

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



## **Nya Östbergatunneln**

UNDERLAG  
GÄLLANDE 2020-03-19

### **Bilaga G6: Hydrogeologiska beräkningar**

Underlag till tillståndsansökan

Stockholm Vatten AB

## Innehållsförteckning

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

## Bilagor

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

## Dokumenthistorik

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

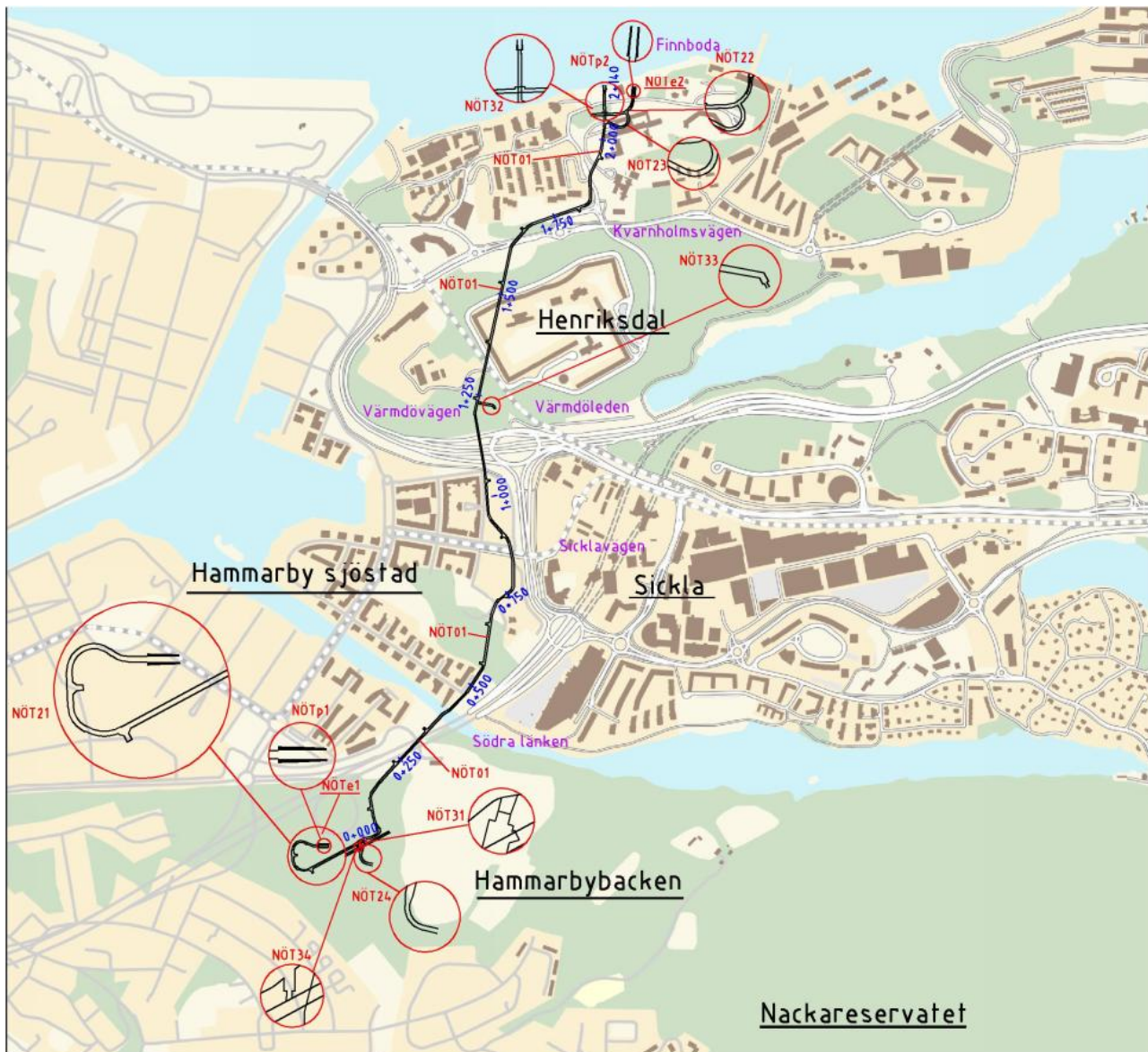
## 1. Inledning

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

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

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

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



## FÖRKLARINGAR

NÖT01 = Gemensamt (Hela Östbergatunneln)

NÖTe1 = Etablering Hammarbyhöjden

NÖTe2 = Etablering Finnboda

NÖTp1 = Påslag Hammarbyhöjden

NÖTp2 = Påslag Finnboda

NÖT21 = Arbetstunnel Hammarbyskogen

NÖT22 = Servicetunnel utlopp

NÖT23 = Arbetstunnel Finnboda

NÖT24 = Förbindelse tunnel  
Sicklaanläggningen

NÖT31 = Anslutning Sicklaanläggningen

NÖT32 = Anslutning Utlopp

NÖT33 = Anslutning Henriksdalsanläggningen

NÖT34 = Anslutning Befintlig Östbergatunnel

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

## 2. Plan- och höjdsystem

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





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

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

## 3.2 Beräkning

### 3.2.1 Allmänt

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

Som det visats i flera studier (exempelvis i projekt Västlänken<sup>1</sup>, Göteborg) så begränsar jordarterna i obetydlig grad nybildningen av grundvatten i urban miljö. Kalt bergs beskaffenhet, sprickfrekvens och lutningsförhållanden kan dock göra det. Ofta medför det att det uppkommer lokal tillfällig ytaavrinning på berget och det avrunna vattnet infiltrerar istället nedanför bergblotningen. Inom aktuellt område är andel kalt berg i dagen sparsamt förekommande. Vanligen är berget till stor del täckt av hårdgjorda ytor som då ofta är mer styrande (tätare) än det underliggande berget.

### 3.2.2 Tillgänglig nettonederbörd

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

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

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

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

---

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

### 3.2.3 Grundvattenbildning

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

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

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

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

Den beräknade sammantagna grundvattenbildningen redovisas i tabell 2 nedan.

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

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

## 4. Bergets genomsläpplighet

### 4.1 Allmänt

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

### 4.2 SGU:s brunnarkiv

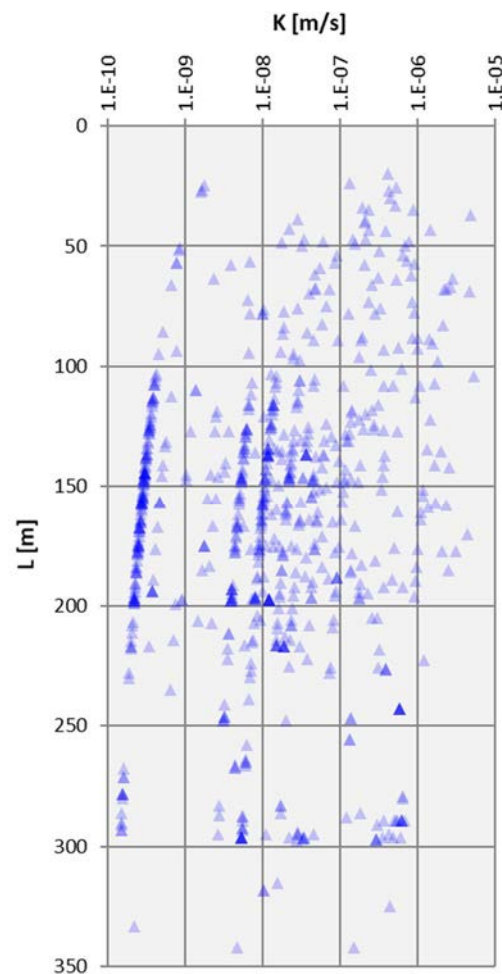
Analys av data från brunnarkivet har genomförts genom studie av brunnar inom ett avstånd om ca 3 km från planerad tunnellinge.

