

# V259 Tvärförbindelse Södertörn

TSK01

Tillståndsansökan Vattenverksamhet

PM Yt- och grundvatten

Bilaga D1.3

Hydrogeologiska beräkningar

Väg 259

2022-07-08

0G141016.doc

| Rev | Ant | Ändring avser | Godkänd | Datum |
|-----|-----|---------------|---------|-------|
|     |     |               |         |       |

|                     |            |           |            |
|---------------------|------------|-----------|------------|
| Granskare           | Godkänd av | Ort       | Datum      |
| Elisabet Hammarlund | Eva Öberg  | Stockholm | 2022-07-08 |

|                        |                                    |
|------------------------|------------------------------------|
| Objektnamn             | V259 Tvärförbindelse Södertörn     |
| Entreprenadnummer      | TSK01                              |
| Entreprenadnamn        | Tillståndsansökan Vattenverksamhet |
| Beskrivning 1          | PM Yt- och grundvatten             |
| Beskrivning 2          | Bilaga D1.3                        |
| Beskrivning 3          | Hydrogeologiska beräkningar        |
| Beskrivning 4          | Väg 259                            |
| Granskningsstatus      |                                    |
| Diarienummer           | TRV 2021/54284                     |
| Konstruktionsnummer    |                                    |
| Objektnummer           | 145326                             |
| Plantyp                |                                    |
| Handlingstyp           |                                    |
| Företag                | Tyréns AB                          |
| Författare/Konstruktör | Lars Marklund                      |
| Externnummer           | 260805                             |



## Innehåll

|       |                                                   |    |
|-------|---------------------------------------------------|----|
| 1     | Inledning .....                                   | 4  |
| 1.1   | Syfte .....                                       | 4  |
| 1.2   | Omfattning och avgränsning .....                  | 4  |
| 1.3   | Förutsättningar och krav .....                    | 4  |
| 2     | Underlag .....                                    | 4  |
| 2.1   | Jordens genomsläpplighet .....                    | 4  |
| 2.1.1 | Pulstester .....                                  | 4  |
| 2.1.2 | Provpumpning .....                                | 5  |
| 2.2   | Bergets genomsläpplighet .....                    | 5  |
| 2.2.1 | Vattenförlustmätningar i kärnborrhål .....        | 5  |
| 2.2.2 | Beräkningar med brunndata .....                   | 6  |
| 2.2.3 | Bergdomäner .....                                 | 7  |
| 2.3   | Annat geologiskt underlag .....                   | 8  |
| 3     | Konceptuell modell .....                          | 9  |
| 3.1   | Grundvatten .....                                 | 9  |
| 3.2   | Jordlagerföljd .....                              | 9  |
| 3.3   | Grundvattenbildning .....                         | 9  |
| 3.4   | Ytvatten .....                                    | 10 |
| 3.5   | Dränerande anläggningar .....                     | 10 |
| 4     | Numerisk grundvattenmodellering .....             | 11 |
| 4.1   | Generell metodik .....                            | 11 |
| 4.1.1 | Jordlagerföljder och hydrauliska egenskaper ..... | 11 |
| 4.1.2 | Avgränsning av påverkansområde .....              | 12 |
| 4.2   | Numerisk modellering Masmotunneln .....           | 12 |
| 4.2.1 | Områdesbeskrivning .....                          | 12 |
| 4.2.2 | Metodik .....                                     | 14 |
| 4.2.3 | Resultat .....                                    | 21 |
| 4.2.4 | Diskussion .....                                  | 25 |
| 4.3   | Numerisk modellering Glömstatunneln .....         | 26 |
| 4.3.1 | Områdesbeskrivning .....                          | 26 |
| 4.3.2 | Metodik .....                                     | 28 |
| 4.3.3 | Resultat .....                                    | 35 |
| 4.3.4 | Diskussion .....                                  | 38 |
| 4.4   | Numerisk modellering Solgårdstunneln .....        | 39 |
| 4.4.1 | Områdesbeskrivning .....                          | 39 |
| 4.4.2 | Metodik .....                                     | 40 |
| 4.4.3 | Känslighetsanalys .....                           | 46 |
| 4.4.4 | Resultat .....                                    | 47 |
| 4.4.5 | Diskussion .....                                  | 52 |
| 4.5   | Numerisk modellering Flemingsbergstunneln .....   | 53 |

|       |                                                                             |    |
|-------|-----------------------------------------------------------------------------|----|
| 4.5.1 | Områdesbeskrivning .....                                                    | 53 |
| 4.5.2 | Metodik .....                                                               | 55 |
| 4.5.3 | Resultat .....                                                              | 61 |
| 4.5.4 | Diskussion.....                                                             | 64 |
| 5     | Analytiska grundvattenberäkningar .....                                     | 67 |
| 5.1   | Syfte .....                                                                 | 67 |
| 5.2   | Principiella förutsättningar för beräkningar.....                           | 67 |
| 5.3   | Beräkningsmetodik .....                                                     | 68 |
| 5.3.1 | Beräkningsmodell för öppna magasin.....                                     | 68 |
| 5.3.2 | Beräkningsmodell för slutna magasin.....                                    | 69 |
| 5.3.3 | Inläckage till punktschakt i byggskede och planskilda passager i driftskede | 70 |
| 5.3.4 | Ansatta parametrar samt antaganden.....                                     | 70 |
| 5.3.5 | Känslighetsanalys .....                                                     | 71 |
| 5.4   | Resultat .....                                                              | 71 |
| 5.5   | Diskussion.....                                                             | 75 |
| 6     | Vattenbalansberäkningar .....                                               | 77 |
| 6.1   | Metodik/antaganden.....                                                     | 77 |
| 6.2   | Underlag.....                                                               | 78 |
| 6.3   | Vattenbalansområden och beräknad grundvattenbildning .....                  | 79 |
| 6.3.1 | Masmotunneln.....                                                           | 80 |
| 6.3.2 | Glömstatunneln .....                                                        | 81 |
| 6.3.3 | Solgårdstunneln.....                                                        | 83 |
| 6.3.4 | Flemingsbergstunneln.....                                                   | 85 |
| 6.4   | Vattenbalanser tunnlar .....                                                | 88 |
| 6.5   | Vattenbalans Vårby källa .....                                              | 89 |
| 7     | Referenser .....                                                            | 92 |
|       | BILAGA 1 .....                                                              | 93 |

## **1 Inledning**

Denna PM är en bilaga till PM Yt- och grundvatten vilket är en del av tillståndsansökan för vattenverksamhet.

### **1.1 Syfte**

Syftet med detta dokument är att beskriva metodik och resultat för de beräkningar som används i PM Yt- och grundvatten. I denna PM redovisas även de underlag som beräkningarna baseras på. Beräkningar har gjorts för att undersöka hur grundvattennivåer i jord och berg påverkas av vattenverksamheten som beskrivs i PM Yt- och grundvatten.

En styrande princip vid beräkningarna är att resultaten skall vara konservativa, vilket syftar till att minska risken för att underskatta påverkan på grundvattennivåer. Förutom att beräkna påverkan från vattenverksamheten försöker vi här även kvantifiera osäkerheter i utförda beräkningar och upprättade prediktioner. Samtliga beräkningar bildar underlag till slutlig bedömning av resulterande omgivningspåverkan. I bedömningen vägs in såväl beräkningsresultat som platsspecifika hydrogeologiska och hydrologiska förhållanden samt erfarenhet från liknande projekt. Beräkningarna utgör således endast ett av flera bidrag till den slutliga bedömningen. Syfte för respektive beräkningsmetod beskrivs i kapitel 4 till 6.

### **1.2 Omfattning och avgränsning**

Denna PM har samma geografiska avgränsning som PM Yt- och grundvatten. Numeriska modeller för grundvatten har upprättats i områdena runt projektets fyra tunnlar; Masmotunneln, Glömstatunneln, Solgårdstunneln och Flemmingsbergstunneln. I områden där mindre omfattande grundvattenbortledning planeras har analytiska grundvattenberäkningar gjorts.

I rapporten anges samtliga höjder i höjdsystemet RH 2000 och plankoordinater i SWEREF 99 18:00.

### **1.3 Förutsättningar och krav**

I Trafikverkets handledning TDOK 2013:0317 redovisas en vägledning för grundvattenmodellering. Arbetet i denna PM har följt den beskrivna arbetsgången där.

## **2 Underlag**

### **2.1 Jordens genomsläpplighet**

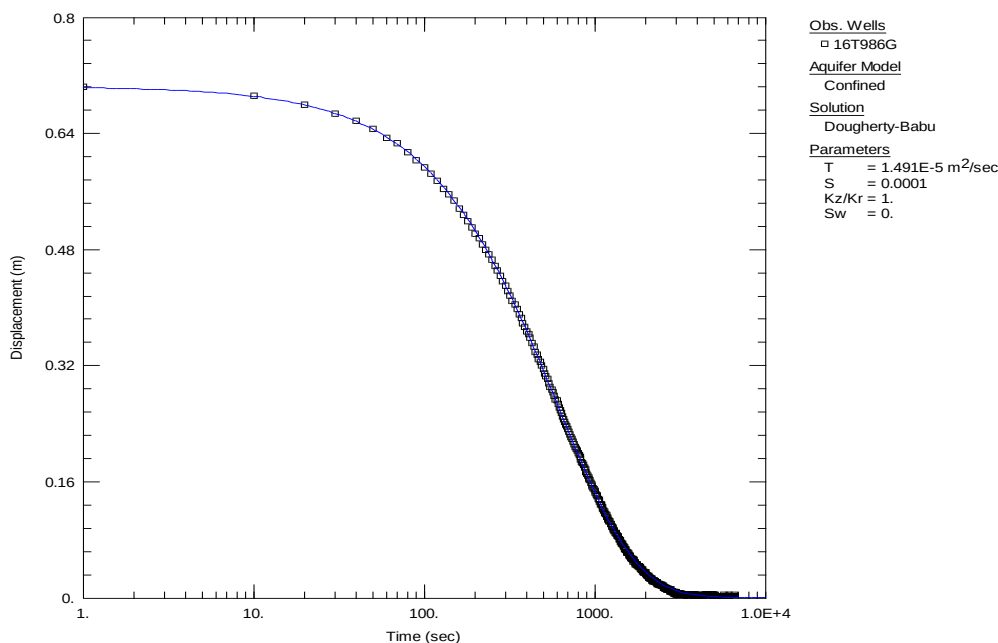
#### **2.1.1 Pulstester**

Pulstester har genomförts med automatisk tryckgivare, en så kallad diver. De grundvattenrör som har utrustats med diver och där pulstest har genomförts redovisas i PM Yt- och grundvatten. Pulstestet inleddes med att grundvattennivån mättes och noterades som nollnivå. Rören fylldes med motsvarande 1,5 m vattenpelare, alternativt till röröverkanten, varefter grundvattennivån mättes som tryckförändring i takt med att vattnet sjönk undan. Samtliga mätningar har kompenserats för förändringar i lufttrycket där det har ansetts varit relevant. Pulstester har utvärderats och den hydrauliska konduktiviteten har beräknats med programvaran AQTESOLV. Programvaran



AQTESOLV är utvecklad för att beräkna och utvärdera data från pumptester, pulstester och "constant-head"-tester.

För slutna magasin har modelllösningen "Dougherty-Babu" använts i utvärderingen och för öppna magasin har modelllösningen "KGS model" använts. Dessa lösningar har valts då båda tar hänsyn till "skin-factor", vilken är en parameter som behandlar den avvikande hydrauliska konduktiviteten närmast röret där finmaterial kan ansamlas i samband med borrhningen av röret. Bedömning av magasinstyp har gjorts utifrån erhållna sonderingsdata som genomförts vid installation av grundvattenrören. I utvärderingen har passning av modellösning mot mätvärden gjorts genom automatisk passning där parametrarna T (transmissivitet), S (magasinskoefficient) och Sw ("skin-factor") fått variera fritt. Magasinskoefficienten, S, har ansatts till  $S=10^{-4}$  initialt som är ett medelvärde för de flesta jordar. Har S stuckit iväg har denna låsts till det initiala värdet och den automatiska passningen körts om. Som ett exempel på utvärderingen redovisas utvärderingen för rör 16T986G i Figur 2-1.



Figur 2-1. Exempel på resultat från pulstest i observationsrör 16T988G

### 2.1.2 Provpumpning

En provpumpning har genomförts vid den planerade trafikplats Solgård. Denna provpumpning beskrivs i Rapport Provpumpning Solgård (Trafikverket 2019b). Resultaten från provpumpningen gav värden på hydraulisk konduktivitet som i denna PM har använts både i numeriska beräkningar (kapitel 4) och analytiska beräkningar (kapitel 5).

## 2.2 Bergets genomsläpplighet

### 2.2.1 Vattenförlustmätningar i kärnborrhål

Vattenförlustmätning har genomförts i samtliga kärnborrhål men med två olika metoder. Läget av kärnborrhålen framgår av Bilaga D1.1.

Vattenförlustmätningar av borrhål har dels utförts av EC Svenska i samband med kärnborrning. Detta gäller för följande 17 kärnborrhål: 16T705, 16T707, 16T715, 16T724, 17T700, 17T706, 17T711, 17T712, 17T727, 18T701, 18T702, 18T703, 18T705, 18T706, 18T707, 18T711, 18T714. Vattenförlustmätning har i regel utförts i 3-meterssektioner för samtliga kärnborrhål. Mätning görs i borrhål med dubbelmanschett, och pågår tills varaktighetstillstånd har uppnåtts, vilket innebär att vattenflödet inte minskar med mer än 0,1 l/min vid konstant tryck. Dessa vattenförlustmätningar utförs med ett vattenövertryck på 200 kPa. En mätnoggrannhet på 0,1 l/min eftersträvas vilket motsvarar en minsta mätbar konduktivitet på  $2,2 \times 10^{-8}$  och kravet på 0,5 l/min ska uppfyllas enligt branschpraxis. Vattenförlustmätning har endast utförts vid mättade förhållanden, dvs. under grundvattenytan. Utöver vattenförlustmätningen som utförts av EC Svenska har Tyréns utfört ytterligare en vattenförlustmätning i följande sex kärnborrhål: 16T700, 16T716, 17T724, 18T705, 17T730 och 18T704. Detta gjordes för att med en högre mätnoggrannhet ge en förståelse för de tätare delarna av bergmassan. Med denna metod är den undre mätgräns som kan detekteras är 0,01 l/min med en noggrannhet på 0,005 l/min. Det övre flödet är 30 l/min med en noggrannhet på 0,5 l/min. Genomförandet och utvärderingen av dessa vattenförlustmätningarna beskrivs i PM Vattenförlustmätningar (Trafikverket, 2019c). Resultaten från vattenförlustmätningarna gav värden på hydraulisk konduktivitet som sedan användes för att beskriva de hydrauliska domäner som i denna PM används i de numeriska beräkningsmodellerna för Masmotunneln (kapitel 4.2), Glömstatunneln (kap 4.3) och Flemmingsbergstunneln (kapitel 4.5).

Data från vattenförlustmätningar i kärnborrhål har använts vid beräkning av hydraulisk konduktivitet efter en utveckling av Moye:s formel (Gustafson 2009):

$$K = \frac{Q}{2\pi \times L \times \Delta P} \times \left[ 1 + \ln \frac{L}{d_w} \right]$$

Där  $K$  = Hydraulisk konduktivitet (m/s)

$Q$  = Uppmätt flöde (m<sup>3</sup>/s)

$L$  = Mätsektionens längd (m)

$\Delta P$  = pålagt övertryck, mvp (m)

$d_w$  = borrhålsdiameter (m)

### 2.2.2 Beräkningar med brunnsdata

Information om befintliga bergborrade brunnar har hämtats från SGU:s brunnsarkiv. De brunnar som har uppgifter om kapacitet och borrhåldjup har valts ut och därefter har bergmassans transmissivitet beräknats baserat på resultat från funktionstest av brunnar med hjälp av nedanstående ekvation (Gustafson 1986):

$$T = 1,2 \times \frac{Q}{S_w}$$

Där  $T$  = Transmissivitet ( $m^2/s$ )

$Q$  = Uppmätt flöde ( $m^3/s$ )

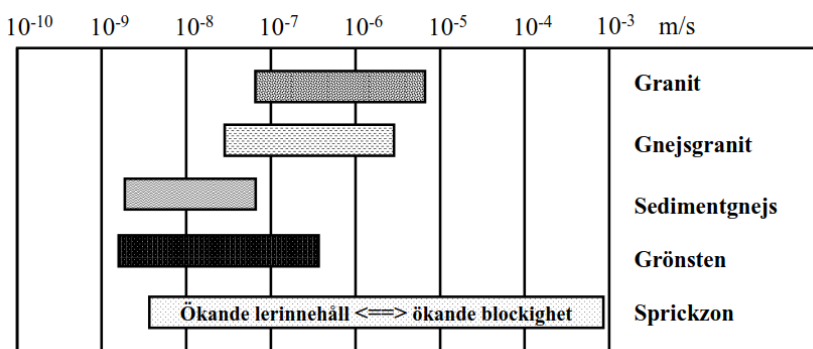
$Sw$  = Grundvattnets återhämtning (m) (totaldjup – grundvattennivå)

Bergmassans hydrauliska konduktivitet erhålls genom att dividera transmissiviteten med grundvattnets återhämtningslängd,  $Sw$ . Där brunnar med en beräknad konduktivitet enligt ovan beskrivna metod har funnits i närheten av planerad tunnel har dessa värden delvis fått ligga till grund för tolkad konduktivitet, men de flesta brunnar med beräknad konduktivitet ligger långt ifrån tunnarna och har därmed endast använts som vägledande data vid tolkning av konduktivitet för omgivande bergart.

### 2.2.3 Bergdomäner

Resultater från hydraulisk konduktivitet från vattenförlustmätningar (kapitel 2.2.1) och från brunnar data användes sedan för att beskriva de hydrauliska domäner som i denna PM används i de numeriska beräkningsmodellerna för Masmotunneln (kapitel 4.2), Glömstatunneln (kapitel 4.3) och Flemmingsbergstunneln (kapitel 4.5). En domän definieras som en mot omgivningen avvikande enhet med endera homogena egenskaper eller med en viss sammansättning av egenskaper. Domäntypen illustrerar bergmassans hydrogeologiska egenskaper uttryckt i hydraulisk konduktivitet ( $m/s$ ) som beskriver bergakvifers vattenförande förmåga. Vid upprättandet av de hydrauliska bergdomänerna har bergmassan karaktäriserats, inte bara baserat på uppmätt hydraulisk konduktivitet, utan även baserat på korrelation till svaghetszoner, bergkvalitet och bergart.

Studier visar att konduktiviteten varierar för olika bergarter, men det finns också en variation inom bergartstyper som kan vara större än variationen mellan enskilda bergarter varför korrelationen bergart-konduktivitet inte är självklar.



Figur 2-2. Uppskattad hydraulisk konduktivitet för några vanliga bergarter i Sverige. Data i bilden är baserad på sammanställning från Carlsson och Olsson, 1979, Hydraulic conductivity and its stress dependence, samt SGUs hydrogeologiska länkartor.

Utifrån figuren ovan har konduktiviteten i bergmassan uppskattats till ett något högre värde i områden där gnejsgranit och granit förekommer i jämförelse med områden som domineras av sedimentgnejs.

Bergmassans kvalitet har en stor påverkan på de hydrauliska egenskaperna, större än själva bergarten. En uppsprucken bergmassa som innehåller sprickor med stor apertur uppvisar generellt sett höga konduktivitetsvärden i jämförelse med en sprickfattig bergmassa som innehåller sprickor med liten apertur. Bergmassan längs med projektsträckan har översiktligt delats upp efter "normalberg" och "zonberg". Normalberget omfattar ofta större sammanhängande hållområden medan zonberget består av identifierade och tolkade svaghetszoner.

Ovan beskrivna indata har vid upprättande av domänerna värderats och prioriterats olika. Data från utförda vattenförlustmätningar utgör ett punktdataset som anses vara den mest exakta och tillförlitliga datatypen och har därför ofta fått bestämma konduktiviteten för den närliggande bergmassan. Data från vattenförlustmätningar är dock mycket få varför data från övriga underlag har använts för tolkning av konduktivitet i bergmassan där emellan. Data från brunnar är också ett punktdataset men anses vara en mindre pålitlig datatyp och är därför underordnad vattenförlustmätningarna. För bergart och bergkvalitet finns heltäckande underlag och vid områden där data från vattenförlustmätningar och brunnar saknas har tolkningen företrädesvis baserats på en kombinerad bedömning utifrån dessa heltäckande underlag.

### **Annat geologiskt underlag**

Förekommande jordar och mäktigheter har i första hand avgränsats utifrån utförda geotekniska undersökningar. I projekt Tvärförbindelse Södertörn har en tredimensionell bergmodell byggts upp baserat på sonderingar och karteringar av berg i dagen samt berg nära dagen. En beskrivning av bergmodellen finns i Redogörelse för ämnesområdesmodell (RFÄ) Befintligt berg (Trafikverket 2019f). Då denna information framförallt varit koncentrerad till den planerade vägsträckningen och vissa beräkningar baseras på jorddjup utanför bergmodellen så har kompletterande information använts. Då har SGU:s brunnsarkiv, jordartskarta och jorddjupskarta använts som underlag.

För att representera markytan har en höjdmodell skapats inom projektet. En beskrivning av höjdmodellen finns i Redogörelse för ämnesområdesmodell (RFÄ) Befintligt mark (Trafikverket 2019g). I områden som inte täcks av projektets höjdmodell har istället Nya Nationella höjdmodellen (NNH 2+) använts.

## 3 Konceptuell modell

### 3.1 Grundvatten

Grundvatten förekommer när markens porer eller sprickor i berggrunden är helt fyllda med vatten. Grundvatten förekommer alltså överallt på ett visst djup under markytan och i alla typer av jordlager (även lerjord). Ett grundvattenmagasin används för att beteckna en avgränsad del av ett genomsläppligt jordlager där grundvatten förekommer. Det finns två typer av grundvattenmagasin i jord; dels slutna, undre grundvattensystem i vattenförande friktionsjord täckta av lera, dels öppna, övre magasin i torrskorpelera/friktionsjordar närmast markytan ovanpå berg eller lera. I berget återfinns grundvatten i spricksystem, vilka potentiellt kan vara kraftigt vattenförande. I modellerna representerats dock sprickorna ej som diskreta objekt utan som zoner i berget med varierande bredd.

### 3.2 Jordlagerföljd

I höjdområden karakteriseras jordlagerföljden av uppstickande höjder med berg i dagen eller tunna moränjordlager och slänter eller svackor med morän och i vissa fall med lerjord eller torv. Jordtäcket är mestadels tunt, 0 - 2 meter inom de lokala höjderna och cirka 5 - 10 meter inom de lokala svackorna.

I höjdområdena förekommer grundvattenmagasin i moränjordlager och i berggrundens spricksystem. Magasinen är mestadels öppna med direktinfiltration av nederbörd men där lerjord eller torv förekommer kan mindre slutna magasin i moränjord förekomma. Ler- eller torvjordsområden kan vara så blöta att en fri vattenyta förekommer under hela eller delar av året, dvs utgör våtmarksområden. Hydrogeologiskt utgör de kuperade höjdområdena som helhet inströmningsområden för nybildning av grundvatten.

I dalgångar som ligger låglänt i landskapet med en relativt platt topografi har så kallade kohesionsjordar (lera och silt) kunnat sedimentera. En generell jordlagerföljd från bergytan är friktionsjord (morän eller sand, grus), varvig glaciallera (ler-, silt-, finsandlager) och överst postglacial lera. I dalgångarna kan det förekomma vattendrag som skurit sig ner i leran och avsatt svämsediment ovanpå leran i anslutning till vattendraget. Jordlagren är generellt relativt mäktiga, flera tiotals meter är inte ovanligt varav större delen utgörs av lerjordlagret. Om underliggande friktionsjord utgörs av moränjord har den normalt endast några meters mäktighet. Underlagras lerjordlagret av sand, eller grus (som sedimenterat i vatten) kan dess mäktighet vara större.

### 3.3 Grundvattenbildning

Typisk för lerfyllda sprickdalgångar såsom Glömstadalen är att nederbörd som faller i dalgången avrinner ytligt och horisontellt i lokala, övre grundvattenmagasin mot dränerande diken. Detta eftersom det underliggande lerlagret begränsar vertikal transport. I områden där hårdgjorda ytor utgör betydande andel av markanvändningen sker avrinning på motsvarande sätt via dagvattensystem.

Nybildning av grundvatten till slutna, undre magasin sker företrädesvis inom begränsade områden i dalgångens randzoner mot omgivande höjdområden, där exempelvis svallad morän med goda vattenförande egenskaper utgör ytjord och därmed kan tillåta vertikal transport. I händelse av att fyllnadsnivån i magasinet är hög kan samma randzoner dock även ha motsatt effekt, d.v.s. att grundvatten strömmar ut (bräddar) från undre magasin till övre magasin i nämnda områden.

Genom att naturligt förekommande ytjordar grävts ur och ersatts av fyllningsjordar inom stora områden kan kommunikationen mellan förekommande övre och undre magasin ha påverkats.

Nybildning av grundvatten i berg sker företrädesvis i inströmningsområden där bergets sprickzoner utgör lokala sänkor i terrängen dit ytligt vatten letar sig. Utbyte av grundvatten mellan undre magasin i jord och grundvatten i berg kan eventuellt ske längs dalgångens botten och sidor, där de båda magasinerna möts, om förutsättningar är de rätta. En väldigt uppsprucken bergöveryta kan t.ex. möjliggöra ett sammanhängande, större undre grundvattenmagasin i jord även om det vattenförande jordlagret i sig är diskontinuerligt i området till följd av avvikande jordlagerföljd och/eller -mäktighet samt bergöverytans topografi och beskaffenhet.

### **3.4 Ytvatten**

Avrinningsområden begränsas normalt av topografiska höjdryggar som avgränsar de olika avrinningsområdena. De olika avrinningsområdena definieras från en vald utflödespunkt. Kontakten mellan yt- och grundvatten anses huvudsakligen vara god och ytvatten fungerar som utströmningsområden för grundvatten.

### **3.5 Dränerande anläggningar**

Det finns ett antal VA-tunnlar i berg och jord i området som kan antas påverka det hydrogeologiska systemet i olika omfattning. Uppgifter om inläckage och eventuell utförd injektering saknas. En droppkartering har utförts i Albytunneln, som passerar i berget mellan Kästa och Albysjön, men endast längs begränsade sträckor varför resultatet inte kunnat användas för att kvantifiera inläckaget.

## 4 Numerisk grundvattenmodellering

Numeriska grundvattenmodeller har etablerats med hjälp av programvarorna FEFLOW och SEEP/W i syfte att studera påverkansområdets utbredning och inläckage till planerade tunnlar. Både FEFLOW och SEEP/W arbetar enligt finita elementmetoden vilket möjliggör ett flexibelt beräkningsnät med hög detaljeringsgrad runt tunnel och andra områden där lokala förhållanden bör beskrivas med hög noggrannhet. Programvarorna är specifikt lämpliga att användas för modelleringar med komplexa geologiska förutsättningar samt för modelleringar av grundvatten i berg.

Grundvattenmodellering innebär alltid en förenkling och tolkning av verkliga förhållanden, oavsett om den sker i två eller tre dimensioner. Valet mellan tvådimensionell eller tredimensionell modellering bör därför utgå från identifierade riskobjekt, platsspecifika förutsättningar och syftet med modelleringen. Där de geologiska och hydrogeologiska förhållandena tillåter kan det vara önskvärt att använda sig av tvådimensionell modellering eftersom det ger enklare modeller med mindre komplicerade tolkningar och då begränsningarna är tydliga. För långsträckta tunnlar i berg där förhållandena runt tunneln är relativt konstanta sker den huvudsakliga grundvattenströmningen in mot tunneln. Vid sådana förutsättningar kan grundvattenpåverkan beskrivas väl med ett antal tvådimensionella modeller, där varje modell representerar en del av tunneln. Där förutsättningarna är mer komplexa, eller där resultatet behöver ha högre detaljeringsgrad är dock tredimensionell modellering nödvändig. Därför har SEEP/W valts att användas för att bygga upp ett större antal tvådimensionella flerlagermodeller över Glömstatunneln och Flemingsbergstunneln, framförallt eftersom antalet riskobjekt rakt ovanför eller i direkt närhet till tunnelarna är begränsat. Vidare är tunnelarna långsträckta och dess geometrier förändras inte så mycket längs sträckningen, grundvattenflödet bedöms huvudsakligen vara riktat mot tunnelarna. FEFLOW har istället använts för tredimensionella flerlagermodeller för områdena kring Masmotunneln och Solgårdstunneln, där de geologiska och hydrogeologiska förhållandena och frågeställningarna har bedömts vara för komplexa för att kunna lösas med tvådimensionella metoder. Vid Solgårdstunneln, som ligger i ett jordmagasin sker en stor del av grundvattenströmningen parallellt med tunneln vilket inte går att modellera med en tvådimensionell modell. Masmotunneln bedömdes också kräva representationer av tredimensionellt flöden, speciellt vid stora och lilla svackan.

Samtliga modeller har ställts upp för en jämviktslösning (steady state) innebärande att det speglar en medelsituation över ett år. Detta antagande är en förenkling av verkligheten då nivåer, flöden och grundvattenbildning varierar över året.

### 4.1 Generell metodik

Tillvägagångssättet för den numeriska modelleringen har till stor del varit detsamma för de olika tunnelarna, oavsett om modellering utförts i två eller tre dimensioner. I detta kapitel beskrivs därför den metodik som är giltig för de numeriska grundvattenmodeller som använts i projektet. Övriga detaljer och platsspecifika antaganden beskrivs däremot under varje enskilt modelleringskapitel för respektive tunnel.

#### 4.1.1 Jordlagerföljder och hydrauliska egenskaper

För att representera de geologiska enheter och jordlagerföljder som anträffas i områdena har modelldomänerna delats in i zoner med skilda egenskaper. På grund av den begränsade mängden

geotekniskt underlag och de komplexa heterogena förhållanden som råder i verkligheten har generaliseringar och förenklingar varit nödvändiga när egenskapsområden avgränsats.

De hydrauliska konduktiviteter som ansatts för de olika egenskapsområdena har baserats på data från platsspecifika undersökningar, litteraturvärden och kvalificerad bedömning utifrån tidigare erfarenheter eller en kombination av dessa. För de formationer där grundvattenrör installerats har konduktiviteten utgjorts av det geometriska medelvärdet från utförda pulstester. För berget har den baserats på de hydraulikdomäner som tagits fram inom projektet och därmed varierat längs tunnlarna, se info under respektive tunnel. Solgårdstunneln, som kommer att anläggas som betongtunnel, har däremot inga hydraulikdomäner och berget har istället modellerats som en enhet med samma konduktivitet. För övriga egenskapsområden har konduktiviteter skattats utifrån erfarenhetsmässig bedömning och litteraturvärden.

#### **4.1.2 Avgränsning av påverkansområde**

Det hydrogeologiska påverkansområde som redovisas för respektive tunnel har avgränsats utifrån kriteriet att det utanför den beskrivna gränsen inte bedöms uppkomma en större påverkan än 0,3 m i jord eller i berg.

## **4.2 Numerisk modellering Masmotunneln**

Vid Masmo passerar tvärförbindelsen genom Masmoberget i en bergförlagd tunnel och på en sträcka, vid en svacka i terrängen, även genom en betongtunnel. Tunneln benämns i sin helhet som Masmotunneln. Beräkning av tunnelns påverkansområde och det förväntade inläckaget har utförts i programmet FEFLOW genom tredimensionell grundvattenmodellering.

### **4.2.1 Områdesbeskrivning**

Landskapet kring planerade Masmotunneln domineras av Masmoberget och dess jordfyllda dalgångar som brant sluttar ned mot Tullingeåsens isälvsstråk och Albysjön samt Mälaren (se Figur 4-1). Tunneln passerar genom ett utpräglad höjdområde med berg i dagen men korsar även två jordfyllda dalstråk; Stora Svackan (km 3/300) och Lilla Svackan (km 3/600). Stora Svackan är fylld med morän, som i skärningen med planerad tunnellinje lokalt täcks av lera. I passagen av Lilla Svackan utgörs jordarna av sandjord och/eller morän. Längs såväl Stora som Lilla Svackan finns grundvatten i jord som strömmar i sydvästlig riktning ner mot väg 259. Svackorna utgör lokala utströmningsområden för grundvatten.

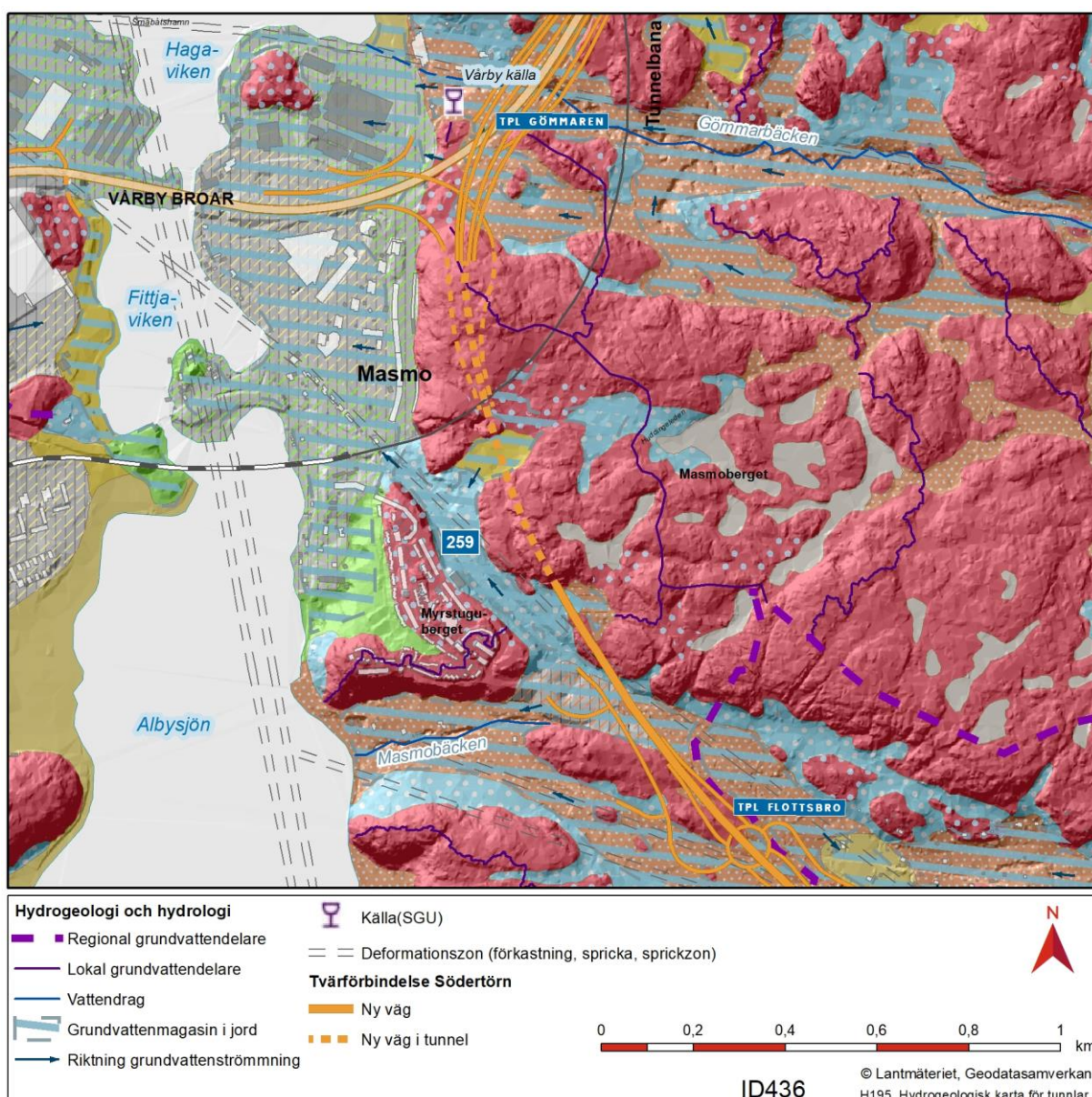
Masmoberget domineras av gnejsiga bergarter och den geologiska strukturen visar sprickbildningar och förkastningar längs i huvudsak nordväst-sydostligt orienterade stråk, men även de nordost-sydvästliga är framträdande och visar sig bland annat i Stora och Lilla Svackan. I de norra delarna av Masmotunneln är berget generellt av god kvalitet och relativt tätt. Längs Stora Svackan löper en vattenförande sprickzon i berget, medan det mest vattenförande partiet löper längs Lilla Svackan, just söder om Masmotunnelns bergpåslag.

I Tullingeåsen, väster om Masmoberget, uppgår jorddjupet lokalt till över 100 m men avtar med avståndet från ytvattnet och successivt stigande bergnivåer. Åskärnan består huvudsakligen av sand och grus i växlande lagringar. I anslutning till befintlig trafikplats Vårby överlagras åsen lokalt av lerjord av varierande mäktighet. I stora områden överlagras de naturliga jordarna också av



fyllningsjordar. Tullingeåsen ligger lågt i landskapet och utgör utströmningsområde för grundvatten från omgivande höjdområden. Formationen håller ett huvudsakligen öppet grundvattenmagasin som står i hydraulisk kontakt med ytvattnet i Hagaviken och Fittjaviken.

Norr om Masmotunneln löper Gömmarbäckens dalgång som följer en starkt uppsprucken väst-östlig svaghetszon i berget. I de genomsläppliga sand- och moränjordar som huvudsakligen fyller dalgången finns ett öppet grundvattenmagasin med västlig strömning. I anslutning till Gömmarbäckens nedre delar, väster om E4/E20, ligger Vårby källa.

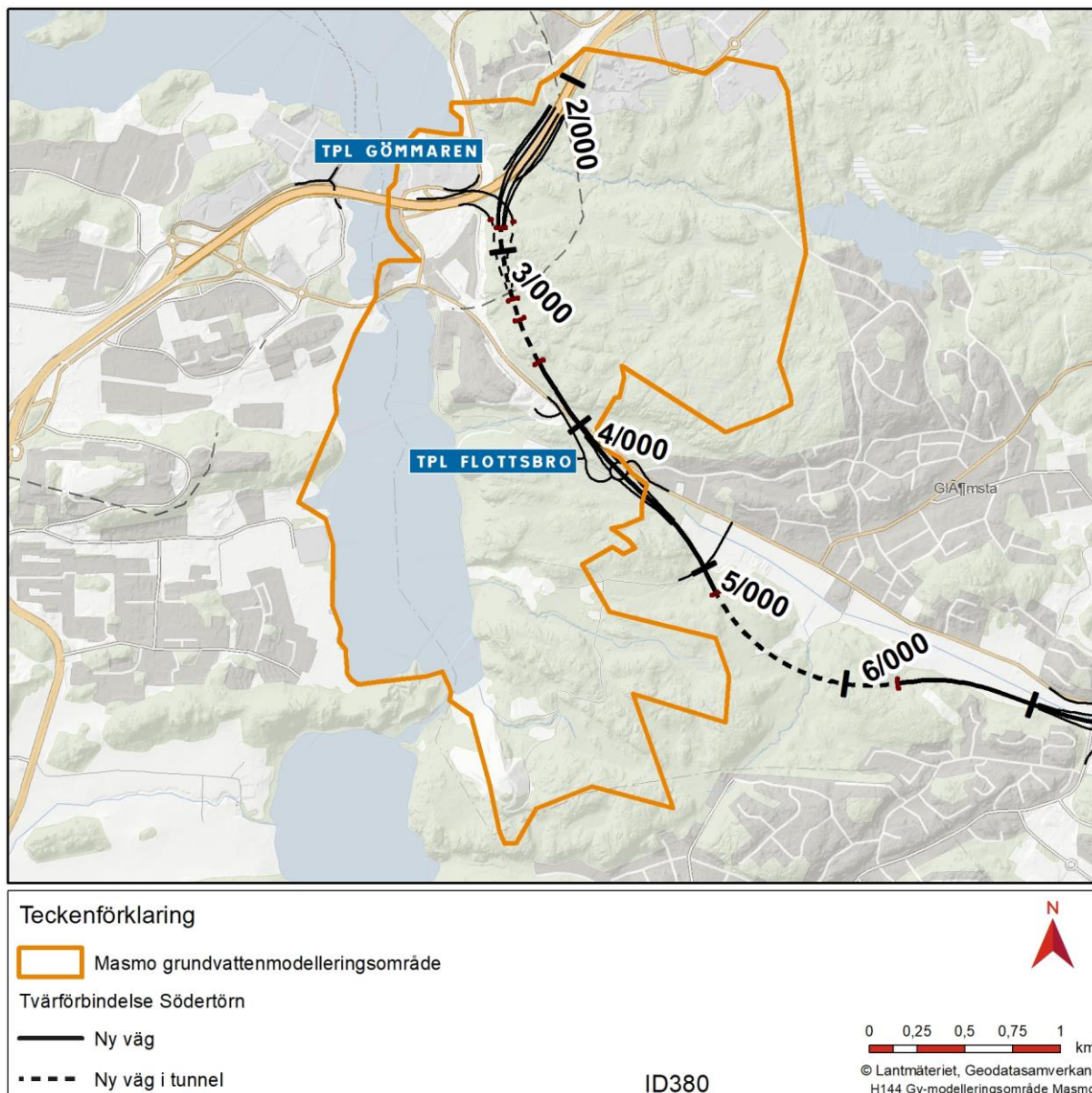


Figur 4-1. Hydrogeologisk karta för området kring Masmotunneln. I den underliggande jordartskartan ses ytligt berg i rött, tunna morännsikt på berg som blå prickar, moränjordar i blått med prickar, sandjord i orange, lera i gult, underliggande lera i streckat gult, isälvsmaterial i grönt, underliggande isälvsmaterial i streckat grönt och fyllnadsjord i grått med skraffering.

## 4.2.2 Metodik

### 4.2.2.1 Konceptualisering

Modellen är uppbyggd över ett ca 7 km<sup>2</sup> stort område och baseras på bedömda hydrogeologiska gränser på ett tillräckligt stort avstånd från tråg- och tunnelsträckning. I väster avgränsas modellområdet av ytvatten och i övriga riktningar avgränsas modellen av en bedömd nollflödesgräns på tillräckligt avstånd från tråg och tunnel, där ingen påverkan förväntas. Modellområdet framgår av Figur 4-2. Modellen har beräknats som en öppen akvifer under steady-state-förhållanden.



