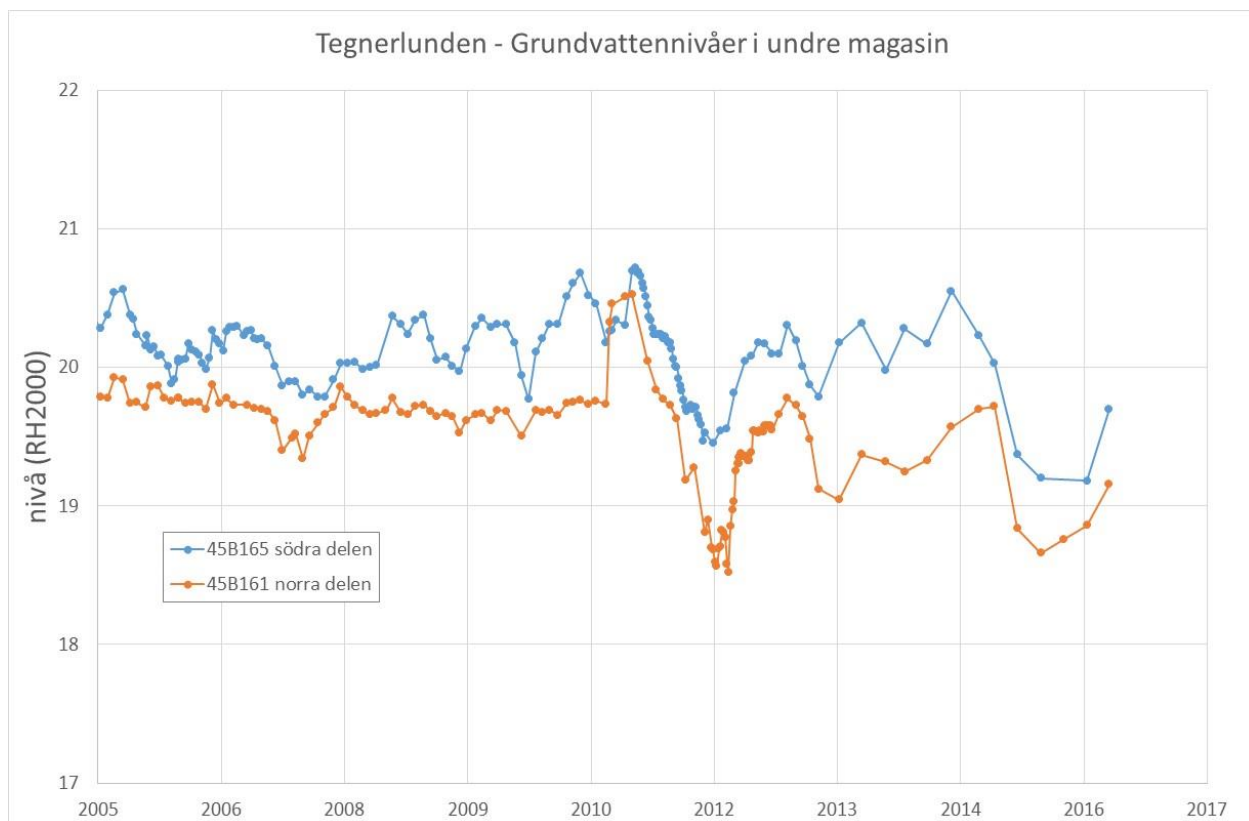
Det undre magasinet avvattnas söderut via de djupare jordlagren vid Sankt Eriksplan. Påfyllning av grundvatten sker via randzonen till sänkan från omgivande berg samt från pågående infiltration och läckande ledningar. Magasinet dräneras av befintliga undermarksanläggningar som Grön linje och Citybanan. Inom det undre magasinet varierar grundvattennivån mellan +14 i väster och +16 i öster. Mer eller mindre sammanhängande övre grundvattenmagasin förekommer där nivåerna varierar mellan +14 och +15,5, där de lägre nivåerna har uppmätts i de västra delarna av magasinet. Till skillnad från det övre och undre magasinet vid Odenplan ligger nivåerna i magasinen norr om Vasaparken på ungefär samma nivå vilket kan indikera att det finns en kontakt mellan det övre och undre magasinet.

Trots att lerlager förekommer mellan undre och övre magasin kan de ha kontakt via mer genomsläppliga jordar mot sänkans ränder. Lerlagret kan även vara påverkat av byggaktiviteter som penetrerar lerlagret och hydrauliskt sammanbinder magasinen.

Vid Sankt Eriksplan är den avsmalnande delen av magasinet styrande för grundvattennivån. Grundvattennivån påverkas av Grön linjes dränering på nivån cirka +6. Magasinet's transmissivitet har tidigare beräknats till $T=3 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ (Banverket, 2007a).

Sänkan norr om Tegnérslunden

Norr om Tegnérslunden är en mindre isolerad lerfylld svacka belägen. Svackan utgörs av fyllnadsmaterial, följt av lera vilken underlagras av friktionsjordlager. Undre magasinet avgränsas åt alla håll av berg förutom mot Stockholmsåsen i öster. Grundvattennivån i undre magasinet uppgår till ca +20 i västra delarna men faller av mot Stockholmsåsen, figur 20. Sänkan dräneras mot Stockholmsåsen och bedöms inte ha förbindelser med andra magasin (Banverket, 2007a).



Figur 20 Nivåmätningar i det undre grundvattenmagasinet norr om Tegnerlunden.

Sabbatsberg

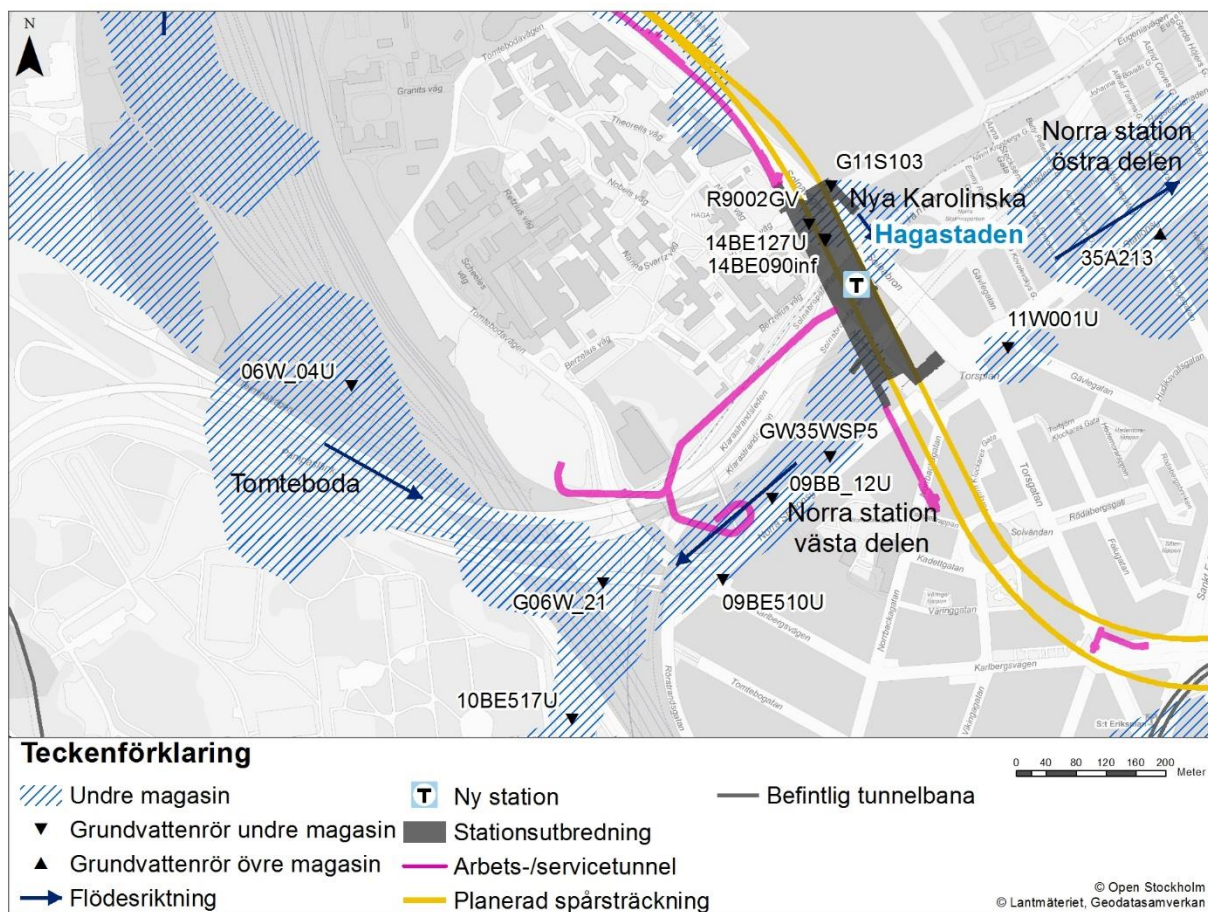
I anslutning till Sabbatsberg finns en lerfylld sänka i berget. Sänkan gränsar till höga berglägen förutom mot Klara sjö i söder vartåt dränering sker. Området bedöms som väl avgränsat förutom mot norr där området dock avgränsas av en gravitationsvattendelare (Banverket, 2007a). Inga mätningar har genomförts i magasinet sedan juni 2013, dock visar mätningar utförda från 2008 att grundvattennivån i magasinet legat stabilt mellan +12,5 till +13 (TMO, 2016).

Hagastaden (Norra station och Karolinska området)

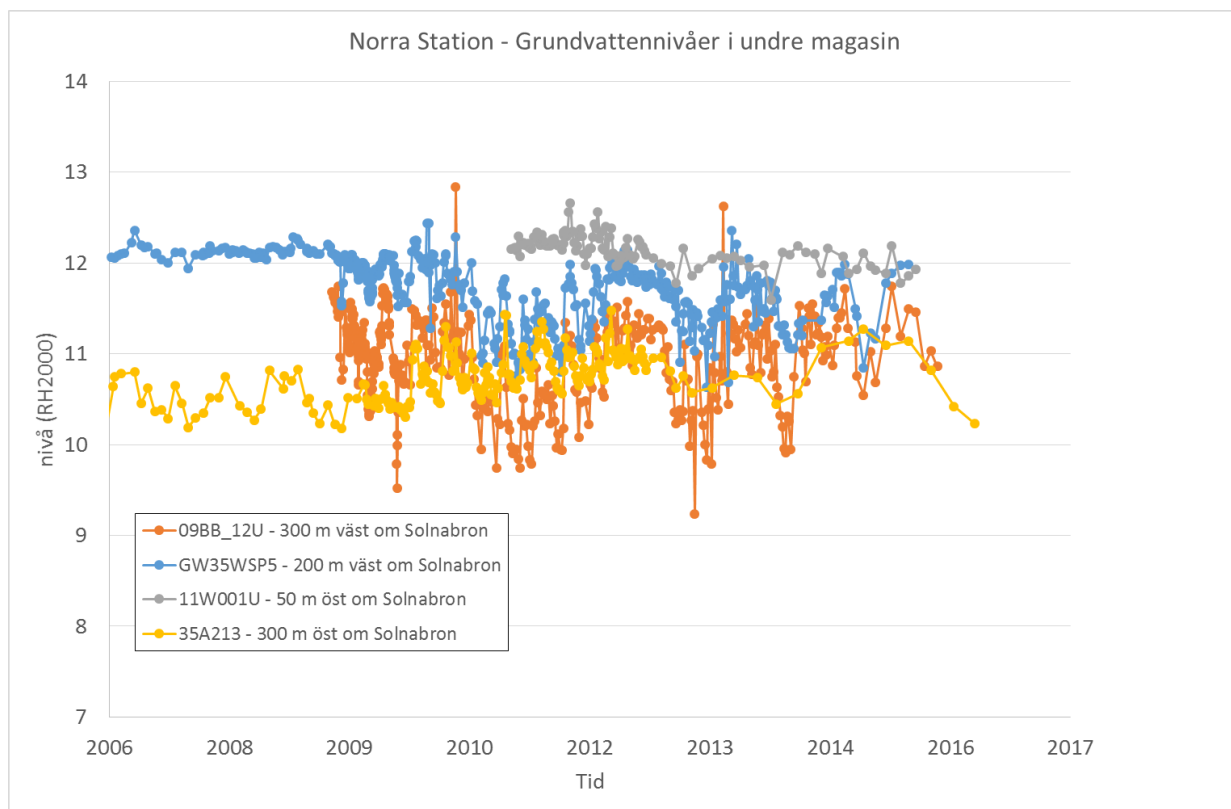
Dalgången i Norra stationsområdet utgörs av två stora undre grundvattenmagasin i jord samt ett antal isolerade mindre övre grundvattenmagasin. De två undre magasinerna separeras av bergsryggen väster om Solnabron. Båda magasinerna begränsas i norr av högre bergnivåer upp mot E4/E20 och Karolinska området samt söder ut av bergshöjder upp mot Vasastaden. Grundvattenmätningar har utförts sedan mitten av 1970-talet och framåt. Grundvattenrör har bland annat installerats i samband med kontrollprogram för Norra länken och för Citybanan.

Uppmätta nivåer i det undre magasinet väster om Solnabron visar på cirka +11,5, ytterligare västerut ligger nivån på +11. Direkt öster om Solnabron ligger nivån på +12 och längre österut på +11, figur 22. Nivåerna indikerar således en vattendelare i området kring Solnabron.

Längs med vägrampen upp från Klarastrandsleden upp till Norra station löper en stödmur. På insidan av stödmuren mot Norra stationsområdet finns en dränering på nivån +9,7 (Vägverket och Stockholm stad, 2010).



Figur 21 Grundvattenrör i jordmagasin i anslutning till Norra station och Tomtebodan. Endast rör redovisas där mätserier i föreliggande kapitel utvärderats.



Figur 22 Nivåmätningar i det undre grundvattenmagasinet vid Norra station

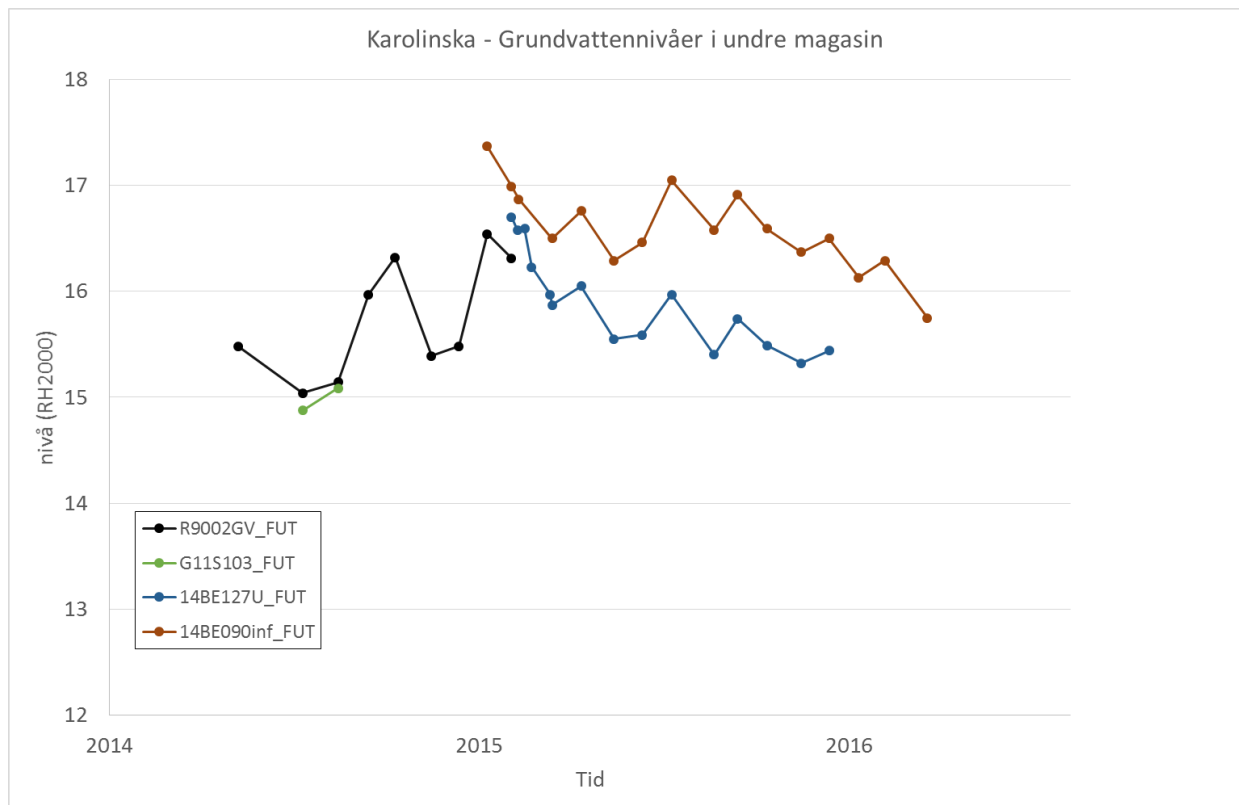
Det undre grundvattenmagasinet har undersökts genom provpumpning vid Torsplan. Provpumpningen visar att bergsryggen väster om Solnabron utgör en hydraulisk barriär mellan det västra respektive östra undre grundvattenmagasinet.

Det östra undre magasinet begränsas av Stockholmsåsen i öster och grundvattendelaren vid Solnabron i väster. Grundvattenbildning till magasinet sker via omgivande höglänta områden i söder, Vasastaden, och i norr, Karolinska området. Längs med Norra stations dalgång sträcker sig väg E4/E20. För att begränsa grundvattenbortledning genom vägens dräneringssystem har ett system av dämmande konstruktioner anlagts i området. Vidare finns tvärs E4/E20 strömningsavskiljande konstruktioner med en dämmande nivå på +12 för att minska risken för utdränering längs med vägen (i underbyggnaden). Dock ligger grundvattennivån i detta område på +10. Troligen sker en bortledning av grundvatten via ledningsgravar för dagvatten under E4/E20. Cirka 140-180 meter nordost om Solnabron finns en mur. Muren har byggts i syfte att upprätthålla grundvattennivån norr om muren, inom Nya Karolinska sjukhuset. Baserat på genomförd provpumpning i det undre magasinet har transmissiviteten tidigare uppskattas till cirka $T=2 \cdot 10^{-4}$ till $T=4 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ (Vägverket, 2010).

Den pågående intunnlingen av E4/E20 och projekt Hagastaden kan lokalt påverka det östra magasinet. En tätskärm har anlagts för att minimera omgivningspåverkan.

I samband med anläggandet av Nya Karolinska sjukhuset har undersökningar utförts nordost om Solnabron. Jorddjupet är tunt i de högre belägna delarna. Närmare Solnabron och E4/E20 ökar jorddjupet och ett mindre grundvattenmagasin förekommer. Provpumpningar utförda i den södra delen av sänkan, i bergövertyans översta metrar inom området för Nya Karolinska sjukhuset längs med Norra länken, visade på transmissivitet på drygt $T=10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$. Lagerföljden vid pumpbrunnarna var 2-7 meter fyllning, 0,5-2 meter lera överlagrande ett friktionsjordlager på 0,5-1,5 meter ovanpå berg (Ramböll, 2009).

Exakt utbredning av grundvattenmagasinet är okänd på grund av stor avsänkning i samband med byggnation av Nya Karolinska Solna, figur 23. Då det anläggs en fast dräneringsnivå förväntas framtida grundvattennivåer ligga stabilt kring +14,5 [5].

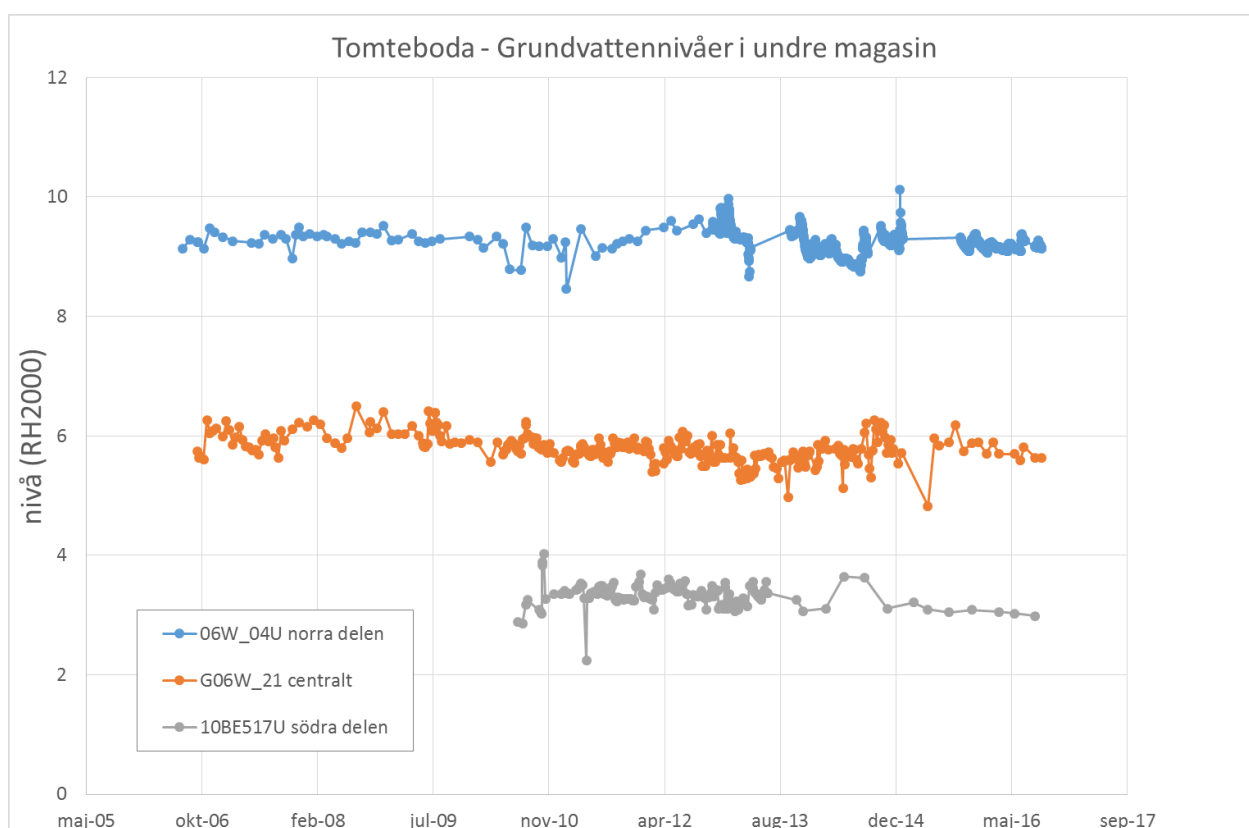


Figur 23 Nivåmätningar i det undre grundvattenmagasinet vid Karolinska

Tomteboda

I anslutning till Tomteboda spårområde finns en större jordfylld sänka som avgränsas i nordöster av en brant bergvägg och mot sydväst av flera nordsydligt orienterade bergsryggar (Karlbergsområdet). De norra delarna av sänkan, mellan höjdområdet i öst och Tomteboda höjdområde i väst, utgörs av en varierande bergrundsytta i sadelform som bildar östvästligt grundvattendelare tvärs över spår och bangårdsområdet. Tomtebodaområdets södra del sluttar mot söder och avrinner där generellt mot Karlbergssjön (Banverket, 2007a).

I öst avgränsas området mot västra delen av Norras stationssänkan där en stödmur löper längs med vägrampen upp från Klarastrandsleden till Norra station. Grundvattennivån faller inom detta område mot Karlbergssjön. På insidan av stödmuren mot Norra stationsområdet finns en dränering på nivån +9,7, och längre sydväst på andra sidan stödmuren uppmätts nivåer på +6 och +3,5 figur 24.



Figur 24 Nivåmätningar i det undre grundvattenmagasinet vid Tomteboda.

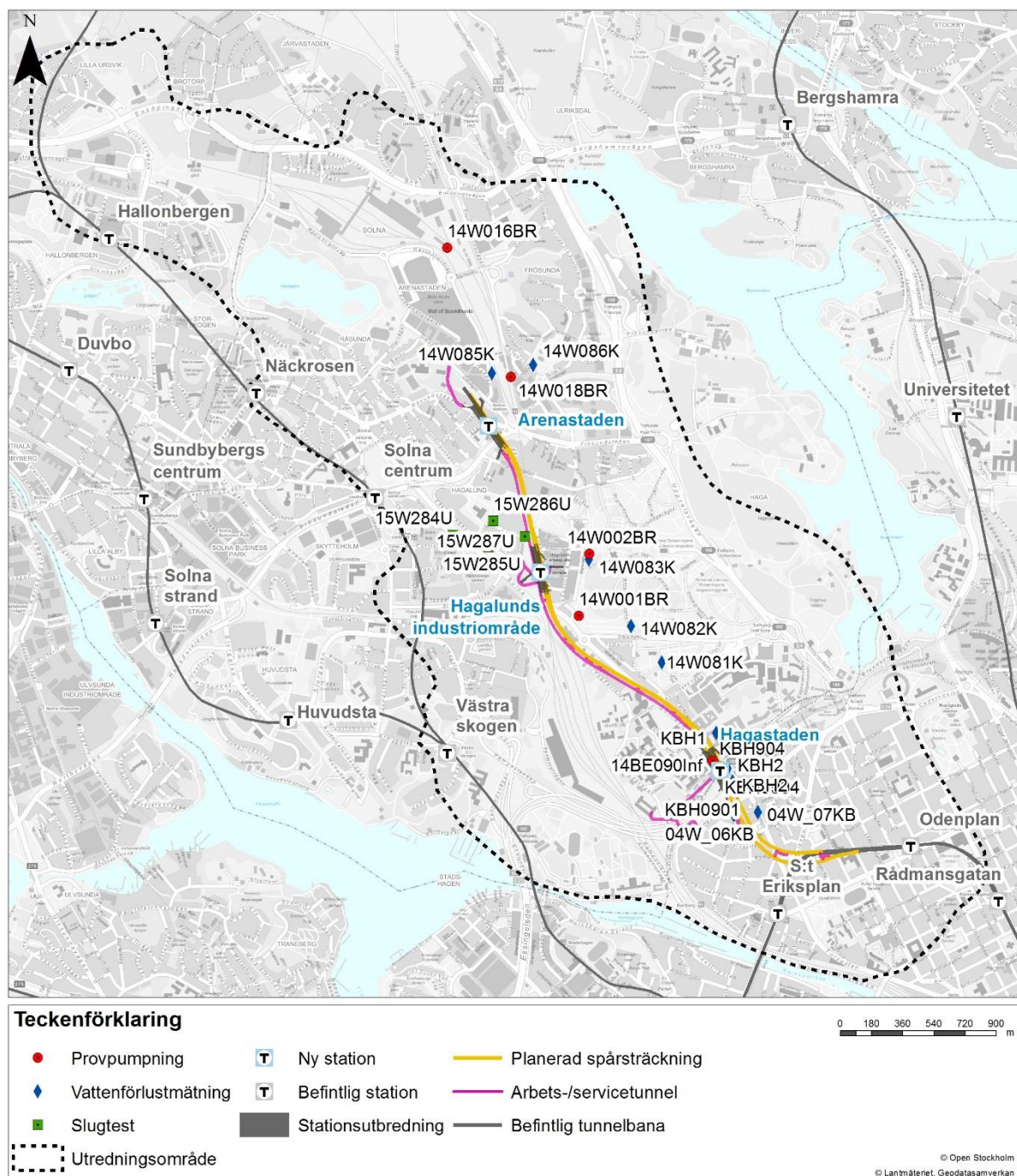
Pampas

Området kring Pampas utgörs av en jordfylld sänka omgiven av större bergryggar, Västra Skogen i väst, postens terminalområde i norr, Karlbergsområdets i syd samt mindre nordost-sydvästligt orienterade bergsryggar mot Tomteboda höjdområde i öst.