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

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

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

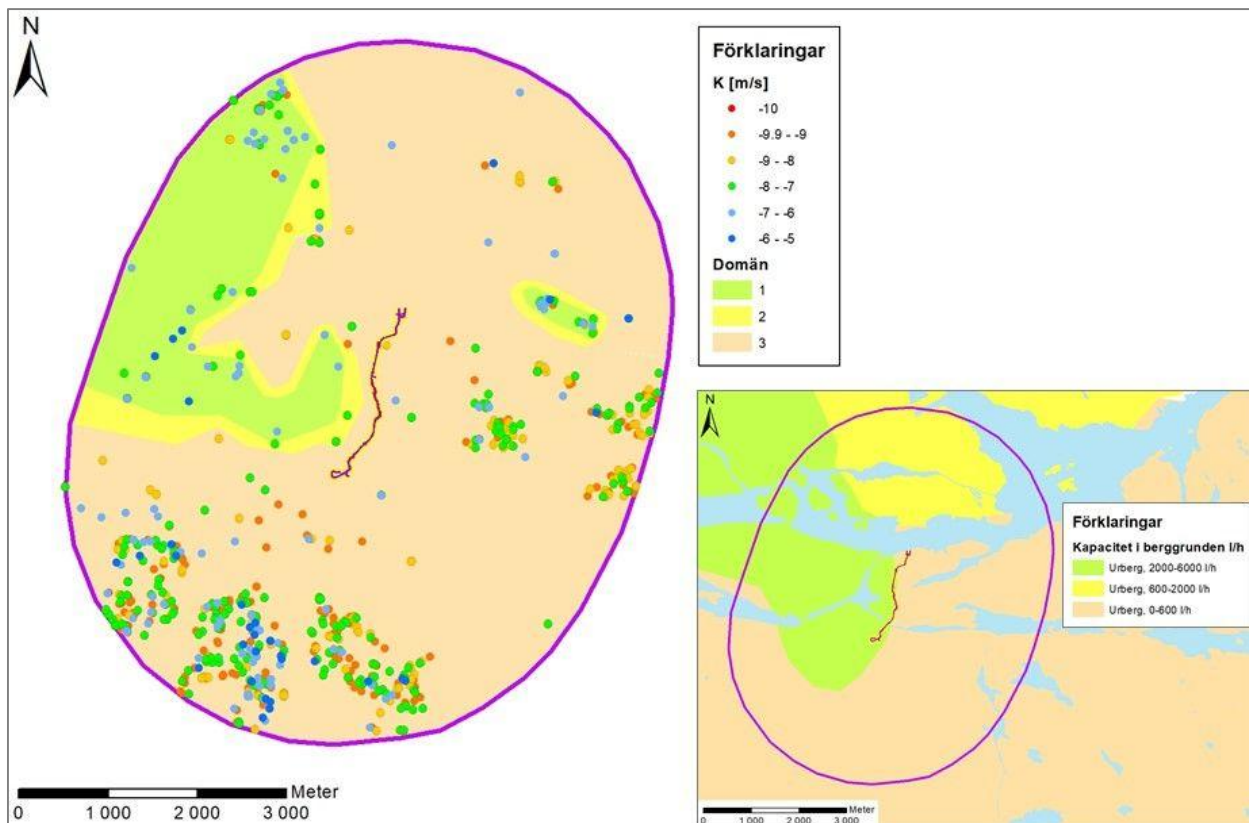
Skäl för indelning i olika populationer är att de vattenförande egenskaperna för det kristallina berget generellt kan antas uppvisa ett tätare berg mot djupet (djupavtagande K). Detta har studerats vid ett antal platser i Sverige (Axelsson & Maersk Hansen, 1997) och är även gällande för aktuellt område,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



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

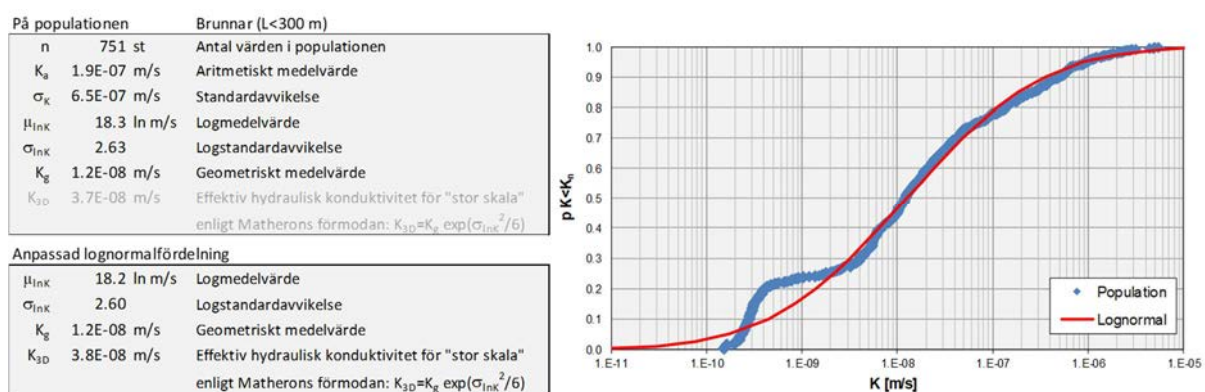
Mönstret i figur 3 avspeglar dock inte det korrekta djupavtagandet, eftersom varje punkt här representerar ett medelvärde av allt berg ovanför punkten. Det har i andra projekt redovisats liknande plottar men mot halva brunnsdjupet som ett "representativt djup" (SKB, 2000). Sådana plottar visar inte heller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





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

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



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

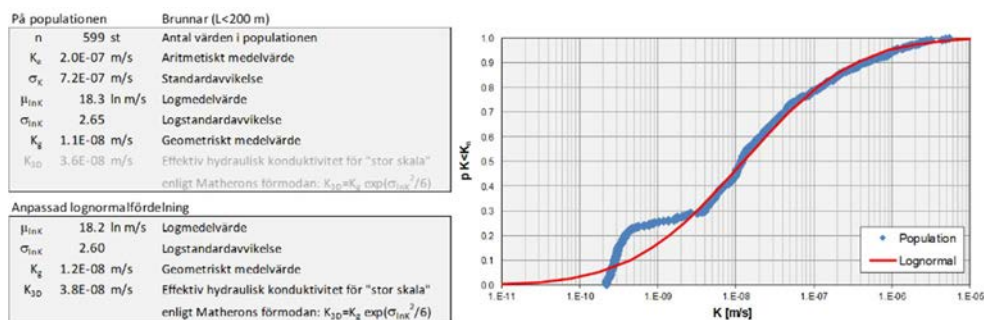
Som tidigare nämnts ger figur 3 inte ger en korrekt bild av djupavtagandet för den hydrauliska konduktiviteten då varje punkt representerar allt berg ovanför det plottade djupet och K-värdet medelkonduktiviteten för detta berg. Därför används här en metod där den sammantagna populationen indelas i olika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

brunnsdjup. Varje delmängd analyseras därefter för att beräkna en storskalig hydraulisk konduktivitet ( $K_{3D}$ ) för respektive studerad population<sup>2</sup>.