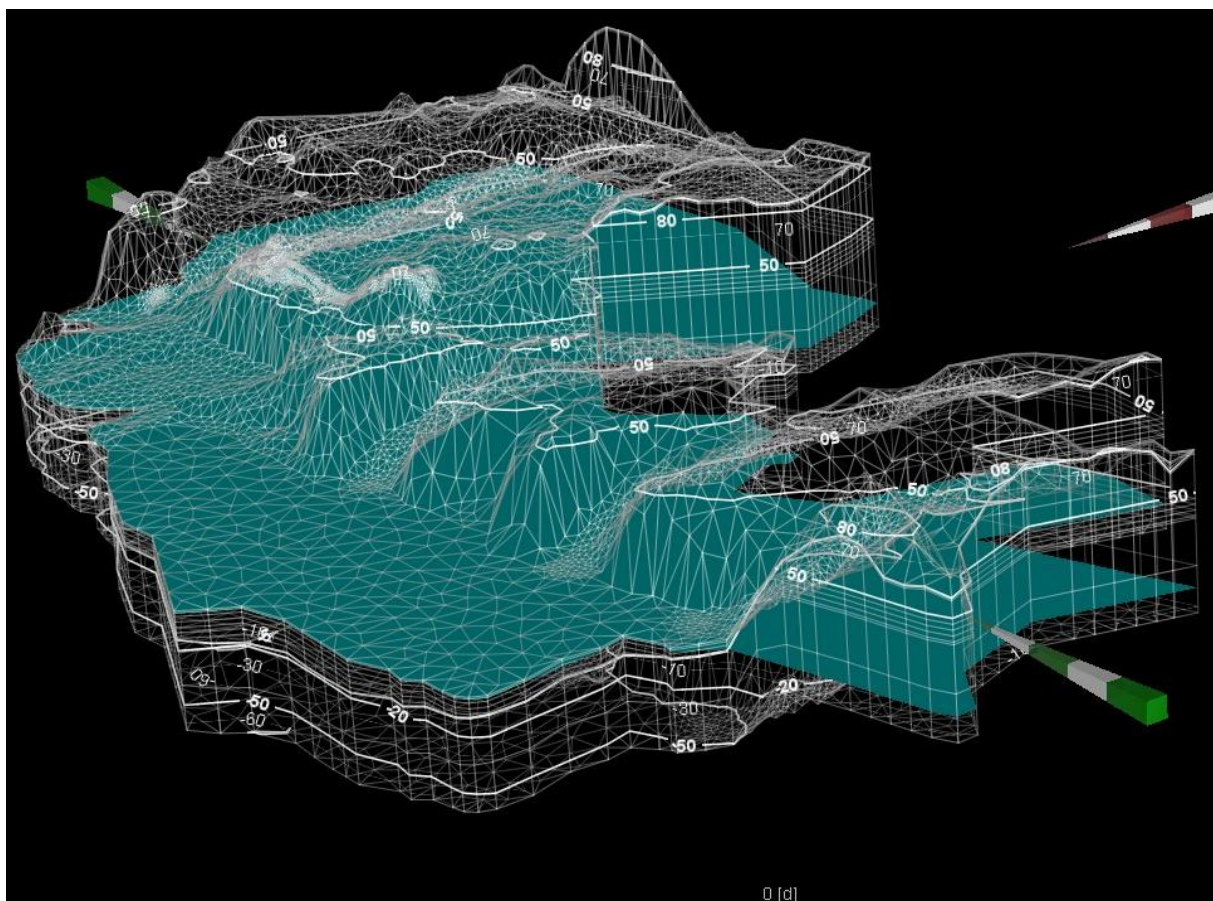
Figur 4-2. Modellområde kring Masmotunneln.



#### 4.2.2.2 Modelluppbyggnad

Totalt består modellen i plan av 8185 beräkningsnoder och 16074 element med hög detaljeringsgrad i anslutning till projekterad tunnelsträckning. Vertikalt går modellen till ett djup av -68 med en markyta varierande mellan +20 och +90, vilket ger en modellmåktighet mellan 70 och 140 m. Modellen är indelad i 16 beräkningslager, där lagergränserna utgörs dels av geologiska enheter, dels av begränsningsytor för tunnel och tågkonstruktion. Uppbyggnad av beräkningsnät har tagit hänsyn till vattendrag, Vårby Källa, tunnelsträckning och kända sprickzoner vilka getts högre upplösning.

Topografi har baserats på den tredimensionella modell för markyta som tagits fram inom ramarna för projektet. Bergöverytan är interpolerad från SGU:s jorddjupskarta. Manuella justeringar i bergöveryta har gjorts med hjälp av ett stort antal sonderingar och borrhningar i närheten av planerad väg- och tunnellinje. I Figur 4-3. V presenteras en översikt av det vertikala och horisontella beräkningsnätet. Det numeriska beräkningsnätet är sammantaget komplext och detaljerat både i horisontal- och vertikalled.

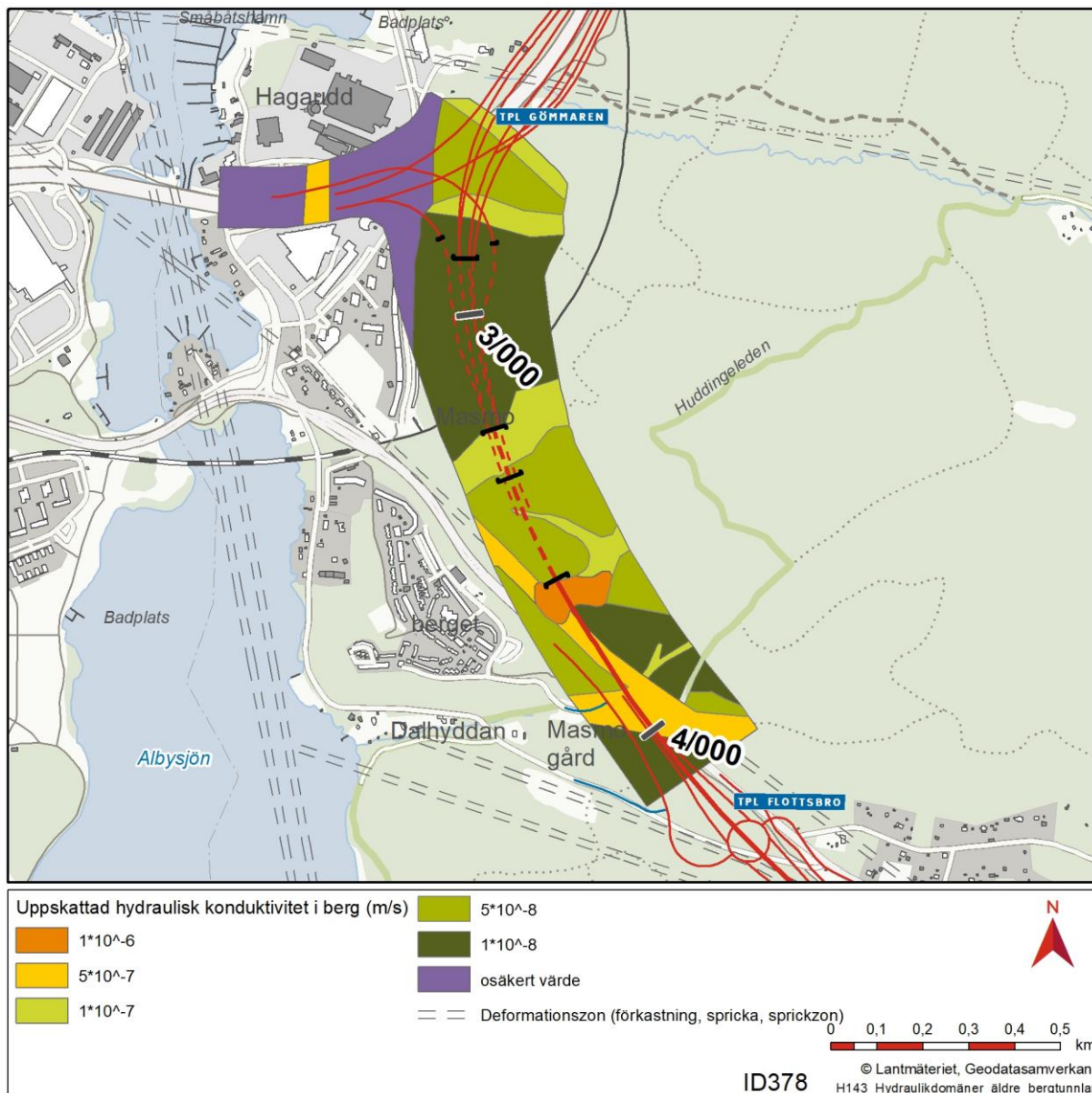


Figur 4-3. Vertikalt och horisontellt beräkningsnät, översikt.

#### 4.2.2.3 Geologiska enheter

Mäktigheten på respektive geologisk enhet i modellen har baserats på genomförda undersökningar i området (Tvärförbindelse Södertörns geotekniska databas-GeoBIM) och allmänna geologiska kunskaper om området (SGU:s jordartskarta och jorddjupskarta). Strävan har varit att förenkla den komplexa och bitvis dåligt kända verkligheten till en praktiskt användbar modell och vissa generaliseringar har därmed varit nödvändiga. Generellt har de varierande geologiska enheterna inom området förenklats till principiella lager med samma egenskaper inom större områden.

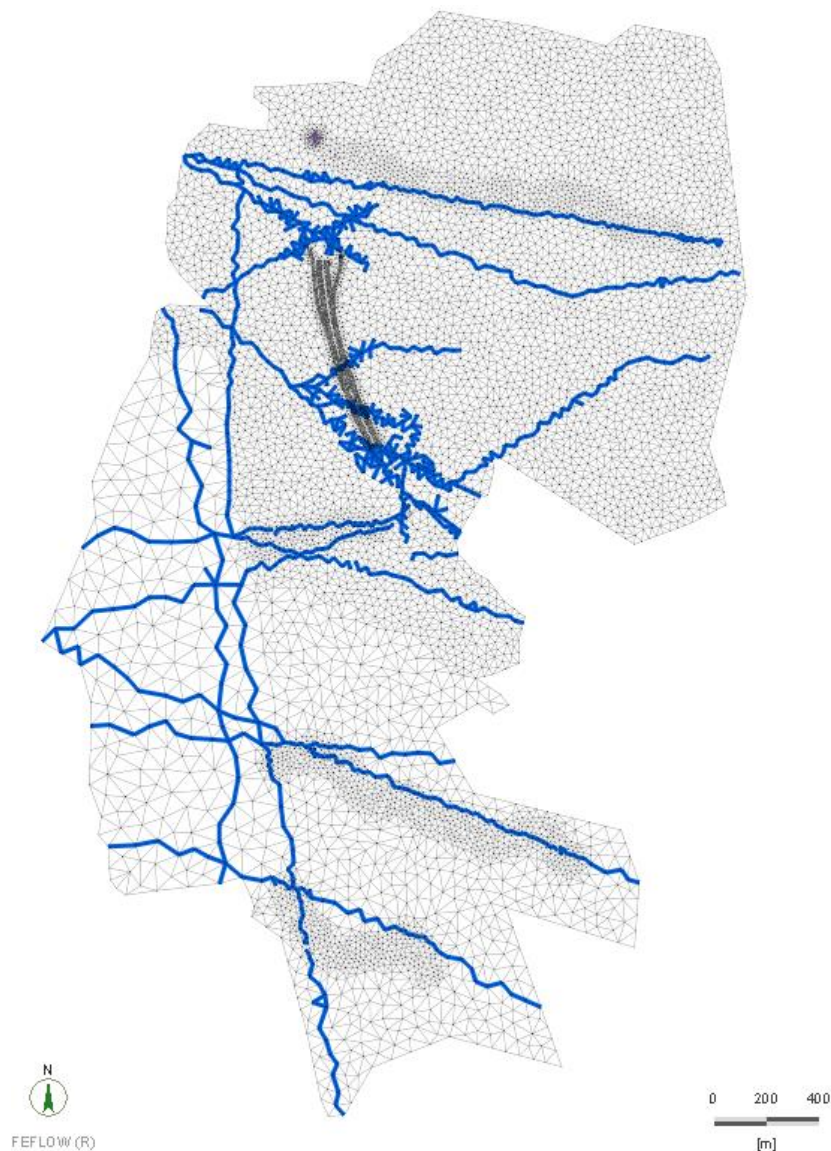
Bergdomänerna baseras på utförda karteringar och vattenförlustmätningar i kärnborrhål enligt Figur 4-4. I övriga modellområdet har en tolkning av hydraulisk konduktivitet gjorts.



Figur 4-4. Bedömda bergdomäner inom modellområdet.

Parametervärden i modellen baseras på genomförda hydrogeologiska undersökningar, främst pulstester och vattenförlustmätningar. Vid kalibrering eftersträvas konduktiviteter inom de spann som redovisats från undersökningar i området. I de delar av modellen där inga undersökningar har genomförts har rimliga skattningar av parametervärden tillämpats, baserat på jordartskartan och berggrundskartan.

Sprickzoner har i bergsområden ansatts som diskreta enheter med en medelbredd om 3 m och en bedömd hydraulisk konduktivitet (K) på i medeltal  $1 \cdot 10^{-6}$  m/s. Sprickzonernas utbredning framgår av Figur 4-5. Det kan nämnas att ansatta sprickzoner längre från tunneln endast baseras på tolkningar av lineament varför osäkerheten ökar längre ut från tunnel. Sprickzonerna har ansatts från bergöveryta ned till botten av modellen.



Figur 4-5. Sprickzoner som är representerade i modellen.



Resulterande hydraulisk konduktivitet i ovan nämnda domäner och jordlager efter kalibrering av modellen framgår av Tabell 4-1.

Tabell 4-1. Kalibrerade hydrauliska konduktiviteter i generella jordtyper och bergdomäner inom modellområdet.

| Domän                      | $K_{xx}, K_{yy}, K_{zz}$<br>[m/s]   |
|----------------------------|-------------------------------------|
| Isälvssediments/grus, sand | $1 \cdot 10^{-4} - 1 \cdot 10^{-5}$ |
| Fin sand/ Sandig morän     | $1,3 \cdot 10^{-6}$                 |
| Lera                       | $1 \cdot 10^{-7}$                   |
| Berg                       | $1 \cdot 10^{-7}$                   |
| Bergdomän 1                | $1 \cdot 10^{-6}$                   |
| Bergdomän 2                | $1 \cdot 10^{-7}$                   |
| Bergdomän 3                | $1 \cdot 10^{-8}$                   |
| Bergdomän 4                | $5 \cdot 10^{-7}$                   |
| Bergdomän 5                | $5 \cdot 10^{-8}$                   |
| Bergdomän 6                | $5 \cdot 10^{-9}$                   |
| Sprickzoner                | $1 \cdot 10^{-6}$                   |

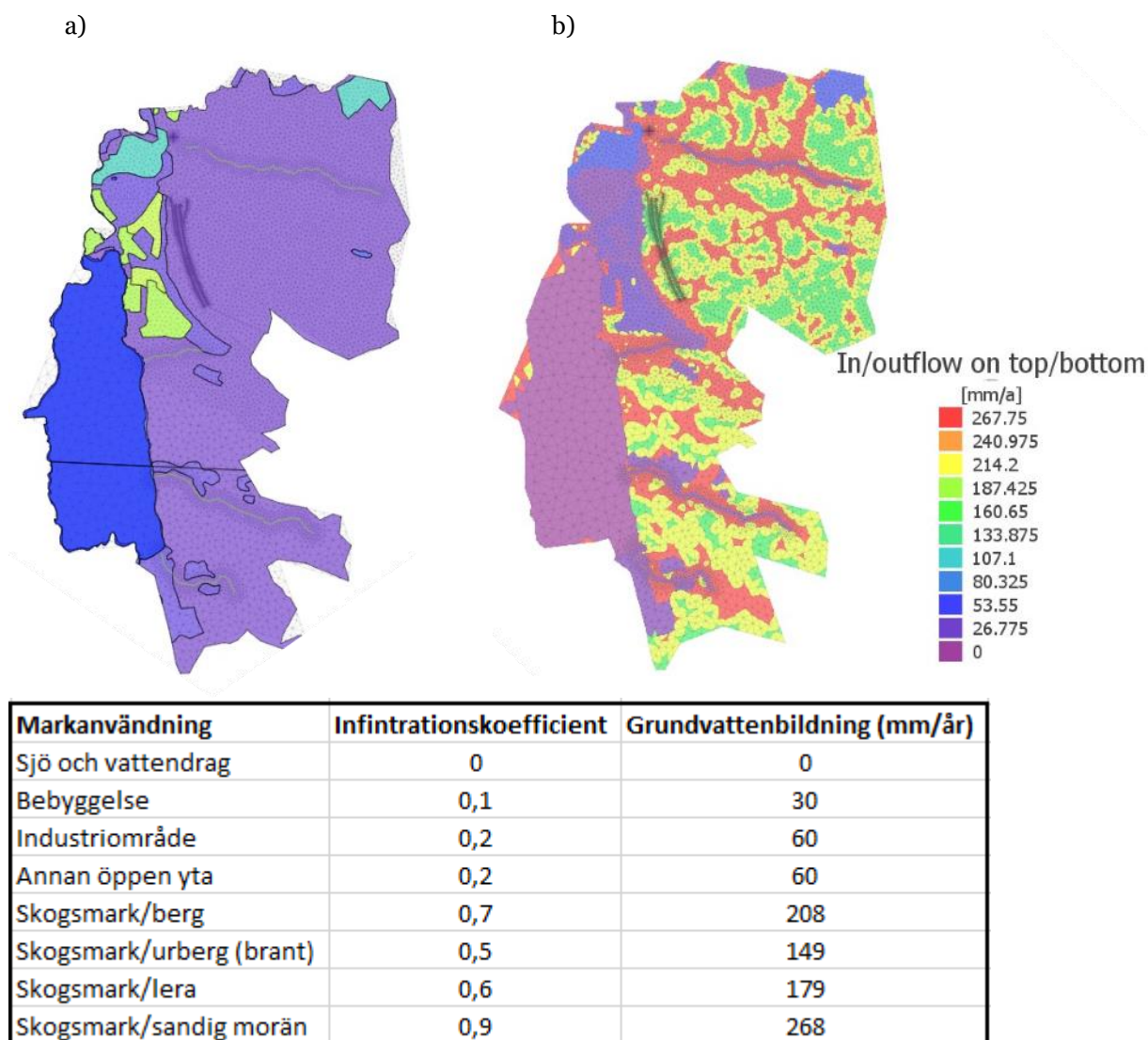
#### 4.2.2.4 Randvillkor

Randvillkor har ansatts i modellen för att representera grundvattenbildning, ytnära dränering, vattendrag och inläckage till tunneln. Randvillkor för ytnära dränering, vattendrag och tunnel är begränsade till att endast tillåta utflöde ut ur modellen, dvs de randvillkoren kan inte tillföra vatten.

In- och utströmningsområde i modellen har möjliggjorts i områden angränsande till Albysjön och Mälaren, genom fasthållet tryck genom alla beräkningslager. Övriga ytterområden i modellen är behäftade med nollflödesgränser då de baseras på bedömda grundvattendelare.

En dräneringsnivå motsvarande 2,5 m under vägoverkant har använts i bergtunneln och 5 m under vägoverkant för betongtunneln. Ett så kallat fluid-transfer randvillkor har ansatts längs tunnelns mantelyta, vilket använder atmosfärstrycket inne i tunneln för att beräkna inflödet till tunneln tillsammans med en begränsning av utflöde motsvarande berggenskaper.

Grundvattenbildning har ansatts i översta lagret baserat på nettonederbörd, avrinning och litteraturvärden på infiltrationskoefficienter (baserade på jordart, markanvändning och topografisk lutning), vilket redovisas i Figur 4-6. En generell nettonederbörd på 300 mm/år har antagits i aktuellt område.



Figur 4-6 a) Markanvändning, b) Grundvattenbildning baserat på nettonederbörd och infiltrationskoefficienter.

#### 4.2.2.5 Arbetsgång

Modellering har utförts för en jämviktslösning (steady state) innebärande att grundvattennivåer och -flöden speglar medelsituationen över ett år. Flöde har i modellerna tillåtits i både den omättade och mättade zonen. Modellerna har initialt kalibrerats och anpassats för att representera befintliga förhållanden varefter tunneln sedan har introducerats. Tunneln har i inläckageberäkningarna delats upp i bergförlagd tunnel, tunnel utan tillräcklig bergtäckning (betongtunnel vid passage under Stora svackan) samt södra förskärningen.

#### 4.2.2.6 Kalibrering

Kalibrering av modellen har utförts mot medelvärden av relevanta uppmätta grundvattennivåer i området. Kunskap om grundvattennivåer utifrån genomförda undersökningar finns i huvudsak i anslutning till tunnelsträckning.

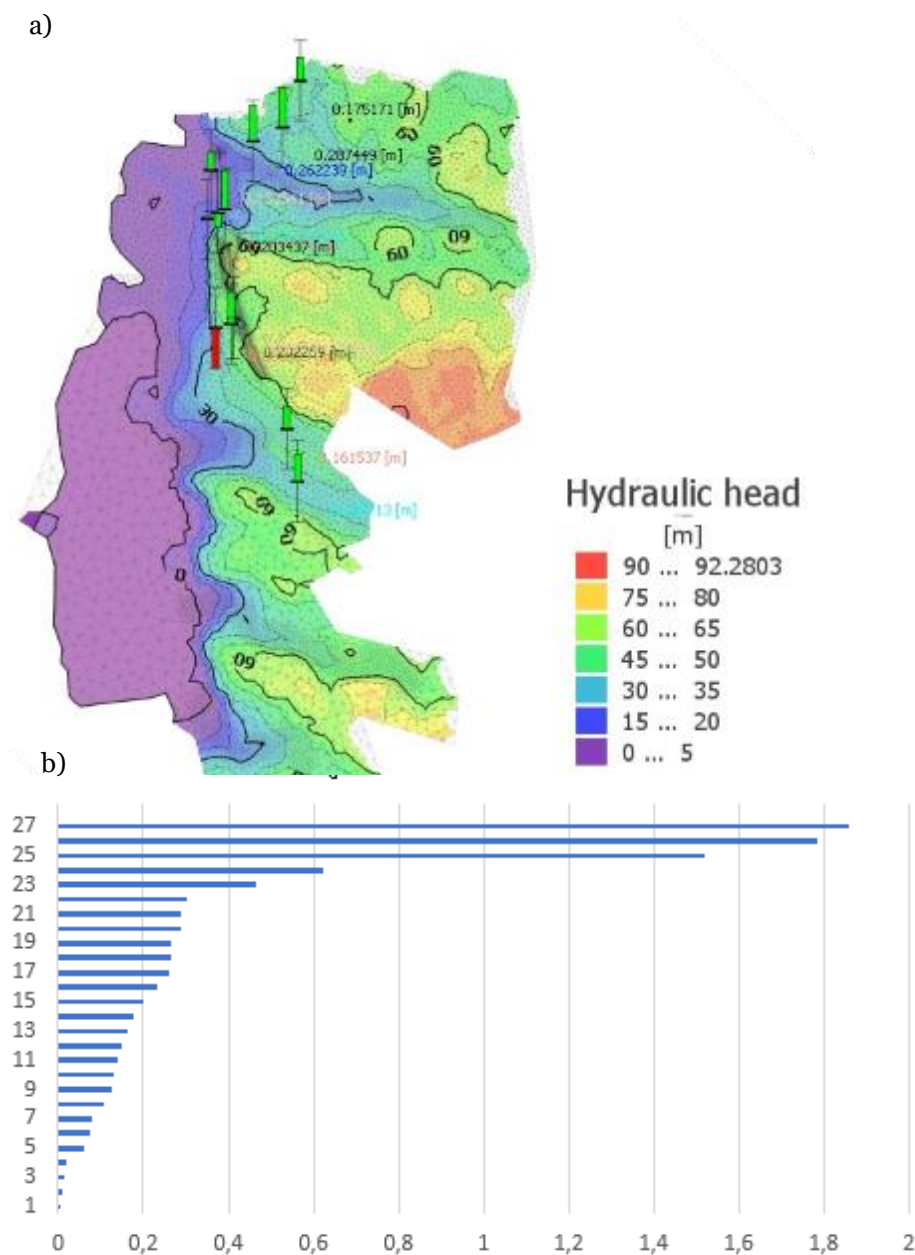
Generellt nås en mycket god överensstämmelse mot uppmätta medelvärden av grundvattenobservationer längs planerad tunnelsträckning. I de södra delarna är avvikelsen något större. Medelfelet mot de 27 ingående observationspunkterna är 0,27 m, där ett fåtal punkter har en större avvikelse men där mertalet av observationerna har en avvikelse mindre än 0,2 m (se Figur 4-7). Med de generaliseringar och antaganden som ligger till grund för modelluppbyggnaden får detta anses vara ett gott kalibreringsresultat.

#### 4.2.2.7 Beräkningsfall

Tre beräkningsfall har genomförts med modellen enligt scenarierna listade nedan.

1. Byggskede med öppet schakt i stora svackan, inga begränsande åtgärder med avseende på inläckage.
2. Permanentskede, tät betongtunneldel och övrig anläggning i berg utan begränsande åtgärder med avseende på inläckage
3. Byggskede med spontutförande i stora svackan, med en relativt tät spont (ansatt  $1 \cdot 10^{-8}$  m/s över 0,5 m tjock spont).





Figur 4-7. a) Beräknade grundvattentryck i det översta jordlagret för opåverkade förhållanden. De svarta linjerna redovisar beräknade trycknivåer (isolinjer) i meter över havet. b) Absolut fel i grundvattennivå för de enskilda observationspunkterna.

#### 4.2.3 Resultat

Utförd modellering tyder på att inläckage till tunneldelen vid Stora svackan blir relativt litet, trots relativt genomsläppliga jordarter i stora svackan. Resultatet speglar en jämviktssituation då lång tid passerat, varför det låga inläckaget kan förklaras av att stora svackan redan har dränerats på delar av sitt grundvatten vid den modellerade situationen. Det medför att flödet vid inledande arbeten kan bli betydligt högre.

Modelleringen tyder också på att inflödet vid en jämviktsituation visserligen minskar vid ett utförande med spont, men att på det stora hela minskar bara inläckaget till tunneln med ca 10%.

I permanentskede då betongtunnel är på plats blir inläckaget i denna del av tunneln nära noll.

Inläckaget i bergtunnel och förskärning förblir detsamma oavsett betong eller spontutförande. Störst inläckage (ca 50%) bedöms ske i den södra förskärningen.

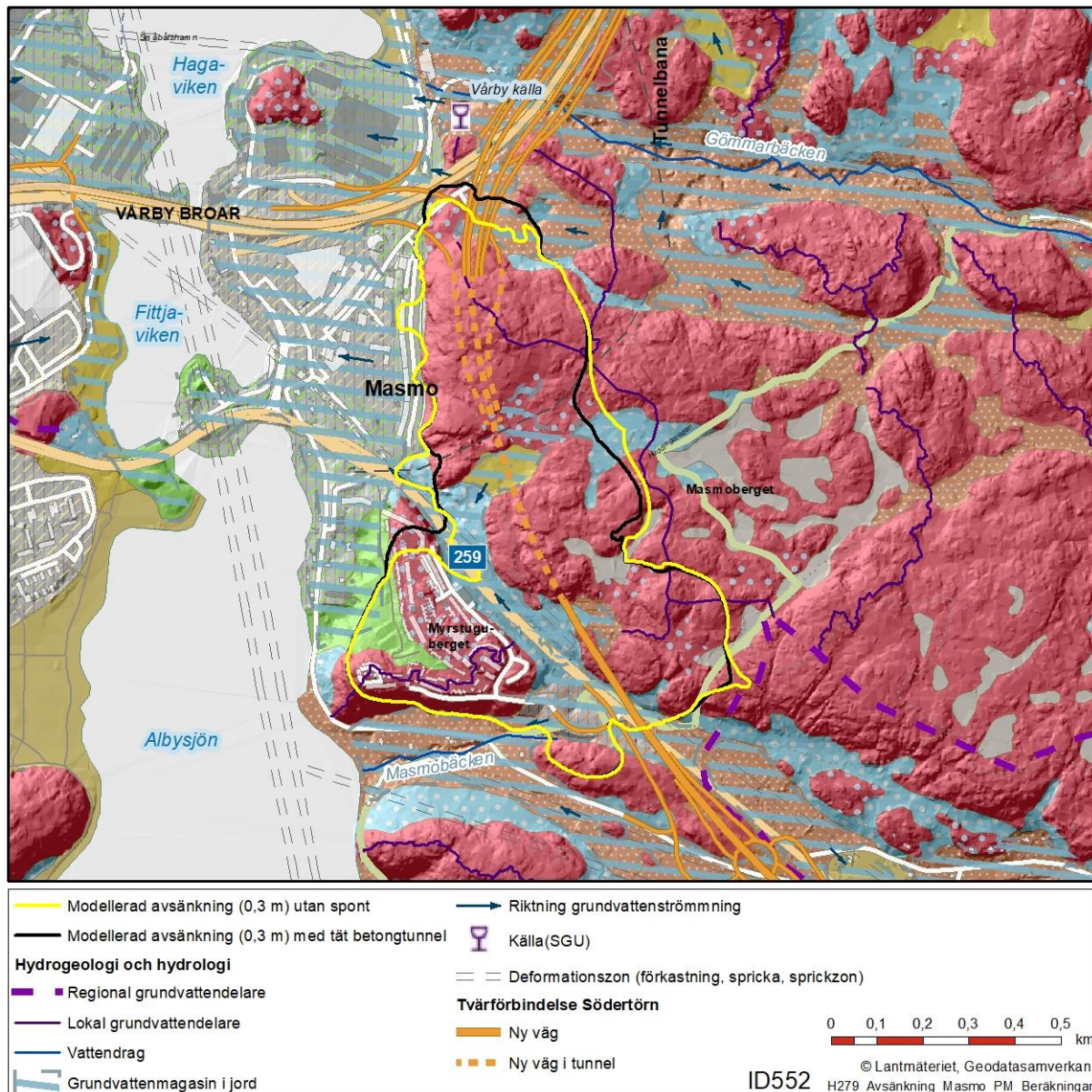
Beräknat inläckage till de olika tunneldelarna framgår av Tabell 4-2.

Tabell 4-2. Beräknade inläckage för de olika tunneldelarna vid beräkningsfall 1-3.

|                   | <b>Totalt<br/>[l/min]</b> | <b>Betongtunnel<br/>[l/min]</b> | <b>Norra<br/>bergtunneln<br/>[l/min]</b> | <b>Södra<br/>bergtunneln<br/>[l/min]</b> | <b>Södra<br/>förskärningen<br/>[l/min]</b> |
|-------------------|---------------------------|---------------------------------|------------------------------------------|------------------------------------------|--------------------------------------------|
| <b>Scenario 1</b> | 99                        | 9                               | 18                                       | 12                                       | 51                                         |
| <b>Scenario 2</b> | 90                        | 0                               | 18                                       | 12                                       | 51                                         |
| <b>Scenario 3</b> | 96                        | 6                               | 18                                       | 12                                       | 51                                         |

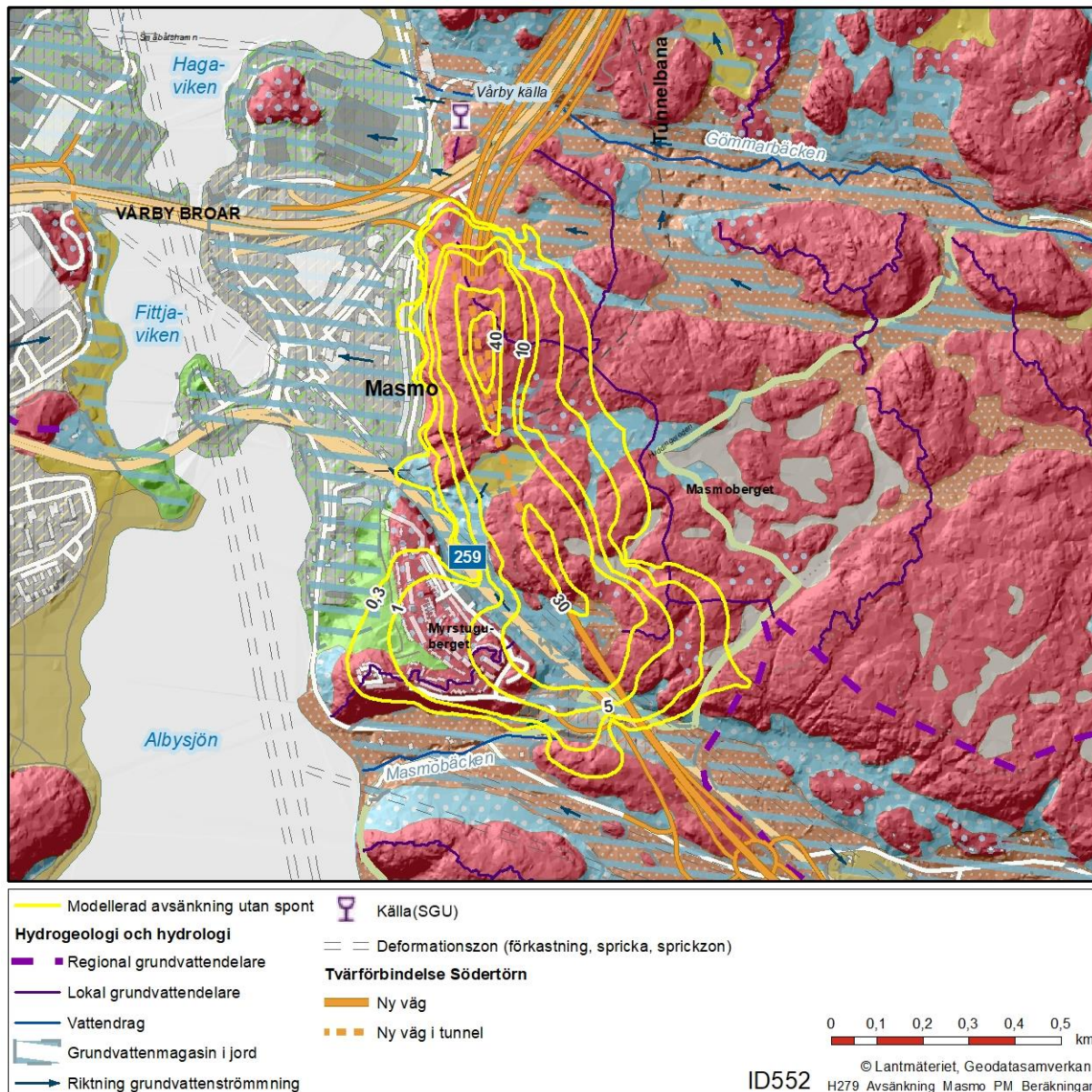
Påverkansområdet har definierats som det område där avsänkning överstiger 0,3 m i förhållande till opåverkade grundvattennivåer. Det modellerade påverkansområdets utbredning i byggskede för beräkningsfall 1 och 2 redovisas i Figur 4-8, Figur 4-9 och Figur 4-10. Modellerad avsänkning för beräkningsfall 3 avviker inte nämnvärt från beräkningsfall 1 och redovisas därmed inte i karta.

Som framgår av figurerna medför det minskade inläckaget till betongtunnel (från 9 l/min till nära 0 l/min) en minskning av grundvattenpåverkan i nära anslutning till stora svackan (från ca 10 m avsänkning till ca 5 m avsänkning). I övriga området är påverkan ungefär densamma. Observera att ingen modellering har utförts för tätningsåtgärder i berg.



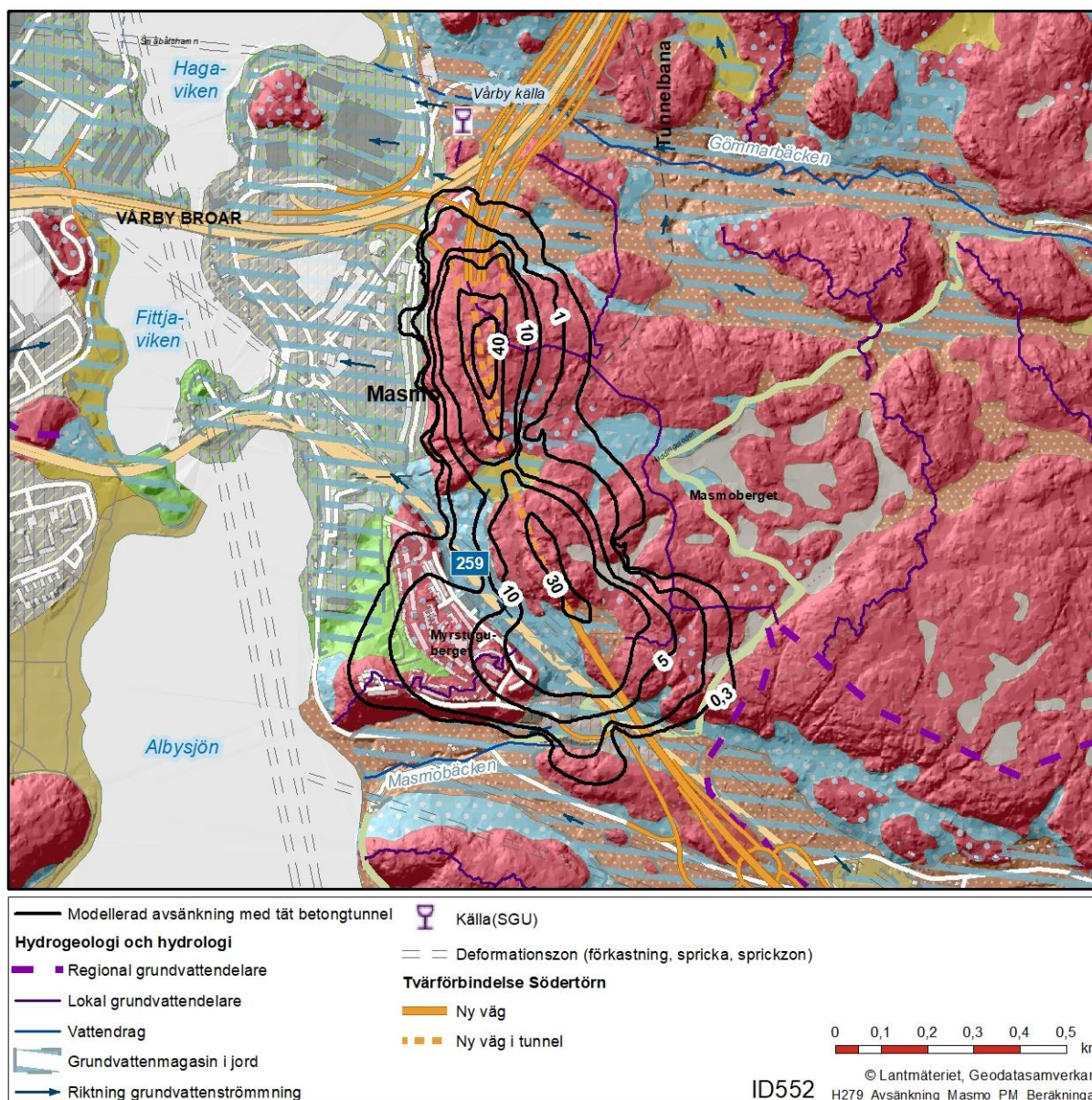
Figur 4-8. Beräknade påverkansområden för beräkningsfall 1 och 2. Påverkansområde i scenario 3 avviker inte nämnvärt från scenario 1 och redovisas därmed inte i karta.





Figur 4-9. Modellerad avsänkning för beräkningsfall 1.





Figur 4-10. Modellerad avsänkning för beräkningsfall 2.

#### 4.2.4 Diskussion

Alla numeriska beräkningsmodeller medför förenklingar och generaliseringar av verkligheten. Detta medför att ingen modell trots hög detaljeringsgrad fullt ut kan beskriva den komplexitet som finns i verklighet eller helt återspegla den omgivningspåverkan som kommer att uppstå i bygg- och driftskede. De undersökningar som ligger till grund för föreliggande modelluppsättning är koncentrerade till den planerade spårsträckningens närhet, vilket är den del som är viktigast att beskriva med god noggrannhet, men det innebär också att endast en begränsad del av modellområdet är väl undersökt och att det inom stora delar av modellområdet saknas detaljkunskaper. Samtidigt är detaljeringsgraden hos de undersökningar som har genomförts i spårsträckningens närhet hög, varför generaliseringar av detta resultat har krävts vid uppbyggnaden av modellen. Ett större antal

observationspunkter finns längs planerad vägsträckning men utanför detta är osäkerheterna större. Grundvattenbildning och egenskaper för ytlig dränering har ansatts utifrån tillgängligt underlag och litteraturvärden och har sedan i kalibreringsförfarandet finjusterats inom rimlighetsintervall för att nå en modellbeskrivning som så långt som möjligt svarar mot uppmätta observationer av både grundvattennivåer som hydrauliska parametrar.

Sammantaget bedöms den framtagna modellen ge ett rimligt och godtagbart resultat, baserat på kalibreringsresultat. Vid kalibreringen var det framförallt ett område i de sydvästra delarna av tunnelsträckningen där överensstämmelsen med uppmätta grundvattennivåer var låg. I det område blir även påverkansområdet stort även då inga sprickzoner representerade. Troligtvis beror resultat på att detta område är representerat som berg i dagen med relativt hög hydraulisk konduktivitet. Detta resultat ska ses som något osäkert i jämförelse med resultaten i övriga områden inom påverkansområdet. Skillnaden mellan modellerade och uppmätta grundvattennivåer är större än avsänkningen i detta område. De modelltekniska problemen att representera grundvattennivåerna har beaktats i bedömningen av påverkansområdet i PM Yt- och grundvatten.

Då modellering gjorts för en jämviktslösning (steady state) representerar de resultat som erhållits tunnelns påverkan i driftskede och är ett årsmedelvärde. Detta innebär att inläckage kan periodvis vara större än de redovisade här.

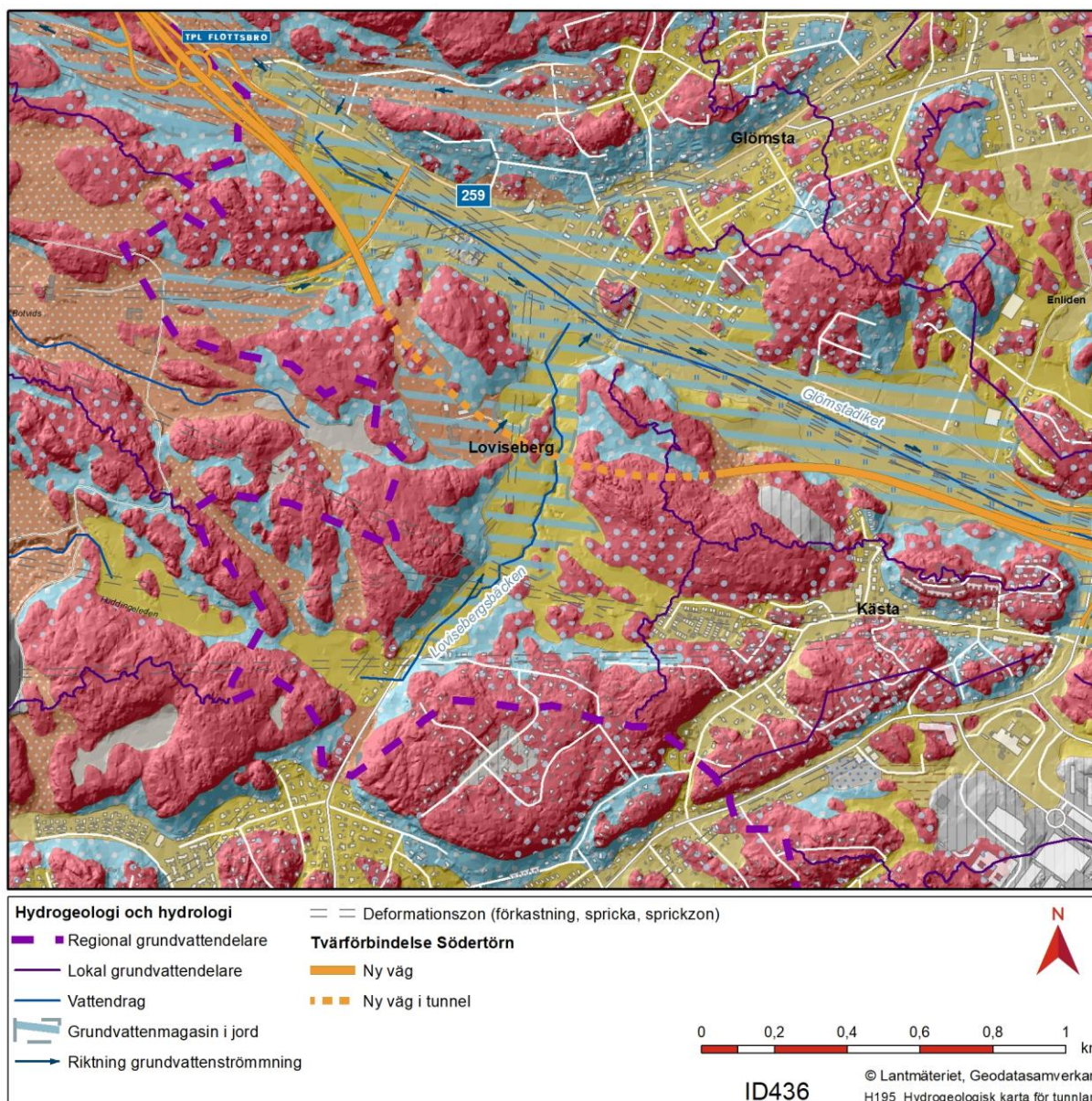
### **4.3 Numerisk modellering Glömstatunneln**

Vid Glömstadalen kommer tvärförbindelsen att passera under Loviseberg i en bergförlagd tunnel benämnd Glömstatunneln. För att undersöka tunnelns grundvattenpåverkan och det förväntade inläckaget har numerisk grundvattenmodellering i två dimensioner utförts genom att upprätta ett flertal tvärsektioner i beräkningsprogrammet SEEP/W.