Inga mätserier finns för området men under 2013 uppmättes grundvattennivåer i det undre magasinet på cirka +5 (Iterio, 2013). Grundvattenströmningen är i sydvästligt riktning.

Norra begravningsplatsen och Hagalund

Längs sträckningen av Tunnelbana till Arenastaden har tre undre magasin i jord identifierats inom området; Norra begravningsplatsen södra respektive norra sänkan samt Huvudsta. Hydrogeologiska tester utförda i magasinerna visas i Figur 25.



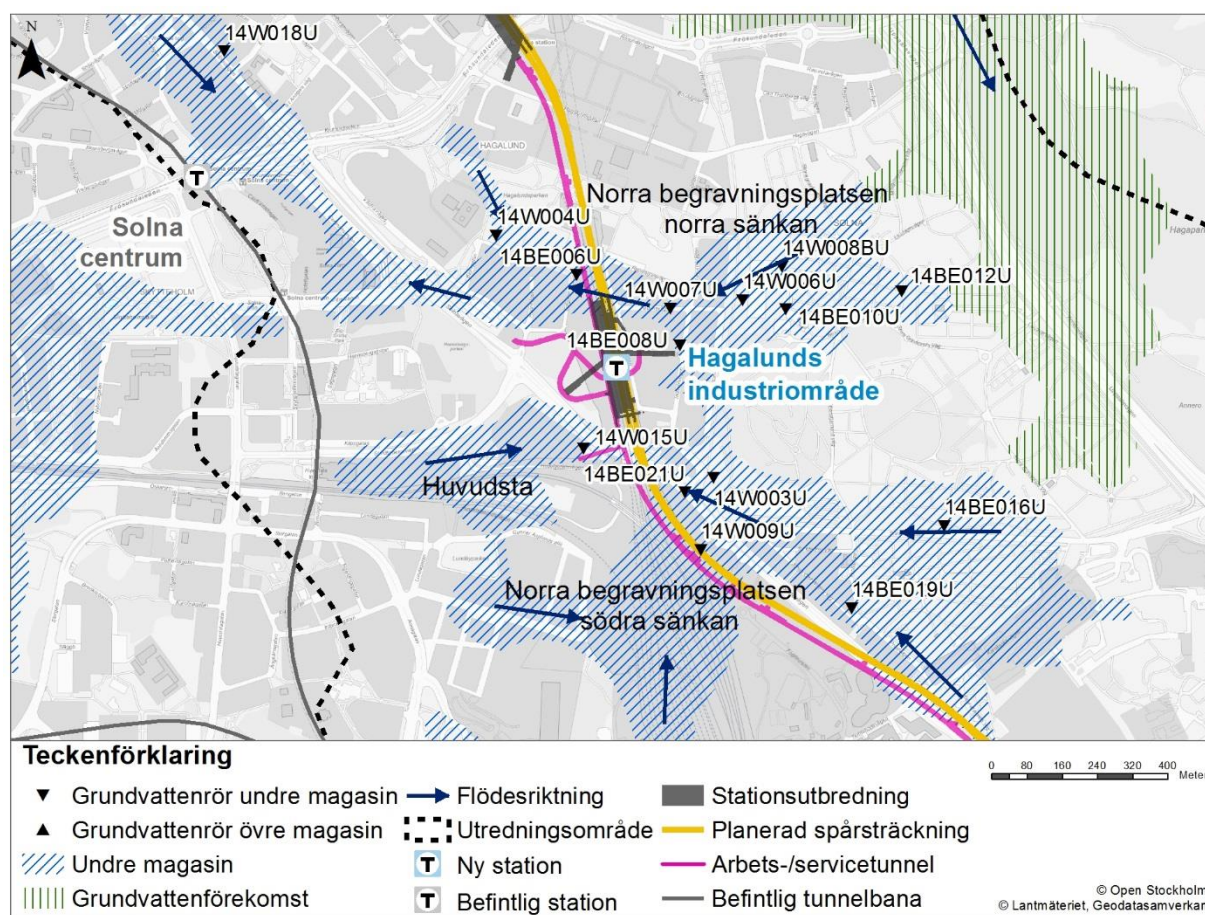
Figur 25 Översikt av hydrogeologiska tester utförda i anslutning till sträckningen av Tunnelbana till Arenastaden.

Norra begravningsplatsen, södra sänkan har undersökts genom provpumpning i brunn 14W001BR [1]. Bergnivån vid läget för provpumpningen ligger cirka 16 meter under markytan. Jordlagerföljden utgörs av cirka 8 meter friktionsjord som överlagras av 6 meter lera följt av fyllnadsmaterial/friktionsjord med en mäktighet på 2 meter.

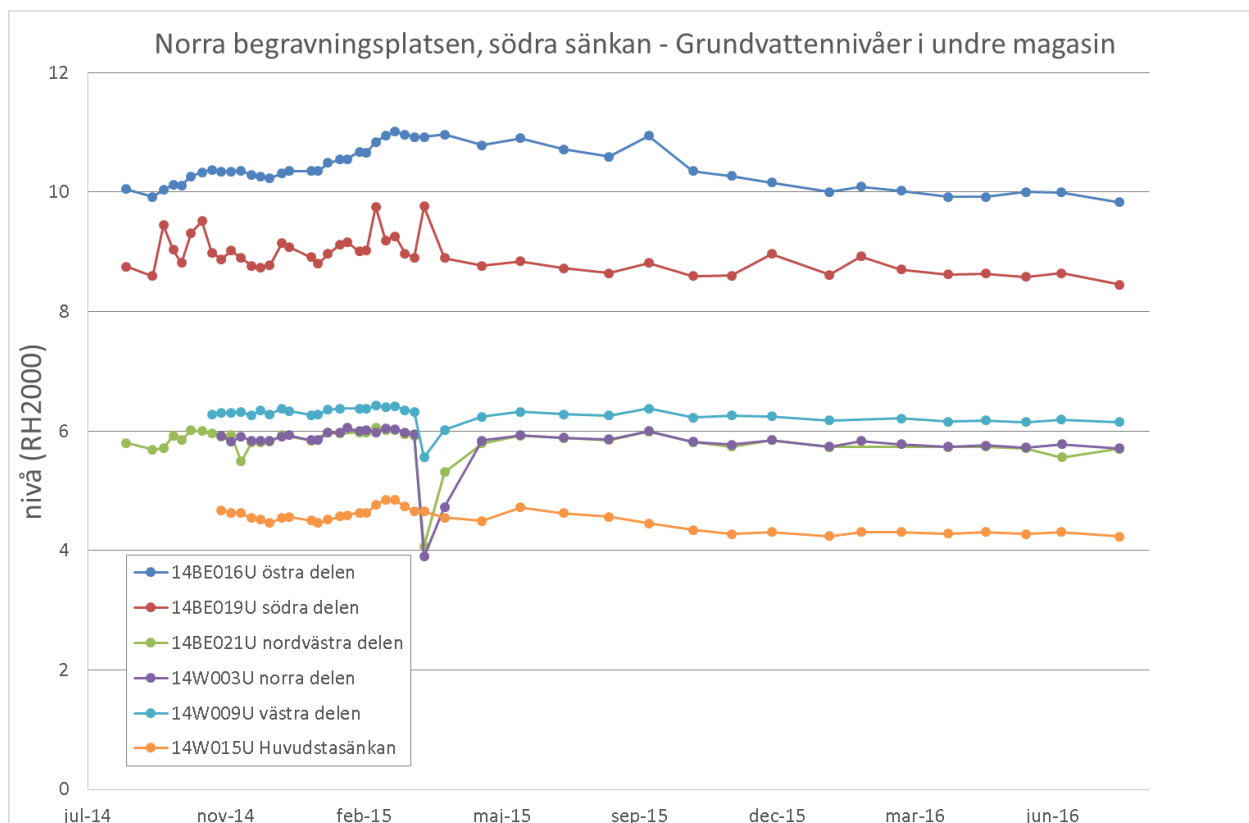
Inom hela grundvattenmagasinet ligger bergnivån som mest cirka 25 meter under markytan enligt utförda undersökningar. Brunnen ligger cirka 70 meter öster om Tunnelbana till Arenastadens sträckning. Provpumpningen genomfördes i mars 2015 under 2 veckor och avsänkningen i brunnen vid pumpstopp var 2,5 meter. I kringliggande grundvattenrör på ett avstånd av 3 till 230 meter från pumpbrunnen uppmättes en avsänkning på 0,8 till 2,5 meter där avsänkningen minskade med avståndet. Resultatet från propumpningen visade ingen hydraulisk samverkan i ett observationsrör 300 meter norrut. Drygt 300 meter öster uppmättes ingen hydraulisk samverkan med grundvattenrören, vilket indikerar en avgränsning av det undre magasinet. Söderut från brunnen sträcker sig en lersvacka där en mindre avsänkning kunde noteras i en punkt cirka 400 meter från pumpbrunnen. Ingen hydraulisk koppling i det undre magasinet kunde påvisas i en punkt 300 meter väster om pumpbrunnen. Utvärderingen av genomsläppligheten i det undre magasinet visar på en hydraulisk transmissivitet på i genomsnitt $T=6 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$.

Mot bakgrund av resultat från propumpningen, samt baserat på geologin och topografin, bedöms att magasinet väster om Tunnelbana till Arenastaden, kallat Huvudstamagasinet, är ett separat mindre undre grundvattenmagasin.

Nivåuppgifter inom området har registrerats från olika grundvattenrör under 2014 och 2016 I figur 26 visas placeringen av de grundvattenrör vars mätserier redovisas i diagram i Figur 27 och Figur 28. I det undre magasinet varierar grundvattennivån mellan +10,5 i öster och +6,5 i väster. Längre västerut, i Huvudstamagasinet, ligger grundvattennivån på +4,6. I figur 27 ses även effekten av den genomförda propumpningen beskriven ovan. I hela området visar mätningarna att nivåerna varierar relativt måttligt (cirka 0,2 till drygt 1,5 meter) borträknat effekten av propumpningen.

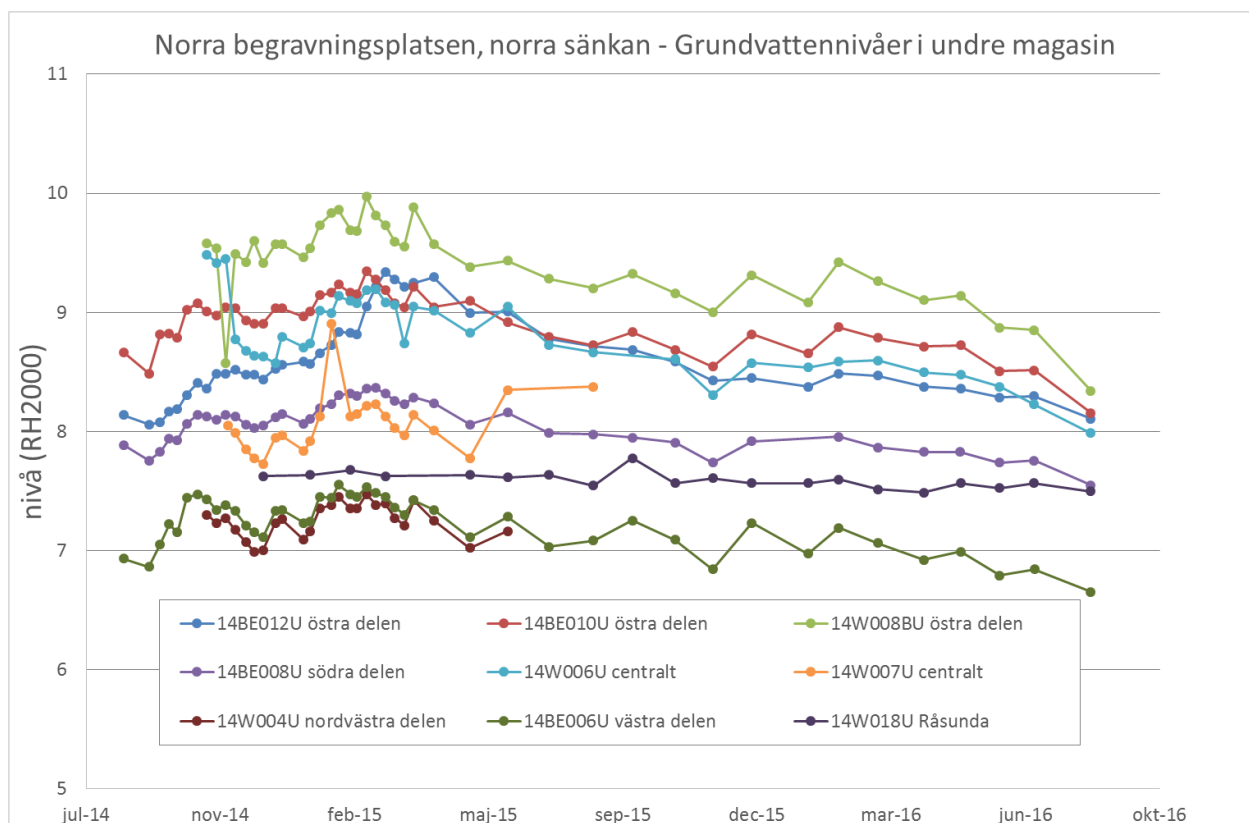


Figur 26 Grundvattenrör i jordmagasin i anslutning till Norra begravningsplatsen. Endast rör redovisas där mätserier i föreliggande kapitel utvärderats.



Figur 27 Nivåmätningar i det undre grundvattenmagasinet vid Norra begravningsplatsen, södra sänkan.

Norra begravningsplatsen, norra sänkan, har undersökts genom provpumpning i brunn 14W002BR [1]. Bergnivån vid läget för provpumpningen, punkten 14W005, ligger cirka 23 meter under markytan. Grundvattenmagasinets vattenförande lager, friktionsjorden som är 12 meter mäktigt, överlagras här av 6 meter lera och fyllnadsmaterial/friktionsjord med en mäktighet på 5 meter. Jordmäktigheten är totalt cirka 30 meter. Generell jordlagerföljd är fyllnadsmaterial på mäktig lera som övergår i silt med inslag av sand. Ovan berg förekommer friktionsmaterial med varierande mäktighet. Brunnen ligger cirka 280 meter öster om Tunnelbana till Arenastadens sträckning. Provpumpningen genomfördes under en dryg vecka under december 2014 och avsänkningen i brunnen vid pumpstopp var 6,5 meter. Ingen respons av provpumpningen har kunnat utläsas i något av de kringliggande observationsrören. Anledningen till utebliven respons kan vara att friktionsmaterialet utanför filtret har låg genomsläpplighet alternativt att brunnen har dålig hydraulisk kontakt med omgivande formation. Då resultatet av provpumpningen var svårtolkad genomfördes kompletterande slugttester i fyra grundvattenrör. Utvärdering av hydraulisk konduktivitet gav värden på $K=1,7 \cdot 10^{-7}$ till $K=9,2 \cdot 10^{-6}$ m/s. Bedömningen är att det undre magasinet är måttligt genomsläppligt [1].



Figur 28 Nivåmätningar i det undre grundvattenmagasinet vid Norra begravningsplatsen, norra sänkan.

Grundvattennivåuppgifter inom området har registrerats från olika grundvattenrör sedan 2014. I figur 26 visas placeringen av de grundvattenrör vars mätserier redovisas i diagram i figur 28. I det undre magasinet varierar grundvattennivån mellan +9,5 i öster och +7,3 i väster. I hela området visar mätningarna att nivåerna varierar relativt måttligt (cirka 0,5 till drygt 2 meter).

Arenastaden och Frösunda

Sträckningen av norra delen av Tunnelbana till Arenastaden ligger i anslutning till ett större undre grundvattenmagasin som sträcker sig mellan Stockholmsåsen i öster och förbi Råstasjön i väster, och mellan Enköpingsvägen i norr och Hagalund i söder. Magasinets hydrogeologiska egenskaper har undersökt genom provpumpning på två ställen. Dels 800 meter nordost om station Arenastaden (14W016BR) och dels i en punkt cirka 200 meter norr om stationen (14W018BR), [1] och [1].

I brunnsläget för brunn 14W016BR ligger bergnivån cirka 19 meter under markytan.

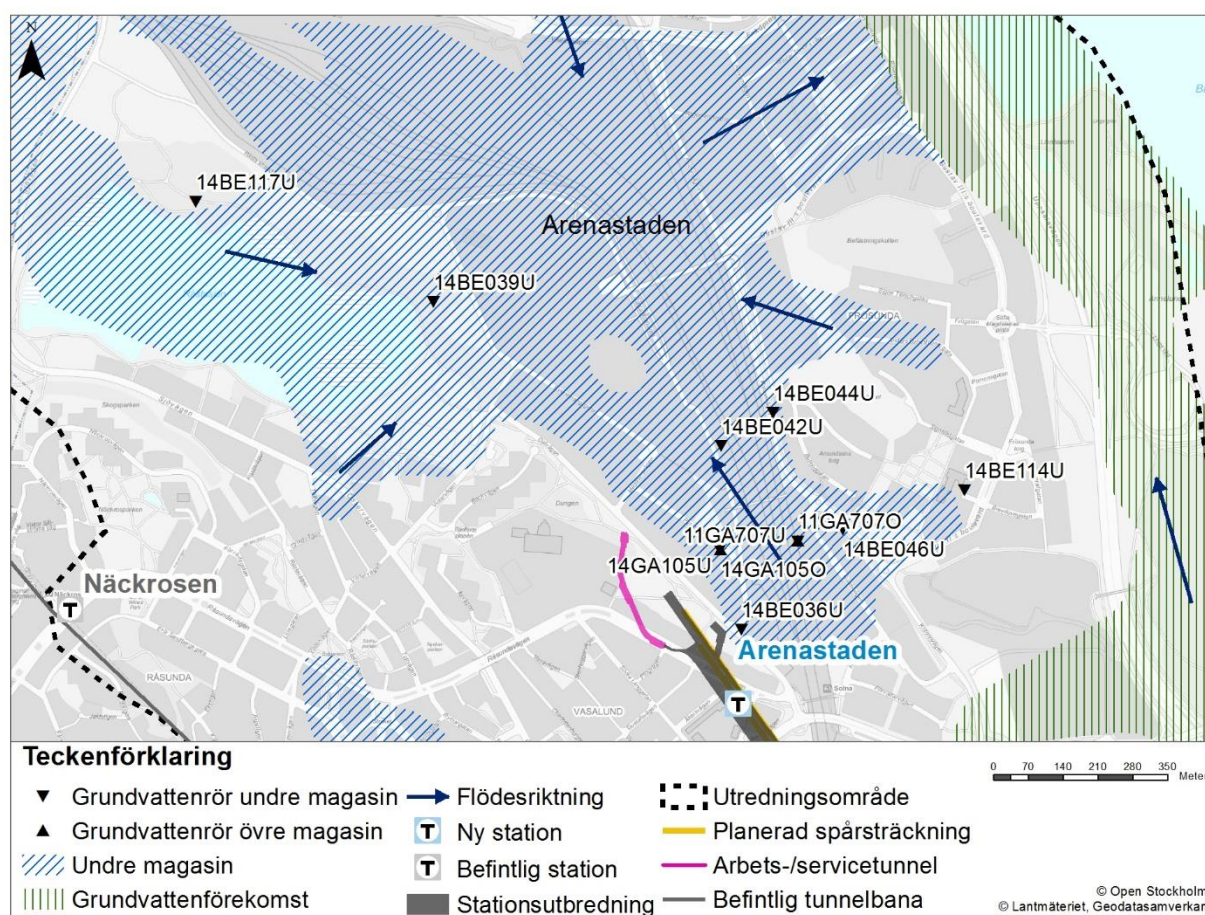
Grundvattenmagasinets vattenförande lager (friktionsjorden) är 7 meter mäktigt och överlagras av 6 meter lera och fyllnadsmaterial med en mäktighet på 5 meter. Provpumpningen genomfördes under 3 dagar under maj 2015 och avsänkningen i brunnen vid pumpstopp var 4,4 meter.

Påverkan från provpumpningen kunde endast spåras i ett grundvattenrör cirka 4 meter från brunnen, där det uppmättes en avsänkning på 0,6 meter. Övriga grundvattenrör där mätningar genomfördes låg cirka 100 till 340 meter från pumpbrunnen. Förklaringen till den begränsade påverkan bedöms vara låg transmissivitet i det undre magasinet. Utvärderingen av genomsläppligheten uppvisade en hydraulisk transmissivitet på i genomsnitt $T=8,5 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$.

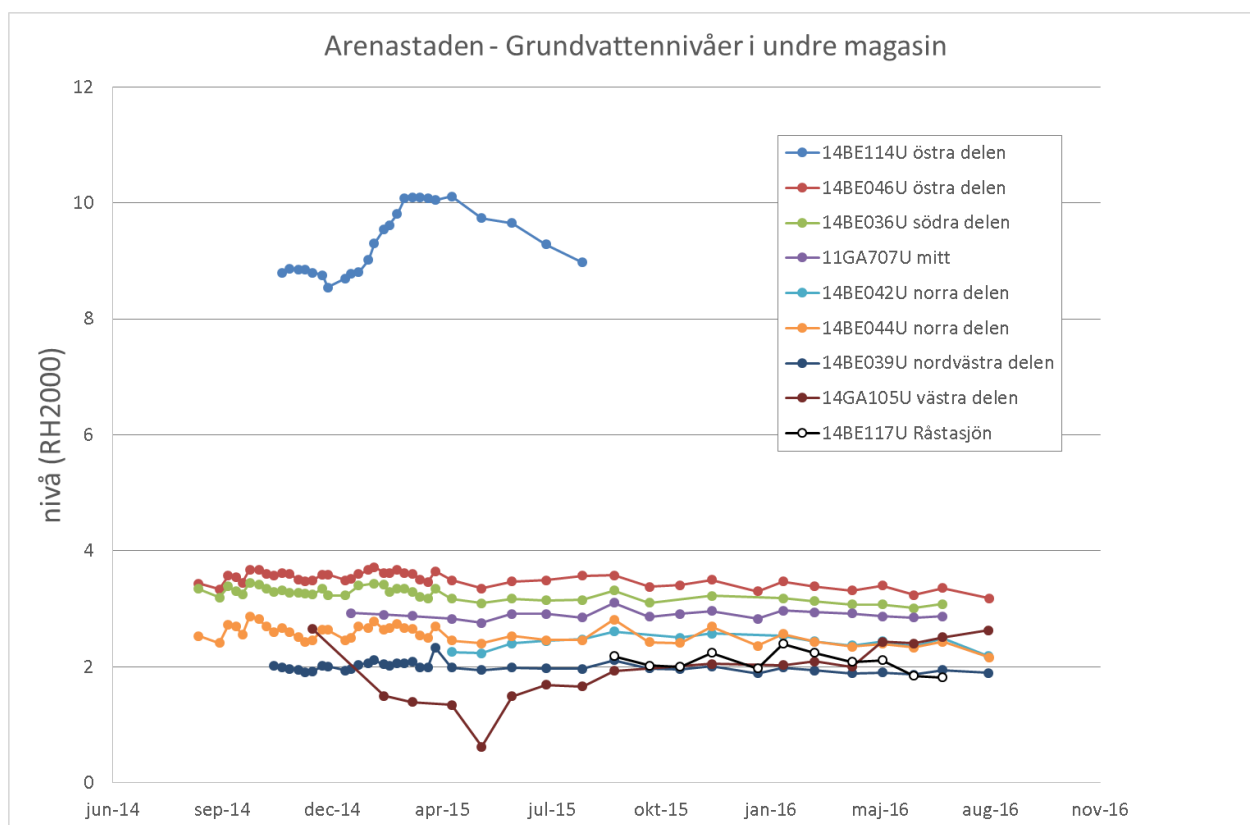
I brunnsläget för brunn 14W018BR ligger bergnivån cirka 18 meter under markytan.