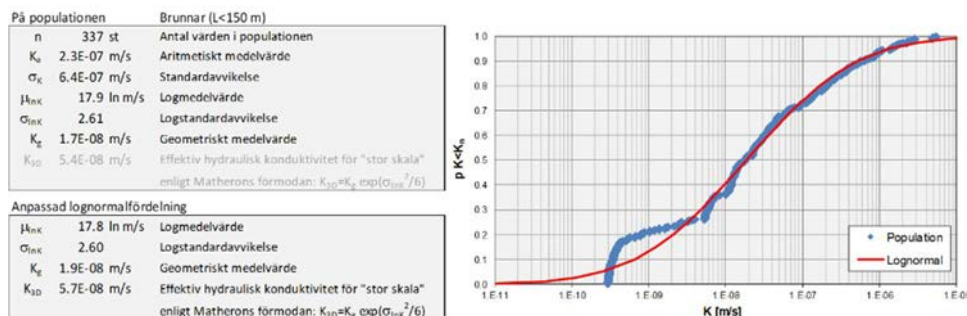
De studerade populationerna har här valts till;

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

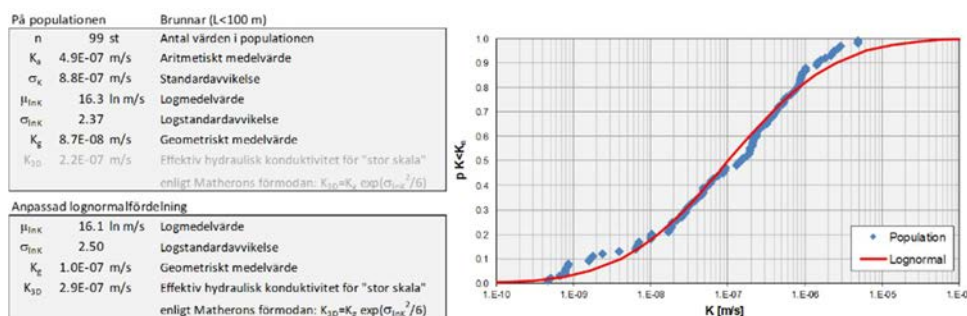
Populationerna är (förväntat) lognormalfördelade (se exempel figur 6 - figur 9). En sammanställning av fördelningarna visar att det finns ett statistiskt säkerställt djupavtagande K (figur 10).



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

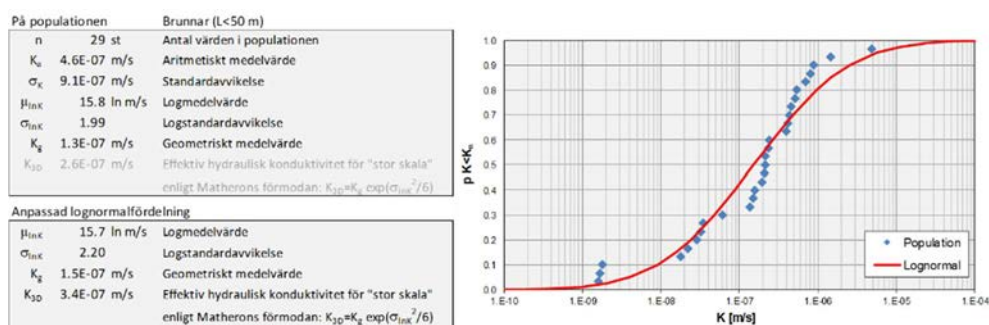


Figur 7. Fördelning av beräknade statistiska parametrar för brunnar med L<150 m.

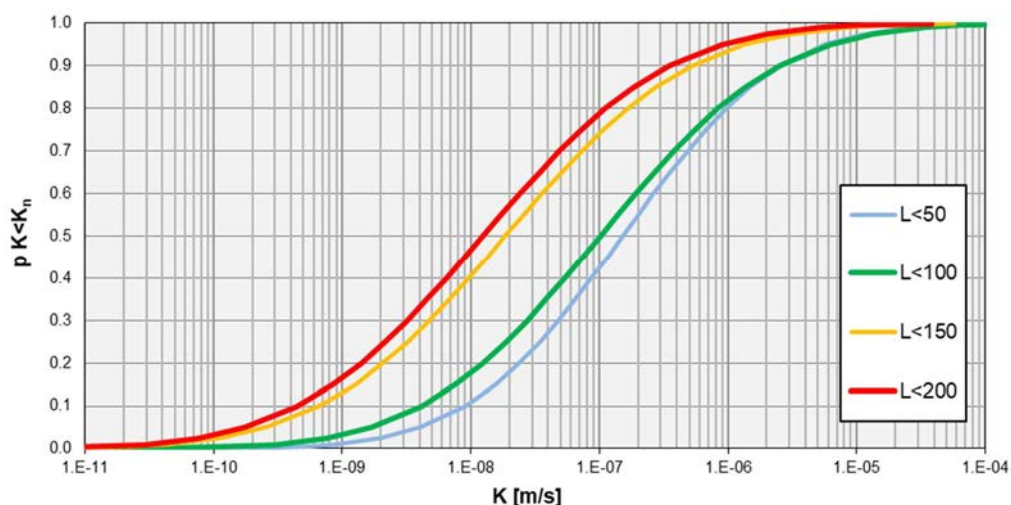


Figur 8. Fördelning av beräknade statistiska parametrar för brunnar med L<100 m.

<sup>2</sup> Gustafson G. 2009. Hydrogeologi för bergbyggare. Forskningsrådet Formas T2:2009.



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



Figur 10. Sammanställning av anpassade lognormalfördelningar för studerade populationer.

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

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

där

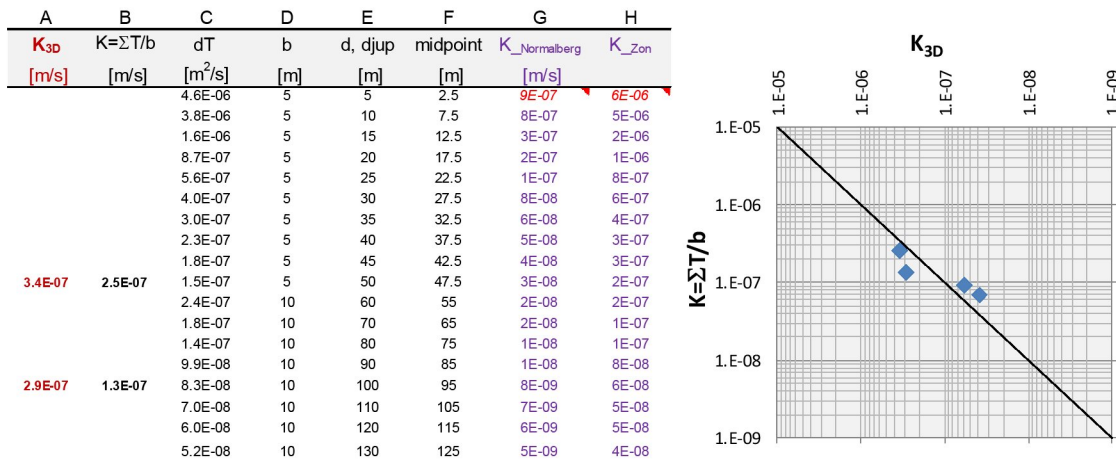
C = konstant

d = djup i berg

L = trend för djupavtagande

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





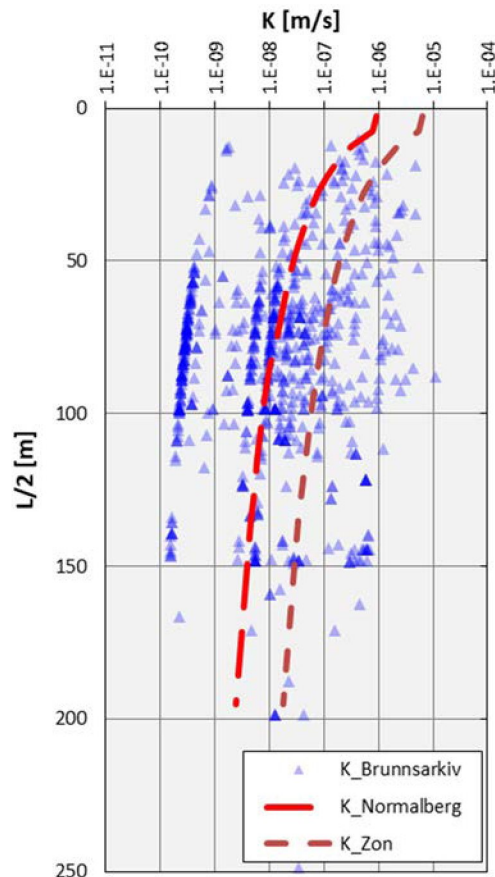
Figur 11. Princip för beräkning av konstanterna C och L mot passningsparametrar  $K_{3D}$  (tabellutsnitt).

