

Projektnamn

Västlänken och Olskroken planskildhet

Dokumenttyp

PM

Ärendenummer

TRV 2016/3151

Skapad av

Ulf Sundkvist

Filnamn

MPU02-50GT-025-00-0006

Godkänt av

Karl Persson

Godkänt datum

2016-02-10

Version

—

Uppdrag

MPU 02

Dokumenttitel

PM Hydrogeologiska beräkningar

Underlagsdokument till PM Hydrogeologi,
ansökan om tillstånd enligt miljöbalken för anläggandet av Västlänken och
Olskroken planskildhet

Ändringslogg

Version	Datum	Ändring
---------	-------	---------

Godkänt av

Innehåll

1	Inledning	5
2	Målsättning	5
3	Konceptuell modell	7
4	Frågeställningar	9
4.1	Grundvattenflöde, inläckage	9
4.2	Influensområde	9
4.3	Grundvattennivåsänkning	9
5	Beräkningsmetodik	10
6	Vattenbalansberäkningar	11
7	Beräkningsmodeller	12
7.1	Analytiska beräkningar	12
7.2	Stokastisk beräkning av inläckage till bergtunnel	13
7.3	Numerisk modellering	14
8	Stokastisk inläckageberäkning	15
8.1	Modelluppbyggnad	15
8.2	Hydrauliska egenskaper	17
8.3	Grundvattentryck	18
8.4	Prediktiv beräkning	18
8.5	Resultat	19
9	Numerisk grundvattenmodellering Station Haga	20
9.1	Modelluppbyggnad	20
9.2	Hydrauliska egenskaper	21
9.3	Kalibrering och verifiering	21
9.4	Prediktiv simulering	22
9.5	Resultat	25
10	Numerisk grundvattenmodellering Station Korsvägen - Almedal	25
10.1	Modelluppbyggnad	25
10.2	Hydrauliska egenskaper	26
10.3	Kalibrering och verifiering	29
10.4	Prediktiv simulering	29
10.5	Resultat	34
11	Numerisk grundvattenmodellering Gibraltargatan	35
11.1	Modelluppbyggnad	35
11.2	Hydrauliska egenskaper	37
11.3	Kalibrering och verifiering	38
11.4	Prediktiv simulering för olika tunneltäthet	40
11.5	Resultat	44
12	Referenser	44

Bilaga 1	MPU02-50GT-025-00-0006_Bilaga 1 PM Stokastisk beräkning av inläckage till bergtunnlar
Bilaga 2	MPU02-50GT-025-00-0006_Bilaga 2 PM Numerisk grundvattenberäkning Haga, Korsvägen och Almedal
Bilaga 3	MPU02-50GT-025-00-0006_Bilaga 3 PM Numerisk grundvattenberäkning Gibraltargatan

1 Inledning

Föreliggande PM utgör ett underlagsdokument till PM Hydrogeologi som ingår i ansökan om tillstånd enligt miljöbalken för anläggandet av Västlänken och Olskroken planskildhet.

Västlänken kommer att byggas i vitt skilda hydrogeologiska miljöer, från täta till permeabla jordar och berg. Olika hydrogeologiska miljöer samt olika hydrogeologiska frågeställningar kräver i princip olika beräkningsmodeller, vilka måste anpassas till dataunderlagets omfattning och kvalitet. Såväl analytiska som numeriska modeller har använts. Inom ramen för projektet har även stokastisk modellering genomförts för att kvantifiera osäkerheter i utförda beräkningar och prediktioner.

2 Målsättning

Målsättningen med utförda beräkningar är att ge underlag för bedömning av Västlänkens påverkan på grundvattenförhållandena. En styrande princip vid beräkningarna är att resultaten skall vara konservativa, vilket syftar till att minska risken för att underskatta påverkan på grundvattenflöde och grundvattennivåer.

Beräkningar har utförts för att ge underlag till bedömning av följande frågeställningar:

- Grundvattenflöde, inläckage i tunnel
- Grundvattentrycksänkning i jord och berg
- Influensområde, inom vilket område det uppkommer grundvattenrelaterad påverkan
- Kvantifiering av osäkerheter i utförda beräkningar och upprättade prediktioner

Den mest använda ansatsen är prediktiva modellberäkningar som utförs för att direkt prognostisera Västlänkens påverkan på grundvattenflöden och grundvattennivåer inom ett specifikt område.

I vissa fall är det inte möjligt eller önskvärt att direkt tillämpa platsspecifika modeller för att prognostisera grundvattenflöden, utan det kan finnas anledning att använda modeller för att studera ett specifikt områdes dynamik, till exempel för att utröna vilka parametrar som styr och hur hydrauliska gränser påverkar grundvattenflödet inom ett visst grundvattenmagasin. Modellansatsen kan då också användas för att öka den konceptuella förståelsen och behovet av fältdata.

En tredje typ av beräkningsansats utgörs av generiska modeller. Dessa modeller är inte platsspecifika, utan kan användas för att studera flöde i generaliserade eller hypotetiska geologiska miljöer, till exempel för att studera interaktionen mellan tunnel, berggrund och jordlager.

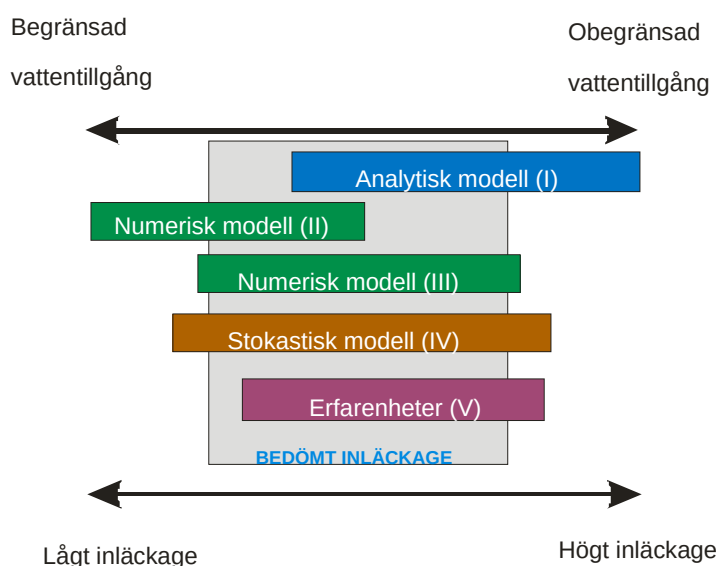
Modellresultaten består typiskt av prediktioner av hur en introducerad störning påverkar grundvattnets uppträdande i jord och/eller berg. Erhållna resultat är en skattning med en viss osäkerhet. Målsättningen är att erhålla resultat med tillräcklig precision för att nå uppställda mål inom projektet. Beroende på val av modell kan osäkerheten kvantifieras.

I detta sammanhang kan det också vara lämpligt att beskriva hur beräkningsresultaten nyttjas i det fortsatta arbetet för att prediktera inläckage och resulterande omgivningspåverkan. Detta grundar sig i skillnader mellan de använda modellerna och hur dessa skillnader beaktas. Modellansatserna har olika utgångspunkter, bland annat i fråga om randvillkor och den matematiska problemformuleringen. Därför kan frågeställningar producera varierande resultat beroende på vilken modellansats som används. Olika modellansatser kan vara mer eller mindre väl lämpade beroende på de platsspecifika förhållandena. Då de hydrogeologiska förutsättningarna varierar med tunnelsträckningen används med fördel olika modeller för olika delsträckor.

I de numeriska modellansatserna har förutsatts att tillgången på vatten kan vara begränsad, vilket ger förhållandevis lägre inläckage än för traditionella analytiska beräkningar. Med numeriska modeller är det möjligt att analysera påverkan på grundvattennivåer och vattenbalans under förutsättning att grundvattenbildningen påverkas av grundvattennivåförändringar.

Stokastiska modeller används företrädesvis för att skapa indata till ovannämnda modellansatser genom skattningar av olika hydrogeologiska data. Stokastiska modeller är förknippade med ett spridningsmått, till exempel standardavvikelsen, som kan sägas vara ett mått på osäkerheten i skattningen. Osäkerheten fördelar sig vanligen relativt symmetriskt runt en punktskattning. I denna PM har statistiska modeller använts för att skatta inläckage till bergtunnelavsnitt där bergets hydrauliska konduktivitet och tätningssonen runt tunnel kvantifieras med framtagna fördelningsfunktioner.

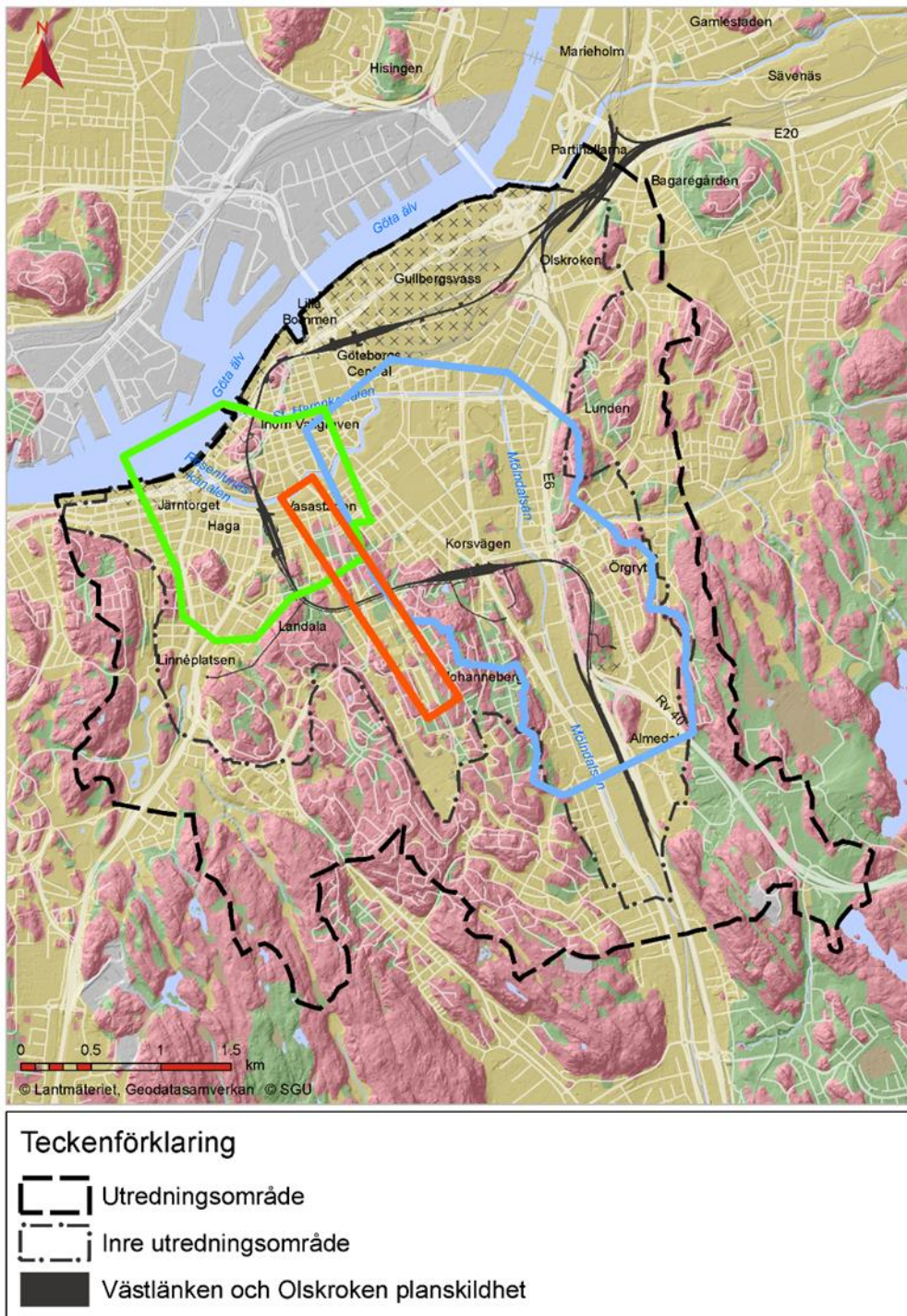
Samtliga beräkningar bildar underlag till slutlig bedömning av inläckage och resulterande omgivningspåverkan. I bedömningen vägs in såväl beräkningsresultat som platsspecifika hydrogeologiska förhållanden och egenskaper samt dokumenterad påverkan från liknande byggnationer. Beräkningarna utgör således endast ett av flera bidrag till den slutliga bedömningen. Den principiella användningen av olika underlag för bedömning av inläckage till Västlänken illustreras i figur 1.



