

Grundvattenmodell E22 Söderköping

Akvedukt och passage av Göta kanal

Sweco AB	RegNo 556542-9841
Uppdrag	E22 Förbi Söderköping - Grundvattenmodell
Uppdragsnummer	30045492
Granskad av	Ingvar Rhen
Kund	Trafikverket
Datum	2023-05-12
Upprättad av	David Ström och Anna Lundgren
Dokumentreferens	rapport grundvattenmodell e22 söderköping göta kanal 2023-05-12

Ändringsförteckning

Ver	Datum	Ändringsbeskrivning	Granskad	Godkänd av

Innehållsförteckning

1.	Sammanfattning	3
2.	Bakgrund och syfte	4
2.1	Förutsättningar och underlag	5
2.1.1	Höjdsystem och koordinatsystem	5
2.2	Avgränsningar	5
2.3	Läsanvisning	5
3.	Anläggningsbeskrivning	6
3.1	Schakter och tätskärmar	6
4.	Konceptuell modell	7
4.1	Topografi	8
4.2	Geologiska förutsättningar	8
4.2.1	Berggrund	8
4.2.2	Hydraulisk konduktivitet – berg	9
4.3	Kvartärgeologi	10
4.4	Hydrogeologiska förutsättningar	12
4.4.1	Lera	12
4.4.2	Silt	12
4.4.3	Isälvsmaterial	12
4.4.4	Morän	14
4.5	Nederbörd och specifik avrinning	15
4.6	Grundvattenbildning	15
4.7	Grundvattennivåer	16
4.8	Grundvattenmagasin	19
5.	Hydrogeologisk modell	20
5.1	Beräkningsförutsättningar	20
5.2	Numerisk grundvattenflödesmodell, kodval	20
5.3	Modellområde	21
5.4	Modellgeometri och diskretisering	21
5.5	Randvillkor	24
5.5.1	Grundvattenbildning	25
5.6	Kvartärlagermodell	27
5.7	Hydrogeologimodell	29
5.7.1	Hydraulisk konduktivitet	29
5.7.2	Magasinskoefficient, porositet och vattenavgivningstal	30
5.8	Hydrologimodell	30
5.9	Tätskärmar och bottenkaka	31
5.9.1	Spont	31
5.9.2	Byggskede	33
5.9.3	Driftskede	34
6.	Kalibrering	34
6.1	PEST	35
6.2	Resultat	35
7.	Scenarios	40
8.	Modellresultat	41
8.1	Modellresultat	41
8.2	Känslighetsanalys	44
9.	Diskussion	48
10.	Slutsatser	49
	Referenser	51

1. Sammanfattning

Föreliggande rapport syftar till att beskriva de undermarksarbeten som planeras där den nya delen av E22 passerar av Göta kanal samt effekterna detta medför gällande områdets grundvattennivåer och flöden.

Arbetet genomförs som en hydrogeologisk skrivbordsstudie med numerisk modellering som huvudsakligt verktyg. Arbetet utförs i flera steg där det första innefattar upprättande av en hydrogeologisk konceptuell modell med utgångspunkt i för projektet tillgängliga data (fältundersökningar, rapporter, m.m.), öppna databaser (SGU, SMHI, VISS, etc.). Därefter följer upprättande av en numerisk grundvattenmodell med programkoden MODFLOW6 som syftar till att återskapa en digital motsvarighet till områdets hydrogeologiska system.

I modellen testas därefter ett antal scenarion för hur man tänker sig utföra schaktarbeten vid passagen. I samband med dessa genomförs också en översiktlig känslighetsanalys som studerar effekterna av olika spontlösningar och risker med att i vissa lägen misslyckas med spontdrivning. I samtliga fall förutsätts schakten begränsas vertikalt av en gjuten bottenkaka av betong som i modellen har en tjocklek motsvarande en meter.

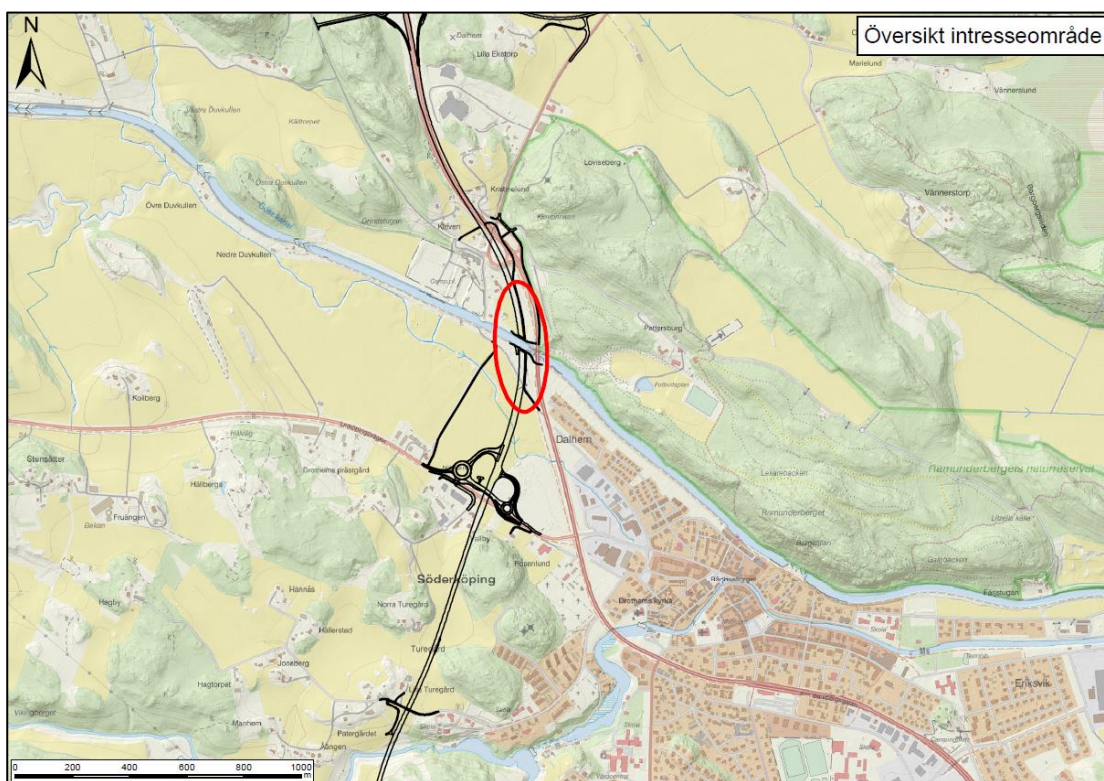
I rapporten konstateras att det hydrogeologiska påverkansområdet kring anläggningen är begränsat (ca 50 – 100 m) under förutsättning att en borrar rörspont med tätade spontlås och med god anslutning till bottenkaka nyttjas. Med påverkansområde avses här arean inom vilken grundvattenavsänkningen från bedömd medelgrundvattennivå överstiger 0,3 m.

Om en borrar rörspont utan tätade spontlås nyttjas kan påverkansområdet uppgå till som mest 700 m enligt beräkningarna i modellen. Störst påverkan sker då i västlig riktning.

Det konstateras således också i modellen att spontens täthet har stor betydelse för påverkan på grundvattensituationen och att det är av avgörande betydelse att sponten utförs med tätade spontlås samt att god anslutningen till bottenkakan i spontens nedre del säkerställs.

2. Bakgrund och syfte

Trafikverket planerar att förlägga väg E22 i ny sträckning för att förbättra trafiksäkerheten och leda bort den tunga trafiken från Söderköpings tätort (Figur 1). Den nya vägsträckningen ska anläggas väster om befintlig väg E22 och kommer att passera Göta kanal i akvedukt. I anslutning till akvedukten (norr och söder om densamma) uppförs trågkonstruktioner för att leda trafiken under kanalen. Det huvudsakliga intresseområdet för studien avser vägens planerade sträckning från passagen av Lillån i söder till anslutningen vid trafikplats Klevbrinken i norr.



Figur 1. Översiktsskarta intresseområde (röd ellips) och den planerade vägsträckningen i svart.

Anläggningen, och till anläggningsskedet hörande verksamheter, förväntas påverka och påverkas av rådande hydrogeologiska förutsättningar. För att kunna kvantifiera, beräkna och visualisera denna påverkan har Sweco på uppdrag av Trafikverket upprättat en numerisk grundvattenmodell.

Syftet med grundvattenmodellen är flerfaldigt och omfattar bland annat:

- Att teoretiskt försöka lösa i tidigare genomförda undersökningar identifierade grundvattenrelaterade problem,
- att erhålla ökad förståelse för den hydrogeologiska situationen i det aktuella området och utgöra stöd för hydrogeologiska frågeställningar,
- att utgöra underlag för metodval i samband med vidare projektering och underlag till upprättande av förfrågningsunderlag för totalentreprenad,
- att utgöra del i underlag för tillståndsansökan vattenverksamhet,

- att bekräfta antaganden och prognoser kring hydrogeologiska frågeställningar, dels i samband med uppförandet av anläggningen, dels under driftskedet,
 - *I tidigare skeden har flera alternativa byggsätt utretts, de alternativ som presenteras i resultatavsnitt nedan bedöms i dagsläget som rimligaste sett ur såväl geotekniska, hydrogeologiska som konstruktionsmässiga perspektiv.*
- att kunna utgöra ett strategiskt underlag för vid utformning av exempelvis kontrollprogram/uppföljning.

2.1 Förutsättningar och underlag

Upprättad grundvattenmodell är översiktlig och baseras på en konceptuell systemförståelse av rådande hydrogeologiska förutsättningar.

Modellens utformning baseras på tillgänglig information från dels öppna datakällor såsom SGU och VISS, dels från projektet tillgänglig information och genomförda undersökningar såsom Tekniskt PM Geoteknik, TB och MKB Vattenverksamhet med tillhörande bilagor.

2.1.1 Höjdsystem och koordinatsystem

För uppdraget gäller koordinat- och höjdsystem Sweref 99 1630 respektive RH 2000.

2.2 Avgränsningar

Modellen avser ej att exakt spegla verkliga förhållanden avseende geologi, hydrogeologi och grundvattenbildningsförhållanden. Undersökta förhållanden i och i närheten av planerade arbeten och anläggningar i den vattenmättade zonen, har försökt efterliknas i modellen. I övriga delar av modellområdet har hydrogeologiska förutsättningar upprättats schematiskt och baserat på bl.a. topografi, av SGU tolkade jordlager i markytan, data från Brunnsarkivet samt information inhämtat från SGUs jorddjupskarta.

Modelleringarna baseras på ett antal scenarion som bedömts relevanta att studera och göra prognoser för bygg- och driftskedet. Modellen och modellresultaten kan utgöra ett verktyg i vilket andra scenarion än de redovisade kan prövas och utvärderas i samband med framtagande av bygghandlingar för projektet.

2.3 Läsanvisning

Föreliggande rapport beskriver upprättandet av grundvattenmodellen som framtagits i syfte att utvärdera och visualisera behov av grundvattenhantering och därtill hörande omgivningspåverkan avseende grundvatten som förväntas i samband med anläggandet och driften av anläggningsdelarna för passagen av Göta kanal.

Rapporten redovisar kända och antagna förutsättningar med avseende på hydrogeologi och geologi inom utredningsområdet (avsnitt 4 och 5).

I avsnitt 5 beskrivs modellens översiktliga uppbyggnad tillsammans med ansatta randvillkor, nyttjade hydrogeologiska parametrar och valda indata tillsammans med översiktliga beskrivningar av planerade arbeten och anläggningar som förväntas beröra och beröras av rådande grundvattensituation i området.

Avsnitt 6 beskriver genomförd kalibrering av basmodellen tillsammans med kalibreringsresultat.

I avsnitt 8.1 och 8.2 redovisas modellresultaten från bygg- respektive driftskede. Modelleringen av anläggningsskedet har genomförts under såväl steady-state som transienta förhållanden, det senare medger studier av förändringar i flöde och nivåer över en viss utvald tidsrymd. Driftskedet har modellerats i s.k. steady-state, eller fortvarighetstillstånd.

3. Anläggningsbeskrivning

I passagen för Göta kanal ingår byggnation av det södra tråget, akvedukten och det norra tråget, en sträcka på sammanlagt ca 500 m.

Det södra tråget börjar efter det att vägen passerat Lillån och sträcker sig fram till Göta kanals södra sida. Tråget utgörs av en ca 280 meter lång och ca 26 meter bred betongkonstruktion som avslutas ca 1,5 meter över markytan. Tråget har sin lågpunkt under Göta kanal, där vägbanan i sitt färdiga utförande planeras ligga mellan 10 och 11 meter under markytan¹.

Det norra tråget sträcker sig från Göta kanals norra sida norrut mot Klevbrinken. Tråget utgörs av en ca 180 meter lång och ca 26 meter bred betongkonstruktion. Största djupet för den färdiga konstruktionen under markytan uppgår till ca 11 meter och infaller i trågets början, vid Göta kanals norra flank.

Akvedukten är en ca 45 meter lång och 26 meter bred konstruktion som ansluter tätt till trågen på respektive sida.

3.1 Schakter och tätskärmar

Anläggningen planeras upphandlas som en totalentreprenad varför det i skrivande stund finns få detaljer framtagna avseende schaktutformningar och utförandemetoder. Ett flertal olika scenarios avseende installation av tätskärm/spont samt utförande av schakter och betongtråget ligger inom ramen för denna utredning, det huvudscenario som presenteras nedan har av projektgruppen tillsammans bedömts som rimligast och mest genomförbart.

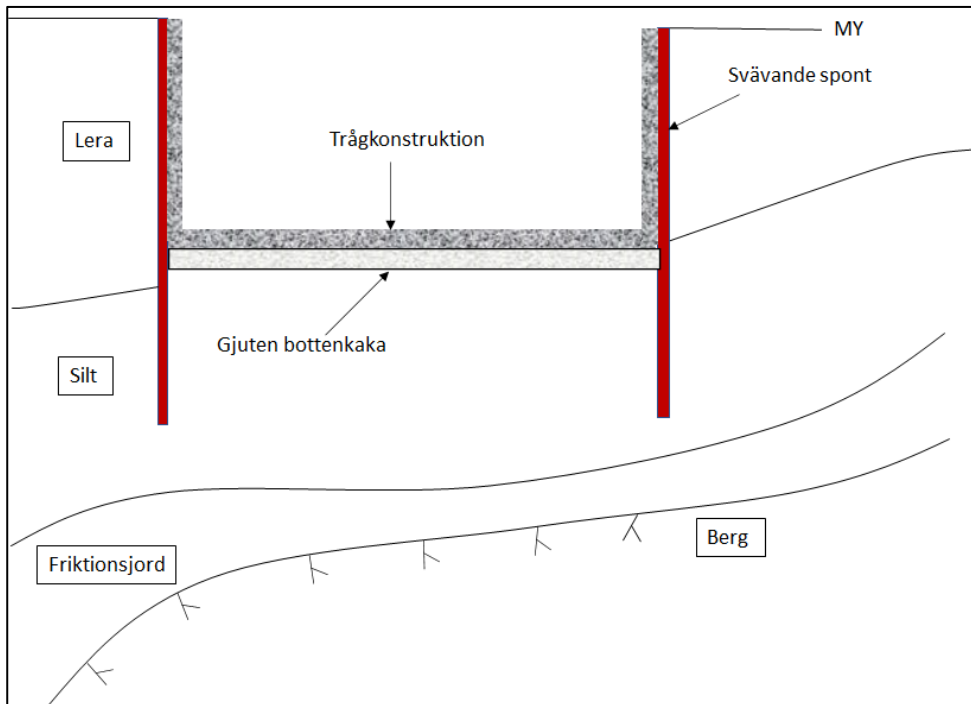
Hela passagen av Göta kanal kommer att utföras inom täta stödkonstruktioner, se vidare nedan.

Schaktning kommer utföras i jord om etapper med ca 10 – 15 meters längd vardera. I syfte att bibehålla stabilitet under schaktarbeten kommer tillfälliga tvärsponter installeras i varje etapp längs med schakten. Tvärsponterna och dess effekter kommer inte att studeras i modellen. Studerade scenarios i rapporten har i stället utförts med hela schakten öppen (d.v.s. utan temporära tvärsponter), för att på så sätt identifiera det mest konservativt bedömda påverkansområdet för grundvattenavsänkning.

För schakterna utreds ett huvudalternativ för utförande av undermarksarbetena:

Installation av svävande spont (ned till tre meter under schaktbotten), schaktning (först i torrhet, därefter under vatten) gjutning av tät bottenkaka som tätas mot omgivande spont, därefter länshållning och gjutning av trågkonstruktionen, se Figur 2 nedan. För detta alternativ antas att sponten kan dras efter det att anläggningsskedet är klart. Bottenkakan kommer förankras i berget under schakt.

¹ Trafikverket, "Teknisk beskrivning till ansökan om tillstånd för vattenverksamhet: Passage av Lillån och Göta kanal inom vägplan E22 förbi Söderköping, Söderköpings kommun, Östergötlands län", 2022-XX-XX



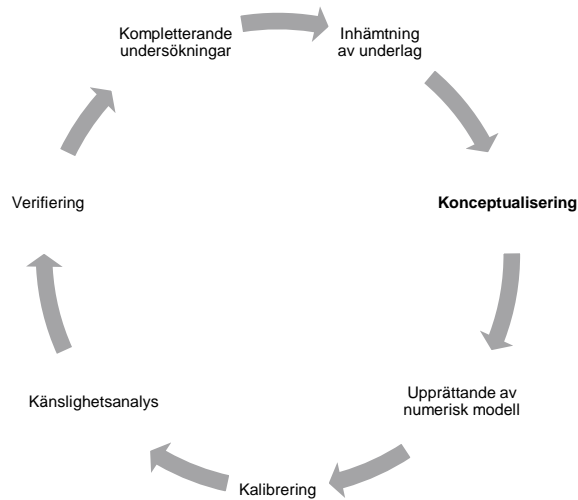
Figur 2. Schematisk profil, metod med svävande spont och gjuten bottenkaka under tråget.

4. Konceptuell modell

Med konceptualisering avses i föreliggande kontext framtagandet av en hydrogeologisk domän (modellområde) som avgränsar den planerade numeriska modellen i horisontal- och vertikalled. Arbetet innebär vidare att inom denna domän efter bästa förmåga, med hjälp av undersökningar och arkivdata; identifiera randvillkor (som t.ex. yt- och grundvattendelare), införliva befintliga grundvattenuttag/vattenverksamheter som kan påverka den hydrogeologiska situationen och utreda och kvantifiera nederbördsförhållanden/ grundvattenbildningsförhållanden.

Det ingår även att översiktligt bilda sig en uppfattning om de aktuella grundvattenmagasinens utbredning och deras eventuella hydrauliska kontakter med ytvatten och slutligen att göra en initial uppskattning av fysikaliska parametrar som ska matas in i den icke-kalibrerade numeriska grundvattenmodellen.

Den konceptuella beskrivningen lägger grunden för den numeriska modellen och är ett viktigt steg i processen. Generellt följer arbetsgången beskrivningen i Figur 3.



Figur 3. Allmän beskrivning av arbetsgång vid upprättande av grundvattenmodeller.

4.1 Topografi

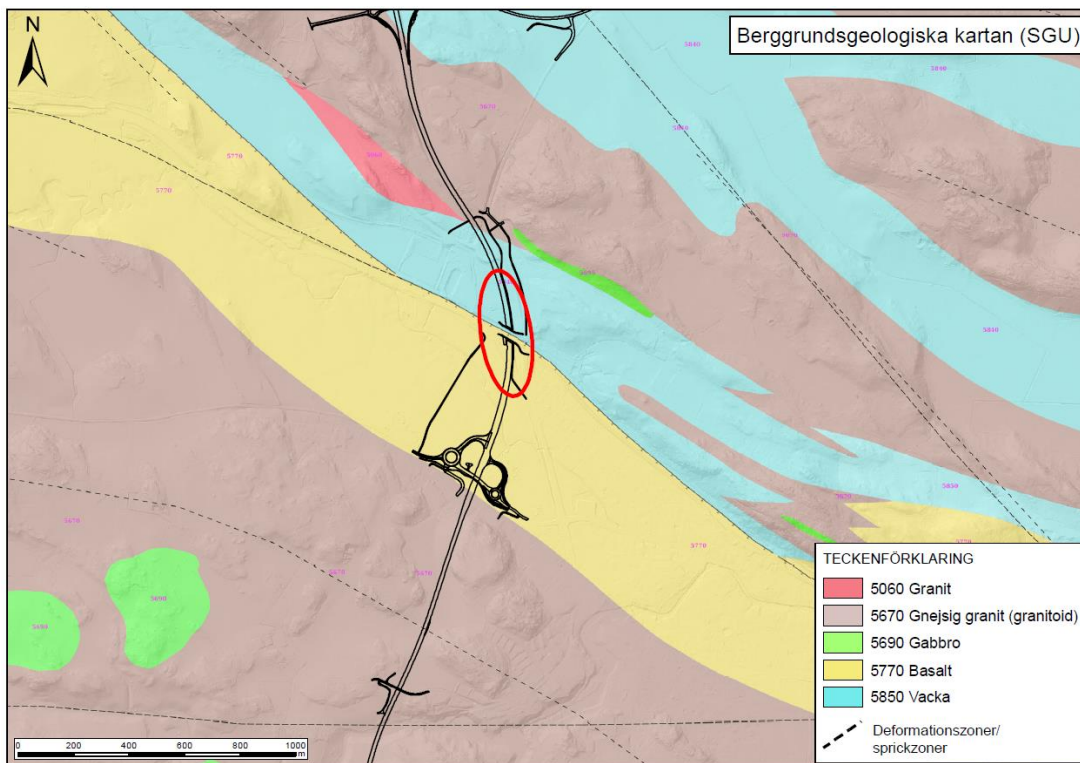
Området söder om Göta kanal utgörs av en relativt flack dalgång med marknivåer mellan ca +5 till +8 m. Norr om Göta kanal stiger marknivån, från ca +10 till +20 m, se Figur 1.

4.2 Geologiska förutsättningar

4.2.1 Berggrund

Berggrunden inom utredningsområdet består av basalt och vacka i stråk i NV-SO riktning omgiven av granit på ömse sidor, se Figur 4. Berggrunden genomkorsas av ett par större deformationszoner².

² SGU, "Berggrundsgeologisk karta", WMS-tjänst, hämtad 2022-11-10 (SGU, 2022)



Figur 4. Berggrundsgeologiska kartan tillsammans med svaghetszoner/deformationszoner i berggrunden. Intresseområdet är markerat med röd ellips och den planerade vägsträckningen i svart.