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

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

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

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



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

### 4.3 Vattenförlustmätningar

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

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

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

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

### 4.4 Inläckage till befintliga tunnlar

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

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

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

## 5. Grundvattenbortledning

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

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

där

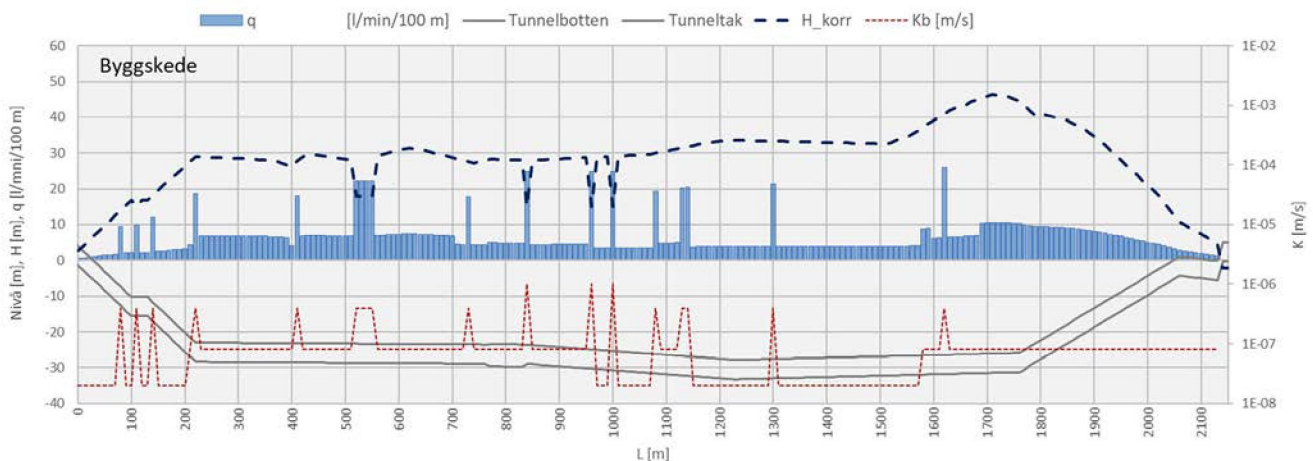
$q$	Inläckage till tunnel per längdmeter
$r$	Ekvivalent tunnelradie
$H$	Grundvattentryck vid tunnelcentrum
$K_b$	Bergets hydrauliska konduktivitet
$K_i$	Injekteringszonens hydrauliska konduktivitet
$t$	Injekteringszonens mäktighet
$\xi$	Skinfaktor

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



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

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

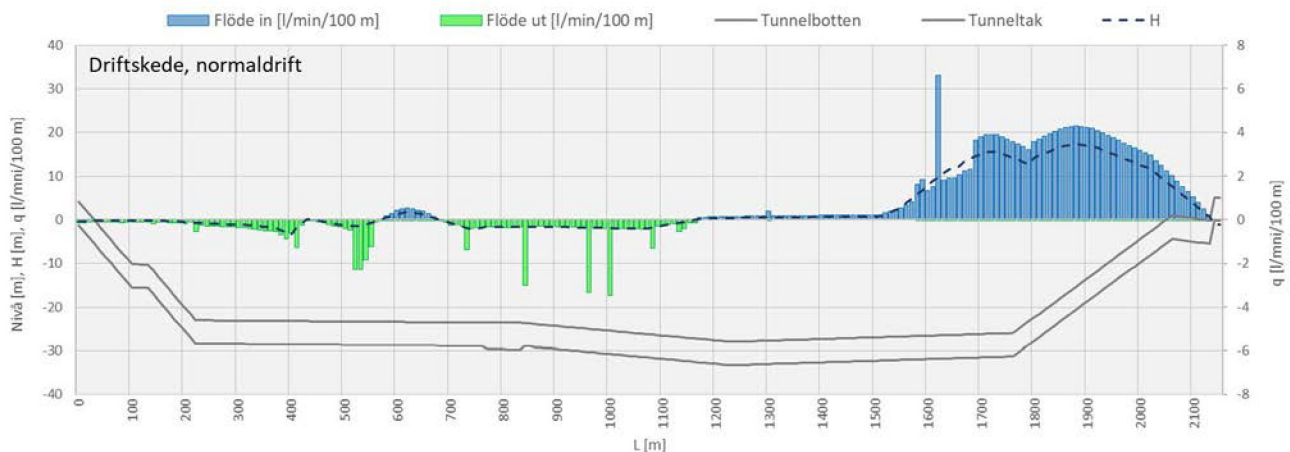


Figur 13. Beräknat inläckage till huvudtunnel för byggskedet, se även bilaga G62.

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

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

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



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

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

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

## 6. Påverkansområde

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

Som gräns för praktisk påverkan antas en grundvattensänkning om 0,3 m (R<sub>03</sub>).

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

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

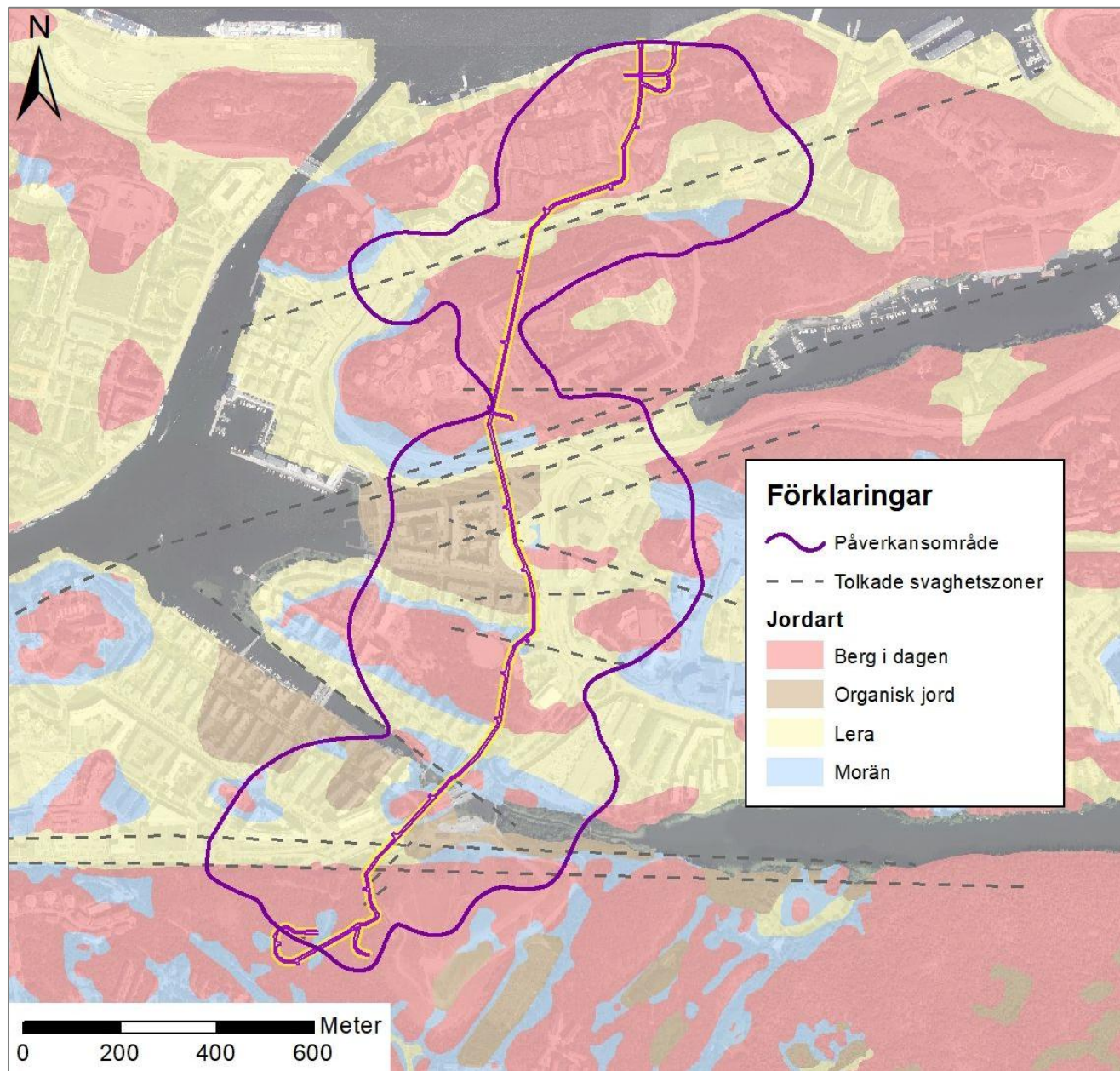
Påverkansområde för grundvatten ska tolkas som att det inom detta område förutses finnas risk för förändring av grundvattenförhållanden i sådan utsträckning att det kan påverka brunnar, sättningskänslig mark och grundvattenberoende ekosystem.