Jordlagerföljden i området visar på ett 8 meter mäktigt friktionsjordlager som överlagras av lera på 5 meter följd av fyllnadsmaterial. Provpumpningen genomfördes under 3 dagar under juli 2015

och avsänkningen i brunnen vid pumpstopp var 5,4 meter. I ett grundvattenrör cirka 3 meter bort uppmättes en avsänkning som mest på 1 meter. Resultatet från propvpumpningen visar endast en måttlig hydraulisk samverkan i ett observationsrör 40 meter norrut. I en punkt 300 meter norrut detekterades ingen påverkan alls. Detta indikerar en lägre transmissivitet i denna riktning vilket överensstämmer med resultatet från propvpumpningen i 14W016BR. Cirka 350 meter öster ut uppmättes ingen hydraulisk samverkan. Dock kunde påverkan noteras i en mer närliggande punkt, cirka 100 meter österut, vilket tyder på en avgränsning av det undre magasinet mellan de båda punkterna. I en punkt cirka 180 meter söder om pumpbrunnen observeras endast en måttlig påverkan. Längre söder ut begränsas magasinet av ytligt berg. Dock ger inte resultatet från propvpumpningen den tydliga respons på en negativ hydraulisk gräns som kan förväntas, det vill säga ett minskat tillskott av vatten på grund av täta lager. Detta kan förklaras med att det undre magasinet vid randen får ett tillskott av vatten från överlagrande jordlager (övre magasin). Väster ut kunde den hydrauliska responsen mätas på 350 meters avstånd, dock påverkades mätningarna av annan byggverksamhet i området som genererade höjda nivåer varför propvpumpningens enskilda påverkan inte kunde utvärderas. Dock bedöms att den hydrauliska kopplingen västerut är god. Utvärderingen av genomsläppligheten i det undre magasinet visar en hydraulisk transmissivitet på i genomsnitt $T=1,8 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$.



Figur 29 Grundvattenrör i jordmagasin i anslutning till Arenastaden. Endast rör redovisas där mätserier i föreliggande kapitel utvärderats.

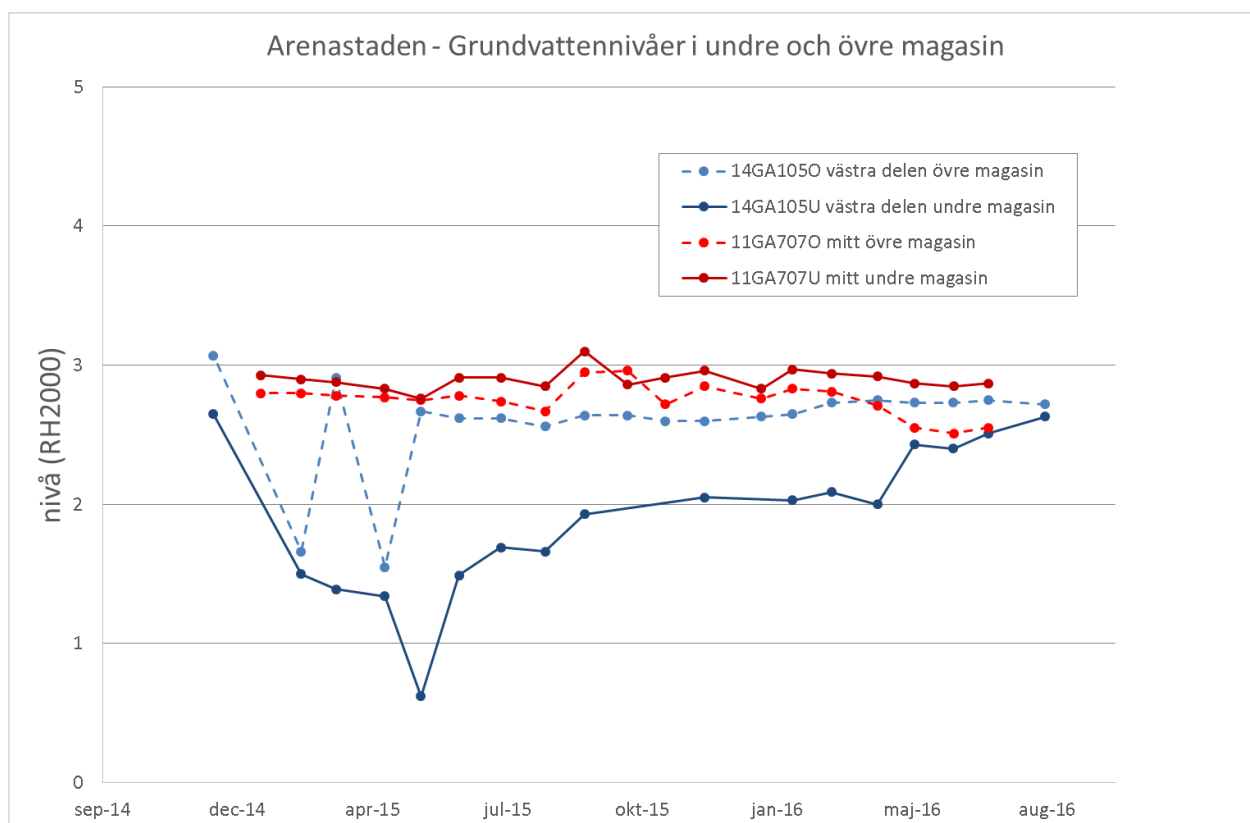


Figur 30 Nivåmätningar i det undre grundvattenmagasinet vid Arenastaden

Nivåuppgifter inom området har registrerats från olika grundvattenrör under 2014 och 2015. I figur 29 visas placeringen av de grundvattenrör vars mätserier redovisas i diagram i figur 30. I figur 30 redovisas trycknivån i en östlig punkt (14BE114U). Trycknivån och fluktuationsmönstret för 14BE114U skiljer sig betydligt från övriga punkter i magasinet. Som ovan beskrivits visade provpumpningen att det inte heller fanns någon samverkan mellan 14BE114U och brunn 14Wo18BR i anslutning till station Arenastaden.

I det undre magasinet varierar grundvattennivån mellan +3,6 i öster (punkten 14BE114U inte medräknad) och +3,3 i söder där norra uppgången vid station Arenastaden är planerad. Norr och väster ut minskar nivåerna ned mot +2 respektive +1,6. Längre västerut uppmäts nivåer till cirka +2 i anslutning till Råstasjön. I området visar mätningarna att nivåerna varierar relativt måttligt (cirka 0,3 till 2 meter). Den största variationen noteras för grundvattenrör 14GA105U som dock bedöms orsakas av pågående byggnation.

I figur 31 redovisas mätningar av grundvattennivåer i det övre magasinet i anslutning till station Arenastaden. I den del av magasinet som är belägen nordost om station Arenastaden visar mätningar i det övre och undre magasinet på samma trycknivå, cirka +2,8 vilket indikerar en möjlig hydraulisk förbindelse mellan magasinen. I den del av magasinet som är belägen norr om station Arenastaden visar däremot mätningar i det övre och undre magasinet nivåer på +2,5 respektive +1,6, det vill säga en tryckskillnad på 1 meter. Bedömningen görs att det övre och undre magasinet där har begränsad hydraulisk förbindelse. Dock pågår en intensiv bygghverksamhet i området varför mätningarna är påverkade vilket gör bedömningen osäker.



Figur 31. Jämförelse mellan nivåmätningar i två punkter mellan det undre och övre grundvattenmagasinet vid station Arenastaden

3.6 Vattenbalans och objekt som påverkar vattenbalansen

Då inläckande grundvatten kommer att behöva ledas bort vid anläggande och drift av tunnlar och stationer kommer grundvattenförhållandena längs med Tunnelbana till Arenastaden att påverkas. Om grundvattenförande grundvattenmagasin i jord påverkas kan problem uppstå med exempelvis sjunkande grundvattennivåer. Genom att upprätta vattenbalanser kan balansen mellan tillgång och bortledning av grundvatten studeras och potentiell grundvattenpåverkan identifieras och kvantifieras.

3.6.1 Klimatologi och grundvattenbildning

För att uppskatta hur stor del av nederbörden som kan bidra till grundvattenbildning har en klimatologisk vattenbalans upprättats för att beräkna nettonederbörden (den del av nederbörden som inte avdunstar). Beräkning av nettonederbörden baseras på uppgifter från SMHI gällande nederbörd, avrinningsdata och avdunstning.

I Stockholm uppgår nederbörden till 600 – 650 mm/år. Avdunstning och växtupptag uppgår generellt till 400 – 500 mm/år (SMHI, 2015). I vattenbalansberäkningarna för Tunnelbana till Arenastaden antas en generell nettonederbörd på 190 mm/år.

I urbaniserade områden begränsas grundvattenbildningen av hårdgjorda ytor, exempelvis hustak, asfaltytor och markplattor.

Vatten tillförs grundvattenmagasinen i jord och berg dels som nybildning som beror på nettonederbörden och dels som grundvattentillskott från andra magasin, exempelvis vid strömning mellan ett övre och undre grundvattenmagasin.

I urbana områden kan även ett betydande tillskott ske via läckande VA-ledningar.

Som det visats i flera studier så begränsar jordarterna knappast alls nybildningen av grundvatten. Kalt bergs beskaffenhet, sprickfrekvens och lutningsförhållanden gör det dock. Men andel berg i dagen inom aktuellt område är tämligen sparsamt förekommande, därtill till stor del täckt av hårdgjorda ytor som ofta är mer styrande (tätare) än det underliggande berget.

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

Läckage genom lera utgör normalt ett mycket litet tillskott till ett undre magasin. Läckage genom friktionsjord i randzoner jord/berg utgör normalt det dominerande tillskottet. Läckage genom berg till ett undre magasin utgör vanligen ett mindre tillskott för magasin med måttlig areell utbredning. För stora magasinutbredningar kan tillskottet via berg vara större.

Vid en grundvattensänkning, till exempel genom grundvattenbortledning från ett undre magasin, sker normalt ett ökat tillskott av grundvatten till magasinet, vanligen genom ökad strömning från övre magasin och även (oftast till mindre del) genom ökad strömning från underliggande berg. En annan effekt av trycksänkning i ett undre magasin är att utflödet av grundvatten från magasinet kan minska. Ovanstående principer är även giltiga för grundvattenmagasin i berg. För övre grundvattenmagasin i urban miljö medför en grundvattensänkning oftast att andel ytligt grundvatten som avgår till dränerande stråk (väg- och husdräneringar, kringfyllnad i ledningsgravar) minskar. Samma effekt är även giltig för dränerande konstruktioner i djupare magasin, det vill säga att en trycksänkning i anslutning till sådana konstruktioner medför att grundvattenbortledningen (inläckaget) minskar. En avsänkning av grundvattenytans läge, där denna ligger relativt ytligt och därmed kan vara styrd av dränerande stråk, kan enligt resonemang ovan ses som att "grundvattenbildningen" till magasinet ökar, även om det i egentlig mening snarare är att utdräneringen av grundvatten minskar. Vad gäller läckande, ej trycksatta, VA-ledningar, så kan en grundvattensänkning dock leda till ökad grundvattenbildning. Detta genom att ett inläckage till en otät VA-ledning kan omvandlas till ett utläckage från densamma. Av betydelse är således att beakta att det för magasin där nivån till större eller mindre del styrs av befintliga dränerande konstruktioner finns en viss "buffert" vid en måttligt ökad grundvattenbortledning. Denna buffert utgörs av det grundvatten som dräneras till befintliga konstruktioner och denna buffert minskar effekten (nivåsänkningen) av en ökad grundvattenbortledning.

3.6.2 Markanvändning

Markanvändningen inom området varierar mellan starkt urbaniserat till naturmark. Generellt utgörs området kring Vasastaden och Odenplan av bostäder och handel. Norra stationsområdet centrala delar utgörs i huvudsak av infrastruktur, E4/E20 och Värtabanan (väg och järnväg) samt i den västra delen servicetunnel för Citybanan.

Naturliga infiltrationsytor utgörs av Observatorieparken och Vasaparken, samt på området som begränsas av Västmannagatan, Upplandsgatan, Odengatan och Karlbergsvägen (Gustaf Vasas kyrktomt). Större infiltration sker även vanligen på innergårdar. I övrigt sker begränsad infiltration på hårdgjorda ytor som trottoarer och vägar och ingen infiltration på takytor. LOD-system (Lokalt Omhändertagande av Dagvatten) kan dock föra takvatten till grundvattenmagasinen.

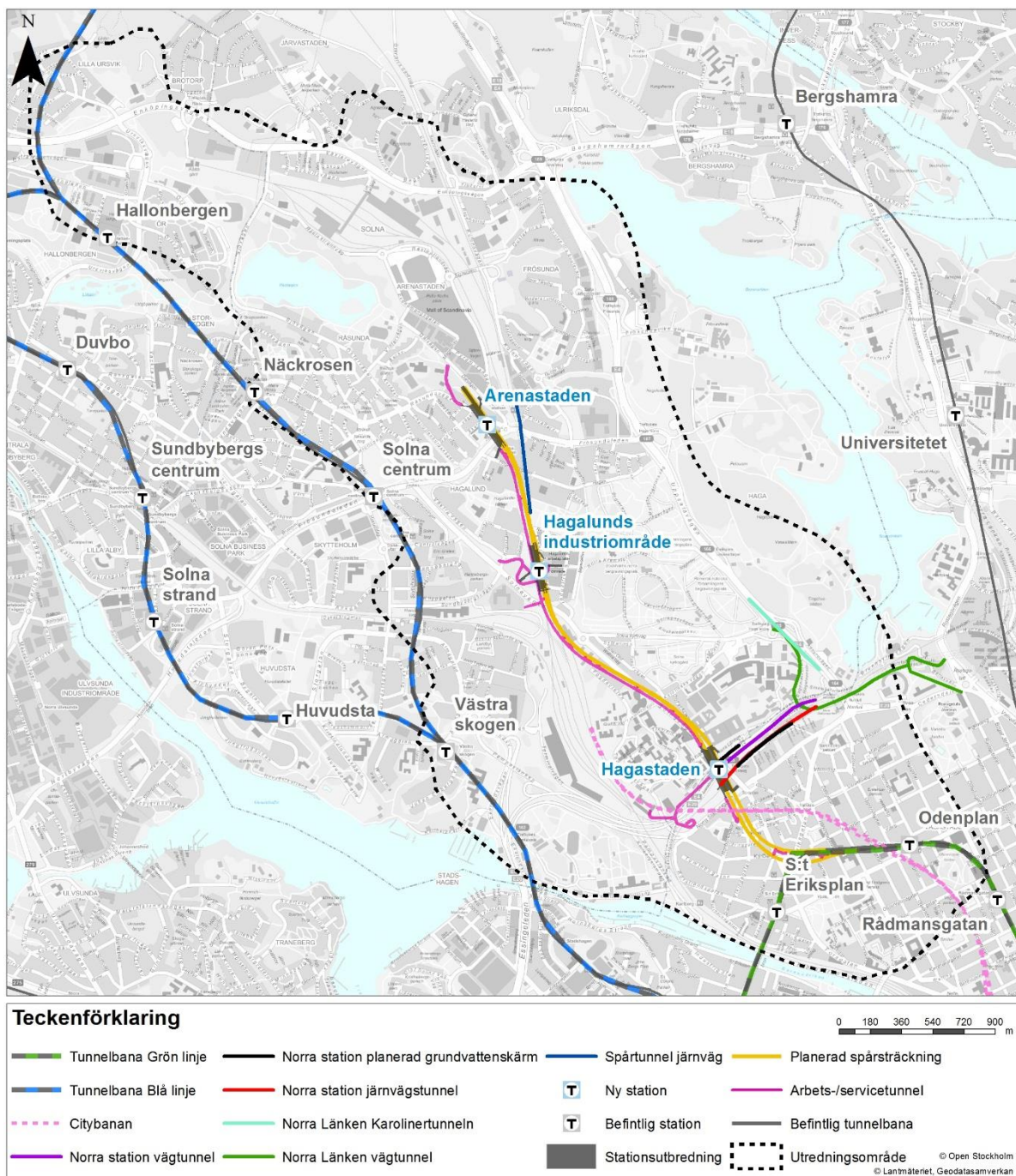
Områdena kring Karolinska institutet och sjukhuset är i huvudsak urbaniserade men inslag av mindre grönområden förekommer. Norra begravningsplatsen och området längs med

Stockholmsåsen, så kallade Hagaparken, utgörs i huvudsak av grönområden. Längre norrut, det vill säga Hagalund och området kring Arenastaden, är marken i huvudsak urbaniserad. I anslutning till spårområdet, som sträcker öst och norr om Arenastaden, finns dock stora ytor belagda med makadam där infiltration kan ske. Längs med den västra delen av utredningsområdet är marken urbaniserad, dock till övervägande del av bostadsområden (blandad bebyggelse) där en hel del grönområden förekommer i form av gårdsytor och villaträdgårdar.

Med avseende på hydrogeologin i området medför urbaniseringsgraden att normal infiltration och grundvattenbildning försvåras då markytor är täckta av gator eller byggnader, så kallade hårdgjorda ytor. Avrinnande vatten vid nederbörd fångas upp via dagvattensystem och leds bort.

3.6.3 Objekt som påverkar vattenbalansen

Sammanställning har gjorts av befintliga undermarksanläggningar i berg och jord som kan påverka grundvattenförhållandena inom utredningsområdet. Inom projekt Citybanan genomfördes omfattande inventeringsarbete och besiktningar av tunnlar för bland annat Vasastaden (Banverket, 2007a). För vissa tunnlar finns även uppgifter om inläckage. Vidare har uppgifter hämtats från PM Hydrogeologi för tillståndsprövning av intunnlingen av E4/E20 och Värtabanan (Vägverket och Stockholm stad, 2010). I figur 32 redovisas översiktlig de största undermarksanläggningarna.



Figur 32 Översikt av större befintliga undermarknanläggningar inom utredningsområdet

Nedan redogörs för de anläggningar som potentiellt kan påverka vattenbalansen för respektive grundvattenmagasin.

Sänkan vid Odenplan

- Citybanan: I den del av Citybanan som sträcker sig under Vasastaden och ut mot Tomtebodan har inläckage mätts i två sektioner, Vasatunneln 1 och Vasatunneln 2. Vasatunneln 2 sträcker från Observatorielunden under Odenplan och vidare till Vanadisplan. Vasatunnel 1 sträcker sig från Vanadisplan till Tomtebodan. Respektive tunnel är cirka 1000 meter lång. De månadsvisa mätningarna i Vasatunneln 1, under nästan 4 års tid (2013- september 2016), visar på flöden mellan 30 och 70 l/min. För Vasatunnel 1 beräknas ett medeläckage för hela perioden till cirka 50 l/min, vilket ger cirka 5 l/min och

100 meter tunnel. För Vasatunneln 2 har inläckaget under perioden 2013-september 2016 varierat mellan 20 och 80 l/min. För Vasatunnel 2 beräknas även ett medeläckage till cirka 50 l/min, vilket ger cirka 5 l/min och 100 meter tunnel. Information har erhållits ur Trafikverkets mätdatabas för omgivningspåverkan, (TMO, 2016).

- Grön linje från Odenplan och vidare söderut: Tunnelbanan utgörs i huvudsak av en betongtunnel som ligger över grundvattennivån i undre magasinet. Tunnelarna lutar ned mot Rådmansgatan där en pumpgrop är belägen (Banverket, 2007a). Mätningar av inläckage utfördes i samband med utbyggnationen av Citybanan. .
- Öst-västlig ledningstunnel N1: En relativt ytlig ledningstunnel (5,5 meters djup) sträcker sig fram längs Vanadisvägen (Banverket, 2007a). Medelinläckaget uppskattas till 1,7 l/min och 100 meter tunnel (TMO, 2016).
- Ledningstunnel N2. På nivån -19 sträcker sig en djupt förlagd ledningstunnel fram under Upplandsgatan (Banverket, 2007a). Medelinläckaget uppskattas till mellan 0,23 och 0,3 l/min och 100 meter tunnel (TMO, 2016).
- Ledningstunnel N3: Mellan Odengatan och Observatoriegatan löper en ledningstunnel (Banverket, 2007a). Medelinläckaget uppskattas till 1,3 l/min och 100 meter tunnel (TMO, 2016).
- Bergrumsgarage vid Odenplan: Inläckaget har tidigare uppskattas till mindre än 0,5 l/min och 100 meter tunnel (Banverket, 2007a).

Vidare har ett antal infiltrationsbrunnar etablerats inom området för att säkerställa grundvattennivån i anslutning till grundvattenberoende byggnader, tabell 7.

Tabell 7 Infiltrationsbrunnar i anslutning till Odenplan, basflöde perioden 2014-2015 (TMO, 2016).

Infiltrationsbrunn	Fastighet/Gata	Grundvattenmagasin	Basflöde* (l/min)
07GA310INF	Karlavagnen 10	Övre	0
08GA301INF	Snölockan 6	Övre	0
11BE529INF	Västmannagatan	Undre	4

Sänkan norr om Vasaparken

- Grön linje från Odenplan till Sankt Eriksplan: Baserat på mätningar i en 70 meters förbindelsetunnel i anslutning till Grön linje uppmättes inläckaget till cirka 4 l/min (6 l/min och 100 meter tunnel). Mätningarna baserades på ett försök som genomfördes 2004. Tunneln tömdes för att inläckage skulle kunna mätas men inga effekter på omgivande grundvattennivåer kunde konstateras (Banverket, 2007a). Vid själva Odenplan är dock inläckaget till befintlig betongtunnel för Grön linje nästan noll.
- Tätskärm: Vid Sankt Eriksplan uppfördes 2001 en tätskärm med syfte att skydda grundläggningen på kvarteret Gjutaren mindre vid byggnation av parkeringsgarage. Tätskärmen säkerställer en grundvattennivå på +8,2 i övre magasin.
- Vid Sankt Eriksplan finns en dräneringsledning från tunnelbanestationens södra del. Ledningen dränerar undre magasinet på nivån +8 eller +9 (Banverket, 2007a).

Vidare har ett antal infiltrationsbrunnar etablerats inom området för att säkerställa grundvattennivån i anslutning till grundvattenberoende byggnader, tabell 8.

Tabell 8 Infiltrationsbrunnar i anslutning till området norr om Vasaparken, basflöde perioden 2014-2015 (TMO, 2016).

Infiltrationsbrunn	Fastighet/Gata	Grundvattenmagasin	Basflöde (l/min)
07BE438BINF	Gästrikegatan 15	Undre	2,5
11BE526INF	Sigtunagatan 12	Undre	2
Go5W_35INF	Odengatan 84	Undre	0

Sänkan Norra stationsområdet

- Längs norra sidan av Norra station löper Norra länken i jord- och bergschakt. Grundvattendammar uppfördes i samband med byggnationen av Norra länken. Tillfälliga grundvattennivåsänkningar uppkom dock vid byggnationen (1988-1990).
- För befintlig E4/20 anlades en grundvattendamm cirka 140-180 meter norr om Solnabron med syfte att minska påverkan på grundvattenmagasinet inom Karolinska området uppströms E4/E20. Dammen har en dämmande nivå på +12 (Vägverket och Stockholm stad, 2010).
- Längs med vägrampen upp från Klarastrandsleden upp till Norra station löper en stödmur. På insidan av stödmuren mot Norra stationsområdet finns en dränering på nivån +9,7 (Vägverket och Stockholm stad, 2010).
- Öst-västlig ledningstunnel N1: En relativt ytlig ledningstunnel (5,5 meters djupt) sträcker fram längs Vanadisvägen (Banverket, 2007a). Medelinläckaget uppskattas till 1,7 l/min och 100 meter tunnel (TMO, 2016). Tunneln korsar Tunnelbana till Arenastaden söder om södra uppgången vid station Hagastaden.
- LOD-anläggning Karolinska sjukhuset. Öster om Solnabron, vid en parkering mot Norra länken, finns en anläggning för LOD som infiltrerar till grundvattnet. I tidigare bedömningar har det konstaterats att huvuddelen av vattnet dräneras bort via E4/E20 samt att tillrinningsområdet är begränsat. Anläggningens betydelse för den hydrogeologiska situationen bedöms därmed vara liten (Vägverket och Stockholm stad, 2010).
- Nya Karolinska. Den pågående byggnationen av Nya Karolinska Solna har medfört att grundvattennivån kring Solnavägen sänkts av med flera meter. En fast dräneringsnivå kommer att anläggas som uppskattas ligga kring cirka +14,5 [5].
- Korsningen Karolintertunneln och Eugeniatunnelarna. Tunnelarna ligger i den östra delen av Norra stationsområdet (Västra Norrtull). Observationer utförda till och med 2009 gav ett medelinflöde på cirka 6 l/min och 100 meter tunnel (Vägverket och Stockholm stad, 2010).
- Intunnling av E4/E20 och Värtabanan. I den vattenbalans som upprättats för intunnlingen prognostiseras grundvattenbortledning under drifttiden att bli 57 l/min (Vägverket och Stockholm stad, 2010).

Vidare har ett antal infiltrationsbrunnar etablerats inom området för att säkerställa grundvattennivån i anslutning till grundvattenberoende byggnader, tabell 9.

Tabell 9 Infiltrationsbrunnar i anslutning till området kring Norra station, basflöde perioden 2014-2015 (TMO, 2016).

Infiltrationsbrunn	Fastighet/Gata	Grundvattenmagasin	Basflöde (l/min)
08BE452INF	Hälsingegatan 49	Undre	0
11Winf1	Gävlegatan	Undre	0
11Winf2	Torsplan kv. Myrstacken	Undre	0
09BB_14INF	Arbetsområde väster Solna bro	Undre	0

Norra begravningsplatsen

En lång ledningstunnel sträcker mellan södra och norra sänkan i sydvästlig riktning. Ledningstunneln korsar Tunnelbana till Arenastaden i höjd med Solnavägen. Blå linje sträcker sig som närmast cirka 500 meter väster om Tunnelbana till Arenastaden. Blå linje passerar inte under Norra begravningsplatsens magasin och bedöms därför inte påverka vattenbalansen i dessa.

Dock är inläckaget för Blå linje av intresse då det ger information om bergets hydrogeologiska egenskaper inom en liknande geologisk miljö som den för Tunnelbana till Arenastadens sträckning. Baserat på mätningar från pumpgröpar längs Blå linje uppskattas det genomsnittliga läckaget till 6,4 l/min och 100 meter tunnelbana (Trafikförvaltningen, 2015).

Norr om det norra magasinet, i bergshöjden vid Hagalund, finns två större tunnelanläggningar. Dels tvärbanans tråg/tunnel och dels tunnlar för tågtrafik till och från Stockholm central. Inläckaget till dessa tunnlar är okända.