4.2.2 Hydraulisk konduktivitet – berg

Bergets kvalitet och genomsläpplighet har ej undersökts inom ramen för det aktuella projektet.

Den regionala hydrauliska konduktiviteten i berg har av SGU bedömts till $3,8 \times 10^{-8}$ m/s för graniten respektive $4,8 \times 10^{-8}$ m/s för basalten³ (vackan är inte definierad i denna referens). SGUs bedömningar och beräkningar av K_{berg} baseras på data från ett antal hundra bergborrade brunnar inom det aktuella länet.

Det är väl belagt att bergets hydrauliska konduktivitet avtar med djupet. SKB (Svensk Kärnbränslehantering) har utvecklat en metod för beräkning av bergets djupavtagande⁴. I samband med upprättande av grundvattenmodellen har den hydrauliska konduktivitetens djupavtagande beaktats och beräknats.

Bergets hydrauliska konduktivitet har antagits motsvara det av SGU bedömda hydrauliska konduktiviteten på djupet 60 m, vilket anges som medeldjupet för det bedömda värdet i rapporten⁵. Därefter har den hydrauliska konduktivitetens djupavtagande antagits följa en typisk trend enligt Ekvation 1.

$$K = Cd^L$$

Ekvation 1.

där;

$$K = \text{bergets hydrauliska konduktivitet} \left[\frac{m}{s} \right]$$

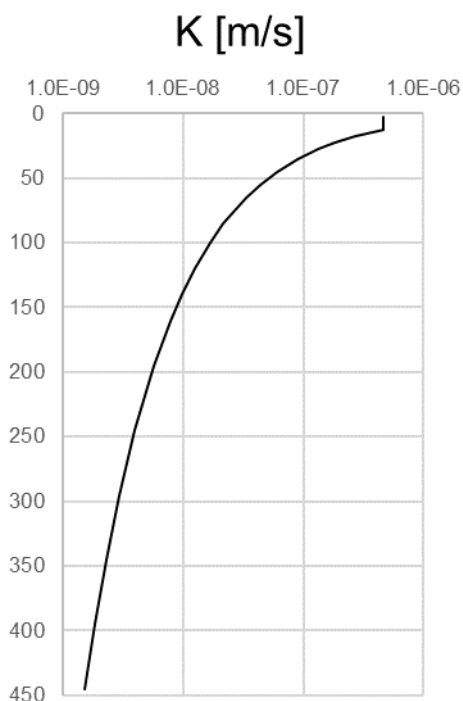
³ SGU, "Beskrivning till kartan över grundvattnet i Östergötlands län", Grundvattenkartor, Serie Ah nr. 14, 1997

⁴ Storregional grundvattenmodellering, R-10-43 (Ericsson & Holmén, 2010)

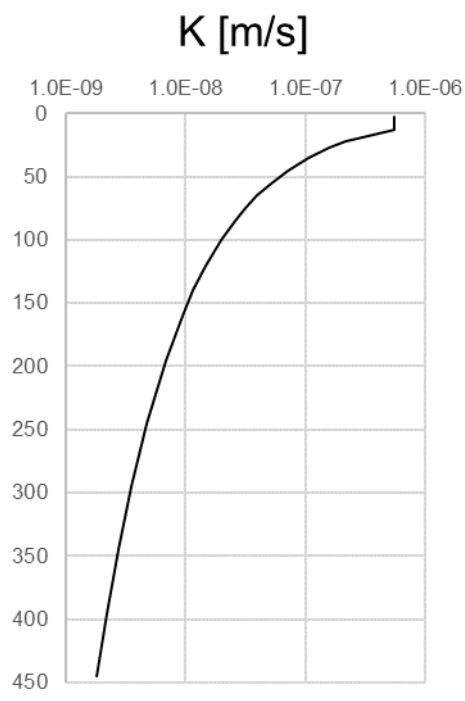
⁵ SGU, "Beskrivning till kartan över grundvattnet i Östergötlands län", Grundvattenkartor, Serie Ah nr. 14, 1997

- $C1 = 2.7E - 5$
(vald koefficient som definieras på så sätt att K vid 60 m djup stämmer överrens med SGUs värde för granit.)
- $C2 = 3.1E - 5$
(vald koefficient som definieras på så sätt att K vid 60 m djup stämmer överrens med SGUs värde för basalt.)
- $L = -1,8$ (trend för djupavtagande)

Bergets djupavtagande hydrauliska konduktivitet redovisas i Figur 5 och 6. För sprickzoner antas den hydrauliska konduktiviteten motsvara tio gånger den för omgivande berg. Angiven hydraulisk konduktivitet antas representera "normalt" berg, eller bakgrundsberg. Med detta menas den bergmatris som inte utgörs av utpekade sprick- eller krosszoner.



Figur 5. Bergets djupavtagande hydrauliska konduktivitet, granit.



Figur 6. Bergets djupavtagande hydrauliska konduktivitet, basalt.

4.3 Kwartärgeologi

De kvartära avlagringarna består i området av postglacial och glacial lera, isälvsmaterial, sand, silt och morän, dessutom förekommer torv och gytta lokalt⁶.

Området där vägen passerar Göta kanal ligger i kanten av en bred dalgång, se Figur 7 och Figur 8. Dalgången är utbildad i en regional förkastningszon, som i förlängningen mynnar ut i Slätbakens vik av Östersjön. Leran i dalgången utgörs av postglacial lera, underlagrad av silt

⁶ SGU, "Jordartsgeologisk karta", WMS-tjänst, hämtad 2022-11-10

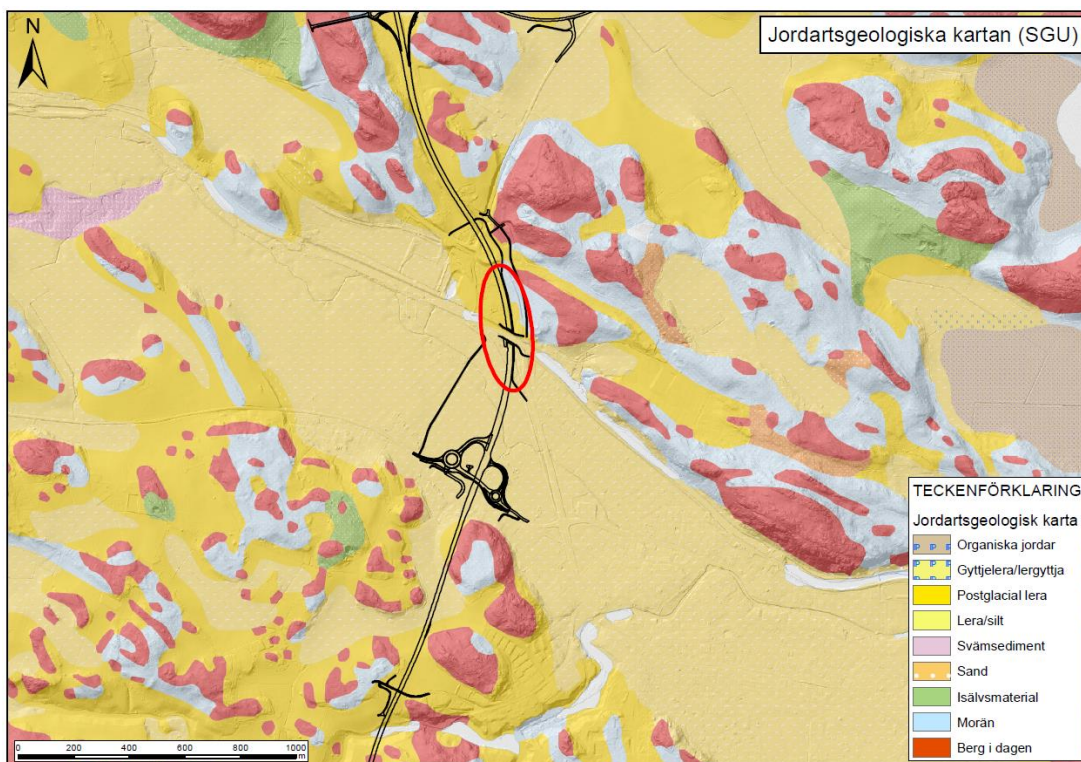
följt av allt grövre friktionsjord i form av isälvsmaterial och bottenmorän ovan berget. Isälvsaterialet passerar genom området i nordvästlig-sydostlig riktning.

I samband med genomförda utredningar inom projektet har ett antal geotekniska undersökningar genomförts, nedan redovisas kortfattade sammanställningar avseende rådande geotekniska förhållanden inom intresseområdet⁷.

Söder om Göta kanal är jorddjupet som störst i början på delsträckan, upp till ca 40 meter till berg. Jorden består överst av upp till ca 20 meter lös lera. Under leran följer ett 3 till 5 meter djupt skikt av silt som underlagras av friktionsmaterial som blir allt grövre mot djupet i form av sand, grus och morän.

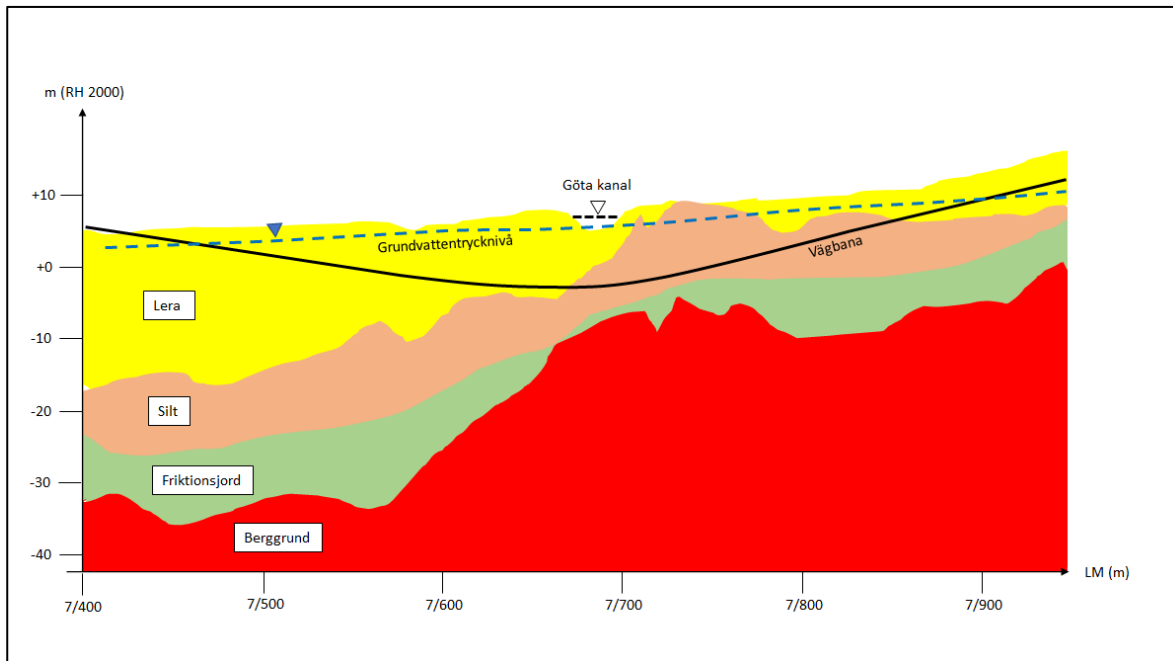
I läget för Göta kanal varierar jorddjupet mellan ca 15 och 25 meter. Vid kanalen minskar lerdjupet och bedöms vid den södra kanalbanken variera mellan ca 12 och 15 meter, följt av ca 2 till 4 meter silt ovan den grövre friktionsjorden. Vid den norra kanalbanken visar sonderingarna som mest ca 15 till 17 meter friktionsjord innehållande block. Friktingsjorden består främst av sand och grus men har även inslag av silt.

Norr om kanalen är det mellan 15 och 20 meter till berg, men i någon punkt är jorddjupet mindre, ca 10 meter. Jorden består överst av ca 1 - 6 meter siltig lera. Den övre delen är utbildad torrskorpa ner till mellan ca 1,5 - 4,5 meters djup. Under leran följer ett skikt med silt och därefter friktionsjord innehållande block. Både leran och friktionsjorden bedöms vara mycket fast.



Figur 7. Jordartsgeologisk karta, intresseområdet är markerat med röd ellips och den planerade vägsträckningen i svart.

⁷ Trafikverket, "Tekniskt PM Geoteknik, E22 Förbi Söderköping", Vägplan 2017-06-16



Figur 8. Schematisk profil över dalgången, jordlagerföljder och jorddjup, grundvattentrycknivå och planerad väg (vägmitt) E22 vid passagen av Göta kanal. Bergövertytan varierar stort, såväl större som mindre jorddjup förekommer inom området för planerad schakt. Exempelvis ökar jorddjupen markant i läget för passagen av Göta kanal bara ett tiotal meter västerut.

4.4 Hydrogeologiska förutsättningar

4.4.1 Lera

Leran betecknas inom området generellt som siltig lera, och innehåller dessutom isolerade siltskikt på sina ställen. Den övre delen har i undersökta punkter visat sig vara utbildad torrskorpelera ner till ca 1 - 2 meters djup. Leran bedöms vara svagt överkonsoliderad, vilket innebär att den är mycket sättningkänslig. Inga undersökningar av lerans hydrauliska konduktivitet har genomförts. Ett troligt intervall på den siltiga lerans k-värde bedöms omfatta 1×10^{-8} till 1×10^{-9} m/s.

4.4.2 Silt

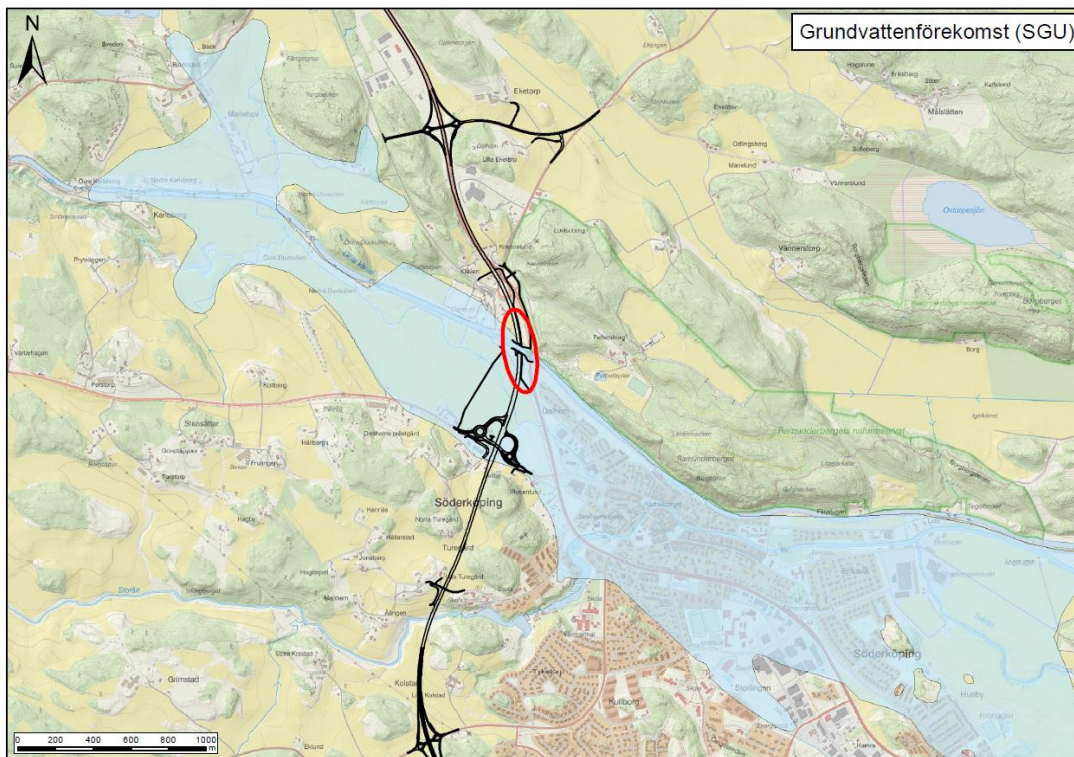
Siltens mäktighet under leran varierar mellan ett par meter och upp till tio meter. Silten har i genomförda hydrauliska tester direkt söder och norr om Göta kanal bedömts ha en transmissivitet mellan $1,3 \times 10^{-7}$ m²/s (söder om kanalen) och $2,6 \times 10^{-6}$ m²/s (norr om kanalen)⁸. Siltskiktet söder om kanalen bedöms uppgå till mellan 3 och 7 meter och norr om kanalen bedöms siltskiktet uppgå till mellan 2 och 4 meter. Detta resulterar i bedömda hydrauliska konduktiviteter om respektive ca $4,3 \times 10^{-8}$ och $5,2 \times 10^{-7}$ m/s för silten.

4.4.3 Isälvsmaterial

Grundvattenmagasinet Söderköping är beläget i en till stora delar dold isälvsavlagring, som återfinns i en nordvästlig-sydöstlig dalgång. Isälvsavlagringen sträcker sig från Skönberga, ca tre km sydöst om Söderköping, och upphör vid Mariehov ca tre km västnordväst om staden. Magasinet är till stora delar överlagrat av finkorniga sediment. Grundvattnet i

⁸ Trafikverket, "PM Hydrogeologi, Väg E22, Förbifart Söderköping – akvedukt vid Göta kanal och bro över Lillån", Bilaga 1 MKB, 2022-XX-XX

magasinet har naturligt förhöjda kloridhalter och är hårt⁹. Grundvattenförekomstens utbredning redovisas i Figur 9 nedan.



Figur 9. Grundvattenförekomstens utbredning (transparent ljusblått). Intresseområdet är markerat med röd ellips och planerad vägsträckning i svart.

Isälvsmaterialens hydrogeologiska egenskaper har undersökt i ett antal punkter och genom olika metoder inom ramen för projektets genomförda utredningar. Baserat på siktanalyser av upptagna jordprover i samband med installation av 4"-brunnar har isälvsmaterialens hydrauliska konduktivitet beräknats till att i medeltal uppgå till ca 2×10^{-4} m/s¹⁰.

Tabell 1. Beräknad hydraulisk konduktivitet från siktanalyser.

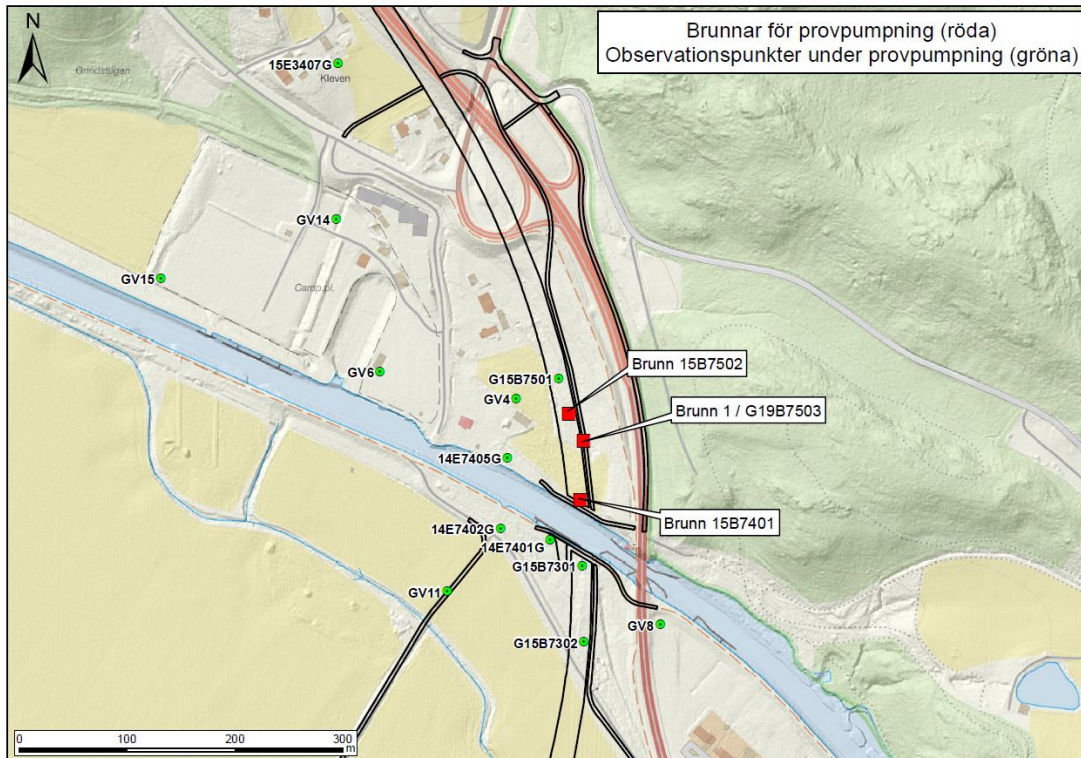
Brunns-ID	Beräknat K [m/s]
GV15B7301	$1,0 \times 10^{-4}$
GV15B7401	$1,5 \times 10^{-4}$
GV15B7501	$3,3 \times 10^{-4}$
GV15B7502	$1,4 \times 10^{-4}$
GV15B7302	$2,4 \times 10^{-4}$

Baserat på genomförda hydrauliska tester (slugtester och provpumpningar) i befintliga grundvattenrör och brunnar har isälvsmaterialens hydrauliska konduktivitet uppskattats till ca 1×10^{-4} m/s.

⁹ SGU, "Grundvattenmagasinet Söderköping", Serie K 688, 2021

¹⁰ Trafikverket, "PM Hydrogeologi, Väg E22, Förbifart Söderköping – akvedukt vid Göta kanal och bro över Lillån", Bilaga 1 MKB, 2022-XX-XX

I området kring Göta kanal utfördes under tre veckor en provpumpning år 2016¹¹. Pumpningen gjordes i tre brunnar samtidigt (GV15B7401, GV15B7502 och Brunn 1. Brunn G19B7503 befinner sig i samma läge som Brunn 1), för brunnarnas lägen, se Figur 10.



Figur 10. Brunnar och obs-rör som användes vid provpumpning. Testet utfördes av utfördes av Bergab under perioden september - oktober 2016¹².

Under provpumpningen var det sammanlagda pumpflödet ca 4,5 l/s ur de tre brunnarna. I utvärderingen av provpumpningen bedöms transmissiviteten i områdets isälvsmaterial (enligt Bergab) vara 4×10^{-4} m²/s i medelvärde med en magasinskoefficient på ca 0,03¹³.

Samtliga i MKB presenterade beräkningar och metoder är förknippade med ett stort antal osäkerheter.

SGU redovisar i sin rapport "Grundvattenmagasinet Söderköping" K-värden för isälvsmaterialet som varierar mellan 9×10^{-5} och 4×10^{-4} m/s¹⁴. Dessa värden får bedömas som högst regionala men verifierar Bergabs antaganden om transmissivitet lokalt. Baserat på Bergabs bedömningar kring transmissivitet kan ett medelvärde avseende isälvsmaterialets hydrauliska konduktivitet beräknas till ca $9,6 \times 10^{-5}$ m/s.