Figur 1

Principfigur: Användandet av olika beräkningsmodeller och underlag för bedömning av inläckage i tunnel. Byggnation i områden med begränsad vattentillgång ger generellt lägre inläckage än byggnation där vattentillgången är stor eller obegränsad. Olika modeller ger olika beräkningsresultat beroende av styrande hydrauliska randvillkor och modellansatser. Vid bedömning görs sammanvägning av olika modellresultat och av erfarenheter från liknande byggnationer i likvärdiga hydrogeologiska miljöer.

Numeriska modellberäkningar har i huvudsak utförts i tre områden längs Västlänken, figur 2. Dessa beräkningar omfattar större delen av områden där undre grundvattenmagasin i jord bedöms påverkas. För sträckor där Västlänken anläggs i bergtunnel (spårtunnel, stationer och servicetunnlar) har stokastiska inläckageberäkningar utförts (kapitel 9).

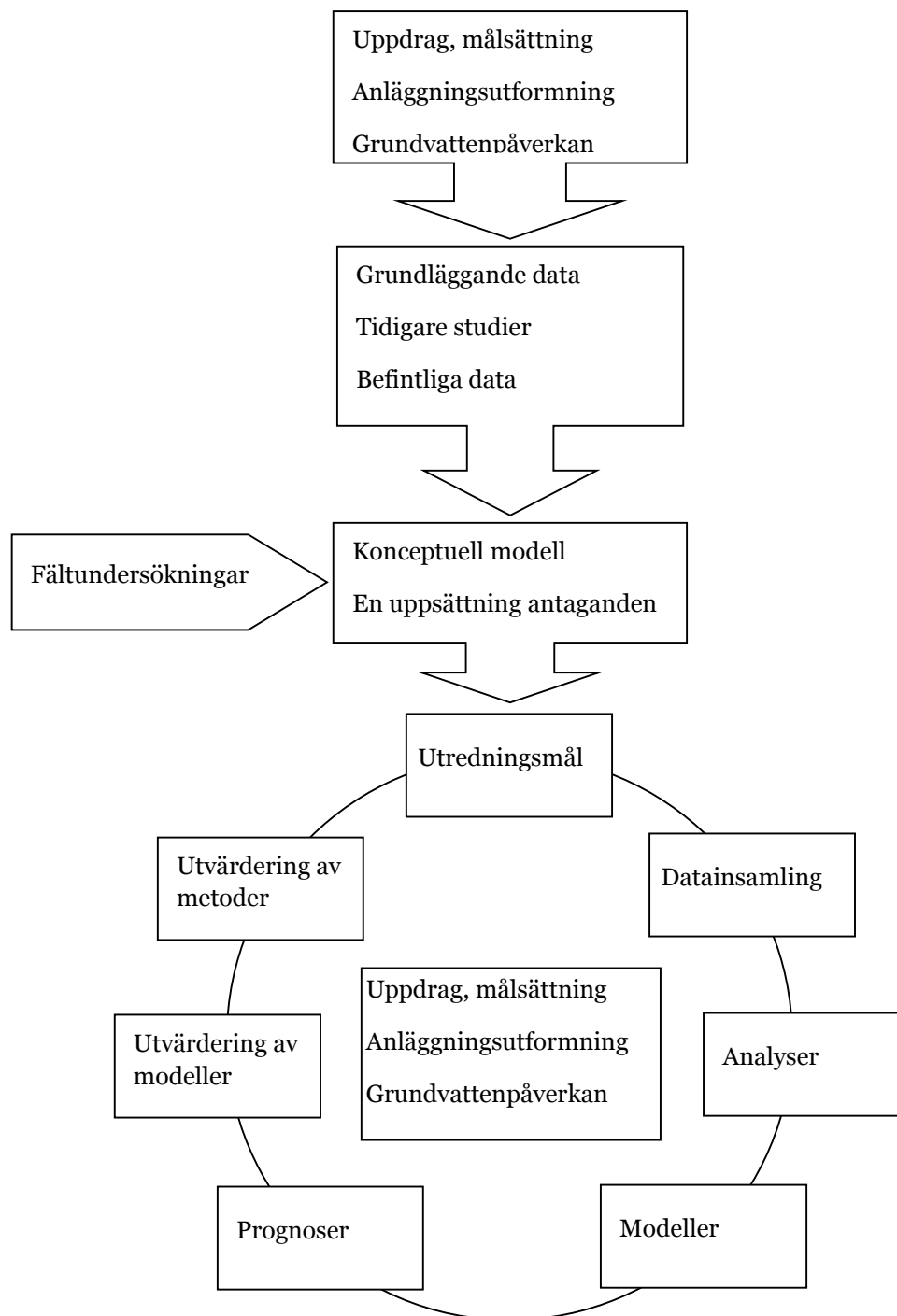


Figur 2 Utbredning av numeriska grundvattenmodeller. Grön= Haga, Blå=Korsvägen-Almedal och Röd=Gibraltargatan.

3 Konceptuell modell

En grundvattenmodell är alltid en generalisering av verkliga förhållanden. De verkliga förhållandena är oftast alltför komplexa och otillräckligt kända för att i detalj kunna implementeras i en grundvattenmodell. Som ett stöd vid upprättande av olika typer av grundvattenmodeller behövs därför någon form av sammanfattande, generaliserad förståelse över hur det studerade flödessystemet fungerar i alla delar som är relevanta för att producera robusta och tillräckligt noggranna resultat för att kunna nå uppställda

målsättningar inom projektet. Förståelsen av hur flödessystemet fungerar kan sammanfattas i ett antal antaganden som utgör den konceptuella förståelsen av det studerade flödessystemet. Den hydrogeologiska utredningens övergripande struktur framgår av figur 3.



Figur 3

Den hydrogeologiska utredningens och modelleringens övergripande struktur.

Av figuren framgår att arbetssättet är iterativt. Det innebär att modellernas komplexitet styrs av underlaget. Efter hand när ny mer detaljerad data blir tillgänglig, kan modellerna uppdateras. Vid behov uppdateras även de konceptuella modellerna.

Inom ramen för Västlänken har inledningsvis upprättats konceptuella modeller, vilka utgjort grunden för planering av fältundersökningar och fortsatta utredningar. Den konceptuella beskrivningen förfinas eller revideras under utredningsarbetet. Modellerna utgör även underlag för beräkningar, bedömningar och redovisningar.

4 Frågeställningar

De frågeställningar som utförda beräkningar syftar till att besvara är alla förknippade med grundvattnets uppträdande i jord och berg samt Västlänkens grundvattenpåverkan.

4.1 Grundvattenflöde, inläckage

Frågeställningar som rör grundvattenflöden i denna PM avser inläckage till Västlänkens anläggningsdelar.

4.2 Influensområde

Influensområdet är en tvådimensionell representation i markplanet av den yta inom vilken påverkan på grundvattennivåerna bedöms kunna uppkomma i jord och berg till följd av bortledning av grundvatten. Erfarenheter från andra liknande byggnationer visar att den faktiska grundvattennivåpåverkan uppträder lokalt inom redovisade influensområden och att det därför i vissa delar inte bedöms uppkomma någon påverkan.

Prognoser av influensområdet är alltid mer eller mindre godtyckliga och innehåller osäkerheter när det gäller grundvattennivåsänkningar i detalj. Faktisk påverkan måste därför registreras genom direkta mätningar.

Influensområdets utbredning styrs av en rad faktorer. Berggrundens vattengenomsläpplighet och förekomst av sprickor och svaghetszoner är ofta avgörande för det utbildade influensområdets utbredning i berg. Berggrunden uppvisar stor heterogenitet och enstaka sprickzoner kan lokalt stå för en stor del av vattenflödet i berget. Avsänkningen följer i första hand de konduktiva strukturerna i berget. Influensområdets utbredning i grundvattenmagasin i jord styrs huvudsakligen av magasinens utbredning, jordlagrens vattenförande egenskaper samt hydraulisk kontakt med underliggande berggrund.

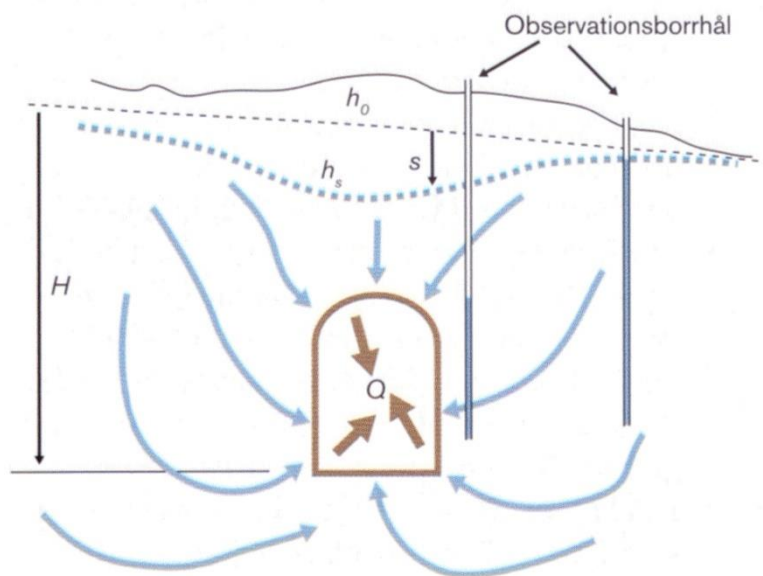
Förekomsten av olika typer av hydrauliska gränser kan begränsa influensområdets utbredning. Positiva hydrauliska gränser utgörs av vattendrag och större grundvattenförekomster. Negativa hydrauliska gränser utgörs exempelvis av ogenomsläppliga geologiska material och topografiska grundvattendelare.

4.3 Grundvattennivåsänkning

Inläckage av grundvatten uppkommer alltid mer eller mindre till en bergtunnel som byggs under grundvattennivån. Den påverkan som sker vid bortledning av grundvatten ger upphov till en grundvattennivåsänkning. Avsänkningen sker i olika omfattning beroende på de geologiska materialens hydrauliska egenskaper.

Grundvattenströmning i anslutning till en tunnel har ett tredimensionellt flödesmönster. Därför måste man ta hänsyn till att nivåskillnad uppstår mellan grundvattenytan och grundvattnets trycknivå mätt i en godtycklig punkt i grundvattenmagasinet, figur 4.

Maximal grundvattennivåsänkning kan antas vara till tunnelns sula. Vid bortledning av grundvatten koncentreras grundvattenflödet runt tunneln, figur 4. Det medför att avsänkningen (teoretiskt) är proportionell mot logaritmen för avståndet till tunneln (Gustafson, 1986). Det innebär vidare att avsänkningen minskar snabbt med ökat avstånd från tunneln. I områden med kristallint berg kan förutsättningarna att prediktera avsänkningens utbredning kompliceras att av berget är heterogent och att olika typer av svaghetszoner lokalt kan stå för en stor del av vattenflödet i berget. För den skala som är aktuell att studera ger dock de beräkningsmodeller som används relevanta resultat.



Figur 4 Grundvattenströmning och grundvattennivåer runt en berganläggning (från Gustafson, 2009)

5 Beräkningsmetodik

Beräkningsmodellerna ska fungera som stöd vid en samlad bedömning av den påverkan på grundvattenmiljön som den planerade anläggningen ger upphov till. I det avseendet är det önskvärt med robusta beräkningsmodeller, modeller som kan återge ett områdes karaktäristiska grundvattenförhållanden utan att störningar i form av lokala osäkerheter eller variationer ger betydande genomslag i resultaten.

De geologiska miljöer där grundvatten uppträder är mer eller mindre heterogena och hydrogeologiska parametrar uppvisar ofta stor spridning och anisotropa egenskaper, dvs. de är rikttningsberoende. En parameter som hydraulisk konduktivitet kan variera med flera tiopotenser inom korta avstånd. Särskilt berggrunden uppvisar stor heterogenitet när det gäller hydrauliska egenskaper. Det är därför inte möjligt att i detalj klarlägga de hydrauliska egenskaperna i varje punkt i den volym som studeras, vilket leder till osäkerheter när det gäller beskrivning av bergets egenskaper vilket i sin tur leder till osäkerheter vid skattningar och prognoser av grundvattenströmning i berg. Därför är varje hydrogeologisk beräkningsmodell en förenkling av verkligheten, dvs. av det flödessystem som studeras. Förenklingarna består av en uppsättning villkor och antaganden för relevanta skalor. Beroende på modell, är dessa villkor och antaganden formulerade på olika sätt.

Bergundersökningar genererar stora mängder data vilka analyseras genom statistiska metoder, varvid osäkerheter kan redovisas med olika statistiska mått. Arbetssättet innebär att osäkerheter kan kvantifieras.