#### **4.3.1 Områdesbeskrivning**

Landskapet kring planerade Glömstatunneln karaktäriseras av Glömstadalen, som utgör en nordvästlig-sydöstlig, i huvudsak lerfylld, sprickdalgång. Under lerjorden finns friktionsjordar bestående av sandig-grusig morän. Glömstatunneln passerar söder om Glömstadalen genom två höjdområden med berg i dagen samt under en mellanliggande lerfylld sprickdal vid Loviseberg som ansluter till Glömstadalen söderifrån (Figur 4-11). Även i denna dalgång överlagras lera moränjord, som går i dagen och är svallad högre upp i den omgivande terrängen. Längs dalgången rinner Lovisbergsbäcken norrut mot Glömstadiket i Glömstadalen.





Figur 4-11. Hydrogeologisk karta för området kring Glömstatunneln. I den underliggande jordartskartan ses tydligt berg i rött, tunna morännskikt på berg som blå prickar, moränjorlar i blått med prickar, sandjord i orange, lera i gult och fyllnadsjord i grått med skraffering.

Berggrunden i anslutning till Glömstatunneln består i huvudsak av gnejsiga bergarter. Svaghetszoner som skär tunnellen har identifierats längs dalgången vid Loviseberg. Zonerna kan potentiellt vara kraftigt vattenförande och ansluter vidare mot norr till en starkt uppsprucken, större svaghetszon som löper parallellt med Glömstadalen. Mellan de dominerande sprickzonerna bedöms berget annars vara relativt tätt och homogent.

Grundvattentillgångarna i området utgörs huvudsakligen av slutna magasin i de vattenförande moränjordarna under lerjord. Grundvattenströmningen är riktad mot Glömstadalen för att där vika av mot sydost och i stort följa Glömstadikets strömfåra ner mot Flemingsbergsviken (del av sjön Ormlången). Grundvattennivåerna i Glömstadalen ligger normalt kring eller strax ovan marknivå. Vid höga grundvattenstånd sker troligtvis utströmning av grundvatten från undre till övre magasin. Från övre magasin avrinner vattnet sedermera vidare som ytvatten via dränerande diken.

Trots den sydöstliga strömningen ingår området i delavrinningsområdet *Utloppet av Albysjön* (AROID: 657047-161811) som avvattnas via Albysjön omkring två kilometer väster om Glömstatunneln till Mälaren i norr. Detta på grund av den dagvattentunnel i berg (Albytunneln, se kapitel 4.5) som passerar genom samma höjdområde som Glömstatunneln. Glömstatunneln kommer att passera över Albytunneln på två ställen.

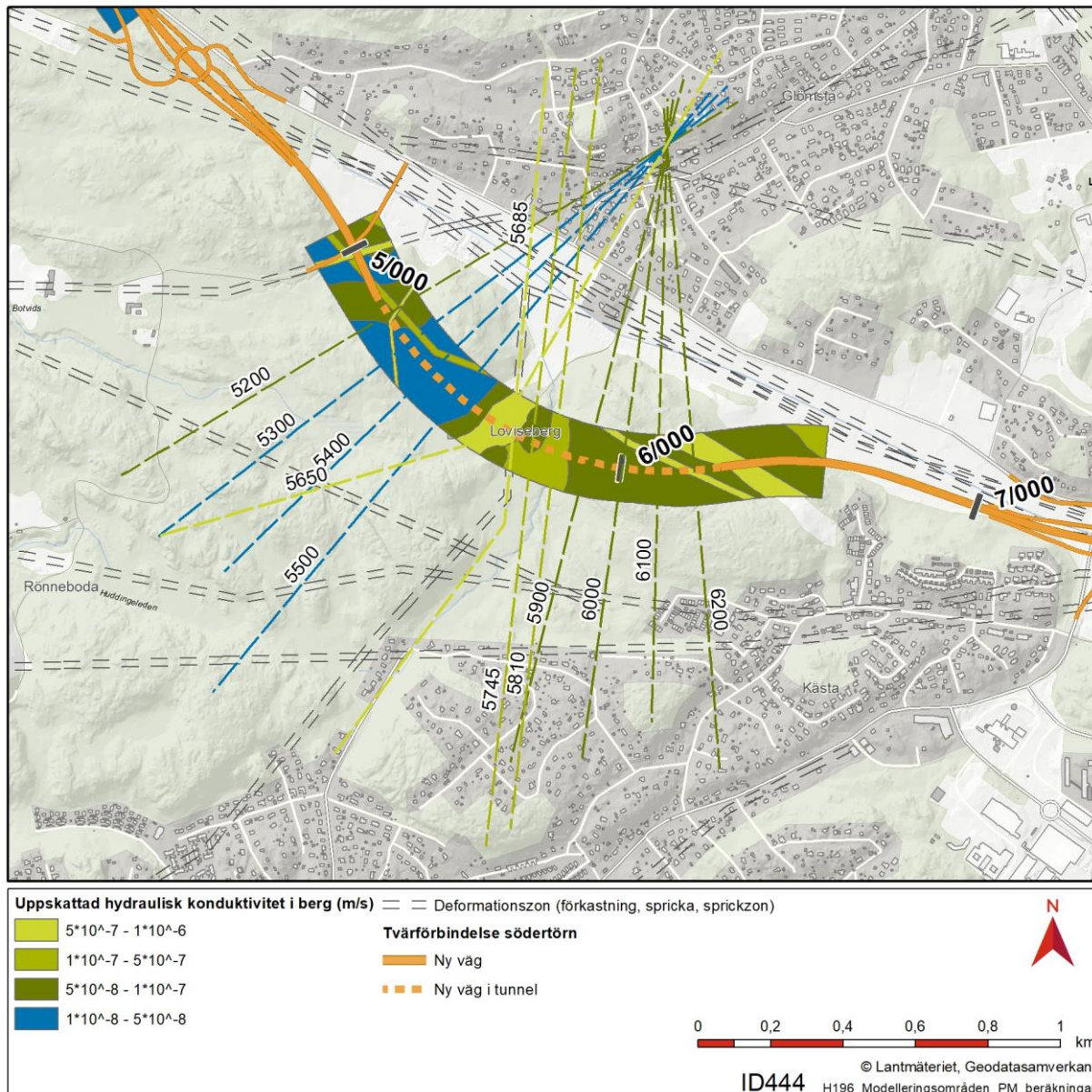
#### 4.3.2 Metodik

##### 4.3.2.1 Konceptualisering

För att studera grundvattenpåverkan hos den planerade tunneln har 12 vertikala tvärsektioner upprättats längs med dess sträckning (Figur 4-12). Varje tvärsektion har i sin tur utgjort en egen fristående grundvattenmodell och namngetts baserat på den längdmätning som används i projektet, mellan 5/200 och 6/200. Placeringen av tvärsektionerna har gjorts med ett intervall om 100 meter, med några undantag där läget anpassats till identifierade svaghetszoner. Riktningen hos tvärsektionerna har anpassats utifrån antaganden om att det storskaliga grundvattenflödet i området vid tunneln är riktat mot Glömstadalen, att det grundvattenflöde som induceras av tunneln är vinkelrätt (radiellt i tvärsnittsplanet) mot densamma och att grundvattenflödet följer riktningen hos svaghetszoner där sådana identifierats. För det sista fallet förekommer därför även vinklade sektioner, se till exempel sektion 5685.

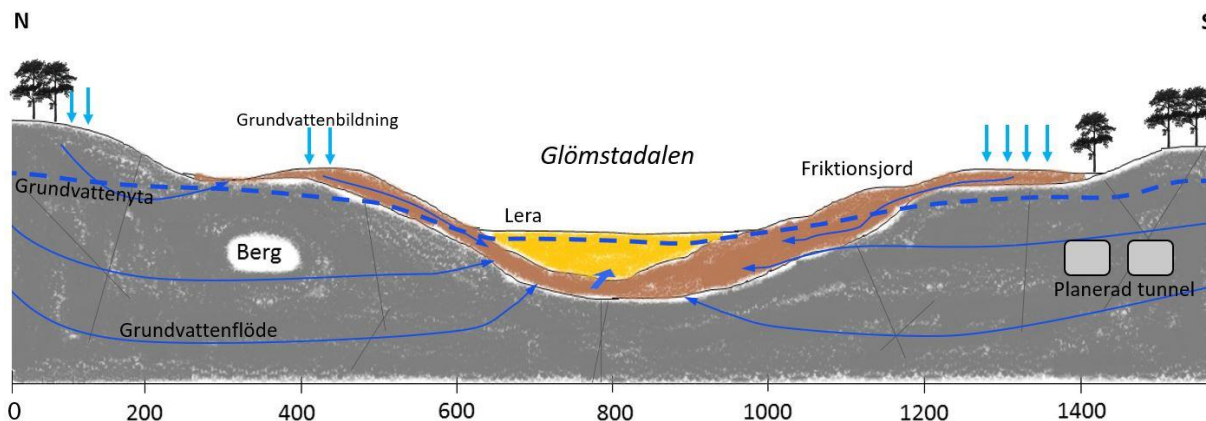
I avsaknad av tydliga hydrauliska gränser inom närområdet till tunneln har tvärsektionernas utsträckning i planet anpassats till ett tillräckligt avstånd från tunneln där ingen grundvattenpåverkan kan förväntas. Detta har inneburit att modellerna sträckt sig omkring en kilometer från tunneln i båda riktningar.





Figur 4-12. Hydraulikdomäner för berg, deformationszoner (från SGU) och modellerade tvärsektioner längs Glömstatunneln. Hydraulikdomänerna beskriver hur den hydrauliska konduktiviteten hos berget varierar längs tunneln. Modellerade tvärsektioner redovisas i samma färgskala som hydraulikdomänerna utifrån ansatt hydraulisk konduktivitet i respektive modell.

Upprättandet av vertikala tvärsektioner som modelleras oberoende av varandra innebär att grundvattenströmningen begränsas till att ske parallellt med sektionen eller i vertikalled. En konceptuell modell över hur ett sådant flöde kan tänkas se ut i området ses i Figur 4-13. Tredimensionella effekter eller flöden som korsar sektionen, till exempel vattenförande sprickzoner som inte löper parallellt med sektionen, är svåra att representera i modellen.

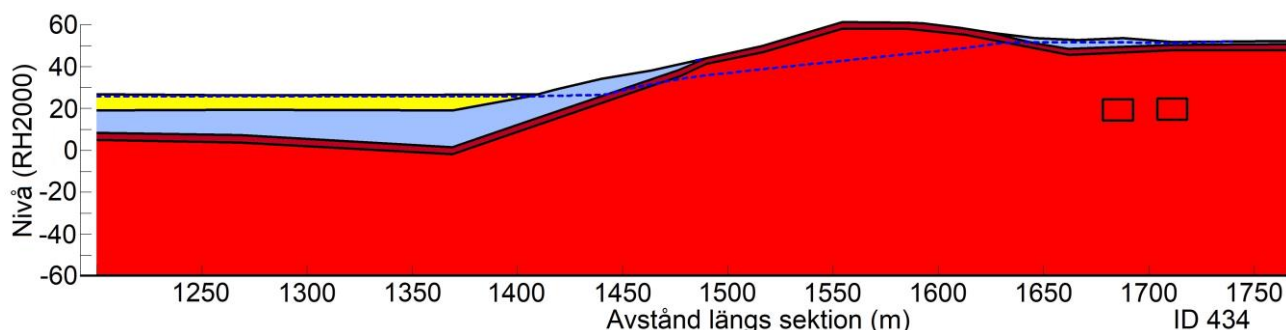


Figur 4-13. Konceptuell modell över grundvattenflödet längs en tvärsektion innan tunneln byggs. ID445.

#### 4.3.2.2 Modelluppbyggnad

Varje upprättad tvärsektion har utgjort en egen fristående grundvattenmodell. Tillvägagångssättet för modelluppbyggnaden har dock varit detsamma för samtliga tvärsektioner. Huvuddragen har utformats utifrån de tredimensionella modeller för markyta, bergöveryta och tunnel som tagits fram inom ramarna för projektet. Genererade tvärsektioner har sedan importerats till modelleringsverktyget SEEP/W.

För att representera de geologiska enheter som anträffas i området har modelldomänen delats in i zoner med skilda egenskaper, ett exempel på hur detta ser ut ges i Figur 4-14. Hydraulisk konduktivitet har ansatts utifrån litteraturvärden samt en sammanvägd bedömning av platsspecifika pulstester. Då modellering gjorts med både omättat och mättat grundvattenflöde har också den hydrauliska konduktivitetens variation utifrån mätnadsgraden specificerats i modellerna. Egenskapsområden som använts och ansatt hydraulisk konduktivitet redovisas i Tabell 4-3. Silt och finsand förekommer endast i ett fåtal av modellerna och då i mycket begränsad omfattning medan övriga egenskapsområden representeras i näst intill samtliga modeller. Modelldomänen består dock huvudsakligen av berg vilket även ses i Figur 4-14.



Figur 4-14. Utsnitt ur grundvattenmodell 5400 med definierade egenskapsområden (rött: berg, mörkrött: uppsprucket berg, blå: moränjord, gult: lera), planerad tunnel och grundvattenyta (streckad linje). Dalgången till vänster i bilden är Glömstadalen i genomskärning. ID 434

Tabell 4-3. Egenskapsområden, ansatt mättad hydraulisk konduktivitet i horisontalld (KH) och vertikall (KV).

| Egenskapsområde         | Mättad $K_H$ (m/s)                  | Mättad $K_V$ (m/s)                  |
|-------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| Moränjord               | $1 \cdot 10^{-5}$                   | $1 \cdot 10^{-6}$                   |
| Finsand                 | $5 \cdot 10^{-5}$                   | $5 \cdot 10^{-6}$                   |
| Silt                    | $1 \cdot 10^{-6}$                   | $1 \cdot 10^{-7}$                   |
| Lera                    | $5 \cdot 10^{-8}$                   | $5 \cdot 10^{-9}$                   |
| Torrskorpelera          | $1 \cdot 10^{-5}$                   | $1 \cdot 10^{-4}$                   |
| Berg                    | $1 \cdot 10^{-6} - 5 \cdot 10^{-8}$ | $1 \cdot 10^{-6} - 5 \cdot 10^{-8}$ |
| Uppsprucket ytligt berg | $5 \cdot 10^{-7}$                   | $5 \cdot 10^{-7}$                   |

Berggrunden representeras i modellerna som en homogen enhet med samma egenskaper över hela modelldomänen och som ett poröst medium. Den hydrauliska konduktiviteten hos berget har därmed varit densamma inom en modell, men varierat mellan modellerna. Ansatt konduktivitet i respektive modell har baserats på den hydraulikdomän som korsas av sektionen, se Figur 4-12.

Hydraulikdomänerna utgår från bergets egenskaper i området kring tunnelns närhet. Samtliga tvärsektioner, men i olika omfattning, korsar dock områden med dels normalberg, dels dalgångar där berget kan antas vara mer uppsprucket. I de angivna intervallen i Figur 4-12 har den högre konduktiviteten använts.

För att beskriva det översta lager av bergmassan som generellt är mer vittrat och uppsprucket har också en zon om 3 - 4 meter med högre hydraulisk konduktivitet definierats i modellerna. För fyra sektioner har en sådan zon inte definierats då dessa sektioner sammanfaller med svaghetszoner och bergmassan därmed redan getts en högre hydraulisk konduktivitet. Identifierade svaghetszoner som korsar tvärsektionerna i vinkel längs tunnellen och i Glömstadalen har generellt inte tagits hänsyn till då motsvarande grundvattenflöde inte går att representera i den tvådimensionella modellen.

Ytterligare ett egenskapsområde som representeras i modellerna är tätningssonen kring tunneln. Zonen ska motsvara den del av bergmassan närmast tunneln där för- och efterinjektering utförs och har i modellerna givits mäktigheten sex meter och konduktiviteten  $1 \cdot 10^{-8}$  m/s baserat på erfarenheter från normalt injekteringsförfarande.

Randvillkor har ansatts i modellerna för att representera grundvattenbildning, dränering, bräddning, utflöde i Glömstadalen samt inläckage till dagvattentunnel och planerad tunnel. I modellernas ändar, som avgränsats på omkring en kilometers avstånd från tunneln, har grundvattenytan ansatts till 1,5 meter under markytan.

Grundvattenbildningen som använts i modellerna (Tabell 4-4) har definierats utifrån antaganden om att den är ungefär densamma som nettonederbörden (avrinningen) i området och att den varierar utifrån jordart, markanvändning och topografi. Nettonederbörden inom aktuellt delavrinningsområde är enligt SMHI:s modellering ca 260 mm/år (Vattenwebb, 2018-08-17) vilket utgjort den maximala grundvattenbildningen. Variationen mellan jordarter har dels baserats på uppgifter om grundvattenbildning i svenska typjordar som beskrivs av Rodhe et al. (2006), dels baserats på erfarenheter från tidigare projekt. För berg har grundvattenbildningen antagits överensstämma med



de resultat som Rodhe och Bockgård (2006) redovisar för kristallint berg i trakten kring Uppsala. I modellerna har grundvattenbildningen låtit variera inom de specificerade intervallen utifrån topografi, med lägre andel perkolations och större förväntad ytavrinning i brantare områden och omvänt.

Tabell 4-4. Antagen grundvattenbildning till jord och berg samt i urbana områden.

| Egenskapsområde          | Grundvattenbildning (mm/år) |
|--------------------------|-----------------------------|
| Ytligt berg              | 20 - 40                     |
| Moränjord                | 220 - 260                   |
| Sand                     | 220 - 260                   |
| Lera                     | 0 - 20                      |
| Torrskorpelera           | 100 - 140                   |
| Urbana områden (Glömsta) | 120 - 160                   |

För att i Glömstadalen beskriva den dränerande effekt som svaghetszonen som löper i Glömstadalens mitt förväntas ha, och som ger ett flöde vinkelrätt mot tvärsektionerna, har randvillkor motsvarande konstant utflöde använts längs botten av det undre magasinet i moränjorden. Utflödet varierar enligt utförd kalibrering mellan 50 och 80 mm/år.

#### 4.3.2.3 Arbetsgång

För samtliga tvärsektioner har modellering utförts för en jämviktslösning (steady state) innebärande att grundvattennivåer och -flöden speglar medelsituationen över ett år. Flöde har i modellerna tillåtits i både den omättade och mättade zonen, med en konduktivitet i den omättade zonen som baseras på mättnadsgrad. Modellerna har initialt kalibrerats och anpassats för att representera befintliga förhållanden varefter tunneln har introducerats. För att undersöka betydelsen hos ansatta parametrar och antaganden har även känslighetsanalys gjorts.

#### 4.3.2.4 Kalibrering

Kalibrering av grundvattenmodeller utförs för att justera modellparametrar så att modellerna genererar nivåer och flöden som är så lika motsvarande observerade värden som möjligt. I detta fall har endast en översiktlig kalibrering utförts på grund av modellernas förenklade uppbyggnad och eftersom hydraulisk konduktivitet för berg och jord ansatts baserat på resultat från platsspecifika vattenförlustmätningar respektive pulstester. De parametrar som justerats är istället endast grundvattenbildning och utflöde ur Glömstadalen. För varje tvärsektion, som är omkring 2–3 kilometer lång, har i snitt två grundvattenrör varit lokaliserade till modellens närhet. Syftet med den kalibrering som utförts har därför varit att erhålla rimliga grundvattennivåer och att införa så få begränsningar i modellerna som möjligt. Justeringar har framförallt gjorts när den modellerade grundvattennivån legat över markytan.

#### 4.3.2.5 Beräkningsfall

För respektive modell har två beräkningsfall ställts upp med den planerade tunneln:

- Fall 1: bergtunnel utan tätning
- Fall 2: bergtunnel med tätning där täthetszonen uppnått den hydrauliska konduktiviteten  $1 \cdot 10^{-8}$  m/s

#### 4.3.2.6 Känslighetsanalys

För att undersöka modellernas reaktioner vid förändring av modellparametrar och antaganden har känslighetsanalyser utförts för två modeller, 5300 och 5810. Tvärsektion 5300 har använts för att representera de modeller där tunneln passerar genom områden med normalberg medan 5810 använts för att representera modeller som anpassats till identifierade svaghetszoner.

Känslighetsanalysen har utgått från ett referensfall med definierade modellparametrar och egenskaper varefter justering gjorts för en parameter i taget enligt ett antal scenarier. De parametrar och inställningar som testats är hydraulisk konduktivitet i berg och moränjord, randvillkor för utflöde i Glömstadalen, grundvattenbildning, konduktivitetens variation utifrån mätnadsgrad samt mättat/omättat flöde. Det sistnämnda testet syftade till att undersöka skillnaden mellan scenariot då egenskaperna i den omättade zonen är desamma som i den mättade zonen och scenariot då egenskaperna varierar mellan zonerna (referensfallet).

Känsligheten har studerats genom att jämföra modellerade påverkansområden och inläckage till en otätad tunnel för de olika scenarierna. I Tabell 4-5 redovisas resultat för tvärsektion 5300 och i Tabell 4-6 för tvärsektion 5810. Den procentuella skillnaden är en jämförelse mot resultaten i referensfallet vilket innebär att skillnaden blir noll för de rader som representerar detta scenario. För parametrarna som rör konduktivitetens variation utifrån mätnadsgrad har analysen inte påvisat någon väsentlig variation i varken påverkansområdets utbredning eller inläckage och resultatet redovisas därför inte i tabellerna.

I Tabell 4-5 kan utläsas att den hydrauliska konduktiviteten hos berg har en tydlig inverkan på påverkansområdets utbredning och inläckaget till den otätade tunneln i tvärsektion 5300. Högre konduktivitet ger större påverkansområde och större inläckage. Även grundvattenbildningen påverkar resultatet genom större inläckage vid högre grundvattenbildning och omvänt, men däremot inte utbredningen hos påverkansområdet. För övriga parametrar som ingått i analysen ses ingen betydande skillnad i resultatet för de scenarier som testats.

Tabell 4-5. Resultat från känslighetsanalys för tvärsektion 5300. Den procentuella skillnaden avser skillnaden mot referensfallet för respektive scenario. För referensfallet anges därmed alltid skillnaden 0%.

| Parameter                                                   | Scenarier                                                         | Procentuell skillnad<br>påverkansområde<br>Norrut | Procentuell skillnad<br>påverkansområde<br>Söderut | Procentuell skillnad<br>inläckage |
|-------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|----------------------------------------------------|-----------------------------------|
| <b>Hydraulisk<br/>konduktivitet<br/>berg (m/s)</b>          | $10^{-7}$                                                         | 1,4%                                              | 4,7%                                               | 28,7%                             |
|                                                             | $5 \cdot 10^{-8}$<br>(referensfall)                               | 0,0%                                              | 0,0%                                               | 0,0%                              |
|                                                             | $1 \cdot 10^{-8}$                                                 | -62,0%                                            | -10,9%                                             | -30,7%                            |
| <b>Hydraulisk<br/>konduktivitet<br/>moränjord<br/>(m/s)</b> | $5 \cdot 10^{-5}$                                                 | 0%                                                | -8%                                                | 0%                                |
|                                                             | $10^{-5}$                                                         | 0%                                                | -3%                                                | 0%                                |
|                                                             | $5 \cdot 10^{-6}$<br>(referensfall)                               | 0%                                                | 0%                                                 | 0%                                |
|                                                             | $10^{-6}$                                                         | 2%                                                | 2%                                                 | 0%                                |
|                                                             | $5 \cdot 10^{-7}$                                                 | 2%                                                | 2%                                                 | -1%                               |
| <b>Omättat/mättat<br/>flöde</b>                             | Samma<br>egenskaper i<br>mättad,<br>omättad zon                   | 1%                                                | 3%                                                 | 11%                               |
|                                                             | Olika<br>egenskaper i<br>mättad,<br>omättad zon<br>(referensfall) | 0%                                                | 0%                                                 | 0%                                |
| <b>Randvillkor<br/>utflöde<br/>Glömstadalen</b>             | 50 mm                                                             | -1%                                               | 0%                                                 | 3%                                |
|                                                             | 70 mm<br>(referensfall)                                           | 0%                                                | 0%                                                 | 0%                                |
|                                                             | 90 mm                                                             | 1%                                                | 0%                                                 | -4%                               |
| <b>Grundvatten-<br/>bildning</b>                            | ca 30% lägre                                                      | 1%                                                | 2%                                                 | -19%                              |
|                                                             | Referensfall                                                      | 0%                                                | 0%                                                 | 0%                                |
|                                                             | ca 30% högre                                                      | -1%                                               | 0%                                                 | 18%                               |

Även för tvärsektion 5810 har den hydrauliska konduktiviteten hos berg och grundvattenbildningen tydlig inverkan på resultatet (se Tabell 4-6). Dessutom ses att både moränjordens hydrauliska konduktivitet och modellering med samma egenskaper i mättad och omättad zon till viss del påverkar utbredning och inläckage.

Tabell 4-6. Resultat från känslighetsanalys för tvärsektion 5810. Den procentuella skillnaden avser skillnaden mot referensfallet för respektive scenario. För referensfallet anges därmed alltid skillnaden 0%.

| Parameter                                               | Scenarier                                                         | Procentuell skillnad<br>påverkansområde<br>Norrut | Procentuell skillnad<br>påverkansområde<br>Söderut | Procentuell skillnad<br>inläckage |
|---------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|----------------------------------------------------|-----------------------------------|
| <b>Hydraulisk<br/>konduktivitet<br/>berg (m/s)</b>      | $10^{-6}$                                                         | 1,0%                                              | 19,0%                                              | 63,4%                             |
|                                                         | $5 \cdot 10^{-7}$<br>(referensfall)                               | 0,0%                                              | 0,0%                                               | 0,0%                              |
|                                                         | $10^{-7}$                                                         | -27,5%                                            | -49,2%                                             | -50,3%                            |
| <b>Hydraulisk<br/>konduktivitet<br/>moränjord (m/s)</b> | $5 \cdot 10^{-5}$                                                 | -28%                                              | -40%                                               | 9%                                |
|                                                         | $10^{-5}$                                                         | 0%                                                | 8%                                                 | 2%                                |
|                                                         | $5 \cdot 10^{-6}$<br>(referensfall)                               | 0%                                                | 0%                                                 | 0%                                |
|                                                         | $10^{-6}$                                                         | 4%                                                | 14%                                                | -3%                               |
| <b>Mättat/omättat<br/>flöde</b>                         | Samma<br>egenskaper i<br>mättad,<br>omättad zon                   | 1%                                                | 35%                                                | 35%                               |
|                                                         | Olika<br>egenskaper i<br>mättad,<br>omättad zon<br>(referensfall) | 0%                                                | 0%                                                 | 0%                                |
| <b>Randvillkor<br/>utflöde<br/>Glömstadalen</b>         | 60 mm                                                             | -3%                                               | 5%                                                 | 1%                                |
|                                                         | 80 mm<br>(referensfall)                                           | 0%                                                | 0%                                                 | 0%                                |
|                                                         | 100 mm                                                            | 1%                                                | 5%                                                 | -1%                               |
| <b>Grundvatten-<br/>bildning</b>                        | ca 30% lägre                                                      | 1%                                                | 13%                                                | -9%                               |
|                                                         | Referensfall                                                      | 0%                                                | 0%                                                 | 0%                                |
|                                                         | ca 30% högre                                                      | -3%                                               | -3%                                                | 12%                               |

#### 4.3.3 Resultat

Modellerat inläckage för Fall 1 (otätad tunnel) kan ses i Tabell 4-7 och för Fall 2 (tätad tunnel) i Tabell 4-8. Tunneln har delats in i ett antal delsträckor (LM från – LM till) som representerar delområden i den hydrauliska modellen för bergets konduktivitet. Till varje delsträcka hör en tvärsektion som modellerats med motsvarande konduktivitet i berg. I botten på tabellerna summeras inläckaget till hela tunneln och ett medelinläckage per 100 meter tunnel beräknas. Störst inläckage förväntas ske vid svaghetszonerna omkring Loviseberg där berget har hög hydraulisk konduktivitet, men här har tätningen också störst effekt.



Tabell 4-7. Inläckage Fall 1: otätad tunnel.

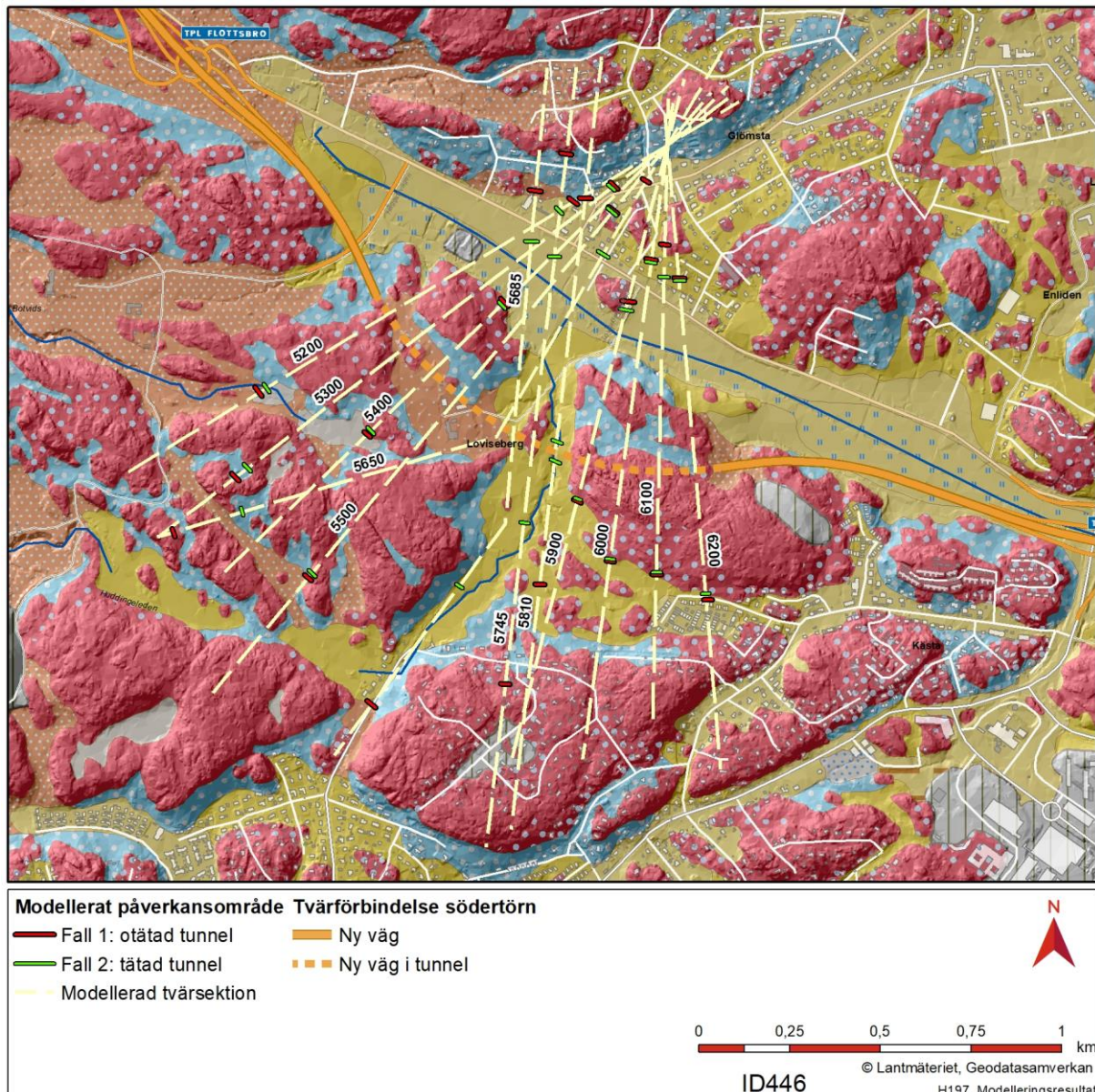
| LM från                         | LM till | Sträcka (m) | K-berg för sträckan (m/s) | Modellerad SEEP-sektion | Inläckage SEEP-sektion (l/min/meter) | Summerat inläckage per sträcka (l/min/sträcka) |
|---------------------------------|---------|-------------|---------------------------|-------------------------|--------------------------------------|------------------------------------------------|
| 5/140                           | 5/240   | 100         | $1 \cdot 10^{-7}$         | 5200                    | 0,10                                 | 9,7                                            |
| 5/240                           | 5/350   | 110         | $5 \cdot 10^{-8}$         | 5300                    | 0,10                                 | 11,1                                           |
| 5/350                           | 5/450   | 100         | $5 \cdot 10^{-8}$         | 5400                    | 0,13                                 | 13,2                                           |
| 5/450                           | 5/575   | 125         | $5 \cdot 10^{-8}$         | 5500                    | 0,10                                 | 12,3                                           |
| 5/575                           | 5/665   | 90          | $1 \cdot 10^{-6}$         | 5650                    | 0,51                                 | 46,1                                           |
| 5/665                           | 5/700   | 35          | $1 \cdot 10^{-6}$         | 5685                    | 0,56                                 | 19,7                                           |
| 5/700                           | 5/775   | 75          | $5 \cdot 10^{-7}$         | 5745                    | 0,39                                 | 28,9                                           |
| 5/775                           | 5/850   | 75          | $5 \cdot 10^{-7}$         | 5810                    | 0,50                                 | 37,3                                           |
| 5/850                           | 5/950   | 100         | $1 \cdot 10^{-7}$         | 5900                    | 0,13                                 | 13,0                                           |
| 5/950                           | 6/050   | 100         | $1 \cdot 10^{-7}$         | 6000                    | 0,10                                 | 9,8                                            |
| 6/050                           | 6/150   | 100         | $1 \cdot 10^{-7}$         | 6100                    | 0,09                                 | 8,9                                            |
| 6/150                           | 6/280   | 130         | $1 \cdot 10^{-7}$         | 6200                    | 0,07                                 | 9,5                                            |
| Summa Glömstatunneln:           |         |             |                           |                         |                                      | 219 l/min                                      |
| Inläckage per enhetslängd 100m: |         |             |                           |                         |                                      | 19,2 l/min/100m                                |

Tabell 4-8. Inläckage Fall 2: tätad tunnel.

| LM från                         | LM till | Sträcka (m) | K-berg för sträckan (m/s) | Modellerad SEEP-sektion | Inläckage SEEP-sektion (l/min/meter) | Summerat inläckage per sträcka (l/min/sträcka) |
|---------------------------------|---------|-------------|---------------------------|-------------------------|--------------------------------------|------------------------------------------------|
| 5/140                           | 5/240   | 100         | $1 \cdot 10^{-7}$         | 5200                    | 0,07                                 | 7,1                                            |
| 5/240                           | 5/350   | 110         | $5 \cdot 10^{-8}$         | 5300                    | 0,09                                 | 10,0                                           |
| 5/350                           | 5/450   | 100         | $5 \cdot 10^{-8}$         | 5400                    | 0,12                                 | 11,6                                           |
| 5/450                           | 5/575   | 125         | $5 \cdot 10^{-8}$         | 5500                    | 0,09                                 | 11,5                                           |
| 5/575                           | 5/665   | 90          | $1 \cdot 10^{-6}$         | 5650                    | 0,18                                 | 15,8                                           |
| 5/665                           | 5/700   | 35          | $1 \cdot 10^{-6}$         | 5685                    | 0,17                                 | 5,9                                            |
| 5/700                           | 5/775   | 75          | $5 \cdot 10^{-7}$         | 5745                    | 0,16                                 | 11,8                                           |
| 5/775                           | 5/850   | 75          | $5 \cdot 10^{-7}$         | 5810                    | 0,18                                 | 13,4                                           |
| 5/850                           | 5/950   | 100         | $1 \cdot 10^{-7}$         | 5900                    | 0,08                                 | 8,3                                            |
| 5/950                           | 6/050   | 100         | $1 \cdot 10^{-7}$         | 6000                    | 0,07                                 | 7,1                                            |
| 6/050                           | 6/150   | 100         | $1 \cdot 10^{-7}$         | 6100                    | 0,06                                 | 6,4                                            |
| 6/150                           | 6/280   | 130         | $1 \cdot 10^{-7}$         | 6200                    | 0,06                                 | 7,4                                            |
| Summa Glömstatunneln:           |         |             |                           |                         |                                      | 116 l/min                                      |
| Inläckage per enhetslängd 100m: |         |             |                           |                         |                                      | 10,2 l/min/100m                                |

Det modellerade påverkansområdets utbredning för både tätad och otätad tunnel ses i Figur 4-15. För otätad tunnel sträcker sig påverkan i nästintill alla modeller till norra sidan av Glömstadalen. I tvärsektion 5650 passerar påverkan också det höjdparti med berg i dagen som löper längs den norra sidan av dalen. Söderut varierar utbredningen av påverkan men begränsas oftast av höjdområden berg

i dagen. I tvärsektion 5650 och 5685 som modellerats med hög hydraulisk konduktivitet i berg sträcker sig påverkan längst bort från tunneln. Precis som för det beräknade inläckaget ses att tätningens effekt och reduceringen av påverkansområdet är som störst för de tvärsektioner vid Loviseberg som följer svaghetszoner. Specifikt i 5810 reduceras påverkan helt vid tätning, vilket delvis skulle kunna förklaras av att det inte är mer än cirka 12 meter mellan tunneltak och markyta i detta läge.



Figur 4-15. Modellerat påverkansområde för otätad och tätad Glömstatunnel. För ett antal sektioner är påverkan lika eller nästan lika för de två fallen, vilket innebär att markeringarna för påverkan överlappar. I den underliggande jordartskartan ses yttligt berg i rött, tunna moränskit på berg som blå prickar, moränjordar i blått med prickar, sandjord i orange, lera i gult och fyllnadsjord i grått med skraffering.

#### 4.3.4 Diskussion

Då modellering gjorts för en jämviktslösning (steady state) representerar de resultat som erhållits tunnelns påverkan i driftskede. På grund av begränsningarna i den tvådimensionella modelleringen bör resultatet endast ses som vägledning för bedömning av påverkansområde och inläckage. Påverkan har vidare beräknats för två fall, otätad respektive tätad tunnel, men i denna PM görs ingen värdering i hur och var injektering av tunneln bör utföras.

Vid all grundvattenmodellering förekommer en mängd osäkerheter kring hur väl modellen representerar verkligheten. En av de främsta osäkerheterna i denna modellering har varit vilken inverkan tredimensionella effekter, det vill säga flöden i annan riktning än de som är möjliga inom de tvådimensionella modellerna, har på den faktiska grundvattenpåverkan från tunneln. Den tvådimensionella modellen skulle kunna vara begränsande för utbredningen av påverkan genom att den utgår från en sektion i taget och därmed inte tar hänsyn till påverkan från tunneln som helhet. Men påverkan kan också tänkas bli mindre när hänsyn tas till tredimensionella effekter som exempelvis vattenförande sprickzoner eller andra flöden som korsar modellen i vinkel genom att de verkar som trösklar eller hydrauliska gränser. Ett exempel på detta är den potentiellt vattenförande sprickzonen som löper i Glömstadalens mitt och som skulle kunna utgöra en nordlig begränsning för tunnelns grundvattenpåverkan. Utifrån tillgängliga data är det dock svårt att på ett tillförlitligt sätt bedöma inverkan från de flöden som korsar modellerna. Utbredningen av påverkan bör istället utgöra en sammanvägning av erhållna resultat från känslighetsanalyser, vattenbalansberäkningar och erfarenhetsmässig bedömning.

En annan osäkerhet i den utförda modelleringen är hur de ansatta hydrauliska parametrarna utgått från egenskaper som bestämts för området kring tunnelns närhet men applicerats i hela modellen. Framförallt gäller detta den hydrauliska konduktiviteten i berget, som i känslighetsanalyserna visats ha stort inflytande över resultatet. Samtliga tvärsektioner, men i olika omfattning, korsar områden med normalberg och dalgångar där berget kan antas vara mer uppsprucket. Även i de fall tvärsektionerna anpassats för att följa svaghetszoner når de i någon ände berg som kan antas vara tätare än det vid svaghetszonen. Detta innebär att den tröskeleffekt som det tätare berget skulle haft i verkligheten inte återspeglas i modellens resultat, vilket vi till exempel ser för sektion 5650 där påverkansområdet norrut sträcker sig förbi det höjddparti som löper längs Glömstadalens norra sida genom bostadsområdet.

Från de utförda känslighetsanalyserna kan utläsas att det är bergets hydrauliska konduktivitet och applicerad grundvattenbildning som i störst utsträckning påverkar resultatet. Analysen visar också att den hydrauliska konduktiviteten hos moränjorden endast har betydelse för resultatet när sådana jordlager sträcker sig över stora delar av modellen, vilket omfattar de sektioner som följer svaghetszoner. Modellering med samma egenskaper i den omättade och mättade zonen ger också en viss ökning av tunnelns påverkan vilket beror på att den omättade zonen då har en högre hydraulisk konduktivitet som i sin tur medger ett större flöde där. I verkligheten begränsas dock flödet i den omättade zonen normalt av att porerna inte är helt vattenfyllda, vilket det andra modellerade scenariot representerar. Begränsningen skapar en buffrande effekt mot dränerande anläggningar som också kunnat noteras i ett flertal av modellerna genom att det kvarstår en liten mättad zon i jordlager rakt över tunneln. Känsligheten för denna parameter är dessutom antagligen mindre i fallet för en tätad tunnel eftersom den omättade zonen då är inte har lika stor utbredning. I resultatet kan också utläsas

att det förekommer ränder/trösklar i modellerna som har större inverkan på utbredningen hos påverkan än parametervärdet. Detta gäller framförallt påverkan norrut mot Glömstadalen, där resultatet visar att påverkan inte blir större än i referensfallet för någon parameter trots att både påverkan söderut och inläckaget till tunneln förändras stort. I Figur 4-15 ses att denna gräns för påverkan utgörs av höjddpartiet på norra sidan av Glömstadalen. De osäkerheter som finns i hur övriga parametrar valts, till exempel randvillkoret för utflöde i Glömstadalen, bedöms utifrån utförd analys vara negligerbara.