Arenastaden

För det undre grundvattenmagasinet har inte några större anläggningar som potentiellt kan påverka vattenbalansen identifierats. Dag-och spillvattentunnlar korsar dock spårlinjen och servicetunnel i höjd med den södra uppgången. Norr om magasinet, cirka 1,5 kilometer norr om station Arenastaden sträcker en kraftledningstunnel i östvästlig riktning, den så kallade Frösundatunnel. Tunneln berör den norra delen av sänkan vid Bagartorpringen som ingår i magasinet. Längden av tunnelns sträckning under Bagartorpsringen är cirka 400 meter. Under 2005 genomfördes inläckagemätningar i tunneln. I november 2005 uppmättes det totala inläckaget till tunneln till cirka 92 l/min (Bergab, 2001). Utslaget på hela sträckningen, cirka 3,5 kilometer, ger det ett inläckage på cirka 2,6 l/min och 100 meter. För sträckan i anslutning till magasinet i Bagartorpsringen ger det ett totalt inläckage på cirka 10 l/min.

3.6.4 Vattenbalans

En vattenbalans har upprättats för Tunnelbana till Arenastadens sträckning. Syfte med vattenbalansen är att utgöra en grund för en hydraulisk förståelse av grundvattenmagasinen. Vattenbalansen ger en översiktlig bild av storleksordningen på grundvattenflödet genom magasinen. Resultatet ger underlag för bedömning av grundvattenmagasinens känslighet för grundvattenbortledning till Tunnelbana till Arenastadens undermarksanläggningar. Detaljerade beräkningar redovisas i bilaga C6.

Sammanställning har gjorts av befintliga undermarksanläggningar i berg och jord som kan påverka grundvattenförhållandena inom området, exempelvis Citybanan och Grön linje. Tunnelbana till Arenastadens grundvattenbortledning baseras på de inläckageberäkningar som redovisas i bilaga C6 och i kapitel 4.

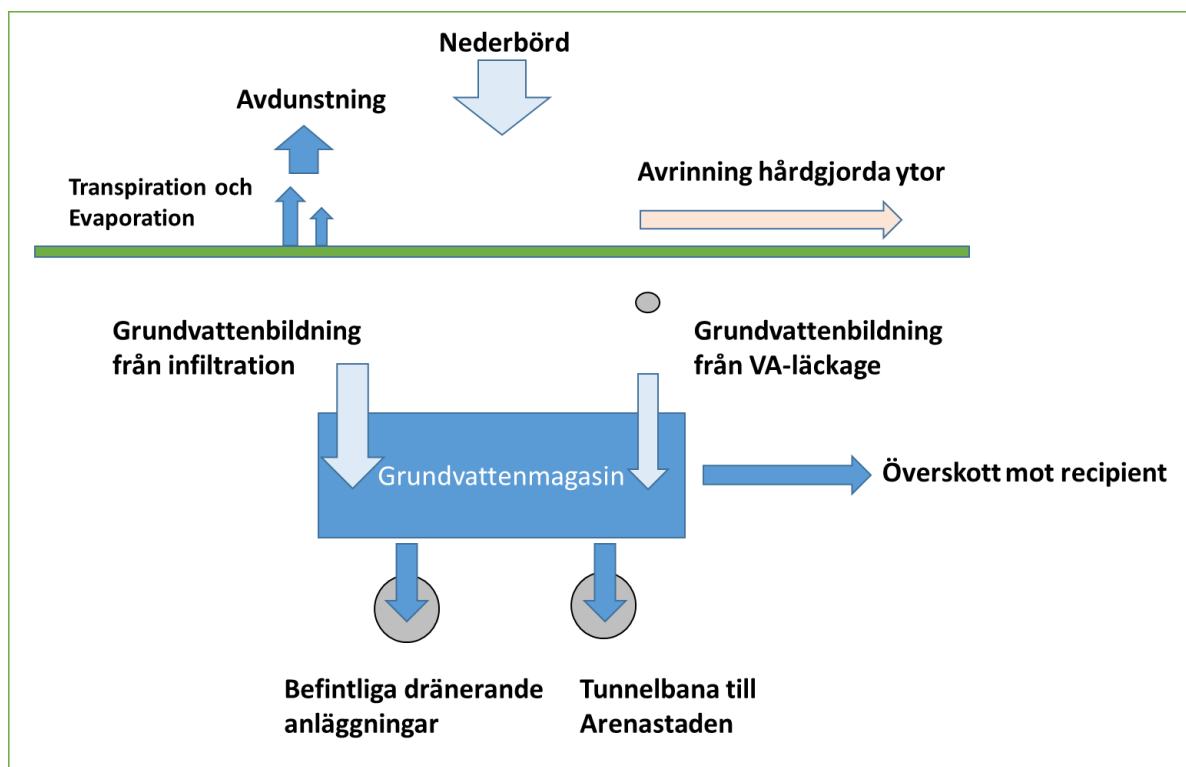
En klimatologisk vattenbalans har upprättats för att beskriva hur mycket vatten som rör sig genom området till följd av nederbörd över detsamma. Den klimatologiska vattenbalansen säger att avrinningen är lika med skillnaden mellan nederbörd och avdunstning. Avrinningen kan även betecknas nettonederbörd.

Vatten tillförs grundvattenmagasinen i jord och berg dels som nybildning som beror på nettonederbörden och dels som grundvattenflöde från andra magasin, exempelvis vid strömning från ett övre till undre grundvattenmagasin. I urbana områden tillkommer även tillskott från otäta VA-ledningar.

I den urbana miljön begränsar hårdgörning av ytor till stor del infiltrationen och del av nederbörden bortförs som dagvatten utan att ha infiltrerat.

Bortledning av grundvatten sker direkt eller indirekt från samtliga grundvattenmagasin, övre och undre magasin i jord samt berg. Bortledningen medför en lokal omfördelning av vattenströmning mellan magasinen. I beräkningarna har effekten av dränerande bergtunnlar beaktats. Vidare finns ett antal infiltrationsbrunnar inom området som etablerats vid tidigare anläggningsprojekt. Syftet med brunnarna är att upprätthålla grundvattennivåerna i områden med grundvattenberoende byggnader. Läckage från trycksatta VA-ledningar har även beaktats vid beräkningarna.

Den tillgängliga mängden vatten att omfördela genom minskad dränering till olika befintliga anläggningar eller ändrat läckage från VA-ledningar är svår att bestämma. Dock kan en vattenbalans som visar att en stor del av tillgängligt vatten bortleds peka ut avrinningsområden där en ökad risk för grundvattensänkning kan finnas.



Figur 33. Schematisk skiss av vattenbalans.

Sammanfattningsvis kan konstateras att vattenbalansen visar att vissa delområden kan vara mer känsliga då en stor andel tillgängligt grundvatten dräneras bort lokalt.

För västra sänkan, Norra station, har en negativ vattenbalans beräknats, vilket i praktiken är omöjligt. Som tidigare beskrivits sker vid grundvattennivåsänkning en ökad tillrinning från ovanliggande och angränsande magasin och möjligen även ett ökat tillskott från VA-läckage. Därtill kan såväl grundvattenavrinningen som avledning till befintliga dränerande anläggningar minska. Det sker alltså en omfördelning av tillgängligt vatten inom systemet. För det fall där den tillgängliga mängden vatten att omfördela är begränsad sänks grundvattennivån tills avledningen minskat så att balans åter råder. Eftersom vissa delar i denna möjliga omfördelning av vatten inte kan kvantifieras så kan en negativ vattenbalans beräknas. Detta indikerar då att magasinet kan ses som extra känsligt för ökad bortledning samt att ökad bortledning lättare kan leda till grundvattensänkning inom magasinet ifråga.

Ökad risk för grundvattennivåsänkning bedöms särskilt beröra den västra sänkan, Norra station, då avrinningsområdets yta i förhållande till det undre magasinet är relativt litet.

3.7 Känsliga objekt/områden

3.7.1 Byggnader och anläggningar

Inventering av grundläggning har skett inom utredningsområdet i kommunerna Solna, Sundbyberg och Stockholm. För Solna och Sundbyberg har inventering skett i kommunens arkiv. För Stockholm har grundläggningsinventeringen från Citybanan använts med kompletteringar i Stockholm stads arkiv. En sammanställning av inventerade byggnader redovisas i bilaga C5.

Redovisning av grundläggning görs i bilaga C5 inom Tunnelbana till Arenastadens influensområde då ingen grundvattenpåverkan bedöms uppkomma utanför influensområdet. Framtagning och redovisning av influensområdet görs i kapitel 4

Jordartskartan har legat till grund för bedömningarna av vilka fastigheter som är sättningsbenägna och inte. I Solna och Sundbyberg har SGU:s jordartskarta använts och i Stockholm har den byggnadsgeologiska kartan använts. I de fall jordartskartan visat att en fastighet ligger på berg i dagen har grundläggning på berg angetts utan vidare eftersökningar i arkiven. I de fall det finns uppgifter om jordart i bygglovsarkivet som skiljer sig från jordartskartan har uppgifterna från arkivet använts. Detta då en platsspecifik undersökning anses mer trovärdig än jordartskartan.

Förutom jordartskartan har utbredningen av undre grundvattenmagasin legat till grund för bedömningarna av sättningskänsliga byggnader och anläggningar. I de områden utredningar visat att det finns ett undre grundvattenmagasin finns också lera, varför dessa områden kan betraktas som sättningsbenägna. Jordartskartan visar endast ytjordarter och i vissa fall kan exempelvis sand eller fyllning överlagra lera. Områden där jordartskartan anger sand eller fyllning samtidigt som ett undre grundvattenmagasin identifierats anses alltså vara sättningskänsliga områden.

Ett objekt som är grundlagt på lera eller på träpålar kan påverkas om grundvattennivån förändras. Påverkan på grundläggningen kan i huvudsak ske på två sätt:

- Om grundvattennivån sjunker i ett undre magasin kan det medföra att ovanliggande lerlager konsolideras och sättningar uppstår. Detta förutsätter att grundvattennivån från början är högre än lerlagrets underkant.
- En avsänkning i ett övre öppet magasin kan medföra skador på grundvattenberoende grundläggning, exempelvis är trägrundläggning känsligt för luftens syre, förutsatt att sänkningen blottlägger tidigare vattenövertäckt grundläggning. Om grundvattennivån sjunker i ett övre magasin kan det därför medföra att träpålar och rustbäddar (korsvis anordnade lager av virke som underlag för murverk) torrläggs och utsätts för luftens syre med följd att trä bryts ner snabbare och sättningar kan uppstå.

I bilaga C5 redovisas byggnader inom influensområdet inom områden med lera. Alla byggnader som redovisas inom lerområden påverkas inte av grundvattennivåsänkningar. Anledningen till detta är att det för flera fastigheter finns en grundläggning som inte är grundvattenberoende. I vissa fall saknas grundläggningsuppgifter och dessa tas då med i sammanställningen av försiktighetsskäl. Byggnader med en grundläggning som inte är grundvattenberoende kan även ha anslutande servisledningar som är grundvattenberoende. Vidare kan lerjord vara fast och därmed inte sättningsbenägen. Om grundvattennivån ligger under lerans underkant är leran redan konsoliderad och ytterligare nivåsänkning påverkar inte lerlagret.

Vidare kan sägas att spårområden grundlagda på lera potentiellt är sättningskänsliga. Större spårområden på lerområden i anslutning till Tunnelbana till Arenastadens sträckning finns norr om Tomtebodan (Norra begravningsplatsen, södra sänkan), norr om Hagalunds industriområde (Norra begravningsplatsen, norra sänkan) och inom södra delen av grundvattenmagasinet i Arenastaden.

Måktiga lerområden finns framförallt i Arenastaden, söder om Hagalund och kring spårområdet i Tomtebodan. Få byggnader inom dessa områden är grundlagda direkt på lera. Trots detta kan många fastigheter påverkas av en eventuell grundvattensänkning då servisledningar kan vara känsliga. Äldre byggnader kan dessutom sakna fribärande källargolv.

Större delen av området inom Stockholms stad består av berg och sand/grus, varför de flesta byggnader inte är känsliga för en eventuell grundvattensänkning. Dock finns det en del byggnader som är grundlagda på träpålar och lera, framförallt kring Vasaparken. I Stockholms stad finns också många äldre byggnader som saknar fribärande källargolv.

I närområdet kring Odenplan och längs Tunnelbana till Arenastaden finns ett antal fastigheter där känslig grundläggning identifierats (kvarteret Kejsarkronan, kvarteret Snöklöckan och kvarteret Karlavagnen). Dock har lerlagret inom området tidigare, vid undersökningar i samband med Citybanan, konstaterats vara överkonsoliderat samt att grundvattennivån ligger under underkant lera. Inom området norr om Vasaparken, och direkt söder om Tunnelbana till Arenastadens sträckning, finns ett antal fastigheter där känslig grundläggning med avseende på träkonstruktioner eller byggnader på lera identifierats (kvarteret Liljan, kvarteret Kamelian, kvarteret Rosen och kvarteret Gjutaren). Vidare längs med Gula linjen, i anslutning till Röda bergen, finns en fastighet (inom kvarteret Urnan) med byggnader grundlagda på träpålar.

Längre söderut i anslutning till området norr om Tegnérlunden finns ett antal fastigheter där känslig grundläggning identifierats (kvarteret Astraea och kvarteret Stjärnfallet). Dock visar tidigare undersökningar, utförda i samband med Citybanan, att förekommande lera inte bedömts vara sättningsbenägen.

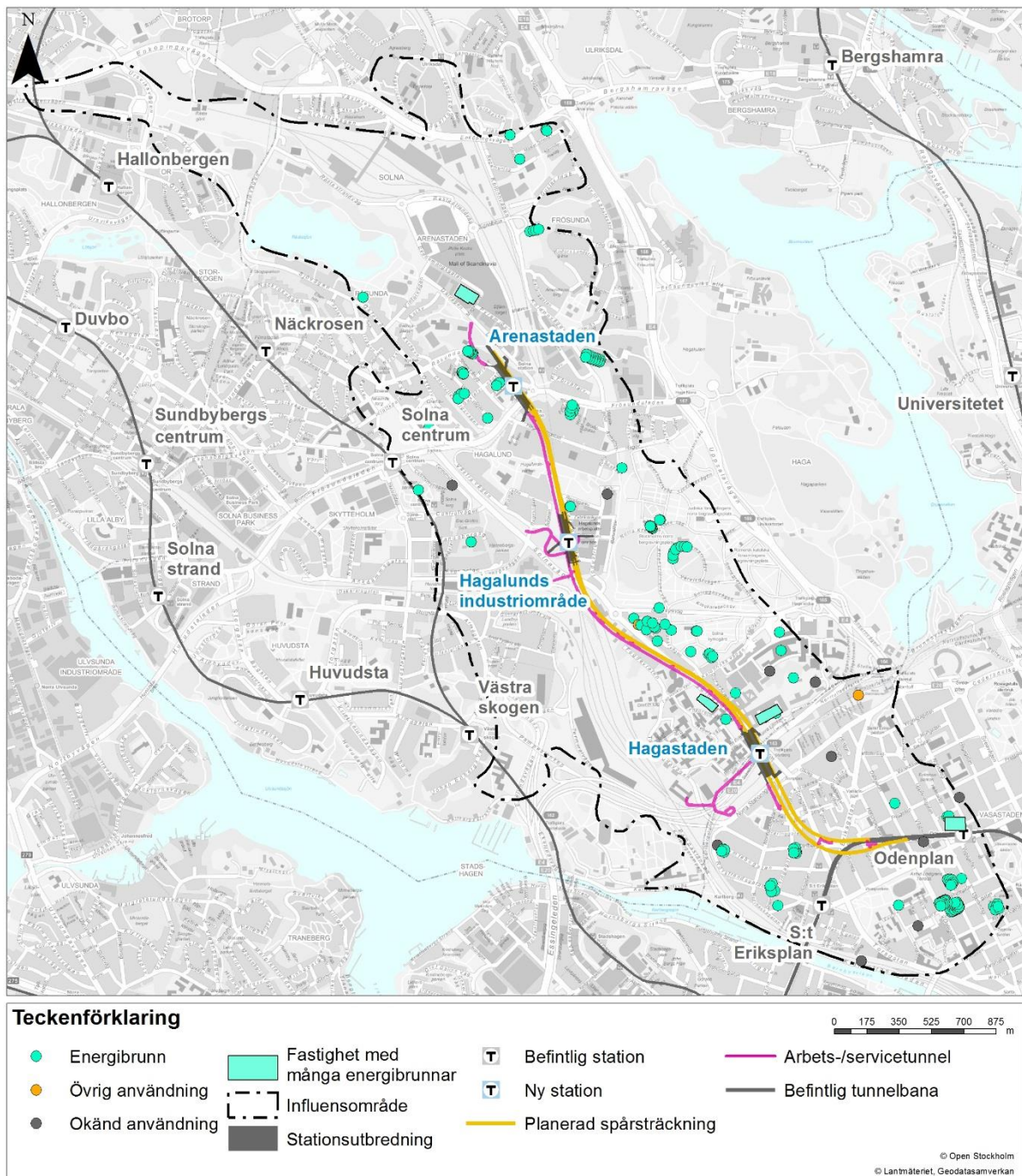
Direkt väster om norra begravningsplatsen finns inom kvarteret Kapellanen sju byggnader grundlagda på träpålar. Solna kyrka är grundlagd på lera. Vidare konstateras cirka fem byggnader grundlagda på lera inom ett område beläget mellan Tunnelbana till Arenastadens korsning med Solnavägen upp till Hagalund.

Endast ett fåtal byggnader med grundläggning på lera har konstaterats inom sättningsbenägenmark i anslutning till Arenastadsområdet. Cirka 300 meter väst och sydväst om station Arenastaden ligger kvarteret Kilen och kvarteret Ingeborg där tre byggnader med uppgifter om grundläggning på lera har identifierats.

3.7.2 Energibrunnar

Uppgifter om dricksvattenbrunnar och bergvärmebrunnar inom utredningsområdet har insamlats från SGU:s brunnarkiv samt berörda kommuner. Det är i huvudsak energibrunnar som identifierats. Då energibrunnar överför värme mellan omgivande berggrund och kollektorslangarna genom vattnet i brunnen är vattennivån i brunnen central för effektutbytet. Det innebär att en permanent grundvattennivåsänkning minskar effektutbytet.

Inom influensområdet finns cirka 404 identifierade brunnar varav 189 ligger inom 100 meter från Tunnelbana till Arenastaden, Figur 34.



Figur 34 Översikt av brunnar inom influensområdet.

3.7.3 Natur- och kulturmiljöer

Inga grundvattenberoende naturområden har identifierats inom influensområdet. Inventering av naturområden redovisas närmare i miljökonsekvensbeskrivningen (bilaga B). Träd och markvegetation utnyttjar främst markvatten. Markvattenhalten är ett mått på markens fuktighet från markytan ner till grundvattnet. Då växterna utnyttjar markvattnet inverkar de även grundvattenbildningen och avrinningen till vattendrag. Vid perioder då marken är väldigt torr sugs nästan all nederbörd upp och väldigt lite bildar grundvatten eller avrinning. Växter med rötter som når ner djupt ner i jordprofilen, där grundvattenytan ligger ytligt så att rötterna kan nå kapillärt stigande vatten (kapillärvattenzonen), kan påverkas av en avsänkning av grundvattenytans läge. Sker avsänkningen hastigt och i kombination med en torrperiod kan

växtligheten bli extra känsliga. Fleråriga växter anpassar sig vanligen till nya förhållanden inom någon eller några växtsäsonger.

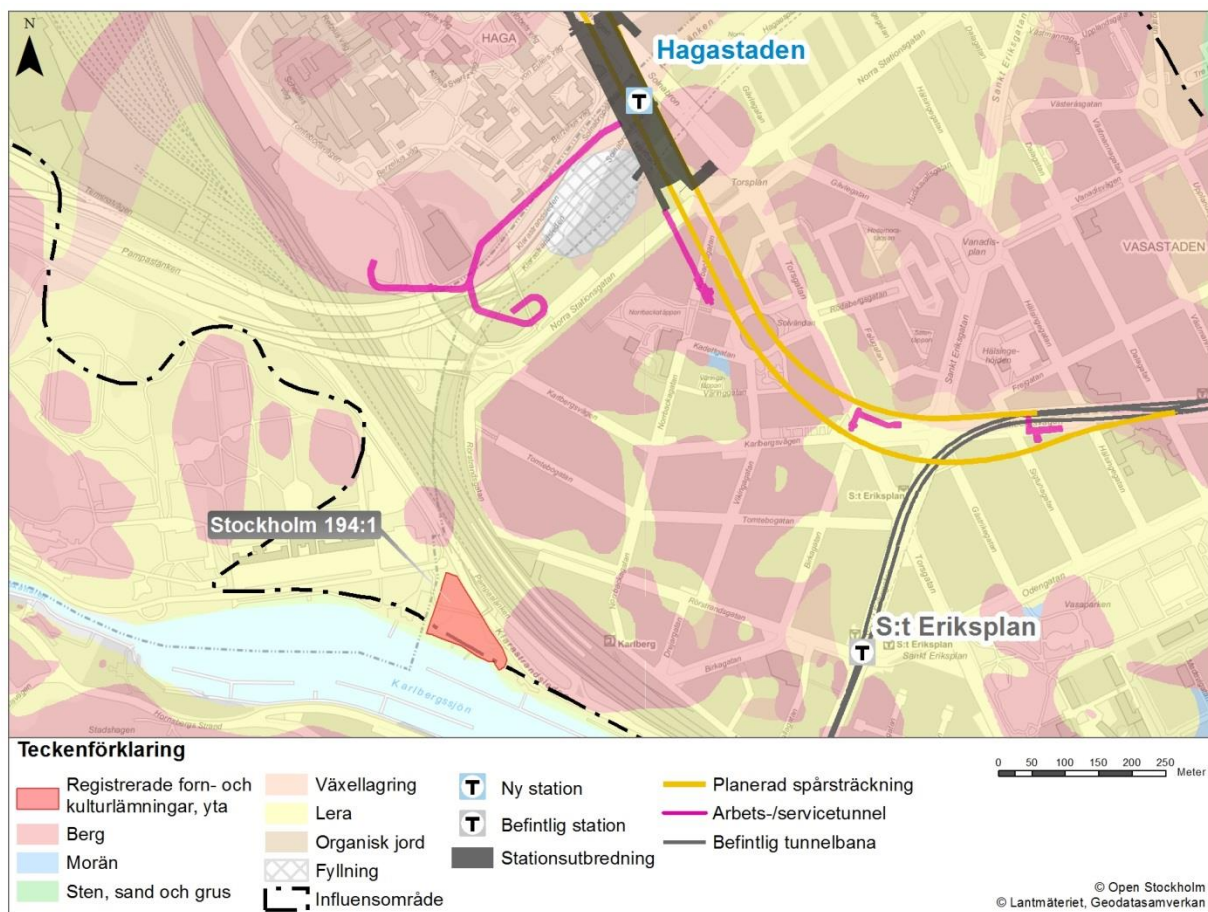
Under byggskedet kan påverkan på naturmiljön uppstå i samband med tunnelpåslag, etableringsytor och schakt. Växttillgängligt vatten i övre grundvattenmagasin i direkt anslutning till dessa anläggningar kan då tillfälligt påverkas. Med övre grundvattenmagasin menas i dessa lägen artificiella grundvattenmagasin som har bildats i en fyllnadsjord.

En potentiell grundvattenbortledning i övre grundvattenmagasin under byggskedet bedöms totalt ge små negativa konsekvenser på naturmiljön. Träden kan få en försämrad tillväxt under de växtsäsonger som byggskedet pågår då grundvattenytan relativt snabbt kan sänkas av. Kombinerat med ett torrår blir träden extra känsliga men kommer fortfarande att utnyttja markvattnet ovanför kapillärvattenzonen. Under driftskedet kommer dock grundvattennivån i övre magasin att återhämta sig och inga negativa konsekvenser för trädbestånden bedöms kvarstå och beskriv därför inte vidare i kapitel 4 där effekter på grund av grundvattennivåpåverkan redovisas.

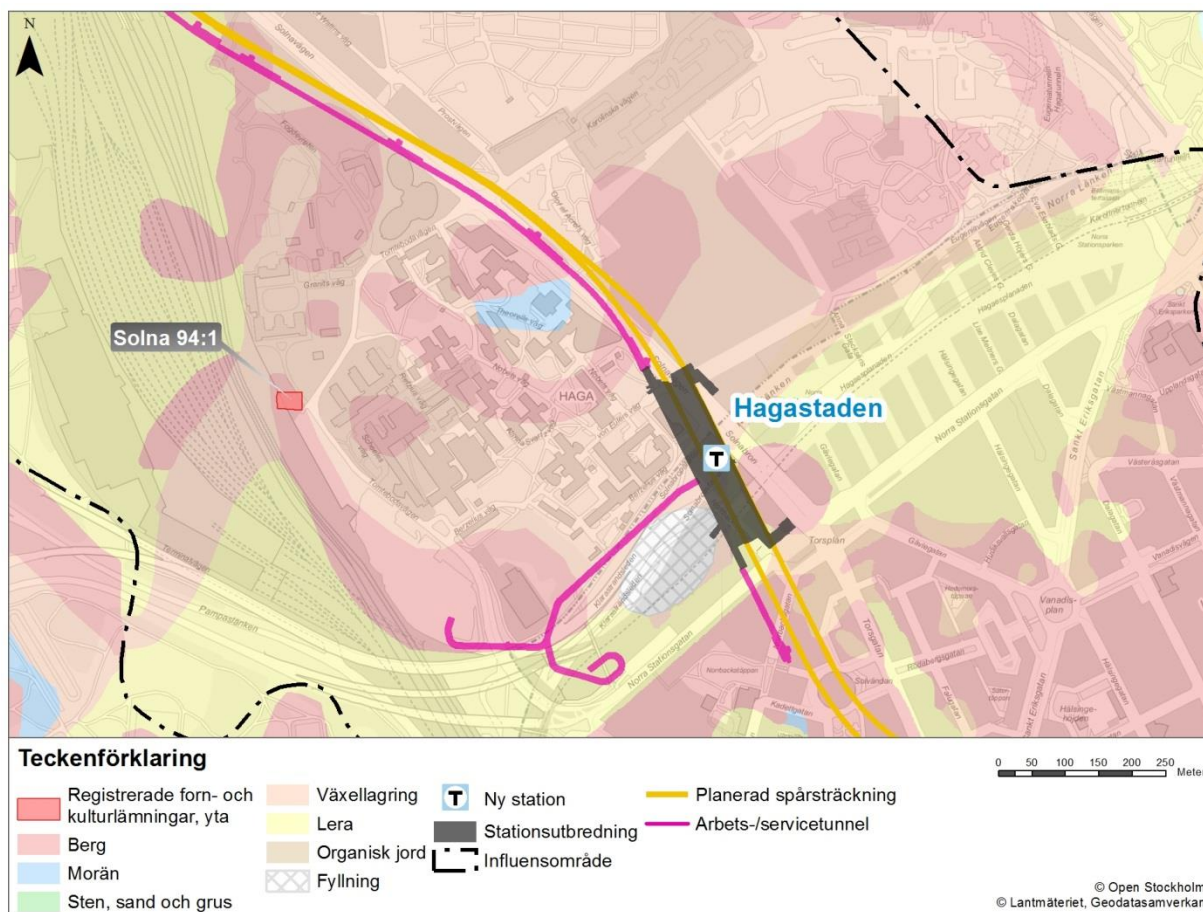
Kulturmiljöer omfattar kulturhistorisk värdefull bebyggelse och fornlämningar. Kulturhistoriskt värdefulla fastigheter hanteras inte specifikt utan hanteras i samband med redovisning av grundläggning av byggnader. En sammanställning av inventerade byggnader redovisas i bilaga C5.