Den tillämpade metodiken innebär att olika beräkningsmodeller kan användas inom samma grundvattenmagasin eller avrinningsområde. Olika beräkningsmodeller förutsätter olika typer av förenklingar i form av randvillkor och antaganden. Därför kan en jämförelse mellan resultat från olika modellansatser ge information om hur olika förenklingar påverkar slutresultaten. En jämförelse kan också ge en indikation på hur väl utvecklad den konceptuella förståelsen för ett visst område är. Likvärdiga resultat mellan olika beräkningsansatser indikerar att gjorda förenklingar är godtagbara och ger robusta resultat. Den konceptuella förståelsen är avgörande för hur väl en modell kan återge rådande hydrogeologiska förhållanden och påverkan på grundvattenmiljön.

Där osäkerheterna är av betydelse för skaderisken har konservativt valda betraktelsesätt använts. Ett konservativt valt betraktelsesätt avseende beräkningar i en deterministisk modellansats innebär att man utgår från vissa försiktighetsmått. På grund av den heterogena geologiska miljön, uppvisar hydrogeologiska data ofta en stor spridning. Karakterisering av hydrogeologiska parametrar genom punktskattningar ger ofta inte en rättvisande bild av data.

När intervallskattningar av en parameter föreligger, väljs företrädevis ett värde i den del av intervallet som ger upphov till den största påverkan på grundvattenmiljön. Det bör observeras att ett konservativt betraktelsesätt inte innebär att värden på hydrogeologiska parametrar väljs godtyckligt. Valet av parametervärden baserar sig på tillgängliga data och olika metoder för skattningar av olika parametrar.

6 Vattenbalansberäkningar

Vattenbalansberäkningar är centrala vid beräkning och modellering av grundvattenflöden. För att kunna upprätta tillförlitliga prognoser över Västlänkens påverkan på grundvattenmiljön, krävs kännedom om rådande förhållanden före anläggningsskedet. Vattenbalansen beror huvudsakligen av ett områdes nederbörds- och avrinningsförhållanden, vilka kan sammanfattas i den hydrologiska ekvationen:

$$P - E = R_s + R_G + \Delta M / \Delta t + Q \quad (\text{ekv. 1})$$

där

P = nederbörd

E = evapotranspiration (avdunstning)

R_s = ytvattenavrinning

R_G = grundvattenavrinning

$\Delta M / \Delta t$ = magasinsförändring

Q = grundvattenuttag

Västlänken är belägen inom två av Sveriges 119 huvudavrinningsområden enligt en indelning av SMHI. Varje huvudavrinningsområde är indelat i ett antal delavrinningsområden för att ge mer detaljerad information i en lämplig skala för vattenplanering och utredningar av vattenförhållanden. Det är denna skala som använts vid upprättande av vattenbalanser i samband med utförda beräkningar och modelleringar av grundvattenflöden.

Nederbördsdata har hämtats från SMHI:s station Göteborg A (7142). Denna station ligger nivån cirka 5 meter över havet. Den uppmätta årsnederbörden för standardnormalperioden 1961-1990 är 758 mm. Genom att ta hänsyn till de olika felkällorna, är det möjligt att beräkna en korrektionsfaktor (SMHI, 2003). Den korregerade årsnederbörden för standardnormalperioden 1961-1990 för stationen är 872 mm. Jämför man normalvärdena med medelvärdet för perioden 1999-2012 erhålls ett drygt 20 % högre värde, 1100 mm/år. Detta är väl i linje med den trend med ökande nederbörd för Västra Götaland som tidigare observerats.

Flödesdata för upprättade vattenbalanser i samband med genomförda modelleringar har tagits fram med hjälp av ett högupplöst operationellt beräkningssystem S-HYPE som tillhandahålls av SMHI.

Årsmedelavrinningen för Göteborgsområdet anges av SMHI för normalperioden 1961-1990 till cirka 500 mm per år.

Grundvattenbildningens storlek (vattenomsättning) är av ofta av stor betydelse för influensområdets utbredning. I berg kan den naturliga grundvattenomsättningen uppskattas till mellan 5-20 mm/år i bergmassa och 100-150 mm/år i sprickzoner. Under avsänkta förhållanden kan vattenomsättningen i jord och berg öka betydligt.

7 Beräkningsmodeller

För att besvara olika frågeställningar (kapitel 2) finns ett antal olika beräkningsmodeller att tillgå.

Modellerna utgör olika matematiska beskrivningar av grundvattnets flödessystem. Modellerna skiljer sig åt i flera avseenden, bland annat i fråga om randvillkor och den matematiska formuleringen av problemet. De olika beräkningsmodellerna väljs i det specifika fallet utifrån vilken frågeställning man önskar besvara och grundvattensystemets geometri. Målsättningen är att använda enklast möjliga modell för att uppfylla de krav som ställs på resultaten. Modellerna ska producera resultat som svarar på de specifika frågeställningarna med tillräcklig noggrannhet. Vidare ska resultaten vara robusta och koherenta med annan tillgänglig information inom modelldomänen.

7.1 Analytiska beräkningar

Analytiska modeller har använts för beräkning av inläckage till bergtunnelavsnitt. Teoretiska resonemang och resultat av dessa beräkningar redovisas i bilaga 1 i föreliggande PM.

Vi dessa beräkningar har antagits att:

- Grundvattennivån antas ligga kvar på ursprunglig nivå efter tunnels färdigställande. Eftersom tunneln till största delen anläggs på stort djup bedöms eventuella grundvattennivåsänkningar vara små i förhållande till ursprunglig trycknivå och bedöms inte ge kraftig inverkan på beräknat inläckage.
- Ingen avsänkning av grundvattennivån sker utanför tunnelns injekterade zon. Detta ger ett konservativt högt inläckage eftersom en minskad tryckgradient leder till minskat inflöde.
- Avsänkning av trycknivån i berget på grund av befintliga tunnlar förbises, vilket är ett konservativt antagande när det gäller inläckage av grundvatten till tunneln.
- Berget antas vara ett homogent, isotropt, poröst hydrauliskt medium, vilket är ett rimligt antagande för aktuell modellskala.
- Stationära hydrauliska förhållanden förutsätts.

För beräkning av inläckage till bergtunnel har ett matematiskt uttryck för inflöde till ett horisontellt borrhål använts (Gustafson, 2009). Inläckage (q) till tunnel utan tätning styrs av bergets hydrauliska konduktivitet (K), avstånd mellan tunnel och grundvattenyta (H) och tunnelradie (r_t). Utöver nämnda faktorer styrs inläckaget även av ett inflödesmotstånd till tunneln som beskrivs av en s.k. skinfaktor (ξ); ekvation (1). Skinfaktorn antas orsakas av spänningskoncentrationer kring tunneln, avgång av lösta gaser och kemiska utfällningar som tätar bergets sprickor.

$$q = \frac{2\pi KH}{\ln\left(\frac{2H}{r_t}\right) + \xi} \quad \text{ekvation (1)}$$

Ekvation (2) beskriver inläckaget efter utförd injektering, dvs. med en tätad zon omkring tunneln. Båda ekvationerna är baserade på tunnelns centrumdjup under grundvattenytan (H), tunnelradie (r_t) samt bergets hydrauliska konduktivitet (K). För att ta hänsyn till förinjekterings inverkan på inläckaget ingår tätningens representativa konduktivitet (K_i), injekteringskärmens tjocklek (t) och skinfaktor (ξ).

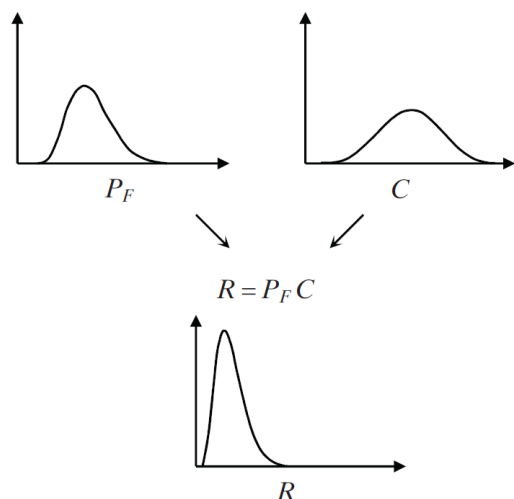
$$q = \frac{2\pi KH}{\ln\left(\frac{2H}{r_t}\right) + \left(\frac{K}{K_i} - 1\right) \cdot \ln\left(1 + \frac{t}{r_t}\right) + \xi} \quad \text{ekvation (2)}$$

Vid användandet av denna analytiska modell för beräkning av inläckage till bergtunnel, tas ingen hänsyn till det reducerade grundvattentryck som sker i anslutning till tunneln, vilket får till följd att inläckaget kan överskattas.

7.2 Stokastisk beräkning av inläckage till bergtunnel

De stokastiska beräkningarna syftar till att ta fram en prognos för inläckage till bergtunnel och med en fördelningsfunktion beskriva osäkerheter i indata och beräkningsresultat. För analytisk beräkning av inläckage för olika tunnelavsnitt har använts ekvation (2) i kapitel 7.1. Teoretiska resonemang och resultat av dessa beräkningar redovisas i bilaga 1.

Beräkningarna har i detta fall utförts med så kallad Monte Carlo-simulering, vilket är en teknik där ingående variabler definieras med en osäkerhetsfördelning. Simuleringen använder slumpstal för att vid varje iteration välja ett värde från varje osäkerhetsfördelning som representerar de ingående variablerna. Beräkningen utförs iterativt, i detta fall 10 000 gånger, för att som indata välja värden som representerar hela osäkerhetsfördelningen och erhålla en osäkerhetsfördelning som representerar prognosen, se Figur 5.



Figur 5 Illustration av hur Monte Carlo-simulering kan användas för att inkludera osäkerhet i ingående variabler (P_F och C) och resultatet (R). (Lindhe 2010).

Varje beräkningssegment representerar 100 m tunnel och platsspecifika egenskaper. Segmenten summeras till ett totalt inläckage per bergtunneldel och redovisar sannolikheten att ett visst inläckage underskrids.

7.3 Numerisk modellering

Med numerisk modellering kan trycksänkning i anslutning till tunnel beskrivas för olika värden på ingående parametrar. En numerisk modell kan enkelt modifieras för olika parametervärden. Numerisk modellering utgör ett verktyg där ett stort antal möjliga scenarier kan beräknas. Teoretiska resonemang, modellränder och modellförutsättningar samt resultat av utförda beräkningar redovisas i bilaga 2 och bilaga 3 i föreliggande PM.

Vid numerisk grundvattenmodellering sker alltid en inledande kalibrering. Kalibreringen innebär att modellen stäms av och anpassas till de observationer av grundvattnets uppträdande som gjorts inom den aktuella modelldomänen, i första hand grundvattennivåer och grundvattenflöden. Först när en nöjaktigt kalibrerad modell är tillgänglig, kan en representation av tunnelanläggningen introduceras i modellen och olika scenarier studeras.

Programkoden Modflow har utvecklats av United States Geological Survey och är ett modulbaserat program för modellering av stationärt eller transient grundvattenflöde i tre dimensioner. Programmet använder en finit differensmetod för att lösa flödesekvationen i tre dimensioner. Det grafiska användargränssnitt som utnyttjats i föreliggande modelleringar är *Visual Modflow* och *Groundwater Vistas Modflow*.