Sammanfattningsvis finns osäkerheter i modellerade resultat men också viktig information gällande potentiella naturliga trösklar/ränder för utbredningen av påverkan. Redovisade resultat utgör därmed inte en slutgiltig beskrivning av förväntad påverkan från tunneln. Påverkan ska istället bedömas genom att väga samman erhållna resultat med uppgifter från känslighetsanalyser, vattenbalansberäkningar och tidigare erfarenheter.

#### **4.4 Numerisk modellering Solgårdstunneln**

Vid trafikplats Solgård förläggs tvärförbindelsen i betongtunnel och tråg för möjliggörande av planskild passage av väg 226 samt Västra stambanan. Schaktning i jord bedöms behöva utföras som mest ner till ett djup om 10 m. Beräkning av tunnelns påverkansområde och det förväntade inläckaget har utförts i programmet FEFLOW genom tredimensionell grundvattenmodellering.

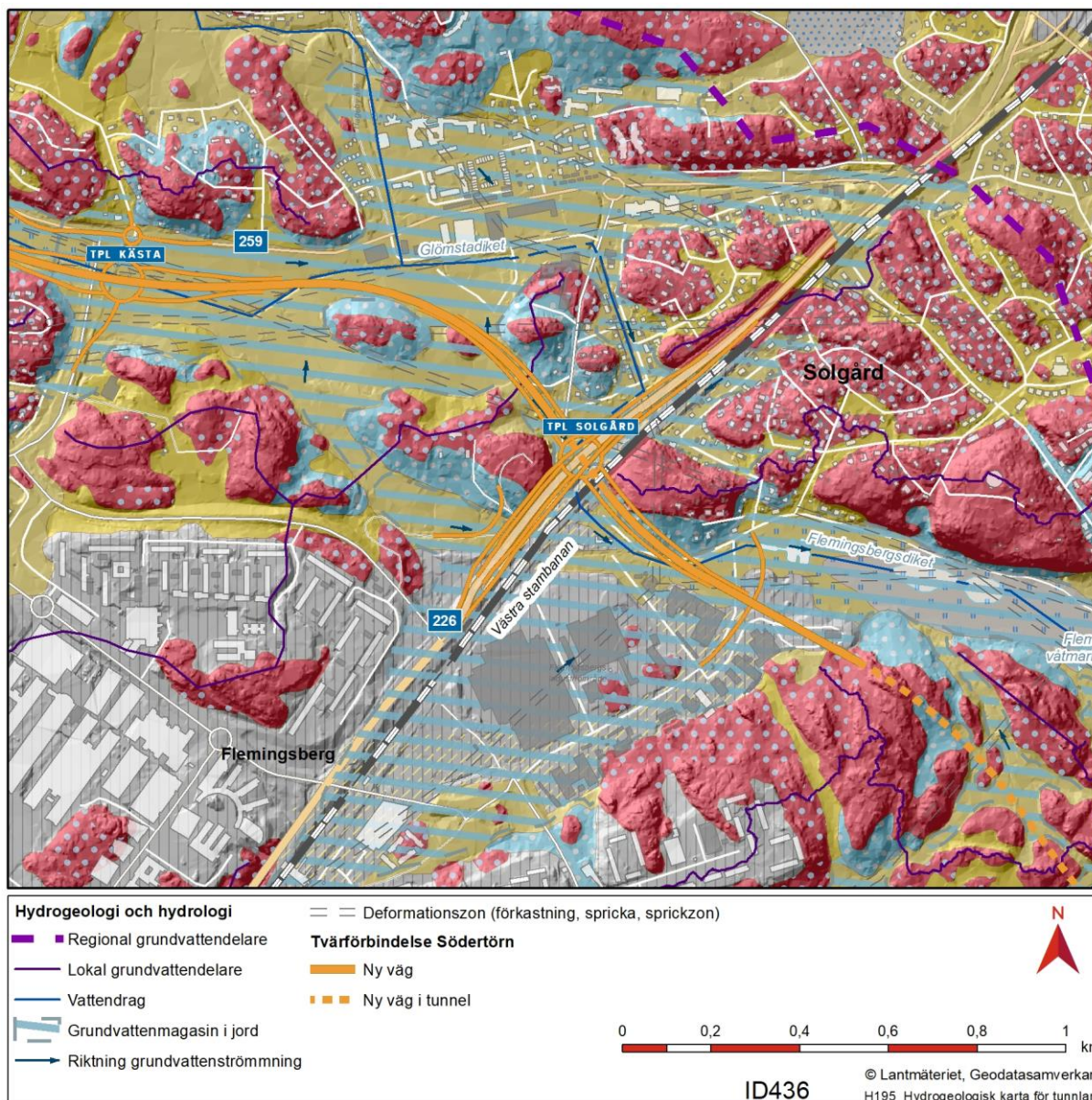
##### **4.4.1 Områdesbeskrivning**

Landskapet kring den planerade Solgårdstunneln karaktäriseras av Glömstadalen, som utgör en nordvästlig-sydöstlig, i huvudsak lerfylld, sprickdalgång. Lerjordlagret saknas ställvis i dalgångens randzoner mot omgivande höjdområden, samt i anslutning till förekommande åkerholmar, där friktionsjord går i dagen längs smala stråk. Under den annars mäktiga lerjorden finns friktionsjordar bestående av sandig-grusig morän. Lerjordens mäktighet i centrala delar av dalformationen varierar mellan 5 och 15 m och stiger generellt mot sydost. De översta metrarna av leran i dalgången utgörs av en dränerad lera med uppsprucken torrskorpa.

Grundvattentillgångarna i Glömstadalen utgörs huvudsakligen av slutna magasin i de vattenförande moränjordarna under lerjord. Den huvudsakliga strömningsriktningen sker mot öst och följer i stort Östra Glömstadikets/Flemingsbergsdikets strömfåra ner mot Flemingsbergsviken. Grundvattnets trycknivå i undre magasin längs centrala delarna av dalgången ligger generellt ovan marknivå. Vid höga grundvattenstånd sker troligtvis utströmning av grundvatten från undre till övre magasin. Från övre magasin avrinner vattnet sedermera vidare som ytvatten via dränerande diken. Vattenförande sprickzoner i det underliggande berget har troligtvis stor betydelse för utbredningen av undre grundvattenmagasin genom att skapa alternativa strömningsvägar för grundvattnet när variationer i jordart, lagermäktigheter eller bergets nivå/beskaffenhet annars skulle ha begränsat grundvattenströmningen. Lokala, öppna, övre magasin kan förekomma i ytlig torrskorpelera/fyllningsjord ovan lera. Inom Östra Flemingsbergs industriområde samt längs väg 226 och Västra Stambanan har naturligt förekommande yttjord ersatts med fyllningsjord.

En översiktskarta över modellområdet och bedömda grundvattendelare presenteras i Figur 4-16.





Figur 4-16. Hydrogeologisk karta för området kring Solgårdstunneln (under TPL Solgård). I den underliggande jordartskartan ses ytligt berg i rött, tunna moränsikt på berg som blå prickar, moränjorlar i blått med prickar, lera i gult och fyllnadsjord i grått med skraffering.

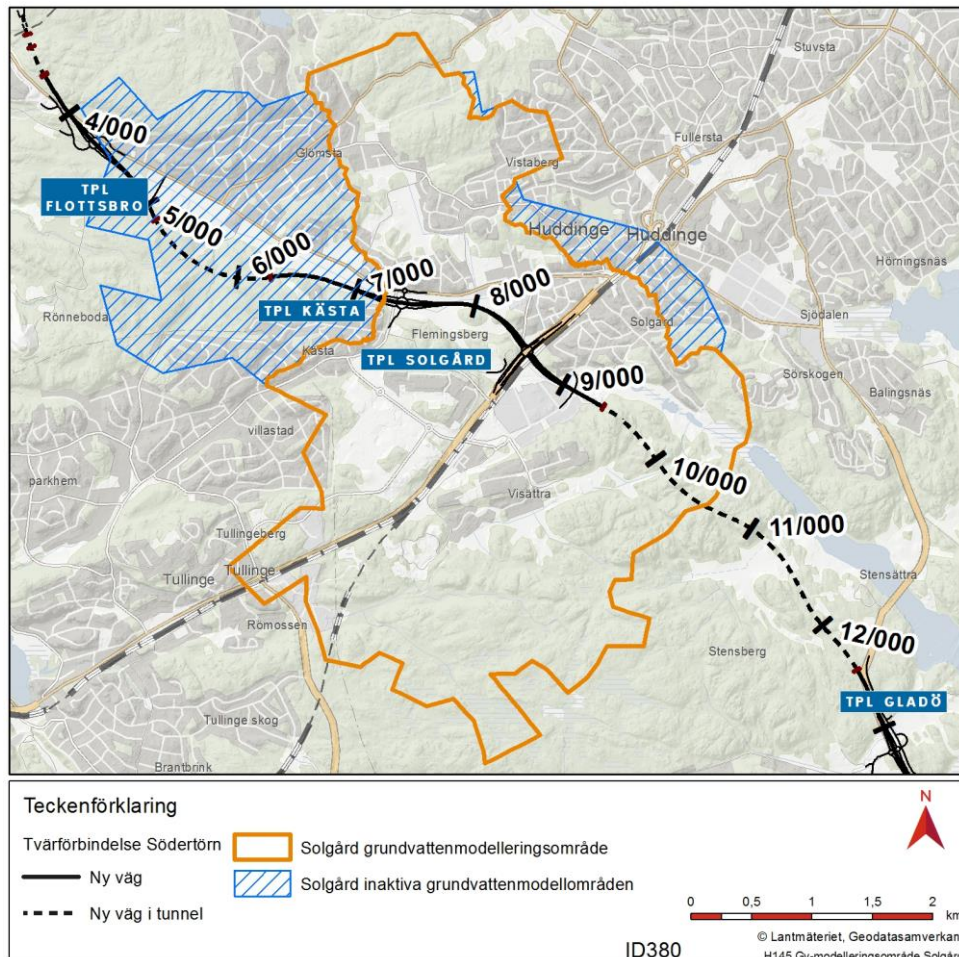
#### 4.4.2 Metodik

##### 4.4.2.1 Konceptualisering

Modellen är uppbyggd över ett ca 13 km<sup>2</sup> stort område och baseras på bedömda hydrogeologiska gränser på ett tillräckligt stort avstånd från tråg- och tunnelsträckning. Initialt byggdes modellen upp över ett större område på grund av oklarheter i vattendelare. I ett senare skede valdes att delar av modellen skulle inaktiveras snarare än att hela modellen skulle byggas upp på nytt. Inaktiva ytor beräknas inte i modellen men i redovisningen nedan av modelluppbyggnad framgår hela



modellområdet då det inte är möjligt att redovisa separerat. Det aktiva och det inaktiva modellområdet framgår av Figur 4-17.



Figur 4-17. Modellområde kring Solgårdstunneln.

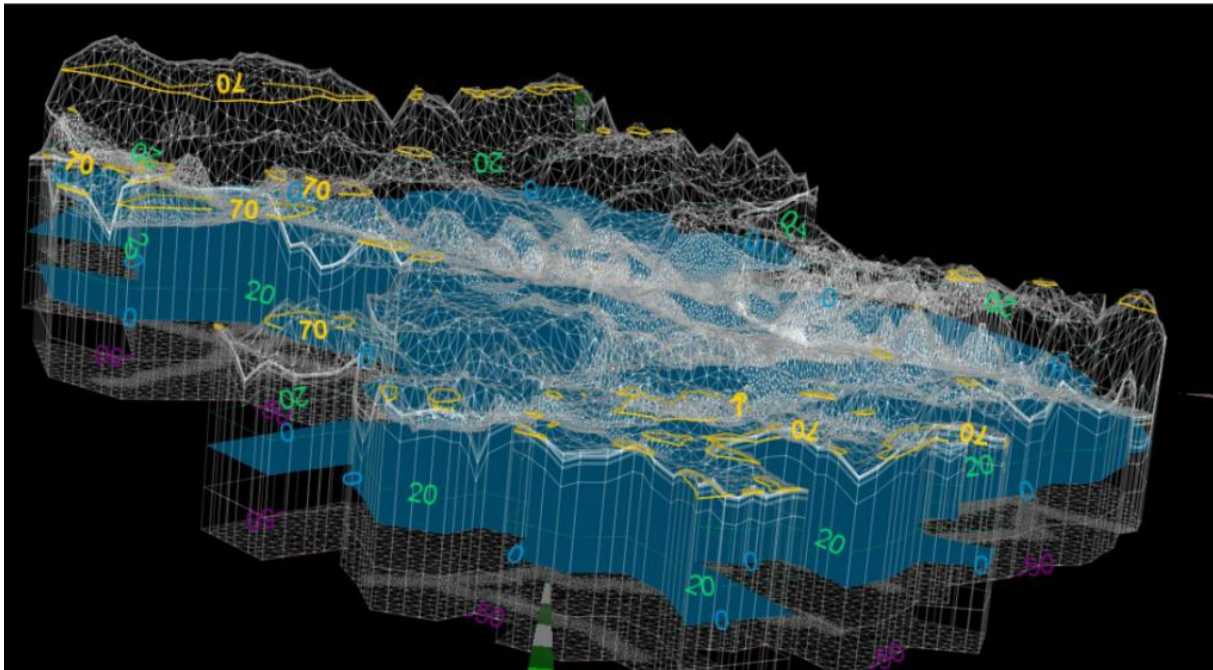
#### 4.4.2.2 Modelluppbyggnad

Modellen har programmerats som en delvis sluten, delvis öppen akvifer i jämviktsläge (steady state). Totalt består modellen i plan av 25241 beräkningsnoder och 50125 element med hög detaljeringsgrad i anslutning till projekterad tunnelsträckning. Modellen är uppbyggd till ett djup av -50, med en markyta varierande mellan ca +20 och +90, vilket ger en modellmaktighet mellan 70 och 140 m. Modellen är indelad i 15 beräkningslager, där lagergränserna utgörs dels av geologiska enheter, dels av begränsningsytor för tunnel och trågkonstruktion.

Uppbyggnad av beräkningsnät har tagit hänsyn till vattendrag, närliggande provpumpningsbrunn samt tunnelsträckning vilka getts högre upplösning. Topografi har baserats på den tredimensionella modell för markyta som tagits fram inom ramarna för projektet. Bergöverytan är interpolerad från ett stort antal sonderingar och borrhningar i närheten av planerad väg- och tunnellinje, och har kompletterats med data från SGU:s brunnssdatabas i områden där det inte finns mindre data (på grund av sämre noggrannhet i brunnssdatabasen är brunnssdata närmare än 50 meter från en mer detaljerad borrhning/sondering exkluderad). I områden med dålig datatäckning har stödpunkter genererats och

manuell justering av bergytan utförts med hänsyn till närliggande data, exempelvis genomförda borrhningar och SGU:s jordartskarta.

I Figur 4-18 presenteras en översikt av det vertikala och horisontella beräkningsnätet. Det numeriska beräkningsnätet är sammantaget komplext och detaljerat både i horisontal- och vertikalled.



Figur 4-18. Vertikalt och horisontellt beräkningsnät, översikt.

#### 4.4.2.3 Egenskapsområden

Ingående element i beräkningsnätet har ansatts med egenskaper baserat på genomförda undersökningar i området (Tvärförbindelse Södertörns geotekniska databas-GeoBIM) och allmänna geologiska kunskaper om området (SGU:s jordartskarta och bergdjupskarta). Litteraturvärden, resultat från provpumpning samt utförda pulstester i grundvattenrör har använts för att sätta siffror på egenskapsområdenas hydrauliska konduktivitet. I de delar av modellen där inga undersökningar har genomförts har rimliga skattningar av parametervärden tillämpats. Strävan har varit att förenkla den komplexa och bitvis dåligt kända till en praktiskt användbar modell och vissa generaliseringar har därmed varit nödvändiga. Konceptuellt är området förenklat till tre huvudlager.

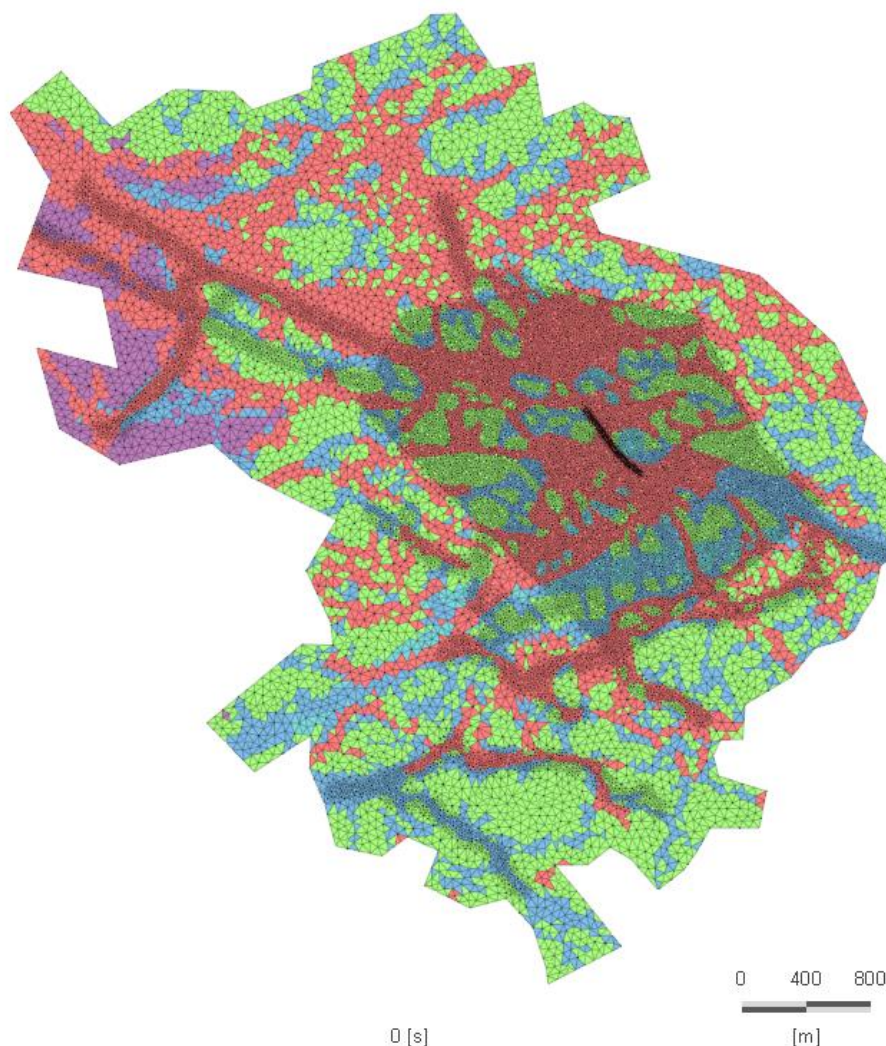
Huvudlager 1 har i stort egenskaper motsvarande de jordarter som är karterade i SGU:s jordartskarta (primärt lera, morän, berg i dagen). Underkant på lagret är i huvudsak satt till bedömd underkant lera (där sådan finns), vilken interpolerats med data från de undersökningspunkter som vid modelleringstillfället utförts och tolkats.

Huvudlager 2 begränsas i djup av tolkad bergöveryta. Detta lager har egenskaper motsvarande friktionsmaterial (under lera eller morän) eller berg (under berg i dagen).



Huvudlager 3 har egenskaper motsvarande berg. Lagret begränsas av en fast botten på nivå -50. Berggrunden representeras i modellerna som ett poröst och isotropt medium, där en genomsnittlig konduktivitet representerar de lokala och regionala sprickzoner varifrån vatten letar sig fram.

De 3 ovan beskrivna huvudlagerna är därefter indelade i fler lager för att ansätta noggrannare egenskaper, exempelvis torrskorpelera i de övre lerlagerna, samt för högre noggrannhet beräkningsmässigt. Ansatta egenskapsområden i lager 1 redovisas i Figur 4-19.



Figur 4-19. Jordlagermodell Solgård. Rött motsvarar lerområden, grönt motsvarar berg i dagen och turkost motsvarar moränområden.

Resulterande hydraulisk konduktivitet efter kalibrering för de olika typjordarna presenteras i

Tabell 4-9.

Tabell 4-9. Kalibrerade hydrauliska konduktiviteter i generella jordtyper inom modellområdet.

| Jordtyp/bergtyp            | $K_x, K_y$ [m/s]  | $K_z$ [m/s]       |
|----------------------------|-------------------|-------------------|
| Övre lera (torrskorpelera) | $1 \cdot 10^{-4}$ | $1 \cdot 10^{-5}$ |
| Morän/finsand              | $1 \cdot 10^{-6}$ | $1 \cdot 10^{-7}$ |
| Undre sandlager            | $1 \cdot 10^{-5}$ | $1 \cdot 10^{-5}$ |
| Lera                       | $1 \cdot 10^{-9}$ | $1 \cdot 10^{-9}$ |
| Berg i dagen/vittrat berg  | $1 \cdot 10^{-5}$ | $1 \cdot 10^{-7}$ |
| Berggrund                  | $1 \cdot 10^{-7}$ | $1 \cdot 10^{-7}$ |

#### 4.4.2.4 Randvillkor

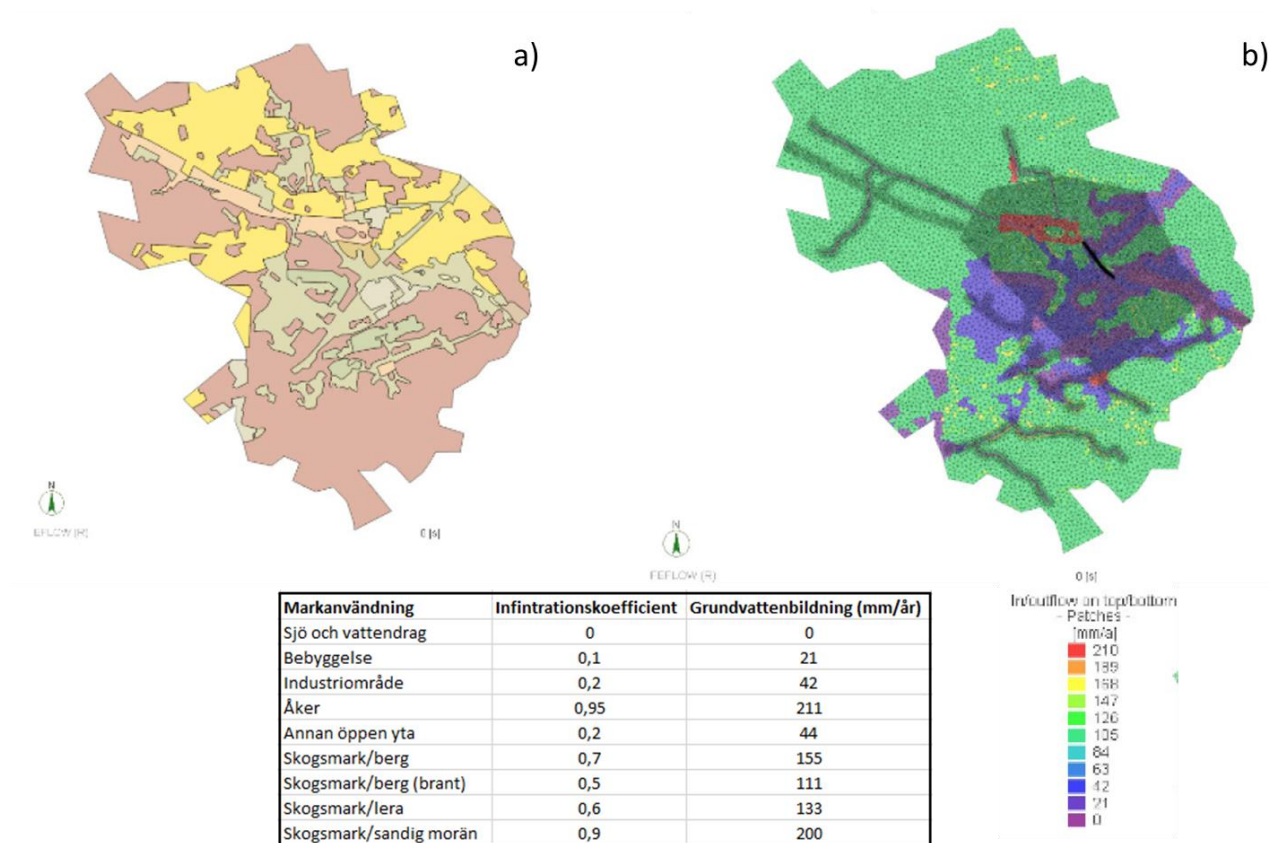
Randvillkor har ansatts i modellen för att representera grundvattenbildning, ytnära dränering, vattendrag och inläckage till tunneln. Randvillkor för ytnära dränering, vattendrag och tunnel är begränsade till att endast tillåta utflöde ur modellen, dvs inga av randvillkoren kan tillföra vatten. Kapaciteten på dräneringens bortledningsförmåga är en faktor vid kalibrering.

In- och utströmningsområde i modellen har möjliggjorts i områden angränsande till Glömstadiket och Flemingsbergsdiket, genom fasthållet tryck i övre beräkningslager. Övriga ytterområden i modellen är behäftade med nollflödesgränser då de baseras på bedömda grundvattendelare.

En dräneringsnivå har ansatts motsvarande 0,5 m under vägöverkant i betongtunneln. Tunnelns dränerande nivå har ansatts med fasthållet tryck i hela tunnelområdet inklusive tråg. Spont har ansatts med 0,5 m tjocklek och en hydraulisk konduktivitet på  $1 \cdot 10^{-8}$  m/s.

Grundvattenbildning har ansatts i översta lagret baserat på nettonederbörd, avrinning och infiltrationskoefficienter (baserade på jordart, markanvändning och topografisk lutning), vilket redovisas i Figur 4-20. En generell nettonederbörd på 220 mm/år har antagits i aktuellt område.





Figur 4-20. a) Markanvändning, b) Grundvattenbildning baserat på nettonederbörd och infiltrationskoefficienter.

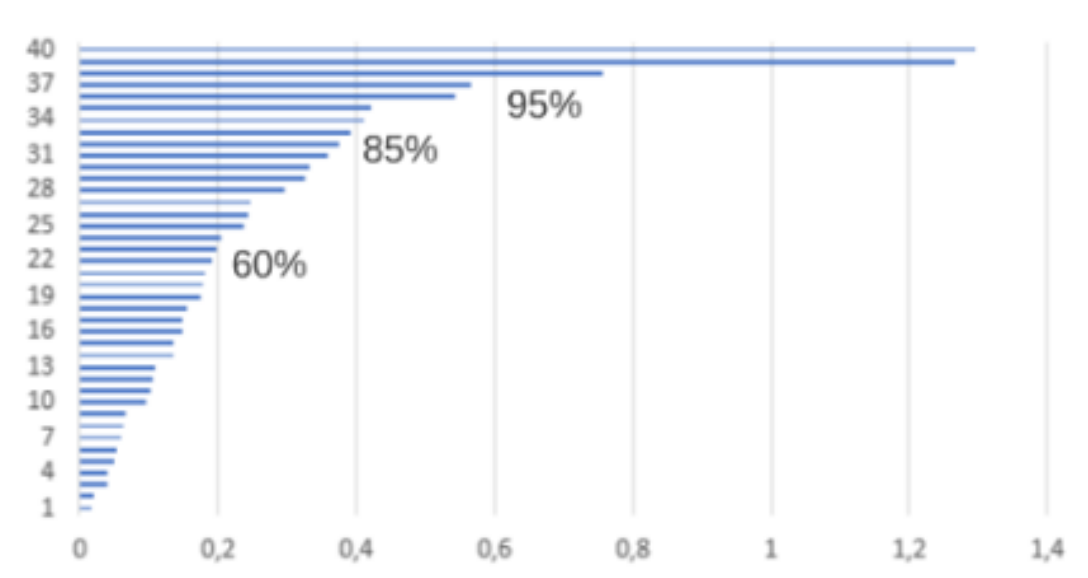
#### 4.4.2.5 Arbetsgång

Modellering har utförts för en jämviktslösning (steady state) innebärande att grundvattennivåer och -flöden speglar medelsituationen över ett år. Flöde har i modellerna tillåtits i både den omättade och mättade zonen. Modellerna har initialt kalibrerats och anpassats för att representera befintliga förhållanden. Därefter har tunneln introducerats.

#### 4.4.2.6 Kalibrering

Kalibrering av modellen har utförts mot medelvärden av relevanta uppmätta grundvattennivåer i området. Kunskap om grundvattennivåer utifrån genomförda undersökningar finns i huvudsak i anslutning till tunnelsträckning.

Generellt nås en mycket god överensstämmelse mot uppmätta medelvärden av grundvattenobservationer längs planerad tunnelsträckning. Felet för 95% av de 40 ingående observationspunkterna är mindre än 0,6 m, och mertalet av observationerna (56%) har en avvikelse mindre än 0,2 m. Med tanke på de säsongsvariationer som finns inom området får detta anses vara ett gott kalibreringsresultat. I Figur 4-21 absoluta fel vid kalibreringen i respektive observationspunkt.



Figur 4-21. Absolut fel i grundvattennivå för de enskilda observationspunkterna.

#### 4.4.2.7 Beräkningsfall

Påverkansområde och inläckage har beräknats för tunnelns byggske. Utförande med och utan spont samt tätning av botten har modellerats. Driftske har inte modellerats då betongtunneln förutsätts bli i princip tät och inte medföra någon betydande påverkan.

Följande beräkningsfall har utförts.

- Beräkningsfall 1: Utförande utan spont.
- Beräkningsfall 2: Utförande med spont där genomsläppligheten ansatts till  $K=1 \cdot 10^{-8}$  över 0,5 m tjocklek.
- Beräkningsfall 3: Utförande med spont där genomsläppligheten ansatts till  $K=1 \cdot 10^{-8}$  över 0,5 m tjocklek, samt helt tät botten.

#### 4.4.3 Känslighetsanalys

En känslighetsanalys har genomförts för att utreda om påverkansområdet från tunnelbygget är väl definierat eller ej. I en första ansats har hydraulisk konduktivitet i berg minskats och i undre sandlager ökat och resultatet (utan kalibrering av grundvattennivåer) har utvärderats. Därefter har fyra parametrar (konduktivitet i berg, sand och berg i dagen, samt grundvattennybildning) varierats runt de två modellerade bas-scenariona. För känslighetsanalysen har en läckande spont enligt beräkningsfall 2 använts. Konduktivitetsvärdena har ändrats med faktorerna 0,2 respektive 5 i känslighetsanalysen enligt Tabell 4-10. Dessutom har grundvattenbildningen varierats med faktorerna 0,667 och 1,5, medförande 81 körningar per modell.

Tabell 4-10. Konduktivitetsvärden för bas-scenariot för de båda undersökta modellerna.

|                 | Ursprungsmodell   |                                     | Känslighetsanalys<br>basvärden |
|-----------------|-------------------|-------------------------------------|--------------------------------|
| Material        | Kx, Ky (m/s)      | Kz (m/s)                            | Kx, Ky, Kz (m/s)               |
| Berg i dagen    | $1 \cdot 10^{-5}$ | $1 \cdot 10^{-7}$                   | $1 \cdot 10^{-7}$              |
| Undre sandlager | $1 \cdot 10^{-5}$ | $1 \cdot 10^{-5}$                   | $9 \cdot 10^{-5}$              |
| Berg            | $1 \cdot 10^{-7}$ | $1 \cdot 10^{-6} - 1 \cdot 10^{-7}$ | $1 \cdot 10^{-8}$              |

För att påvisa skillnader i inläckage och påverkansområde från ursprungsmodellen redovisas utförd känslighetsanalys för det bäst överensstämmande scenariot med avseende på kalibrering som b-alternativ till beräkningsfall 1-3 ovan, medan grundmodellen redovisas som a-alternativ. B-alternativet motsvarar basvärdena på känslighetsanalysen där en faktor 1/5 använts för undre sandlager,  $K = 2 \cdot 10^{-5}$  och en grundvattenbildning som generellt minskat med en faktor 1,5.

#### 4.4.4 Resultat

Utförd modellering och känslighetsanalys visar att den parametern som har störst inverkan på avsänkning och inläckage är sandlagrets genomsläpplighet, följt av ansatt grundvattenbildning. Resultatet visar att förhållandevis små förändringar av modellens materialegenskaper ger stora förändringar på det modellerade påverkansområdet. Det går alltså inte efter genomförd känslighetsanalys att utesluta en stor omgivningspåverkan under konstruktionstiden. De modellscenarion som valts ut är de som speglar befintliga grundvattenförhållanden bäst med rimliga värden på egenskapsområden och randvillkor.

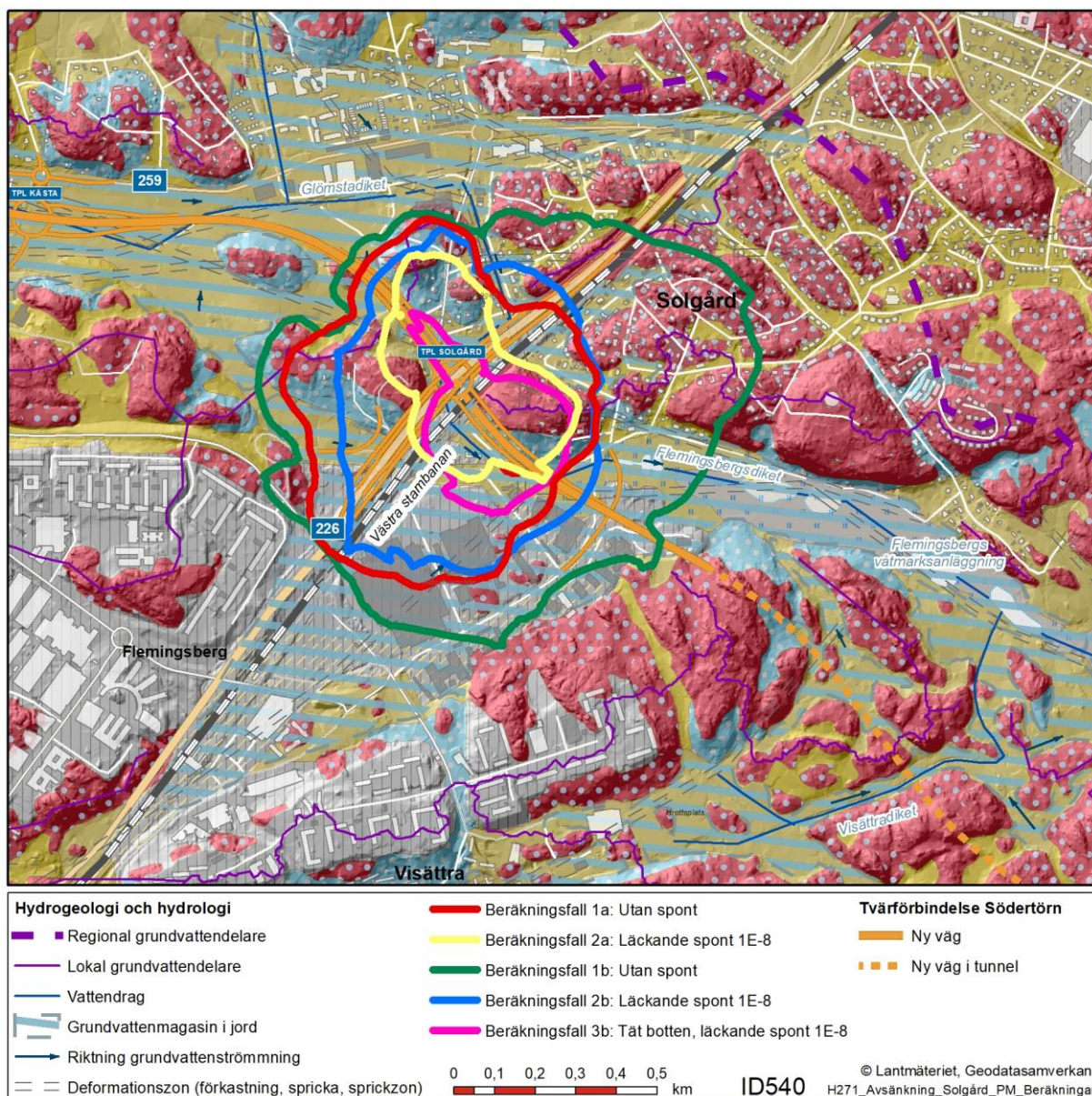
Inflödet till schakten är störst genom schaktbotten, så länge den inte är tät. Vid utförande utan spont uppstår också ett stort läckage genom schaktens väggar då inget hindrar vattnet från att strömma in i schakten. Beräknade inläckage för de olika beräkningsfallen redovisas i Tabell 4-11. Modellresultatet i tabellen visar att flödet till schakten minskar med drygt 60% vid utförande med läckande spont. Ännu starkare minskning uppstår vid utförande med tät botten, då inläckaget minskar till ca 15% av inläckaget vid helt öppen schakt.

Tabell 4-11. Beräknat inläckage till Solgårdstunneln i byggskede (l/min)

| Inläckage [l/min]                                 | Inläckage från<br>schaktväggar | Inläckage från<br>botten | Totalt inläckage |
|---------------------------------------------------|--------------------------------|--------------------------|------------------|
| Ber. fall 1a<br>Utan spont                        | 20                             | 90                       | 110              |
| Ber. fall 1b<br>Utan spont                        | 23                             | 72                       | 95               |
| Ber. fall 2a<br>Läckande spont $1E-8$             | 4                              | 40                       | 44               |
| Ber. fall 2b<br>Läckande spont $1E-8$             | 8                              | 26                       | 34               |
| Ber. fall 3b<br>Tät botten, läckande spont $1E-8$ | 14                             | 0                        | 14               |

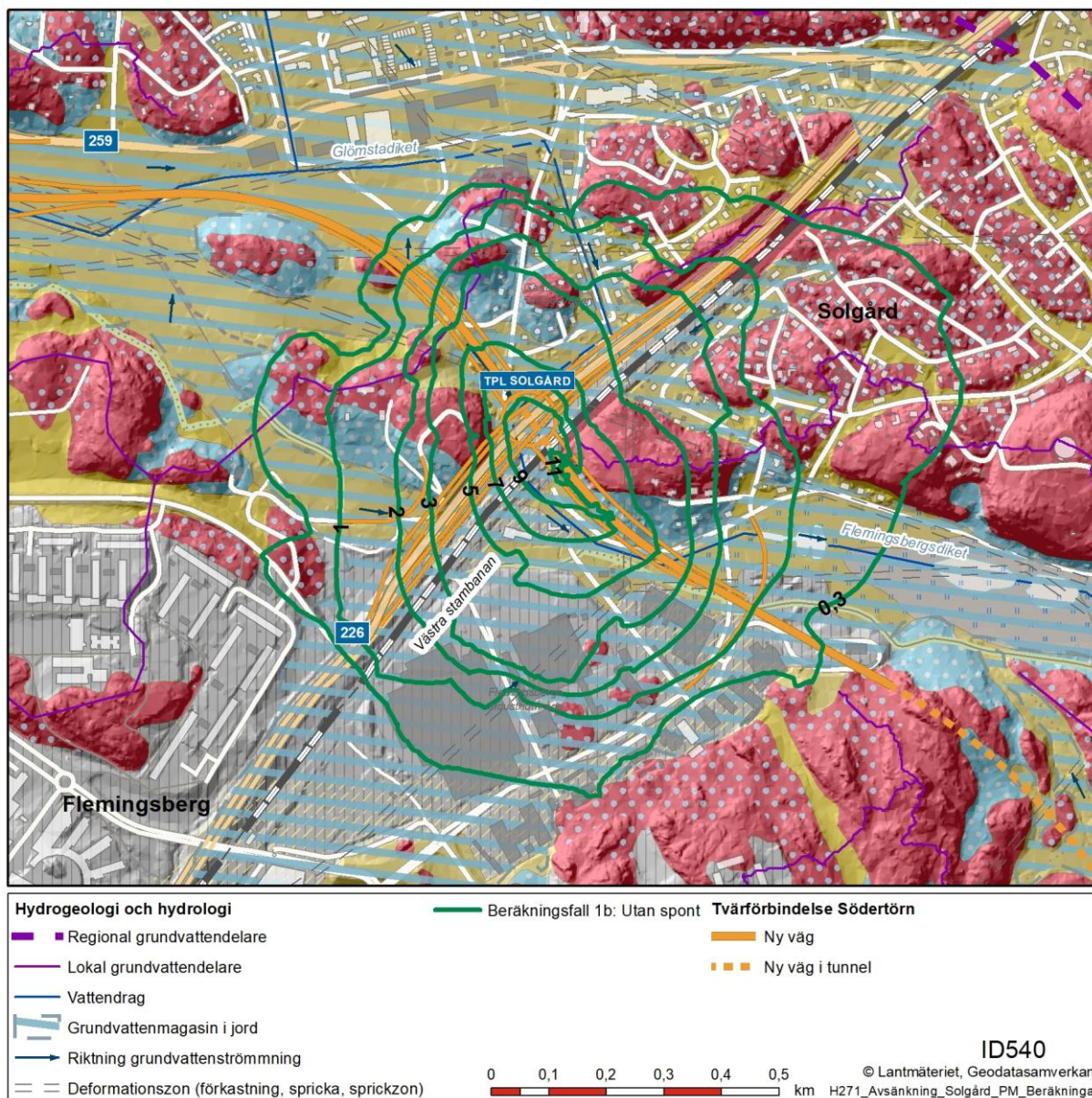


Påverkansområdet har definierats som det område där avsänkning överstiger 0,3 m i förhållande till opåverkade grundvattennivåer. Det modellerade påverkansområdets utbredning i byggskede för beräkningsfall 1-3 redovisas i Figur 4-22. Modellerad avsänkning för separata beräkningsfall redovisas i Figur 4-23 till Figur 4-25.