Med avseende på fornlämningar har fem objekt identifieras inom influensområdet som kan påverkas av en grundvattennivåsänkning. Av de fem identifierade objekten kan bedömning av eventuell grundvattenpåverkan inte göras för två av objekten då grundvattennivåer saknas i området. Dessa två är Sundbyberg 25:1 och Sundbyberg 50, belägna nordväst om Råstasjön. Inventering av fornlämningar redovisas närmare i miljökonsekvensbeskrivningen (bilaga B). Nedan görs en kort sammanfattning av de tre objekt där konsekvensbedömning gjorts (Figur 35 till Figur 37):

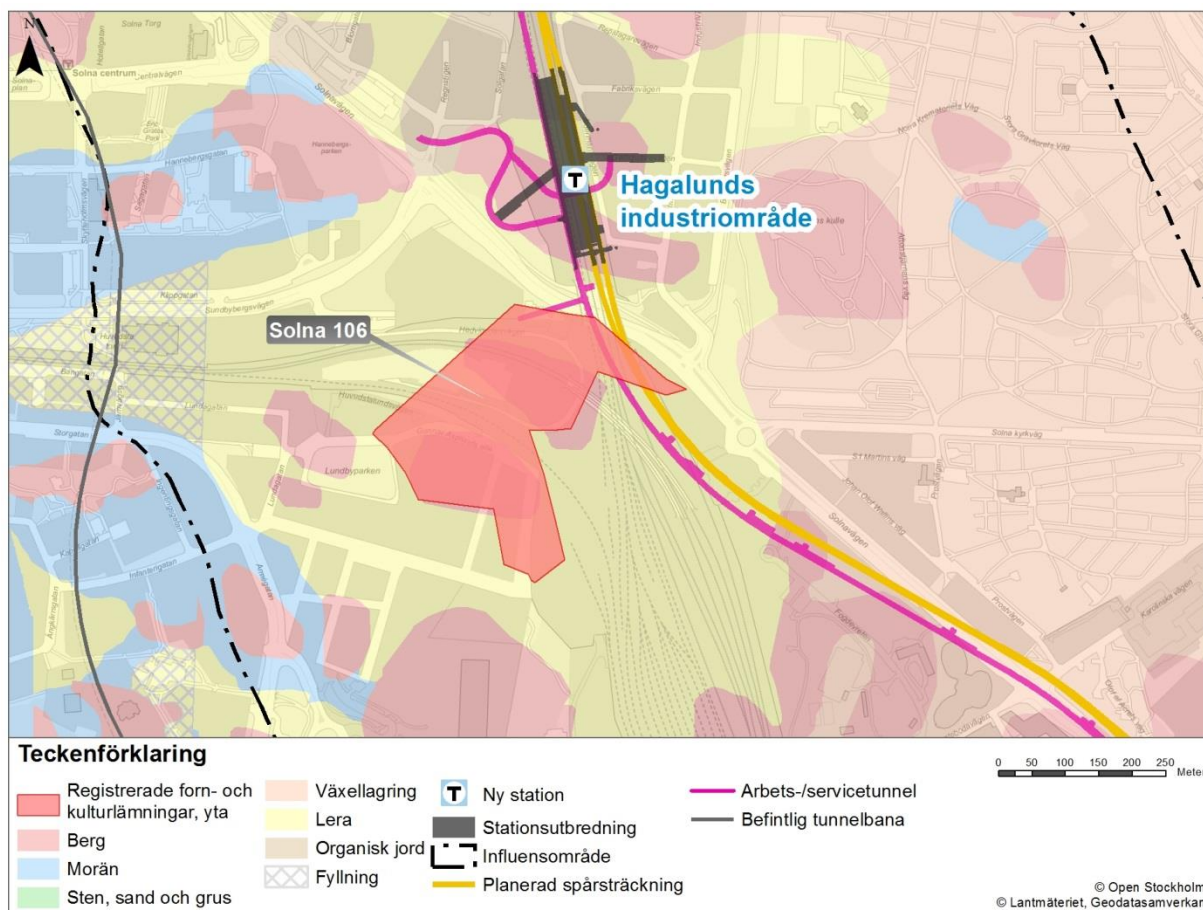
- Stockholm 194:1 (Industri) – Fornlämningen är belägen i anslutning till Karlbergssjön. Avståndet till den närmast planerade servicetunneln (station Hagastaden) är cirka 400 meter. Grundvattennivån i detta område har god hydraulisk kommunikation med ytvattnet varför ingen grundvattenpåverkan med anledning av byggande av Tunnelbana till Arenastaden bedöms trolig.
- Solna 94:1 (By-/gårdstomt) – Fornlämningen är belägen i anslutning till Tomtebodas stationsområde på gränsen till ett område med berg i dagen. Avståndet till servicetunnel och till station Hagastaden är cirka 450 meter. Området mellan fornlämningen och servicetunnel/Hagastaden utgörs av ett en större bergshöjd, Karolinskaområdet. Sannolikheten att grundvattennivån sjunker här med anledning av byggandet av Tunnelbana till Arenastaden är därför liten
- Solna 106 (By-/gårdstomt) – Östra delen av fornlämningen är belägen direkt söder om station Hagalunds industriområde. Närheten till den planerade anläggningen medför att det finns risk för grundvattenpåverkan i området.



Figur 35 Översikt av lokalisering av kulturhistorisk lämning Stockholm 194:1.



Figur 36 Översikt av lokalisering av kulturhistorisk lämning Solna 94:1.



Figur 37 Översikt av lokalisering av kulturhistorisk lämning Solna 106.

3.7.4 Föroreningar

3.7.4.1 Potentiell förorenade områden

En övergripande inventering av potentiellt förorenade områden har gjorts inom utredningsområdet, baserad på länsstyrelsens MIFO-databas (Metodik för Inventering av Förorenade Områden). Inom MIFO tilldelas potentiellt förorenade objekt olika riskklasser med syfte att prioritera åtgärdsinsatser. I denna PM Hydrologi har en särskild bedömning gjorts avseende risken för att MIFO-objekten skulle kunna påverka vattenkvaliteten i samband med byggande och drift av Tunnelbana till Arenastaden. Genomgång har även gjorts av resultat från tidigare miljöundersökningar för enskilda objekt eller fastigheter där föroreningen bedömts kunna riskera att försämra vattenkvaliteten på länshållningsvatten under byggtiden och/eller tunnelvatten under drifttiden. Grundvattnets kvalitet längs med Tunnelbana till Arenastadens sträckning har undersökts genom provtagning i kärnborrhål, grundvattenrör och pumpbrunnar.

Inom influensområdet till Tunnelbana till Arenastaden finns cirka 280 potentiellt förorenade områden upptagna i MIFO-databasen. Negativa effekter som kan uppkomma i anslutning till dessa områden på grund av den planerade sträckningen är dels att inläckande grundvatten för med sig föroreningar och påverkar vattenkvaliteten i det avledda vattnet. Vidare finns risk att ändrade grundvattenförhållanden kring tunneln påverkar eller mobiliserar föroreningar i mark och grundvatten.

För att hantera och särskilja alla MIFO-objekt har områdena klassats med avseende på risk för spridning av föroreningar på sådant sätt att det kan påverka vattenkvaliteten under byggtiden och/eller tunnelvatten under drifttiden. Klassningen baserats på följande parametrar:

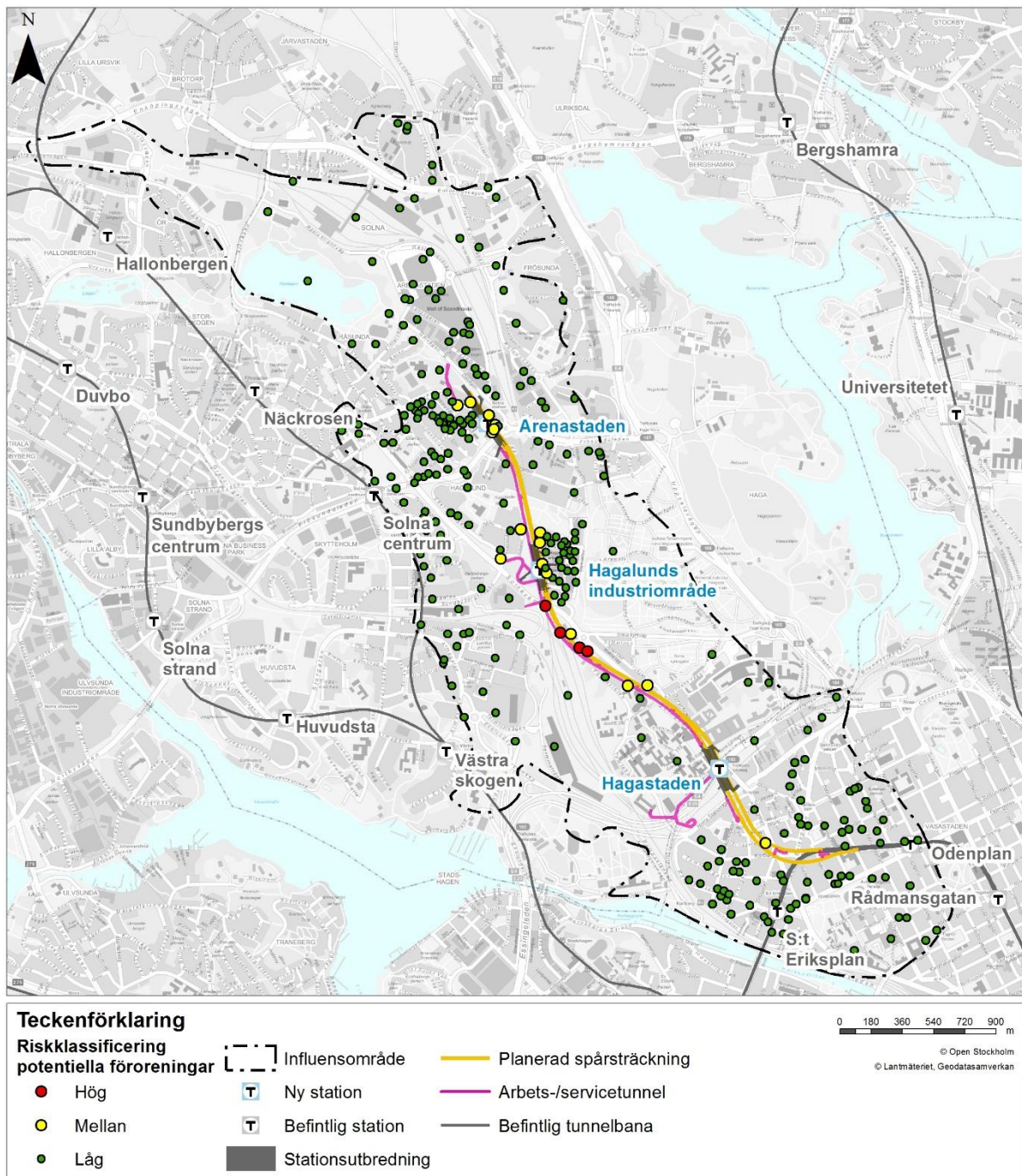
- Prioritering av förorening med avseende på mobilitet i mark
- Lokalisering av förorening i jord, avstånd till Tunnelbana till Arenastaden från potentiellt förorenat område
- Potential för spridning av förorening till grundvattnet
- Förorening i övre magasin utan kontakt med planerade anläggningar, avstånd till Tunnelbana till Arenastaden från potentiellt förorenat område
- Förorening i övre magasin med kontakt med planerade anläggning, avstånd till Tunnelbana till Arenastaden från potentiellt förorenat område
- Förorening i undre magasin, avstånd till Tunnelbana till Arenastaden från potentiellt förorenat område
- Förorening i grundvatten i berg, avstånd till Tunnelbana till Arenastaden från potentiellt förorenat område

Exempelvis kan spridning ske genom infiltration direkt till övre grundvattenmagasin alternativt via randzoner till undre grundvattenmagasin.

Baserat på uppgifterna om bransch i MIFO-databasen prioriteras en branschspecifik föroreningstyp för respektive område. Föroreningens mobilitet är viktad med avseende på lokalisering i jord i förhållande till Tunnelbana till Arenastaden och ger risk för att föroreningen vållar föroreningsproblem i jord vid anläggandet av Tunnelbana till Arenastadens jordschakt. Potential för att förorening når grundvattnet, viktad med vilket typ av grundvattenmagasin som spridning sker i samt avståndet till Tunnelbana till Arenastaden, ger risk för att föroreningen når Tunnelbana till Arenastaden via grundvattnet. Den sammanvägda risken är summan av risk för föroreningsproblem i jord och risk för föroreningsspridning i grundvattnet till Tunnelbana till Arenastaden.

Baserat på det sammanvägda riskvärdet delas områdena in i tre riskklasser, hög risk, mellanrisk och låg risk, där risk avser risk för spridning på sådant sätt att det kan påverka vattenkvaliteten på länshållningsvattnet under byggtiden och/eller tunnelvatten under drifttiden, figur 38.

Risk för föroreningsspridning i grundvattnet till anläggningen innebär även en risk för förflyttning av förorening till icke förorenade områden. De parametrar som riskklassningen utgår ifrån (föroreningens mobilitet, avstånd till Tunnelbana till Arenastaden och de hydrogeologiska förhållanden som råder vid föroreningen, exempelvis att föroreningen är belägen i undre magasin) utgör även grund för bedömning om risk finns att rådande föroreningssituationen kan förvärras.



Figur 38 Översikt av potentiellt förorenade områden enligt länsstyrelsen MIFO-databas inom influensområdet. Objektet har riskklassats (hög, mellan, låg) med avseende risk för spridning av förorening på sådant sätt att det kan påverka vattenkvaliteten på länshållningsvatten under byggtiden och/eller tunnelvatten under drifttiden.

Fyra objekt delas in i klassen med hög risk för att vattenkvaliteten i tunnelvattnet påverkas och 17 stycken objekt ges klassen mellanrisk för att vattenkvaliteten i tunnelvattnet påverkas. I tabell 10 till tabell 12 redovisas de MIFO-objekt som hamnar inom klassen hög och mellan. Dock bör framhållas att de flesta av objekten har MIFO-statusen "Identifiering" eller att de inte tilldelats en riskklass enligt MIFO. Det innebär att det, baserat på tillgänglig information, inte funnits skäl att prioritera aktuella objekt för åtgärder eller undersökningar. Vidare innebär ett objekts upptagande i MIFO-databasen per automatik inte att marken eller grundvattnet är förorenat utan att verksamheten varit av sådan art att risken finns för förorening av mark och/eller vatten.

Tabell 10 Potentiellt förorenade områden inom området kring Vasastan och Odenplan där risk finns för påverkan av vattenkvaliteten i tunnelvattnet.

Kommun	PrimärBransch (MIFO)	Status (MIFO)	Sammanvägd risk Tunnelbana till Arenastaden
Stockholm	Kemtvätt - med lösningsmedel	Identifiering	Mellan

Tabell 11 Potentiellt förorenade områden inom området kring station Hagalunds industriområde, Norra begravningsplatsen och Solna kyrkogård där risk finns för påverkan av vattenkvaliteten i tunnelvattnet.

Kommun	PrimärBransch (MIFO)	Status (MIFO)	Sammanvägd risk Tunnelbana till Arenastaden
Solna	Järnvägstrafik	Delåtgärd	Hög
Solna	Drivmedelshantering	Identifiering	Hög
Solna	Drivmedelshantering	Förstudie	Hög
Solna	Övrigt BKL 3	Delåtgärd	Hög
Solna	Färgindustri	Identifiering	Mellan
Solna	Drivmedelshantering	Identifiering	Mellan
Solna	Verkstadsindustri - utan halogenerade lösningsmedel	Identifiering	Mellan
Solna	Ytbehandling av metaller mekaniska/fysikaliska processer	Identifiering	Mellan
Solna	Verkstadsindustri - med halogenerade lösningsmedel	Inventering	Mellan
Solna	Bilvårdsanläggning, bilverkstad samt åkerier	Identifiering	Mellan
Solna	Verkstadsindustri - utan halogenerade lösningsmedel	Identifiering	Mellan
Solna	Verkstadsindustri - med halogenerade lösningsmedel	Identifiering	Mellan
Solna	SPIMFAB	Delåtgärd	Mellan
Solna	Övrigt BKL 3	Delåtgärd	Mellan

Tabell 12 Potentiellt förorenade områden inom området kring station Arenastaden där risk finns för påverkan av vattenkvaliteten i tunnelvattnet.

Kommun	PrimärBransch (MIFO)	Status (MIFO)	Sammanvägd risk Tunnelbana till Arenastaden
Solna	Grafisk industri	Identifiering	Mellan
Solna	Kemtvätt - med lösningsmedel	Inventering	Mellan
Solna	Grafisk industri	Identifiering	Mellan
Solna	Grafisk industri	Identifiering	Mellan
Solna	Övrigt BKL 4	Identifiering	Mellan
Solna	Grafisk industri	Identifiering	Mellan

3.7.5 Grundvattenkvalitet

Genomgång har gjorts av resultat från tidigare miljöundersökningar för enskilda objekt eller fastigheter där risk finns att föroreningar kan försämrade vattenkvaliteten på länshållningsvatten under byggtiden och/eller tunnelvatten under drifttiden. Grundvattnets kvalitet längs med

Tunnelbana till Arenastadens sträckning har undersökts genom provtagning i kärnborrhål, grundvattenrör och pumpbrunnar. Provtagningen har även genomförts i provpunkter nedströms potentiellt förorenade områden som tilldelats riskklassen hög risk. En utförligare beskrivning av föroreningspåverkan i grundvattnet längs Tunnelbana till Arenastaden ges i bilaga C8.

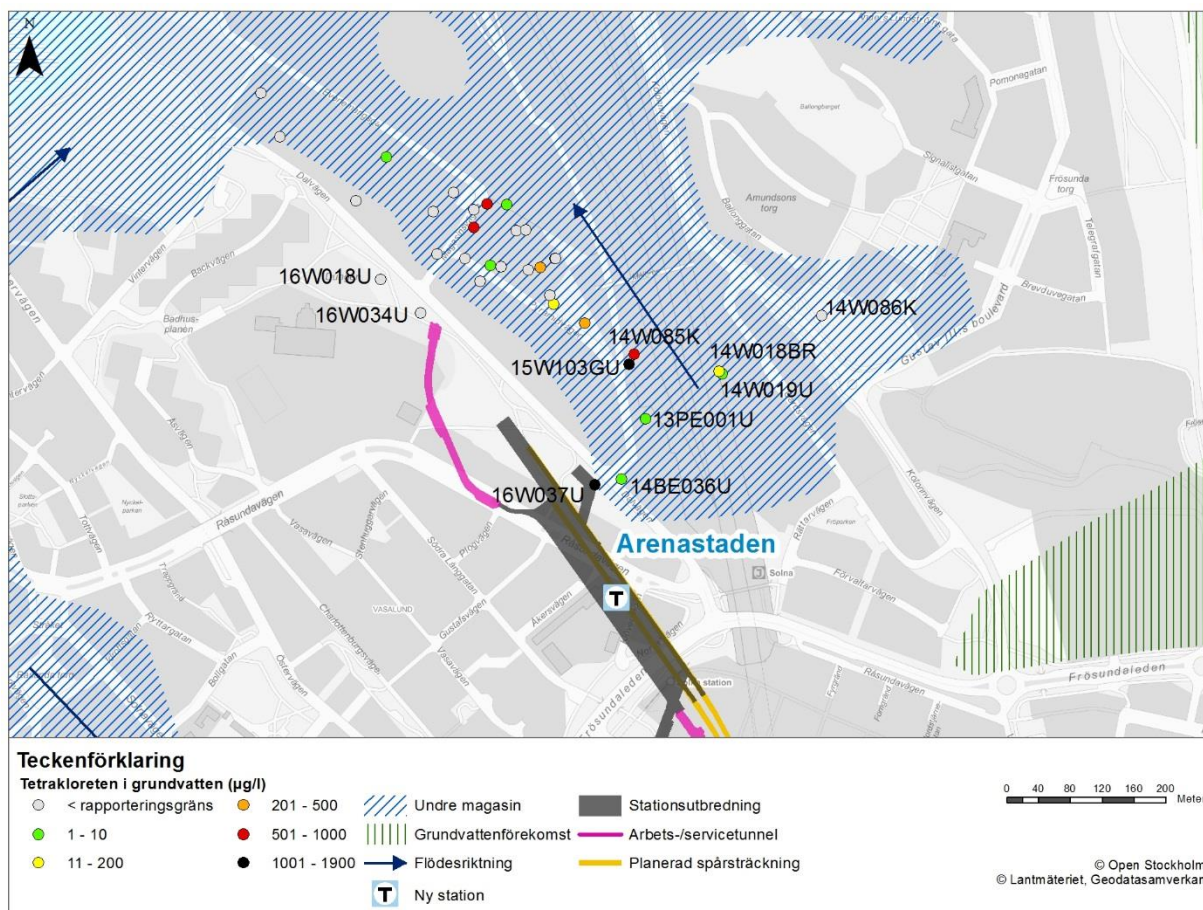
Inom sträckan Odenplan-Hagastaden har uppgifter om vattenkvalitet hämtats från Citybanas utredningar. Halterna har jämförts mot den sammanställning av grundvattenkvalitet i jord i Stockholm som utförts av Miljöförvaltningen i Stockholm stad (Miljöförvaltningen i Stockholm 2013). Undersökningen utfördes med syfte att få en bättre bild av grundvattenkvaliteten inom Stockholm stad.

3.7.5.1 Klorerade alifater

I området i höjd med Arenastaden återfinns höga koncentrationer av klorerade alifater. Ett flertal undersökningar har genomförts tidigare med avseende på klorerade alifater. I figur 39 nedan visas en översikt av uppmätta halter av tetrakloreten inom området kring Arenastaden. Provtagning och analys har utförts i de olika punkterna under flera år (2009-2016) vilket medför att översikten inte är helt korrekt med avseende föroreningshalter i dagsläget. Sammanställningen bedöms ändå ge en bild av föroreningsutbredningen kring Arenastaden. Halterna i nära anslutning till station Arenastaden baseras dock på prover tagna under perioden 2014-2016.

Av samtliga prover tagna under perioden 2009-2016 har den högsta halten (1900 µg/l) av tetrakloreten påträffats i det undre magasinet direkt i anslutning till den norra uppgången vid station Arenastaden. De näst högsta halterna (ca 1000 µg/l) har påträffas i ett kärnborrhål samt i ett grundvattenrör ca 160-170 meter norr om station Arenastaden.

Grundvattnets strömningsriktning är riktad åt nordväst vilket innebär att transport av lösta föroreningar sker bort från station Arenastaden.



Figur 39 Översikt av halter av tetrakloreten i grundvattnet i området vid Arenastaden samt utbredning av undre grundvattenmagasinet i jord samt strömningsriktningar i undre magasinet.

Längs med den övriga sträckningen av Tunnelbana till Arenastaden där analys av klorerade alifater utförts har endast låga halter påträffats i grundvattnet.

3.7.5.2 Metaller

Metallhalterna i grundvatten inom Odenplan och Vasastaden följer generellt de mönster av metallhalter i grundvatten som tidigare uppmäts av SGU, det vill säga i nivå med medianhalten för metaller i grundvatten inom Stockholm stad.

Beträffande sträckan Norra begravningsplatsen till Hagastaden uppvisar huvuddelen av genomförda undersökningar inga större avvikelser från de tidigare uppmätta metallhalterna i grundvatten i Stockholm. Dock observeras förhöjda halter av nickel i en punkt (14BE019) som är belägen längs med Gula linjen i anslutning till Solna kyrkogård, Norra Begravningsplatsen, södra sänkan. Vidare observeras förhöjda metallhalter (bly, koppar, krom nickel och zink) respektive förhöjda kopparhalter i två punkter (14W015U respektive 15W287U) söder om station Hagalunds industriområde.

Inom Arenastaden följer metallhalterna i provtagna kärnborrhålen generellt även de mönster av metallhalter i grundvatten som tidigare uppmäts av Stockholm stad, med ett visst undantag för krom (9 µg/l, kärnborrhåll 14W085K vid station Arenastaden). För metaller i det undre magasinet i jord konstateras generellt låga metallhalter i grundvattnet i anslutning till den planerade station Arenastaden. I en punkt på längre avstånd från station Arenastaden (14W018BR, cirka 250 meter) konstateras vid ett enstaka mättillfälle i en punkt att bly, krom och koppar är förhöjda

3.7.5.3 Oljeföroreningar

Inom projekt Citybanan undersöktes förekomsten av alifater, aromater, BTEX-ämnen (bensen, toluen, etylen och xylener) och PAH (polyklorerade aromatiska kolväten) inom Vasastaden. BTEX-ämnen låg under rapporteringsgränsen i samtliga provtagna grundvattenrör. I anslutning till Karlbergsvägen och planerade sträckningen av Tunnelbana till Arenastaden har PAH-halter mellan 0,5-5 µg/l dock påträffats i kärnborrhål.