8 Stokastisk inläckageberäkning

8.1 Modellupbyggnad

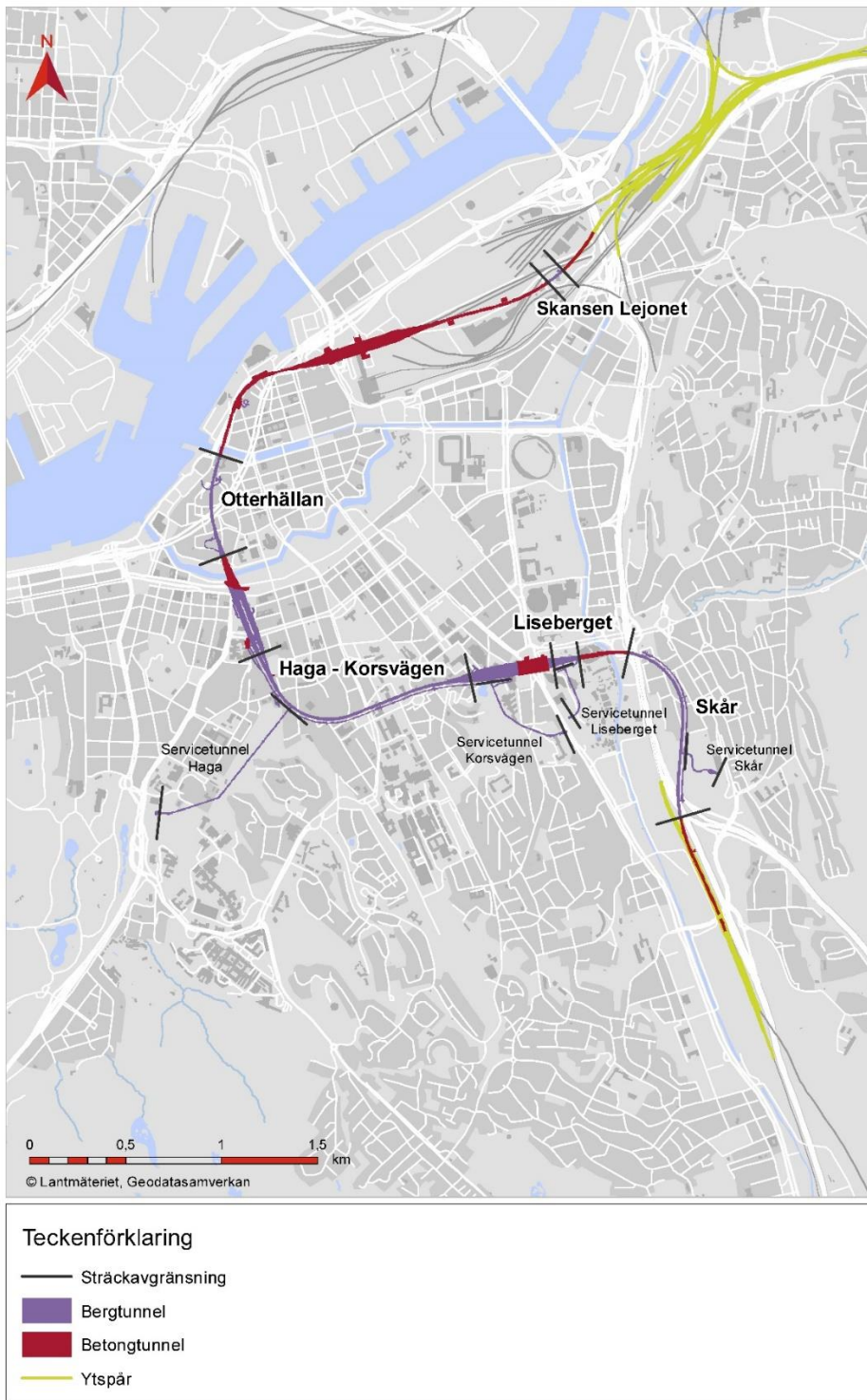
Föreliggande beskrivning bygger i alla väsentlighet på bilaga 1. För detaljer hänvisas till denna bilaga.

Stokastiska inläckageberäkningar för Västlänken har utförts för fem bergtunnelavsnitt längs spårtunneln; Gullberg, Otterhällan (-Kungshöjd), Haga-Korsvägen, Liseberget och Skår (Almedalsberget) samt de fyra längre servicetunnlar Haga, Korsvägen, Liseberget och Skår, se tabell 1 och figur 6. Servicetunnlar som går parallellt med spårtunneln inkluderas i beräknat inläckage för respektive bergtunnelavsnitt.

Som komplement till de stokastiska inläckageberäkningarna har deterministiska beräkning utförts. Resultat av beräkningarna sammanfattas i kapitel 8.4 och 8.5.

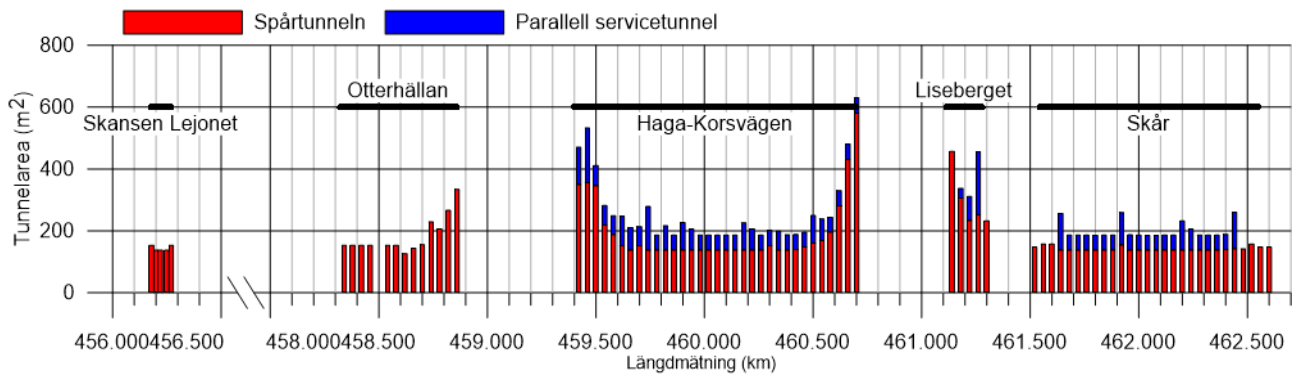
Tabell 1 Bergtunnlarnas sträckning.

Bergtunnelavsnitt	Från (km)	Till (km)	Längd bergtunnel (m)
Skansen Lejonet, Gullberg	456+176	456+270	94
Otterhällan (-Kungshöjd)	458+322	458+859	537
Haga-Korsvägen	459+400	460+700	1 300
Liseberget	461+114	461+279	165
Skår (Almedalsberget)	461+544	462+550	1006
Servicetunnel Haga	0+040	0+950	910
Servicetunnel Korsvägen	0+044	0+550	506
Servicetunnel Liseberget	0+016	0+325	309
Servicetunnel Skår	0+052	0+256	204



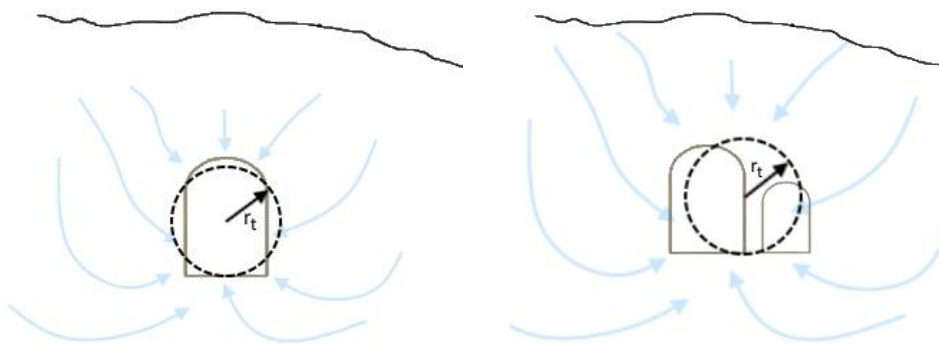
Figur 6 Läge för spårtunnelns fem bergtunnlar samt de fyra längre servicetunnlarna

Tunnelarean är inte konstant över Västlänkens sträckning, utan fördelar sig enligt figur 7. Inom varje 100 meterssegment beräknas en ekvivalent tunnelradie (r_t) som motsvarar den genomsnittliga arean på tunneln och parallell servicetunnel enligt ekvation (4) samt figur 8. För servicetunnlarna är variationen på tvärsnittsarean mindre, och en representativ area redovisas i tabell 2.



Figur 7 Tunnelarea för bergtunnlar längs spårtunneln, inklusive parallellgående servicetunnlar.

$$r_t = \sqrt{\frac{Area_{spårtunnel} + Area_{servicetunnel}}{\pi}} \quad \text{ekvation (4)}$$



Figur 8 Beräkning av ekvivalent tunnelradie, r_t .

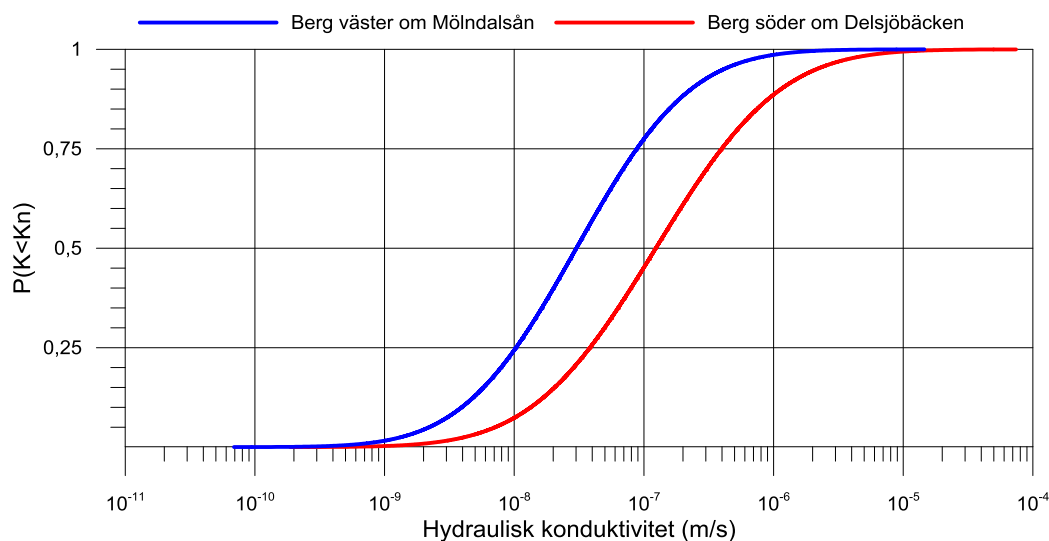
Tabell 2 Tunnelarea för servicetunnlar.

Servicetunnel	Tvärsnittsarea (m²)
Haga	69
Korsvägen	69
Liseberget	69
Skår	78

8.2 Hydrauliska egenskaper

Bergmassans hydrauliska konduktivitet kan beskrivas med fördelningsfunktionerna i figur 9 med formparametrar enligt tabell 3. Fördelningsfunktion och formparametrar har tagits fram i PM Hydrogeologi berg.

Injekteringszonens tjocklek har ansatts med en triangulär fördelningsfunktion med ett minimivärde om 4 m, maximivärde om 6 m och mest sannolikt värde 5 m. Den injekterade zonens konduktivitet har ansatts med en triangulär fördelningsfunktion med minimivärde på 1×10^{-9} m/s, maximivärde på 1×10^{-8} m/s och ett mest sannolikt värde på 3×10^{-9} m/s.



Figur 9 Kumulativt fördelningsdiagram (CDF) över bergmassans hydrauliska konduktivitet.

Tabell 3 Statistiska parametrar för hydraulisk konduktivitet

Parameter	Berg väster om Mölndalsån	Berg söder om Delsjöbäcken
Geometriskt medelvärde, K_g	$3,0 \times 10^{-8}$ m/s	$1,2 \times 10^{-7}$ m/s
Aritmetiskt medelvärde, K_a	$1,8 \times 10^{-7}$ m/s	$4,3 \times 10^{-7}$ m/s
Matherons förmodan, K_{3D}	$4,6 \times 10^{-8}$ m/s	$2,0 \times 10^{-7}$ m/s
Standardavvikelse, σ_K	$1,5 \times 10^{-6}$ m/s	$1,0 \times 10^{-6}$ m/s
Standardavvikelse, $\sigma_{\ln K}$	1,59	1,73
Fördelningsfunktion	Lognormal	Lognormal
μ	$1,1 \times 10^{-7}$	$5,6 \times 10^{-7}$
σ	$3,6 \times 10^{-7}$	$2,4 \times 10^{-6}$

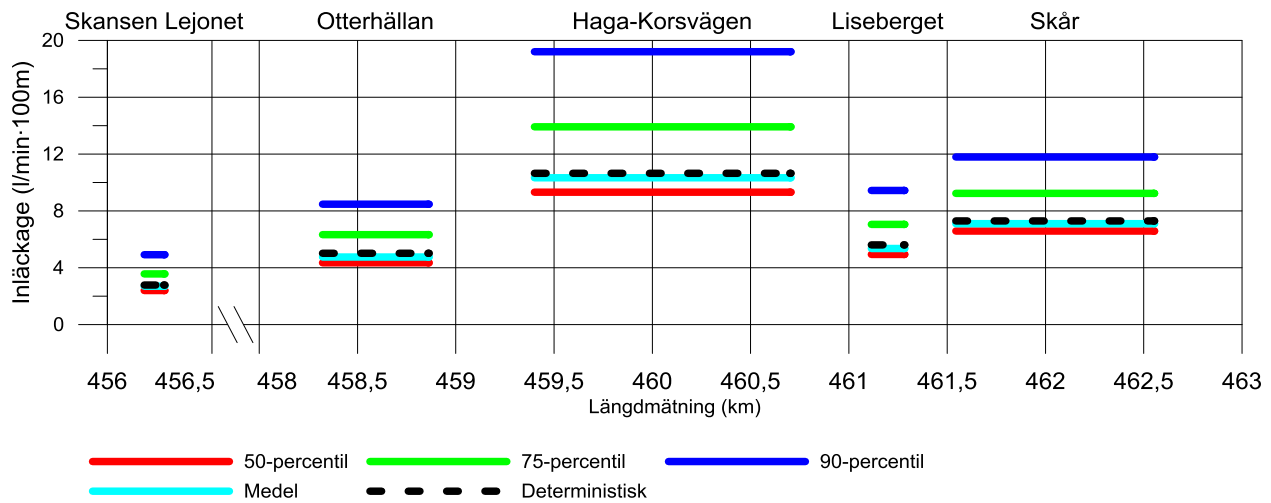
8.3 Grundvattentryck

För respektive bergtunnelavsnitt har framtagits tunnelbotten, bergöverytans läge samt observerade grundvattennivåer i berg inom 100 meter på ömse sidor av bergtunnlarna. Då tunneln förenklas till ett stort horisontellt borrhål enligt ekvation (2) beräknas grundvattentrycket från tunnelns mittpunkt, vilket för aktuella bergtunnlar är ca 5 m ovan tunnelbotten. Eftersom det endast finns grundvattennivåobservationer i berg i ett fåtal punkter och sällan direkt ovanför tunneln, har sannolikt grundvattentryck skapats utifrån uppgifter om bergöveryta och grundvattennivådata.