Beräknad utbredning för påverkansområde för grundvatten framgår av figur 15.

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



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

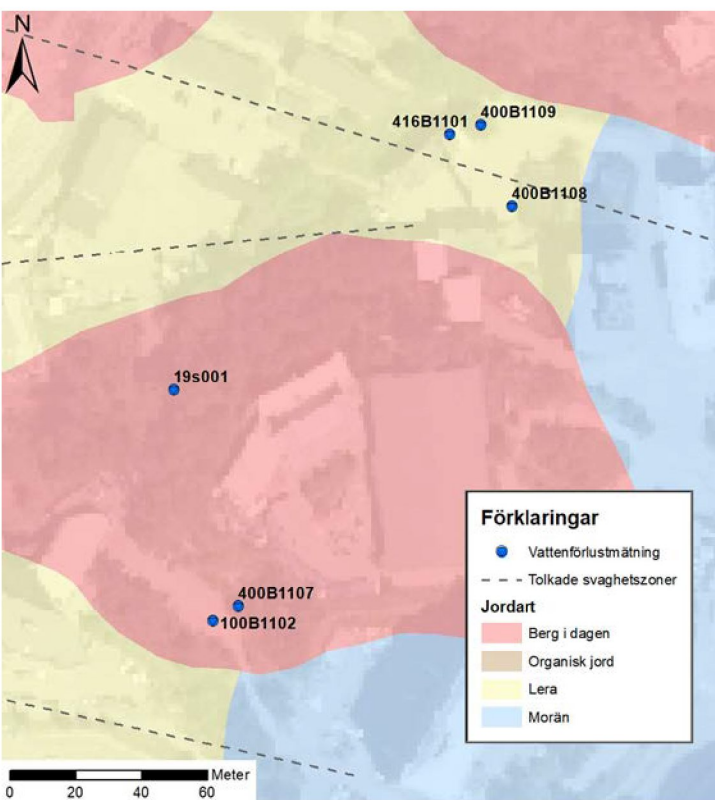
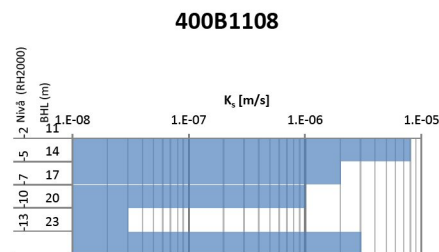
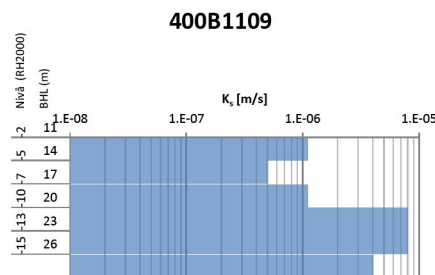
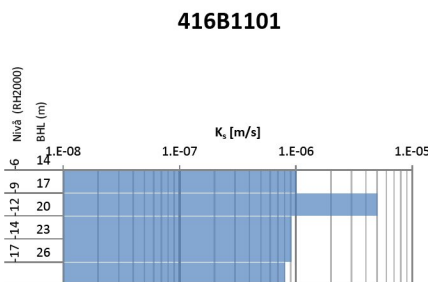
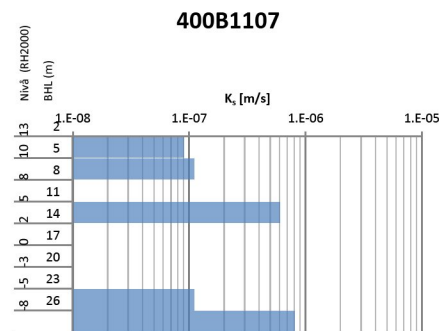
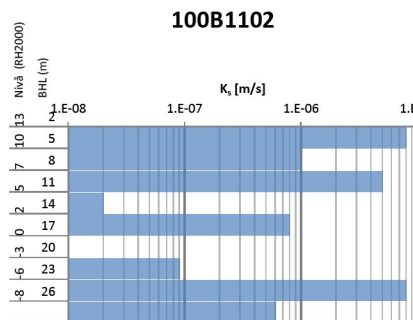
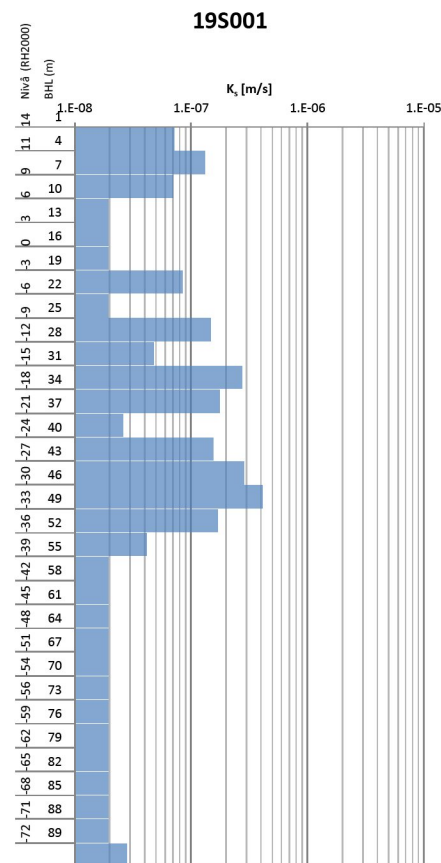


Figur 15. Påverkansområde för grundvatten ( $s > 0,3$  m avsänkning).