För Gula linjens fortsatta sträckning genom Norra begravningsplatsen konstateras att förekomsten av oljeföroreningar i de undersökta grundvattenproverna från de undre magasinen är begränsade. Förhöjda toluenhalter har dock påträffats i det undre magasinet i anslutning till den norra delen av Norra begravningsplatsen (14W001BR). Det förhöjda toluenvärdet (26 µg/l) rapporterades för en provtagning utförd november 2014, vid senare provtagningar under mars till april 2015 rapporterades dock endast toluenhalter under rapporteringsgränsen. I punkterna 14W009 och 14W015U noterar förekomst av tyngre alifater (1300 respektive 700 µg/l). I grundvattenprover tagna i kärnborrhål längs sträckan ligger halterna mycket nära rapporteringsgränserna för analysmetoden.

Inom Arenastaden konstateras att förekomsten av oljeföroreningar i de undersökta grundvattenproverna från det undre magasinet och bergborrhålen är begränsade.

3.7.6 Sammanfattning av föroreningssituationen

Bedömningen av föroreningssituationen baseras på uppmätta halter samt riskvärderingen av potentiellt förorenade områden. Som tidigare beskrivits innebär ett objekts upptagande i MIFO-databasen per automatik inte att marken eller grundvattnet är förorenat utan att verksamheten varit av sådan art att risken finns för föroreningsskada av mark och/eller vatten.

Därför har provtagningar utöver de som är utförda i samband med provpumpningar och vattenförlustmätningar utförts i områden där potentiell förorenade områden har identifierats som hög risk. Provtagningarna har utförts i grundvattenrör i nedströms riktning från potentiellt förorenade områden.

Som ovan beskrivits förekommer höga halter av klorerade alifater i flera punkter anslutning till Arenastaden. Längs med den övriga sträckningen av Tunnelbana till Arenastaden där analys av klorerade alifater utförts har endast låga halter påträffats i grundvattnet. Inom Arenastaden följer metallhalter generellt även de mönster av metallhalter i grundvatten som kan förväntas i urban miljö, med ett visst undantag för krom.

Beträffande Gula linjens sträckning från Hagastaden genom södra och norra sänkan, Norra begravningsplatsen uppvisar huvuddelen av genomförda undersökningar inga större avvikelser från förväntade metallhalter i urban miljö. Dock observeras förhöjda metallhalter i tre punkter som är belägna inom södra sänkan, Norra Begravningsplatsen.

Inom Arenastaden konstateras att förekomsten av oljeföroreningar i de undersökta grundvattenproverna från det undre magasinet och bergborrhålen är begränsade. För Tunnelbana till Arenastadens fortsatta sträckning genom Norra begravningsplatsen konstateras att förekomsten av de flesta analyserade oljeföroreningar i de undersökta grundvattenproverna från de undre magasinen även är begränsade. Förekomst av tyngre alifater noteras dock två punkter söder om station Hagalunds industriområde.

Sammanfattningsvis, baserat på genomförda provtagningar, konstateras att förutom Arenastaden har inte någon stor föroreningskälla identifierats längs med Tunnelbana till Arenastadens sträckning.

4 Påverkan på vattenmiljön

Som tidigare nämnts begränsas projektet av ett utredningsområde. Inom utredningsområdet utreds hydrogeologiska, geologiska och geotekniska förhållanden för att kunna bedöma Tunnelbana till Arenastadens influensområde. Med influensområde avses det område inom vilket det kan uppkomma grundvattennivåpåverkan till följd av vattenverksamheten.

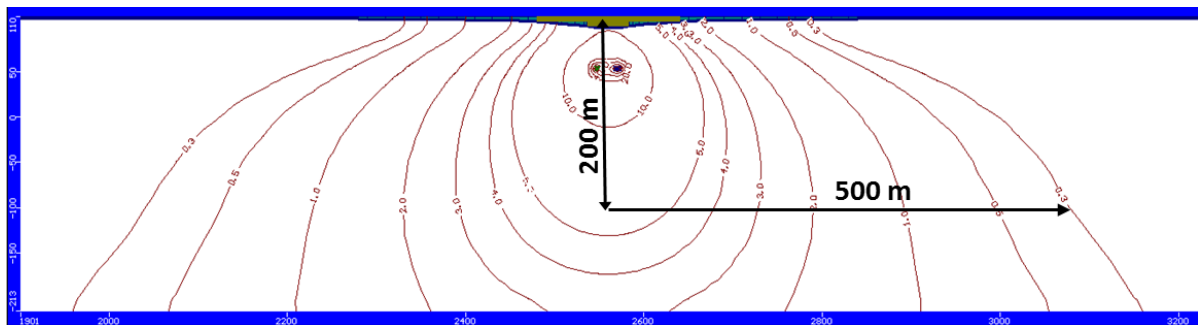
I detta kapitel görs uppskattningar och beräkningar av influensområdet där även exempelvis inläckage till tunnlar, vattenbalans, berggrundens och jordlagrens vattenförande förmåga ingår som underlag.

4.1 Influensområde

Numeriska beräkningar har utförts för inläckage och grundvattennivåsänkning. Beräkningar genomförs för avgränsade områden, till exempel där bergtunnelavsnitt passerar under grundvattenmagasin i jord eller genom sprickzoner i berg. En samlad bedömning för hela området görs sedan baserad på de enskilda grundvattenmagasinens utbredning. I den samlade bedömningen ingår kunskap om områdenas jord- och bergförhållanden samt erfarenheter från andra tunnelprojekt i området. Influensområdets utbredning är konservativt framtaget varför ingen grundvattenpåverkan bedöms uppkomma utanför influensområdet.

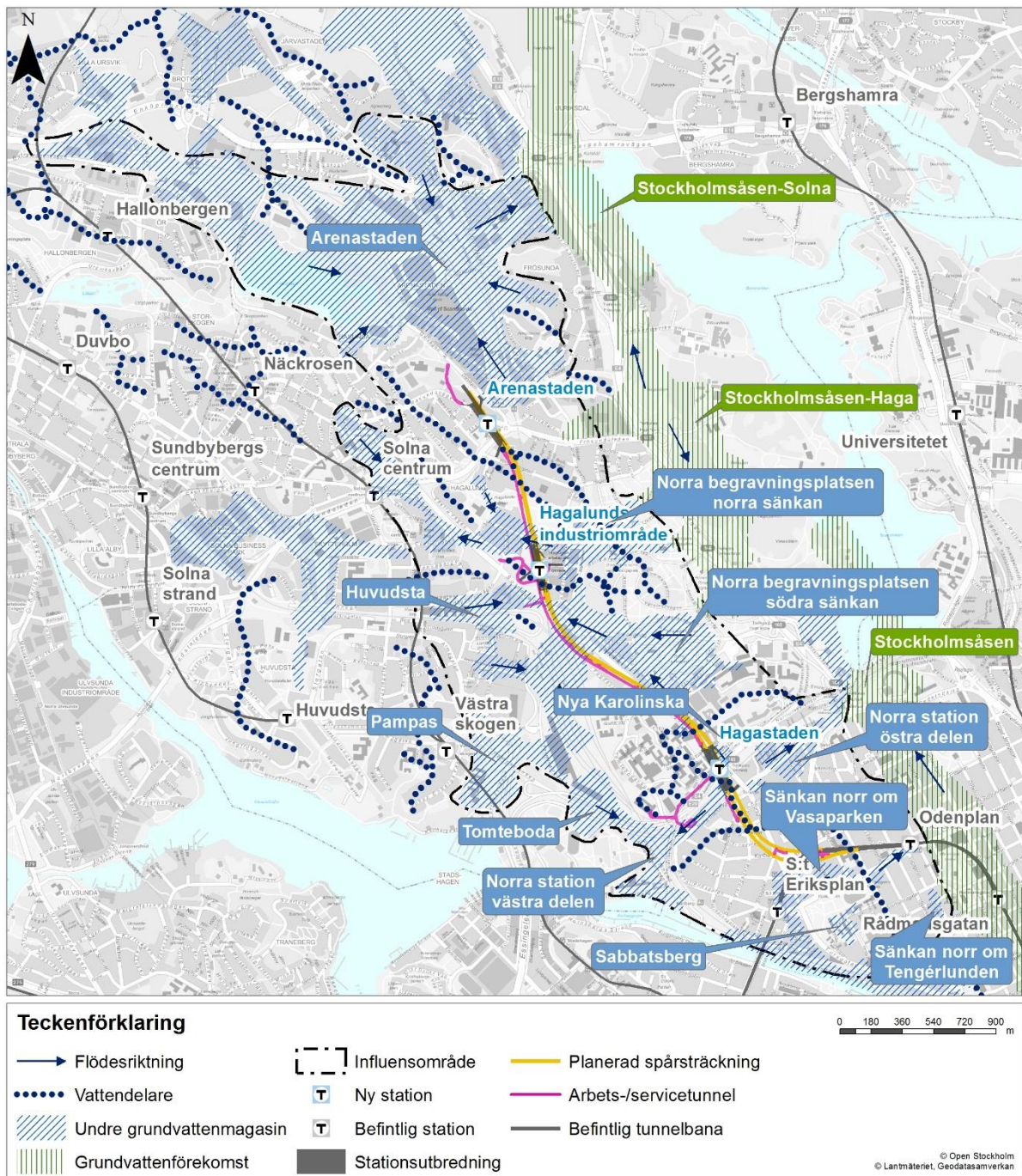
Framtagandet av influensområdet för tunnelbanan till Arenastaden baseras på följande kriterier och förutsättningar:

- Alla känsliga slutna grundvattenmagasin i jord som ligger med geografisk kontakt (i plan) med planerade anläggningar (spårtunnlar, arbetstunnlar och ventilationsschakt) ingår i influensområdet.
 - Undantaget sådana magasinområden där det av grundvattenhydrauliska skäl uppenbart inte kan ske någon påverkan.
- Beräkningar för influensområde i berg har genomförts med en numerisk tredimensionell modell med en antagen hydraulisk konduktivitet i berg på $K=3 \cdot 10^{-8}$ m/s och injekterat berg på $5 \cdot 10^{-9}$ till $1 \cdot 10^{-8}$ m/s för en nybruten tunnel.
- Där känsliga slutna grundvattenmagasin saknas dras gränsen vid en beräknad trycksänkning djupt ner i berget (200 meters djup) där konsekvens av trycksänkningen är försumbar, här 0,3 meter för trycksänkning på 200 meters djup, figur 40. Dimensionerande sektion har antagits vara i Hagalundssänkan där tunneln ligger på stort djup och vattentrycket vid tunnelcentrum kan uppskattas till cirka 55 meter. Beräkningar ger ett influensavstånd (i plan) från tunnelcentrum om cirka 500 meter för ett inläckage på cirka 10 l/min och 100 meter tunnel. Vid bergpartier med sämre injektering kan inläckaget lokalt överstiga 10 l/min och 100 meter tunnel. Dock bedöms inläckaget kunna gälla över en längre sträcka.
- Utifrån ovanstående beräkningar har avståndet 500 meter valts som ett generellt influensavstånd för områden där känsliga grundvattenmagasin saknas.
 - En väsentligt mindre trycknivå vid tunnelcentrum än dimensionerande sektion (55 meter vattentryck) kan medföra att avgränsningen dras närmare tunnellinjen än 500 meter för ovanstående områden.



Figur 40 Tvärsektion av trycksänkingsutbredning i djupt berg kring tunnel och servicetunnel vid dimensionerande tvärsnitt med 55 meter vattentryck vid tunnelcentrum och beräknat inläckage om cirka 10 L/min/100 meter. Pilarna visar principen för betraktad punkt för här antagen försumbar konsekvens avseende trycksänkning i djupt berg. Trycksänkingsutbredning i ytligare berg har betydligt mindre utbredning från tunneln och blir således inte dimensionerande. Trycksänkingsutbredning i undre slutna magasin antas i princip kunna nå hela de avgränsade magasinerna varvid trycksänkning av ytligt berg även antas få samma utbredning. Trycksänkning i djupt berg får inom sådana områden mindre utbredning om områdena ligger på avstånd > cirka 500 meter från planerade anläggningar.

I figur 41 visas utbredningen av influensområdet.



Figur 41 Influensområde för Tunnelbana till Arenastaden utifrån valda kriterier och givna förutsättningar.

4.2 Bedömning av inläckage

Beräkning av inläckage till injekterade tunnlar i berg har gjorts efter analytisk modell presenterad i bland annat Gustafson (2009). Giltigheten i de analytiska modellerna har testats genom simulering av relevanta akviferuppsättningar och tunnelgeometrier i numeriska modeller. Det är väl känt att det för en ytligt förlagd tunnel inte kommer att beräknas korrekt inläckage analytiskt eftersom grundvattenytan ovanför tunneln kommer att sänkas av medan den analytiska modellen förutsätter konstant grundvattenyta ovanför tunneln. Beräkningarna visar att korrektionsparametern (det vill säga kvoten mellan numerisk och analytisk beräknat inläckage) ökar med stigande vattentryck vid tunnelcentrum, det vill säga att det råder större överensstämmelse mellan analytisk och numerisk modell för en djupare tunnel än för en ytligare

tunnel. Korrektionsparametern har för Gula linjen beräknats till mellan 85%-97% beroende på vattentryck (tunneldjup).

Med avseende på ovanstående förhållanden för de analytiska modellernas giltighet har det ställts upp två beräkningsfall för inläckage längs med Tunnelbana till Arenastadens profil från Odenplan till Arenastaden; en mer konservativ (okorrigerad) och en beräkning där korrektionsparameter applicerats som funktion av vattentrycket för delsträckor där det kan accepteras att grundvattenytan sänks av som följd av inläckage till tunnarna. Detta berör endast områden med berg/morän. Inom områden med lera förutsätts att trycknivån i jord ska upprätthållas varvid den analytiska modellens förutsättningar är infriade. De analytiska beräkningarna har utförts sektionvis (tunnellängd 50 meter) längs linjen.

Normalberget har ansatts till $K=3 \cdot 10^{-8}$ m/s, jämfört med beräknad storskalig konduktivitet baserad på SGU:s brunnarsarkiv om $K_{3D}=2,8 \cdot 10^{-8}$ m/s. Det antas att normalberget kan tätas ned till $K_i=5 \cdot 10^{-9}$ m/s medan svaghetszoner med större vattenföring ($K_b=1 \cdot 3 \cdot 10^{-7}$ m/s) kan tätas ned till $K_i=3 \cdot 10^{-8}$ m/s.

Det beräknade specifika inläckaget för spår- och servicetunnel varierar mellan 0-55 L/min/100 meter med medelvärdet 11,1 L/min/100 meter. Totala inläckaget längs sträckan beräknas till 430 L/min, Tabell 13.

Motsvarande beräknade flöden med hänsyn tagen till korrektion för avsänkt grundvattenyta inom bergområden är ett medelinläckage om 10,8 L/min/100 meter och ett totalt inläckage om 420 L/min för hela sträckan. Sammanfattningsvis kan således konstateras att korrektionen i detta fall är liten, dels då den berör mindre delsträckor och dels då korrektionsfaktorn i sig är måttlig och till och med liten för stora värden på numerisk beräknat flöde som normalt kan knytas till stora värden på vattentrycket.

Med samma angreppssätt som för spår- och servicetunnarna har även inläckage beräknats för tillfartstunnarna vid Hagstaden, Hagalunds industriområde och Arenastaden. Summan av inläckaget till tillfartstunnarna beräknas till cirka 80 l/min där det specifika medelinläckaget varierar mellan 3,1 till 5,3 L/min/100 meter. Totalt för hela tunnelanläggningen erhålls ett inläckage på cirka 500 l/min med fördelning enligt Tabell 13.

Tabell 13 Beräknade inläckage till spår och arbetstunnlar.

Tunnel	Okorrigerat		Korrigerat	
	Specifikt medelinläckage (l/min, 100 m)	Totalt inläckage (l/min)	Specifikt medelinläckage (l/min, 100 m)	Totalt inläckage (l/min)
Arbetstunnel Hagstaden	5,3	39	4,9	36
Arbetstunnel Hagalunds industriområde	5,0	28	4,8	26
Arbetstunnel Arenastaden	3,1	11	2,9	10
Spårtunnel+servicetunnel	11,1	431	10,8	422
Totalt		509		495

Inom området Odenplan-Hagstaden visar erfarenheter från Citybanan att byggnationen utförts utan större avvikelser i prognosticerat inläckage samt att grundvattenpåverkan varit begränsad. För området Hagastaden-Arenastaden är erfarenheter av grundvattenpåverkan från större tunnelanläggningar mer begränsad samt att anläggningen går betydligt djupare under mark än sträckan Odenplan-Hagastaden varför större inläckage förväntas. Som underlag till villkor föreslås för tunnelbanan till Arenastaden därför en uppdelning av anläggningen i två delsträckor, Tabell 14..

- Delsträcka 1: Odenplan till och med station Hagastaden (3+600 till 4+900)
- Delsträcka 2: Station Hagastaden till och med station Arenastaden (4+900 till 7+400)

Tabell 14 Beräkning av inläckaget till Gula linjen fördelat på delsträckorna Odenplan till Hagstaden respektive Hagstaden till Arenastaden

Tunnel	Korrigerat	
	Specifikt medelinläckage (l/min, 100 m)	Totalt inläckage (l/min)
Spårtunnel+servicetunnel (3+600 till 4+900)	5,0	68
Arbetstunnel Hagstaden	4,9	36
Total delsträcka 1		104
Arbetstunnel Hagalunds industriområde	4,8	26
Arbetstunnel Arenastaden	2,9	10
Spårtunnel+servicetunnel (4+900 till 7+400)	14	354
Total delsträcka 2		391

För beräkning av inläckage har antagits en skinfaktor om 0 (noll). Detta kan anses vara motiverat då maximalt inläckage söks i beräkningarna och inte ett framtida inläckage då eventuell skineffekt hunnit utbildas. Vidare har det antagits att injekteringszonens mäktighet är 8 meter.

Ett framtida beräknat inläckage i spår- och servicetunnlar, efter det att merparten av skin hunnit utbildas, 5 år efter färdigställande, kan beräknas till i medeltal 7 L/min/100 meter (totalt 280 L/min) vid en antagen skinfaktor om 3. Detta inläckage kan jämföras med erfarenheter av inläckage till befintliga äldre tunnlar inom influensområdet.

Jämförelse med Citybanan

Som stöd för resonemang kring inläckage och genomsläpplighet i berg i anslutning till en bergtunnel har en utvärdering gjorts av de inläckagemätningar som utförts inom ramen för kontrollprogrammet för Citybanan. Jämförelsen mellan den planerade Tunnelbana till Arenastaden och Citybanan bedöms som relevant då Citybanan är förlagd på ett relativt stort djup samt att båda tunnlar sträcker genom samma bergdomän. Mätningar för Citybanans sträckning under Odenplan, Vasastaden, Norra station och vidare mot Tomtebodavägen ger ett medelinläckage på cirka 5 l/min och 100 meter tunnel, se avsnitt 3.6.3. Baserat på känd tunnelsgeometri och

trycknivåer samt ett antagande om en medelkonduktivitet i berg på $K_b=3\cdot 10^{-8}$ m/s har beräkningar utförts av skinfaktor och konduktivitet i berg efter injektering som kan förväntas för att ge det uppmätta inläckaget.

Beräkningarna utförs med tre olika värden för skinfaktor och konduktivitet i berg efter injektering, eftersom dessa är mycket svåra att uppskatta. Beräkningarna är genomförda analytiskt enligt ekvation (1) (Gustafson, 2009). Denna ekvation beräknar inläckaget baserat på tunnelns djup och radie.

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

där q är inläckage per tunnelmeter, H är vattentrycket (meter vattenpelare till medeltunnelcentrum), r är tunnelns radie (meter), K_b är bergets konduktivitet, K_i är injekteringszonens konduktivitet, t är injekteringszonens mäktighet och ξ är en "skin-faktor" som tar hänsyn till att berget närmast tunneln med tiden får en minskad konduktivitet beroende på bland annat spänningsomlagringar och utfällningar. Resultatet av beräkningarna visas i tabell 15.

Tabell 15 Beräkning av inläckage i Vasatunneln 2, Citybanan, för tätad tunnel

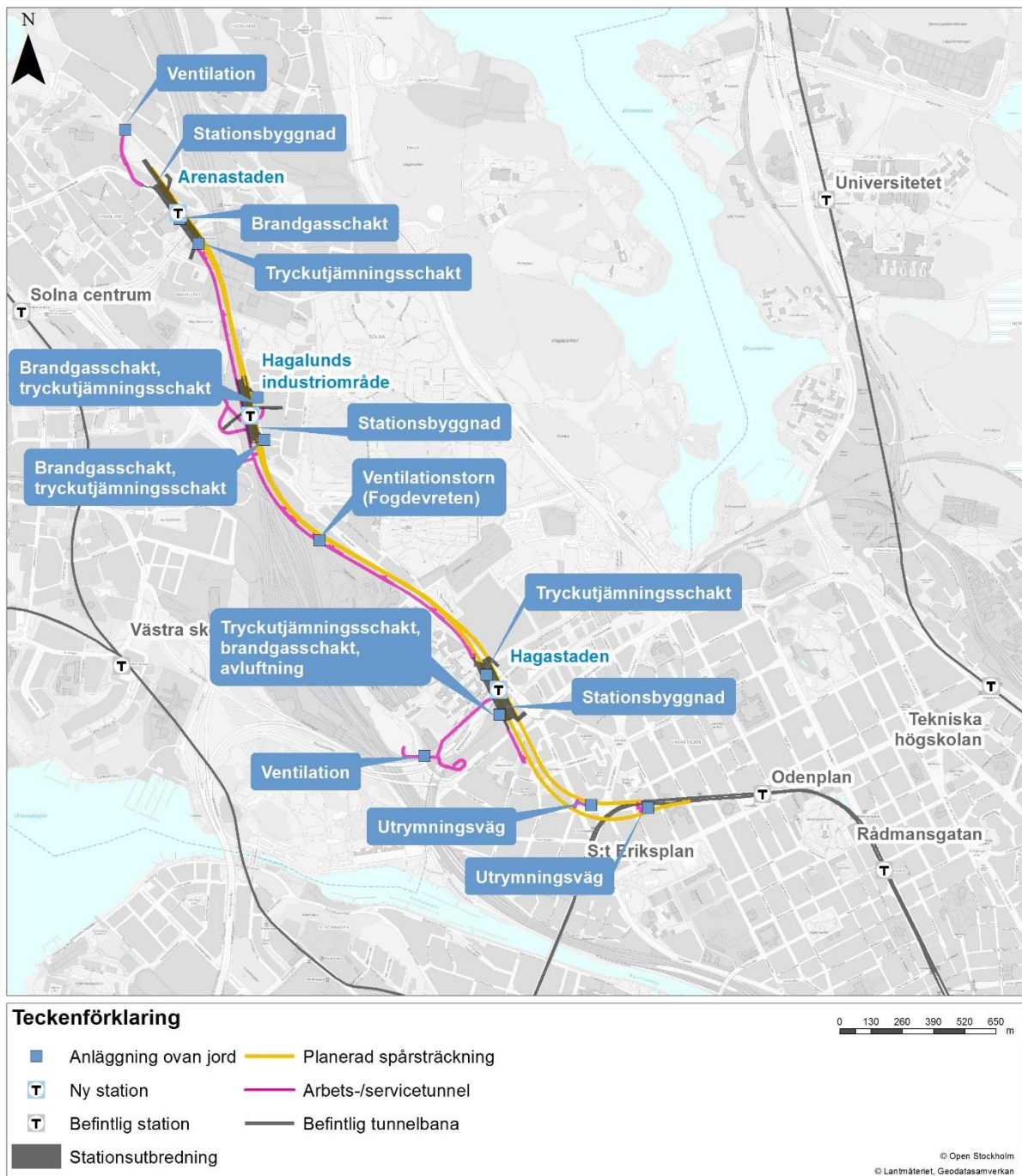
Skinfaktor	Konduktivitet i injekterad zon			
	$K_i=1\cdot 10^{-9}$ m/s	$K_i=5\cdot 10^{-9}$ m/s	$K_i=1\cdot 10^{-8}$ m/s	
1	3,4	9,0	11,3	l/min, 100 m
3	2,8	5,8	6,7	l/min, 100 m
5	2,4	4,3	4,8	l/min, 100 m

För injekterad tunnel är skinfaktorn underordnad betydelsen av den uppnådda konduktiviteten i den injekterade zonen (K_i). Sammanfattningsvis konstateras att det uppmätta inflödet i Citybanans tunnel (5 l/min och 100 meter tunnel) kan erhållas vid till exempel $K_i=5\cdot 10^{-9}$ m/s, vilket är det som förväntas kunna uppnås för Tunnelbana till Arenastadens bergtunnlar vid normaltätt berg.

4.3 Bedömning av grundvattennivåsänkning med och utan infiltration

4.3.1 Översikt av anläggning

Under byggtiden och drifttiden för Tunnelbana till Arenastaden kan grundvattennivåsänkning ske i berg och jord. Grundvattennivåpåverkan i berg på grund av byggandet av bergtunnel har tidigare beskrivits i kapitel 4.1. Längs med Tunnelbana till Arenastaden kommer även ett antal schakter från markytan att utföras. Anläggningar där schakter utförs är exempelvis stationsbyggnader och tryckutjämningschakt.



Figur 42 Översikt av planerade bergtunnlar, stationsutrymmen och övriga anläggningsdelar

4.3.2 Känslig grundläggning inom influensområdet

Byggnader med känslig grundläggning redovisas översiktligt i figur 43 till figur 45 samt att en områdesvis beskrivning görs i avsnitt 3.7.1. Mer detaljerad information om grundläggning finns i bilaga C5.

4.3.3 Grundvatten i berg

Grundvattentrycksänkning i berg kan påverka vattennivån i energibrunnar och därmed effektutbytet med omgivande berg.

Trycksänkningens storlek i berg är direkt knuten till tunnelgeometrin. I tunnlarna antas att det ursprungliga grundvattentrycket sänks av till tunnelbotten. Trycksänkningens utbredning i berget kring tunnlarna kommer att minska med ökande avstånd från tunnelcentrum. Trycksänkningen på ett visst avstånd från tunneln är beroende på de hydrogeologiska förhållanden som råder samt på hur väl tunneln tätats.