4.4.4 Morän

Moränen som existerar i anslutning till höjdområdena på båda sidor om dalgången är hittills ej undersökt med avseende på hydrauliska egenskaper.

¹¹ Trafikverket, "PM Hydrogeologi, Väg E22, Förbifart Söderköping – akvedukt vid Göta kanal och bro över Lillån", Bilaga 1 MKB, 2022-XX-XX

¹² Trafikverket, "PM Hydrogeologi, Väg E22, Förbifart Söderköping – akvedukt vid Göta kanal och bro över Lillån", Bilaga 1 MKB, 2022-XX-XX

¹³ Trafikverket, "PM Hydrogeologi, Väg E22, Förbifart Söderköping – akvedukt vid Göta kanal och bro över Lillån", Bilaga 1 MKB, 2022-XX-XX

¹⁴ SGU, "Grundvattenmagasinet Söderköping", Serie K 688, 2021 (SGU, 2021)

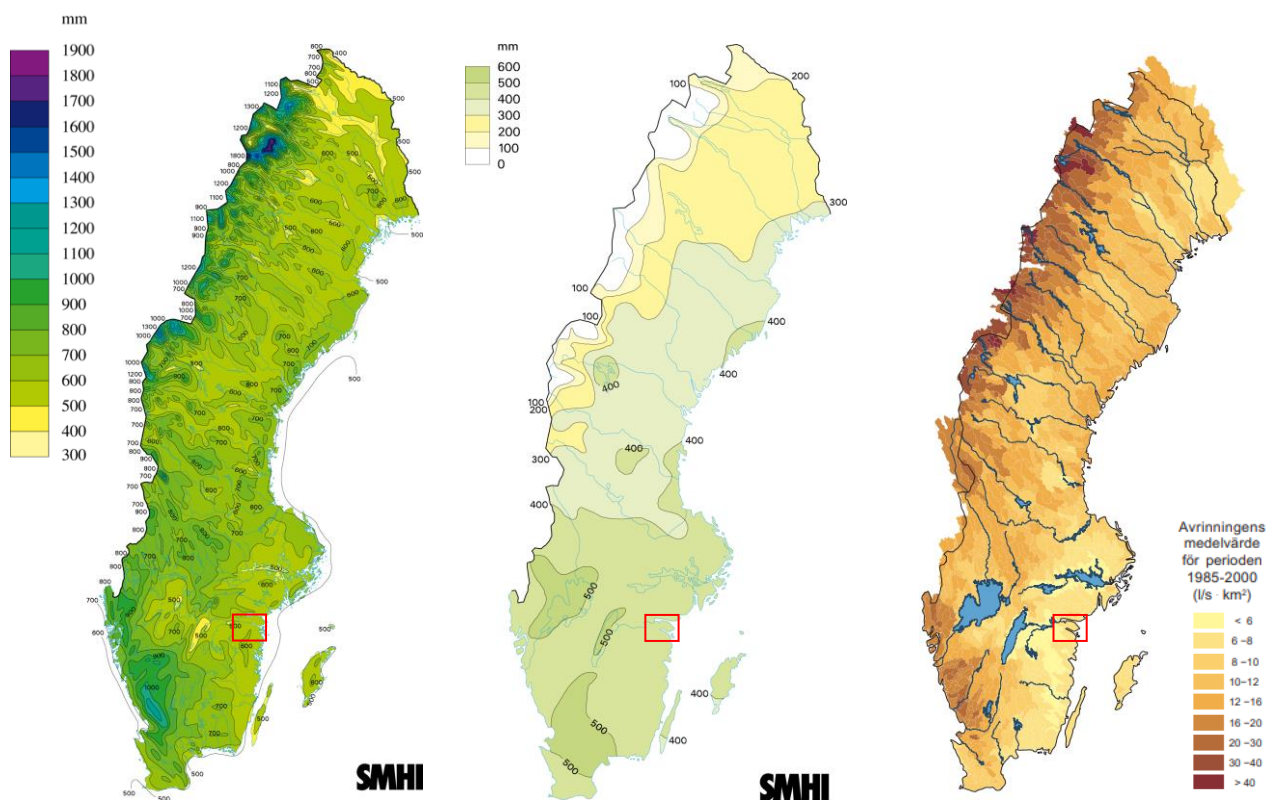
Moränen som återfinns i markytan norr om kanalen har i genomförda geotekniska undersökningar bedömts som sandig.

Det antas förekomma hårt packad bottenmorän ovan berget inom delar av dalgången, som en understa del i den friktionsjord som redovisas schematiskt med grönt i Figur 8 ovan.

4.5 Nederbörd och specifik avrinning

Nederbörden i området är enligt SMHI 600 - 700 mm/år¹⁵ och evapotranspiration 400 - 500 mm/år¹⁶ för referensnormalperioden 1961 – 1991 (Figur 11).

Den specifika medelavrinningen under perioden 1985 – 2005 var för området 6 – 8 l/s*km² (189 – 252 mm)¹⁷.



Figur 11. Från vänster; Uppmätt årsmedelnederbörd (1961 – 1991), årsavdunstning (1961 – 1990), Specifik medelavrinning (1985 – 2000). Studerat område redovisas som röd rektangel.

4.6 Grundvattenbildning

Med grundvattenbildning avses den andel nederbörd, *nettonederbörden* (P_n), som bidrar till att grundvattnet fylls på. Detta kan enkelt uttryckas med ekvationen;

$$P_n = P - ET + \Delta S$$

Ekvation 2.

Där;

¹⁵ SMHI, Normal uppmätt årsnederbörd, medelvärde 1961-1990, publicerad 13 juli 2009

¹⁶ SMHI, Årsavdunstning medelvärde 1961-1990, publicerad 10 juli 2009

¹⁷ SMHI, Avrinningen i Sverige – Faktablad nr 12, december 2002

$$P_n = \text{Nettonederbörd} \left[\frac{\text{mm}}{\text{år}} \right]$$

$$ET = \text{Evapotranspiration (avdunstning)} \left[\frac{\text{mm}}{\text{år}} \right]$$

$$\Delta S = \text{Magasinsförändringar} \left[\frac{\text{mm}}{\text{år}} \right]$$

Ovanstående vattenbalansekvation gäller för en markprofil i ett inströmningsområde, med grundvattenbildning utan ytavrinning.

I termen ΔS ingår bl.a. lagrat vatten som snösmältning, sjöar, m.m. Utöver begreppen ovan finns även i urban miljö ytterligare processer att ta hänsyn till som läckage till och från VA-nätet, uttag från brunnar osv. De senare kan vara svåra att utvärdera då data i allmänhet saknas eller är svårtillgänglig.

Av de i ekvationen ingående parametrarna är det nederbörd som idag kan mätas med högst precision. Evapotranspiration är ett mått som är svårare att bedöma och mäta med säkerhet. Ett mer kvantifierbart mått inom ett delavrinningsområde är den totala avrinningen. I allmänhet kan det förutsättas att grundvattenbildningen P_n är i stort sett densamma som avrinningen vilket därmed ofta är ett bra sätt att uppskatta ett områdes grundvattenbildning.

Grundvattenbildningen i föreliggande rapport har därför bedömts motsvara just avrinningen, och då medelavrinningen, från de inom modellområdet förekommande delavrinningsområden, se Tabell 2. Den bedömda medelavrinningen inom modellområdet motsvaras av ca 184 mm/år. I SGUs rapport som beskriver grundvattenmagasinet Söderköping bedöms motsvarande grundvattenbildning för det tertiära tillrinningsområdet (d.v.s. grundvattenmagasinet hela bedömda tillrinningsområde) till 174 mm/år¹⁸.

Beaktat att dessa befinner sig i samma storleksordning, väljs 175 mm/år som beräkningsförutsättning avseende grundvattenbildning i denna rapport. Att välja det lägre värdet bedöms i sammanhanget mest konservativt då en lägre grundvattenbildning medför större påverkansområde givet ett visst grundvattenuttag.

Tabell 2. Delavrinningsområden inom modellområde (SMHI, 2023). Medelavrinningen för aktuella delavrinningsområden motsvarar ca 184 mm/år.

Delavrinningsområde (ARO-ID)	Avrinning [mm/år]
648517-573028	185
648088-575321	192
648204-581225	177
648260-152578	183

4.7 Grundvattennivåer

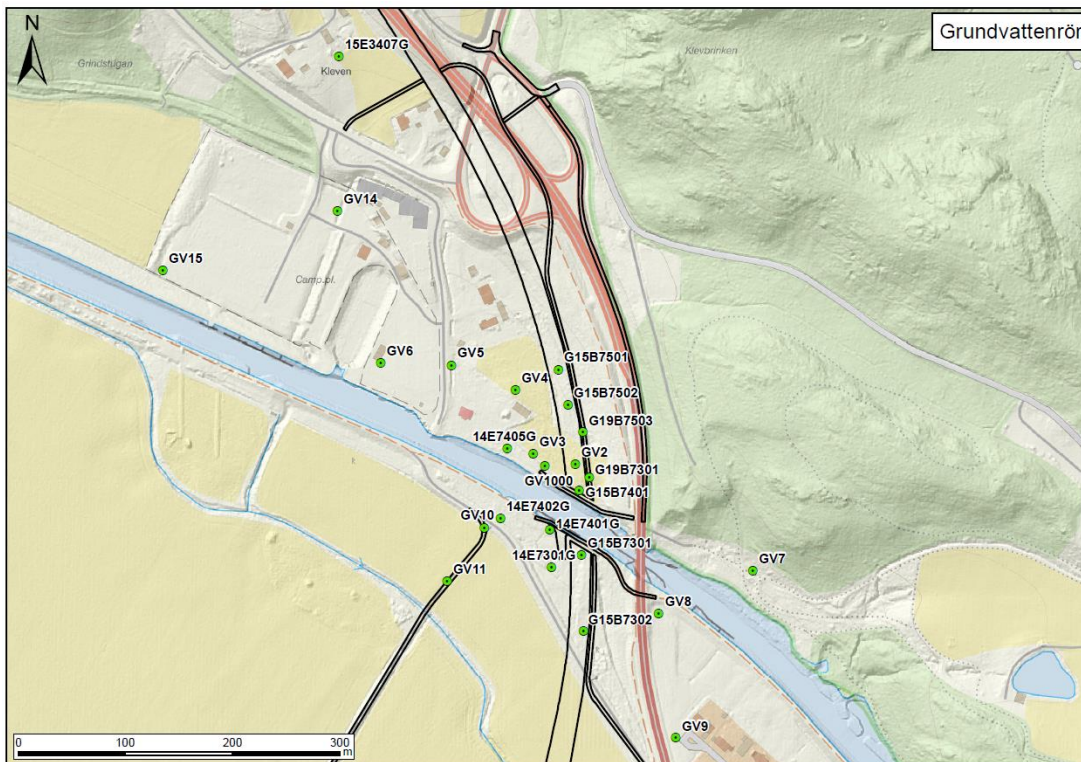
Söder om kanalen ligger grundvattentrycknivåerna ca en meter under markytan. Grundvattennivåerna stiger sedan mot norr, dock inte lika mycket som markytan stiger. Norr om kanalen ligger grundvattennivåerna ca 2 - 3 meter under markytan.

Den huvudsakliga grundvattenströmningen i jordmagasinet i isälvsavlagringens friktionsjord sker mot sydost och gradienten är mycket svag.

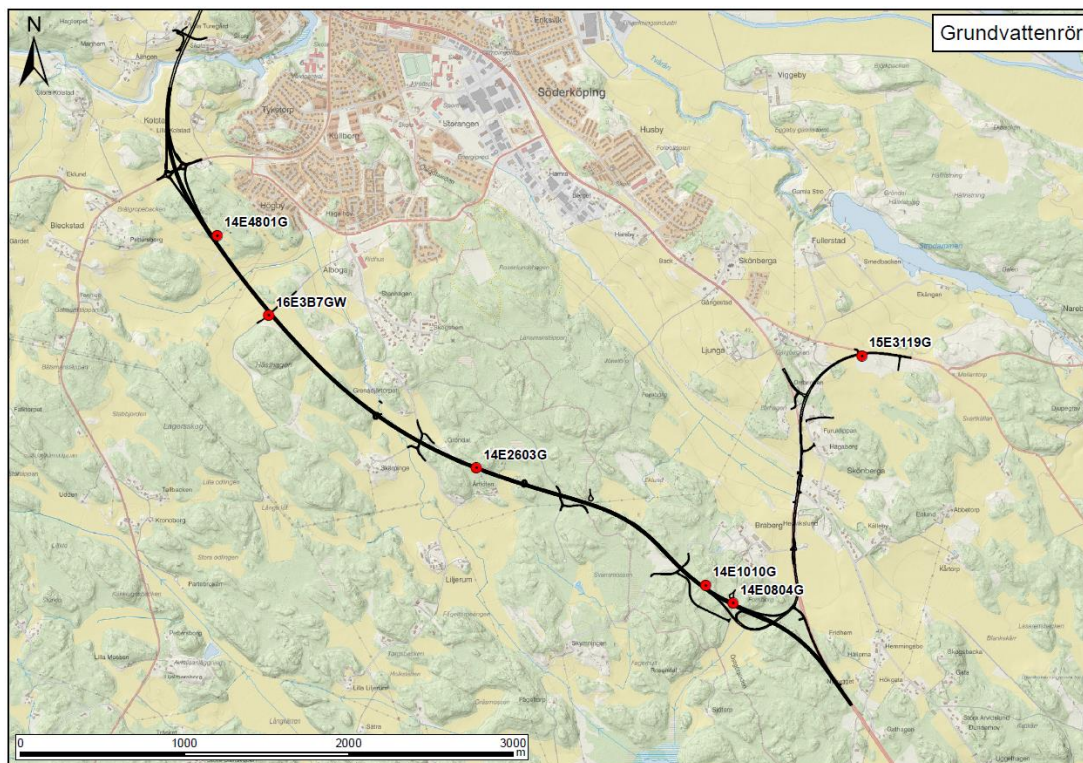
I Figur 12 och Figur 13 redovisas de förekommande och kontinuerligt övervakade grundvattenrör inom området som nyttjas i arbetet med att upprätta grundvattenmodellen. Urvalet har gjorts baserat bl.a. på bedömd funktion, mätintervall och tidsserier samt lägen. Grundvattenrören består av varierande material och är av olika dimensioner och med olika

¹⁸ SGU, "Grundvattenmagasinet Söderköping", Serie K 688, 2021

typer av filter, men merparten utgörs av stålrör (1" alternativt 2"). Inget av de utvalda rören sitter med filter installerat i det s.k. övre magasinet, där övre magasin förekommer, se vidare under avsnitt 4.8. För övrig information avseende respektive grundvattenrör och deras respektive tillhörande sonderingsprotokoll etc. hänvisas till genomförda geotekniska utredningar och redovisningar för uppdraget.



Figur 12. Utvalda grundvattenrör inom passagen med Göta kanals närområde (grönmarkerade rader i Tabell 3 nedan).



Figur 13. Utvalda grundvattenrör på längre avstånd från anläggningen (rödmarkerade rader i Tabell 3 nedan).

I Tabell 3 nedan redovisas mätdata från de utvalda rören (de grönmarkerade redovisas i Figur 12 och de rödmarkerade i Figur 13). Data är i flertalet fall rensad varvid värden som bedömts som felaktiga eller missvisande har tagits bort. Tabellen redovisar hittills uppmätta max-, medel- och miniminivåer samt mätperiod för respektive observationspunkt. Då mätperioderna och mätintervallen varierar har två "ögonblicksbilder" nyttjats i arbetet med kalibreringen av modellen (de två högra kolumnerna), då dessa ger en mer representativ bild av rådande grundvattennivåer i förhållande till varandra vid viss tidpunkt, se vidare under avsnitt 6.

Tabell 3. Utvalda grundvattenrör med tillhörande nivådata.

ID	N	E	Mätstart	Mätslut	Max	Medel	Min	2020-06-18	2021-11-23
14E0804G	141758	6481072	2019-09-10	2022-05-18	+ 49,0	+ 48,6	+ 48,3	+ 48,8	+ 48,4
14E1010G	141591	6481182	2019-09-10	2022-05-18	+ 51,0	+ 50,4	+ 49,3	+ 50,0	+ 50,5
14E2603G	140195	6481896	2019-09-10	2022-04-20	+ 45,8	+ 45,2	+ 44,9	+ 44,9	----
14E4801G	138617	6483310	2019-09-09	2021-12-20	+ 36,8	+ 36,8	+ 36,7	+ 36,7	+ 36,7
14E7301G	138820	6485751	2020-01-22	2022-08-10	+ 6,1	+ 5,5	+ 5,3	+ 5,6	+ 5,5
14E7401G	138818	6485786	2019-09-06	2021-05-18	+ 5,9	+ 5,6	+ 5,3	+ 5,7	+ 5,4
14E7402G	138772	6485797	2019-09-06	2022-08-10	+ 6,2	+ 5,7	+ 5,3	+ 5,7	+ 5,8
14E7405G	138778	6485862	2019-08-30	2022-07-11	+ 6,6	+ 5,9	+ 5,5	+ 6,0	+ 5,9
15E3119G	142543	6482578	2019-09-10	2022-05-18	+ 37,0	+ 36,5	+ 35,9	+ 36,4	+ 36,4
15E3407G	138621	6486228	2019-08-28	2022-03-15	+ 15,9	+ 15,5	+ 15,0	+ 15,7	+ 15,6
16E3B7GW	138932	6482823	2019-09-09	2022-08-11	+ 28,0	+ 27,0	+ 26,3	+ 27,1	+ 26,6
G15B7301	138848	6485763	2019-09-06	2022-08-10	+ 5,4	+ 5,0	+ 4,7	+ 5,0	+ 5,0
G15B7302	138849	6485692	2019-09-06	2022-07-11	+ 5,0	+ 4,5	+ 4,4	+ 4,6	+ 4,6

ID	N	E	Mätstart	Mätslut	Max	Medel	Min	2020-06-18	2021-11-23
G15B7401	138845	6485823	2019-08-30	2022-08-10	+ 5,6	+ 5,1	+ 4,8	+ 5,1	+ 5,0
G15B7501	138826	6485936	2019-09-05	2022-08-10	+ 6,8	+ 6,1	+ 5,7	+ 6,1	+ 6,0
G15B7502	138835	6485902	2019-09-05	2022-08-10	+ 6,6	+ 5,8	+ 5,6	+ 6,0	+ 5,9
G19B7301	138855	6485835	2019-08-30	2022-08-10	+ 5,6	+ 5,2	+ 4,9	+ 5,2	+ 5,1
G19B7503	138849	6485877	2019-09-05	2022-08-10	+ 6,6	+ 6,0	+ 5,6	+ 6,0	+ 5,9
GV10	138757	6485789	2019-12-10	2022-03-17	+ 5,7	+ 5,4	+ 5,3	+ 5,5	+ 5,4
GV1000	138813	6485846	2019-09-05	2022-08-10	+ 6,4	+ 5,8	+ 5,5	+ 5,9	+ 5,8
GV11	138722	6485739	2019-09-06	2022-04-20	+ 5,5	+ 4,9	+ 4,7	+ 5,0	+ 5,0
GV14	138620	6486083	2019-08-29	2022-05-18	+ 6,7	+ 6,3	+ 5,9	+ 6,2	+ 6,3
GV15	138457	6486028	2019-08-29	2022-04-19	+ 6,8	+ 6,2	+ 5,6	+ 6,2	+ 6,2
GV2	138842	6485848	2019-08-29	2022-06-21	+ 5,8	+ 5,1	+ 5,0	+ 5,3	+ 5,2
GV3	138803	6485857	2019-08-29	2022-08-10	+ 5,6	+ 5,1	+ 4,8	+ 5,1	+ 5,0
GV4	138786	6485917	2019-08-29	2021-05-18	+ 6,4	+ 5,9	+ 5,6	+ 6,0	----
GV5	138726	6485940	2019-10-23	2022-03-16	+ 6,4	+ 5,8	+ 5,6	+ 5,9	+ 5,8
GV6	138660	6485942	2019-08-29	2022-08-10	+ 6,3	+ 5,8	+ 5,5	+ 5,8	+ 5,8
GV7	139007	6485749	2019-09-06	2022-08-10	+ 5,2	+ 4,8	+ 4,5	+ 4,8	+ 4,7
GV8	138920	6485708	2019-09-06	2022-08-10	+ 5,4	+ 4,9	+ 4,6	+ 4,9	+ 5,0
GV9	138936	6485592	2019-10-24	2022-03-22	+ 5,0	+ 4,8	+ 4,6	+ 4,8	+ 4,7

4.8 Grundvattenmagasin

Grundvattenmagasin i jord förekommer inom området i ett övre öppet magasin; i fyllningen eller torrskorpeleran, samt i ett undre slutet magasin i friktionsjorden under leran och silten. Det övre öppna magasinet som ställvis och periodvis kan förekomma i fyllningen/torrskorpeleran berörs ej vidare i föreliggande rapport.

Det undre magasinets utbredning begränsas vertikalt av den underliggande bergöverytan och ovanliggande täta jordlager. Det undre magasinets utbredning i plan avgränsas av höjdområden på respektive sidor inom vilka vattendelare kan uttolkas.

Till detta undre grundvattenmagasin infiltreras främst vatten som avrinner från högre liggande mark som inte är täckt av lera. De moränområden som angränsar höjderna och områden med berg i dagen utgör alltså delar av samma magasin som förekommer under leran, men utgör här ett öppet eller delvis öppet magasin.