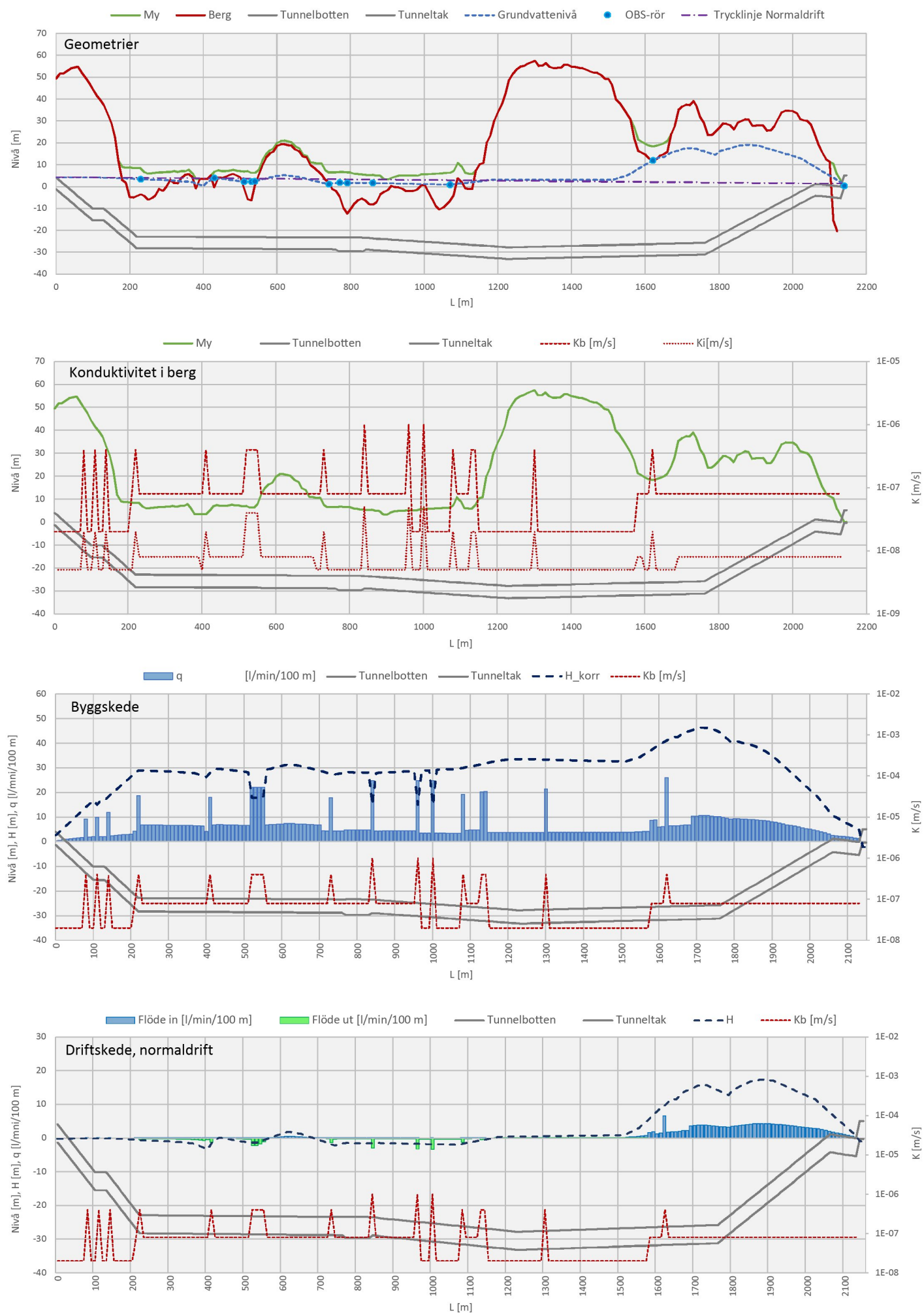
## 7. Referenser

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

Arkivborrning; vattenförlustmätningar i kärnborrhål







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



## Nya Östbergatunneln

UNDERLAG  
GÄLLANDE 2020-03-19

### Bilaga G63: Modellbeskrivning

Underlag till tillståndsansökan

Stockholm Vatten AB

## Innehållsförteckning

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

## Dokumenthistorik

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



## 1. Mjukvara

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

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

Mer information kan fås från exempelvis Waterloo Hydrogeologic på Internetadress

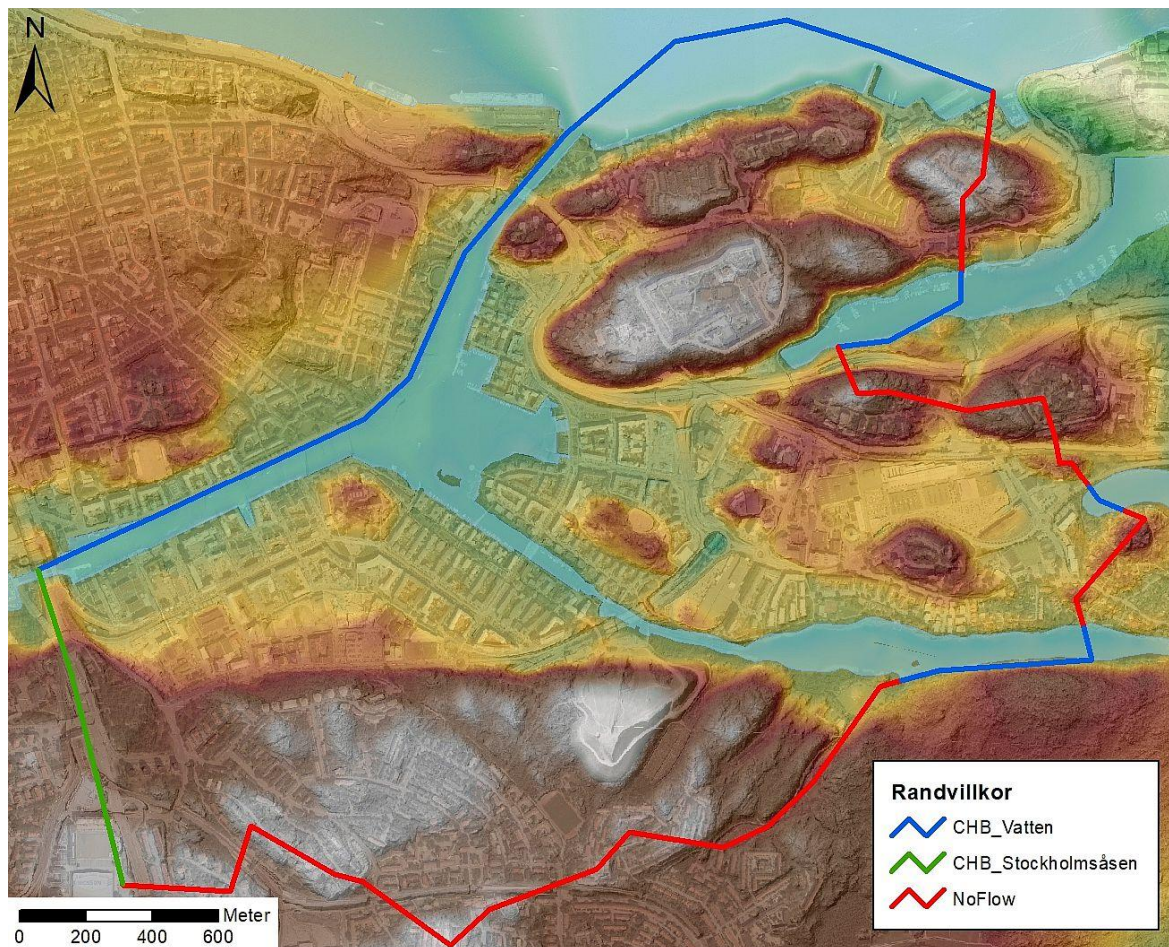
<https://www.waterloohydrogeologic.com>

## 2. Avgränsning och geometri

### 2.1 Modellområde

För modellavgränsning har en avgränsning gjorts av det hydrauliska system som bedöms kunna påverkas av planerad vattenverksamhet (figur 1). Modellområdet omfattar en areal om ca 5 km<sup>2</sup>. Området har indelats i ett rutnät (grid) med en cellstorlek i plan om 20 x 20 m, lokalt med en högre diskretisering. Djupet i modellen representerar 250 m berg och därövan jordlager.

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



Figur 1. Modellområde med randvillkor.