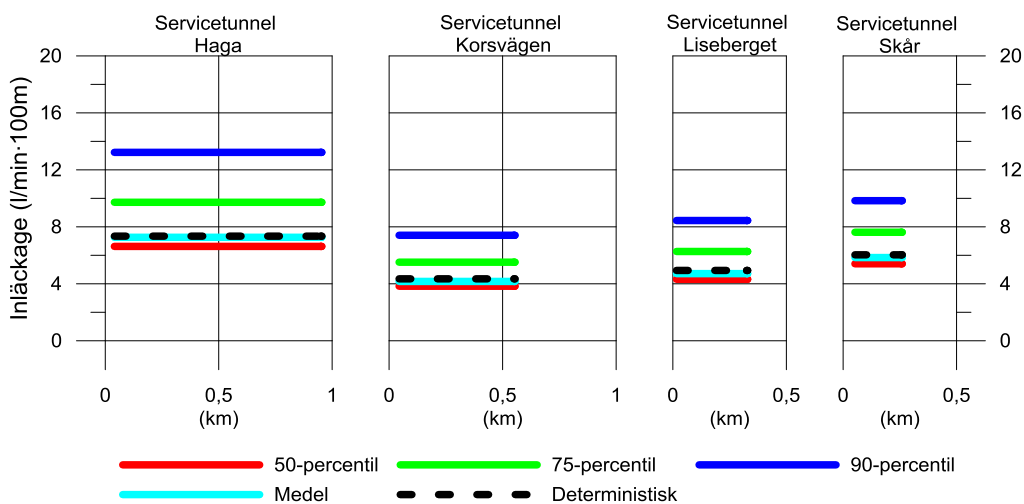
8.4 Prediktiv beräkning

Den stokastiska beräkningen resulterar i en fördelningsfunktion över inläckage för respektive tunneldel. I figur 10 och 11 redovisas beräknat inläckage vid olika percentiler av fördelningsfunktionen. Under förutsättning att samtliga antaganden är korrekta anger percentilen sannolikheten att beräknat värde underskrids. För en del antaganden har konservativa val gjorts, vilket i sin tur ger en konservativ prediktion.

Som komplement och jämförelse redovisas även resultat från deterministiska inläckageberäkningarna, där samtliga indataparametrar ansätts till medianvärden enligt tabell 4 och 5 i bilaga 1.



Figur 10 Beräknat inläckage per 100 m tunnel vid tätade förhållanden, för respektive bergtunnelavsnitt längs spårtunneln, vid olika konfidsintervall



Figur 11 Beräknat inläckage per 100 m tunnel vid tätade förhållanden, för respektive servicetunnel, vid olika konfidsintervall.

8.5 Resultat

De olika beräkningarna visar på inläckagevärden som typiskt varierar mellan 4 och 8 liter/minut och 100 meter tunnellängd för de mer ytligt liggande tunnelavsnitten och mellan 8 och 14 liter/min och 100 meter för de mer djupt liggande tunnelavsnitten. Sträckor där tunneln ligger på betydande djup är spårtunnelavsnitt Haga-Korsvägen och Skår samt servicetunnel Haga. Vid bedömning av inläckage efter anläggningsskedet har konservativt valts läckagevärden motsvarande 60 till 75-percentiler enligt figur 10 och figur 11.

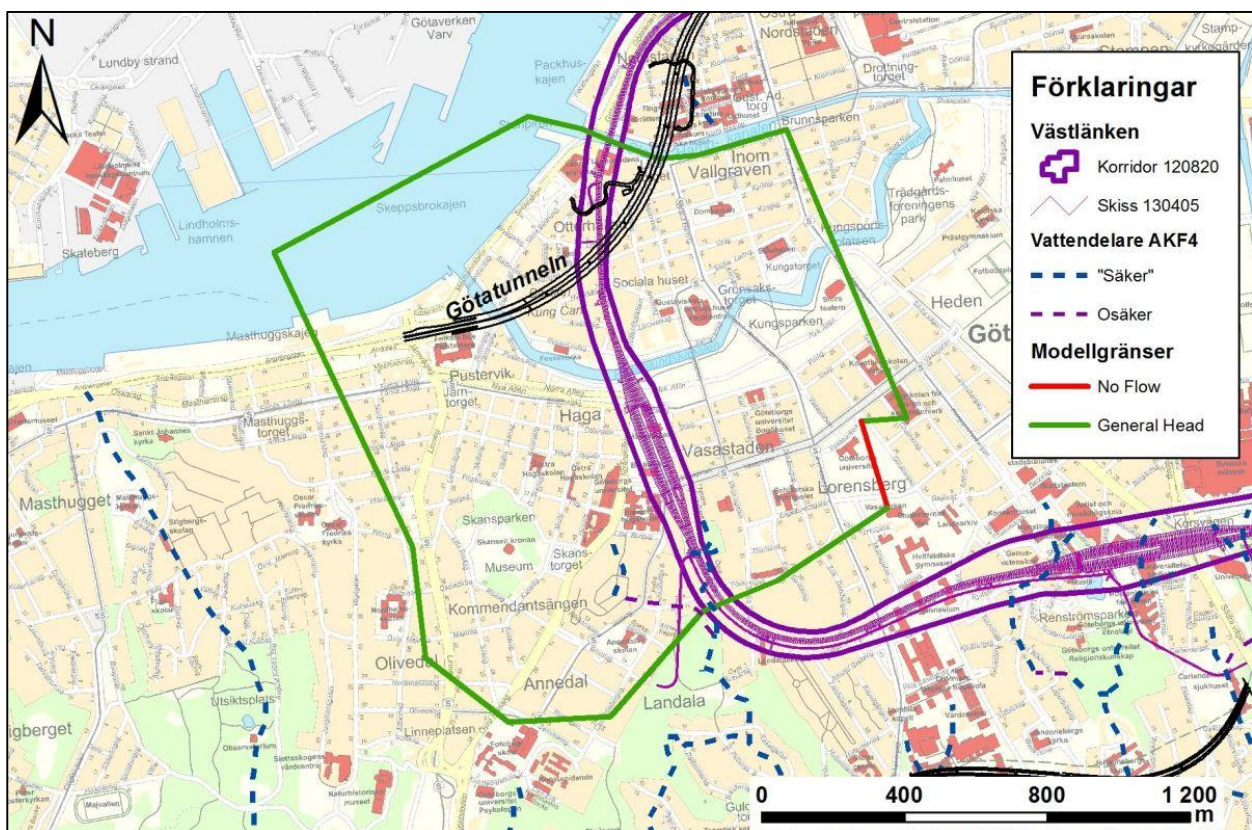
9 Numerisk grundvattenmodellering Station Haga

9.1 Modelluppbyggnad

Föreliggande beskrivning bygger i alla väsentlighet på Bilaga 2. För detaljer hänvisas till denna bilaga.

För modellen har säkra naturliga hydrauliska gränser (vattendelare) i princip inte stått att finna inom rimligt avstånd från modellens fokusområde. Avgränsning av modellen har därför gjorts utifrån principen att flöde över ansatta gränser ska kunna uppskattas med nöjaktig säkerhet samt att i modellen ansatta randvillkor inte ska påverka prognoser inom modellens fokusområde. Modellens utbredning har begränsats utifrån förutsättning att Västlänkens påverkan beror av tätningsåtgärder i jord och berg. Detta betyder att det antagits att påverkan på undre magasin i jord inte ska tillåtas nå bortom ca 600 m från Västlänkens korridor.

Primära fokusområden för denna modell är områden med bergpåslag för station Haga, där Västlänken kan förutses ligga i direkt kontakt med undre magasin i jord, vilket kan leda till stor omgivningspåverkan vid grundvattenbortledning. Sekundärt fokusområde är tunnel/station i berg, där huvudsakligt intresse är att studera i vilken omfattning bergtunneln kan antas påverka undre magasin i jord.



Figur 12 Avgränsning av modell Haga. Modellgränser markerade med rött avser gränser där inget vatten tillåts flöda över modellgräns. Gränser markerade med grönt avser gränser där vatten tillåts flöda över gräns. Vissa befintliga bergtunnlar har markerats.

Det avgränsade modellområdet omfattar ca 1,4 x 1,4 km med utbredning enligt figur 12. Modellen består av 10 beräkningslager med en cellstorlek från maximalt 20 x 20 m (perifert) ner till 5 x 5 m (centralt). Cellindelningen bedöms vara tillräcklig för att satsifiera syftet med modellen och för att motsvara noggrannheten som finns i tillgänglig indata.

9.2 Hydrauliska egenskaper

Grundvattenmagasinen i modellen kan delas in i övre respektive undre jordmagasin i jord samt magasin i berg. Det övre jordmagasinet representerar fyllnadsmassor och det undre jordmagasinet friktionsmaterial under lera. Analys av fältundersökningar har lett fram till karakterisering av hydrauliska egenskaper för jord och berg vilka har legat till grund för initiala egenskaper som ansatts modellens beräkningslager. De initiala egenskaperna anpassas i efterföljande kalibrering av modellen.

Den del av nederbörden som inte avdunstar ligger till grund för ansatt nybildning över modellområdet. Den faktiska nybildningen påverkas i sin tur av förekomst av hårdgjorda ytor inom området (som potentiellt kan begränsa infiltration) samt läckage från VA-system. Grundvattenbildningen över modellområdet bedöms ligga inom intervallet 110-140 mm/år beroende på graden av urbanisering.

Hur stor del av denna nybildning som kan tillföras undre magasin beräknas vid utförd modellering. Inflöde av grundvatten till undre magasin ("nybildning till undre magasin") kan ske via kontakt mellan övre och undre magasin i friktionsmaterial i randzon mellan berg och lera, eller i kontakt mellan berg och undre magasin. Vilken av dessa flödesvägar som är huvudsakligt styrande beräknas vid modelleringen. Tillgången på vatten i undre magasin studeras genom simulering av utförda provpumpningar i undre magasin, där responsen på en viss grundvattenbortledning är ett direkt mått på potentiell vattentillgång. Grundvattenbildningen ökar vid sänkta grundvattennivåer i magasinet, men total nybildning utgör övre randvillkor för denna ökning.

Generellt har följande värden på hydraulisk konduktivitet¹ ansatts för;

- Övre magasin jord: $K_h=K_v=1 \times 10^{-5}$ m/s
- Undre magasin jord: $K_h=K_v=0,1-1 \times 10^{-5}$ m/s
- Berg: $K_h=K_v=0,1-1 \times 10^{-7}$ m/s

Modellens randvillkor baseras på tolkade hydrauliska egenskaper vika redovisas i PM Hydrogeologi (kapitel 5). Randvillkoren består huvudsakligen av gränser över vilka grundvattenflöde tillåts. Endast ett kortare randavsnitt i sydöstra modellhörnet har en tät rand över vilken inget flöde sker (grundvattendelare). I den södra delen av modellen tillåts ett inflöde i beräkningslager för det undre magasinet och berg, i norr tillåts ett utflöde i motsvarande lager. Överskottsvatten, där grundvattenytan annars skulle stigit över nivån 1,5 m under markytan, t ex inom lerområden, bortförs via simulerad ytligt liggande dränering. Denna dränering simulerar dränerande stråk i den urbana miljön.

Det undre randvillkoret är en tät rand i botten av modellen där inget flöde sker över modellgränsen.

9.3 Kalibrering och verifiering

Inledningsvis har en kalibrering utförts av den vertikala hydrauliska konduktiviteten för friktionsjord i randzon längs gränser mellan berg- och jordområden. Denna parameter styr framförallt tillströmning av grundvatten till det undre magasinet.