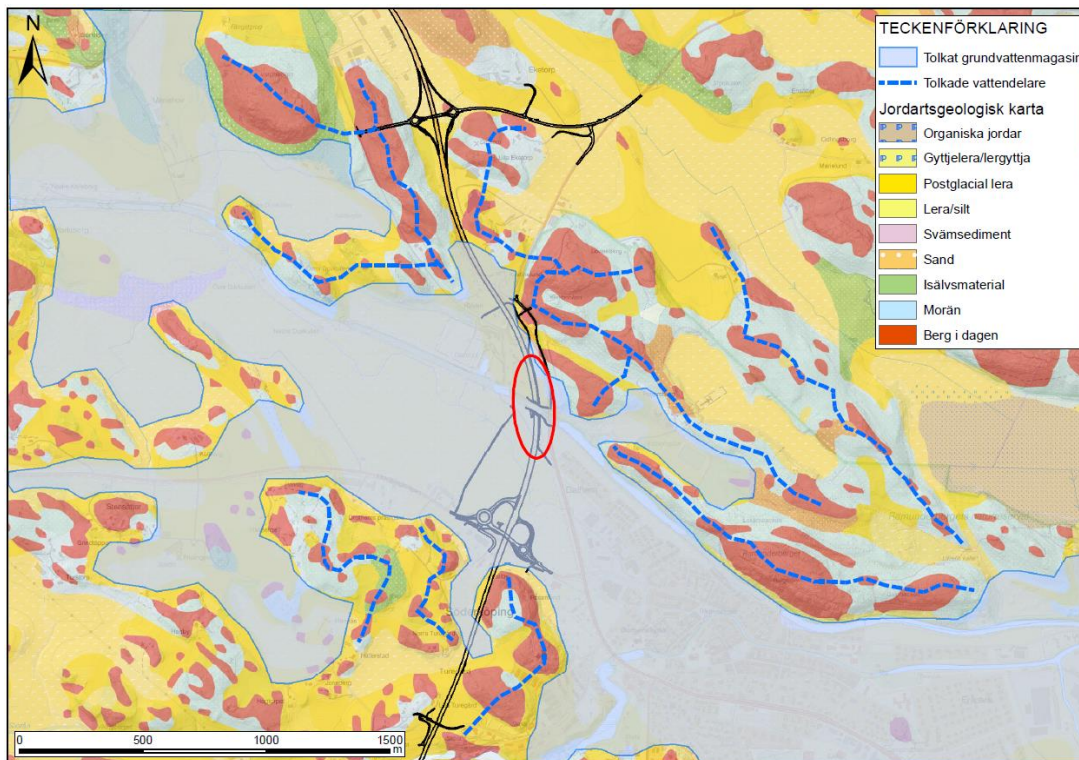
Därtill förekommer ett öppet grundvattenmagasin i de delar som utgörs av tillräckligt mäktig friktionsjord i dagen. I föreliggande fall kan sådana områden utgöras av isälvsmaterial, svallad sand och morän som saknar överlagrande lertäcke.

Grundvatten förekommer dessutom i berggrundens vattenförande sprickor och sprickzoner. Förekomst av grundvatten i berg, eventuellt i olika magasin, och bergets hydrauliska egenskaper är ej undersökt inom ramen för utredningen. Berget och dess bedömda hydrauliska konduktivitet och därtill hörande grundvattenmagasin har införlivats i grundvattenmodellen baserat på bl.a. information från SGU, se vidare under avsnitt 5 nedan.

I Figur 14 nedan har en konceptuell tolkning av översiktliga hydrogeologiska förhållanden avseende förekomst av uthålligt grundvattenmagasin i jord (enbart det som förväntas beröras av planerad anläggning och planerade verksamheter är markerat) tillsammans med antagna lägen för vattendelare gjorts. Bedömningen av grundvattenmagasinets utbredning i

jord har nyttjats vid tolkning av modellresultaten nedan, framför allt för avgränsning av influensområden.

Bedömningen är mycket schematisk, undre grundvattenmagasin i jord förekommer utan tvekan inom fler områden i kartbilden.



Figur 14. Tolkad utbredning av det berörda grundvattenmagasinet (undre magasin i jord).

5. Hydrogeologisk modell

5.1 Beräkningsförutsättningar

Modellen syftar till att beräkna och beskriva den förväntade påverkan i bygg- och driftskede som följer av de schaktarbeten som planeras vid passagen av Göta kanal. Modellen ska klargöra och belysa skillnader p.g.a. val av konstruktionsmetod och möjliggöra känslighetsanalys av såväl metodval som ingående hydrogeologiska parametrar. Modellen ska också byggas på ett sätt som möjliggör vidareutveckling och testning av eventuella ytterligare tillkommande scenarion.

5.2 Numerisk grundvattenflödesmodell, kodval

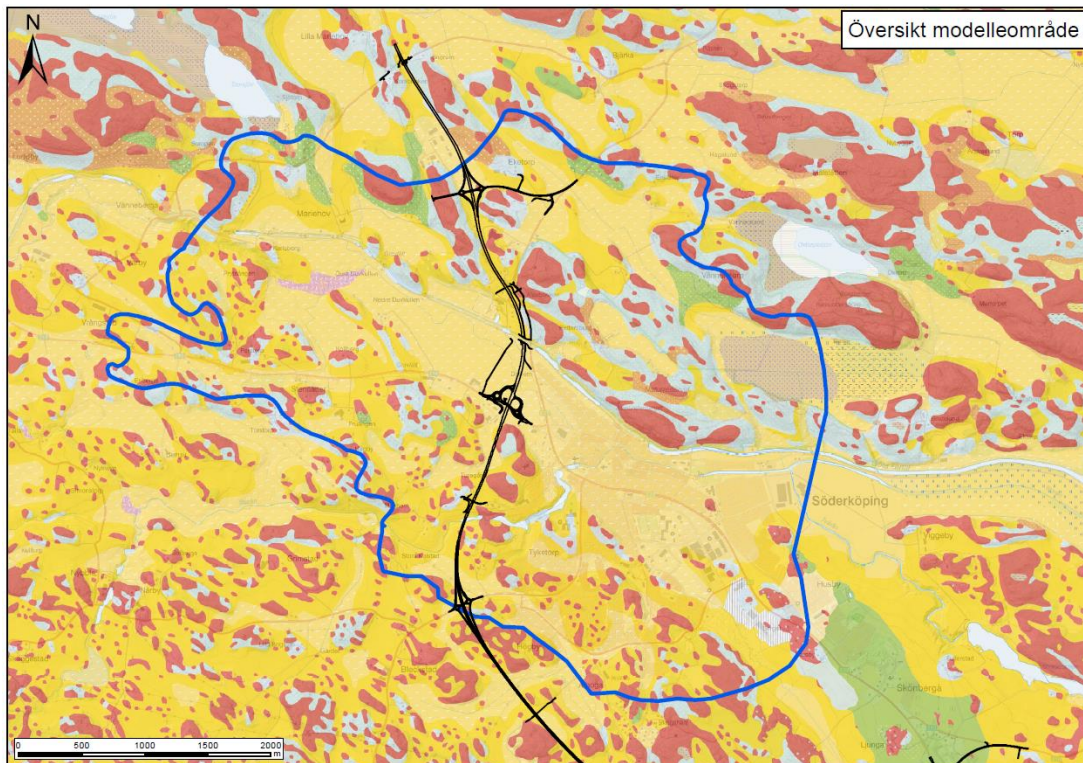
Modellen är uppbyggd med den numeriska koden MODFLOW 6¹⁹ i programvaran ModelMuse 5.1.1²⁰. Koden löser flödesekvationen iterativt i en tredimensionell cellmatris med hjälp av finita differensmetoden. Den uppdaterade koden möjliggör till skillnad från sina föregångare lokal diskretisering av beräkningsmatrisen.

¹⁹ MODFLOW 6 Modular Hydrologic Model version 6.4.1: U.S. Geological Survey Software Release, (Langevin, et al., 2022)

²⁰ ModelMuse version 5.1.1: U.S. Geological Survey Software Release 5.1.1.0. (Winston, 2022)

5.3 Modellområde

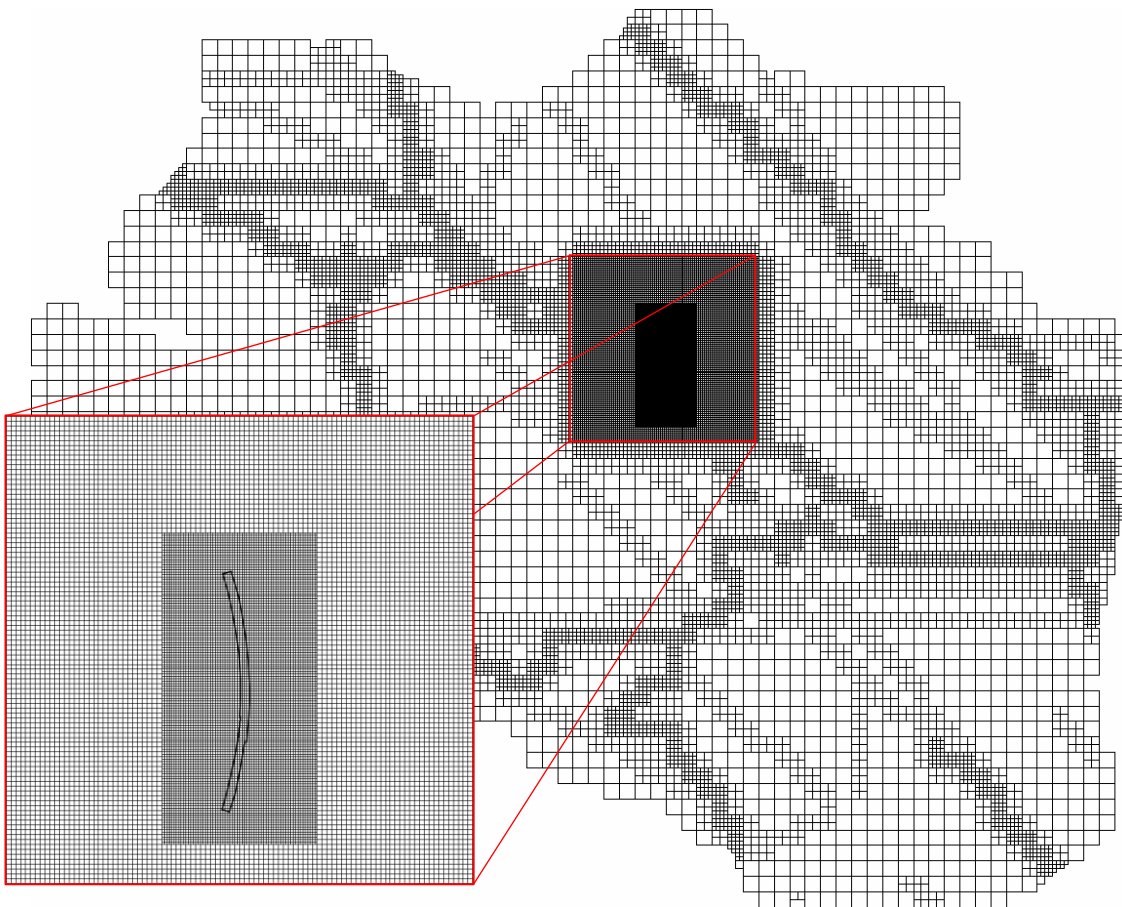
Modellområdet är valt utifrån tolkat tillrinningsområde, bedömda fasta vattendelare och naturliga hydrologiska samt hydrogeologiska gränser, se Figur 15. Modellområdet är medvetet väl tilltaget för att undvika hydraulisk interferens mellan valda randvillkor och modellerad omgivningspåverkan.



Figur 15. Valt modellområde, planerad anläggning är markerad med svart.

5.4 Modellgeometri och diskretisering

Modellen inrymmer 31 beräkningslager och 25 554 aktiva celler per lager. Totalt 792 174 aktiva beräkningsceller. Modellen är där den är som djupast ca 430 meter. Det stora antalet ytliga lager syftar till att på ett tillräckligt högupplöst sätt kunna introducera trågets geometri i modellen. Cellerna i modellen är som minst 5 x 5 meter i plan vid området för passagen under Göta kanal och som störst 80 x 80 meter i plan i områden på större avstånd från passagen, där precisionen i den simulerade grundvattennivån och strömningsförhållanden är av lägre betydelse. Sprickzoner och vattendrag är diskretiserade med en cellstorlek mellan 20 x 20 m – 40 x 40 m.



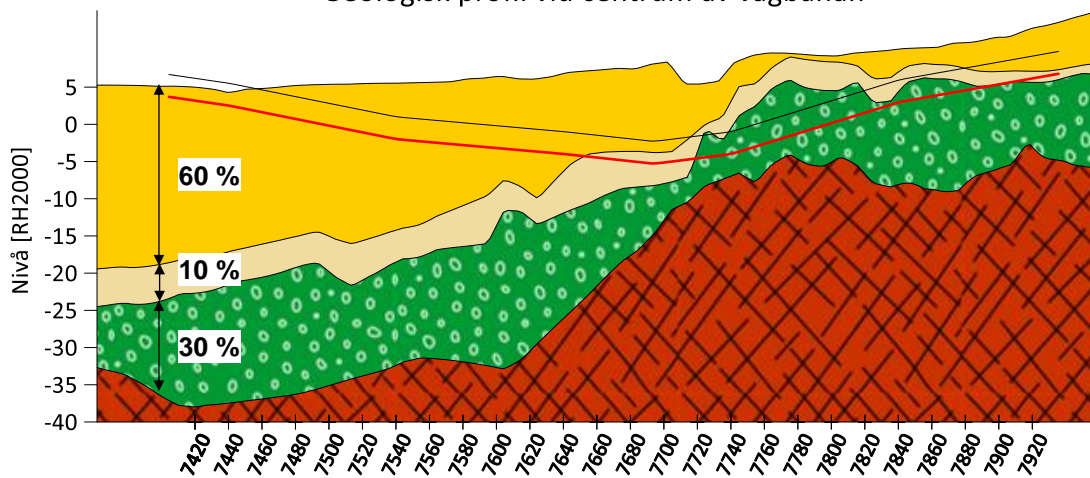
Figur 16. Beräkningsmatris sedd från ovan. Cellerna i matrisen har en största storlek motsvarande 80 x 80 meter och en minsta storlek vid den planerade schakten som motsvarar 5 x 5 meter.

För transienta, d.v.s. tidsberoende simuleringar behöver även tid diskretiseras. I det aktuella fallet har därför det transienta tidsspännet som bestämdes till två år delats in i totalt 68 tidssteg med succesivt ökande längd. Det initiala första tidssteget är drygt en minut. Därefter ökar längden på tidssteget med 20 % per steg. Den huvudsakliga anledningen till detta är att det medför ökad numerisk stabilitet eftersom störst förändringar förväntas ske tidigt i det transienta förloppet vilket kräver mindre tidssteg.

Passagen vid Göta kanal har anpassats efter sonderingsinformation från platsen. För övriga delar av modellområdet har viss tolkningsfrihet varit nödvändig. Detta innefattar bland annat ett generellt antagande om att den minsta mäktigheten ett geologiskt material tillåts ha är en meter.

Jordlagerföljden antas utanför området där sonderingsinformation existerar följa principen att varje geologisk enhet utgör en procentuell andel av den totala jordmäktigheten. Lera, där det förekommer, utgör de översta 60 %, därefter följer ett lager med silt som utgör efterföljande 10 %. Slutligen förekommer ett friktionsjordlager som utgör återstående 30 % mellan överliggande lager och berggrund. Ett antagande som stämmer väl överens med förhållanden som råder i de centrala delarna av isälvsformationen, se Figur 17.

Geologisk profil vid centrum av vägbanan



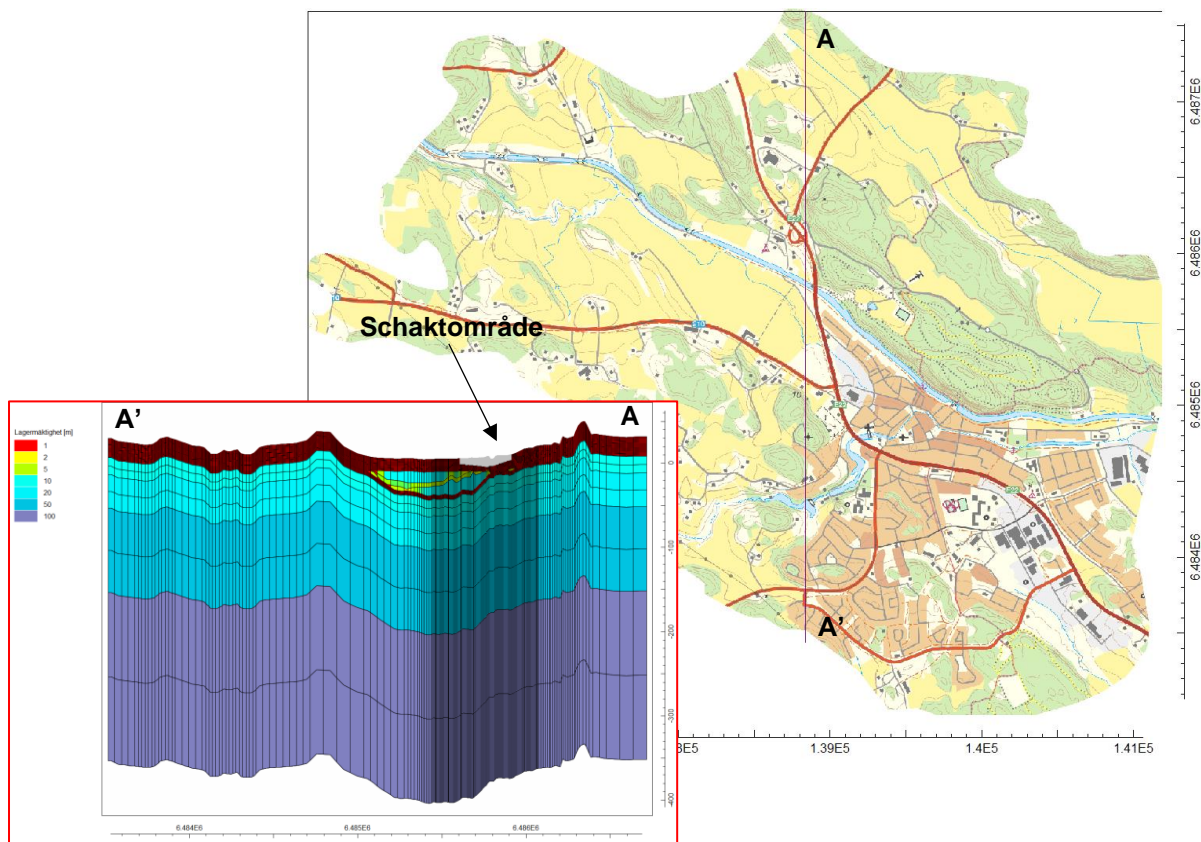
Figur 17. Tolkad geologi vid vägcentrum. Svart linje markerar nivån på färdig väg, röd linje markerar schaktbotten (3 m under vägens överkant). Andelsförhållande för konstruktion av numerisk modell redovisas i figuren.

Matrisens lager fördelar sig enligt Tabell 4. En översiktsbild och ett tvärsnitt ur modellen redovisas i Figur 18.

Tabell 4. Lagerindelning och mäktighet per lager.

Lager	Tjocklek [m]	
	min	max
1	1	1
2	1	1
3	1	1
4	1	1
5	1	1
6	1	1
7	1	1
8	1	1
9	1	1
10	1	1
11	1	1
12	1	1
13	1	1
14	1	1
15	1	1
16	1	24

Lager	Tjocklek [m]	
	min	max
17	1	10
18	1	20
19	1	1
20	1	1
21	1	1
22	1	1
23	1	1
24	10	10
25	10	10
26	20	20
27	20	20
28	50	50
29	50	50
30	100	100
31	100	100



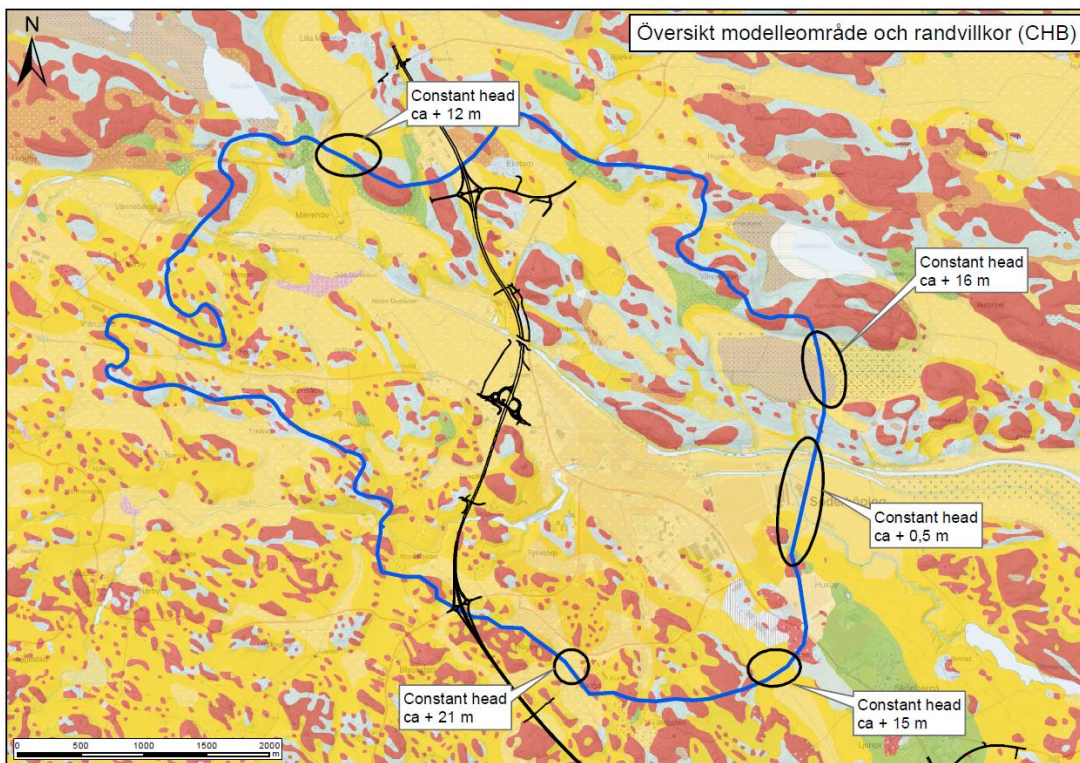
Figur 18. Modell sedd uppifrån. Tvärsnitt i modellen redovisas som infälld bild från norr till söder (A – A'). Modellens skala är överdriven 5 gånger i vertikalled.

5.5 Randvillkor

I modellen har ansatts ett antal randvillkor, se Figur 19. Randvillkoret *Constant head* (CHD) tilldelar cellerna en konstant trycknivå som antingen kan orsaka ett in- eller utflöde beroende på dess förhållande till den simulerade grundvattennivån. Övriga lägen vid modellens yttre begränsning i plan representeras av s.k. *no-flow boundaries*, vilket innebär att inget flöde tillåts. Konceptuellt motsvaras sådana lägen av t.ex. en fast grundvattendelare. Avrinning till vattendrag, diken och dagvattensystem tillämpas som ett ytligt dräneringsrandvillkor, *drain* (DRN), 0,5 m under markytan vilket reducerar grundvattenbildningen i de områden där marken mättas. Detta dräneringsrandvillkor är tillämpat över hela modellens överyta.