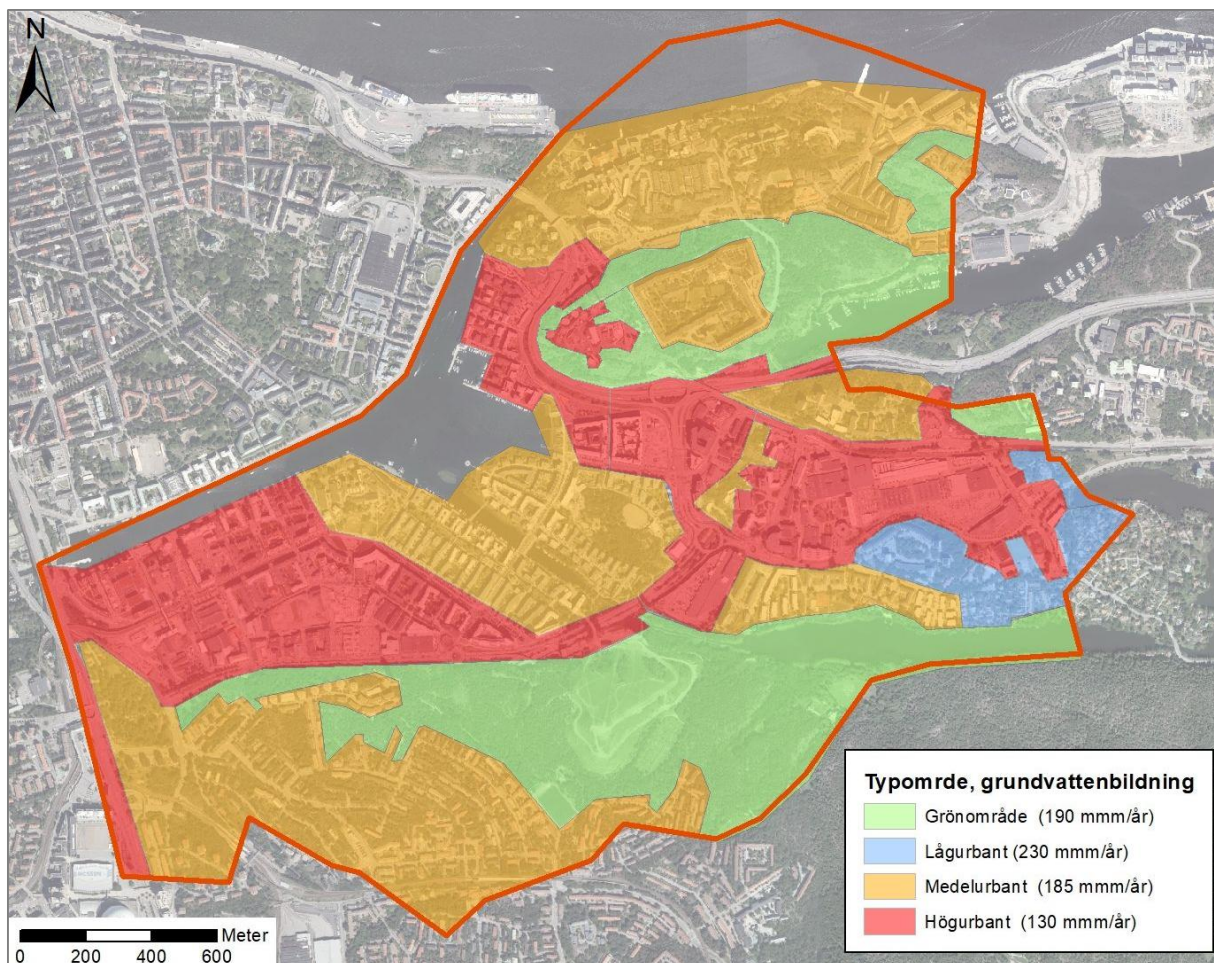


## 2.2 Randvillkor

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

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

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



Figur 2. Ansatt grundvattenbildning som övre randvillkor i modellen.



### 3. Hydrauliska parametrar

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

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

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

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

Randzon

Berg

Djupavtagande K enligt formel  $K = Cd^L$

1E-06 5E-07

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

### 4. Kalibrering

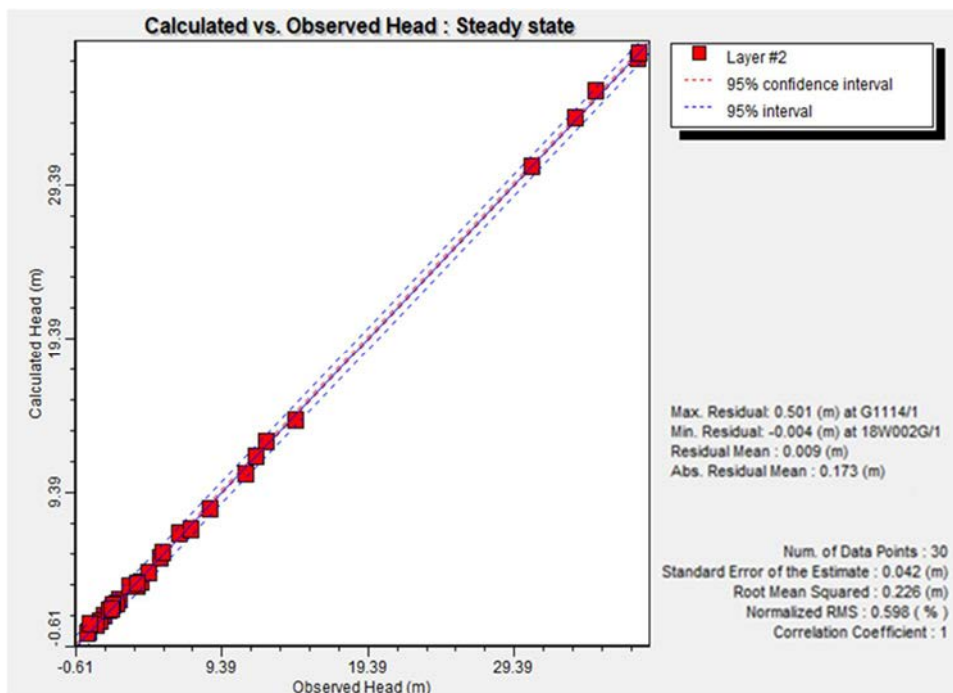
Modellen har kalibrerats mot uppmätta grundvattennivåer i undre magasin samt inläckage till trafiktunneldelar med känt inläckage (delar av Södra länken).

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

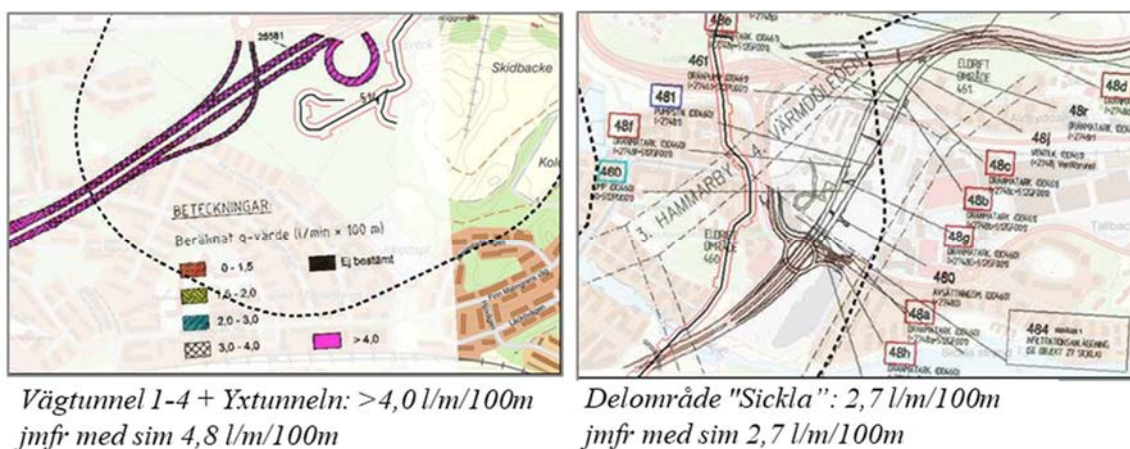
Övriga befintliga tunnlar med okänt inläckage har givits en otäthet som medför ett simulerat inläckage som, mot bakgrund av andra liknande tunnlar i området och det vattentryck som kan antas verka på tunnelarna ifråga, bedömts vara rimligt till sin storlek.