¹ K_h = Horisontell hydraulisk konduktivitet, K_v = vertikal hydraulisk konduktivitet

Den primära kalibreringen utfördes därefter i ett stationärt tillstånd mot uppmätta trycknivåer (medianvärden) vilka anses representera grundvattennivån inom modellområdet (kalibreringsmål).

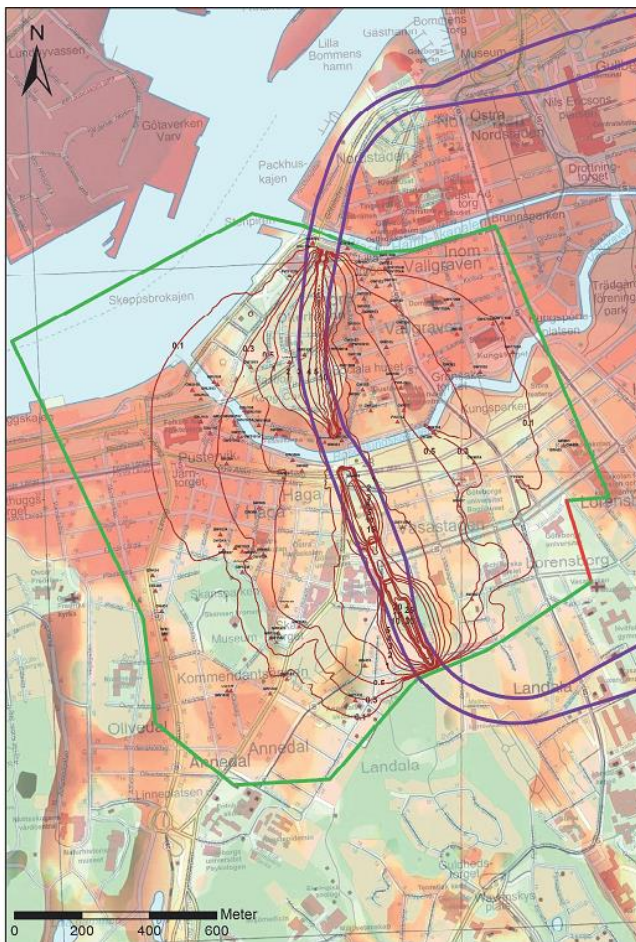
Simuleringsresultat av nuvarande förhållanden framgår av Bilaga 2.

9.4 Prediktiv simulering

Ett exempel på en möjlig hydraulisk omgivningspåverkan av Västlänken med tätade konstruktioner, visas i figur 13. Prediktionen visar trycksänkning i undre magasin, alternativt i berg där grundvatten endast återfinns i berg. Prediktionen ska ses som en visualisering av modellens funktionella möjligheter, mot bakgrund av dess syfte att kunna beräkna och visualisera hydraulisk omgivningspåverkan. Den numeriska modellen bedöms ge rimliga prediktioner av grundvattennivåpåverkan för de anläggningsdelar som implementerats.

Västlänken har simulerats med en omgivande injekteringszon, innanför vilken en trycksänkning antas ner till 0,2 m över tunnelbotten. Bergpåslag vid Hagakyrkan och Rosenlund har simulerats med spontlåda. Spontlådan sträcker sig ut mot dalgången där det finns lermäktighet på minst 2 m. Berg inom spontlåda har injekterats.

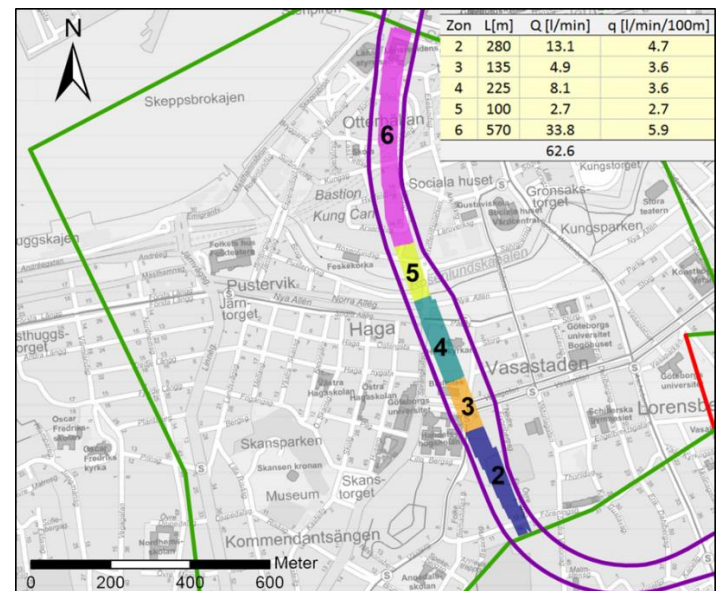
Ett totalt inläckage till Västlänken inom modellområdet är simulerat till ca 63 Liter/min under gällande förutsättningar, se figur 14.



Figur 13

(vänster)

Exempel på prediktivt beräkningsresultat



Figur 14.

Avsnitt för beräkning av inläckage till

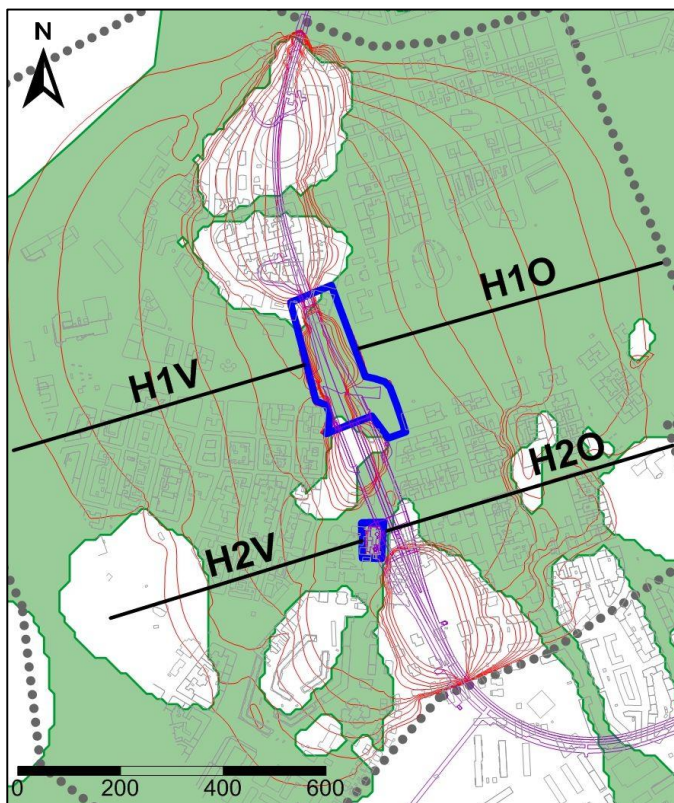
Västlänken, jämte simulerat inläckage för ett möjligt utförande.

Prediktiva simuleringar har utförts med antagande av att det vid ungefärlig gräns för arbetsområde i marknivå, se blå markering i figur 15, upprätthålls en trycknivå i undre magasin i jord så att trycksänkningen längs denna gräns uppgår till 1,0 m, 0,6 m samt 0,3 m för respektive beräkningsscenario. Beräkningarna har generellt utförts för ett antaget inläckage till bergtunnlar motsvarande 3,8 Liter/min/100 m.

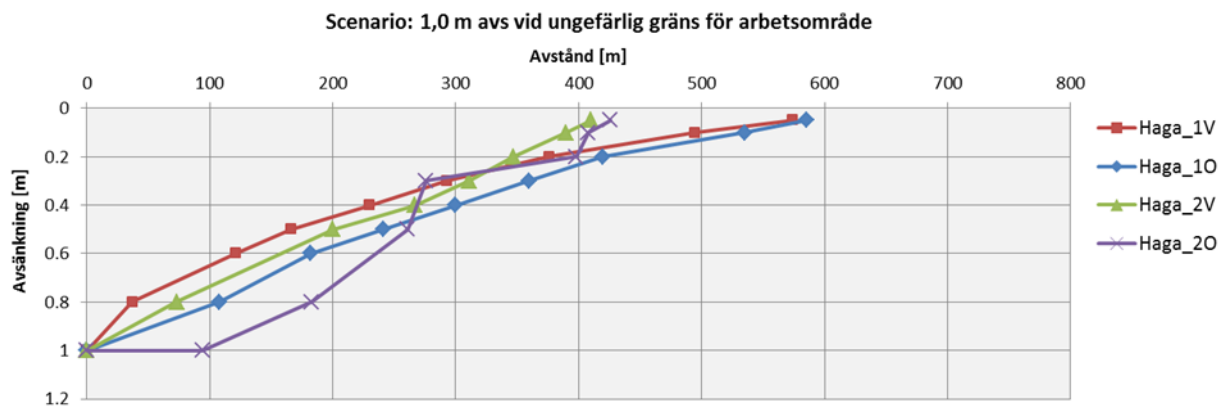
Fyra sektioner (H1V, H2V, H1O och H2O) har studerats närmare för att ge en överskådlig sammanfattande bild över de olika beräkningsscenarierna, figur 15.

Som framgår av beräkningsresultaten i figur 16 till figur 18 kan upprätthållande av en viss trycknivå i undre magasin i jord längs gräns för antaget arbetsområde i marknivå påverka trycksänkingsutbredningens form (i huvudsak) och utbredning (i mindre omfattning) i tre av de fyra studerade sektionerna.

I graferna redovisas beräknad grundvattennivåsänkning för de fyra redovisade sektionerna (i figur 15) för de tre scenarierna 1,0, 0,6 och 0,3 meters avsänkning vid schaktgräns (blå linje i figur 15). Av figurerna framgår att cirka 0,1 meters påverkan sträcker sig 400 till 600 meter ut från schaktgräns. Det som påverkar vilken grundvattennivåsänkning som uppkommer är den avsänkning som förutsätts vid Västlänkens närhet.



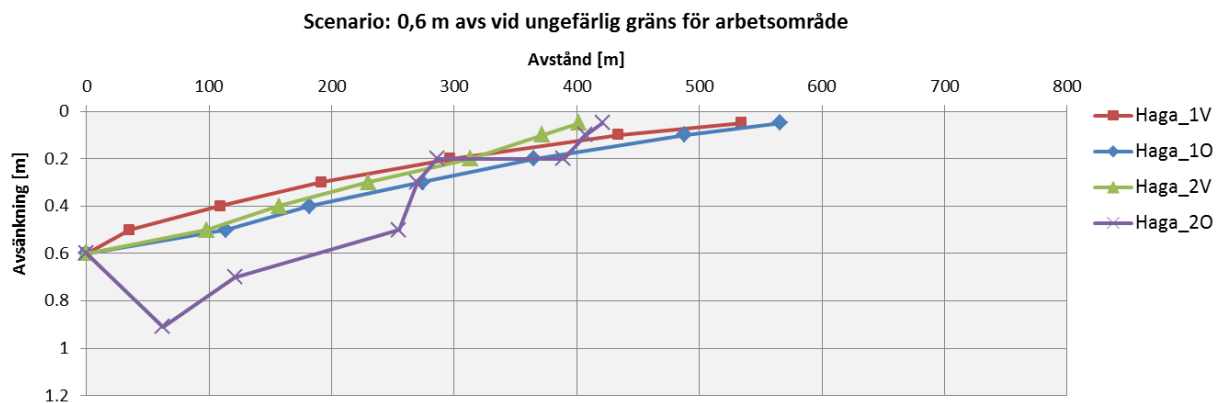
Figur 15 Planlaga för sektioner kring station Haga. Gröna ytor = områden med undre magasin i jord och vita ytor = områden där grundvattenytan återfinns i berg.



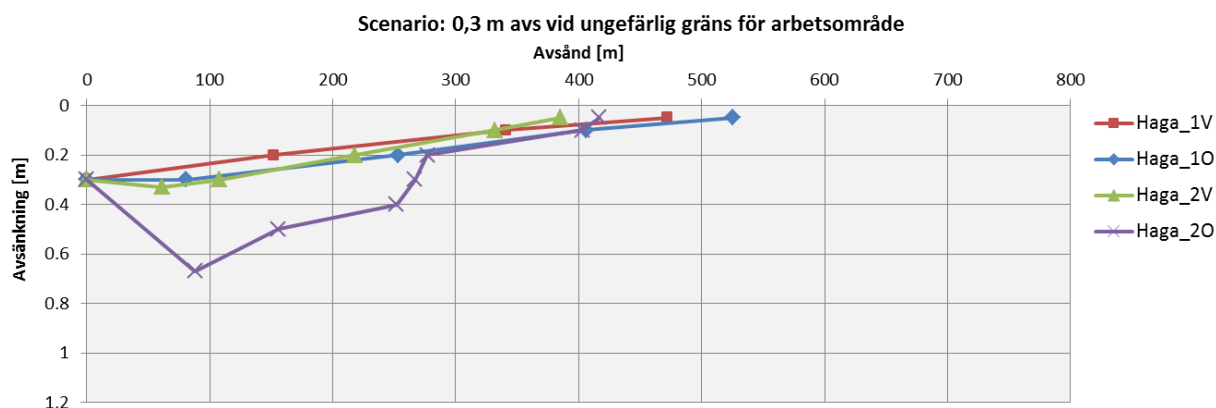
Figur 16 Beräknad utbredning av trycksänkning i undre magasin i jord kring station Haga vid 1 m trycksänkning längs arbetsområde.