Längs med modellens övre yta har ett topprandvillkor specificerats som *recharge* (RCH). Även om Modflow möjliggör simulering av både nederbörd och evapotranspiration, är det vanligtvis mer praktiskt att kombinera dessa faktorer och direkt simulera detta som potentiell grundvattenbildning (nettonederbörd). Nettonederbörden tillämpas olika beroende på förväntad markanvändning, vilket beskrivs närmare i kapitel 5.5.1 nedan. Recharge är ansatt som ett konstant randvillkor utan temporala variationer (gäller även för de transienta modellkörningarna).

Vid modellens bottenyta är grundvattenflödet generellt mycket litet och simuleras därmed som en tät rand med villkoret *no-flow*.



Figur 19. Modellområde och ansatta constant head boundaries.

5.5.1 Grundvattenbildning

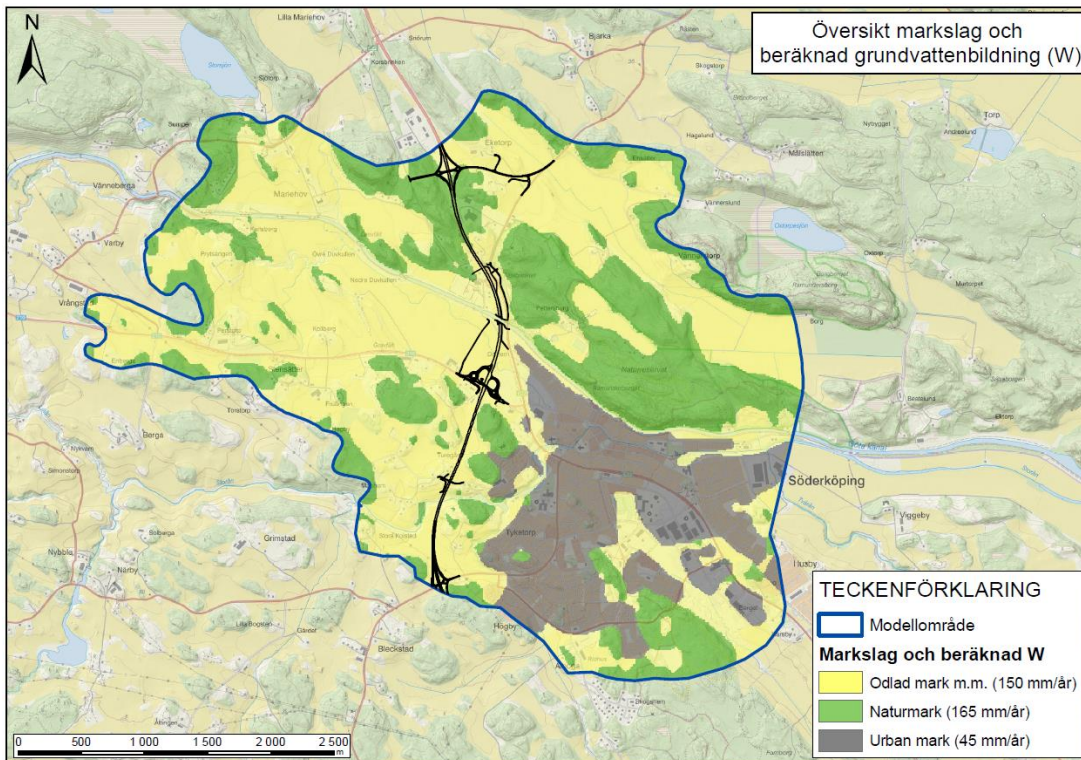
Grundvattenbildning har anpassats efter en schematisk indelning i markanvändning inom modellområdet. Modellområdet har delats in i markslagen; naturmark, flack lermark och urban mark. De olika markslagen har tilldelats infiltrationskoefficienter baserat på tolkning av Svenskt Vattens publikation P110²¹ (Svenskt Vatten, 2019). Den tolkade infiltrationskoefficienten motsvarar inversen av avrinningskoefficienten och bygger på det faktum att andelen nederbörd som inte förväntas avrinna, infiltrerar i marken. Den faktiska grundvattenbildningen avgörs av kombinationen tillgänglig grundvattenbildning, ytliga dräneringar och markens hydrauliska konduktivitet.

Tabell 5. Infiltrationskoefficienter tolkat ur Svenskt Vattens handledning P110.

Markslag	Infiltrationskoefficient, ϕ [%]
Naturmark	95
Odlad mark, gräsyta- ängsmark m.m.	85
Urban mark	25

Grundvattenbildningen tillämpades därefter enligt principen $W = P_n * \phi$, där W är grundvattenbildning. Detta medförde en tillgänglig grundvattenbildning som redovisas i Figur 20 (baserat på en total grundvattenbildning om 175 mm/år enligt avsnitt 4.5 ovan).

²¹ Svenskt Vatten, "P110 Avledning av dag-, drän- och spillvatten", 2019



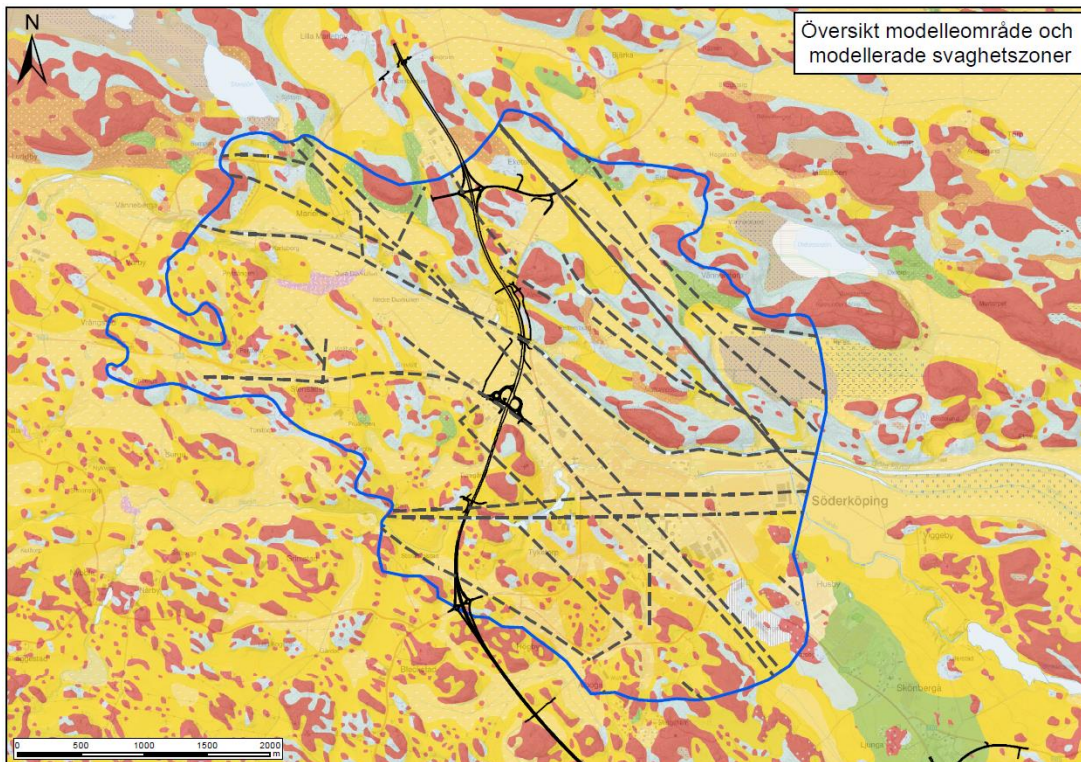
Figur 20. Tillämpad grundvattenbildning efter beräkning av tillgänglig nedernbörd enligt beskrivning ovan.

Avseende bergets ansatta och beräknade hydrauliska konduktivitet (med djupavtagande) hänvisas till avsnitt 4.2.2 ovan.

Berget omfattar totalt 12 – 31 lager beroende på jorddjup, där 31 lager motsvarar de lägen där berget går i dagen.

Ett förhållandevis stort antal lager är fördelaktigt för att kunna beskriva bergets djupavtagande egenskaper på ett realistiskt sätt. Bergets ytligare lager har en mindre mäktighet som sedan ökar mot djupet där genomsläppligheten förväntas avta.

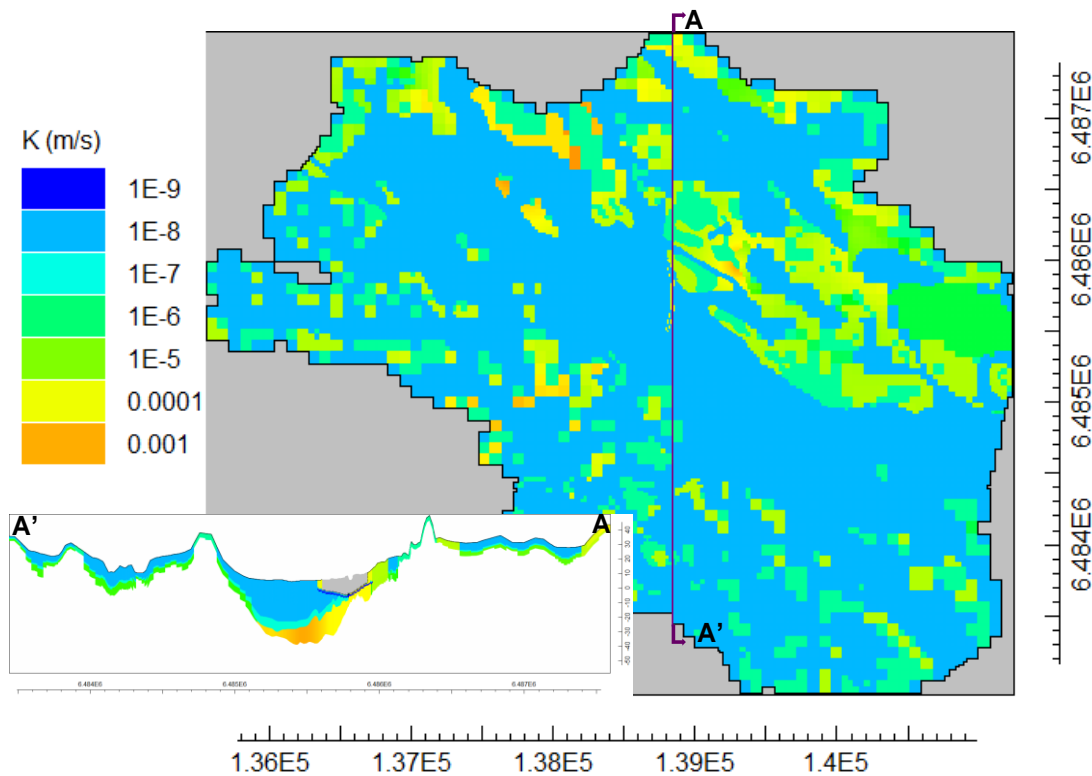
I grundvattenmodellen har ett antal större deformationszoner införlivats, se Figur 21. Dessa har getts hydraulisk konduktivitet om ca 1 tiopotens högre jämfört med omgivande berggrund och en bredd som varierar mellan 15 och 30 meter.



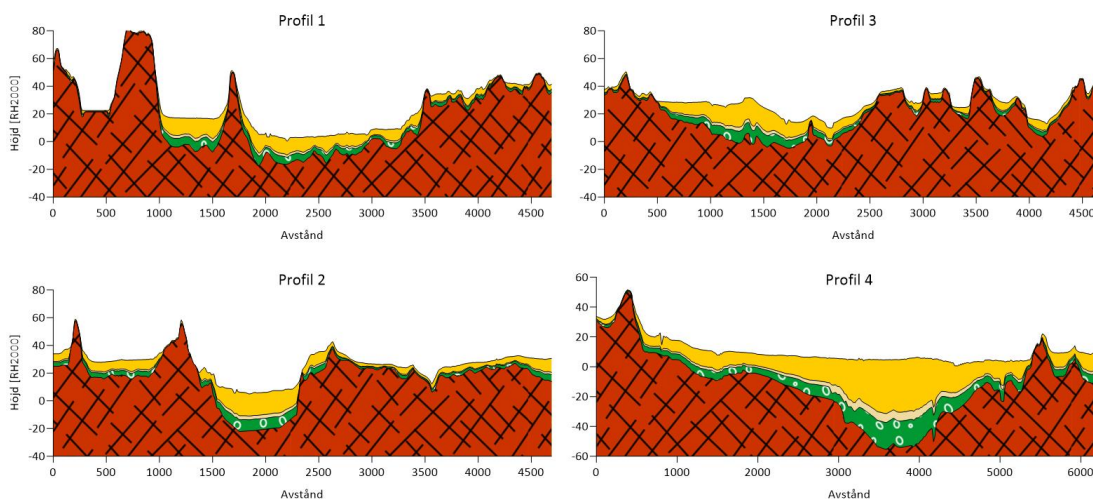
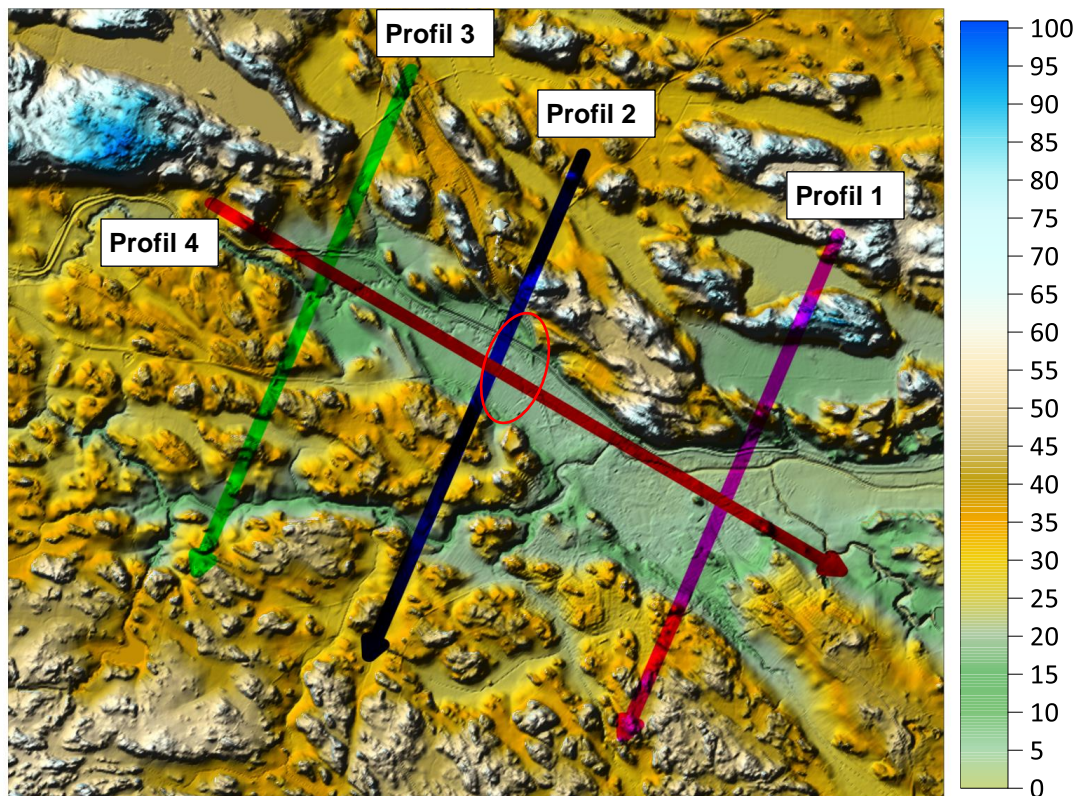
Figur 21. Modellområde och i modellen införlivade svaghetszoner i berggrunden.

5.6 Kvartärlagermodell

I modellen har följande jordlagerföljder ansatts (från markytan ned till berget): lera, silt och friktionsjord (uppdelad i isälvsmaterial (grus och sand) samt morän). I Figur 22 redovisas ett tvärsnitt av kvartärgeologin i modellen och i Figur 23 redovisas fyra sektioner från den upprättade geologiska modellen som ligger till grund för den hydrogeologiska dito.



Figur 22. Modellens hydrauliska konduktivitet i jordlager. Infällt redovisas tvärsnittet A – A' som passerar schaktet från norr till söder. I grått går det att urskilja schaktområdet. Modellen är överdriven 25 gånger i vertikalled.



Figur 23. Geologisk modell; fyra tvärsnitt redovisas för att beskriva hur geologin i dalgången har tolkats och representeras i grundvattenmodellen. Färgerna i översikt bilden redovisar marktopografins nivå i RH 2000. Området för planerad anläggning markeras med röd cirkel.

5.7 Hydrogeologimodell

5.7.1 Hydraulisk konduktivitet

I modellen införlivade jordlager har tilldelats följande hydrauliska konduktiviteter efter genomförd kalibrering med hjälp av PEST, se vidare under avsnitt 6 nedan. Den stora

variationsbredden i berget beror på modellens djup och det beräknade djupavtagandet, som medför en mycket låg hydraulisk konduktivitet i botten på modellen.

Valda hydrauliska konduktiviteter nedan baseras dels på genomförda undersökningar inom området, dels på referenslitteratur och tidigare erfarenheter. Därtill har konduktiviteterna anpassats som ett led i kalibreringsprocessen av basmodellen, och vad som bedömts som rimliga spann med hänsyn taget till vilka geologiska enheter som området innefattar.

Tabell 6. Ansatta hydrauliska konduktiviteter.

Geologisk enhet	K_{max} [m/s]	K_{min} [m/s]
Lera	$1,0 \times 10^{-8}$	$1,0 \times 10^{-8}$
Silt	$1,4 \times 10^{-7}$	$1,4 \times 10^{-7}$
Friktionsjord (grus och sand)	$5,0 \times 10^{-3}$	$1,0 \times 10^{-5}$
Friktionsjord (morän, sandig - grusig)	$1,0 \times 10^{-5}$	$1,0 \times 10^{-6}$
Berg*	$5,5 \times 10^{-7}$	$7,3 \times 10^{-10}$

*Sprickzoner modelleras med en hydraulisk konduktivitet som är 10 gånger större än omgivande berg.

5.7.2 Magasinskoefficient, porositet och vattenavgivningstal

Modellen har också tilldelats värden på magasinskoefficienten, för de delar av modellen i vilket mättat grundvattenflöde förekommer.

Tabell 7. Specifik magasinskoefficient (S_s) och vattenavgivningstal (S_y) vid transienta simuleringar²².

Geologisk enhet	S_s [1/m]	S_y [-]
Lera	$9,2 \times 10^{-4}$	0,10
Silt	$9,2 \times 10^{-4}$	0,10
Friktionsjord (grus och sand)	$4,9 \times 10^{-5}$	0,20
Friktionsjord (morän, sandig - grusig)	$1,0 \times 10^{-4}$	0,16
Berg	$3,3 \times 10^{-6}$	0,01

5.8 Hydrologimodell

Förekommande vattendrag simuleras i modellen med randvillkoret drain. Motiven till detta är att vattendragen i modellen inte i någon betydelsefull utsträckning förväntas fylla på magasinerna med vatten då de antingen, inte står i hydraulisk kontakt med omgivande akvifer (vilar på lera) eller sannolikt har en vattenivå i höjd med omgivande grundvattennivåer. Vattendragens betydelse för modellens tillgång på vatten bedöms heller inte avgörande för frågeställningen.

²²Andersson, M., Woessner, W., & Hunt, R., "Applied Groundwater Modeling, Simulation of Flow and Advective Transport", 2015

5.9 Tätskärmar och bottenkaka

Tätskärmarna, oberoende av installationsdjup, har tillämpats med en bredd på ca 1 meter och en genomsläpplighet/hydraulisk konduktivitet om 1×10^{-8} m/s. Detta antas representera en spont med tätade lås, se vidare under avsnitt 5.9.1.

Ridåinjektering, där det tillämpas, har ansatts från bergöveryta och ned till fem meter under densamma. Injekteringen har ansatts med en tiopotens tätare än omgivande berg.

Mellan 3 till 4 meter under vägens överyta tillämpas bottenkakan som antas vara en meter tjock gjuten betong kontinuerligt löpande längs hela schaktbottens utbredning.

Bottenkakan förväntas ha en täthet som motsvarar minst 1×10^{-9} m/s vilket är vad som tillämpas i den numeriska modellen.



Figur 24. Anläggningens utformning enligt huvudalternativet. Tätkakan (grön) är en meter tjock och följer schaktbotten. En del av sponten är svävande (svart) är nedslagen tre meter under schaktbotten. Där bergöverytan bedöms tillräckligt nära den planerade anläggningen, mellan sektion 7/660-7/780 går sponten ner till berg (mörkröd).

5.9.1 Spont

Empiriska försök vid försök att bestämma läckaget genom spontlås har genomförts av en av de ledande sponttillverkarna²³. Målet var att utvärdera läckaget i spontlås och vilken tätningseffekt olika typer av fyllnadsmaterial i spontlås kan uppnå.

I försöken togs den empiriska termen *inverse joint resistance*, ρ , fram som ett sätt att beskriva motståndet i spontlåsen. Det konstateras att ett sätt att översätta

²³ ArcelorMittal, *Impervious steel sheet pile walls - Design & Practical approach*, 2017

läckageegenskaperna för en slagen stålspont till en motsvarande slurrvägg (ekvivalent poröst medium) kan beräknas enligt sambandet i Ekvation 3. Metodiken är jämförbar för fallet borrspont, då spontlåsen är principiellt lika de för en slagen stålspont. I modellen översätts detta till en HFB (Horizontal Flow Barrier) med tjockleken 1 m och ett antaget avstånd mellan spontlås på 1 m.

$$K_e = \frac{\rho * t}{b}$$

Ekvation 3.

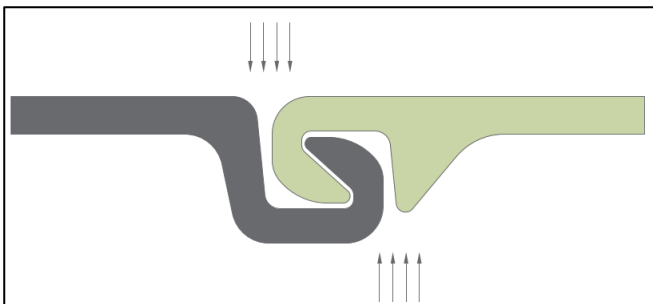
Där;

K_e = ekvivalent hydraulisk konduktivitet [m/s]

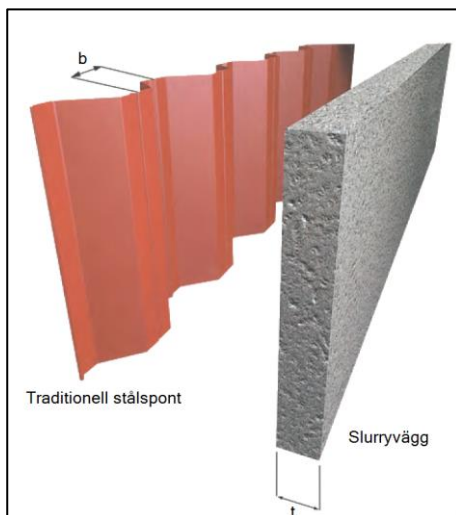
ρ = inverse joint resistance [m/s]

t = materialets ekvivalenta tjocklek [m]

b = avståndet mellan spontlås [m]



Figur 25. Exempel på spontlås för traditionell stålspont (ArcelorMittal, 2017).