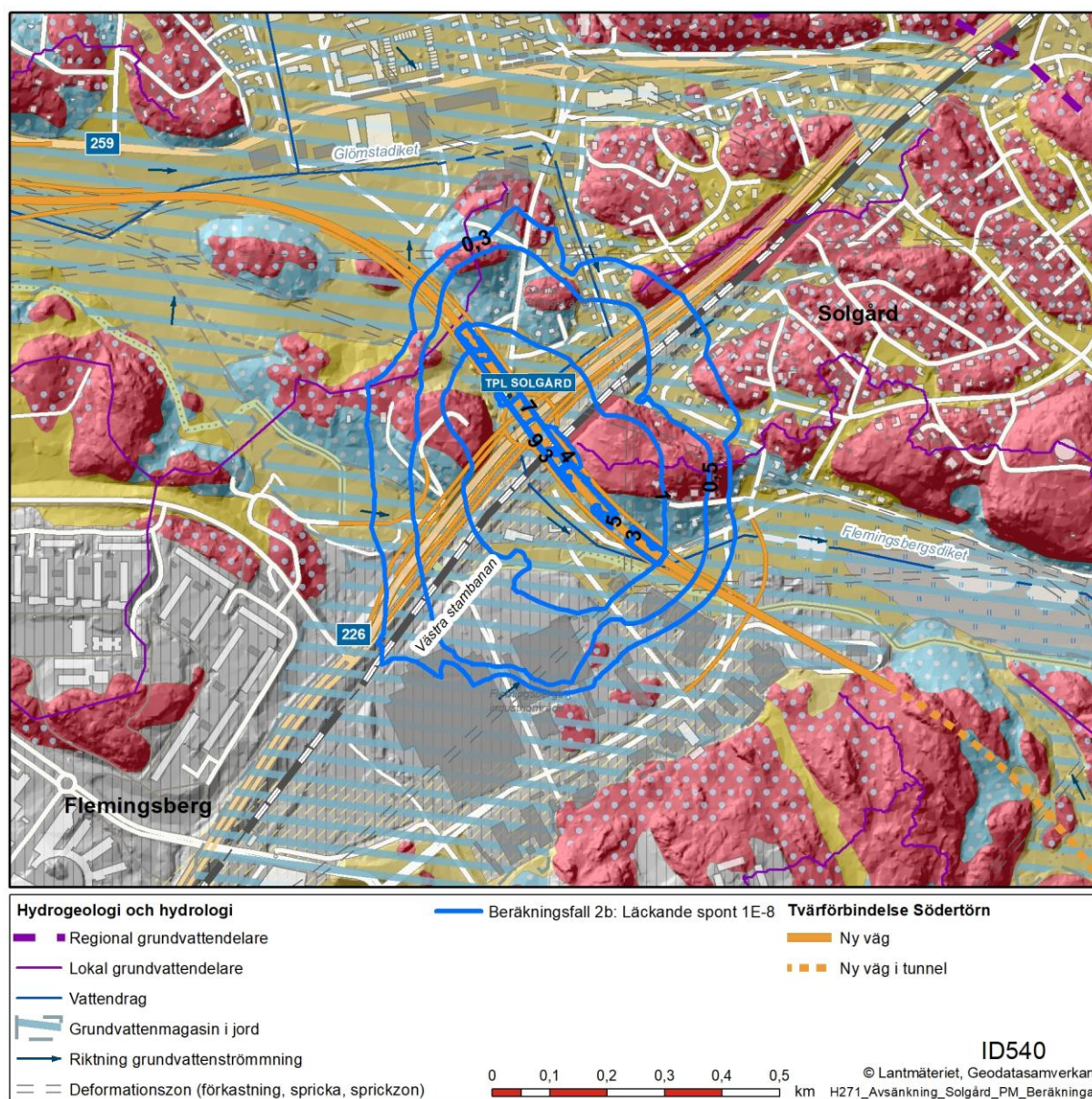
Figur 4-22. Beräknade påverkansområden i byggskede för beräkningsfall 1-3.





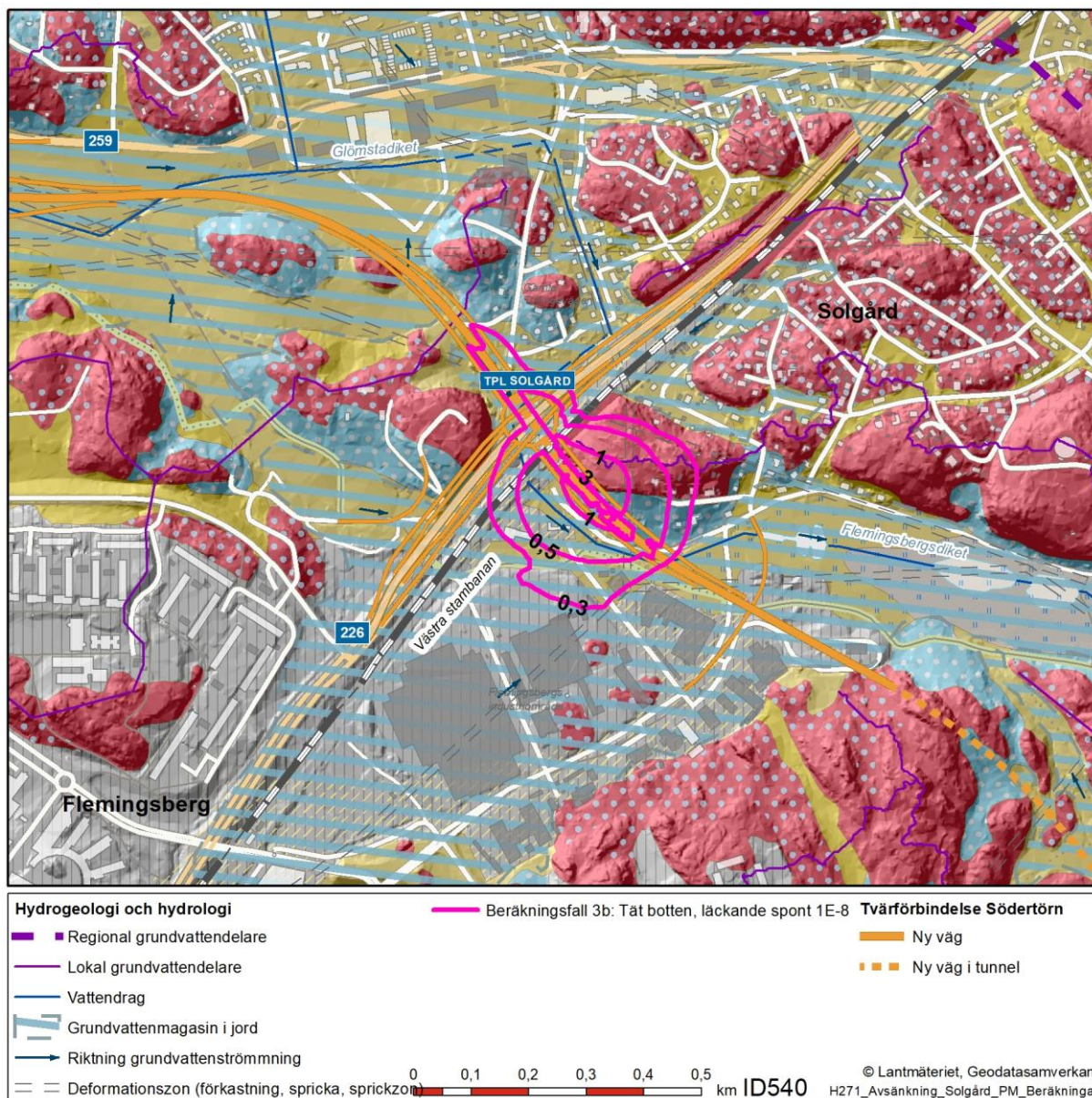
Figur 4-23. Beräknad avsänkning i byggskede utan spont (beräkningsfall 1b).





Figur 4-24. Beräknad avsänkning i byggskede med läckande spont (beräkningsfall 2b)

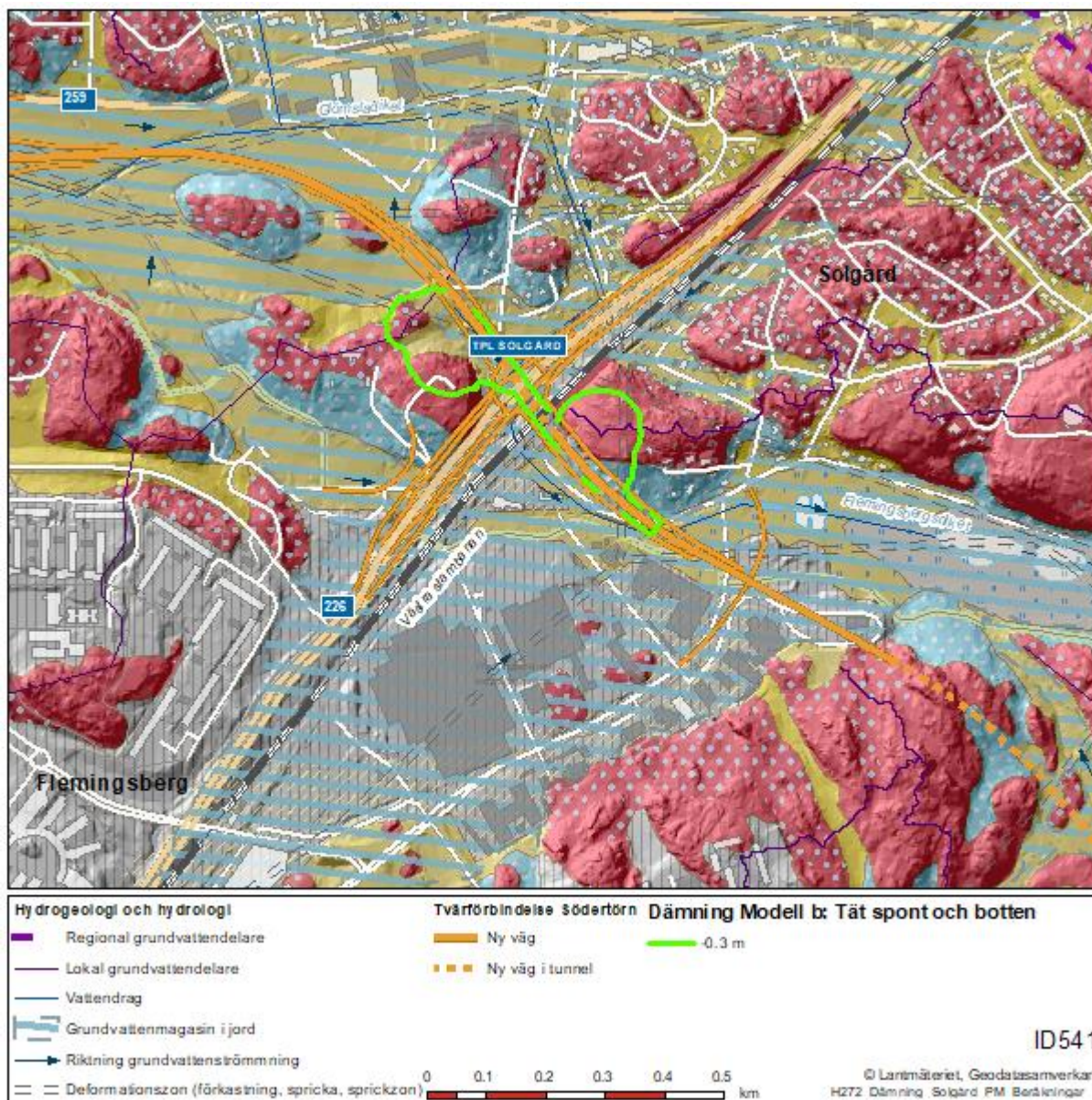




Figur 4-25. Beräknad avsänkning i byggskede med läckande spont och tät botten (beräkningsfall 3b).

Dämningseffekt av helt tät konstruktion har också undersökts. Här visar resultaten på begränsade påverkansområden av dämningen. Dämningseffekterna framgår av Figur 4-26. Att dämningen är liten och begränsad till området närmast schakten förklaras med att största delen av flödet omleds genom det höggenomsläppliga sandlagret och flödar ut sydost om schakten.





Figur 4-26. Modellerad dämning vid tät spont och tät botten kring Solgårdstunneln, grundutförande (modell b).  
Negativa siffror motsvarar höjda grundvattennivåer.

#### 4.4.5 Diskussion

Modelleringen visar att inläckaget och påverkansområdet kan bli stort utan spont. Resultatet visar att enbart spont hindrar merparten av inläckaget, och begränsar påverkansområdet. Tät botten i samband med spont förstärker denna effekt.

Vid den initiala uppbyggnad av modellen har ansträngningar gjorts för att få till ett relativt ohindrat flöde genom dalgångar vilket inneburit att det genomsläppliga sandlagret under lera i dalgångar troligen överskattats i områden där data saknas (ca 1,5-2,5 m mäktighet i områden under lera där data saknas). För de två scenarierna a och b som redovisas är därför konduktiviteten i undre sandlager



ansatt till nästan en tiopotens lägre än vad utförd provpumpning i Solgård visar. Provpumpningen har utförts i ett område där sandlagret generellt är mäktigt. Utvärderingen av konduktivitet baseras på de brunnar som svarat bäst, men tar inte hänsyn till att ett flertal brunnar i området inte svarade alls på trycksänkningen. Med hänsyn till att det undre sandlagrets mäktighet sannolikt överskattas och att K-värde överskattas i ett flertal odefinierade riktningar anses ansatt konduktivitet och beräknad påverkan är rimlig. Det kan dock medföra att dämningseffekterna underskattas något.

De skillnader som observerats mellan a- och b-utförandet handlar främst om påverkansområde. Inläckaget blir ungefär detsamma. De områden där påverkan utökas i b-utförandet är framförallt områden med berg i dagen. Detta är inte direkt förvånande, då den största skillnaden mellan a- och b-modellen ligger i genomsläppligheten i just berg i dagen. Det har dock inte utförts några omfattande undersökningar i berg runt Solgårdstunneln. Detta för att den största och viktigaste grundvattensänkningen är i jordmagasinen. Det har också observerats att omättade förhållanden föreligger i vissa noder i påverkansområdet som innefattar berg i dagen. Detta kan ytterligare förklara varför så stora områden med berg i dagen påverkas, modellen gör helt enkelt inte en säker bedömning i dessa områden. De modelltekniska problemen att representera grundvattennivåerna har beaktats i bedömningen av påverkansområdet i PM Yt- och grundvatten.

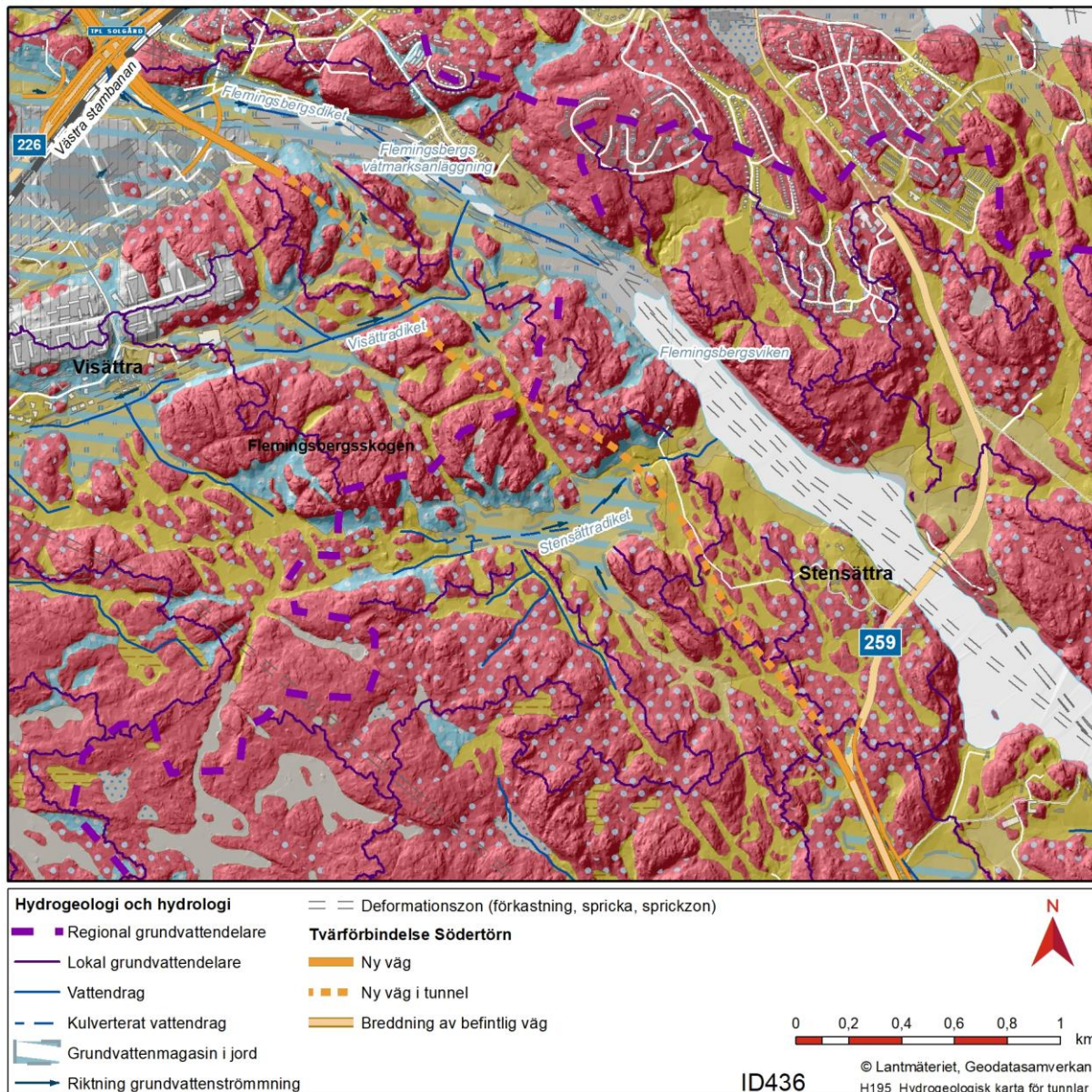
Då förhållandevis små förändringar av modellens materialegenskaper ger stora förändringar på det modellerade avsänkingsområdet går det inte att utesluta en större omgivningspåverkan under konstruktionstiden än vad som redovisas i resultat. De modellscenarion som valts ut är dock de som speglar befintliga grundvattenförhållanden bäst med rimliga värden på egenskapsområden och randvillkor.

#### **4.5 Numerisk modellering Flemingsbergstunneln**

Mellan Flemingsberg och Stensättra passerar tvärförbindelsen under Flemingsbergsskogen i en bergförlagd tunnel benämnd Flemingsbergstunneln. För att undersöka tunnelns grundvattenpåverkan och det förväntade inläckaget har numerisk grundvattenmodellering i två dimensioner utförts genom att upprätta ett flertal tvärsektioner i beräkningsprogrammet SEEP/W.

##### **4.5.1 Områdesbeskrivning**

Landskapet kring planerade Flemingsbergstunneln domineras av höglänt skogs-/ hällmarksterräng med berg i dagen eller enbart tunna moräntäcken, varvat med mellanliggande, jordfylla dalstråk som sluttar ner mot sjön Orlången i nordöst (Figur 4-27). I dalgångarna varierar jorddjupen kraftigt och lera överlagrar moränjord som går i dagen högre upp i den omgivande terrängen. De mest framträdande dalgångarna som korsas av tvärförbindelsen är Stensättradalen, Visättradalen och en dalgång just norr om Visättradalen. Stensättradalen, som används som jordbruksmark, avvattnas via Stensättradiket mot Orlången. I Visättradalen rinner Visättradiket mot Flemingsbergsviken.



Figur 4-27. Hydrogeologisk karta över området kring Flemingsbergstunneln. I den underliggande jordartskartan ses yttligt berg i rött, tunna morännskikt på berg som blå prickar, moränjordar i blått med prickar, torvjordar i grått, lera i gult och fyllnadsjord i grått med skraffering.

Berggrunden i anslutning till Flemingsbergstunneln domineras av gnejs. Förmodade svaghetszoner i berg följer förekommande dalstråk och kan potentiellt vara kraftigt vattenförande. Av störst betydelse förväntas zonerna längs Stensättradalen, Visättradalen och dalstråket norr om Visättradalen vara. Mest vattenförande bedöms berget vara vid passagen av svackan norr om Visättradalen. Förutom de större svaghetszonerna i västlig-östlig riktning som korsar tunneln förekommer även zoner som är orienterade parallellt med tunneln. Dessa ses i högre utsträckning i området kring den sydöstra delen av Flemingsbergstunneln. Mellan de dominerande sprickzonerna bedöms berget vara relativt tätt och homogent.

Grundvattenmagasin i jord i området återfinns i de jordfyllda dalstråken och då huvudsakligen som slutna, undre magasin i moränjorden mellan lera och berg. Grundvattenströmningen följer dalstråken i riktning mot Orlången i nordöst. Förutsättningar finns även för övre magasin i förekommande torrskorpelera. Utströmning av grundvatten från undre till övre magasin och vidare mot dränerande diken bedöms ske vid höga trycknivåer i undre magasin via genomsläppliga randzoner mot angränsande höjdområden. Till skillnad mot Glömstatunneln och Masmotunneln är vattentillgångarna i det hydrogeologiska systemet kring Flemingsbergstunneln större. Detta på grund av flertalet stora grundvattenmagasin som också generellt har större tillrinningsområden samt då magasinerna står i hydraulisk kontakt med ytvatten.

Området ingår i delavrinningsområdena *Inloppet i Orlången* (AROID: 656876-162254) och *Utloppet av Orlången* (AROID: 656644-673244) som avvattnas till Orlången nordöst om Flemingsbergstunneln.

#### 4.5.2 Metodik

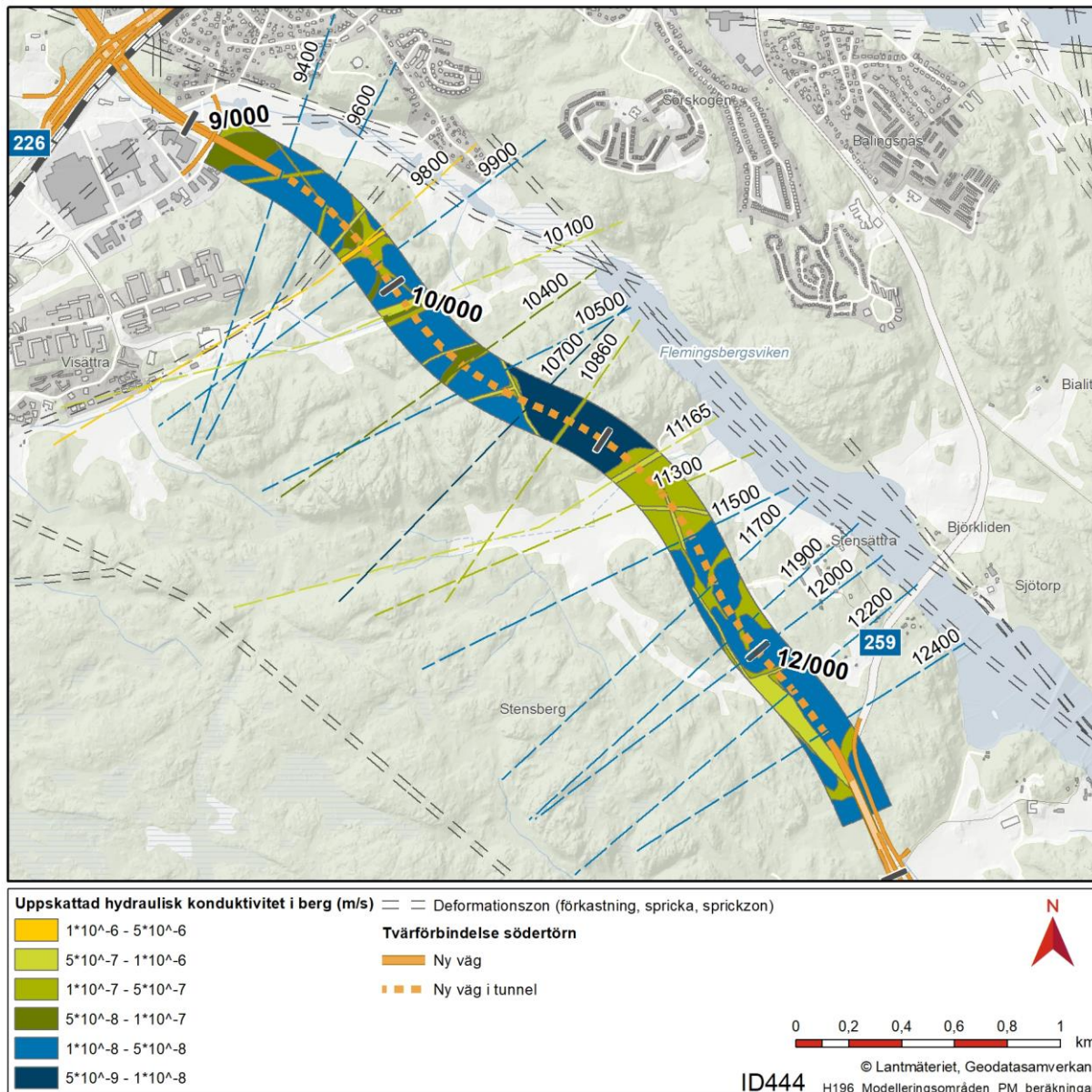
##### 4.5.2.1 Konceptualisering

Grundvattenpåverkan från den planerade tunneln har studerats genom att upprätta 17 vertikala tvärsektioner längs dess sträckning (Figur 4-28). Varje tvärsektion har i sin tur utgjort en egen fristående grundvattenmodell och namngetts baserat på den längdmätning som används i projektet, mellan 9/400 och 12/400. Tvärsektionerna har placerats med intervall om 100 - 300 meter, där tätare placering framförallt använts i anslutning till riskobjekt. Läget har även anpassats för att representera de olika bergdomäner som identifierats längs tunneln vilket medfört tätare intervall i områden där bergets egenskaper varierar mer. Tvärsektionernas riktning har anpassats utifrån förväntad strömningsriktning för grundvatten sett över en större skala, antagandet att det grundvattenflöde som induceras av tunneln är vinkelrätt (radiellt i tvärsnittsplanet) mot densamma samt utifrån att grundvattenflödet följer riktningen hos svaghetszoner där sådana identifierats. För det sista fallet förekommer därför även vinklade sektioner, se till exempel sektion 10100.

Tvärsektionernas utsträckning mot nordöst har begränsats till sjön Orlången alternativt norr om Flemingsbergs våtmarksanläggning som är belägen uppströms Flemingsbergsviken. Utsträckningen mot sydväst har i avsaknad av tydlig hydraulisk gräns anpassats till ett tillräckligt avstånd från tunneln där ingen grundvattenpåverkan kan förväntas, omkring en kilometer bort.

Upprättandet av vertikala tvärsektioner som modelleras oberoende av varandra innebär att grundvattenströmningen begränsas till att ske parallellt med sektionen eller i vertikalled. Tredimensionella effekter eller flöden som korsar sektionen, till exempel vattenförande sprickzoner som inte löper parallellt med sektionen, är svåra att representera i modellen.





Figur 4-28. Hydraulikdomäner för berg, deformationszoner (från SGU) och modellerade tvärsektioner längs Flemingsbergstunneln. Hydraulikdomänerna beskriver hur den hydrauliska konduktiviteten hos berget varierar längs tunneln. Modellerade tvärsektioner redovisas i samma färgskala som hydraulikdomänerna utifrån ansatt hydraulisk konduktivitet i respektive modell.

#### 4.5.2.2 Modelluppbyggnad

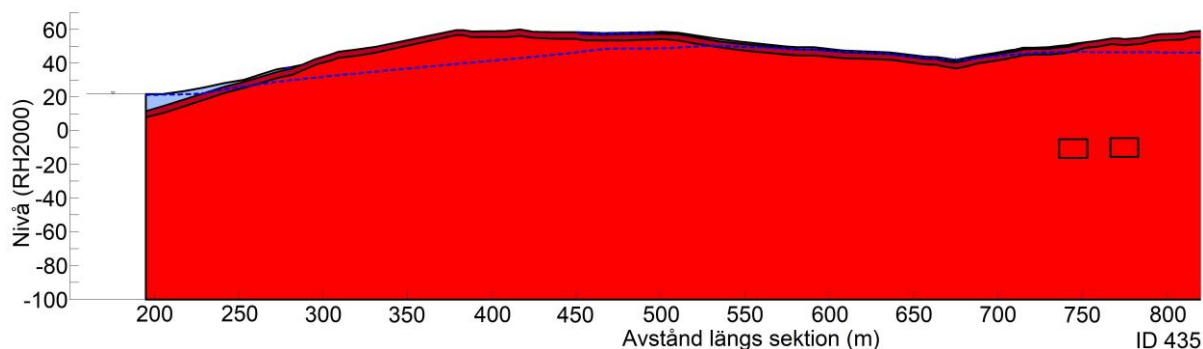
Varje upprättad tvärsektion har utgjort en egen fristående grundvattenmodell. Tillvägagångssättet för modelluppbyggnaden har dock varit detsamma för samtliga tvärsektioner överensstämmer till stor del med den för Glömstatunneln. Huvuddragen har utformats utifrån de tredimensionella modeller för markyta, bergövertya och tunnel som tagits fram inom ramarna för projektet. Genererade tvärsektioner har sedan importerats in till modelleringsverktyget SEEP/W.



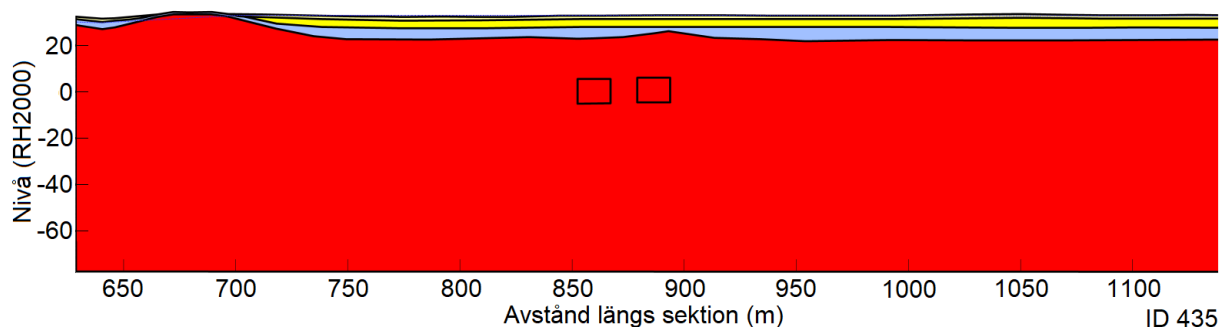
För att representera förekommande jordar och mäktigheter har domänen delats in i zoner med skilda egenskaper, exempel på hur detta sett ut ges i Figur 4-29 och Figur 4-30. Hydraulisk konduktivitet har ansatts utifrån litteraturvärden samt en sammanvägd bedömning av platsspecifika pulstester. Då modellering gjorts med både omättat och mättat grundvattenflöde har också den hydrauliska konduktivitetens variation utifrån mätnadsgraden specificerats i modellerna. De egenskapsområden som använts och ansatt hydraulisk konduktivitet redovisas i Tabell 4-12. Fyllnadsjord och torv förekommer endast i ett fåtal av modellerna och då i mycket begränsad omfattning medan övriga egenskaps-områden representeras i näst intill samtliga modeller. Modelldomänen består dock i huvudsak av berg vilket också ses i exempelvis Figur 4-29.

Tabell 4-12. Egenskapsområden, ansatt mättad hydraulisk konduktivitet i horisontalled ( $K_H$ ) och vertikalalled ( $K_V$ ).

| Egenskapsområde         | Mättad $K_H$ (m/s)                  | Mättad $K_V$ (m/s)                  |
|-------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| Moränjord               | $8 \cdot 10^{-6}$                   | $8 \cdot 10^{-7}$                   |
| Lera                    | $5 \cdot 10^{-8}$                   | $5 \cdot 10^{-9}$                   |
| Torrskorpelera          | $1 \cdot 10^{-5}$                   | $1 \cdot 10^{-4}$                   |
| Fyllnadsjord            | $1 \cdot 10^{-4}$                   | $1 \cdot 10^{-4}$                   |
| Torv                    | $1 \cdot 10^{-5}$                   | $1 \cdot 10^{-5}$                   |
| Berg                    | $5 \cdot 10^{-6} - 1 \cdot 10^{-8}$ | $5 \cdot 10^{-6} - 1 \cdot 10^{-8}$ |
| Uppsprucket ytligt berg | $5 \cdot 10^{-7}$                   | $5 \cdot 10^{-7}$                   |



Figur 4-29. Utsnitt ur grundvattenmodell 10500 med definierade egenskapsområden (rött: berg, mörkrött: uppsprucket berg, blå: moränjord), planerad tunnel och grundvattenyta (streckad linje). Modellens vänstra ände utgör randen mot Orlången.



Figur 4-30. Utsnitt ur grundvattenmodell 10100 med planerad tunnel, definierade egenskapsområden (rött: berg, blå: moränjord, gult: lera och torrskorpelera) och lokalisering av grundvattenrör 17T1006G.

Berggrunden representeras i modellerna som en homogen enhet med samma egenskaper över hela modelldomänen och som ett poröst medium. Den hydrauliska konduktiviteten hos berget har därmed varit densamma inom en modell, men varierat mellan modellerna. Ansatt konduktivitet i respektive modell har baserats på den hydraulikdomän som korsas av sektionen, se Figur 4-28.

Hydraulikdomänerna utgår från bergets egenskaper i området kring tunnelns närhet. Samtliga tvärsektioner, men i olika omfattning, korsar dock områden med dels normalberg, dels dalgångar där berget kan antas vara mer uppsprucket. I de angivna intervallen i Figur 4-28 har den högre konduktiviteten använts.

För att beskriva det översta lager av bergmassan som generellt är mer vittrat och uppsprucket har också en zon om 3 - 4 meter med högre hydraulisk konduktivitet definierats i modellerna. För sex sektioner har en sådan zon inte definierats då dessa sektioner sammanfaller med svaghetszoner och bergmassan därmed redan getts en högre hydraulisk konduktivitet. Identifierade svaghetszoner som korsar tvärsektionerna i vinkel har inte tagits hänsyn till då motsvarande grundvattenflöde inte går att representera i den tvådimensionella modellen.

Ytterligare ett egenskapsområde som representeras i modellerna är tätningssonen kring tunneln. Zonen ska motsvara den del av bergmassan närmast tunneln där för- och efterinjektering utförs och har i modellerna givits mäktigheten sex meter och konduktiviteten  $1 \cdot 10^{-8}$  m/s baserat på erfarenheter från normalt injekteringsförfarande.

Randvillkor har ansatts i modellerna för att representera grundvattenbildning, dränering, bräddning och inläckage till planerad tunnel. För de modeller som i nordost avgränsats mot sjön Ormlången har grundvattennivån där ansatts som sjöns medelnivå om 21,21 m.ö.h. (Svenskt Vattenarkiv, 2016). Vid övriga modelländar, som avgränsats på omkring en kilometers avstånd från tunneln, har grundvattenytan ansatts till 1,5 meter under markytan.

Grundvattenbildningen som använts i modellerna (Tabell 4-13) har definierats utifrån antaganden om att den är ungefär densamma som nettonederbörden (avrinningen) i området och att den varierar utifrån jordart, markanvändning och topografi. Nettonederbörden inom aktuella delavrinningsområde är enligt SMHI:s modellering ca 250 mm/år (Vattenwebb, 2018-08-17) vilket utgjort den maximala grundvattenbildningen. Variationen mellan jordarter har dels baserats på uppgifter om grundvattenbildning i svenska typjordar som beskrivs av Rodhe et al. (2006), dels baserats på erfarenheter från tidigare projekt. För berg har grundvattenbildningen antagits överensstämma med de resultat som Rodhe och Bockgård (2006) redovisar för kristallint berg i trakten kring Uppsala. I modellerna har grundvattenbildningen låtits variera inom de specificerade intervallen utifrån topografi, med lägre andel perkolation och större förväntad ytavrinning i brantare områden och omvänt.

Tabell 4-13. Antagen grundvattenbildning till jord och berg.

| Egenskapsområde | Grundvattenbildning (mm/år) |
|-----------------|-----------------------------|
| Ytligt berg     | 20 - 40                     |
| Moränjord       | 210 - 250                   |
| Lera            | 0 - 20                      |
| Torrskorpelera  | 100 - 140                   |

#### 4.5.2.3 Arbetsgång

För samtliga tvärsektioner har modellering utförts för en jämviktslösning (steady state) innebärande att grundvattennivåer och -flöden speglar medelsituationen över ett år. Flöde har i modellerna tillåtits i både den omättade och mättade zonen, med en konduktivitet i den omättade zonen som baseras på mätnadsgrad. Modellerna har initialt kalibrerats och anpassats för att representera befintliga förhållanden varefter tunneln har introducerats. För att undersöka betydelsen hos ansatta parametrar och antaganden har även känslighetsanalyser gjorts.

#### 4.5.2.4 Kalibrering

Kalibrering av grundvattenmodeller utförs för att justera modellparametrar så att modellerna genererar nivåer och flöden som är så lika motsvarande observerade värden som möjligt. I detta fall har endast en översiktlig kalibrering utförts på grund av modellernas förenklade uppbyggnad och eftersom hydraulisk konduktivitet för berg och jord ansatts baserat på resultat från platsspecifika vattenförlustmätningar respektive pulstester. Den enda parameter som justerats är därför grundvattenbildningen. Syftet med den kalibrering som utförts har varit att erhålla rimliga grundvattennivåer, inte exakta, och att införa så få begränsningar i modellerna som möjligt. Justeringar har framförallt gjorts när den modellerade grundvattennivån legat över markytan.

#### 4.5.2.5 Beräkningsfall

För respektive modell har två beräkningsfall ställts upp med den planerade tunneln:

- Fall 1: bergtunnel utan tätning
- Fall 2: bergtunnel med tätning där täthetszonen uppnått den hydrauliska konduktiviteten  $1 \cdot 10^{-8}$  m/s

#### 4.5.2.6 Känslighetsanalys

Känslighetsanalyser som syftar till att undersöka modellernas reaktioner vid förändring av modellparametrar och antaganden har utförts vid Stensättra på grund av de till tunneln närbelägna riskobjekt som finns där. De tvärsektioner som analyserats är 12000, 12200 och 12400, vilka även skulle kunna tänkas representera andra modeller där tunneln passerar genom normalberg. Resultaten för 12400 redovisas inte i denna rapport då de överensstämmer med de som redovisas sektion 12200. Vidare har antagits att resultaten från den känslighetsanalys som genomförts för en svaghetszon vid Glömstatunneln också är tillämplbara för svaghetszoner längs Flemingsbergstunneln. Resultatet från den analysen återfinns i Tabell 4-6.

Känslighetsanalysen har utgått från ett referensfall med definierade modellparametrar och egenskaper varefter justering gjorts för en parameter i taget enligt ett antal scenarier. De parametrar och inställningar som testats är hydraulisk konduktivitet i berg och moränjord, randvillkor för utflöde i Glömstadalen, grundvattenbildning, konduktivitetens variation utifrån mätnadsgrad samt mättat/omättat flöde. Det sistnämnda testet syftade till att undersöka skillnaden mellan scenariot då egenskaperna i den omättade zonen är desamma som i den mättade zonen och scenariot då egenskaperna varierar mellan zonerna (referensfallet).

Känsligheten har studerats genom att jämföra modellerade påverkansområden och inläckage till en otätad tunnel för de olika scenarierna. I Tabell 4-14 redovisas resultat för tvärsektion 12000, och i Tabell 4-15 för tvärsektion 12200. Den procentuella skillnaden är en jämförelse mot resultaten i referensfallet vilket innebär att skillnaden blir noll för de rader som representerar detta scenario.

I Tabell 4-14 och Tabell 4-15 kan utläsas att den hydrauliska konduktiviteten hos berg, modellering med samma egenskaper i mättad och omättad zon samt grundvattenbildning har en tydlig inverkan på påverkansområdets utbredning och inläckaget till den otätade tunneln i tvärsektionerna. Högre konduktivitet i berg och modellering med samma egenskaper i mättad och omättad zon ger generellt större påverkansområde och större inläckage. Gällande grundvattenbildningen är det främst en ökad sådan som har betydande påverkan på resultatet. För hydraulisk konduktivitet hos moränjorden, som endast utgör en begränsad del av modellerna, ses däremot ingen avsevärd skillnad mellan de scenarier som undersökts.

Tabell 4-14. Resultat från känslighetsanalys för tvärsektion 12000. Den procentuella skillnaden avser skillnaden mot referensfallet för respektive scenario. För referensfallet anges därmed alltid skillnaden 0%.

| Parameter                                         | Scenarier                                                         | Procentuell skillnad<br>påverkansområde<br>Norrut | Procentuell skillnad<br>påverkansområde<br>Söderut | Procentuell skillnad<br>inläckage |
|---------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|----------------------------------------------------|-----------------------------------|
| <b>Hydraulisk<br/>konduktivitet<br/>berg</b>      | $1 \cdot 10^{-7}$                                                 | 94,2%                                             | 103%                                               | 54,9%                             |
|                                                   | $5 \cdot 10^{-8}$<br>(referensfall)                               | 0,0%                                              | 0%                                                 | 0,0%                              |
|                                                   | $1 \cdot 10^{-8}$                                                 | 0,0%                                              | 0%                                                 | -60,3%                            |
| <b>Hydraulisk<br/>konduktivitet<br/>moränjord</b> | $8 \cdot 10^{-5}$                                                 | -6%                                               | -3%                                                | 6%                                |
|                                                   | $8 \cdot 10^{-6}$<br>(referensfall)                               | 0%                                                | 0%                                                 | 0%                                |
|                                                   | $8 \cdot 10^{-7}$                                                 | 2%                                                | 0%                                                 | 2%                                |
| <b>Mättat/omättat<br/>flöde</b>                   | Samma<br>egenskaper i<br>mättad,<br>omättad zon                   | 104%                                              | 75%                                                | 42%                               |
|                                                   | Olika<br>egenskaper i<br>mättad,<br>omättad zon<br>(referensfall) | 0%                                                | 0%                                                 | 0%                                |
| <b>Grundvatten-<br/>bildning</b>                  | ca 30% lägre                                                      | 79%                                               | 88%                                                | -7%                               |
|                                                   | Referensfall                                                      | 0%                                                | 0%                                                 | 0%                                |
|                                                   | ca 30% högre                                                      | -8%                                               | -3%                                                | 17%                               |



Tabell 4-15. Resultat från känslighetsanalys för tvärsektion 12200. Den procentuella skillnaden avser skillnaden mot referensfallet för respektive scenario. För referensfallet anges därmed alltid skillnaden 0%.

| Parameter                                         | Scenarier                                                         | Procentuell skillnad<br>påverkansområde<br>Norrut | Procentuell skillnad<br>påverkansområde<br>Söderut | Procentuell skillnad<br>inläckage |
|---------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|----------------------------------------------------|-----------------------------------|
| <b>Hydraulisk<br/>konduktivitet<br/>berg</b>      | $1 \cdot 10^{-7}$                                                 | 96,2%                                             | 75,0%                                              | 38,0%                             |
|                                                   | $5 \cdot 10^{-8}$<br>(referensfall)                               | 0,0%                                              | 0,0%                                               | 0,0%                              |
|                                                   | $1 \cdot 10^{-8}$                                                 | -66,0%                                            | -8,3%                                              | -65,4%                            |
| <b>Hydraulisk<br/>konduktivitet<br/>moränjord</b> | $8 \cdot 10^{-5}$                                                 | 0%                                                | 0%                                                 | 1%                                |
|                                                   | $8 \cdot 10^{-6}$<br>(referensfall)                               | 0%                                                | 0%                                                 | 0%                                |
|                                                   | $8 \cdot 10^{-7}$                                                 | 0%                                                | 2%                                                 | -2%                               |
| <b>Mättat/omättat<br/>flöde</b>                   | Samma<br>egenskaper i<br>mättad,<br>omättad zon                   | 106%                                              | -2%                                                | 17%                               |
|                                                   | Olika<br>egenskaper i<br>mättad,<br>omättad zon<br>(referensfall) | 0%                                                | 0%                                                 | 0%                                |
| <b>Grundvatten-<br/>bildning</b>                  | ca 30% lägre                                                      | 77%                                               | 2%                                                 | -14%                              |
|                                                   | Referensfall                                                      | 0%                                                | 0%                                                 | 0%                                |
|                                                   | ca 30% högre                                                      | -4%                                               | 0%                                                 | 13%                               |

#### 4.5.3 Resultat

Modellerat inläckage för Fall 1 (otätad tunnel) kan ses i Tabell 4-16 och för Fall 2 (tätad tunnel) i Tabell 4-17. Tunneln har delats in i ett antal delsträckor (LM från – LM till) som representerar delområden i den hydrauliska modellen för bergets konduktivitet. Till varje delsträcka hör en tvärsektion som modellerats med motsvarande konduktivitet i berg. I botten på tabellerna summeras inläckaget till hela tunneln och ett medel-inläckage per 100 meter tunnel beräknas. Störst inläckage förväntas ske vid passagen under svackan norr om Visättradal (9800) och passagen under Stensättradal, men här har tätningen också störst effekt. Modelleringen visar dessutom att det i sektioner som följer dalstråk med koppling till Ornlängen induceras ett inläckage från ytvattnet, vilket skulle kunna förklara de höga värdena som erhållits för sektionerna 9800, 10100, 11165 och 11300.