Av beräkningarna kan man dra slutsatsen att det går att arbeta med aktiviteter som reglerar trycksänkning i undre magasin i jord längs schaktgränser och nå god effekt inom stora delar av området kring station Haga.

För sektion Haga_2O (H₂O) i sydöst framgår dock att trycksänkingsutbredningen i undre magasin i jord styrs av både antagen avsänkning vid schaktgräns samt av angränsande övriga anläggningsdelars täthet (berg tunnel). Motsvarande kan ses i figur 18 för sektionerna H₂V och H₁O vid maximal avsänkning på 0,3 meter i undre magasin i jord längs schaktgräns.



Figur 17 Beräknad utbredning av trycksänkning i undre magasin i jord kring station Haga vid 0,6 m trycksänkning längs arbetsområde.



Figur 18 Beräknad utbredning av trycksänkning i undre magasin i jord kring station Haga vid 0,3 m trycksänkning längs arbetsområde

9.5 Resultat

De olika beräkningarna visar på grundvattennivåpåverkan i undre magasin i jord större än 0,1 meter inom ett avstånd på 400 till 600 meter ut från Västlänken. Denna beräknade påverkan utgår från antagen grundvattennivåsenkning på upp till 1 meter vid anläggningens omedelbara närhet.

Grundvattennivåpåverkan understiger beräkningsmässigt 0,3 meter på avstånd större än 400 meter.

Beräkningarna visar på vikten av att tätheten i olika anläggningsdelar i berg och avsänkingsnivåer i jord bör ”balanseras” för att inte enskilda anläggningsdelar ska tillåtas dominera den samlade påverkan. Med det avses att grundvattennivåpåverkan från olika anläggningsdelar bör optimeras så att inte enskilda delar ger upphov till förhållandevis betydande påverkan medan andra anläggningsdelars täthet inte får avsedd positiv verkan.

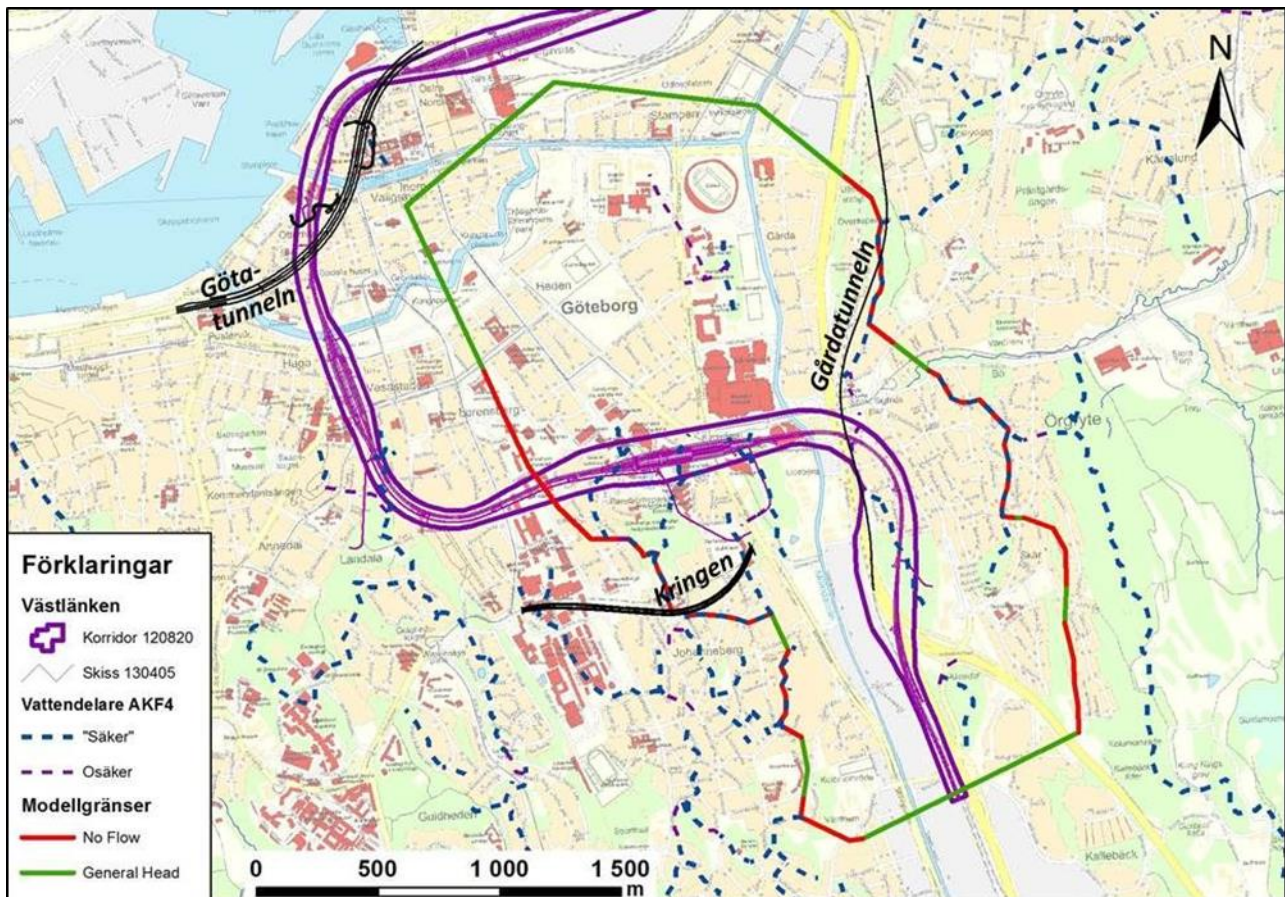
Redovisade inläckagevärden har inte beräknats i modellen utan ansatts som förutsättning (antagna värden enligt Bilaga 2). Vid resulterande beräknad grundvattennivåpåverkan har Västlänkens utformning i berg kraftigt förenklats och innefattar inte samtliga anläggningsdelar, varför angivna inläckagevärden inte bör utgöra grund för bedömt inläckage. Modellen lämpar sig dock utmärkt för känslighetsstudier när det gäller grundvattennivåpåverkan.

10 Numerisk grundvattenmodellering Station Korsvägen - Almedal

10.1 Modelluppbyggnad

Föreliggande beskrivning bygger i alla väsentlighet på Bilaga 2. För detaljer hänvisas till denna bilaga.

Modellen har avgränsats utifrån karterade (sannolika) vattendelare, där det varit möjligt att finna sådana inom rimligt avstånd från modellens fokusområde, d v s Västlänkens anläggningsdelar och de grundvattenmagasin som kan förutses kunna påverkas av Västlänken, figur 19. Där sådana mer säkra hydrauliska avgränsningar inte stått att finna har avgränsning valts så att flödet över gränsen ska kunna ansättas med nöjaktig säkerhet utan att sådana i modellen ansatta randvillkor ska påverka prognoser inom modellens fokusområde.



Figur 19 Avgränsning av modell Korsvägen-Almedal. Modellgränser markerade med rött avser gränser där inget vatten tillåts flöda över. Gränser markerade med grönt avser gränser där vatten tillåts flöda över gräns. Vissa befintliga bergtunnlar har markerats.

Det avgränsade modellområdet omfattar ca 3,3 x 1,5 km, med utbredning enligt figur 19. Modellen består av 10 beräkningslager med en cellstorlek från maximalt 20 x 20 m (perifert) ner till 5 x 5 m (centralt). Cellindelningen bedöms vara tillräcklig för att satsifiera syftet med modellen och för att motsvara noggrannheten som finns i tillgänglig indata.

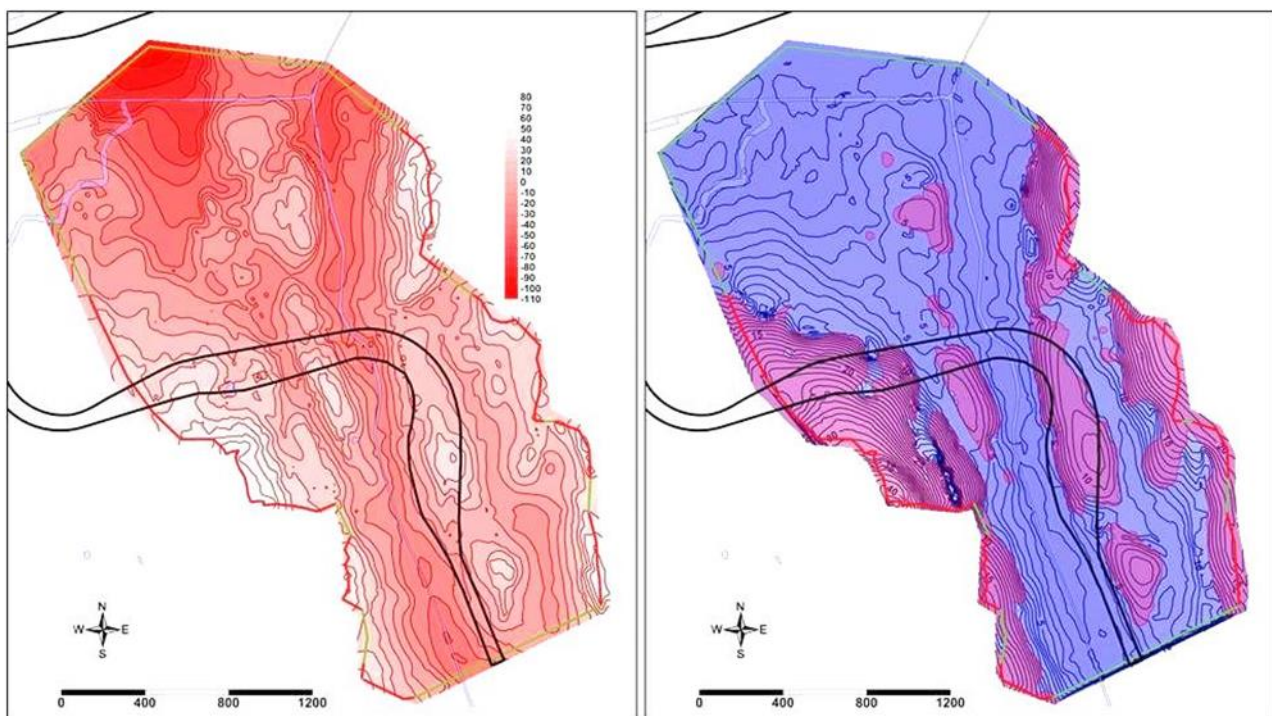
10.2 Hydrauliska egenskaper

Grundvattenmagasinen i modellen kan indelas i magasin i jord respektive magasin i berg. Magasin i berg kan ses som ett sammanhängande magasin medan magasin i jord kan indelas i flera magasin, dels med avseende på vertikalt läge (övre magasin respektive undre magasin) och dels lateralt. Ställvis finns även så kallade *mellanmagasin* i linser av friktionsmaterial inlagrat i lera. Fokus har legat på modellering av undre magasin i jord och tillgången på vatten i dessa magasin (nybildning till magasinerna), vilket förvisso även inkluderar kontakt mellan jordgrundvatten och berggrundvatten. Grundvattenförhållandena påverkas av undermarksanläggningar på flera platser inom modellområdet, exempelvis Gårdatunneln och Chalmerstunneln (Kringen).

Inom modellområdet har en översiktlig topografisk modell över bergets överyta tagits fram. Genom att studera antaget läge för grundvattenytan i relation till bergytan har områden där grundvatten endast kan antas finnas i berg karterats (figur 20). Trycksänkning inom dessa områden kan fortplantas ut till områden med grundvatten i jord.

Inom i princip hela området som karakteriseras av förekomst av grundvatten i jord kan antas att det finns ett undre slutet (eller läckande) grundvattenmagasin. Tolkningen av magasinens utbredning överensstämmer väl med den Hydromodell som redovisas i PM Hydrogeologi. Vissa delområden av detta undre magasin är mer eller mindre avgränsade av höga bergpartier. Dessa delområden är dock aldrig helt avgränsade och hydraulisk kontakt (förutom via berg) kan antas föreligga inom hela det aktuella modellområdet.