Figur 26. Traditionell stålspont tillsammans med slurrvägg som används för omräkning och jämförelse av poröst motstånd i poröst medium (ArcelorMittal, 2017).

I rapporten²⁴ anges värden gällande inverse joint lock resistance, för olika tillämpningar av spont. Om en ekvivalent tjocklek för beräkning antas vara en meter och avståndet mellan spontlåsen en meter kan en ekvivalent hydraulisk konduktivitet beräknas, se Tabell 8.

²⁴ ArcelorMittal, *Impervious steel sheet pile walls - Design & Practical approach*, 2017

Tabell 8. Motsvarande hydraulisk konduktivitet för en ekvivalent kontinuerlig slurrvägg som antas vara 1 m tjock med ett avstånd mellan spontlås som är 1 m.

Typ av tätning i spontlås	ρ , inverse joint resistance (m/s)	K_e (m/s)
Ingen	$1 \times 10^{-6} - 1 \times 10^{-7}$	$1 \times 10^{-6} - 1 \times 10^{-7}$
Bitumenfyllning	6×10^{-8}	6×10^{-8}
Vattensvällande material (ex. bentonit)	3×10^{-10}	3×10^{-10}
Svetsning	0	0

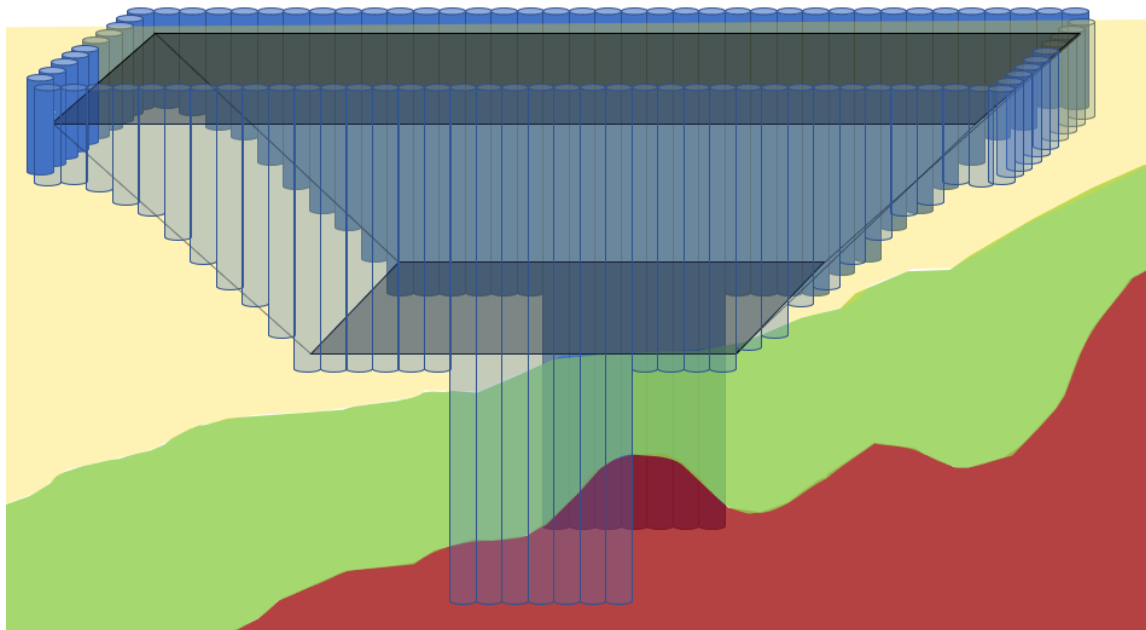
Ovanstående kan sammanfattas som att den i modellen ansatta sponten förväntas behöva tätas (på ett eller annat) sätt för att uppnå en hydraulisk konduktivitet om 1×10^{-8} m/s. Det finns ett flertal metoder och sätt avseende tätning av spont och spontlås, varav ovanstående enbart är ett axplock. Ansatt K_{spont} bedöms som rimligt med hänsyn taget till de stora osäkerheter som föreligger här.

5.9.2 Byggskede

I upprättad grundvattenmodell införlivas schakten utan den etappvisa indelningen och utan tvärsponter för att på så sätt representera ett s.k. worst-case scenario.

Byggskede modelleras transient (tidsberoende) i två år, samt stationärt (fortvarighetstillstånd). I byggskedet sker aktiv dränering av schakten d.v.s. länshållning.

Dräneringen placeras i modellen tre meter under vägbanans överyta, vilket också motsvarar bottenkakans överyta. Schaktbotten befinner sig ytterligare en meter under denna nivå, men eftersom ingen dränering sker innan bottenkakan är färdiggjuten kommer denna nivå inte att vara styrande för dränering av schaktet. En konceptuell redovisning av schakt med borrarad rörspons redovisas i Figur 27.



Figur 27. Konceptuell bild föreställande den öppna schakten och en borrarad rörspons i längs dess yttre perimeter. Blå cylindrar motsvarar borrarade rörpålar som tillsammans utgör spontväggen. Pålarna ansluter till varandra med ett spontlås. Notera att den konceptuella beskrivningen i figuren inte är skalenlig utan redovisar spontens utformning i modellen endast principiellt.

5.9.3 Driftskede

Driftskede modelleras endast som steady-state utan någon dränering/grundvattenbortledning.

6. Kalibrering

Modellkalibrering är en stegvis process som innebär att parametrar och randvillkor justeras i takt med att kunskapsläget förändras och för att ge en mer precis representation av kända systemförhållanden. Exempelvis uppmätta grundvattennivåer, flöden och dylikt.

Modellen har kalibrerats mot uppmätta medelgrundvattennivåer, en ögonblicksbild av uppmätta grundvattennivåer samt en transient/tidsberoende kalibrering baserad på provpumpningsdata. Det studerade systemet är komplext och områdets hydrauliska egenskaper är mycket heterogena. Det finns därför ingen unik lösning för kalibreringen, d.v.s. flera olika alternativa beskrivningar är möjliga. Den kalibrerade modellen är det alternativ som bedöms vara det mest troliga.

För kalibreringen användes ett urval av de grundvattenrör och observationsdata som funnits tillgängligt inom uppdraget. Urvalet har genomförts med utgångspunkten i att grundvattennivån ska motsvara en bedömd medelnivå.

Rör som efter genomgång inte anses ge en representativ bild av tolkade hydrogeologiska förhållanden efter genomgång av nivåvariationer i området har rensats bort, exempelvis rör där grundvattennivån väsentligt avviker från den uppmätta i angränsande grundvattenrör. Då rör med mer omfattande och kontinuerliga mätningar endast förekommer i området kring den planerade vägen, har ett urval av grundvattennivåer från SGUs brunnsarkiv införlivats i modellens mer perifera områden. Dessa observationer ska betraktas som mycket osäkra, eftersom nivån representeras av en enstakamätning av brunnsbore i samband med installationstillfället.

Samtliga rör som nyttjats för kalibreringen redovisas i Tabell 9. Datumet 18 juni 2020 bedöms motsvara en rimlig representation av medelgrundvattennivån och utgör därför underlag till den stationära kalibreringen.

Tabell 9. Observationspunkter som använts vid kalibrering av den numeriska modellen. Utvalt datum för kalibrering av medelnivå med tillhörande mätvärden redovisas i egen kolumn längst till vänster.

ID	N	E	Mätstart	Mätslut	Max	Medel	Min	2020-06-18
14E7401G	138818	6485786	2019-09-06	2021-05-18	+ 5,9	+ 5,6	+ 5,3	+ 5,7
14E7402G	138772	6485797	2019-09-06	2022-08-10	+ 6,2	+ 5,7	+ 5,3	+ 5,7
14E7405G	138778	6485862	2019-08-30	2022-07-11	+ 6,6	+ 5,9	+ 5,5	+ 6,0
15E3407G	138621	6486228	2019-08-28	2022-03-15	+ 15,9	+ 15,5	+ 15,0	+ 15,7
G15B7301	138848	6485763	2019-09-06	2022-08-10	+ 5,4	+ 5,0	+ 4,7	+ 5,0
G15B7302	138849	6485692	2019-09-06	2022-07-11	+ 5,0	+ 4,5	+ 4,4	+ 4,6
G15B7401	138845	6485823	2019-08-30	2022-08-10	+ 5,6	+ 5,1	+ 4,8	+ 5,1
G15B7501	138826	6485936	2019-09-05	2022-08-10	+ 6,8	+ 6,1	+ 5,7	+ 6,1
G19B7503	138849	6485877	2019-09-05	2022-08-10	+ 6,6	+ 6,0	+ 5,6	+ 6,0
GV11	138722	6485739	2019-09-06	2022-04-20	+ 5,5	+ 4,9	+ 4,7	+ 5,0
GV14	138620	6486083	2019-08-29	2022-05-18	+ 6,7	+ 6,3	+ 5,9	+ 6,2
GV15	138457	6486028	2019-08-29	2022-04-19	+ 6,8	+ 6,2	+ 5,6	+ 6,2

ID	N	E	Mätstart	Mätslut	Max	Medel	Min	2020-06-18
GV4	138786	6485917	2019-08-29	2021-05-18	+ 6,4	+ 5,9	+ 5,6	+ 6,0
GV6	138660	6485942	2019-08-29	2022-08-10	+ 6,3	+ 5,8	+ 5,5	+ 5,8
GV8	138920	6485708	2019-09-06	2022-08-10	+ 5,4	+ 4,9	+ 4,6	+ 4,9

Tabell 10. Tre enskilda brunnar i berg. Nivåmätning i samband med installationstillfälle, varför nivån endast är att betrakta som en rimlighetskontroll.

ID	N	E	Nivådatum	Nivå
904526617	137912	6486780	2004-02-26	+ 12,0
904527775	137316	6486902	2004-11-18	+ 10,8
907062046	140242	6486273	2006-07-03	+ 28,4

6.1 PEST

Kalibrering av modellen har utförts med hjälp av PEST (Doherty, 2022). PEST, eller Parameter ESTimation är ett modelloberoende program som automatiserar kalibrering och osäkerhetsanalys för numeriska modeller.

Programmet är icke-intrusivt och integrerar modellens in- och utdatafiler medan den uppskattar och justerar dess ingående parametrar. Kalibreringen utförs genom upprepad körning av modellen iterativt, till dess att ett på förhand definierat kalibreringsvillkor är uppnått. Den iterativa kalibreringsprocessen kan utföras seriellt eller parallellt, vilket möjliggör ett mycket stort antal upprepade körningar och tester av modellen för att på så sätt finna ett optimalt parameterfält avseende t.ex. hydraulisk konduktivitet för att matcha ett kalibreringsdataset (ex. observerade grundvattennivåer).

En av många fördelar med metoden är att det med små medel går att optimera modellen för bästa möjliga matchning mot faktiska förhållanden.

6.2 Resultat

Två allmänna mått på grundvattenmodellens förmåga att representera observerade förhållanden är RMS (Root Mean Square) eller NRMS (Normalized Root Mean Square). Båda måtten beskriver medelavvikelsen mellan simulerade och uppmätta värden. Skillnaden är att RMS anger en absolut avvikelse i meter, medan NRMS ger ett mått mellan 0 – 1 vilket gör det mer lämpligt för att jämföra olika datamängder.

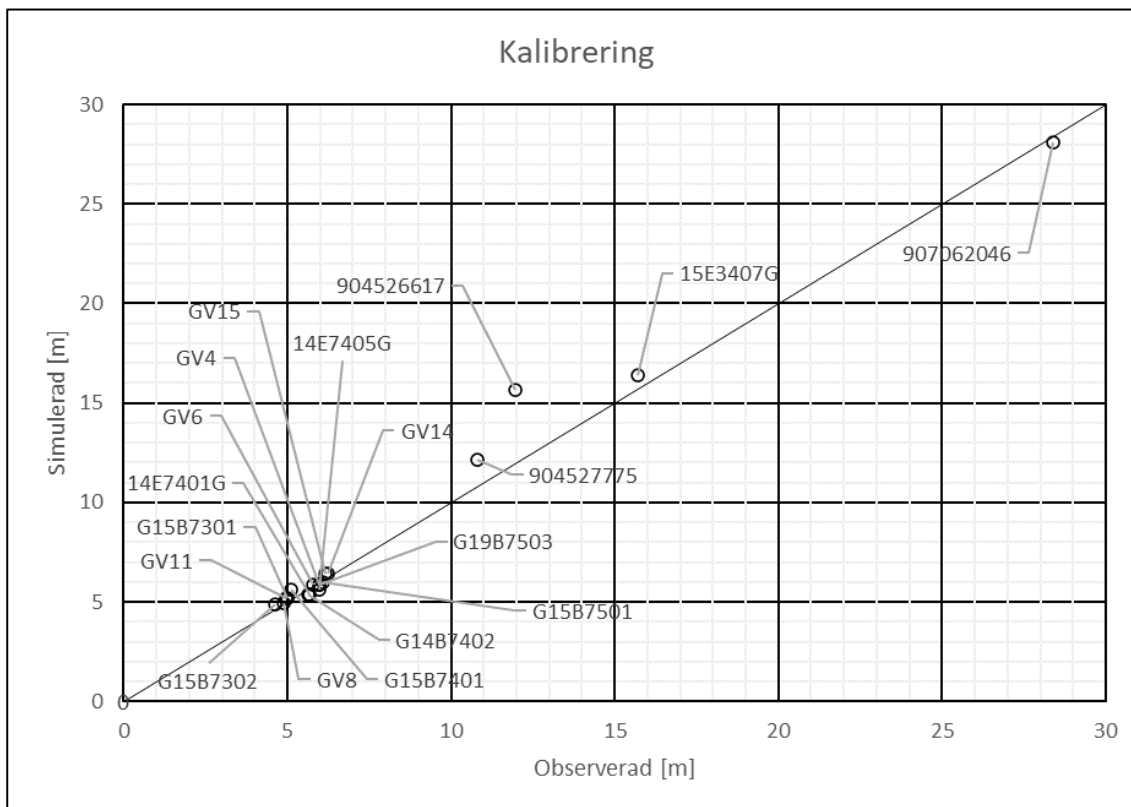
Det finns ingen allmän eller specifik tröskelnivå för vad som kan anses vara en tillräckligt låg RMS eller NRMS för att modellen ska vara välkalibrerad. Det beror på flera faktorer som modellens komplexitet, kvalitet på dataunderlaget för kalibreringen och modellens syfte bl.a. Modellens förmåga att förutse framtida förhållanden genom verifieringstester och att den väl återspeglar de hydrogeologiska processer som in- och utflöden ur modellens domän är också viktig information. Som en generell tumregel kan dock sägas att en NRMS <10 % visar en god överensstämmelse mellan uppmätta och simulerade nivåer och därmed brukar vara en acceptabel nivå på kalibrering.

Den kalibrerade grundvattenmodellen i stationärt tillstånd erhöll en RMS som motsvarar 0,97 m och en NRMS på 4,1 %, se Tabell 11 och Figur 28. Vid den efterföljande transienta kalibreringen av de propumpningsförlopp som utfördes under perioden september – oktober 2016 erhölls en RMS motsvarande 0,72 m och NRMS på 2,7 %, se Tabell 12 och Figur 29.

En redovisning av propumpningsförloppet och förhållandet mellan uppmätta och simulerade nivåer sker med tidsaxel i Figur 30 och 31.

Tabell 11. Statistiska mått till följd av stationär kalibrering av basmodellen.

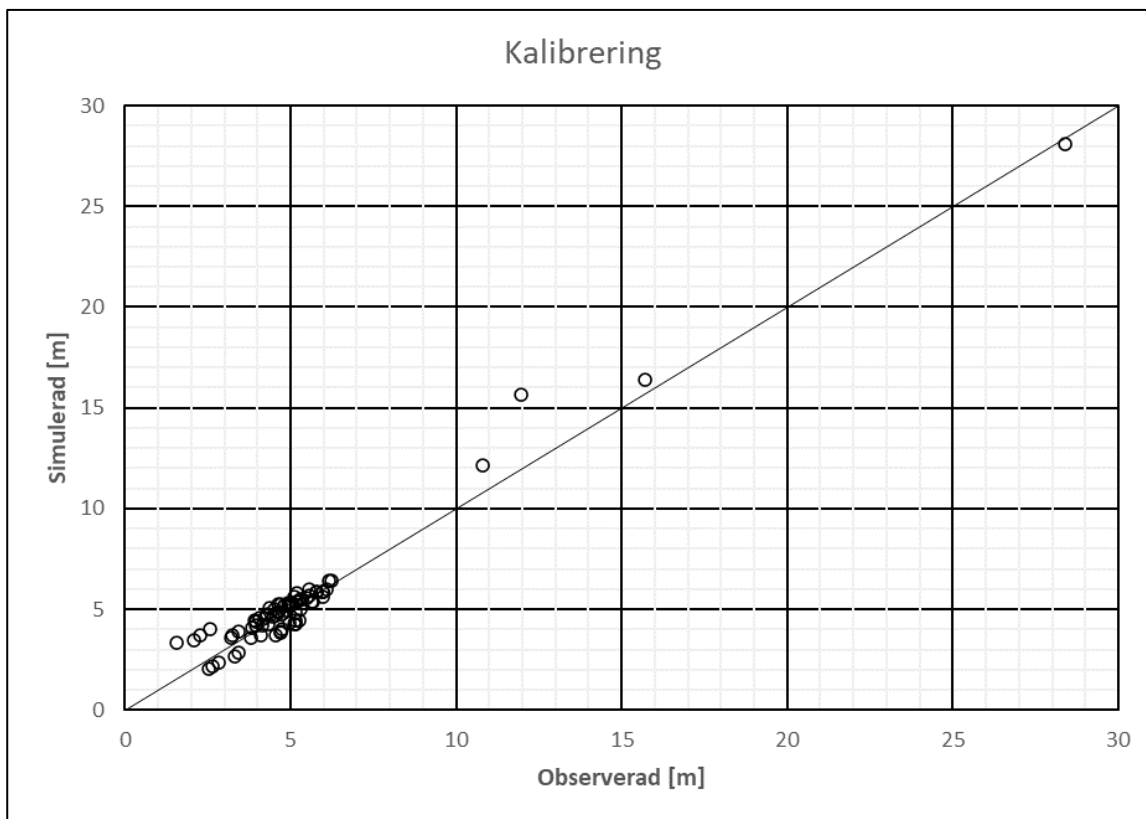
Abs. Medelavvikelse	0.32 m
RMS	0.97 m
NRMS	4.1%
Max residual	0.35 m
Min residual	-3.71 m



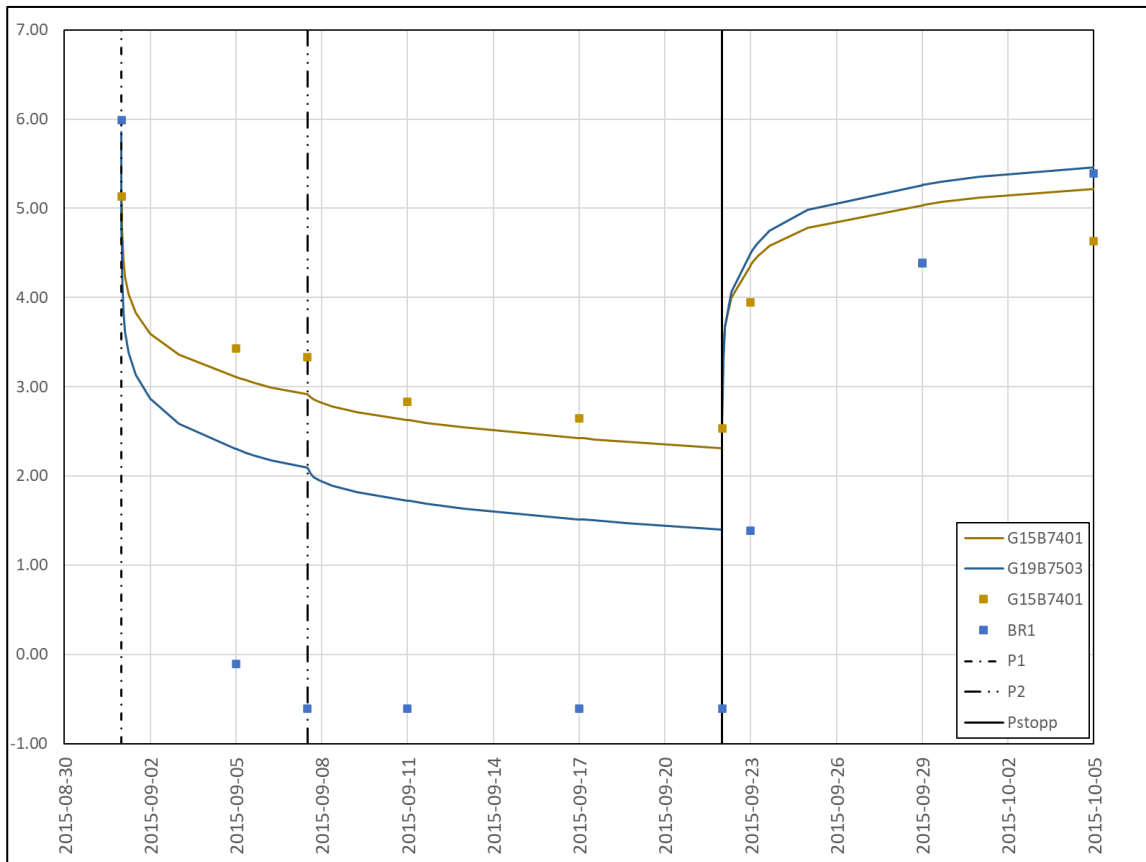
Figur 28. Stationär kalibrering av förmodad/bedömd medelgrundvattennivå.

Tabell 12. Statistiska mått till följd av transient kalibrering av propumpningsförloppet i basmodellen.