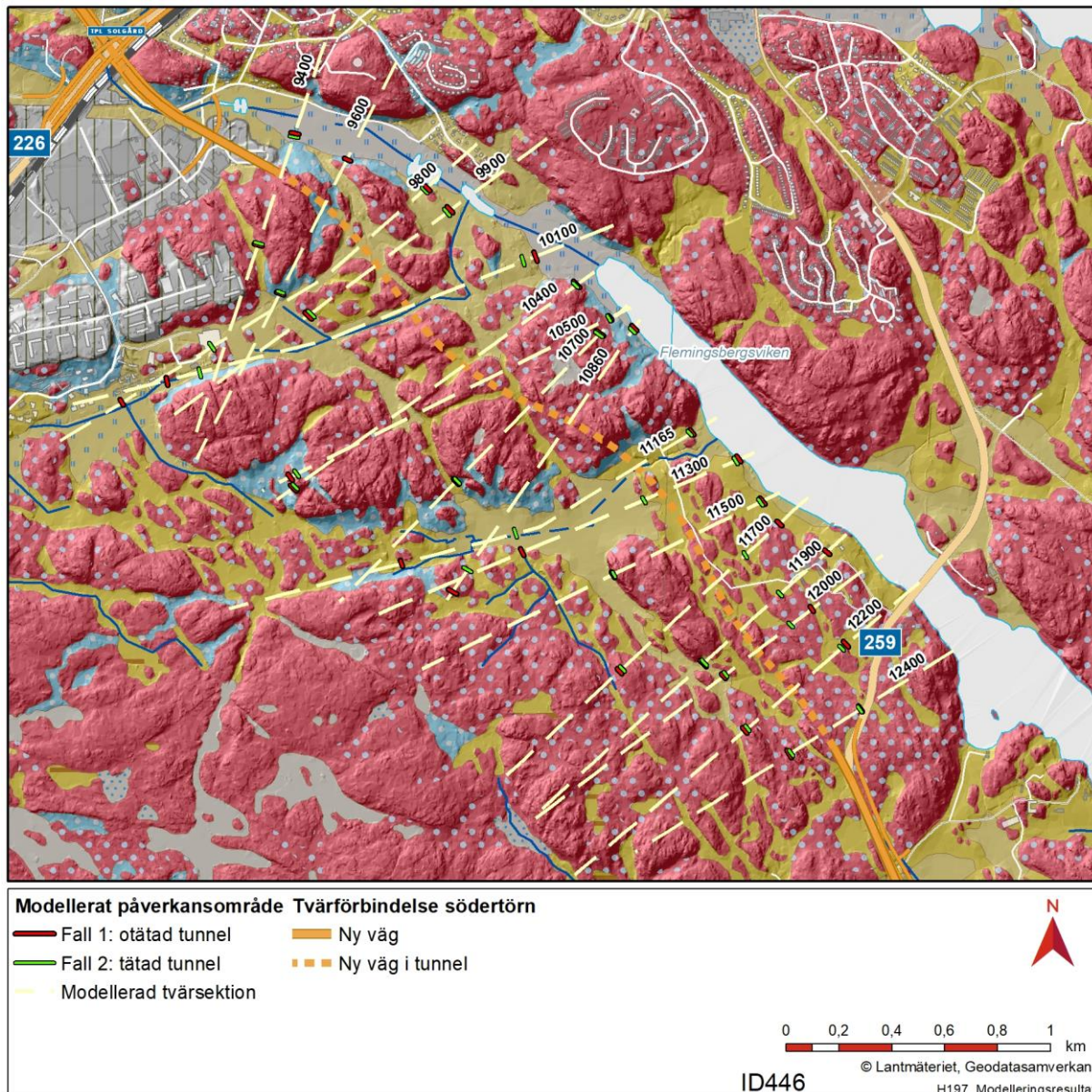
Tabell 4-16. Inläckage Fall 1: otätad tunnel.

| LM från                         | LM till | Sträcka (m) | K-berg för sträckan (m/s) | Modellerad SEEP-sektion | Inläckage SEEP-sektion (l/min/meter) | Summerat inläckage per sträcka (l/min/sträcka) |
|---------------------------------|---------|-------------|---------------------------|-------------------------|--------------------------------------|------------------------------------------------|
| 9/380                           | 9/500   | 120         | $5 \cdot 10^{-8}$         | 9400                    | 0,06                                 | 7,6                                            |
| 9/500                           | 9/650   | 225         | $5 \cdot 10^{-8}$         | 9600                    | 0,08                                 | 18,1                                           |
| 9/650                           | 9/800   | 75          | $1 \cdot 10^{-6}$         | 10100                   | 0,67                                 | 50,3                                           |
| 9/800                           | 9/820   | 20          | $5 \cdot 10^{-6}$         | 9800                    | 2,04                                 | 40,7                                           |
| 9/820                           | 10/070  | 250         | $5 \cdot 10^{-8}$         | 9900                    | 0,08                                 | 19,7                                           |
| 10/070                          | 10/140  | 70          | $1 \cdot 10^{-6}$         | 10100                   | 0,67                                 | 47,0                                           |
| 10/140                          | 10/360  | 220         | $5 \cdot 10^{-8}$         | 10500                   | 0,14                                 | 31,6                                           |
| 10/360                          | 10/410  | 50          | $1 \cdot 10^{-7}$         | 10400                   | 0,19                                 | 9,5                                            |
| 10/410                          | 10/650  | 240         | $5 \cdot 10^{-8}$         | 10500                   | 0,14                                 | 34,5                                           |
| 10/650                          | 10/850  | 200         | $1 \cdot 10^{-8}$         | 10700                   | 0,06                                 | 13,0                                           |
| 10/850                          | 10/870  | 20          | $5 \cdot 10^{-7}$         | 10860                   | 0,50                                 | 10,0                                           |
| 10/870                          | 11/100  | 230         | $1 \cdot 10^{-8}$         | 10700                   | 0,06                                 | 14,9                                           |
| 11/100                          | 11/150  | 50          | $5 \cdot 10^{-7}$         | 11300                   | 0,68                                 | 34,0                                           |
| 11/150                          | 11/175  | 25          | $1 \cdot 10^{-6}$         | 11165                   | 1,08                                 | 26,9                                           |
| 11/175                          | 11/500  | 325         | $5 \cdot 10^{-7}$         | 11300                   | 0,68                                 | 221,1                                          |
| 11/500                          | 11/600  | 100         | $5 \cdot 10^{-8}$         | 11500                   | 0,08                                 | 8,4                                            |
| 11/600                          | 11/860  | 260         | $5 \cdot 10^{-8}$         | 11700                   | 0,12                                 | 31,2                                           |
| 11/860                          | 11/950  | 90          | $5 \cdot 10^{-8}$         | 11900                   | 0,10                                 | 8,8                                            |
| 11/950                          | 12/100  | 150         | $5 \cdot 10^{-8}$         | 12000                   | 0,11                                 | 15,9                                           |
| 12/100                          | 12/300  | 200         | $5 \cdot 10^{-8}$         | 12200                   | 0,08                                 | 16,9                                           |
| 12/300                          | 12/470  | 170         | $5 \cdot 10^{-8}$         | 12400                   | 0,10                                 | 16,3                                           |
| Summa Flemingsbergstunneln:     |         |             |                           |                         |                                      | 676 l/min                                      |
| Inläckage per enhetslängd 100m: |         |             |                           |                         |                                      | 21,9 l/min/100m                                |

Tabell 4-17. Inläckage Fall 2: tätad tunnel.

| LM från                         | LM till | Sträcka (m) | K-berg för sträckan (m/s) | Modellerad SEEP-sektion | Inläckage SEEP-sektion (l/min/meter) | Summerat inläckage per sträcka (l/min/sträcka) |
|---------------------------------|---------|-------------|---------------------------|-------------------------|--------------------------------------|------------------------------------------------|
| 9/380                           | 9/500   | 120         | $5 \cdot 10^{-8}$         | 9400                    | 0,05                                 | 5,9                                            |
| 9/500                           | 9/650   | 225         | $5 \cdot 10^{-8}$         | 9600                    | 0,07                                 | 15,5                                           |
| 9/650                           | 9/800   | 75          | $1 \cdot 10^{-6}$         | 10100                   | 0,27                                 | 20,3                                           |
| 9/800                           | 9/820   | 20          | $5 \cdot 10^{-6}$         | 9800                    | 0,24                                 | 4,7                                            |
| 9/820                           | 10/070  | 250         | $5 \cdot 10^{-8}$         | 9900                    | 0,07                                 | 17,3                                           |
| 10/070                          | 10/140  | 70          | $1 \cdot 10^{-6}$         | 10100                   | 0,27                                 | 18,9                                           |
| 10/140                          | 10/360  | 220         | $5 \cdot 10^{-8}$         | 10500                   | 0,13                                 | 28,6                                           |
| 10/360                          | 10/410  | 50          | $1 \cdot 10^{-7}$         | 10400                   | 0,16                                 | 8,0                                            |
| 10/410                          | 10/650  | 240         | $5 \cdot 10^{-8}$         | 10500                   | 0,13                                 | 31,2                                           |
| 10/650                          | 10/850  | 200         | $1 \cdot 10^{-8}$         | 10700                   | 0,06                                 | 13,0                                           |
| 10/850                          | 10/870  | 20          | $5 \cdot 10^{-7}$         | 10860                   | 0,25                                 | 4,9                                            |
| 10/870                          | 11/100  | 230         | $1 \cdot 10^{-8}$         | 10700                   | 0,06                                 | 14,9                                           |
| 11/100                          | 11/150  | 50          | $5 \cdot 10^{-7}$         | 11300                   | 0,27                                 | 13,7                                           |
| 11/150                          | 11/175  | 25          | $1 \cdot 10^{-6}$         | 11165                   | 0,31                                 | 7,7                                            |
| 11/175                          | 11/500  | 325         | $5 \cdot 10^{-7}$         | 11300                   | 0,27                                 | 89,2                                           |
| 11/500                          | 11/600  | 100         | $5 \cdot 10^{-8}$         | 11500                   | 0,07                                 | 7,3                                            |
| 11/600                          | 11/860  | 260         | $5 \cdot 10^{-8}$         | 11700                   | 0,11                                 | 27,5                                           |
| 11/860                          | 11/950  | 90          | $5 \cdot 10^{-8}$         | 11900                   | 0,08                                 | 7,4                                            |
| 11/950                          | 12/100  | 150         | $5 \cdot 10^{-8}$         | 12000                   | 0,09                                 | 13,6                                           |
| 12/100                          | 12/300  | 200         | $5 \cdot 10^{-8}$         | 12200                   | 0,07                                 | 13,2                                           |
| 12/300                          | 12/470  | 170         | $5 \cdot 10^{-8}$         | 12400                   | 0,08                                 | 13,0                                           |
| Summa Flemingsbergstunneln:     |         |             |                           |                         |                                      | 376 l/min                                      |
| Inläckage per enhetslängd 100m: |         |             |                           |                         |                                      | 12,2 l/min/100m                                |

Det modellerade påverkansområdets utbredning för både tätad och otätad tunnel ses i Figur 4-31. För den otätade tunneln sträcker sig påverkansområdet i näst intill samtliga fall fram till Orlången eller Flemingsbergs våtmarksområde. Störst påverkan ses vid de utpekade svaghetszonerna i Visätträdalen och Stensätträdalen (sektion 9800, 10100 och 11165), men för dessa tvärsektioner har också tätningen störst effekt. Även för sektionerna 10400, 10500 och 10860 ses en stor utbredning hos grundvattenpåverkan vilket kan kopplas till tunnelns djupa läge relativt markytan längs denna sträcka. Sektion 10700 avviker där med mindre påverkan, detta eftersom berget bedömts vara väldigt tätt i det området. Från tvärsektion 11500 och söderut smalnar påverkansområdet av, men med beaktande av resultatet från känslighetsanalysen i detta område kan tänkas att påverkan också sträcker sig fram till Orlången.



Figur 4-31. Modellerat påverkansområde för otätad och tätad Flemingsbergstunnel. För ett antal sektioner är påverkan lika eller nästan lika för de två fallen, vilket innebär att markeringarna för påverkan överlappar. I den underliggande jordartskartan ses ytligt berg i rött, tunna moränsikt på berg som blå prickar, moränjor i blått med prickar, torvjor i grått, lera i gult och fyllnadsjord i grått med skraffering.

#### 4.5.4 Diskussion

Då modellering gjorts för en jämviktslösning (steady state) representerar de resultat som erhållits tunnelns påverkan i driftskede. På grund av begränsningarna i den tvådimensionella modelleringen bör resultatet endast ses som vägledning för bedömning av påverkansområde och inläckage. Påverkan har vidare beräknats för två fall, otätad respektive tätad tunnel, men i denna PM görs ingen värdering i hur och var injektering av tunneln bör utföras.



Precis som för Glömstatunneln har en av de främsta osäkerheterna i modelleringen av Flemingsbergstunneln varit vilken inverkan tredimensionella effekter har på den faktiska grundvattenpåverkan från tunneln, det vill säga flöden i annan riktning än de som är möjliga inom de tvådimensionella modellerna. Den tvådimensionella modellen skulle kunna vara begränsande för utbredningen av påverkan genom att den utgår från en sektion i taget och därmed inte tar hänsyn till påverkan från tunneln som helhet. Men påverkan kan också tänkas bli mindre när hänsyn tas till tredimensionella effekter som exempelvis vattenförande sprickzoner eller andra flöden som korsar modellen i vinkel genom att de verkar som trösklar eller hydrauliska gränser. Längs Flemingsbergstunneln förekommer flertalet mindre sprickdalgångar som löper parallellt med tunneln och som kan tänkas utgöra ränder/trösklar för tunnelns grundvattenpåverkan. Tecken på detta fenomen ses även till viss del i den utförda modelleringen i påverkansområdets utbredning åt sydväst (Figur 4-31). Utifrån tillgängliga data är det dock svårt att på ett tillförlitligt sätt bedöma inverkan från de flöden som korsar modellerna. Utbredningen av påverkan bör istället utgöra en sammanvägning av erhållna resultat från känslighetsanalyser, vattenbalansberäkningar och erfarenhetsmässig bedömning.

En annan osäkerhet i den utförda modelleringen är hur de ansatta hydrauliska parametrarna utgått från egenskaper som bestämts för området kring tunnelns närhet men applicerats i hela modellen. Framförallt gäller detta den hydrauliska konduktiviteten i berget, som i känslighetsanalyserna visats ha stort inflytande över resultatet. Samtliga tvärsektioner, men i olika omfattning, korsar områden med normalberg och dalgångar där berget kan antas vara mer uppsprucket. Huruvida dessa mindre dalgångar utgör ränder/trösklar eller förstärker påverkan genom hydraulisk kontakt med magasin längre bort kopplar tillbaka till osäkerheten kring de tredimensionella effekterna som diskuterats ovan.

Från känslighetsanalyserna, som utförts i ett område med normalberg, kan utläsas att det är bergets hydrauliska konduktivitet, applicerad grundvattenbildning och modellering med samma egenskaper i den omrättade som rättade zonen som i störst utsträckning påverkar resultatet. Att modellering med samma egenskaper i den omrättade och rättade zonen har sådan effekt beror dels på att den omrättade zonen då har en högre hydraulisk konduktivitet som i sin tur medger ett större flöde, dels att den omrättade zonen utgör en stor del i dessa modeller. I verkligheten begränsas dock flödet i den omrättade zonen normalt av att porerna inte är helt vattenfyllda, vilket skapar en buffrande effekt. Känsligheten för denna parameter är dessutom antagligen mindre i fallet för en tätad tunnel eftersom den omrättade zonen då är inte har lika stor utbredning. För tvärsektion 12000 ses inga tydliga tröskeffekter för ökad påverkan men däremot verkar påverkan inte minska med tätare berg eller högre grundvattenbildning. Referensfallet beskriver med andra ord den minsta förväntade utbredningen av påverkan. För 12200 indikerar däremot resultatet att en rand/tröskel finns söderut. I Figur 4-31 ses dock att Orlången utgör en tydlig begränsning för påverkan norrut för flertalet av sektionerna. Ur analysen kan också utläsas att den hydrauliska konduktiviteten hos moränjorden inte påverkar resultatet nämnvärt. I dessa sektioner förekommer dock endast begränsade områden med jordlager. För svaghetszoner med större utbredning hos sådana jordlager kan den hydrauliska konduktiviteten däremot antas ha betydelse, vilket också påvisats i känslighetsanalysen för svaghetszonen i Glömstadalen (se kapitel 4.3.2.6).

Sammanfattningsvis finns osäkerheter i modellerade resultat men utförda känslighetsanalyser ger en indikation om hur påverkan skulle kunna variera. Redovisade resultat utgör därmed inte en slutgiltig

beskrivning av förväntad påverkan från tunneln. Påverkan ska istället bedömas genom att väga samman erhållna resultat med uppgifter från känslighetsanalyser, vattenbalansberäkningar och tidigare erfarenheter.

## 5 Analytiska grundvattenberäkningar

### 5.1 Syfte

Analytiska beräkningar har primärt utförts i syfte att beräkna påverkansområdets utbredning under byggskede (mindre anläggningsarbeten under grundvattennivå) och under driftskede (dränerande anläggningsdelar som ej utförts som täta konstruktioner). De analytiska beräkningarna används även till att beräkna mängden inläckande vatten till anläggningsdelarna.

### 5.2 Principiella förutsättningar för beräkningar

Samtliga mindre anläggningsarbeten som kan påverka grundvattenförhållandena har undersökts systematiskt med avseende på jordlagerförhållanden och grundvattennivåer i relation till förväntade dräneringsnivåer enligt följande metodik:

#### Byggskede:

1. Om dräneringsnivån för ett specifikt anläggningsarbete konstateras ligga ovan grundvattnets medelnivå har grundvattenpåverkan uteslutits.
2. Om dräneringsnivån för ett specifikt anläggningsarbete konstaterats ligga under grundvattnets medelnivå och schakt skär genom vattenförande jordar har ett preliminärt påverkansområde beräknats.
3. Om dräneringsnivån för ett specifikt anläggningsarbete konstaterats ligga under grundvattnets medelnivå, men berörd anläggningsdel blir placerad helt i täta jordlager, har risken för hydraulisk bottenuppträckning bedömts.
  - A. I de fall ingen risk för hydraulisk bottenuppträckning bedömts finnas har grundvattenpåverkan uteslutits.
  - B. I de fall risk för hydraulisk bottenuppträckning bedömts finnas har brottsgränsnivån för hydraulisk bottenuppträckning beräknats, liksom den trycksänkning som krävs i undre magasin för att förhindra hydraulisk bottenuppträckning. Ett påverkansområde som den styrda trycksänkningen förväntas ge upphov till har beräknats.

#### Driftskede:

1. Anläggningsdelar som utförs som täta konstruktioner har inte bedömts medföra någon grundvattenpåverkan i driftskedet.
2. Om dräneringsnivån för en specifik icke tät anläggning konstateras ligga under medelgrundvattennivå och kontakt finns med vattenförande jordar har ett preliminärt påverkansområde beräknats.
3. Då bergschakt medför att en bergtröskel, som kontrollerar omgivningens grundvattennivåer, avlägsnas ger det upphov till en permanent grundvattensänkning eftersom grundvattennivåerna snart därefter ställer in sig efter den nya tröskelnivån. Omfattningen av dessa grundvattensänkningar har inte beräknats utan har istället bestämts utifrån nivåer i en bergmodell.

### 5.3 Beräkningsmetodik

De analytiska beräkningar som utförts följer i stort den beräkningsgång som beskrivs i SGU:s handledning för beräkning av influensområde (2020). För öppna magasin har SGU:s Modell 1 använts och för slutna magasin SGU:s Modell 4. Beräkningsmodellerna bygger på antaganden om balans mellan grundvattenbildning till det grundvattenmagasin som påverkas och flödet av inläckande grundvatten till ett cirkulärt schakt (att likställa med en brunn). Beräkningarna är förenklingar av verkligheten och tar inte hänsyn till exempelvis inhomogeniteter i jordlagren eller hydrauliska gränser.

Med hjälp av beräkningsmodellerna erhålls *influensradien* ( $R_0$ ), som definierar det område inom vilket grundvattennivån avsänks till följd av grundvattenbortledningen. Längs den yttre gräsen av influensområdet är avsänkningen 0 m. Efter att influensradien tagits fram kan även påverkansområdets beräknas, vilken här definieras som området där beräknad avsänkning är större än 0,3 m.

#### 5.3.1 Beräkningsmodell för öppna magasin

Beräkningsmodellen förutsätter ett radiellt grundvattenflöde till en cirkulär anläggning i ett magasin med öppna magasinförhållanden och en tät botten. För beräkningarna gäller även följande antaganden:

- Det öppna magasinet antas vara homogent, isotropt och ha en konstant mäktighet
- Ingen grundvattenbildning sker direkt i de öppna schakterna
- Summan av allt vatten som bortleds från anläggningen balanseras av grundvattenbildning inom influensområdet

Metoden består av följande ekvationer, där influensradien ( $R_0$ ) löses ut iterativt ur ekvation 1.1;

$$R_0^2 \left( \ln \left( \frac{R_0}{r_w} \right) - \frac{1}{2} \right) = \frac{2K}{W} \left( \frac{H_0^2}{2} - \frac{h_w^2}{2} \right) - \frac{r_w^2}{2} \quad (1.1)$$

$$h(r) = \sqrt{\frac{W}{K} \left( R_0^2 \ln \left( \frac{r}{R_0} \right) + \frac{K}{W} H_0^2 + \frac{R_0^2}{2} - \frac{r^2}{2} \right)} \quad (1.2)$$

där

$r_w$  = antagen schaktradie (m)

$K$  = hydraulisk konduktivitet (m/s)

$W$  = grundvattenbildning (m/s)

$H_0$  = opåverkad grundvattennivå (m)

$h_w$  = grundvattennivå precis utanför schakt (m)

$h(r)$  = grundvattennivå r meter från schakt (m)



### 5.3.2 Beräkningsmodell för slutna magasin

Beräkningsmodellen förutsätter ett radiellt grundvattenflöde till en cirkulär anläggning i ett magasin med slutna magasinförhållanden och en tät botten. För beräkningarna gäller även följande antaganden:

- Det slutna magasinet antas vara homogent, isotropt och ha en konstant mäktighet
- Schakten penetrerar hela det slutna magasinets mäktighet
- Inom det slutna magasinets infiltrationsområde råder öppna magasinförhållanden
- Summan av allt vatten som bortleds från anläggningen balanseras av grundvattenbildning i magasinets infiltrationsområde

Metoden består av följande ekvationer, där influensradien ( $R_o$ ) beräknas på ett iterativt sätt genom att eftersträva balans mellan ekvation 2.1 och 2.2 (jämviktsförhållande);

$$Q_{inf,max} = W\pi(R_o^2 - R_1^2) \quad (2.1)$$

$$Q_g = 2\pi KB \frac{(H_o - h_w)}{\ln\left(\frac{R_o}{r_w}\right)} \quad (2.2)$$

$$h(r) = H + \frac{Q_g}{2\pi KB} \ln\left(\frac{r}{R_1}\right) \quad (2.3)$$

där

$Q_{inf,max}$  = maximal grundvattenbildning (m<sup>3</sup>/s)

$W$  = grundvattenbildning (m/s)

$R_1$  = radie för det slutna magasinets utbredning (m)

$Q_g$  = inläckage av grundvatten (m<sup>3</sup>/s)

$K$  = hydraulisk konduktivitet (m/s)

$B$  = det slutna magasinets mäktighet (m)

$H_o$  = opåverkad grundvattennivå (m)

$h_w$  = grundvattennivå precis utanför schakt (m)

$r_w$  = antagen schaktradie (m)

$h(r)$  = grundvattennivå r meter från schakt (m)

Metoden förutsätter att influensradien ( $R_o$ ) är minst lika stor som radien för det slutna magasinet ( $R_1$ ) eftersom grundvattenbildningen inte får vara negativ (se ekvation 2.1).

### 5.3.3 Inläckage till punktschakt i byggskede och planskilda passager i driftskede

Inläckaget  $Q$  (m<sup>3</sup>/s) till punktschakt i byggskede och till planskilda passager i driftskede har beräknats genom nedan angivna ekvationer:

Öppna magasin:

$$Q = W\pi R_0^2$$

Slutna magasin:

$$Q = W\pi(R_0^2 - R_1^2)$$

där

$R_0$  = påverkansområde från schaktvägg (m)

$R_1$  = radie för det slutna magasinet (m), dvs radien till randzonen där grundvattenbildning sker

$W$  = grundvattenbildning (m/s)

De analytiska beräkningarna gäller under förutsättning att inga skyddsåtgärder för att begränsa inläckaget vidtagits.

### 5.3.4 Ansatta parametrar samt antaganden

Genomgående har konservativa antaganden gjorts där höjd för osäkerheter har tagits för att inte underskatta influensområdet eller inläckaget.

De planerade punktschakten har, oavsett ursprunglig geometri, översatts till ett cirkulärt schakt med representativ area. Schaktradien för till exempel en bro med två brostöd har antagits vara så stor så att den innefattar båda brostöden. För brokonstruktioner har dräneringsnivåer i byggskede antagits ligga 0,5 m under projekterad grundläggningsnivå (underkant bottenplatta). Dräneringsnivån i driftskedet vid GC-portar och planskilda passager har antagits ligga 1,5 m under lägsta vägytan.

Den hydrauliska konduktiviteten i vattenförande jordlager har i första hand valts utifrån resultat från hydrauliska tester, och i andra hand utifrån schablonvärden för olika typjordarter. Avseende grundvattennivåer har medelvärden från närbelägna och representativa grundvattenrör tillämpats. Vid behov har interpolering mellan grundvattenrör utförts.

Bergnivå och mäktighet av vattenförande jordlager har, där tillgängligt, tagits från platsspecifika sonderingar och i övrigt uppskattats utifrån geotekniska undersökningar utförda i närområdet. Radien för det slutna magasinets utbredning,  $R_1$ , har ansatts som avståndet från schakt till rand mellan lera och morän.

I de fall schaktbotten hamnat i lera, utan att penetrera den, har alltid den minsta uppmätta mäktigheten på det impermeabla lagrets valts och använts som indata vid beräkning av brottsgränsen för bottenuppträckning. Som säkerhetsmarginal har därefter grundvattennivåns avsänkning vid schakt antagits vara en meter under nivån för brottsgränsen. För långa anläggningsarbeten, till exempel en ledningskulvert, kan dessa passera genom både mäktiga och tunna lerlager. Om lerlagret penetreras

någonstans längst konstruktionen har inga bottenuppträckningsberäkningar utförts, istället har hela schaktet setts som öppet mot det undre magasinet.

Antaganden om grundvattenbildning har baserats på en generell nettonederbörd (potentiell grundvattenbildning) om 200–220 mm/år. Opåverkade, öppna magasin har bedömts kunna tillgodogöra sig nära 90 % av nettonederbörden. Ingen grundvattenbildning till slutna magasin bedöms ske inom lerområdena, utan uteslutande i dess randzoner mot omgivande höjdområden där lera övergår till friktionsjord. I denna zon har grundvattenbildningen antagits vara 300 mm/år, vilket är något högre än den nettonederbörd som angivits ovan då infiltrationen i dessa områden anses vara större än den generella. Grundvattenbildningen till berg har bedömts uppgå till drygt 20 mm/år (Rodhe och Bockgård, 2006).

För dagvattenreningsanläggningar inom delsträcka 3 (Gladö till Jordbro) har vissa generaliseringar gjorts på grund av att utformningen av dessa inte är fastställd. För samtliga dagvattenreningsanläggningar har ett konservativt schaktdjup om 3,5 meter ansatts. I beräkningarna har vidare antagits att schakt och grundvattenpåverkan sker i ytliga jordar varför beräkningsmodellen för öppna magasin använts. Grundvattenbildningen har ansatts på samma sätt som för övriga schakter i öppna magasin.

#### 5.3.5 Känslighetsanalys

En känslighetsanalys har genomförts med avseende på hydraulisk konduktivitet och grundvattenbildning för att undersöka variationen i influensområdets utbredning samt inläckagets storlek. Vid känslighetsanalysen har fem olika scenarier beräknats för varje schakt. Ett scenario representerar grundfallet, med parameterintervall enligt beskrivning ovan. För två scenarier har den hydrauliska konduktiviteten ökat respektive minskats med en tiopotens jämfört grundfallet. För ytterligare två scenarier har grundvattenbildningen ökat respektive minskats med 100 mm jämfört grundfallet.

### 5.4 Resultat

Resultatet från beräkningarna presenteras i Tabell 5-1, 5-2, 5-3 samt 5-4 och visar det mest sannolika scenariot för respektive schakt. I Bilaga 1 presenteras resultatet från samtliga beräkningsscenarier i känslighetsanalysen. För anläggningar i Tabell 5-2 (enklare dagvattenreningsanläggningar) har ingen känslighetsanalys utförts. De fetmarkerade raderna i Bilaga 1 visar samma scenario som syns i Tabell 5-1, 5-3 och 5-4. Tabell 5-1, 5-2 och 5-3 avser anläggningsarbeten som har grundvattenpåverkan i byggskedet medan 5-4 visar anläggningar med påverkan i driftskede.

Glömstadiket 1, 2 och 3 avser de områden där det föreligger risk för bottenuppträckning i samband med omläggning av diket, dessa syns i Figur 5-1.

Tabell 5-1. Tabellen visar det samlade resultatet för de bedömt mest troliga scenarion för punktschakter i slutna magasin, under byggskedet. Grundvattenbildningen (W) är ansatt till 300 mm/år i tillrinningsområdet utanför det slutna magasinet och till 0 mm/år inom det slutna magasinet.

|                                         | <b>K</b><br>[m/s]     | <b>Q<sub>g</sub></b><br>[l/min] | <b>R<sub>1</sub></b><br>[m] | <b>R<sub>0</sub></b><br>[m] | <b>Influensområde vid<br/>0,3 m avsänkning</b><br>[m] |
|-----------------------------------------|-----------------------|---------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-------------------------------------------------------|
| <b>Bro Häggstavägen 245</b>             | 3,50*10 <sup>-5</sup> | 33                              | 30                          | 139                         | 110                                                   |
| <b>Släckvattenstation Flottsbro 281</b> | 3,50*10 <sup>-5</sup> | 70                              | 50                          | 204                         | 180                                                   |
| <b>Ledningskulvert 343</b>              | 7,60*10 <sup>-6</sup> | 56                              | 150                         | 231                         | 198                                                   |
| <b>Inlopp Albytunneln 347</b>           | 3,07*10 <sup>-4</sup> | 18                              | 30                          | 106                         | 92                                                    |
| <b>Rörbro Glömstadiket 349</b>          | 7,60*10 <sup>-6</sup> | 4                               | 120                         | 120                         | 67                                                    |
| <b>Glömstadiket 1</b>                   | 7,60*10 <sup>-6</sup> | 14                              | 100                         | 133                         | 99                                                    |
| <b>Glömstadiket 2</b>                   | 7,60*10 <sup>-6</sup> | 20                              | 120                         | 161                         | 106                                                   |
| <b>Glömstadiket 3</b>                   | 7,60*10 <sup>-6</sup> | 12                              | 150                         | 170                         | 94                                                    |
| <b>Dagvattenpumpstation Kästa 384</b>   | 7,60*10 <sup>-6</sup> | 41                              | 75                          | 169                         | 152                                                   |
| <b>Pumpstation 386</b>                  | 7,60*10 <sup>-6</sup> | 30                              | 50                          | 138                         | 120                                                   |
| <b>GC-Port 344</b>                      | 7,60*10 <sup>-6</sup> | 29                              | 50                          | 138                         | 115                                                   |
| <b>GC-Port 448</b>                      | 6,62*10 <sup>-6</sup> | 1                               | 160                         | 160                         | 14                                                    |
| <b>Broar TPL Gladö 641, 64F</b>         | 4,19*10 <sup>-5</sup> | 8                               | 25                          | 73                          | 31                                                    |
| <b>Bro Smedstorp svägen 642, 647</b>    | 4,19*10 <sup>-5</sup> | 44                              | 30                          | 160                         | 116                                                   |
| <b>Bro Ådranvägen 645, 646</b>          | 5*10 <sup>-6</sup>    | 9                               | 125                         | 143                         | 107                                                   |
| <b>GC-Passage 648, 64D</b>              | 4,19*10 <sup>-5</sup> | 7                               | 50                          | 79                          | 41                                                    |
| <b>GC-Passage 64E</b>                   | 4,19*10 <sup>-5</sup> | 3                               | 30                          | 50                          | 10                                                    |
| <b>Bro TPL Gladö 649</b>                | 4,19*10 <sup>-5</sup> | 11                              | 20                          | 82                          | 53                                                    |
| <b>Jordbrukspassage 741</b>             | 1,09*10 <sup>-4</sup> | 61                              | 50                          | 191                         | 186                                                   |
| <b>GC-Passage 742</b>                   | 8,09*10 <sup>-6</sup> | 1                               | 100                         | 100                         | 58                                                    |



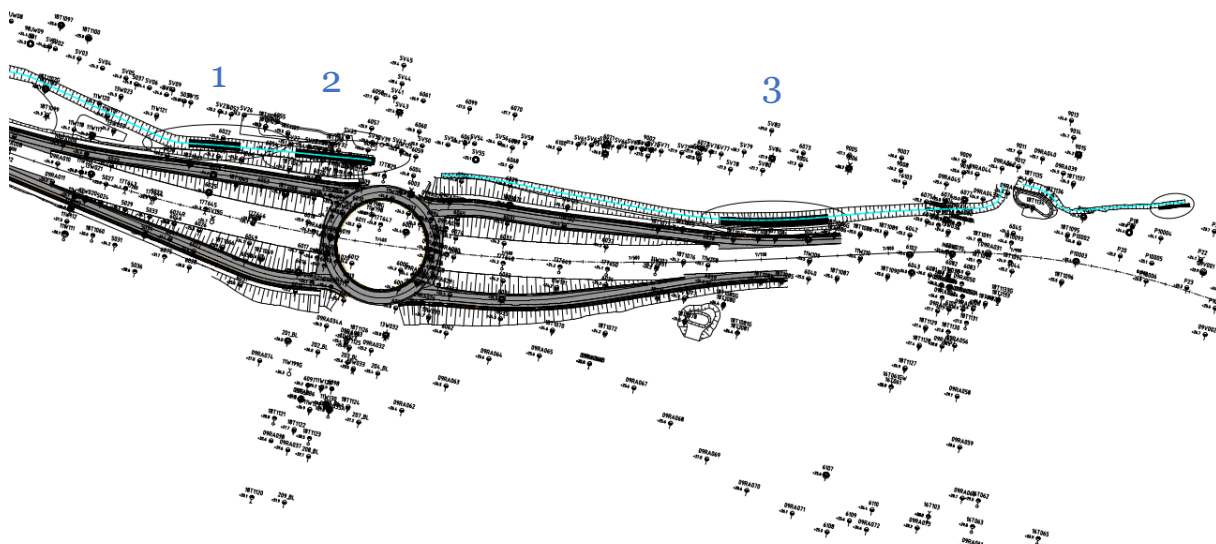
|                                                      | <i>K</i><br>[m/s]    | <i>Q<sub>g</sub></i><br>[l/min] | <i>R<sub>1</sub></i><br>[m] | <i>R<sub>0</sub></i><br>[m] | <i>Influensområde vid<br/>0,3 m avsänkning</i><br>[m] |
|------------------------------------------------------|----------------------|---------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-------------------------------------------------------|
| <b>GC-Passage 743</b>                                | $8,09 \cdot 10^{-6}$ | 9                               | 100                         | 122                         | 90                                                    |
| <b>Bro TLP Lissma 744</b>                            | $2,66 \cdot 10^{-5}$ | 57                              | 50                          | 186                         | 173                                                   |
| <b>Pumpstation 787</b>                               | $8,09 \cdot 10^{-6}$ | 2                               | 100                         | 100                         | 44                                                    |
| <b>Bro Sörmlandsleden 841, 846</b>                   | $1,96 \cdot 10^{-5}$ | 9                               | 75                          | 103                         | 94                                                    |
| <b>Passage &amp; Stödmur Rudanvägen<br/>843, 849</b> | $1,11 \cdot 10^{-5}$ | 17                              | 20                          | 100                         | 80                                                    |

Tabell 5-2. Visar resultatet för dagvattenreningsanläggningar i öppna magasin, under byggskedet.  
Grundvattenbildningen (W) är ansatt till 180 mm/år i hela influensområdet.

| <i>Anläggning</i> | <i>K</i><br>[m/s]   | <i>Q<sub>g</sub></i><br>[l/min] | <i>R<sub>0</sub></i><br>[m] | <i>Influensområde<br/>vid 0,3 m<br/>avsänkning [m]</i> |
|-------------------|---------------------|---------------------------------|-----------------------------|--------------------------------------------------------|
| 681               | $4,0 \cdot 10^{-5}$ | 78                              | 269                         | 111                                                    |
| 682               | $1,0 \cdot 10^{-5}$ | 43                              | 200                         | 99                                                     |
| 683               | $1,0 \cdot 10^{-7}$ | 2                               | 41                          | 9                                                      |
| 684               | $1,0 \cdot 10^{-7}$ | 1                               | 30                          | 27                                                     |
| 685               | $5,0 \cdot 10^{-6}$ | 11                              | 100                         | 42                                                     |
| 687               | $1,0 \cdot 10^{-7}$ | 2                               | 45                          | 17                                                     |
| 689               | $1,0 \cdot 10^{-7}$ | 1                               | 25                          | 6                                                      |
| 783               | $1,0 \cdot 10^{-5}$ | 23                              | 145                         | 59                                                     |
| 784               | $1,0 \cdot 10^{-7}$ | 2                               | 43                          | 16                                                     |
| 785               | $1,0 \cdot 10^{-7}$ | 1                               | 25                          | 4                                                      |
| 786               | $1,0 \cdot 10^{-5}$ | 12                              | 106                         | 41                                                     |
| 881               | $5,0 \cdot 10^{-8}$ | 1                               | 27                          | 5                                                      |
| 882               | $1,0 \cdot 10^{-5}$ | 31                              | 170                         | 83                                                     |
| 883               | $1,0 \cdot 10^{-6}$ | 5                               | 65                          | 28                                                     |
| 884               | $1,0 \cdot 10^{-5}$ | 17                              | 125                         | 56                                                     |
| 885               | $1,0 \cdot 10^{-5}$ | 17                              | 127                         | 56                                                     |
| 886               | $1,0 \cdot 10^{-6}$ | 3                               | 53                          | 19                                                     |
| 887               | $8,0 \cdot 10^{-5}$ | 60                              | 237                         | 89                                                     |

Tabell 5-3. Visar det samlade resultatet för de bedömt mest troliga scenarion för punktschakter i öppna magasin, under byggskedet. Grundvattenbildningen (W) är ansatt till 180 mm/år i hela influensområdet.

| Anläggning                 | K<br>[m/s]            | Q <sub>g</sub><br>[l/min] | R <sub>0</sub><br>[m] | Influensområde vid 0,3 m<br>avsänkning [m] |
|----------------------------|-----------------------|---------------------------|-----------------------|--------------------------------------------|
| Bro över GC-väg 247        | 3,50*10 <sup>-5</sup> | 6                         | 76                    | 15                                         |
| Passage järnväg 844        | 7,69*10 <sup>-5</sup> | 42                        | 198                   | 60                                         |
| Passage Slätmossen 845     | 1,04*10 <sup>-5</sup> | 37                        | 186                   | 75                                         |
| GC-bro över Nynäsvägen 848 | 1,04*10 <sup>-5</sup> | 41                        | 195                   | 95                                         |



Figur 5-1. Figuren visar den planerade omledningen av Glömstadiket (ljusblå linje) vid TPL Kästa. Områden med risk för bottenuppträckning är inringade i svart och numrerade 1-3, från vänster till höger i figuren. Det inringade området längst till höger i figuren har inga närliggande sonderingspunkter och därför inte beräknats i detta skede.

Tabell 5-4. Visar det samlade resultatet för de bedömt mest troliga scenarion för punktschakter i slutna magasin, i driftskedet. Påverkan från Glömstadiket 1, 2 och 3 gäller under förutsättningar att diket inte kulverteras. Vid en kulvertering av diket blir påverkan på grundvattnet endast under byggskedet. Grundvattenbildningen (W) är ansatt till 300 mm/år i tillrinningsområdet utanför det slutna magasinet och till 0 mm/år inom det slutna magasinet.

|                | K [m/s]               | Q <sub>g</sub><br>[l/min] | R <sub>1</sub><br>[m] | R <sub>0</sub><br>[m] | Influensområde vid<br>0,3 m avsänkning<br>[m] |
|----------------|-----------------------|---------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------------------------------|
| Glömstadiket 1 | 7,60*10 <sup>-6</sup> | 14                        | 100                   | 133                   | 99                                            |
| Glömstadiket 2 | 7,60*10 <sup>-6</sup> | 20                        | 120                   | 161                   | 106                                           |
| Glömstadiket 3 | 7,60*10 <sup>-6</sup> | 12                        | 150                   | 170                   | 94                                            |
| GC-Port 344    | 7,60*10 <sup>-6</sup> | 12                        | 50                    | 95                    | 61                                            |

## 5.5 Diskussion

De parametrar som är mest styrande för beräkningsresultatet är grundvattenbildning och hydraulisk konduktivitet, K. Genom att ansätta mindre grundvattenbildning och högre K ges mer konservativa ingångsvärden för det beräknade påverkansområdets utbredning.

K är beräknad med hjälp av data från pulstester i grundvattenrör. För att undvika att grundvattenrören inte är torra är rörens filter ofta placerade djupt i jorden nära bergöverytan. Jordschakterna som studeras här är i vissa fall ytliga och når inte ner nära bergets överyta, vilket gör att pulstestens resultat inte alltid är representativt för jorden närmast schakten. Den generella jordartsföljden i området är morän ovanpå berg som överlagras jordar med finare partikelstorlek. K antas således ofta vara överskattat, som i sin tur påverkar influensområdet sådant att dess utbredning också överskattas. Grundvattenbildning är en annan faktor som påverkar influensområdets utbredning och som är besvärlig att uppskatta. Dels för att nettonederbörden som grundvattenbildningen baseras på är generell för en större region (men som inte nödvändigtvis behöver gälla på en lokal nivå), dels eftersom andelen nettonederbörd som infiltrerar till grundvattnet varierar med olika markförutsättningar och topografiska lägen. Grundvattenbildningen varierar dessutom mycket mellan åren och har en betydande säsongsvariation. För detta syfte är bedömningen att grundvattenbildningen (som är baserad på en regional nivå) är konservativ då en låg grundvattenbildning ger stor utbredning av influensområdet.