I tunnellinjen gäller därmed generellt att där tunneldjupet är stort så blir trycksänkningen lokalt stor. Vid norra sänkan, Norra begravningsplatsen, blir trycksänkningen i berg i tunneln upp till ca 55 meter medan trycksänkningen där tunneldjupet är mindre, exempelvis vid den grunda tunnel som ansluter till befintlig Grön linje väster om Odenplan, som mest uppgår till några meter.

Horisontellt från tunneln minskar trycksänkningen i berg med avståndet. Vid norra sänkan, Norra begravningsplatsen, där tunneldjupet är som störst, uppskattas trycksänkningen teoretiskt till ett fåtal meter på ett avstånd av 100 meter från tunneln.

Trycksänkningen i de översta delarna av berget ovan tunnelsträckningen beror på bergtäckningen, det vill säga avståndet mellan bergöverytan och tunneln, och tunnels täthet. Då bergtäckningen längs huvuddelen av Tunnelbana till Arenastaden är relativt stor bedöms trycksänkningen i de översta delarna av berget endast uppgå till ett fåtal meter. Undantaget är större jordfyllda svackor där tunneldjupet är stor och bergtäckningen liten. Detta är fallet vid sänkorna inom Norra begravningsplatsen där tryckavsänkningen i den översta delen av berget lokalt kan uppgå till cirka 10 meter.

Dock kan inte de beräknade trycksänkningarna i berg likställas med motsvarande avsänkning i en brunn. Det beror på att brunnen har kontakt med sprickor i berget på olika djup och att dessa sprickor kan vara mer eller mindre vattenförande. Det mest vattenförande berget kommer att vara styrande för vattennivån inne i brunnen. För en brunn med kontakt med sprickor i såväl ytligt som djupt berg blir den förväntade effekten av en trycksänkning i djupt berg att den (lilla) uppåtriktade strömningen inne i berghålet minskar något medan vattennivån i brunnen kvarstår oförändrad, styrd av kontakt med ytligare liggande sprickor.

En beräknad trycksänkning i djupt berg indikerar bara att det identifierats att det skulle kunna uppkomma en trycksänkning i djupt berg. Vidare att detta, under vissa speciella förutsättningar, även skulle kunna medföra en sänkning av vattennivån inne i en brunn.

Inom influensområdet finns cirka 404 identifierade brunnar varav 189 ligger inom 100 meter från Tunnelbana till Arenastaden.

I anslutning till servicetunneln vid station Arenastaden finns även en risk att flera energibrunnar helt förlorar sin funktion då brunnar ligger i servicetunnelns omedelbara närhet, cirka 10 meter. Brunnarna kan behöva gjutas igen av byggtekniska skäl. Detta är dock en konsekvens av byggverksamheten och inte effekt av grundvattennivåsänkningen.

Risk för vattennivåsänkning som kan försämra effektutbyte i energibrunnar bedöms som liten och endast resultera i **små negativa effekter**. För det fall att en nivåsenkning sker kan åtgärder exempelvis vara att fördjupa befintlig brunn eller fylla den med värmeledande material.

4.3.4 Grundvatten i jord

4.3.4.1 Effekter från bergtunnlar

Områden där skador på grundvattenberoende objekt bedöms kunna uppkomma om grundvattennivåsänkning tillåts är i huvudsak i anslutning till de identifierade undre grundvattenmagasinen längs Tunnelbana till Arenastadens sträckning. Specifikt bedöms områden med större lerdjup och sättningsbenägen lera komma att sätta sig om inte infiltration utförs.

För bedömning av trycksänkning i undre magasin som följd av trycksänkningen i berget kring tunneln har norra sänkan, Norra begravningsplatsen, använts som ett dimensionerande fall. Sänkan har stora jorddjup med sättningsbenägen lera och större svaghetszoner i berg sträcker sig genom sänkan. Utan medräknad skyddsinfiltration uppskattas trycksänkningen i undre magasin i jord kunna komma att uppgå till mellan 0 och 5 meter, med störst trycksänkning (2-5 meter) i det undre grundvattenmagasinet rakt ovanför tunnellen och successivt avtagande påverkan på större avstånd från tunnellen.

Ovanstående storlek på den största trycksänkningen (2-5 meter ovan tunnellen) bedöms även gälla för Norra begravningsplatsen, södra sänkan

Vid station Arenastaden är tunneldjupet mindre samt att jorddjupet och förekomsten av undre grundvattenmagasin är begränsat då stationsområdet i huvudsak är beläget i ett område med höga berglägen. Längre norrut breder dock sänkan vid Arenastaden ut sig där de geologiska förutsättningarna är liknande de vid Norra begravningsplatsen, det vill säga stora jorddjup med sättningsbenägen lera. Schakt för arbetstunnel och stationsuppgång kommer att utföras i randzonen till magasinet varför en viss trycksänkning inte kan uteslutas, dock endast ett par meter.

För Norra stationsområdet och sänkan norr Vasaparken är lermäktigheterna mindre än sänkorna vid Norra begravningsplatsen. Tunneln sträcker genom norra randzonen till sänkan varför en mindre trycksänkning i de under magasinet bedöms kunna uppstå, det vill säga som mest ett par meter. För Norra stationsområdet separeras de det östra och västra undre magasinen av en bergsrygg väster om Solnabron. Då Gula linjen sträcker sig under bergsryggen bedöms endast en mindre trycksänkning kunna ske i de undre magasinen, det vill säga som mest ett par meter.

I anslutning till Odenplan har infiltrationsbrunnar tidigare etablerats inom området för att motverka grundvattennivåsänkningar i anslutning till grundvattenberoende byggnader med avseende på effekter från befintliga undermarksanläggningar (Citybanan). Cirka fem grundvattenberoende objekt grundlagda på träpålar eller på lera finns inom området. Tillkommande dränering av grundvatten till tunnelbanan till Arenastaden bedöms dock som begränsad då varken sträckningen eller planerad schakt berör magasinet samt att magasinet inte bedöms ha förbindelser med andra magasin. Vidare ligger grundvattennivån i det undre grundvattenmagasinet i jord lägre än lerans underkant och risken för sättningar bedöms därför som liten. Befintliga infiltrationsbrunnar bedöms dock kunna användas vid behov.

Vid sänkan norr Vasaparken finns infiltrationsbrunnar etablerade för att upprätthålla grundvattennivåer med avseende på effekter från befintliga undermarksanläggningar (Citybanan). Ytterligare dränering av grundvatten från Tunnelbana till Arenastaden kan medföra grundvattennivåsänkning i det undre magasinet i jord. I anslutning till sänkan norr om Vasaparken finns generellt halvfast lera med upp till 6 meters mäktighet. Centralt i området är dock leran mindre fast och sättningsbenägenheten bedöms därför som måttlig. Byggnader med trägrundläggning finns i området varför kompletterande infiltration bör förberedas. Ett 40-tal grundvattenberoende objekt grundlagda på träpålar eller på lera finns inom området.

Sänkan vid Sabbatsberg gränsar till höga bergslagen förutom mot Klara sjö i söder vartåt dränering sker. Då området bedöms som väl avgränsat samt ligger 300-400 meter från planerad anläggningen bedöms någon grundvattenpåverkan i det undre magasinet inte uppstå.

Svackan norr om Tegnérlunden är en mindre svacka som avgränsas åt alla håll av berg förutom mot Stockholmsåsen i öster. Sänkan dräneras mot Stockholmsåsen och bedöms inte ha förbindelser med andra magasin. Svackan ligger cirka 500 meter från planerad anläggningen. Någon grundvattenpåverkan i det undre magasinet bedöms inte uppstå.

Ingen infiltration genomförs i Norra stationssänkan i dagsläget. Dock finns ett flertal infiltrationsbrunnar etablerade i området som kan användas vid behov. Den västra delen av sänkan utgörs i huvudsak av infrastruktur. Inom området finns siltig och sandig lera med upp till 7 meters mäktighet. Sättningsrisken i området bedöms vara liten. Förutom servicetunnel och spårtunnel för Tunnelbana till Arenastaden påverkas området av Citybanan, intunnlingen av E4 och Hagastaden. Grundvattennivån har varit kraftigt avsänkt i samband med tidigare arbeten. Längs med vägrampen upp från Klarastrandsleden upp till Norra station löper en stödmur med en fast dränering för grundvattennivån på +9,7.

Inom den östra delen av Norra station påträffas relativt mäktiga lager av lös lera i korsningen mellan Norra stationsgatan och Hälsingegatan. Sättningsrisken i området bedöms vara måttlig. Inom området finns byggnader som är grundlagda på betongpålar till berg eller fast botten. Grundläggningen är inte grundvattenberoende men byggnaderna kan ha källargolv eller servisledning som är grundvattenberoende. Grundvattennivån har varit påverkad i samband med tidigare arbeten bland annat intunnlingen av E4/E20 och Värtabanan. Utan skyddsinfiltration finns risk för grundvattennivåsänkningar i undre magasin.

Vid Nya Karolinska och den genomkorsande Solnavägen finns halvfast lera med sandskikt på upp till 6 meters mäktighet. Sättningsrisken i området bedöms vara liten. Ett fåtal större byggnader gränsar mot det lilla grundvattenmagasinet. Under tidigare byggnation har grundvattennivån både öster och väster om Solnavägen påverkats. En fast dräneringsnivå anläggs vid Nya Karolinska sjukhuset vilket innebär att grundvattennivåerna kan komma att ligga relativt stabilt på dagens nivå. I beredskapssyfte har även en infiltrationsbrunn installerats i området.

Sänkan vid Tomteboda spårområde avgränsas i nordost och sydväst av bergryggar. De norra delarna av sänkan, mellan höjdområdet i öst och Tomteboda höjdområde i väst, utgörs av en varierande bergrundsyta i sadelform som bildar östvästligt grundvattendelare tvärs över spår och bangårdsområdet. Tomtebodaområdets södra del sluttar mot söder och avrinner där generellt mot Karlbergssjön. Öster ut avgränsas området mot västra delen av Norras stationssänkan där en stödmur löper längs med vägrampen upp från Klarastrandsleden till Norra station. Grundvattennivån faller inom detta område mot Karlbergssjön. Då området bedöms som relativt väl avgränsat bedöms inte någon grundvattenpåverkan i det undre magasinet inte uppstå.

Sänkan vid Pampas utgörs av en jordfylld sänka omgiven av större bergryggar, Västra Skogen i väst, postens terminalområde i norr, Karlbergsområdets i syd samt mindre nordost-sydvästligt orienterade bergsryggar mot Tomteboda höjdområde i öst. Svackan ligger cirka 500 meter från planerad anläggningen. Någon grundvattenpåverkan i det undre magasinet bedöms inte uppstå.

Området kring Norra begravningsplatsen, södra sänkan, utgörs av ett större grundvattenmagasin med mäktiga lerlager. De största lermäktigheterna, större än 10 meter, påträffas i Solnavägen vid Tomteboda i områdets mitt och vid Solnavägens korsning med Karolinska vägen i områdets sydöstra del. Området genomkorsas av spårområdet för järnvägen. Sättningsberäkningar har utförts för en lermäktighet på 12,5 meter. Större delen av området bedöms ha stor sättningsbenägenhet. Centralt inom området, på den östra sidan av Tunnelbana till Arenastaden förekommer ett stråk av sju byggnader grundlagda på träpålar. Avståndet från byggnaderna till

Tunnelbana till Arenastaden är endast 60 till 100 meter. Vidare finns ett fåtal byggnader grundlagda på lera i området, bland annat Solna Kyrka. I övrigt finns ett 20-tal byggnader med okänd grundläggning. Utan skyddsinfiltration finns risk för grundvattennivåsänkningar i undre magasin. Störst risk för sättningar föreligger där lermäktigheterna är som störst.

Inom Norra begravningsplatsen, norra sänkan, finns sättningsbenägna lerlager med mäktigheter på upp till 21 meter. Större delen av området bedöms ha stor sättningsbenägenhet. Tunnelbana till Arenastaden passerar under sänkan som är relativt smal med stora jordmäktigheter. Utan skyddsinfiltration finns risk för grundvattennivåsänkningar i undre magasin. Inom området har fem objekt grundlagda på lera identifierats varav tre ligger nära eller mitt på Tunnelbana till Arenastadens sträckning. I övrigt förekommer även ett 20-tal byggnader med okänd grundläggning.

Inom området Arenastaden påträffas de största lermäktigheterna i områdets södra del, cirka 100-200 meter öster om station Arenastadens norra uppgång. Sättningsbenägna leror har konstaterats med mäktigheter på upp till 18 meter. Området är mycket stort och sträcker sig som mest nästan 3 km åt nordväst räknat från station Arenastaden. Större delen av området bedöms ha stor sättningsbenägenhet. Få grundvattenberoende byggnader har identifierats. Cirka 300 meter väst och sydväst om station Arenastaden finns tre byggnader med uppgifter om grundläggning på lera. Vidare upptar järnvägens spårområde en stor yta både öster och norr om stationsområdet, dessa bedöms som sättningskänsliga. Utan skyddsinfiltration finns risk för grundvattennivåsänkningar i undre magasin.

På grund av risk för skador på grundvattenberoende objekt bedöms avsänkningen av grundvattennivåer i jord kunna resultera i **måttliga negativa effekter** om skyddsinfiltration inte nyttjas. Genom att förbereda för skyddsinfiltration i de identifierade riskområdena bedöms projektet resultera i **små eller inga negativa effekter**.

En stor del av påslag till tillfartstunnlar och schakt förläggs i områden med berg i dagen alternativt tunt jordtäckte på berg. Schakter i jord under grundvattennivån kommer att utföras inom tät konstruktion. Detta medför att risk för påverkan på grundvattenmagasin bedöms som liten och att anläggandet av schakter bedöms resultera i **små eller inga negativa effekter**.

4.3.4.2 Effekter från schakt

Nedanstående görs en genomgång av schakter till markytan längs Tunnelbana till Arenastaden och de effekter på grundvattennivån som kan förväntas. Schakter beskrivs i Figur 43 till Figur 45. Schakter i jord under grundvattnets trycknivå nedförs inom tät spont. Berget tätas med ridåinjektering och mellan spontfot och berg kan exempelvis jetinjektering utföras.

En bedömning har utförts av maximal hydraulisk omgivningspåverkan utan skyddsinfiltration i övre magasin kring schakter jord utförda inom tätkonstruktion. Bedömningarna grundar sig på konservativa val för styrande parametrar. Vissa parametrar har varierats inom rimliga spann (exempelvis grundvattenbildning och jordlagrens vattenförande egenskaper) för att visa på hur detta inverkar på beräkningsresultaten.

Störst omgivningspåverkan kan beräknas vid antagande om ett måttligt vattenförande material utanför schakt och liten nybildning. Vid mer konduktivt material utanför schakt blir nivåpåverkan

liten. Vid tätare material utanför tätkonstruktion blir avsänkningen nära tätkonstruktionen större, men avsänkningstratten blir samtidigt brantare. Dessa förhållanden ramar in spannet för ett rimligt influensavstånd kring schakter i jord inom tätkonstruktion.

Sammantaget visar analysen att planerat utförande av schakter i jord skulle kunna medföra en tillfällig avsänkning av grundvattenytans läge i jord som sträcker sig, konservativt satt, ca 20-30 meter ut från tätkonstruktionens yttre begränsningslinje. Mätbar förändring, definierad som 0,1 m, bedöms inte vara spårbar på avstånd överstigande ca 15 meter från tätkonstruktionens yttre begränsningslinje. Närmast schakt beräknas trycksänkningen kunna uppgå till som mest cirka 0,5 meter för att sedan minska med avståndet från tätkonstruktionen.

För bedömning av risk för icke försumbar påverkan på till exempel växlighet, vissa typer av fornlämningar och ytligt liggande träkonstruktioner, så bedöms ett avstånd om 10 meter från yttre begränsningslinje för tätkonstruktioner kring schakter vara relevant att beakta.

Schakt i jord genom undre magasin medför att en trycksänkning uppstår lokalt inom schakt beroende på schaktat djup under grundvattennivån. Trots tätkonstruktioner kommer läckage att uppstå och viss trycksänkning i undre magasin utanför planerade schakt kan därför uppkomma. Omfattningen av omgivningspåverkan i ett undre magasin kring schaktet är beroende på hur väl tätningen lyckas. Bedömning av effekter från och storlek på inläckage till öppna schakt blir därför osäkra. Dock kommer infiltration effektivt motverka eventuella grundvattennivåsänkningar.

Utrymningsväg Karlbergvägen

Schaktet är placerat i ett område med måttlig jorddjup. Inga grundvattenmagasin eller grundvattenkänsliga objekt finns i närområdet.

Utrymningsväg St Eriksgatan

Schaktet är placerat i ett område med måttlig jorddjup. Inga grundvattenmagasin eller grundvattenkänsliga objekt finns i närområdet.

Arbetstunnel Hagastaden

Påslag till arbetstunnel förläggs i område med berg i dagen alternativ tunt jordtäckte på berg. Inga grundvattenmagasin har identifierats i området.

Arbetstunnel Hagastaden, ventilationsschakt

Schaktet är placerat i ett område med måttlig jorddjup. Inga grundvattenmagasin eller grundvattenkänsliga objekt finns i närområdet.

Station Hagastaden, Södra uppgången

Schakt i jord är placerat direkt öster om det mindre grundvattenmagasinet vid Torsplan. Södra uppgången kommer upp i källarvåningen på befintliga kvarteret Isotopen. Det bärande systemet är redan byggt och vissa försvararbeten som utökad bergschakt utfördes under kvarterets byggnadstid (2014-2015). Öster och norr om kvarteret Isotopen och uppgången är en tätskärm uppförd som separerar östra och västra magasinet i Norra stationssänkan, överkant skärm ligger på +12,5. Inom magasinet finns tre stycken befintliga infiltrationsbrunnar. Trots planerade tätkonstruktioner finns risk ett visst läckage uppstår och trycksänkning i undre magasin utanför schakt kan inte uteslutas utan infiltration. Med infiltration bedöms dock påverkan på grundvattenmagasinet som liten.

Risken för påverkan på grundvattenmagasinet bedöms därför som liten.

Station Hagastaden, schakt för tryckutjämning, frånluftning och brandventilation

Väster om Solnabron planeras ett schakt. Schaktet är placerat i ett område med måttliga jorddjup. Inga grundvattenmagasin eller grundvattenkänsliga objekt finns i närområdet.

Station Hagastaden, schakt för Norra uppgången och för tryckutjämning

Vid schakt för den norra uppgången består jordlagren av fyllning på lera ovan friktionsjord på berg. Fyllningens tjocklek varierar mellan 4 till 6 meter. Lerans tjocklek varierar mellan 4 till 6 meter. Enligt utförda undersökningspunkter varierar bergets nivå inom planerad schakt mellan +12 och +18. En fast dräneringsnivå anläggs vid NKS vilket innebär att grundvattennivåerna kan komma att ligga relativt stabilt på dagens nivå på +14 till +15. Under 2015 installerades även en infiltrationsbrunn i beredskapssyfte vid Karolinska institutet väster om Solnavägen. Trots planerade tätkonstruktioner kommer visst läckage uppstå och trycksänkning i undre magasin utanför schakt kan inte uteslutas utan infiltration. Med infiltration bedöms dock påverkan på grundvattenmagasinet som liten.

Norra begravningsplatsen, Södra sänkan, frånluftsanläggning (Fogdevreten)

Schaktet är placerat i ett område med måttlig jorddjup. Inga grundvattenmagasin eller grundvattenkänsliga objekt finns i närområdet.

Norra begravningsplatsen, Södra sänkan, anslutning av tunnelvatten från servicetunnel till befintlig dagvattentunnel.

Schaktet för anslutning av tunnelvatten är beläget i grundvattenmagasinet i den södra sänkan vid Norra begravningsplatsen. Schaktet går ner till berg och är som djupast 12 meter. Tätning av schakt kommer att utföras och påverkan på grundvattenmagasinet bedöms bli liten. Spårområden finns inom området varför skyddsinfiltration bör förberedas.

Fornlämningen Solna 106 är belägen vid schakt till anslutningen av dagvattentunnel, Figur 37. Terrängen ligger på en östlig sluttning och består av en övergång mellan moränhöjd med berg i dagen och låglänt mark. Fornlämningar kan påverkas främst av sättningar. En sänkt grundvattenyta kan också medföra att eventuella lämningar med organiskt material eller kulturhistoriskt viktiga byggnader, som grundlagts på träpålar eller innehåller andra byggdelar med trä, kan utsättas för en ökad nedbrytning av trämaterialiet. Området är inte avgränsat, dock medför närheten till den planerade anläggningen att kontroll av grundvattennivåer bör ske inom fornlämningsområdet i samband med schakt.

Station Hagalunds industriområde, Västra uppgången

Uppgången är i huvudsak belägen i anslutning till ett område med relativt höga berglägen, i princip berg i dagen. Längre väster ut angränsar Huvudstamagasinet och jorddjupet ökar till cirka 10 meter med lera som överlagrar friktionsjord på berg. Tätning av schakt kommer att utföras och påverkan på grundvattenmagasinet bedöms bli liten. Vidare finns inga grundvattenberoende byggnader i närområdet.

Station Hagalunds industriområde, Östra uppgången

Uppgången är i huvudsak belägen i anslutning till ett område med relativt höga berglägen. Schakt i jord för denna uppgång uppgår till cirka 4 meter. Längre öster ut angränsar Norra begravningsplatsen, Norra sänkan och jorddjupet ökar. Tätning av schakt kommer att utföras och påverkan på grundvattenmagasinet bedöms bli liten. Vidare finns inga grundvattenberoende byggnader i närområdet.

Station Hagalunds industriområde, tryckutjämningsschakt, brandgasschakt, norr

Schaktet är angränsar till grundvattenmagasinet i den norra sänkan vid Norra begravningsplatsen. Schaktet går ner till berg och jorddjupet uppgår till 5-10 meter. Tätning av schakt kommer att

utföras och påverkan på grundvattenmagasinet bedöms bli liten. Spårområden finns inom området varför skyddsinfiltration bör förberedas. Vidare förekommer grundvattenberoende byggnader cirka 50 meter nordost om schaktet.

Station Hagalunds industriområde, tryckutjämningsschakt, brandgasschakt, syd

Schaktet är i huvudsak beläget till ett område med höga berglägen, dock finns en mindre lokal sänka med jorddjup på 5-10 meter direkt öster om schaktet. Längre sydost ut angränsar Norra begravningsplatsen, södra sänkan och jorddjupet ökar. Grundvattenberoende byggnader förekommer cirka 130 meter sydöst om schaktet. Tätning av schakt kommer att utföras och påverkan på grundvattenmagasinet bedöms bli liten.

Arbetstunnel Hagalunds industriområde

Påslag till arbetstunnel förläggs i en bergbrant i ett område med tunt jordtäckte med en mäktighet på upp till 5 meter. En förskärning i jord kommer att utföras för att erhålla tillräcklig bergtäckning. Norr om påslag angränsar Norra begravningsplatsen, Norra sänkan och jorddjupet ökar. Grundvattenberoende byggnader förekommer cirka 80 meter nordost om påslaget. Tätning av schakt kommer att utföras och påverkan på grundvattenmagasinet bedöms bli liten.

Station Arenastaden, schakt för södra uppgången och tryckutjämning

Schaktet är beläget i anslutning till ett höjdområde med i huvudsak tunt jordtäckte. Inga grundvattenmagasin har identifierats där schaktet är beläget.

Station Arenastaden, schakt för brandventilation

Schaktet är beläget i anslutning till ett höjdområde med i huvudsak tunt jordtäckte. Inga grundvattenmagasin har identifierats där schaktet är beläget.

Station Arenastaden, Norra uppgången

Uppgången planeras att byggas i en öppen schakt. Schaktet är beläget i anslutning till ett höjdområde med jordtäckte på 2 till 6 meter. Uppgången angränsar till det undre magasinet Arenastaden. Norr om station Arenastaden, visar undersökningar ett ökande jorddjup. Jorddjup konstateras där på 12 meter där fyllningen överlagrar 8 meter silt. Provpumpningen utförd i området visar på måttligt genomsläppliga jordar och måttlig tillgång på vatten. Tätning av schakt kommer att utföras och påverkan på grundvattenmagasinet bedöms bli liten. Vidare finns inga grundvattenberoende byggnader i närområdet.

Dock finns större spårområden för järnvägen öst om norr om stationen. Då dessa är grundlagda på lera betraktas de som potentiellt är sättningskänsliga.

Arbetstunnel Arenastaden

Påslag till arbetstunneln förläggs i område med berg i dagen alternativt tunt jordtäckte på berg. Inga grundvattenmagasin har identifierats i området.

En stor del av påslag till tillfartstunnlar och schakt förläggs i områden med berg i dagen alternativt tunt jordtäckte på berg. Schakter i jord under grundvattennivån kommer att utföras inom tät konstruktion. Infiltration utförs för att motverka grundvattennivåsänkningar. Detta medför att risk för påverkan på grundvattenmagasin bedöms som liten och att anläggandet av schakter bedöms resultera i **små eller inga negativa effekter**.

4.4 Ytvatten

Inom influensområdet finns inga ytvatten där hydrogeologisk påverkan kommer att ske från planerad undermarksanläggning. Den till Arenastaden närbelägna Råstasjön är en grundlerslätt och den bedöms inte stå i kontakt med det undre magasinet.

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

4.5 Vattenkvalitet

Resultatet från riskvärderingen av potentiell förorenade områden samt inventering av tidigare genomföra miljöundersökningar och inom projektet utförda undersökningar visar att risken för föroreningsspridning är störst vid station Arenastaden.

Som redovisats ovan har höga halter av klorerade alifater konstaterats i grundvatten i både undre magasin i jord samt i berggrunden i anslutning det under magasinet vid Arenastaden. I övriga grundvattenmagasin längs Tunnelbana till Arenastaden bedöms förekomsten av klorerade alifater som begränsade.

I anslutning till station Arenastaden följer metallhalter generellt även de mönster av metallhalter i grundvatten som kan förväntas i urban miljö.