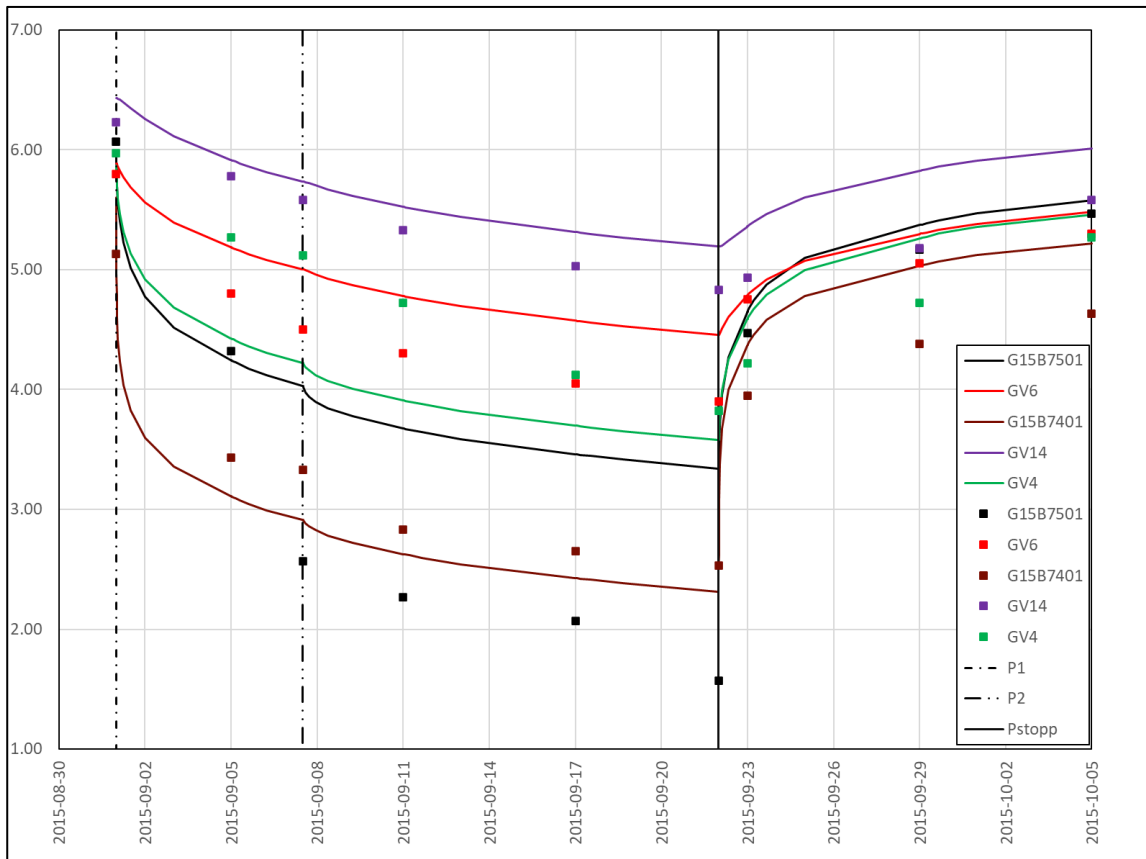
Abs. Medelavvikelse	0.16 m
RMS	0.72 m
NRMS	2.7%
Max residual	0.89 m
Min residual	-3.71 m



Figur 29. Transient kalibrering av provpumpningsförlopp september - oktober 2015.



Figur 30. Transient kalibrering av provpumpningen 2015. Redovisade punkter är utgör faktiska mätvärden i samband med provpumpningen. Heldragna linjer redovisar modellerade värden. P1 är tidpunkten för pumpstart i BR1 (G19B7503) och G15B7401, P2 för pumpstart i GV15B7502 som inte ingick i kalibreringen och Pstopp redovisar avslutad pumpning.



Figur 31. Transient kalibrering av provpumpningen 2015. Redovisad punkter är utgör faktiska mätvärden i samband med provpumpningen. Heldragna linjer redovisar modellerade värden. P1 är tidpunkten för pumpstart i BR1 (G19B7503) och G15B7401, P2 för pumpstart i GV15B7502 som inte ingick i kalibreringen och Pstopp redovisar avslutad pumpning.

7. Scenarios

Tabell 13. Studerade modellscenarion.

Scenarios byggskede	Beskrivning
Mod03	<p><u>Med</u> bottenkaka Spont till berg i sektion 7/660 – 7/780. Svävande spont för övriga delar. Spont med hydraulisk konduktivitet motsvarande 1E-8 m/s. <u>Utan</u> ridåinjektering.</p>
Mod031	<p><u>Med</u> bottenkaka Spont till berg i sektion 7/660 – 7/780. Svävande spont för övriga delar. <u>Utan</u> ridåinjektering <u>Spont 5 x mer genomsläpplig jämfört med mod03.</u></p>
Mod032	<p><u>Med</u> bottenkaka Spont till berg i sektion 7/660 – 7/780. Svävande spont för övriga delar. <u>Utan</u> ridåinjektering. <u>Spont 10 x mer genomsläpplig jämfört med mod03</u></p>
Mod033	<p><u>Med</u> bottenkaka Spont till berg i sektion 7/660 – 7/780. Svävande spont för övriga delar <u>Utan</u> ridåinjektering. Hål vid utvalda positioner längs norra sponten</p>
Mod0331	<p><u>Med</u> bottenkaka Spont till berg i sektion 7/660 – 7/780. Svävande spont för övriga delar <u>Utan</u> ridåinjektering. Hål vid samma position som i mod033 Transient, 2 år</p>
Mod0332	<p><u>Med</u> bottenkaka Spont till berg i sektion 7/660 – 7/780. Svävande spont för övriga delar <u>Utan</u> ridåinjektering. Hål vid utvalda positioner längs södra sponten Transient, 2 år</p>
Mod34	<p><u>Med</u> bottenkaka Spont till berg i sektion 7/660 – 7/780. Svävande spont för övriga delar. Spont med hydraulisk konduktivitet motsvarande 1E-8 m/s. <u>Utan</u> ridåinjektering. Transient, 2 år</p>
Scenarios driftskede	Beskrivning
Mod035	<p><u>Med</u> bottenkaka Spont till berg i sektion 7/660 – 7/780. Svävande spont för övriga delar. Spont med hydraulisk konduktivitet motsvarande 1E-8 m/s. <u>Utan</u> ridåinjektering. Ingen aktiv dränering</p>

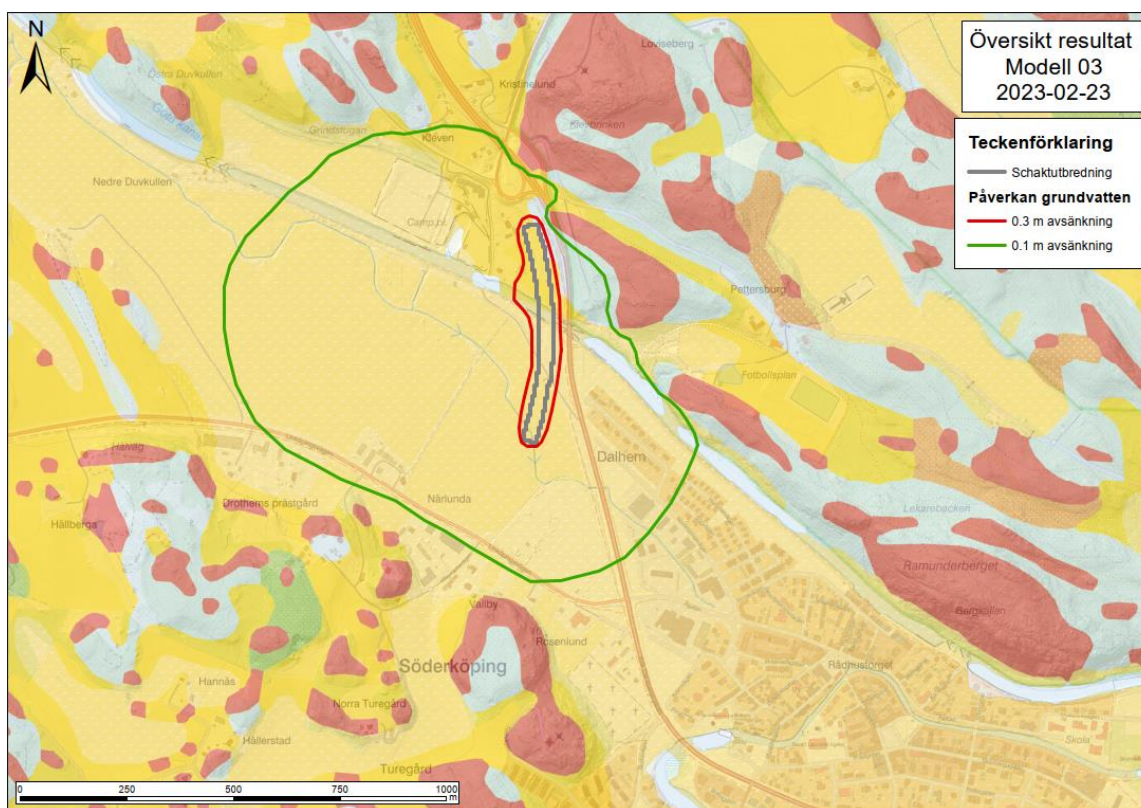
8. Modellresultat

I avsnitten nedan redovisas de modeller som beskriver antaget huvudalternativ i bygg- och driftskede. Efterföljande känslighetsanalys redovisas i avsnitt 8.2.

8.1 Modellresultat

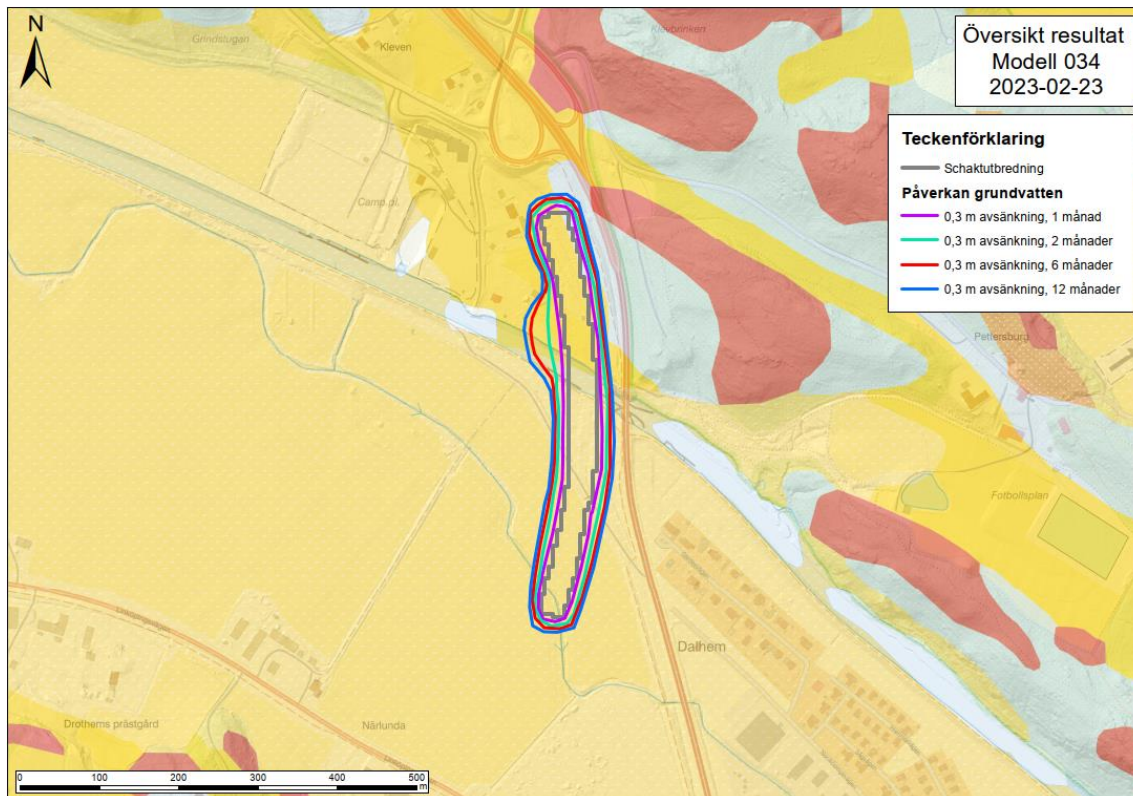
Resultat för antaget huvudscenario redovisas i Figur 32 - 34.

Mod03 beskriver effekten av en schakt som utförs inom spont med tätade spontlås och gjuten bottenkaka av betong. Sponten förutsätts ansluta till bottenkakan i alla delar av schakten. Scenariot gäller för byggskede, dvs när dränering av schaktet utförs aktivt och simuleringen har utförts stationärt, dvs. till dess att jämvikt råder utan hänsyn till tid.



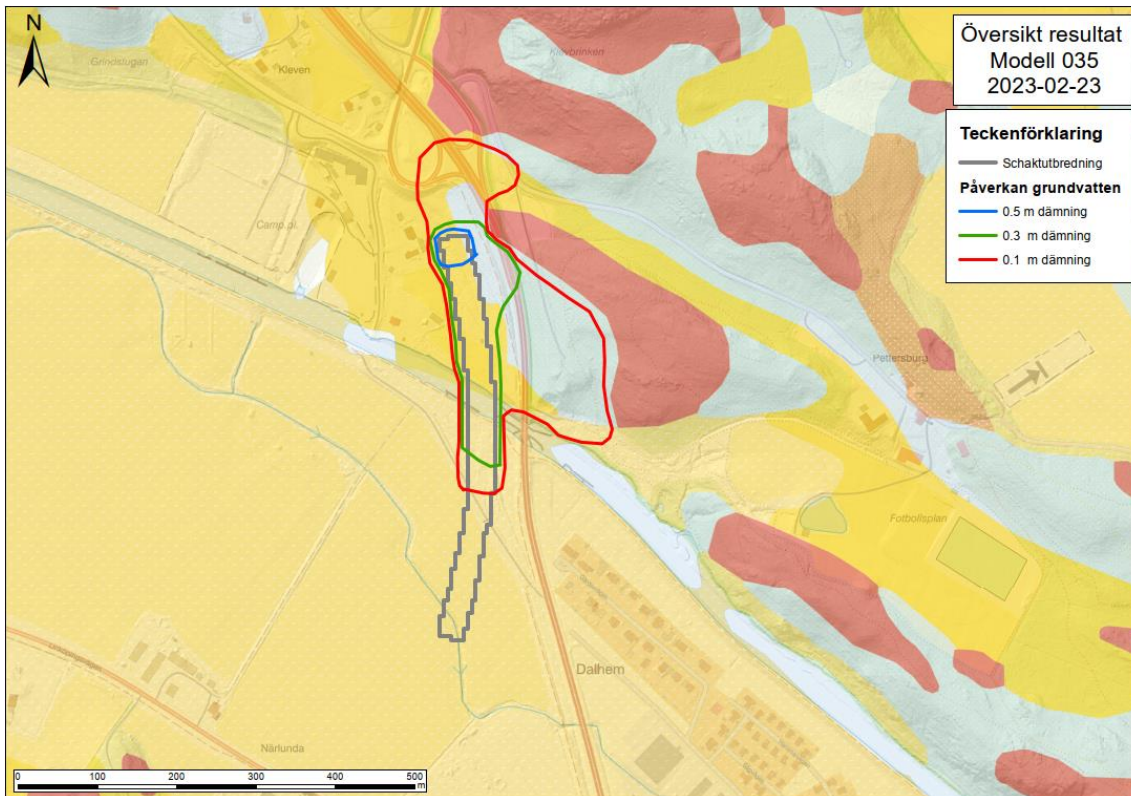
Figur 32. Resultat från modell *mod03* som redovisar utbredning av påverkansområdet i stationärt tillstånd. I modellen tillämpas tätskärm (svävande spont samt spont till berg i sektionen 7/660 – 7/780) och gjuten bottenkaka längs hela schaktet.

Mod034 beskriver effekten av en schakt som utförs inom spont med tätade spontlås och gjuten bottenkaka av betong. Sponten förutsätts ansluta till bottenkakan i alla delar av schakten. Scenariot gäller för byggskede, dvs när dränering av schaktet utförs aktivt och simuleringen har utförts transient under två år. Av simuleringarna framgår att maximal utbredning av påverkansområdet erhålls efter 12 månader.



Figur 33. Resultat från modell *mod034* som redovisar utbredning av påverkansområdet vid transient simulering. I modellen tillämpas tätskärm (svävande spont samt spont till berg i sektionen 7/660 – 7/780) och gjuten bottenkaka längs hela schaktet. Simuleringen pågår i totalt 2 år och full utbredning av påverkansområdet är uppnått vid 12 månader.

Mod035 beskriver effekten av den färdiga konstruktionen då vägen befinner sig inom ett tätt tråg under kanalen. Scenariot gäller för drift, dvs när dränering av schaktet har upphört. Simuleringen har utförts stationärt, dvs till dess att jämvikt råder. Av simuleringarna framgår att viss dämning norr och nordost om schakten är att förvänta.



Figur 34. Resultat från modell *mod035* som redovisar förväntade dämningseffekter i driftskedet i stationärt tillstånd. I modellen tillämpas tätskärm (svävande spont samt spont till berg i sektionen 7/660 – 7/780) och gjuten bottenkaka längs hela schaktet.

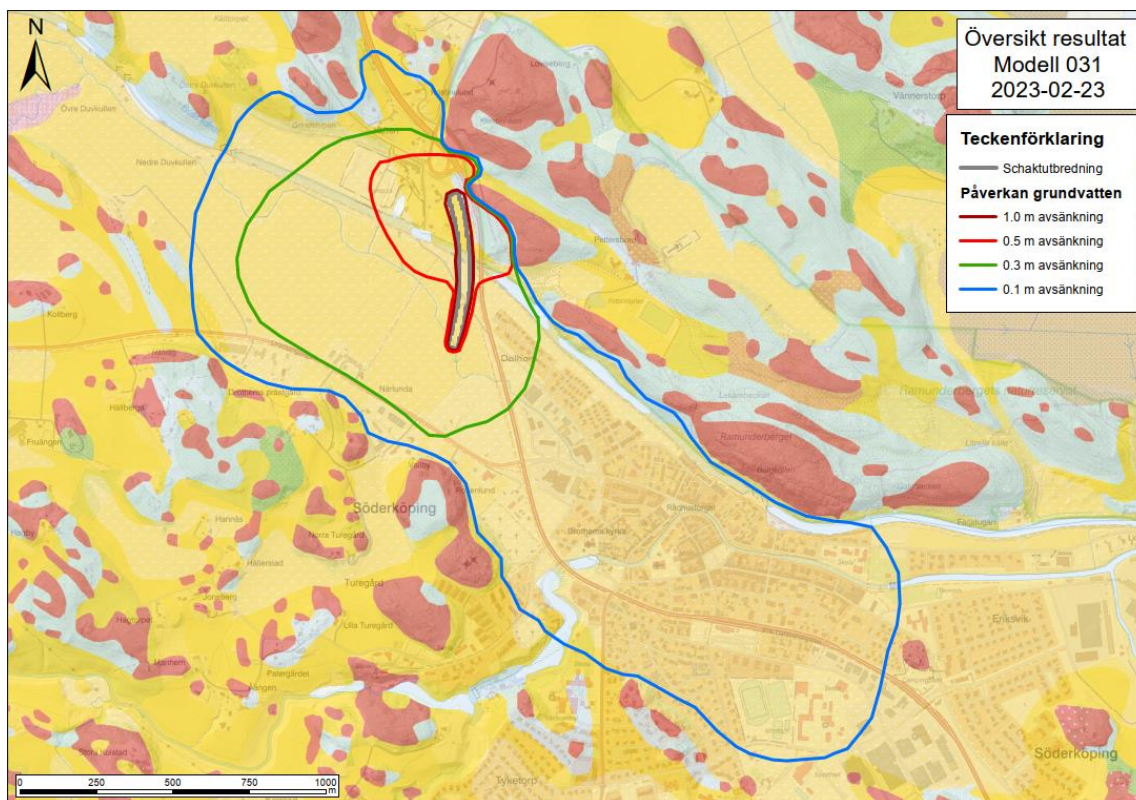
8.2 Känslighetsanalys

Känslighetsanalysen som redovisas i detta avsnitt har genomförts med syfte att studera eventuella skillnader i konstruktionens utformning. Detta innefattar bl.a. spontens förväntade täthet och konsekvenserna av att misslyckas vid anslutning mellan spont och bottenkaka.

Känslighetsanalys avseende geologiska materialegenskaper har genomförts som en del av kalibreringsarbetet med grundmodellen.

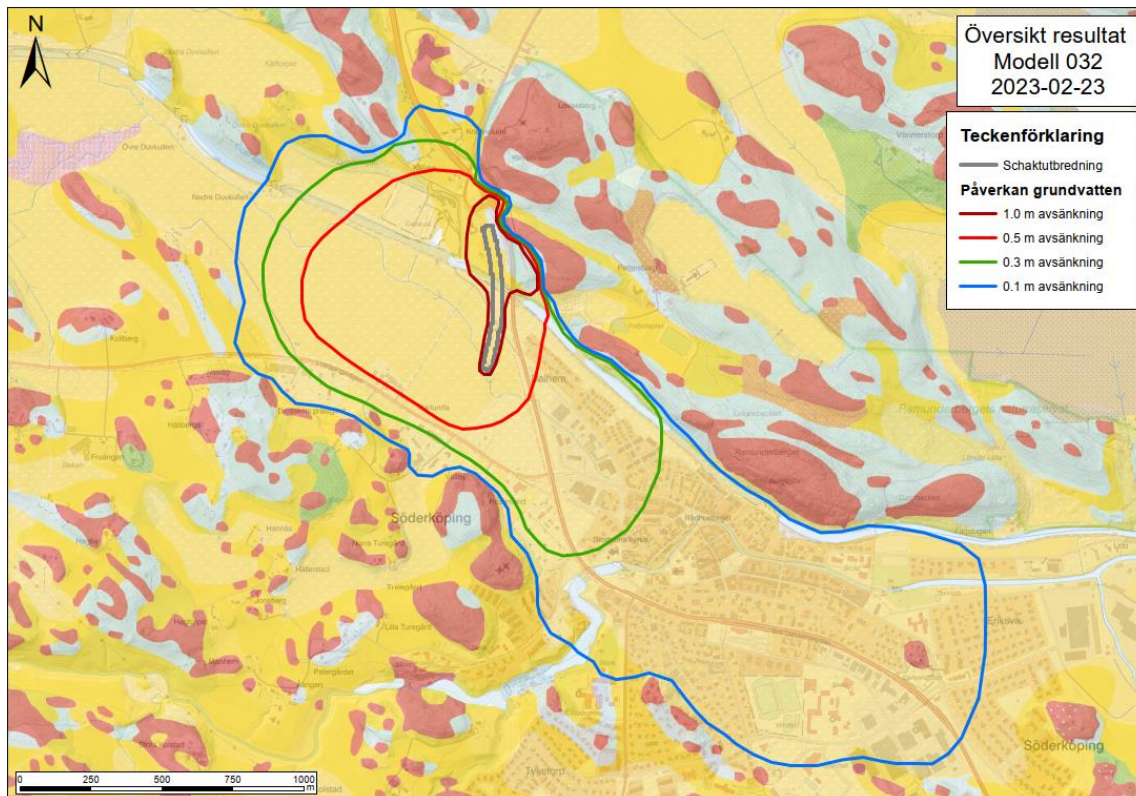
I Figur 35 - 39, redovisas resultaten från känslighetsanalysen. Förklaring av respektive fall återfinns i figurtext alternativt i Tabell 13.