De analytiska beräkningarna är i grunden begränsade då de förutsätter homogena och isotropa markförhållanden. Resultatet från beräkningarna visar på en radiell och homogen avsänkning av grundvattnet kring schaktet och tar inte hänsyn till eventuella hydrogeologiska gränser, som till exempel områden med berg i dagen. Istället ses bergöverytan, markytan och den opåverkade grundvattenytans utbredning som oändlig i horisontalled med en konstant nivå. Detta kan medföra vissa utmaningar, till exempel om bergöverytans nivå varierar stort inom ett litet område. Svårigheten ligger då i att ansätta värden på bland annat akvifersmäktighet. Bedöms denna vara större än den verkliga kommer influensområde och inläckage till schakt att överskattas och vice versa om den bedöms vara mindre än den verkliga kommer påverkansområde samt inläckage att underskattas. Vid osäkerheter kring det vattenförande lagrets mäktighet har därför alltid den största uppmätta mäktigheten valts. Grundvattenströmningen förutsätts dessutom vara helt horisontell och jämnt fördelad över hela akviferens mäktighet. Om då schaktbotten endast penetrerar en liten del av grundvattenmagasinet är egentligen en betydande del av grundvattenströmningen vertikal närmare schakten och en större andel av vattenströmningen sker i grundvattenmagasinets övre skikt. Följden av detta blir att det beräknade inflödet och påverkansområdet överskattas.

Med hjälp av känslighetsanalysen har grundvattenbildningens och den hydrauliska konduktivitetens inverkan på beräkningsresultat kunnat kvantifieras. Resultaten från känslighetsanalysen har sedan använts för att tillsammans med erfarenhetsmässiga tolkningar bedöma påverkansområdenas faktiska utbredning. I bedömningen av de faktiska påverkansområdena har hänsyn också tagits till om stora delar av det beräknade infiltrationsområdet hamnat över lerjord (på grund av att lerområdenas utbredning ofta inte är cirkulära), genom att då utöka påverkansområdet. Påverkansområdena har också anpassats mot områden med berg i dagen. Där detta inneburit att stora delar av påverkansområdet avgränsats bort har påverkansområdet istället utökats i andra riktningar. De bedömda påverkansområdena för punktschakter redovisas i PM Yt- och grundvatten.

Sammanfattningsvis är bedömningen att de scenarier som redovisas i Tabell 5-1, 5-2 och 5-3 kan ses som konservativa till följd av de antaganden som har gjorts för att ta höjd för osäkerheter och för att inte underskatta influensområdet eller inläckaget.



## 6 Vattenbalansberäkningar

Vattenbalansberäkningar har utförts för de fyra tunnlar som planeras i tvärförbindelsen, benämnda Masmotunneln, Glömstatunneln, Solgårdstunneln och Flemingsbergstunneln. Den sistnämnda har delats upp i två delar benämnda Visättra och Stensättra. Det har även gjorts en vattenbalans för Vårby källa. Vattenbalansberäkningarna ger ledning i bedömningen av påverkan från den grundvattenbortledning som tunnelarna orsakar, både i byggskede och i permanentskede.

Vattenbalanssekvationen beskriver inkommande och utgående vatten från ett område under en tidsperiod och kan skrivas  $R = P - ET - \Delta S$ , där

$R$  = Avrinning

$P$  = Nederbörd

$ET$  = Avdunstning och växters transpiration

$\Delta S$  = magasinsförändring

Vattenbalansen skiljer sig mellan olika platser och varierar under året och mellan olika år. Upprättad vattenbalans avser en genomsnittlig situation baserat på historiska data.

Beroende på syftet med en vattenbalans finns flera olika sätt att beräkna denna. Syftet med denna vattenbalans är att beräkna maximal mängd grundvatten som är tillgängligt för inläckage i tunnel. Normalt sker den större delen av områdesavrinningen som ytvatten i diken, vattendrag och dagvattenledningar och inte som ett grundvattenflöde i djupare jordlager och berg. Ett inläckage till en tunnel skapar en ökad grundvattenströmning till berg, till stor del på bekostnad av den ytliga avrinningen. I redovisade balanser beräknas därför den potentiella grundvattenbildningen som skulle kunna ske som en grundvattenbortledning i undre magasin om förutsättningar skapas.

### 6.1 Metodik/antaganden

- Vattenbalansområdena baseras framför allt på grundvattenmodellering som beskrivs i kapitel 4, men har också avgränsats med ledning av topografiska avrinningskartor och kända geologiska/hydrogeologiska förutsättningar. Hänsyn har i största möjliga mån tagits till andra dränerande objekt som kan påverka vattenbalansen.
- Med utgångspunkten att endast en väldigt liten del av nederbörden i Sverige bildar avrinning på markytan (endast vid intensiva regn) så är grundvattenbildningen i det långa loppet lika med nederbörd minus avdunstning. Grundvattenbildningen i beräkningarna grundar sig i den beräknade årsavrinning som redovisas i SMHI:s vattenwebb för varje delavrinningsområde, och framgår för respektive område i kapitel 4.

Grundvattenmagasinen har delats upp i ett övre magasin och ett undre magasin. Det undre magasinet omfattar både magasin i friktionsmaterial och i berg under tätande lera, och benämns slutet magasin då det överlagras av tätare material. Det övre magasinet är öppet och överlagras inte av tätare material, och består av ytnära friktionsmaterial, fyllning eller (ofta uppsprucken) lera eller torrskorpelera. Fördelningen av grundvatten till det övre och undre magasinet har antagits enligt följande principer:

- I områden med yttlig berg- och moränjord når hela grundvattenbildningen det undre grundvattenmagasinet. Detta då större delen av grundvattenbildningen till undre magasin i området ofta sker i randzoner mellan berg och friktionsjord och då kontakt mellan berg och jord på många ställen är god.

- I områden där de huvudsakliga undre grundvattenmagasinen bedöms utbredas, ofta i dalgångar, finns normalt ett mäktigare och tätande lerlager i ytan. I dessa områden ansätts hela grundvattenbildningen komma övre magasin tillgodo.
- I övriga områden bedöms lerjorden ha mindre mäktighet. I dessa områden ansätts 25% av grundvattenbildningen komma undre magasin tillgodo och 75% till övre magasin.
- I bebyggda, hårdgjorda områden har en reducering av grundvattenbildningen gjorts med en faktor 0,4, motsvarande avrinningskoefficient för dimensionering av dagvattenledningar i radhus, kedjehus eller flerfamiljshus med öppet byggnadssätt (P90 dimensionering av allmänna avloppsledningar, Svenskt Vatten mars 2004).
- Då dränering av det undre magasinet sker, till exempel på grund av läckage till tunnel, kan den nedåtriktade transporten av grundvatten genom lerlagret öka. Det ökade läckaget genom lerlager till undre magasin på grund av den dränering som tunnarna åstadkommer bedöms som försumbart i vattenbalansen och beräknas inte. I stora delar av undersökningsområdet förekommer snarare ett uppåtriktat läckage på grund av höga trycknivåer i undre magasin, där följden av en dränering av undre nivåer snarare blir att uppåtriktat läckage minskar eller upphör.
- Det djupa grundvatten som flödar in eller ut från kringliggande områden ansätts till noll då det ofta handlar om väldigt låga flöden och då in- och utflöde till viss del tar ut varandra.
- Analytisk beräkning av inläckage till tunnlar har utförts för både tätat och otätat utförande. Beräkningar i otätat utförande har utförts baserat på (Gustafson 1986) och baseras på bergmassans hydrauliska konduktivitet, tunnelradie, tunnelns djup under grundvattenytan och en skinfaktor. Bergmassans hydrauliska konduktivitet baseras på vattenförlustmätningar och berg/sprickkartering. En fast grundvattennivå 1,5 m under markytan har använts och beräkningarna motsvarar därmed ett maximalt inläckage som i verkligheten sjunker i samband med att grundvattennivån lokalt avsänks runt tunneln. Skinfaktor har ansatts till 0 vilket sannolikt överskattar inläckaget. För en preliminär uppfattning om vilka inläckage som skulle kunna förväntas i tätad bergtunnel har beräkningar utförts baserat på (Alberts och Gustafson 1983), vilken baseras på ovan parametrar samt injekteringszonens tjocklek och hydrauliska konduktivitet. Injekteringszonens hydrauliska konduktivitet har satts till mellan 0,75 och 2 tiopotenser lägre än bergets ursprungliga konduktivitet, dock som lägst  $1 \cdot 10^{-9}$  m/s. Injekteringstjocklek har ansatts till 6 m.
- Numerisk beräkning av inläckage baseras på grundvattenmodellering och de antaganden som beskrivs i kapitel 4.2, 4.3, 4.4 och 4.5.
- Vid bedömning av inläckage i befintliga tunnlar i området har resultat från utförd droppkartering i Albytunneln använts för dag- och spillvattentunnlar. Enligt droppkarteringen var inläckaget 0,2 l/min/100 meter men eftersom metoden är osäker väljs dubbla beloppet. För tunnelbanan som har betydligt större tvärsnittsarea skattas inläckaget vara 2 l/min/100 meter. Den förändrade grundvattenströmningen runt de planerade tunnarna kan komma att påverka inläckaget men osäkerheten är så pass stor att det i vattenbalansberäkningarna antags vara oförändrat inläckage när de planerade tunnarna anlagts.

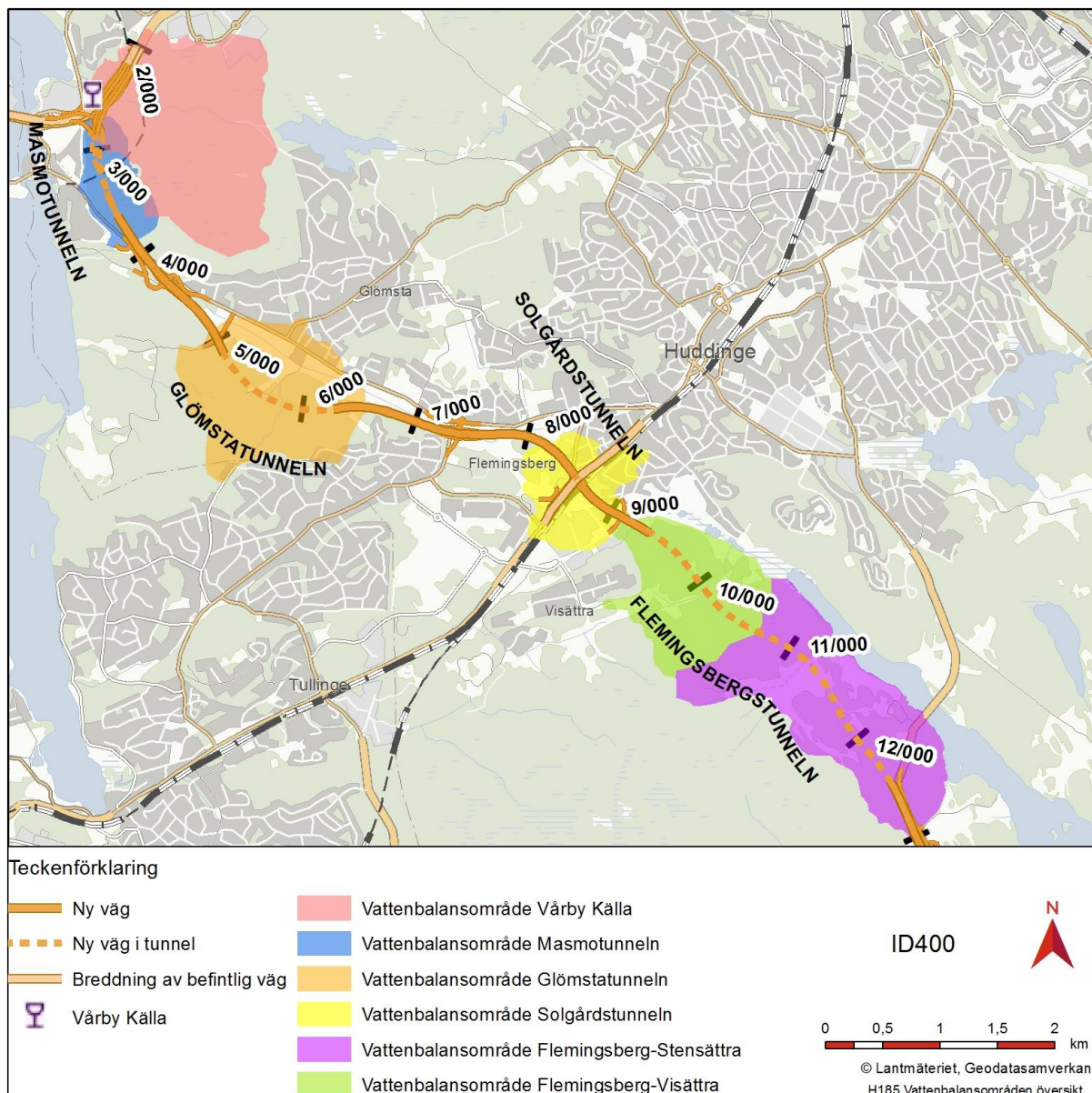
## 6.2 Underlag

- Jordartskarta – SGU
- Markanvändning – baserad på Markytor i Fastighetskartan. Bebyggd mark klassificeras som hårdgjord och där tillämpas reducering av grundvattenbildning enligt ovan beskriven metodik.

- Delavrinningsområden – framtagna av SMHI, baserat på äldre digitala höjddata, samt lokalt av Tyréns med mer detaljerad LAS-höjddata.
- Grundvattendelare – bedömda baserat på delavrinningsområden, jordartsfördelning och uppmätta grundvattennivåer i ett stort antal grundvattenrör.
- Grundvattenbildning – hämtad från SMHI:s modellverktyg S-HYPE
- Ledningsunderlag

### 6.3 Vattenbalansområden och beräknad grundvattenbildning

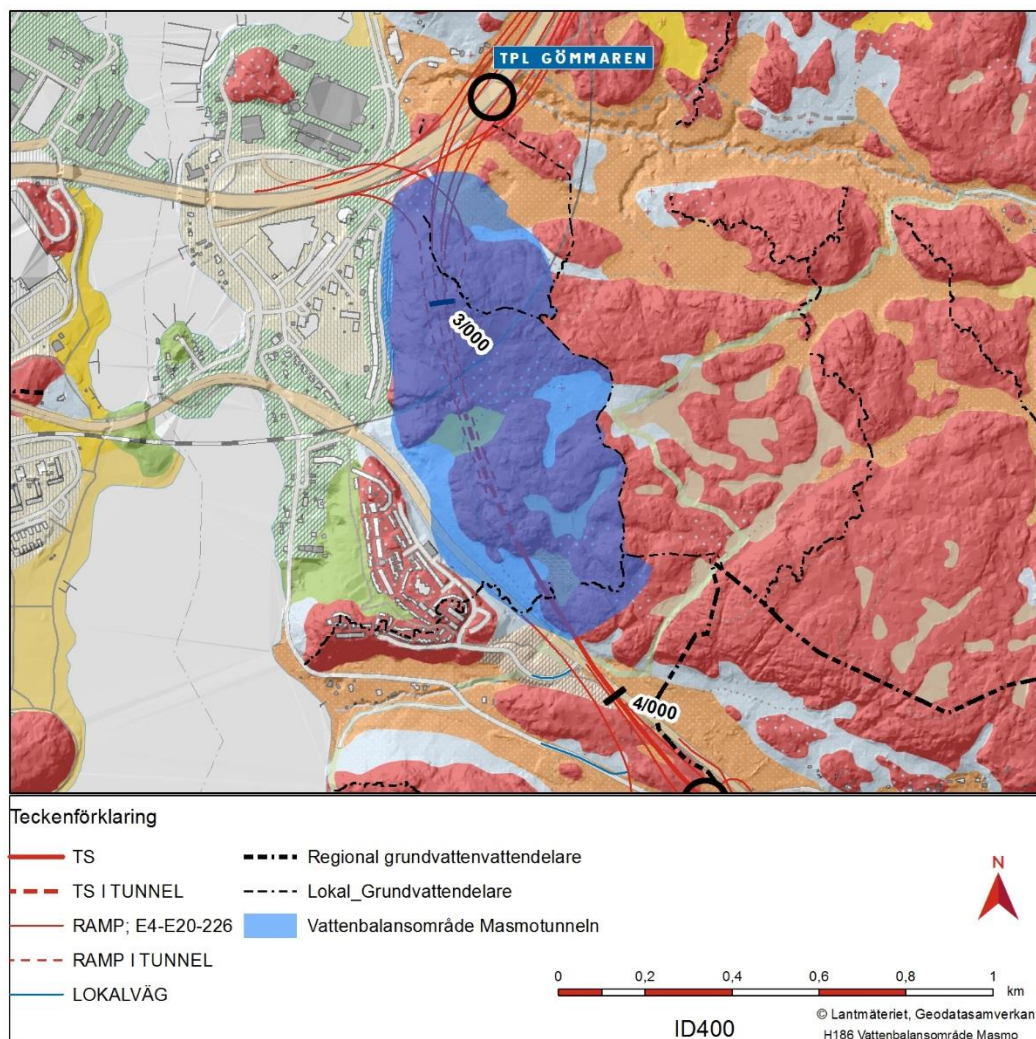
Avgränsning av de sex olika vattenbalansområdena framgår i översiktskarta i Figur 6-1.. I följande kapitel framgår en mer detaljerad redovisning av vattenbalansområdena.



Figur 6-1. Översikt, samtliga vattenbalansområden.

### 6.3.1 Masmotunneln

Vattenbalansområdet kring Masmotunneln omfattar nordvästra delen av Masmoberget. Området är i princip obebyggt, är ca 0,5 km<sup>2</sup> stort och består nästan enbart av skog. Området framgår av Figur 6-2..



Figur 6-2. Vattenbalansområde Masmotunneln.

Större delen av området består av berg i dagen, bestående gnejs och granit. Storskaliga deformationszoner och strukturella formlinjer, som kan indikera sprickbildningar och förkastningar, förekommer huvudsakligen i nordväst-sydostliga stråk.

Grundvattenbildning för Masmotunneln redovisas i Tabell 6-1. Vattenbalanser för alla tunnlar redovisas i Tabell 6-5.



Tabell 6-1. Grundvattenbildning Masmotunneln.

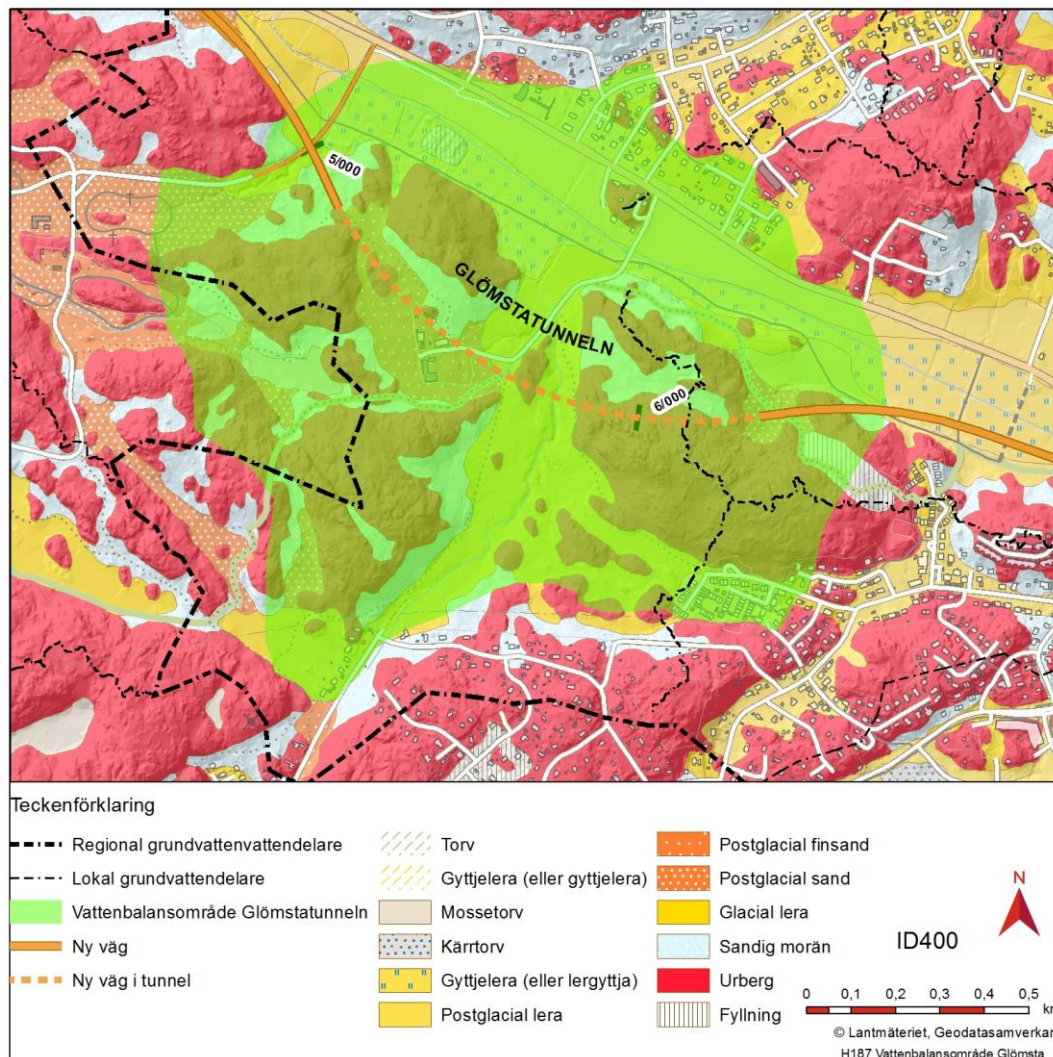
| Delområde                           | Masmotunneln            |              |                 |             |
|-------------------------------------|-------------------------|--------------|-----------------|-------------|
| Area delområde (m <sup>2</sup> )    | 499251                  |              |                 |             |
| <b>Jordart</b>                      | <b>Friktionsjord</b>    | <b>Lera</b>  | <b>Org jord</b> | <b>Berg</b> |
| Fördelning inom delområde (%)       | 27%                     | 2%           | 2%              | 68%         |
| Andel av jordart som är bebyggd (%) | 1%                      | 0%           | 0%              | 0%          |
| <b>Grundvattenbildning</b>          | <b>m<sup>3</sup>/år</b> | <b>l/min</b> | <b>l/s</b>      |             |
| Berg- och moränområden              | 126691                  | 241          | 4,0             |             |
| Reducering dagvattenavrinning       | -248                    | -0,5         | -0,01           |             |
| Lerområden                          | 3114                    | 5,9          | 0,10            |             |
| Reducering dagvattenavrinning       | 0                       | 0,0          | 0,00            |             |
|                                     |                         |              |                 |             |
| Totalt grundvattenbildning          | 129557                  | 246          | 4,11            |             |

Inom vattenbalansområdet finns en spillvattentunnel (i närheten av Lilla Svackan) samt befintlig tunnelbana (med tunnelbanestation strax utanför vattenbalansområdet) som troligtvis har en dränerande effekt på grundvattnet. Inläckage till spillvattentunneln skattas till 0,03 l/s baserat på längden på tunneln inom vattenbalansområdet (ca 500 m) och antagande enligt avsnitt 6.1. Inläckage till tunnelbanan skattas till 0,2 l/s baserat på längden 570 m och antagande enligt avsnitt 6.1. Sammantaget bedöms befintligt inläckage till dessa anläggningar uppgå till ca 0,23 l/s.

### 6.3.2 Glömstatunneln

Söder om Glömstadalen går tvärförbindelsen i bergtunnel under Loviseberg. Tunneln passerar genom två höjdområden med berg i dagen samt under ett mellanliggande jordfyllt dalstråk som ansluter till Glömstadalen i norr. Berggrunden i området skiljer sig inte nämnvärt från den vid Masmoberget, utan utgörs av huvudsakligen gnejs samt stråk med granitoida bergarter.

Avgränsningen av vattenbalansområdet kring Glömstatunneln baseras på bedömt/modellerat påverkansområde från Glömstatunneln i otätat utförande. Området är i princip obebyggt och ca 1,6 km<sup>2</sup> stort. Området framgår av Figur 6-3.



Figur 6-3. Vattenbalansområde Glömstatunneln.

I berget passerar Albytunneln som troligtvis har en dränerande effekt på grundvattnet i berg och anslutande magasin i jord. Albytunnelns längd inklusive inloppstunnlar inom vattenbalansområdet är ca 1,8 km. Skattning enligt förutsättningar i avsnitt 6.1 bedöms befintliga inläckage i Albytunneln uppgå till ca 0,12 l/s.

Grundvattenbildning för Glömstatunneln redovisas i Tabell 6-2. Vattenbalanser för alla tunnlar redovisas i Tabell 6-5.

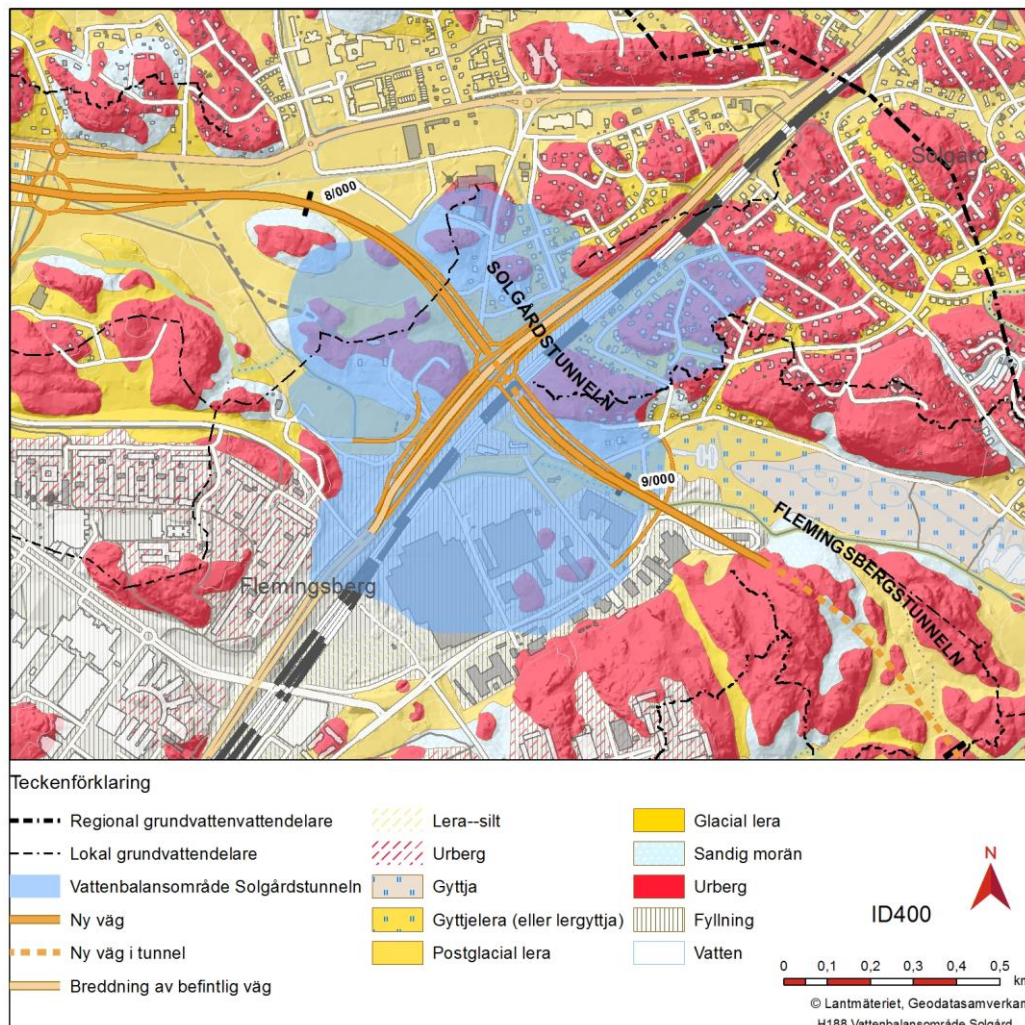
Tabell 6-2. Grundvattenbildning Glömstatunneln.

| Delområde                                                 | Glömstatunneln          |              |                 |             |
|-----------------------------------------------------------|-------------------------|--------------|-----------------|-------------|
| Area delområde (m <sup>2</sup> )                          | 1637301                 |              |                 |             |
| <b>Jordart</b>                                            | <b>Friktionsjord</b>    | <b>Lera</b>  | <b>Org jord</b> | <b>Berg</b> |
| Fördelning inom delområde (%)                             | 21%                     | 41%          | 1%              | 36%         |
| Andel av jordart som är bebyggd (%)                       | 5%                      | 22%          | 0,0%            | 3%          |
| Andel lera som ligger inom bedömda grundvattenmagasin (%) | -                       | 86%          | -               | -           |
| <b>Grundvattenbildning</b>                                | <b>m<sup>3</sup>/år</b> | <b>l/min</b> | <b>l/s</b>      |             |
| Berg- och moränområden                                    | 251524                  | 478,5        | 7,98            |             |
| Reducering dagvattenavrinning                             | -3790                   | -7,2         | -0,12           |             |
|                                                           |                         |              |                 |             |
| Lerområden avgående till övre magasin                     | 168275                  | 320,2        | 5,34            |             |
| Lerområden avgående till undre magasin                    | 5900                    | 11,2         | 0,19            |             |
| Reducering dagvattenavrinning                             | -15629                  | -29,7        | -0,50           |             |
|                                                           |                         |              |                 |             |
| Tot övre magasin                                          | 153175                  | 291,4        | 4,86            |             |
| Tot undre magasin                                         | 253104                  | 481,6        | 8,03            |             |

### 6.3.3 Solgårdstunneln

Avgränsningen av vattenbalansområdet kring Solgårdstunneln baseras på bedömt/modellerat påverkansområde i otätat utförande. Vattenbalansområdet består till delar av Glömstadalen som transporterar vatten i östlig riktning ut mot Ormlängen. Området består till stor del (ca 50%) av bebyggelse och är ca 0,8 km<sup>2</sup> stort. Området framgår av Figur 6-4..

Solgårdstunneln utförs som en "tät" betongtunnel på grund av dålig/obefintlig bergtäckning och inläckage till själva tunneln bedöms som litet.



Figur 6-4. Vattenbalansområde Solgårdstunneln.

I undre magasin finns dagvattenledningar i mindre omfattning, koncentrerade till Huddinge sjukhus. Med ledning av utförd droppkartering i närliggande Albytunneln bedöms befintligt inläckage till dessa anläggningar uppgå till ca 0,05 l/s.

Grundvattenbildning för Solgårdstunneln redovisas i Tabell 6-3. Vattenbalanser för alla tunnlan redovisas i Tabell 6-5.

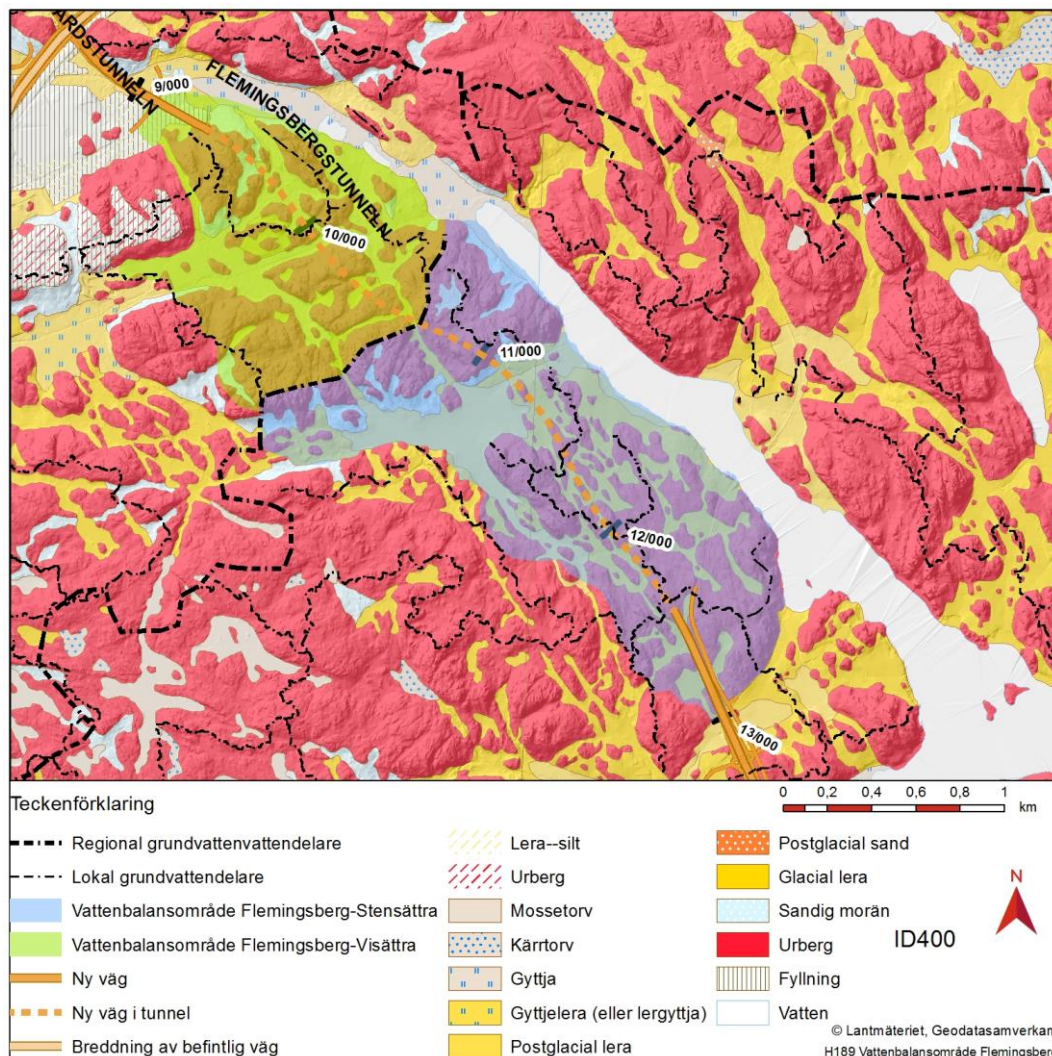


Tabell 6-3. Grundvattenbildning Solgårdstunneln.

| Delområde                                                 | Solgårdstunneln         |              |                 |             |
|-----------------------------------------------------------|-------------------------|--------------|-----------------|-------------|
| Vattenbalansområdets area (m <sup>2</sup> )               | 767264                  |              |                 |             |
| <b>Jordart</b>                                            | <b>Friktionsjord</b>    | <b>Lera</b>  | <b>Org jord</b> | <b>Berg</b> |
| Andel av jordart inom delområde (%)                       | 49%                     | 30%          | 0%              | 21%         |
| Andel av jordart som är bebyggd (%)                       | 49%                     | 33%          | 0%              | 58%         |
| Andel lera som ligger inom bedömda grundvattenmagasin (%) | -                       | 89%          | -               | -           |
| <b>Grundvattenbildning</b>                                | <b>m<sup>3</sup>/år</b> | <b>l/min</b> | <b>l/s</b>      |             |
| Berg- och moränområden                                    | 140307                  | 266,9        | 4,45            |             |
| Reducering dagvattenavrinning                             | -29096                  | -55,4        | -0,92           |             |
|                                                           |                         |              |                 |             |
| Lerområden avgående till övre magasin                     | 57536                   | 109,5        | 1,82            |             |
| Lerområden avgående till undre magasin                    | 1646                    | 3,1          | 0,05            |             |
| Reducering dagvattenavrinning                             | -7822                   | -14,9        | -0,25           |             |
|                                                           |                         |              |                 |             |
| Totalt avgående till övre magasin                         | 49932                   | 95,0         | 1,58            |             |
| Totalt avgående till undre magasin                        | 112639                  | 214,3        | 3,57            |             |

#### 6.3.4 Flemingsbergstunneln

Flemingsbergstunneln är uppdelad i två separata vattenbalanser, avgränsade på varsin sida om två huvudavrinningsområden. Avgränsningen går vid Km 10/690 i vägens längdmätning. Det norra området är benämnt Visättra och det södra området Stensättra, baserat på de två sydväst - nordostligt orienterade lerfyllda svackor mellan bergshöjderna; Visättradalens respektive Stensättradalens. Områdena avvattnas mot nordöst ut mot Flemingsbergsviken och Orlången via mindre dalgångar och vattendrag med jordmäktigheter som kan uppgå till 20 meter. Områdena är i stort obebyggda är ca 1,3 respektive 2,2 km<sup>2</sup> stora. Områdena framgår av Figur 6-5.



Figur 6-5. Vattenbalansområden Flemingsbergstunneln.

I norra delen av tunnelförläggningen i Visättra passeras en bergförlagd dagvattentunnel som kan ha en dränerande effekt på grundvattnet i berg och anslutande magasin i jord. Dagvattentunnelns längd inom vattenbalansområdet uppgår till ca 700 m och transporterar dagvatten mot Orlången. Enligt antaganden i avsnitt 6.1 bedöms befintligt inläckage till dagvattentunneln uppgå till ca 0,05 l/s.

Grundvattenbildning för Flemingsbergstunnlarna redovisas i Tabell 6-4. Vattenbalanser för alla tunnlar redovisas i Tabell 6-5.

Tabell 6-4. Grundvattenbildning Flemingsbergstunneln.

| Delområde                                                 | Flemingsbergstunneln, delen Visättra |      |               |      | Flemingsbergstunneln, delen Stensättra |      |          |      |
|-----------------------------------------------------------|--------------------------------------|------|---------------|------|----------------------------------------|------|----------|------|
| Area delområde (m <sup>2</sup> )                          | 1255182                              |      |               |      | 2072152                                |      |          |      |
| Jordart                                                   | Friktingsjord                        | Lera | Organisk jord | Berg | Friktingsjord                          | Lera | Org jord | Berg |
| Fördelning inom delområde (%)                             | 10%                                  | 35%  | 1%            | 55%  | 5%                                     | 35%  | 1%       | 57%  |
| Andel av jordart som är bebyggd (%)                       | 20%                                  | 9%   | -             | 1%   | 0%                                     | 0%   | 0%       | 0%   |
| Andel lera som ligger inom bedömda grundvattenmagasin (%) | -                                    | 62%  | -             | -    | -                                      | 22%  | -        | -    |

|                                        | Flemingsbergstunneln, delen Visättra |       |       | Flemingsbergstunneln, delen Stensättra |       |      |
|----------------------------------------|--------------------------------------|-------|-------|----------------------------------------|-------|------|
| Grundvattenbildning                    | m <sup>3</sup> /år                   | l/min | l/s   | m <sup>3</sup> /år                     | l/min | l/s  |
| Berg- och moränområden                 | 205108                               | 390   | 6,50  | 330053                                 | 628   | 10,5 |
| Reducering dagvattenavrinning          | -2729                                | -5,19 | -0,09 | 0                                      | 0     | 0    |
|                                        |                                      |       |       |                                        |       |      |
| Lerområden avgående till övre magasin  | 98203                                | 187   | 3,11  | 147546                                 | 281   | 4,68 |
| Lerområden avgående till undre magasin | 10310                                | 19,6  | 0,33  | 35680                                  | 67,9  | 1,13 |
| Reducering dagvattenavrinning          | -4085                                | -7,77 | -0,13 | 0                                      | 0     | 0    |
|                                        |                                      |       |       |                                        |       |      |
| Totalt övre magasin                    | 94506                                | 180   | 3,00  | 147546                                 | 281   | 4,68 |
| Totalt undre magasin                   | 212301                               | 404   | 6,73  | 365733                                 | 696   | 11,6 |

## 6.4 Vattenbalanser tunnlar

Beräkningar av vattenbalanser för tunnelarna sammanfattas i Tabell 6-5.

Tabell 6-5. Vattenbalansberäkningar för tunnelarna Masmo, Glömsta, Solgård och Flemingsberg.

|                                                                                  | Masmo  | Glömsta | Solgård               | Visättra | Stensättra |
|----------------------------------------------------------------------------------|--------|---------|-----------------------|----------|------------|
| Gv-bildning till aktuellt magasin (l/s)                                          | 4,01   | 8,0     | 10,4                  | 6,7      | 11,6       |
| Bedömt inläckage i befintliga tunnlar (l/s)                                      | 0,23   | 0,1     | 0,05                  | 0,05     | 0          |
| Kvarvarande grundvatten efter befintliga inläckage (l/s)                         | 3,8    | 7,9     | 10,4                  | 6,7      | 11,6       |
| <b>Analytiska inläckageberäkningar</b>                                           |        |         |                       |          |            |
| Otätat utförande (l/s)                                                           | 6,0    | 19,8    | "Tät"<br>betongtunnel | 25,9     | 23,8       |
| Tätat utförande (l/s)                                                            | 1,0    | 1,7     | "Tät"<br>betongtunnel | 2,3      | 2,4        |
| Läckagets andel av kvarvarande grundvatten efter bef inläckage, otätat utförande | 158%   | 250%    | "Tät"<br>betongtunnel | 388%     | 205%       |
| Läckagets andel av kvarvarande grundvatten efter bef inläckage, tätat utförande  | 27%    | 22%     | "Tät"<br>betongtunnel | 34%      | 21%        |
| <b>Numeriska inläckageberäkningar</b>                                            |        |         |                       |          |            |
| Otätat utförande (l/s)                                                           | 1,2 *  | 3,7     | 1,8 *                 | 4,3      | 7,0        |
| Tätat utförande (l/s)                                                            | 0,1 ** | 1,9     | 0,7 ***               | 2,5      | 3,8        |
| Läckagets andel av kvarvarande grundvatten efter bef inläckage, otätat utförande | 34% *  | 47%     | 18% *                 | 64%      | 60%        |
| Läckagets andel av kvarvarande grundvatten efter bef inläckage, tätat utförande  | 3% **  | 24%     | 7% ***                | 37%      | 33%        |

\* Avser byggskede utan spont eller tätad botten

\*\* Avser byggskede med spont,  $K=1 \cdot 10^{-8}$  m/s över 0,5 m tjocklek (beräkningsfall c, scenario 2)

\*\*\* Avser byggskede med läckande spont,  $K=1 \cdot 10^{-8}$  m/s över 0,5 m tjocklek och otätad botten (beräkningsfall 2). Vid tätad botten samt spont (beräkningsfall 3) blir inläckaget nära noll. Betongtunneln anses i princip helt tät i driftskede.

Det kan konstateras att inläckageberäkningarna skiljer sig kraftigt beroende på om de beräknats analytiskt eller numeriskt. De analytiska beräkningarna har svagheter att de avser ett inläckage som förutsätter att grundvattennivån ovanför tunneln aldrig avsänks. I beräkningarna förutsätts också homogena och isotropa förhållanden, när verkligheten är mycket mer komplex. De numeriska beräkningarna avser istället ett inläckage som det ser ut när grundvattennivån avsänkts och uppnått jämviktsförhållanden. De numeriska beräkningarna har också fördelen att omgivande komplexa heterogena förhållanden i större utsträckning kan beskrivas och beräknas i modellen.