Beträffande Gula linjens sträckning från Hagastaden genom södra och norra sänkan, Norra begravningsplatsen uppvisar huvuddelen av genomförda undersökningar inga större avvikelser från förväntade metallhalter i urban miljö. Dock observeras förhöjda metallhalter i tre punkter som är belägna inom södra sänkan, Norra Begravningsplatsen.

Inom Arenastaden konstateras att förekomsten av oljeföroreningar i de undersökta grundvattenproverna från det undre magasinet och bergborrhålen är begränsade. För Tunnelbana till Arenastadens fortsatta sträckning genom Norra begravningsplatsen konstateras att förekomsten av de flesta analyserade oljeföroreningar i de undersökta grundvattenproverna från de undre magasinerna även är begränsade. Förekomst av tyngre alifater noteras dock i två punkter söder om station Hagalunds industriområde.

Påverkan på grundvattennivån kan orsaka att grundvattnets naturliga flödesriktning förändras. Om strömningsförhållandena förändras kan det orsaka att befintliga föroreningar sprids till nya områden. Risken för mobilisering av föroreningar motverkas genom att täta tunnarna för att minimera påverkan på omgivande grundvattenmagasin. Ett litet inläckage till tunnarna innebär begränsad avsänkning av grundvattennivån vilket medför att risken för en grundvattenströmning mot tunnelsträckningen minskas.

Vid en förändrad gradient, på grund av en avsänkning kring schakt vid station Arenastaden, bedöms dock risken att föroreningen transporteras med grundvattnet i det undre magasinet i sydlig riktning som liten. Dagens grundvattenströmning sker mot nordväst samt att området där risk finns för inträngning av förorenat grundvatten, begränsas av bergpartiet vid Hagalund då detta utgör den södra begränsningen av det undre magasinet vid Arenastaden. Föroreningen kommer därför inte att sprida sig till ett tidigare opåverkat område.

Det innebär att det i huvudsak är i anslutning till norra uppgången risk finns för mobilisering och inträngning av förorenat grundvatten i tunneln under både bygg- och drifttiden. Risk för inläckage av förorenat av förorenat vatten i själva schaktgropen under byggtiden är stor.

Baserat på uppmätta halter av klorerade kolväten bedöms att risk för förekomst av fri fas i nära anslutning till station Arenastaden är liten men inte utesluten. Förekomst av fri fas medför att förorening kan tränga ned genom grundvatten till en underjordsanläggning oberoende av grundvattnets strömningsriktning.

Det finns således skäl att hantera inläckande grundvatten till Tunnelbana till Arenastadens underjordanläggningar vid station Arenastaden separat. Följaktligen föreslås att vatten från lågpunkter (pumpgröpar) i underjordanläggningen i anslutning till station Arenastaden behandlas i en separat reningsanläggning kompletterad med ett reningssteg som är anpassat för klorerade alifater. Det gäller både länshållningsvatten under byggtiden samt dränvatten från bergtunnlar under drifttiden.

5 Skyddsinfiltration

För att undvika skadliga sänkningar av grundvattennivåer kan det blir aktuellt att förbereda skyddsinfiltration i områden där det förekommer objekt som är känsliga för grundvattenpåverkan. Skyddsinfiltration kommer att behövas under byggtiden men även permanent infiltration kan komma att nyttjas under drifttiden. I vissa områden avses befintliga infiltrationsanläggningar att nyttjas. I figur 43, figur 44 och Figur 45 sammanställs Tunnelbana till Arenastadens anläggningsdelar, schakter, influensområde, lerområden och objekt med känslig grundläggning.

Under byggtiden används skyddsinfiltration i samband med anläggandet av temporära schakter i jord som krävs vid anläggandet av uppgångar och schakt för exempelvis ventilationsanläggningar.

Nedan beskrivs de områden med grundvattenmagasin längs Tunnelbana till Arenastadens sträckning där skyddsinfiltration bedöms som nödvändig för att skydda känsliga objekt, alternativt att beredskap skall finnas för att genomföra skyddsinfiltration. Förberedelse och installation av infiltrationsbrunnar kommer att ske innan anläggningsarbeten påbörjas.

- Sänkan norr om Vasaparken: Ett 40-tal objekt med grundvattenberoende objekt grundlagda på träpålar eller på lera finns inom sänkan norr om Vasaparken. Infiltrationsbrunnar som etablerades i samband med byggandet av Citybanan avses nyttjas vid behov.
- Sänkan Norra station: Grundvattennivån har varit kraftigt avsänkt i samband med tidigare arbeten men ingen infiltration genomförs i Norra stationssänkan i dagsläget. Den delen av sänkan där anläggningar för Tunnelbana till Arenastaden planeras utgörs i huvudsak av infrastruktur, endast ett fåtal byggnader finns inom området. Sättningsrisken i området bedöms vara låg till måttlig. Dock bedöms på grund av befintliga undermarksanläggningar tillsammans med Tunnelbana till Arenastaden risken för grundvattennivåsänkningar vara stor, varför infiltration bör förberedas. Infiltrationsbrunnar som etablerades i samband med byggandet av Citybanan avses nyttjas vid behov.

Schakt i jord för station Hagastaden, Södra uppgången, är placerad direkt väster om ett mindre grundvattenmagasin vid Torsplan. Uppgången kommer upp i källarvåningen på befintliga kvarteret Isotopen. Inom det mindre magasinet finns tre stycken befintliga infiltrationsbrunnar varav en brunn installerades under uppförandet av Isotopen och övriga har installerats tidigare av Solna stad. Öster och norr om kvarteret Isotopen och uppgången är även en tätskärm uppförd som separerar östra och västra magasinet i Norra stationssänkan.

- Nya Karolinska: Grundvattenmagasinet är påverkat på grund av stor avsänkning i samband med byggnation av Nya Karolinska sjukhuset. Området kring Nya Karolinska och

den genomkorsande Solnavägen saknar lös lera. I beredskapssyfte har sedan tidigare en infiltrationsbrunn installerats som avses användas vid behov. I anslutning till Norra stations schakt för uppgång och schakt för tryckutjämning bedöms att grundvattenmagasinet i området redan är påverkat i samband med byggnation av Nya Karolinska Sjukhuset (NKS). En fast dräneringsnivå för skydd av den östra delen av magasinet etablerades i samband med byggandet av NKS.

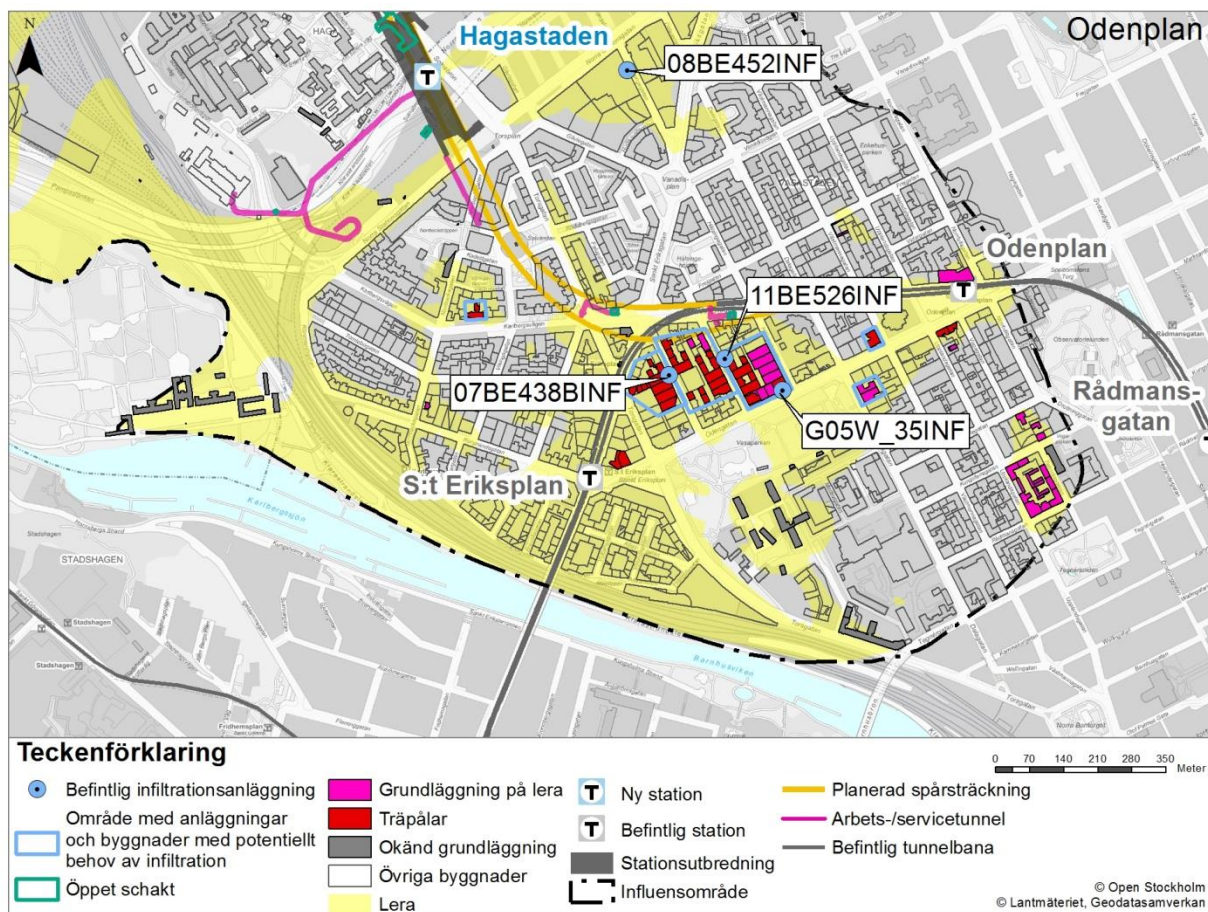
- Norra begravningsplatsen, södra sänkan. Stora jord-och lermäktigheter i kombination med grundvattenberoende objekt på korta avstånd från Tunnelbana till Arenastadens sträckning medför att skyddsinfiltration kan bli aktuellt för åtminstone två områden inom sänkan, kvarteret Kapellanen respektive Banvakten är grundlagda på träpålar respektive lera. Tunnelbana till Arenastaden korsar även spårområdet för järnvägen i Tomtebodan.

- Huvudsta

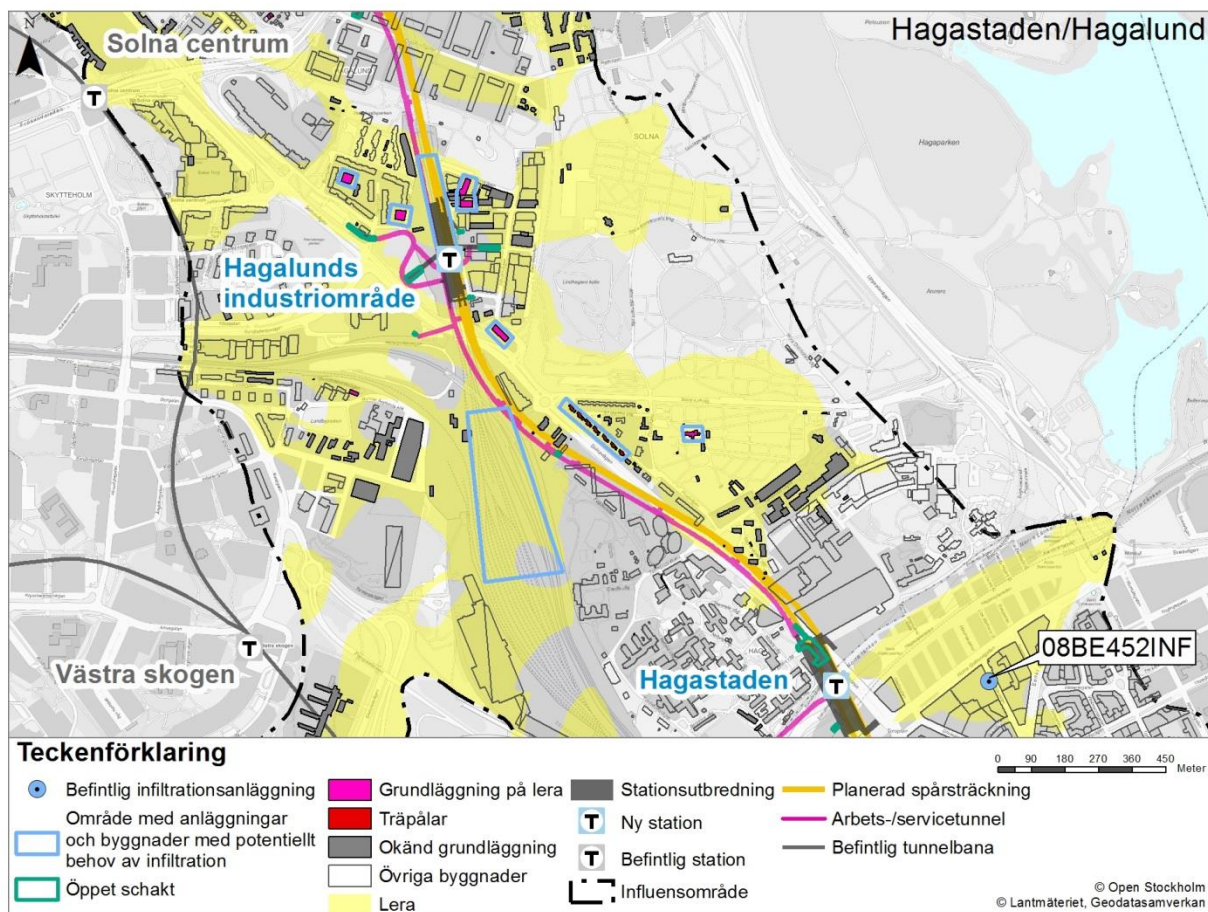
Schaktet för anslutning av tunnelvatten är beläget i grundvattenmagasinet i den södra sänkan vid Norra begravningsplatsen. Spår finns inom området varför beredskap för infiltration vid schakt bör finnas för att upprätthålla naturliga grundvattennivåer i byggtiden.

- Norra begravningsplatsen, norra sänkan. Tunnelbana till Arenastaden passerar under sänkan som är relativt smal med stora jordmäktigheter och stora lermäktigheter. Utan skyddsinfiltration finns risk för grundvattennivåsänkning i undre magasin. Inom området har flera byggnader grundlagda på lera identifierats varav kvarteret Rudviken och kvarteret Volund ligger nära Tunnelbana till Arenastadens sträckning. Tunnelbana till Arenastaden korsar även spårområdet för järnvägen.
- Arenastaden. Få grundvattenberoende byggnader har identifierats. Ett fåtal byggnader grundlagda på lera konstateras på cirka 250 meters avstånd till station Arenastaden och Tunnelbana till Arenastaden sträckning. Dock upptar järnvägens spårområde en stor yta både direkt norr om stationsområdet. Då lerorna är sättningsbenägna samt att mäktiga jorddjup förekommer i direkt anslutning till station Arenastaden kan infiltration bli aktuellt under både bygg- och drifttiden.

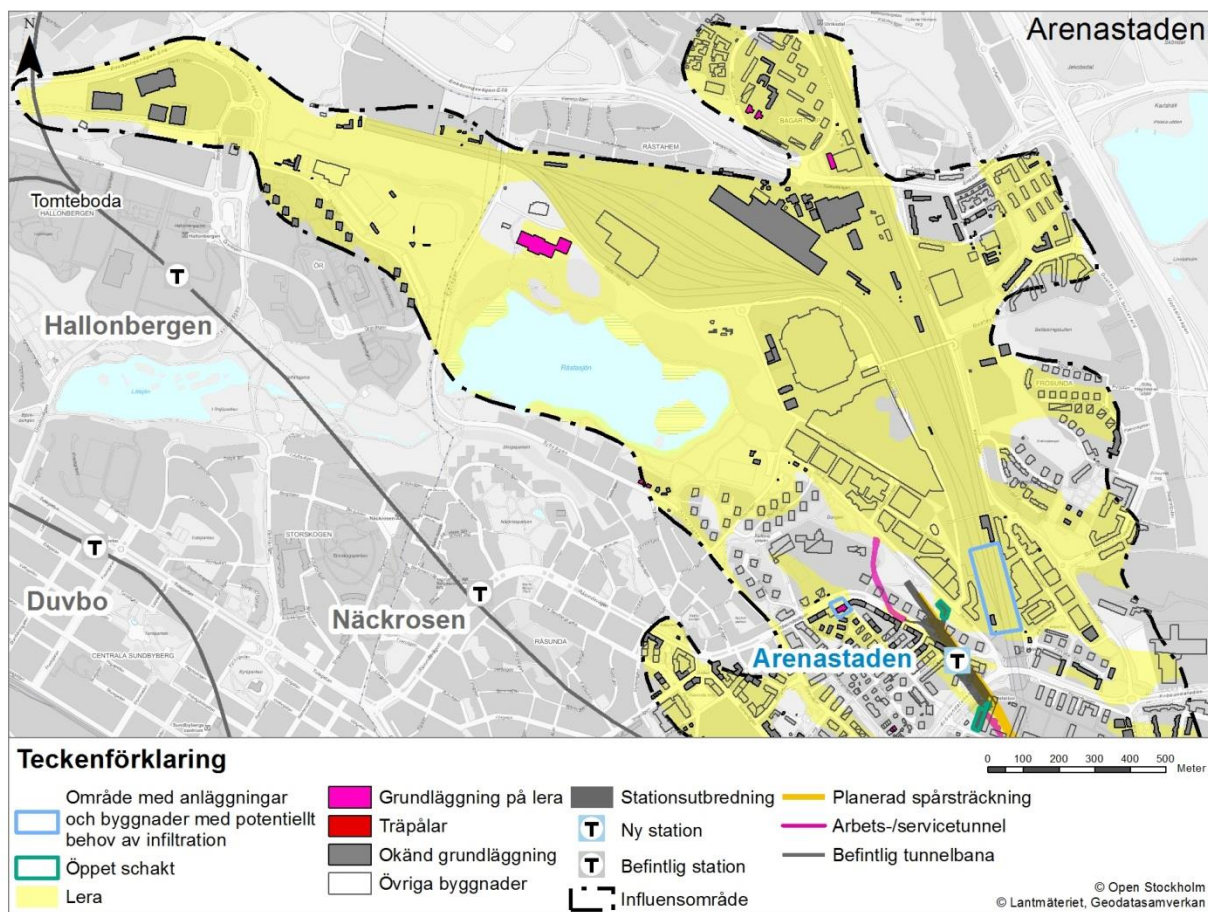
Under byggtiden planeras skyddsinfiltration att utföras med kommunalt dricksvatten. Under drifttiden kan det dock bli aktuellt med annan vattenförsörjning.



Figur 43 Översikt av Tunnelbana till Arenastaden anläggningsdelar, schakter, influensområde, lerområden och grundläggning inom området Odenplan till Hagastaden samt områden med potentiellt behov av infiltration. Det bör observeras att det i figuren förekommer två nyanser av grå varav den mörkgrå avser okänd grundläggning och ljusgrå övrig grundläggning, det vill säga ej grundvattenberoende grundläggning.



Figur 44 Översikt av Tunnelbana till Arenastadens anläggningsdelar, schakter, influensområde, lerområden och grundläggning samt områden med potentiellt behov av infiltration inom området Norra begravningsplatsen till Hagalund. Det bör observeras att det i figuren förekommer två nyanser av grå varav den mörkgrå avser okänd grundläggning och ljusgrå övrig grundläggning, det vill säga ej grundvattenberoende grundläggning.



Figur 45 Översikt av Tunnelbana till Arenastadens anläggningsdelar, schakter, influensområde, lerområden och grundläggning samt områden med potentiellt behov av infiltration inom Arenastaden. Det bör observeras att det i figuren förekommer två nyanser av grå varav den mörkgrå avser okänd grundläggning och ljusgrå övrig grundläggning, det vill säga ej grundvattenberoende grundläggning.

6 Referenser

6.1 Framtagna underlagsdokument

- [1] Förundersökningsrapport Hydrogeologi, Dokumentid 3240-M35-24-01009
- [2] Förundersökningsrapport Berg, Dokumentid 3320-B31-24-02001
- [3] Förundersökningsrapport Geoteknik, Dokumentid 3140-M35-22-01007
- [4] Förundersökningsrapport Miljögeoteknik, Dokumentid 3140-M35-24-01010
- [5] Hydrogeologi 3.06, Station Hagstaden, Förutsättningar, Dokumentid 3320-G32-24-02201

6.2 Övriga referenser

Banverket (2007a): Citybanan i Stockholm, Spårtunnel Tomtebodavägen – Riddarholmen, Tillståndsansökan för vattenverksamhet, Bilaga 3 PM Hydrogeologi, Spårtunnel Tomtebodavägen – Riddarholmen, 2007-02-28, Fo7-2141/AL20

Banverket (2007b): Citybanan i Stockholm, Tillståndsansökan för vattenverksamhet, PM Hydrogeologi, Spårtunnel Tomtebodavägen – Riddarholmen, Bilaga 3 – beräkningsbilagor, 2007-02-28, Dok nr P3-0613, Banverket

Berggren M (1998). Hydraulic conductivity in Swedish bedrock estimated by means of geostatistics, A study based on data recorded in the Archive on Wells at the Geological Survey of Sweden, Thesis Report Series 1998:9, Avdelningen för Mark- och vattenresurser, Kungliga Tekniska Högskolan, Stockholm

Golder (2009): Arenastaden, Geohydrologisk utredning, version 001, 2009-01-28, Uppdragsgivare: Råsta Projektutveckling AB, Golder Associates AB

Golder (2005): Citybanan i Stockholm, Grundvatten – Tätningsskikt, Dok nr To-0303-0004-03, Golder Associates AB

Gustavsson G. (2009): Hydrolgeologi för bergbyggare, Förlag Forskningsrådet, Formas 2009-12-01, ISBN 978-91-540-6029-0, Beteckning T2:2009

Iterio (2013): PM Geoteknik (PM Geo), Svefa Fastighetsutveckling AB, Miljöbedömning Tomtebodavägen bussdepå Tomtebodavägen, Solna, 2013-04-11, Iterio AB

Miljöförvaltningen i Stockholm (2013): Grundvatten i Stockholm 2011-2012, Miljöförvaltningen, Stockholm stad, ISBN 978-91-85125-49-4

Naturvårdsverket (2009): Undersökning av föroreningar i berggrund, Rapport 5930, Kunskapsprogrammet Hållbar Sanering, Naturvårdsverket

Ramböll (2009): Nya Karolinska Solna, Stockholms läns landsting, NKS Befintliga förhållanden 5.3.1 Rapport Markundersökningar, 2009-03-31, Ramböll Sverige AB

Rodhe A, Lindström G, Rosberg J, Pers C (2006): Grundvattenbildning i svenska typjordar – översiktlig beräkning med en vattenbalansmodell, Rapport Serie A, Nr 66, Luft- och vattenlära, Institutionen för geovetenskaper, Uppsala universitet

Solna stad (2014): Detaljplan för del av Arenastaden, stadsdelarna Järva och Råsunda, SBN/2011:1425, 2014-05-14, Stadsbyggnadsförvaltningen, Solna Stad

SMHI (2011): Regional klimatsammanställning – Stockholms län, rapport Nr 2010-78, SMHI

SMHI (2015): Hemsida; klimatdata, normalårsavrinning 1961-1990, årsnederbörd medelvärde 1961-1990, årsavdunstning medelvärde 1961-1990, www.smhi.se

SMHI (2016): Hemsida, fakta om Mälaren, karakteristiska vattenstånd i Mälaren efter reglering (1968-2015), www.smhi.se

SGU (1997). Grundvatten i Stockholm, Tillgång, sårbarhet, kvalitet. Utfört på uppdrag av Stockholms miljöförvaltning

SGU (2010): Grundvattennivåer och vattenförsörjning vid ett förändrat klimat, SGU-rapport 2010:12, SGU

Stockholm vatten (2014): Stockholm framtids avloppsrening, teknisk beskrivning, grundläggning av utloppsledningar, Henrikdalsverket, bilaga E, Stockholm 2014-07-01

SWECO (2008): Kärnbörning och vattenförlustmätning, Karolinska grenen, 2008-10-27, SWECO

SWECO (2011): Skanska Sverige AB, NKS Bygghandlingar mark, Grundvattennivåer för beräkningar och åtgärder för att upprätthålla grundvattennivåer, 2011-10-14, Sweco Infrastructure

TMO (2016): Utdrag (oktober 2016) ur trafikverkets mätdatabas för omgivningspåverkan, Trafikverket

Trafikförvaltningen (2015): PM Inläckage Solna C, Underlag till Förvaltning av Utbyggd Tunnelbana, Trafikförvaltningen

Trafikverket (2011a): E4 Förbifart Stockholm, FS1, Konsortiet Förbifart Stockholm, PM Hydrogeologi, Tillståndsansökan Miljöbalken, Systemhandling, 2011-06-01, OGI4H032, Trafikverket

Trafikverket (2011b): E4 Förbifart Stockholm, FS1, Konsortiet Förbifart Stockholm, PM Hydrogeologi, Bilaga 5, Hydrogeologiska beräkningar, Tillståndsansökan Miljöbalken, Systemhandling, 2011-06-01, OGI4H017, Trafikverket

Trafikverket (2014). Mätrapport inläckage i Citybanan, Vasatunneln 1 och 2, 2014-12-15

Vectura (2009): Systemhandling, Karolinska grenen, Utredning – Hydrogeologi, Utredning nr: 302, Vectura

Vägverket och Stockholm stad (2010): E4/E20 Tomtebodavägen södra, NS, Norra Station Gemensamt, PM Hydrogeologi, Vattenverksamhet vid intunneling av E4/E20 och Värtabanan, 2010-04-16, OGI4H110, Vägverket och Exploateringskontoret Stockholm stad

Stockholms läns landsting har ansvar för att genomföra tunnelbanans utbyggnad inom ramen för 2013 års Stockholmsförhandling. Det innebär planering, projektering och byggnation av ny tunnelbana och nya stationer på fyra olika sträckor. För att kunna genomföra projektet behöver också depåkapaciteten ökas och nya tåg köpas in. Byggstarten beräknas kunna ske 2018 och byggtiden beräknas vara sex till åtta år.