Mod031 beskriver effekten av en schakt som utförs inom spont utan tätade spontlås om spontens täthet då antas vara 5×10^{-7} m/s. i schaktbotten är en gjuten bottenkaka av betong. Sponten förutsätts ansluta till bottenkakan i alla delar av schakten. Scenariot gäller för byggskede, dvs när dränering av schaktet utförs aktivt och simuleringen har utförts stationärt, dvs. till dess att jämvikt råder utan hänsyn till tid.



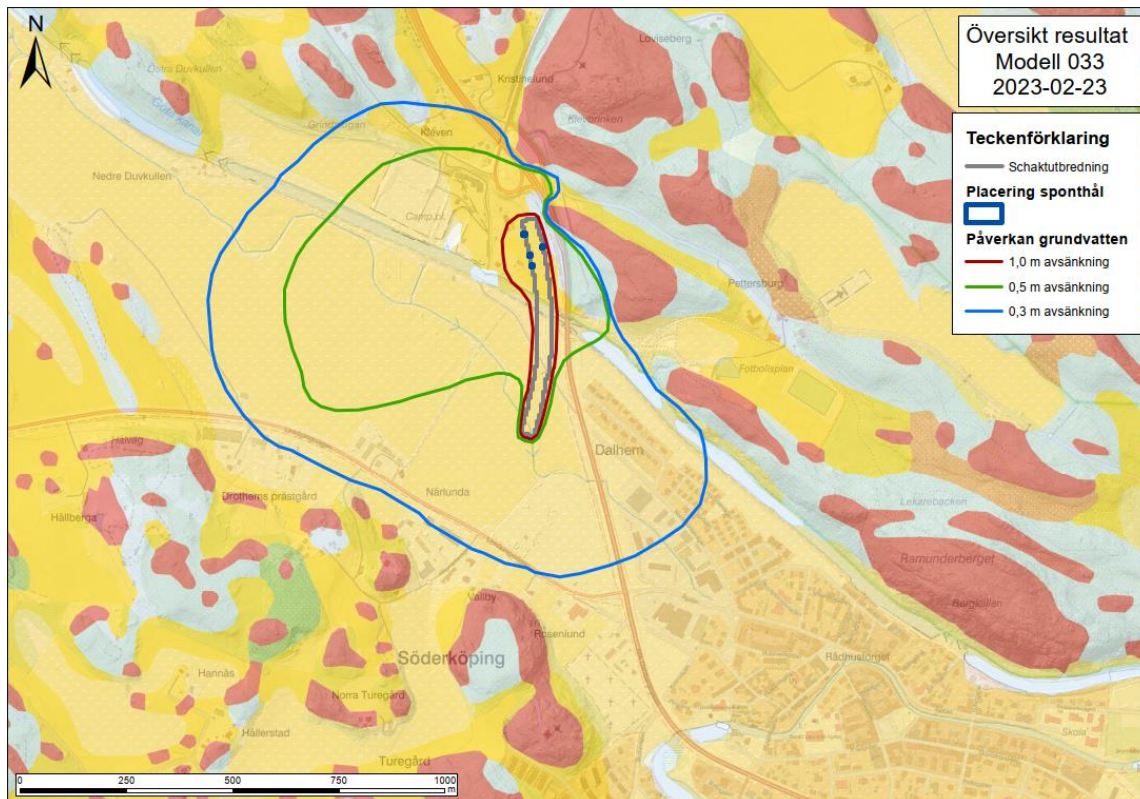
Figur 35. Resultat från modell *mod031* som redovisar utbredning av påverkansområdet i stationärt tillstånd. I modellen tillämpas tätskärm (svävande spont samt spont till berg i sektionen 7/660 – 7/780) och gjuten bottenkaka längs hela schaktet. I redovisat fall ökas tätskärmens genomsläpplighet med 5 gånger, vilket kan likställas med en spont som har otätade spontlås.

Mod032 beskriver effekten av en schakt som utförs inom spont utan tätade spontlås om spontens täthet då antas vara 1×10^{-7} m/s. I schaktbotten är en gjuten bottenkaka av betong. Sponten förutsätts ansluta till bottenkakan i alla delar av schakten. Scenariot gäller för byggskede, dvs när dränning av schaktet utförs aktivt och simuleringen har utförts stationärt, d.v.s. till dess att jämvikt råder utan hänsyn till tid.



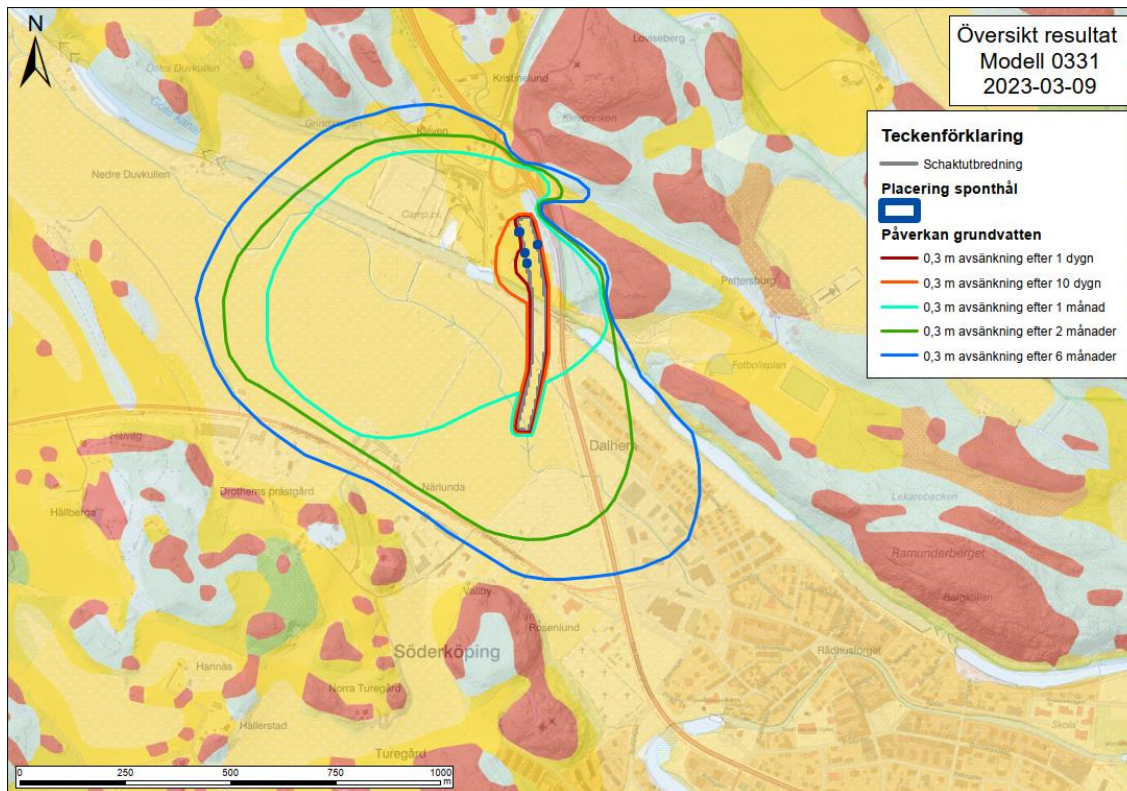
Figur 36. Resultat från modell *mod032* som redovisar utbredning av påverkansområdet i stationärt tillstånd. I modellen tillämpas tätskärm (svävande spont samt spont till berg i sektionen 7/660 – 7/780) och gjuten bottenkaka längs hela schaktet. I redovisat fall ökas tätskärmens genomsläpplighet med 10 gånger.

Mod033 beskriver effekten av en schakt som utförs inom spont med tätade spontlås men som p.g.a. byggnadstekniska eller geologiska anledningar inte har framgångsrikt anslutit till bottenkakan. I schaktbotten är en gjuten bottenkaka av betong. Scenariot gäller för byggskede, d.v.s. när dränering av schaktet utförs aktivt och simuleringen har utförts stationärt, d.v.s. till dess att jämvikt råder utan hänsyn till tid.



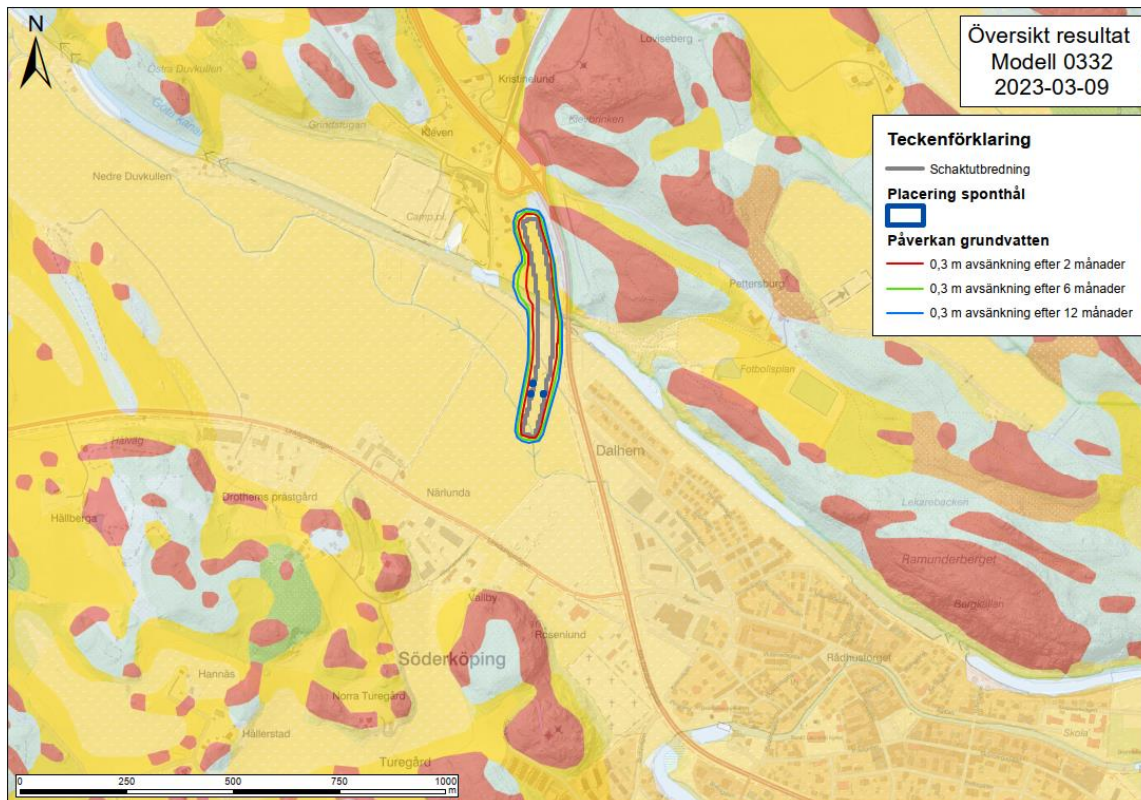
Figur 37. Resultat från modell *mod033* som redovisar utbredning av påverkansområdet vid stationär simulering. I modellen tillämpas tätskärm (svävande spont samt spont till berg i sektionen 7/660 – 7/780) och gjuten bottenkaka längs hela schaktet, därtill har ett antal hål placerats längs den norra sponten för att undersöka risker kopplat till att misslyckas med spontdrivning.

Mod0331 beskriver effekten av en schakt som utförs inom spont med tätade spontlås men som p.g.a. byggnadstekniska eller geologiska anledningar inte har framgångsrikt anslutit till bottenkakan. I schaktbotten är en gjuten bottenkaka av betong. Sponten förutsätts ansluta till bottenkakan i alla delar av schakten. Scenariot gäller för byggskede, d.v.s. när dränering av schaktet utförs aktivt och simuleringen har utförts transient under två år. Påverkansområdet når full utbredning efter sex månader.



Figur 38. Resultat från modell *mod0331* som redovisar utbredning av påverkansområdet vid transient simulering. I modellen tillämpas tätskärm (svävande spont samt spont till berg i sektionen 7/660 – 7/780) och gjuten bottenkaka längs hela schaktet, därtill har ett antal hål placerats längs den norra sponten för att undersöka risker kopplat till att misslyckas med spontdrivning. Simuleringen pågår i totalt 2 år och full utbredning av påverkansområdet är uppnått efter 6 månader.

Mod0332 beskriver effekten av en schakt som utförs inom spont med tätade spontlås men som p.g.a. byggnadstekniska eller geologiska anledningar inte har framgångsrikt anslutit till bottenkakan. I schaktbotten är en gjuten bottenkaka av betong. Sponten förutsätts ansluta till bottenkakan i alla delar av schakten. Scenariot gäller för byggskede, d.v.s. när dränering av schaktet utförs aktivt och simuleringen har utförts transient under två år. Påverkansområdet når full utbredning efter 6 - 12 månader.



Figur 39. Resultat från modell *mod0332* som redovisar utbredning av påverkansområdet vid transient simulering. I modellen tillämpas tätskärm (svävande spont samt spont till berg i sektionen 7/660 – 7/780) och gjuten bottenkaka längs hela schaktet, därtill har ett antal hål placerats längs den södra sponten för att undersöka risker kopplat till att misslyckas med spontdrivning. Simuleringen pågår i totalt 2 år och full utbredning av påverkansområdet är uppnått efter 12 månader.

9. Diskussion

I allmänhet kan följande konstateras om grundvattenmodeller; generellt sett finns det en stor heterogenitet i flera hydrogeologiska domäner och modellerna täcker stora ytor med begränsad information. Randvillkor och domängränser kan avgränsas på olika sätt beroende på vem som upprättar modellen. Det finns också osäkerheter i antagna parametrar, in- och utflöden vid randzoner, att nederbörden är generaliserad (1-årsmedel för referensnormalperiod) och att markanvändning (som styr andelen perkolations kontra ytavrinning) förenklas. Kalibreringen av modellerna är också baserad på relativt få kända värden inom ett mycket avgränsat område.

Modellen syftar till att med nuvarande kunskapsläge möjliggöra bedömning av påverkan efter bästa förmåga. Modeller har i allmänhet fler svar på samma fråga som kan ge något olika resultat. Detta syftar kalibrering och osäkerhetsanalys till att hantera. Efter kalibrering och osäkerhets-/känslighetsanalys anses modellen ge en tämligen god representation av

rådande förhållanden och den förväntade påverkan som kan uppstå givet en introducerad störning. Modellen möjliggör testning av flera olika fall och kan varieras efter önskad utformning.

Ett ytterligare grepp för att hantera modellens osäkerhetsfaktorer är att bygga dessa med konservativa eller pessimistiska antaganden i de fall där underlag bedöms osäkert. Detta innebär i praktiken att modellen överskattar eventuell negativ påverkan och därmed tar höjd för de osäkerheter som förväntas föreligga.

Utbredningen på påverkansområdet kan antas vara starkt beroende på val av spont, krav på täthet samt eventuellt krav på tätning av spontlås. Det förutsätts därför att redovisade påverkansområden med sponttäthet som är i storleksordningen 5×10^{-8} m/s och lägre utförs med tätning i spontlåsen.

Modellens geologiska enheter delades in efter SGUs jordartskarta, varpå kalibrering utfördes inom för respektive material realistiska värden avseende hydraulisk konduktivitet. Då kunskap om jordlagrens exakta utbredning saknas, framför allt i modellens mer perifera delar, anses detta vara en realistisk arbetsmetodik. Precisionen i bedömning av stratigrafi samt jord- och bergmatrisens egenskaper har ökat med närheten till det studerade området eftersom mer underlag har varit tillgängligt. Det bedöms därmed som att modellens bedömningar av närfältet kring schakten är av i sammanhanget god kvalitet, medan områden på större avstånd från schakten är mer osäkra, de är dock inte heller av större intresse för rapportens slutsatser.

Modellen har vid kalibrering och simuleringar visat sig vara mest känslig för förändring av isälvmaterialets egenskaper. I övrigt är det tätskärmens förmåga att avskärma schakten från omgivande magasin som i hög grad kommer att avgöra huruvida omgivningspåverkan går att begränsa.

Att dämningen i driftskedessimuleringar breder ut sig i nordostlig riktning, trots ett grundvattenflöde från nordväst till sydost, kan förklaras med den förhöjning i bergöverytan som befinner sig ungefär i läget för passage av Göta kanal. I driftskedet blir flödet delvis avskärmat av berget i kombination med spont slagen till berg i sektionen 7/660 – 7/780. Det får effekten att flödet stryps med en minskad tvärsnittsarea i den del av akviferen som har högst hydraulisk konduktivitet.

10. Slutsatser

Den kalibrerade basmodellen uppvisar goda resultat vad gäller förmågan att återskapa de naturliga nivåerna och flödesmönstren som har konstaterats på platsen. Det har också genom att upprepa det utförda provpumpningsförloppet med god precision jämfört med observerade resultat. Detta tyder på att åtminstone närområdet kring schaktet, vilket är av störst intresse och vikt för bedömningarna i denna rapport, har återspeglats på ett önskvärt sätt. Det är troligt att observerade avvikelser vid kalibreringen till viss del beror på lokal heterogenitet som modellen inte har lyckats representera.

Resultaten av de numeriska beräkningar som utförts tyder på att den, av de studerade mest fördelaktiga arbetsmetoden för att bygga tråg och akvedukt är det alternativ som presenteras i modell 03. Med mest fördelaktiga avses här med avseende på omgivningspåverkan grundvatten, tillsammans med bedömt möjligt och troligt scenario av genomförbart byggskede avseende konstruktionsmässiga och geotekniska aspekter.

I detta scenario åsyftas konstruktion av borrad rörspont som drivs ner ca tre meter under en gjuten tåtkaka i schaktbotten, kompletterad med spont till berg i sektionen 7/660 – 7/780. Tåtkakan är kontinuerlig och följer schaktbotten. Alternativet förutsätter att spontlåsen tätas.

Påverkansområdet bedöms fullt utvecklat efter ca 12 månaders bortledning.

Det framgår tydligt att även mindre kontaktytor i storleksordningen enstaka kvadratmeter med isälvsformationen kan ha en betydande effekt på påverkansområdets utbredning, en effekt av isälvsformationens höga hydrauliska konduktivitet. Det är således av stor betydelse för grundvattenpåverkan att i möjligaste mån begränsa eventuella kontaktytor som kan uppstå där spont möter berg eller tätkaka men även mellan spontens ingående delar (spontlås och dyl.). Det kan trots detta bli aktuellt med kompletterande tätning mellan tätkaka och spont i samband med länshållning.

Modeller är alltid en approximation av verkligheten och inte en exakt digital tvilling. Det ska alltid iaktas viss försiktighet vid tolkning av resultaten och de bör inte ligga till grund för framtagande av bygghandlingar.

Referenser

- Andersson, M., Woessner, W. & Hunt, R., 2015. *Applied Groundwater Modeling, Simulation of Flow and Advective Transport, Second Edition*, Wisconsin: Academic Press.
- ArcelorMittal, 2017. *Impervious steel sheet pile walls - Design & Practical approach*, Luxembourg: ArcelorMittal Sheet Piling.
- Doherty, J., 2022. *PEST (Parameter ESTimation Highly Parallelized (PEST HP))*, Brisbane: Watermark Numerical Computing.
- Ericsson, L. O. & Holmén, J., 2010. *Storregional grundvattenmodellering - en känslighetsstudie av några utvalda konceptuella beskrivningar och förenklingar.*, Stockholm: SKB.
- Langevin, C. o.a., 2022. *MODFLOW 6 Modular Hydrologic Model version 6.4.1: U.S. Geological Survey Software Release, 9 December 2022*, Reston, VA: USGS.
- SGU, 1997. *Beskrivning till kartan över grundvattnet i Östergötlands län (SGU Serie Ah nr 14)*, Uppsala: SGU.
- SGU, 2021. *Grundvattenmagasinet Söderköping, Serie K 688*, Uppsala: SGU.
- SGU, 2022. *Kartor och 3D*. [Online]
Available at: <https://apps.sgu.se/kartvisare/>
- SMHI, 2002. *Avrinningen i Sverige, Faktablad nr 12*, Norrköping: SMHI.
- SMHI, 2009. *Normal uppmätt årsnederbörd, medelvärde 1961-1990*. [Online]
Available at: <https://www.smhi.se/data/meteorologi/nederbord/normal-uppmatt-arsnederbord-medelvarde-1961-1990-1.4160>
[Använd 27 03 2023].
- SMHI, 2009. *Årsavdunstning medelvärde 1961-1990*. [Online]
Available at: <https://www.smhi.se/data/hydrologi/avdunstning/arsavdunstning-medelvarde-1961-1990-1.4096>
[Använd 27 03 2023].
- SMHI, 2022. *Vattnets kretslopp*. [Online]
Available at: <https://www.smhi.se/kunskapsbanken/hydrologi/vattnets-kretslopp/vattnets-kretslopp-forenar-hydrologi-meteorologi-och-oceanografi-1.20615>
- SMHI, 2023. *Modelldata per område*. [Online]
Available at: <https://vattenwebb.smhi.se/modelarea/>
- Svenskt Vatten, 2019. *P110 Avledning av dag-, drän- och spillvatten (del 2)*, Stockholm: Svenskt Vatten.
- Trafikverket, 2017. *Teknisk PM Geoteknik, E22 Förbi Söderköping inkl. väg 210 Skärgårdslänken. Projektnummer: 132 494*, Eskilstuna: Trafikverket.
- Trafikverket, 2022. *PM Hydrogeologi, Väg E22, Förbi Söderköping - akvedukt vid Göta kanal och bro över Lillån, Bilaga 1 MKB*, Eskilstuna: Trafikverket.
- Trafikverket, 2022. *Teknisk beskrivning till ansökan om tillstånd för vattenverksamhet: Passage av Lillån och Göta kanal inom vägplan E22 förbi Söderköping, Söderköpings kommun, Östergötlands län*, Eskilstuna: Trafikverket.
- Winston, R., 2022. *ModelMuse version 5.1.1: U.S. Geological Survey Software Release*, Reston, VA: USGS.