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

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

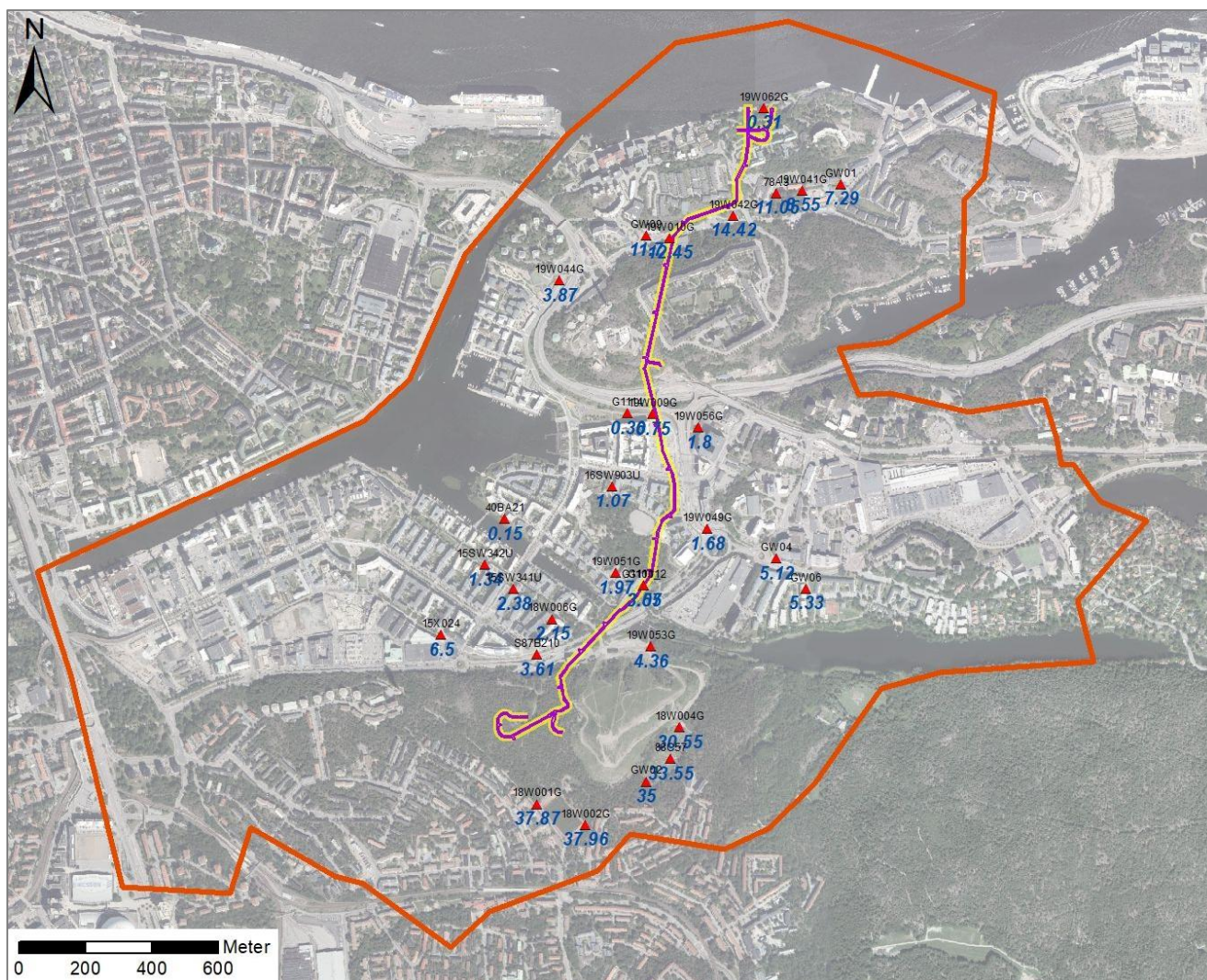


Figur 4. Resultat av kalibrering mot grundvattentrycknivåer i undre magasin.



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





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

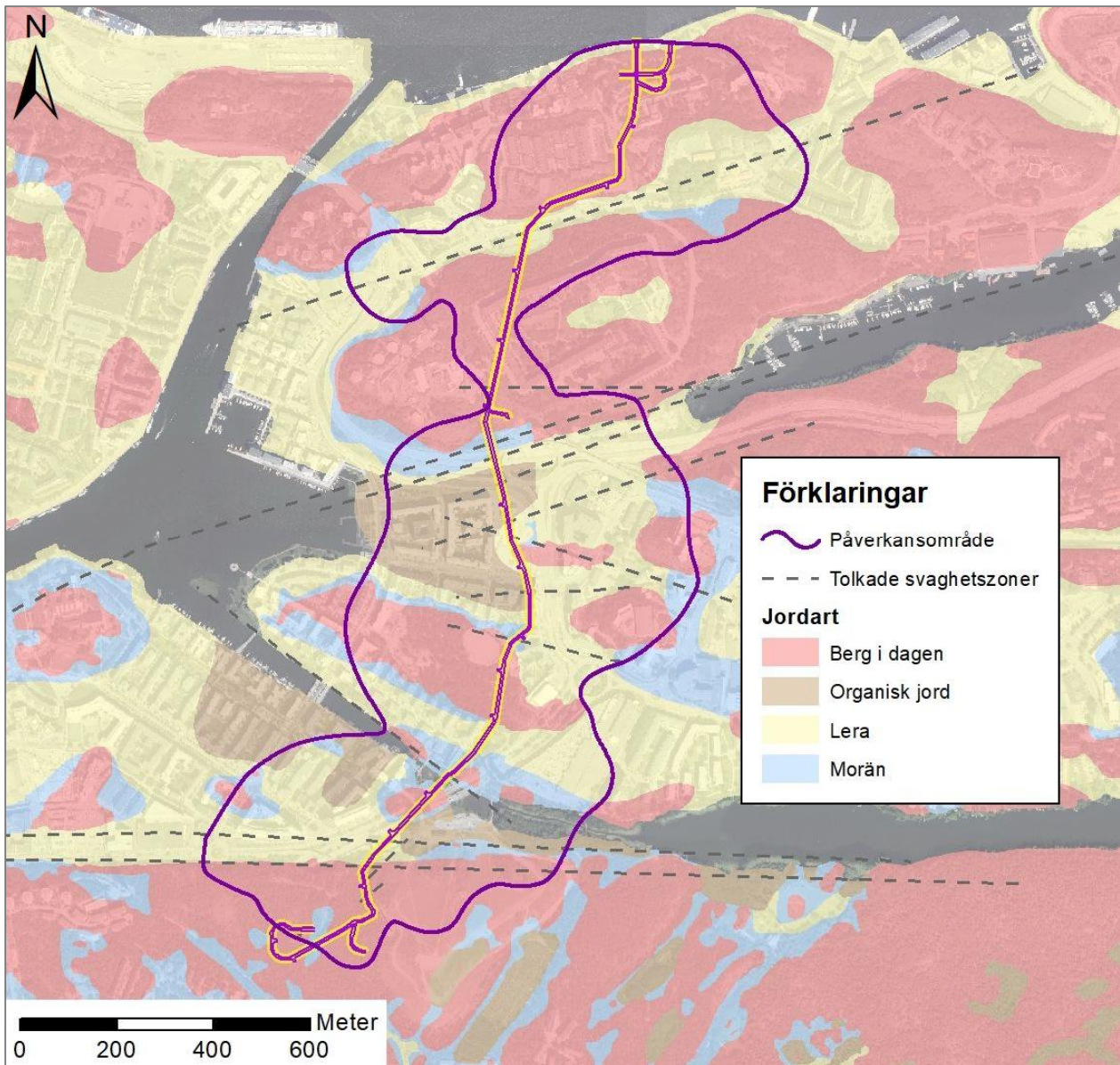
## 5. Prediktiv simulering

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

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

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





Figur 7. Predikterat påverkansområde för grundvatten vid sökt grundvattenbortledning.