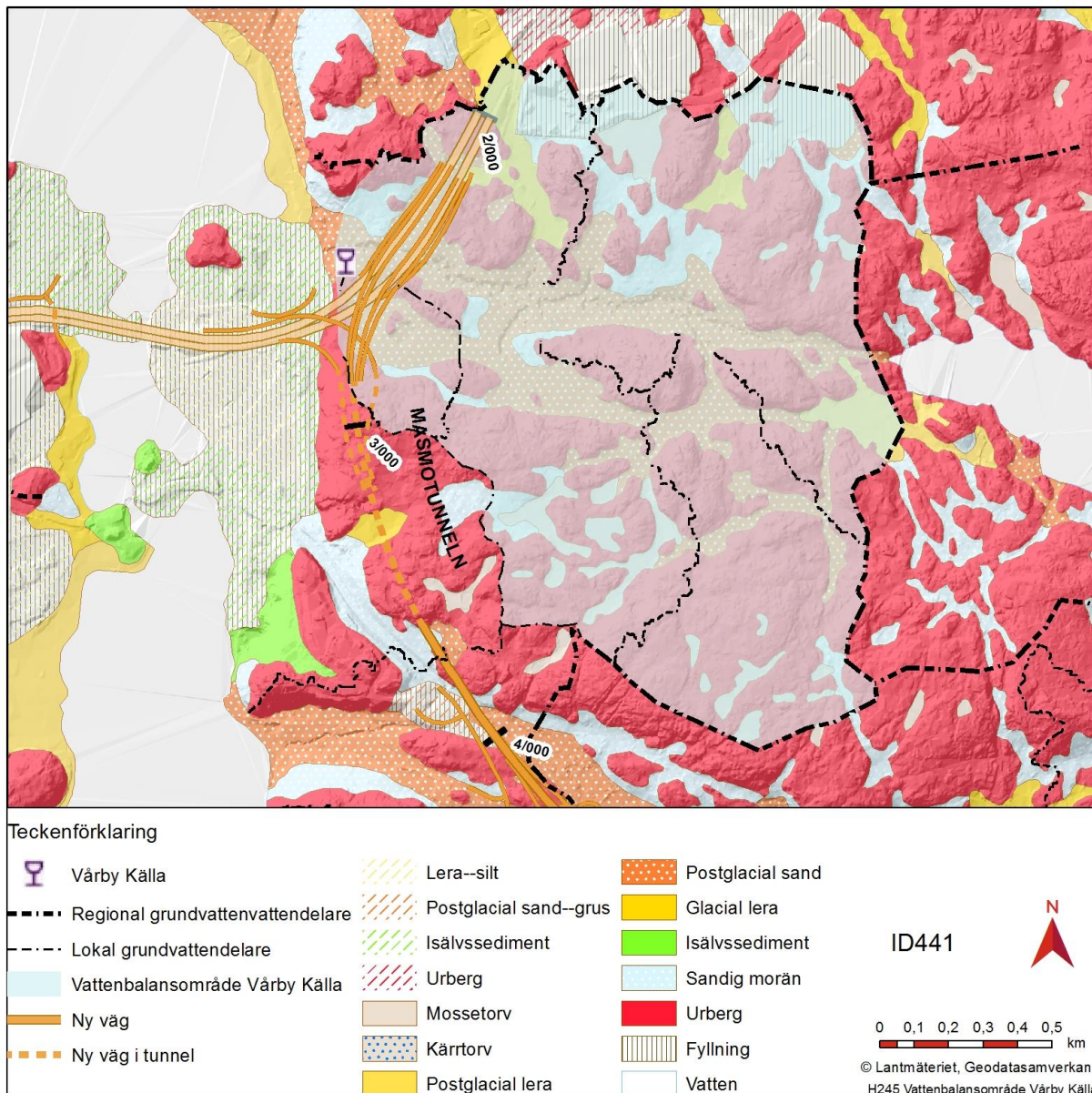


## 6.5 Vattenbalans Vårby källa

I stora delar av närområdet sker den större delen av områdesavrinningen som ytvatten i diken, vattendrag och dagvattenledningar och inte som ett grundvattenflöde i jordlager och berg. I Gömmarbäckens dalgång råder dock öppna grundvattenförhållanden med genomsläppliga jordarter, varför en stor del av områdesavrinningen förutsätts strömma genom jordlagren. Ett inläckage till en schakt i dalgången skapar en ökad grundvattenströmning i grundvattenmagasinen, främst på bekostnad av den ytliga avrinningen i bäcken. Då Vårby källas grundvattennivåer ligger i samma nivå som marknivå i Gömmarbäckens dalgång förutsätts alltså att större delen av grundvattenbildningen är tillgänglig för uttag i Vårby källa (även om det i praktiken flödar förbi vatten i Gömmarbäcken med större hastighet än vad källan skulle kunna fånga upp vid ett större uttag, det vill säga en viss överskattning sker). I redovisade balanser beräknas alltså den potentiella vattentransporten som sker i både jordlager och i bäcken. Det handlar i slutändan om samma vatten som transporteras ut ur vattenbalansområdet men där god kontakt finns mellan yt- och grundvatten.

Tillrinningsområdet till Vårby källa visas i Figur 6-6. Det utgörs av Gömmarbäckens dalgång med angränsande delar av Masmoberget och höjdområdet upp mot Vårby. Den huvudsakliga tillrinningen sker alltså från öster i jordlager under Gömmarbäckens sträckning men ett mindre tillflöde kan dels ske längs med E4/E20 från norr och från sydväst och den mindre dalgången där trafikplats Gömmaren ansluter till Masmotunneln, se Figur 6-6. Grundvattenflödet styrs till stor del av bergytans nivåer och trösklar och/eller avsmalnande dalgångar håller uppe nivåerna. I Gömmarbäckens dalgång redovisar jordartskartan mäktiga lager svallsand (postglacial sand) men intill befintlig E4/E20 visar sonderingar på att det finns ett underlagrande lokalt lerskikt. Huvuddelen av grundvattenflödet bedöms gå i jordlagren under lerskiktet. Nederbördsinfiltrationen ovan leran avleds troligen via befintligt vägdagvatten men en andel bedöms ingå i Vårby källas tillflöde. Som framgår av figuren utgörs tillrinningsområdet till största del av naturmark, opåverkat av den exploatering som skett i området. Tillkommande dränerande objekt är främst tunnelbanan och att dagens E4/E20 med sin hårdgjorda yta och dagvattenhantering hindrar eller bortleder en del av grundvattenbildningen. Enligt antaganden i avsnitt 6.1 avseende inläckage till tunnelbana (ca 1,0 km inom vattenbalansområde) och spillvattentunnel (ca 1,3 km inom vattenbalansområdet) skattas inläckage till dessa anläggningar till 0,3 l/s respektive 0,1 l/s, totalt 0,4 l/s.

Tillrinningsområdet till Vårby källa har undersökts i flera tidigare utredningar utan att det klart kunnat bestämmas (bl.a. AIB, 1990 och SGU, 1966). De flesta studier tyder på att området som bidrar till källans flöde i princip omfattar hela Gömmarbäckens avrinningsområde (2,2 km<sup>2</sup>), vilket är det som redovisas i Figur 6-6. Vårby källa har ett varaktigt och kontinuerligt flöde även efter längre tidsperioder utan nederbörd (SGU, 1966), vilket visar på att vatten från ett stort avrinningsområde bidrar till källans vattenflöde. Detta syns även i de mätningar av grundvattennivån som utförts inom projekt Tvärförbindelse Södertörn. Mätningarna visar att grundvattennivåerna vid källan är i det närmaste oförändrade över tiden.



Figur 6-6. Bedömt vattenbalansområde Vårby källa.

Närheten till befintlig/ny vägsträcka medför att stora infiltrationsområden kommer hårdgöras. Vägområdets bredd vid Gömmarravinen kan komma att uppgå till cirka 150 m, och närmaste väglänt kommer hamna ca 45 m från källan istället för nuvarande 75 m, dock kommer stora delar av den nya motorvägen gå på bro. Dagvatten från vägar och slänter kommer att samlas upp i den nya utformningen och efter rening ledas till Mälaren. Vid bedömning av minskad grundvattenbildning har det antagits att hela det planerade vägområdet (ca 90 000 m<sup>2</sup> utöver den väg som redan finns) inklusive slänter inte är tillgängligt i vattenbalansen. Det motsvarar en minskad grundvattenbildning om ca 4% av vattenbalansområdet i driftskede.

Den närliggande Masmotunneln samt brostöd för vägen över Gömmarbäckens dalgång bedöms också påverka vattenbalansen genom inläckage till tunnel och schakt i driftskede. Påverkansområde för Masmotunneln och brostöd har bedömts överlappa Vårby källas vattenbalansområde med en yta motsvarande 3% av det totala tillrinningsområdet. Konservativt räknas hela grundvattenbildningen inom detta område bort från Vårby källas vattenbalans.

Ytterligare påverkan uppkommer i byggskede i form av inläckage till schakt i Gömmarbäckens dalgång (brostöd 143, 144, 145 och 148), vilket redovisas i tabellen utan att räknas bort från vattenbalansen.

Vattenbalansberäkning för Vårby källa redovisas i Tabell 6-6. I tabellen framgår att minskad grundvattenbildning på grund av hårdgörande av ytor samt inläckage i tunnlar och schakt beräknas uppgå till ca 7% av det vatten som finns beräknats finnas tillgängligt i driftskede.

Tabell 6-6. Vattenbalans Vårby källa och beräknad påverkan av projekt Tvärförbindelse Södertörn.

|                                     |                      |             |                 |             |
|-------------------------------------|----------------------|-------------|-----------------|-------------|
| Area (m <sup>2</sup> )              | 2273494              |             |                 |             |
| Jordart                             | <b>Friktionsjord</b> | <b>Lera</b> | <b>Org jord</b> | <b>Berg</b> |
| Fördelning inom delområde (%)       | 32%                  | 5%          | 5%              | 59%         |
| Andel av jordart som är bebyggd (%) | 16%                  | 8%          | 1%              | 2%          |

|                                   |                         |              |             |
|-----------------------------------|-------------------------|--------------|-------------|
| <b>Grundvattenbildning</b>        | <b>m<sup>3</sup>/år</b> | <b>l/min</b> | <b>l/s</b>  |
| Berg-, morän- och sandområden     | 564211                  | 1073         | 17,9        |
| Reducering dagvattenavrinning     | -14602                  | -27,8        | -0,5        |
|                                   |                         |              |             |
| Lerområden                        | 26897                   | 51,2         | 0,9         |
| Reducering dagvattenavrinning     | -888                    | -1,7         | -0,03       |
|                                   |                         |              |             |
| <b>Totalt grundvattenbildning</b> | <b>575618</b>           | <b>1095</b>  | <b>18,3</b> |

|                                                                        |                         |              |            |
|------------------------------------------------------------------------|-------------------------|--------------|------------|
| <b>Reducering av grundvattenbildning</b>                               | <b>m<sup>3</sup>/år</b> | <b>l/min</b> | <b>l/s</b> |
| Hårdgjorda ytor, nytt vägområde E4/E20 (ca 90 000 m <sup>2</sup> )     | -23400                  | -44,5        | -0,7       |
| Masmotunneln + brostödens ianspråktagande på Vårby källas vattenbalans | -19079                  | -36,3        | -0,6       |
| Beräknat inläckage brostöd 143, 144, 145, 148 *                        |                         | -35          | -0,6       |

**Vattenbalans (l/s)**

|                                                                                                                    |             |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| Grundvattenbildning                                                                                                | 18,3        |
| Bedömt läckage till befintlig tunnelbana och spillvattentunnel                                                     | 0,3         |
| Inläckage Masmotunneln och schakter för brostöd                                                                    | 0,6         |
| Minskad grundvattenbildning p.g.a. nytt vägområde                                                                  | 0,7         |
| <b>Summa kvarvarande grundvatten (totalt)</b>                                                                      | <b>16,7</b> |
| <b>Projektets bedömda grundvattenbortledning av tillgängligt grundvatten (efter bef inläckage till tunnelbana)</b> | <b>7%</b>   |

\* Inläckaget till brostöden gäller bara i byggskedet och redovisas inte i vattenbalansen för driftskedet.

## 7 Referenser

AIB (1990): Hydrogeologisk utredning av sjön Gömmaren, Gömmarbäcken – Vårby Källa. Solna. 1990-11-23

Alberts C., Gustafson G. (1983). *Undermarksbyggande i svagt berg: 4 Vattenproblem och tätningsåtgärder*, Stiftelsen Bergteknisk Forskning – BeFo 106. Stockholm 1983.

Gustafson G. (1986). *Geohydrologiska förundersökningar i berg. Bakgrund – metodik – användning*. Stiftelsen Bergteknisk Forskning – BeFo 84:1/86. Stockholm 1986.

Rodhe, A. Bockgård, N. (2006). Groundwater recharge in a hard rock aquifer: A conceptual model including surface-loading effects, *Journal of hydrology* 330, 389-401

Rodhe, A. Lindström, G. Rosberg, J. Pers, C. (2006). Grundvattenbildning i svenska typjordar – översiktlig beräkning med en vattenbalansmodell, Institutionen för Geovetenskaper, Uppsala Universitet, Report Series A: No. 66.

SGU (1966) genom Gunnel Linnman, Utlåtande angående Vårby källa. Stockholm. 1966-06-23

SGU (2020). Handledning - Bedömning av influensområde avseende grundvatten.

<https://www.sgu.se/handledningar/bedomning-av-influensomrade-avseende-grundvatten/berakningsmodeller/analytiska-modeller/> (Hämtad 2020-03-16)

SMHI (2019). Vattenwebb: modelldata per område, Delavrinningsområde

<https://vattenwebb.smhi.se/modelarea/> (Hämtad 2018-08-17)

Svenskt Vatten. (2011). Nederbördsdata vid dimensionering och analys av avloppssystem. P104. Publikation P110. Svenskt Vatten AB.

Svenskt Vattenarkiv (2016). Information från SVAR: Orlången, SVAR2016\_3, <https://vattenwebb.smhi.se/svarwebb/> (Hämtad 2018-09-01)

Trafikverket (2019a). Markteknisk undersökningsrapport (MUR) Hydrogeologi. Systemhandling V259 Tvärförbindelse Södertörn, dokument oG141013.

Trafikverket (2019b). Rapport Provpumpning Solgård. Systemhandling V259 Tvärförbindelse Södertörn, dokument 4G141001.

Trafikverket (2019c). PM Vattenförlustmätningar. Systemhandling V259 Tvärförbindelse Södertörn, dokument oG141042.

Trafikverket (2019d). Teknisk PM Bergteknik. Systemhandling V259 Tvärförbindelse Södertörn, dokument oB070005.

Trafikverket (2019e). Redogörelse för ämnesområdesmodell (RFÄ), Bergteknik, Förutsättningar. Systemhandling V259 Tvärförbindelse Södertörn, dokument oB070002.

Trafikverket (2019f). Redogörelse för ämnesområdesmodell (RFÄ), Befintligt berg. Systemhandling V259 Tvärförbindelse Södertörn, dokument oZ070004.

Trafikverket (2019g). Redogörelse för ämnesområdesmodell (RFÄ), Befintlig mark. Systemhandling V259 Tvärförbindelse Södertörn, dokument oZ070003.



# BILAGA 1

## TPL Flottsbro och Glömstatunneln

### Slutet magasin

|                                     | Variabler        | Qg<br>[l/min]   | R1<br>[m] | Ro<br>[m] | Influensområde vid<br>0,3 m avsänkning<br>[m] |
|-------------------------------------|------------------|-----------------|-----------|-----------|-----------------------------------------------|
| Bro Häggstavägen<br>245             | <b>K [m/s]</b>   | <b>3,50E-05</b> |           |           |                                               |
|                                     | <b>W [mm/år]</b> | <b>300</b>      | <b>33</b> | <b>30</b> | <b>139</b>                                    |
|                                     | K [m/s]          | 3,50E-06        | 5         | 30        | 63                                            |
|                                     | W [mm/år]        | 300             | 229       | 30        | 358                                           |
|                                     | K [m/s]          | 3,50E-04        | 31        | 30        | 164                                           |
|                                     | W [mm/år]        | 300             | 35        | 30        | 125                                           |
|                                     | K [m/s]          | 3,50E-05        | 31        | 30        | 164                                           |
|                                     | W [mm/år]        | 200             | 35        | 30        | 125                                           |
|                                     | K [m/s]          | 3,50E-05        | 35        | 30        | 125                                           |
|                                     | W [mm/år]        | 400             |           |           |                                               |
| Släckvattenstation Flottsbro<br>281 | <b>K [m/s]</b>   | <b>3,50E-05</b> |           |           |                                               |
|                                     | <b>W [mm/år]</b> | <b>300</b>      | <b>70</b> | <b>50</b> | <b>205</b>                                    |
|                                     | K [m/s]          | 3,50E-06        | 10        | 50        | 91                                            |
|                                     | W [mm/år]        | 300             | 505       | 50        | 533                                           |
|                                     | K [m/s]          | 3,50E-04        | 66        | 50        | 240                                           |
|                                     | W [mm/år]        | 300             | 74        | 50        | 183                                           |
|                                     | K [m/s]          | 3,50E-05        | 66        | 50        | 240                                           |
|                                     | W [mm/år]        | 200             | 74        | 50        | 183                                           |
|                                     | K [m/s]          | 3,50E-05        | 74        | 50        | 183                                           |
|                                     | W [mm/år]        | 400             |           |           |                                               |

### Öppet magasin

|                        | Variabler | Qg<br>[l/min] | Ro<br>[m] | Influensområde vid 0,3<br>m avsänkning |
|------------------------|-----------|---------------|-----------|----------------------------------------|
|                        |           |               |           | [m]                                    |
| Bro över GC-väg<br>247 | K [m/s]   | 3,50E-05      |           |                                        |
|                        | W [mm/år] | 180           | 6         | 76                                     |
|                        | K [m/s]   | 3,50E-06      | 1         | 33                                     |
|                        | W [mm/år] | 180           |           | 15                                     |
|                        | K [m/s]   | 3,50E-04      | 42        | 197                                    |
|                        | W [mm/år] | 180           |           | 25                                     |
|                        | K [m/s]   | 3,50E-05      | 5         | 106                                    |
|                        | W [mm/år] | 80            |           | 20                                     |
|                        | K [m/s]   | 3,50E-05      | 7         | 65                                     |
|                        | W [mm/år] | 280           |           | 15                                     |

## Trafikplats Kästa

### Slutet magasin

|                            | Variabler        | Qg<br>[l/min]   | R1<br>[m] | Ro<br>[m]  | Influensområde vid<br>0,3 m avsänkning<br>[m] |
|----------------------------|------------------|-----------------|-----------|------------|-----------------------------------------------|
| Ledningskulvert<br>343     | <b>K [m/s]</b>   | <b>7,60E-06</b> |           |            |                                               |
|                            | <b>W [mm/år]</b> | <b>300</b>      | <b>56</b> | <b>150</b> | <b>231</b>                                    |
|                            | K [m/s]          | 7,60E-07        | 6         | 150        | 161                                           |
|                            | W [mm/år]        | 300             | 434       | 150        | 500                                           |
|                            | K [m/s]          | 7,60E-05        | 53        | 150        | 259                                           |
|                            | W [mm/år]        | 300             | 57        | 150        | 215                                           |
|                            | K [m/s]          | 7,60E-06        |           |            |                                               |
|                            | W [mm/år]        | 200             |           |            |                                               |
|                            | K [m/s]          | 7,60E-06        |           |            |                                               |
|                            | W [mm/år]        | 400             |           |            |                                               |
| GC-passage<br>344          | <b>K [m/s]</b>   | <b>7,60E-06</b> | <b>29</b> | <b>50</b>  | <b>178</b>                                    |
|                            | <b>W [mm/år]</b> | <b>300</b>      |           |            | <b>115</b>                                    |
|                            | K [m/s]          | 7,60E-07        | 6         | 50         | 50                                            |
|                            | W [mm/år]        | 300             | 201       | 50         | 338                                           |
|                            | K [m/s]          | 7,60E-05        | 27        | 50         | 159                                           |
|                            | W [mm/år]        | 300             | 31        | 50         | 124                                           |
|                            | K [m/s]          | 7,60E-06        |           |            |                                               |
|                            | W [mm/år]        | 200             |           |            |                                               |
|                            | K [m/s]          | 7,60E-06        |           |            |                                               |
|                            | W [mm/år]        | 400             |           |            |                                               |
| Inlopp Albytunneln<br>347  | <b>K [m/s]</b>   | <b>7,60E-06</b> | <b>18</b> | <b>30</b>  | <b>106</b>                                    |
|                            | <b>W [mm/år]</b> | <b>300</b>      |           |            | <b>92</b>                                     |
|                            | K [m/s]          | 7,60E-07        | 3         | 30         | 49                                            |
|                            | W [mm/år]        | 300             | 133       | 30         | 274                                           |
|                            | K [m/s]          | 7,60E-05        | 17        | 30         | 124                                           |
|                            | W [mm/år]        | 300             | 19        | 30         | 95                                            |
|                            | K [m/s]          | 7,60E-06        |           |            |                                               |
|                            | W [mm/år]        | 200             |           |            |                                               |
|                            | K [m/s]          | 7,60E-06        |           |            |                                               |
|                            | W [mm/år]        | 400             |           |            |                                               |
| Rörbro Glömstadiket<br>349 | <b>K [m/s]</b>   | <b>7,60E-06</b> | <b>4</b>  | <b>120</b> | <b>120</b>                                    |
|                            | <b>W [mm/år]</b> | <b>300</b>      |           |            | <b>67</b>                                     |
|                            | K [m/s]          | 7,60E-07        | 0         | 120        | 120                                           |
|                            | W [mm/år]        | 300             | 38        | 120        | 189                                           |
|                            | K [m/s]          | 7,60E-05        | 4         | 120        | 120                                           |
|                            | W [mm/år]        | 300             | 4         | 120        | 120                                           |
|                            | K [m/s]          | 7,60E-06        |           |            |                                               |
|                            | W [mm/år]        | 200             |           |            |                                               |
|                            | K [m/s]          | 7,60E-06        |           |            |                                               |
|                            | W [mm/år]        | 400             |           |            |                                               |

|                                      | Variabler        | Qg<br>[l/min]   | R1<br>[m] | Ro<br>[m]  | Influensområde vid<br>0,3 m avsänkning<br>[m] |
|--------------------------------------|------------------|-----------------|-----------|------------|-----------------------------------------------|
| Glömstadiket 1                       | <b>K [m/s]</b>   | <b>7,60E-06</b> |           |            |                                               |
|                                      | <b>W [mm/år]</b> | <b>300</b>      | <b>14</b> | <b>100</b> | <b>99</b>                                     |
|                                      | K [m/s]          | 7,60E-07        | 2         | 100        | 79                                            |
|                                      | W [mm/år]        | 300             |           |            |                                               |
|                                      | K [m/s]          | 7,60E-05        | 114       | 100        | 186                                           |
|                                      | W [mm/år]        | 300             |           |            |                                               |
|                                      | K [m/s]          | 7,60E-06        | 14        | 100        | 107                                           |
|                                      | W [mm/år]        | 200             |           |            |                                               |
|                                      | K [m/s]          | 7,60E-06        | 15        | 100        | 94                                            |
|                                      | W [mm/år]        | 400             |           |            |                                               |
| Glömstadiket 2                       | <b>K [m/s]</b>   | <b>7,60E-06</b> | <b>20</b> | <b>120</b> | <b>106</b>                                    |
|                                      | <b>W [mm/år]</b> | <b>300</b>      |           |            |                                               |
|                                      | K [m/s]          | 7,60E-07        | 2         | 120        | 82                                            |
|                                      | W [mm/år]        | 300             |           |            |                                               |
|                                      | K [m/s]          | 7,60E-05        | 164       | 120        | 192                                           |
|                                      | W [mm/år]        | 300             |           |            |                                               |
|                                      | K [m/s]          | 7,60E-06        | 20        | 120        | 114                                           |
|                                      | W [mm/år]        | 200             |           |            |                                               |
|                                      | K [m/s]          | 7,60E-06        | 21        | 120        | 101                                           |
|                                      | W [mm/år]        | 400             |           |            |                                               |
| Glömstadiket 3                       | <b>K [m/s]</b>   | <b>7,60E-06</b> | <b>12</b> | <b>150</b> | <b>94</b>                                     |
|                                      | <b>W [mm/år]</b> | <b>300</b>      |           |            |                                               |
|                                      | K [m/s]          | 7,60E-07        | 1         | 150        | 85                                            |
|                                      | W [mm/år]        | 300             |           |            |                                               |
|                                      | K [m/s]          | 7,60E-05        | 98        | 150        | 138                                           |
|                                      | W [mm/år]        | 300             |           |            |                                               |
|                                      | K [m/s]          | 7,60E-06        | 11        | 150        | 98                                            |
|                                      | W [mm/år]        | 200             |           |            |                                               |
|                                      | K [m/s]          | 7,60E-06        | 12        | 150        | 92                                            |
|                                      | W [mm/år]        | 400             |           |            |                                               |
| Dagvattenpumpstation<br>Kästa<br>384 | <b>K [m/s]</b>   | <b>7,60E-06</b> | <b>41</b> | <b>75</b>  | <b>152</b>                                    |
|                                      | <b>W [mm/år]</b> | <b>300</b>      |           |            |                                               |
|                                      | K [m/s]          | 7,60E-07        | 5         | 75         | 85                                            |
|                                      | W [mm/år]        | 300             |           |            |                                               |
|                                      | K [m/s]          | 7,60E-05        | 345       | 75         | 265                                           |
|                                      | W [mm/år]        | 300             |           |            |                                               |
|                                      | K [m/s]          | 7,60E-06        | 39        | 75         | 175                                           |
|                                      | W [mm/år]        | 200             |           |            |                                               |
|                                      | K [m/s]          | 7,60E-06        | 42        | 75         | 138                                           |
|                                      | W [mm/år]        | 400             |           |            |                                               |
| Pumpstation<br>386                   | <b>K [m/s]</b>   | <b>7,60E-06</b> | <b>30</b> | <b>50</b>  | <b>120</b>                                    |
|                                      | <b>W [mm/år]</b> | <b>300</b>      |           |            |                                               |
|                                      | K [m/s]          | 7,60E-07        | 4         | 50         | 61                                            |
|                                      | W [mm/år]        | 300             |           |            |                                               |
|                                      | K [m/s]          | 7,60E-05        | 241       | 50         | 251                                           |
|                                      | W [mm/år]        | 300             |           |            |                                               |
|                                      | K [m/s]          | 7,60E-06        | 28        | 50         | 139                                           |
|                                      | W [mm/år]        | 200             |           |            |                                               |
|                                      | K [m/s]          | 7,60E-06        | 31        | 50         | 108                                           |
|                                      | W [mm/år]        | 400             |           |            |                                               |



## Trafikplats Solgård

### Slutet magasin

| Variabler      |                  |                 | Qg       | R1         | Ro         | Influensområde vid<br>0,3 m avsänkning |
|----------------|------------------|-----------------|----------|------------|------------|----------------------------------------|
|                |                  |                 | [l/min]  | [m]        | [m]        | [m]                                    |
| GC-Port<br>448 | <b>K [m/s]</b>   | <b>6,62E-06</b> | <b>1</b> | <b>160</b> | <b>160</b> | <b>14</b>                              |
|                | <b>W [mm/år]</b> | <b>300</b>      |          |            |            |                                        |
|                | K [m/s]          | 6,62E-07        | 0        | 160        | 160        | 14                                     |
|                | W [mm/år]        | 300             |          |            |            |                                        |
|                | K [m/s]          | 6,62E-05        | 9        | 160        | 160        | 14                                     |
|                | W [mm/år]        | 300             |          |            |            |                                        |
|                | K [m/s]          | 6,62E-06        | 1        | 160        | 160        | 14                                     |
|                | W [mm/år]        | 200             |          |            |            |                                        |
|                | K [m/s]          | 6,62E-06        | 1        | 160        | 160        | 14                                     |
|                | W [mm/år]        | 200             |          |            |            |                                        |

## Området mellan Flemingsbergsskogen och Jordbromalm

### Slutet magasin

| Variabler                          |                  | Qg<br>[l/min]   | R1<br>[m] | R0<br>[m]  | Influensområde vid 0,3 m<br>avsänkning<br>[m] |
|------------------------------------|------------------|-----------------|-----------|------------|-----------------------------------------------|
| Broar TPL Gladö<br>641, 64F        | <b>K [m/s]</b>   | <b>4,19E-05</b> |           |            |                                               |
|                                    | <b>W [mm/år]</b> | <b>300</b>      | <b>8</b>  | <b>25</b>  | <b>31</b>                                     |
|                                    | K [m/s]          | 4,19E-06        | 2         | 25         | 24                                            |
|                                    | W [mm/år]        | 300             | 52        | 25         | 44                                            |
|                                    | K [m/s]          | 4,19E-04        | 8         | 25         | 33                                            |
|                                    | W [mm/år]        | 300             | 9         | 25         | 30                                            |
|                                    | K [m/s]          | 4,19E-05        |           |            |                                               |
|                                    | W [mm/år]        | 200             |           |            |                                               |
|                                    | K [m/s]          | 4,19E-05        |           |            |                                               |
|                                    | W [mm/år]        | 400             |           |            |                                               |
| Bro<br>Smedstorpsvägen<br>642, 647 | <b>K [m/s]</b>   | <b>4,19E-05</b> | <b>44</b> | <b>30</b>  | <b>116</b>                                    |
|                                    | <b>W [mm/år]</b> | <b>300</b>      |           |            |                                               |
|                                    | K [m/s]          | 4,19E-06        | 7         | 30         | 54                                            |
|                                    | W [mm/år]        | 300             | 326       | 30         | 277                                           |
|                                    | K [m/s]          | 4,19E-04        | 42        | 30         | 135                                           |
|                                    | W [mm/år]        | 300             | 46        | 30         | 105                                           |
|                                    | K [m/s]          | 4,19E-05        |           |            |                                               |
|                                    | W [mm/år]        | 200             |           |            |                                               |
|                                    | K [m/s]          | 4,19E-05        |           |            |                                               |
|                                    | W [mm/år]        | 400             |           |            |                                               |
| Bro Ådranvägen<br>645, 646         | <b>K [m/s]</b>   | <b>5,00E-06</b> | <b>9</b>  | <b>125</b> | <b>107</b>                                    |
|                                    | <b>W [mm/år]</b> | <b>300</b>      |           |            |                                               |
|                                    | K [m/s]          | 5,00E-07        | 1         | 125        | 19                                            |
|                                    | W [mm/år]        | 300             | 72        | 125        | 227                                           |
|                                    | K [m/s]          | 5,00E-05        | 9         | 125        | 112                                           |
|                                    | W [mm/år]        | 300             | 9         | 125        | 105                                           |
|                                    | K [m/s]          | 5,00E-06        |           |            |                                               |
|                                    | W [mm/år]        | 200             |           |            |                                               |
|                                    | K [m/s]          | 5,00E-06        |           |            |                                               |
|                                    | W [mm/år]        | 400             |           |            |                                               |
| GC-Passage<br>648, 64D             | <b>K [m/s]</b>   | <b>4,19E-05</b> | <b>7</b>  | <b>50</b>  | <b>41</b>                                     |
|                                    | <b>W [mm/år]</b> | <b>300</b>      |           |            |                                               |
|                                    | K [m/s]          | 4,19E-06        | 1         | 50         | 30                                            |
|                                    | W [mm/år]        | 300             | 47        | 50         | 69                                            |
|                                    | K [m/s]          | 4,19E-04        | 6         | 50         | 44                                            |
|                                    | W [mm/år]        | 300             | 7         | 50         | 39                                            |
|                                    | K [m/s]          | 4,19E-05        |           |            |                                               |
|                                    | W [mm/år]        | 200             |           |            |                                               |
|                                    | K [m/s]          | 4,19E-05        |           |            |                                               |
|                                    | W [mm/år]        | 400             |           |            |                                               |

|                         | Variabler        |                 | Qg<br>[l/min] | R1<br>[m]  | R0<br>[m]  | Influensområde vid<br>0,3 m avsänkning<br>[m] |
|-------------------------|------------------|-----------------|---------------|------------|------------|-----------------------------------------------|
| GC-Passage<br>64E       | <b>K [m/s]</b>   | <b>4,19E-05</b> |               |            |            |                                               |
|                         | <b>W [mm/år]</b> | <b>300</b>      | <b>3</b>      | <b>30</b>  | <b>50</b>  | <b>10</b>                                     |
|                         | K [m/s]          | 4,19E-06        | 0             | 30         | 33         | 10                                            |
|                         | W [mm/år]        | 300             |               |            |            |                                               |
|                         | K [m/s]          | 4,19E-04        | 20            | 30         | 109        | 10                                            |
|                         | W [mm/år]        | 300             |               |            |            |                                               |
|                         | K [m/s]          | 4,19E-05        | 3             | 30         | 56         | 10                                            |
|                         | W [mm/år]        | 200             |               |            |            |                                               |
| Bro TPL Gladö<br>649    | K [m/s]          | 4,19E-05        | 3             | 30         | 47         | 10                                            |
|                         | W [mm/år]        | 400             |               |            |            |                                               |
|                         | <b>K [m/s]</b>   | <b>4,19E-05</b> |               |            |            |                                               |
|                         | <b>W [mm/år]</b> | <b>300</b>      | <b>11</b>     | <b>20</b>  | <b>82</b>  | <b>53</b>                                     |
|                         | K [m/s]          | 4,19E-06        | 2             | 20         | 39         | 31                                            |
|                         | W [mm/år]        | 300             |               |            |            |                                               |
|                         | K [m/s]          | 4,19E-04        | 73            | 20         | 203        | 106                                           |
|                         | W [mm/år]        | 300             |               |            |            |                                               |
| Jordbrukspassage<br>741 | K [m/s]          | 4,19E-05        | 10            | 20         | 95         | 60                                            |
|                         | W [mm/år]        | 200             |               |            |            |                                               |
|                         | K [m/s]          | 4,19E-05        | 12            | 20         | 73         | 49                                            |
|                         | W [mm/år]        | 400             |               |            |            |                                               |
|                         | <b>K [m/s]</b>   | <b>1,09E-04</b> |               |            |            |                                               |
|                         | <b>W [mm/år]</b> | <b>300</b>      | <b>61</b>     | <b>50</b>  | <b>191</b> | <b>186</b>                                    |
|                         | K [m/s]          | 1,09E-05        | 8             | 50         | 85         | 69                                            |
|                         | W [mm/år]        | 300             |               |            |            |                                               |
| GC-Passage<br>742       | K [m/s]          | 1,09E-03        | 456           | 50         | 507        | 505                                           |
|                         | W [mm/år]        | 300             |               |            |            |                                               |
|                         | K [m/s]          | 1,09E-04        | 58            | 50         | 225        | 219                                           |
|                         | W [mm/år]        | 200             |               |            |            |                                               |
|                         | K [m/s]          | 1,09E-04        | 64            | 50         | 171        | 166                                           |
|                         | W [mm/år]        | 400             |               |            |            |                                               |
|                         | <b>K [m/s]</b>   | <b>8,09E-06</b> |               |            |            |                                               |
|                         | <b>W [mm/år]</b> | <b>300</b>      | <b>1</b>      | <b>100</b> | <b>100</b> | <b>58</b>                                     |
| GC-Passage<br>743       | K [m/s]          | 8,09E-07        | 0             | 100        | 100        | 7                                             |
|                         | W [mm/år]        | 300             |               |            |            |                                               |
|                         | K [m/s]          | 8,09E-05        | 7             | 100        | 119        | 112                                           |
|                         | W [mm/år]        | 300             |               |            |            |                                               |
|                         | K [m/s]          | 8,09E-06        | 1             | 100        | 100        | 58                                            |
|                         | W [mm/år]        | 200             |               |            |            |                                               |
|                         | K [m/s]          | 8,09E-06        | 1             | 100        | 100        | 58                                            |
|                         | W [mm/år]        | 400             |               |            |            |                                               |
| GC-Passage<br>743       | <b>K [m/s]</b>   | <b>8,09E-06</b> |               |            |            |                                               |
|                         | <b>W [mm/år]</b> | <b>300</b>      | <b>9</b>      | <b>100</b> | <b>122</b> | <b>90</b>                                     |
|                         | K [m/s]          | 8,09E-07        | 0             | 100        | 100        | 11                                            |
|                         | W [mm/år]        | 300             |               |            |            |                                               |
|                         | K [m/s]          | 8,09E-05        | 26            | 100        | 157        | 151                                           |
|                         | W [mm/år]        | 300             |               |            |            |                                               |
|                         | K [m/s]          | 8,09E-06        | 3             | 100        | 100        | 76                                            |
|                         | W [mm/år]        | 200             |               |            |            |                                               |
|                         | K [m/s]          | 8,09E-06        | 3             | 100        | 100        | 76                                            |
|                         | W [mm/år]        | 400             |               |            |            |                                               |

| Variabler             |                  | Qg<br>[l/min]   | R1<br>[m] | R0<br>[m]  | Influensområde vid<br>0,3 m avsänkning<br>[m] |
|-----------------------|------------------|-----------------|-----------|------------|-----------------------------------------------|
| Bro TLP Lissma<br>744 | <b>K [m/s]</b>   | <b>2,66E-05</b> |           |            |                                               |
|                       | <b>W [mm/år]</b> | <b>300</b>      | <b>57</b> | <b>50</b>  | <b>186</b>                                    |
|                       | K [m/s]          | 2,66E-06        | 9         | 50         | 86                                            |
|                       | W [mm/år]        | 300             |           |            | 56                                            |
|                       | K [m/s]          | 2,66E-04        | 398       | 50         | 474                                           |
|                       | W [mm/år]        | 300             |           |            | 469                                           |
|                       | K [m/s]          | 2,66E-05        | 53        | 50         | 217                                           |
|                       | W [mm/år]        | 200             |           |            | 202                                           |
|                       | K [m/s]          | 2,66E-05        | 60        | 50         | 167                                           |
|                       | W [mm/år]        | 400             |           |            | 156                                           |
| Pumpstation<br>787    | <b>K [m/s]</b>   | <b>8,09E-06</b> |           |            |                                               |
|                       | <b>W [mm/år]</b> | <b>300</b>      | <b>2</b>  | <b>100</b> | <b>100</b>                                    |
|                       | K [m/s]          | 8,09E-07        | 0         | 100        | 100                                           |
|                       | W [mm/år]        | 300             |           |            | 6                                             |
|                       | K [m/s]          | 8,09E-05        | 14        | 100        | 134                                           |
|                       | W [mm/år]        | 300             |           |            | 123                                           |
|                       | K [m/s]          | 8,09E-06        | 2         | 100        | 106                                           |
|                       | W [mm/år]        | 200             |           |            | 46                                            |
|                       | K [m/s]          | 8,09E-06        | 2         | 100        | 100                                           |
|                       | W [mm/år]        | 400             |           |            | 44                                            |

## Området mellan Jordbromalm och trafikplats Slätmosen

### Slutet magasin

| Variabler                                   |                  | Qg<br>[l/min]   | R1<br>[m] | Ro<br>[m] | Influensområde vid<br>0,3 m avsänkning<br>[m] |
|---------------------------------------------|------------------|-----------------|-----------|-----------|-----------------------------------------------|
| Bro Sörmlandsleden<br>841, 846              | <b>K [m/s]</b>   | <b>1,96E-05</b> |           |           |                                               |
|                                             | <b>W [mm/år]</b> | <b>300</b>      | <b>9</b>  | <b>75</b> | <b>103</b>                                    |
|                                             | K [m/s]          | 1,96E-06        | 1         | 75        | 75                                            |
|                                             | W [mm/år]        | 300             |           |           | 34                                            |
|                                             | K [m/s]          | 1,96E-04        | 67        | 75        | 207                                           |
|                                             | W [mm/år]        | 300             |           |           | 204                                           |
|                                             | K [m/s]          | 1,96E-05        | 9         | 75        | 114                                           |
|                                             | W [mm/år]        | 200             |           |           | 103                                           |
|                                             | K [m/s]          | 1,96E-05        | 9         | 75        | 98                                            |
|                                             | W [mm/år]        | 400             |           |           | 89                                            |
| Passage & Stödmur<br>Rudanvägen<br>843, 849 | <b>K [m/s]</b>   | <b>1,11E-05</b> |           |           |                                               |
|                                             | <b>W [mm/år]</b> | <b>300</b>      | <b>17</b> | <b>20</b> | <b>100</b>                                    |
|                                             | K [m/s]          | 1,11E-06        | 3         | 20        | 47                                            |
|                                             | W [mm/år]        | 300             |           |           | 42                                            |
|                                             | K [m/s]          | 1,11E-04        | 110       | 20        | 248                                           |
|                                             | W [mm/år]        | 300             |           |           | 176                                           |
|                                             | K [m/s]          | 1,11E-05        | 16        | 20        | 116                                           |
|                                             | W [mm/år]        | 200             |           |           | 91                                            |
|                                             | K [m/s]          | 1,11E-05        | 18        | 20        | 90                                            |
|                                             | W [mm/år]        | 400             |           |           | 73                                            |



## Öppet magasin

|                                        | Variabler        | Qg<br>[l/min]   | Ro<br>[m] | Influensområde vid<br>0,3 m avsänkning<br>[m] |
|----------------------------------------|------------------|-----------------|-----------|-----------------------------------------------|
| Passage järnväg<br>844                 | <b>K [m/s]</b>   | <b>7,69E-05</b> |           |                                               |
|                                        | <b>W [mm/år]</b> | <b>180</b>      | <b>42</b> | <b>198</b>                                    |
|                                        | K [m/s]          | 7,69E-06        | 6         | 74                                            |
|                                        | W [mm/år]        | 180             | 327       | 551                                           |
|                                        | K [m/s]          | 7,69E-04        | 38        | 283                                           |
|                                        | W [mm/år]        | 180             | 44        | 163                                           |
|                                        | K [m/s]          | 7,69E-05        |           |                                               |
|                                        | W [mm/år]        | 80              |           |                                               |
| Passage Slätmosse<br>845               | <b>K [m/s]</b>   | <b>1,04E-05</b> |           |                                               |
|                                        | <b>W [mm/år]</b> | <b>180</b>      | <b>37</b> | <b>186</b>                                    |
|                                        | K [m/s]          | 1,04E-06        | 7         | 81                                            |
|                                        | W [mm/år]        | 180             | 242       | 474                                           |
|                                        | K [m/s]          | 1,04E-04        | 31        | 256                                           |
|                                        | W [mm/år]        | 180             | 41        | 157                                           |
|                                        | K [m/s]          | 1,04E-05        |           |                                               |
|                                        | W [mm/år]        | 80              |           |                                               |
| GC-bro över Gamla<br>Nynäsvägen<br>848 | <b>K [m/s]</b>   | <b>1,04E-05</b> |           |                                               |
|                                        | <b>W [mm/år]</b> | <b>180</b>      | <b>41</b> | <b>195</b>                                    |
|                                        | K [m/s]          | 1,04E-06        | 6         | 75                                            |
|                                        | W [mm/år]        | 180             | 301       | 529                                           |
|                                        | K [m/s]          | 1,04E-04        | 36        | 276                                           |
|                                        | W [mm/år]        | 180             | 43        | 161                                           |
|                                        | K [m/s]          | 1,04E-05        |           |                                               |
|                                        | W [mm/år]        | 80              |           |                                               |