Förekomst av övre grundvattenmagasin i jord är starkt beroende av lokala förhållanden (mindre än modellskala) och kan förutsättas inom merparten av den areal som karakteriseras av grundvatten i jord. Dock kan lokala dräneringar i kombination med liten vattenförande mäktighet medföra att dessa magasin lokalt och temporärt är helt utdränerade. För modellering antas dock att det finns ett övre grundvattenmagasin inom hela området med förekomst av grundvatten i jord.



Figur 20 Till vänster bergmodell som upprättats för modellområdet, till höger simulering av grundvattenytans läge där röda områden avser ytor där grundvattenytan endast återfinns i berg, d v s inget grundvatten i jord antas finnas inom dessa områden. Blå områden karakteriseras av förekomst av grundvatten i jord.

Allmän utgångspunkt för vidare bedömning av nybildning av grundvatten är att den del av nederbörden som inte avdunstar (nettonederbörden) finns potentiellt tillgänglig för grundvattenbildning, men att nybildningen i den urbana miljön till stor del hindras av hårdgjorda ytor (hustak, asfalt etc). Genom att betrakta markanvändningens fördelning inom ett större område kan ett överslag av nybildningen göras baserat på antaganden om potentiell nybildning för olika typytor. Förutom nybildning via nederbörd tillförs vatten via läckande VA-ledningar. Exempel på beräkning för delavrinningsområde vid Korsvägen framgår av tabell 4.

Tabell 4 Beräkning av potentiell nybildning av grundvatten för delavrinningsområde Uppströms Korsvägen (Bilaga 2)

Mark	Andel	Pot nyb* [mm/år]	Delbidrag [mm/år]
Naturmark, jordlager	16%	400	64
Naturmark, hållmark	32%	100	32
Byggnader	18%	0	0
Asfalt	20%	90	18
Övrigt hårdgjort	14%	160	22
	100%		136
Läckage VA			10
Summa			146

*Antagen potentiell nybildning

Beräknad grundvattenbildning baserat på parametrar i tabell 4 har gett värden på 120-150 mm/år för varierande urbaniseringsgrad. Givet osäkerheter i bedömningarna torde ett intervall om 50-300 mm/år innehålla rimliga värden på nybildning av grundvatten för aktuellt område.

Hur stor del av denna nybildning som kan tillföras undre magasin i jord samt vilka flödesvägar som är huvudsakligt styrande beräknas i den aktuella grundvattenmodellen. Inflöde av grundvatten till undre magasin ("nybildning till undre magasin") kan ske via kontakt mellan övre- och undre magasin i friktionsmaterial i randzon mellan berg och lera eller i kontakt mellan berg och undre magasin. Tillskott från läckage genom lera kan antas vara försumbar i sammanhanget. Tillgången på vatten i undre magasin, styrd av dessa flödesvägar, kan studeras genom simulering av utförda provpumpningar i undre magasin, där responsen på en viss grundvattenbortledning kan ge ett direkt mått på potentiell vattentillgång. Inflödet till magasinet ökar vid trycksänkning av detsamma, men som övre randvillkor för denna ökning ligger den totala nybildningen av grundvatten. Lokalt kan denna tillgång vara större än medelvärdet över ett större område. I randzoner (ofta släntfot) kan den potentiella vattentillgången vara betydande om uppströms liggande områden bidrar med grundvattentillrinning. Här råder då ofta ett lokalt vattenöverskott som bortförs via ytligt liggande dränerande stråk. En trycksänkning i undre magasin i jord kan därmed medföra en betydande ökad tillströmning via randzoner, vilket till stor del kan ske på bekostnad av minskad bortledning till ytligt liggande dränerande stråk.

Modellens randvillkor i plan utgörs till stor del, i väster och öster, av gräns över vilken inget flöde sker, figur 20. Kortare partier finns där inflöde över gräns i undre magasin i jord och i berg tillåts. I norr och söder utgörs randvillkor av gräns där flöde tillåts över gränsen. Generellt rör detta inflöde i söder till beräkningslager för undre magasin i jord och berg, samt utflöde i norr för motsvarande beräkningslager. I beräkningslager för övre magasin antas att inget flöde sker över gräns mot bakgrund av att antaget lokalt flödesmönster är styrt av ytligt liggande dränerande stråk. Sådana dräneringar har simulerats genom ansättande av en generell dräneringsnivå på ett djup av ca 1,5 m under markytan.

Som övre randvillkor har ansatts nybildning som nettonederbörd. Avdunstning har inte ansatts i modellen. Nettonederbörden tillförs det översta aktiva beräkningslagret och har i modellen ansatts i intervallet 140-170 mm/år. Överskottsvatten, där grundvattenytan annars skulle stigit över nivån 1,5 m under markytan, t ex inom lerområden, bortförs via simulerad ytligt liggande dränering. Denna dränering simulerar dränerande stråk i den urbana miljön.

Som undre randvillkor (botten av modellen) antas att inget flöde sker över modellgräns.

Generellt har följande värden för hydraulisk konduktivitet² ansatts för;

- | | |
|------------------------------------|---|
| ▪ Övre magasin jord: | $K_h=1 \times 10^{-5} \text{ m/s}, K_v=5 \times 10^{-6} \text{ m/s}$ |
| ▪ Åtskiljande lerlager: | $K_h=1 \times 10^{-9} \text{ m/s}, K_v=5 \times 10^{-10} \text{ m/s}$ |
| ▪ Undre magasin jord: | $K_h=K_v=2-7 \times 10^{-5} \text{ m/s}$ |
| ▪ Berg ("bergmassa mellan zoner"): | $K_h=K_v=0,4-2 \times 10^{-7} \text{ m/s}$ |
| ▪ Berg ("zoner"): | $K_h=K_v=0,2-5 \times 10^{-6} \text{ m/s}$ |

10.3 Kalibrering och verifiering

Kalibrering har initialt skett stationärt mot uppmätta trycknivåer (medianvärden över längre tidsserier för respektive punkt) som ansetts vara representativa. En sådan stationär kalibrering kan göras mot en stor uppsättning varierande parametrar, som i olika kombinationer genererar likartat kalibreringsresultat. Syftet med den stationära kalibreringen har därför varit att skapa rimliga initialvillkor för vidare transient kalibrering.

Transient kalibrering har skett mot utförda provpumpningar vid Korsvägen respektive Lisebergsgaraget. För detaljer hänvisas till Bilaga 2.

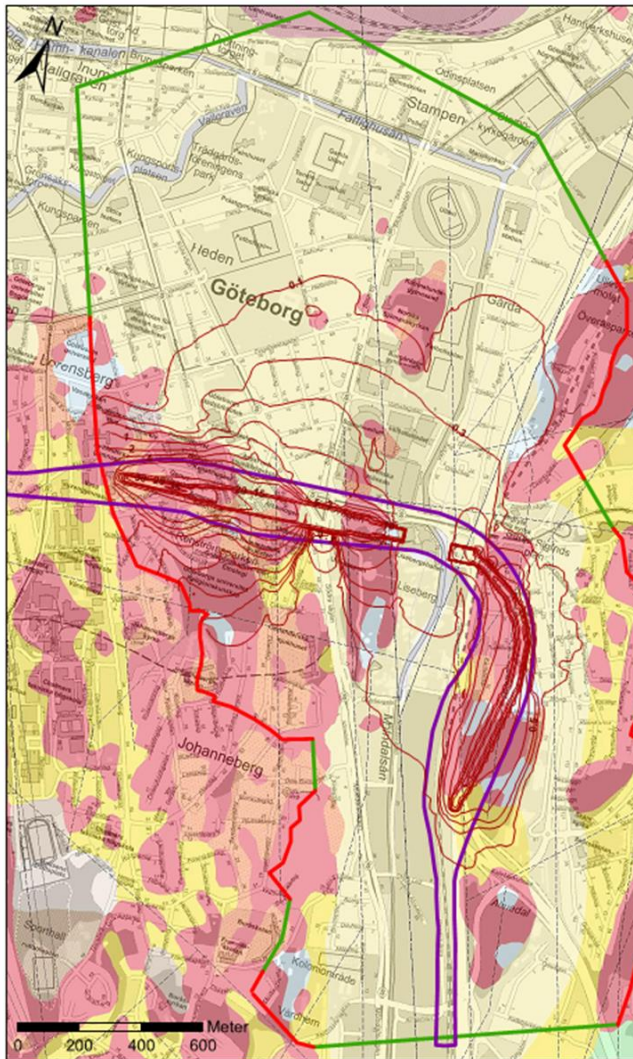
10.4 Prediktiv simulering

Ett exempel på en möjlig hydraulisk omgivningspåverkan av Västlänkens med tätade konstruktioner visas i figur 21. Prediktionen visar trycksänkning i undre magasin i jord, alternativt i berg där grundvatten endast återfinns i berg. Prediktionen ska ses som en visualisering av modellens funktionella möjligheter, mot bakgrund av dess syfte att kunna beräkna och visualisera hydraulisk omgivningspåverkan. Den numeriska modellen bedöms ge rimliga prediktioner av grundvattennivåpåverkan för de anläggningsdelar som implementerats.

Västlänken har simulerats med en omgivande injekteringszon, innanför denna zon har en trycksänkning skett ner till 0,2 m över tunnelbotten. Bergpåslag vid Korsvägen och Liseberg/Lisebergsgaraget har simulerats med en spontlåda med tätskärm som utgår från berg och sträcker sig ut i respektive dalgång till det läge där det finns en lermäktighet under tunnelbotten som (i modellen) överstiger 2 m. Tätskärmen går ner till berg. Berg inom spontlåda har injekterats.

Ett totalt inläckage till Västlänken inom modellområdet är simulerat till ca 90 Liter/min, fördelat på delsträckor enligt figur 22.

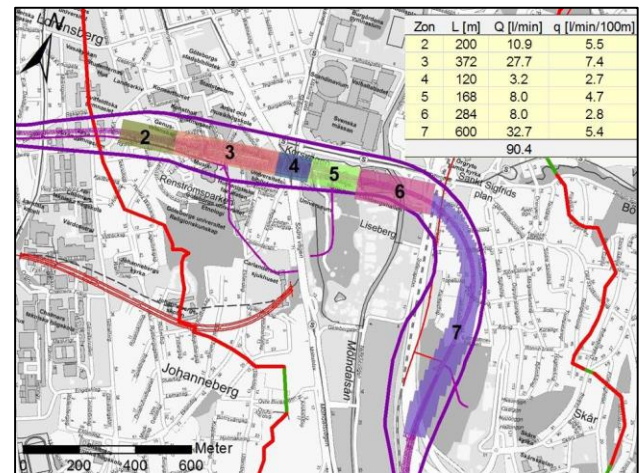
² K_h = Horisontell hydraulisk konduktivitet, K_v = vertikal hydraulisk konduktivitet



Figur 21

(vänster)

Exempel på prediktivt beräkningsresultat



Figur 22

Avsnitt för beräkning av inläckage till

Västlänken, jämte simulerat inläckage för ett möjligt utförande.

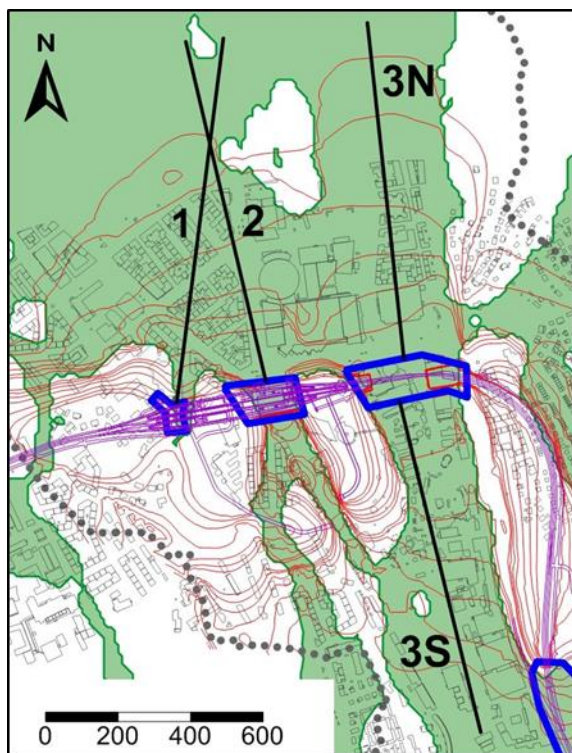
Simuleringen ska ses som ett exempel på hur modellen kan användas för att studera sannolik omgivningspåverkan vid en viss grundvattenbortledning.

Prediktiva simuleringar har utförts för tre delsträckor i området; Station Korsvägen – Mölndalsåns dalgång, bergtunnel vid Skår (Almedalsberget) och betongkonstruktioner vid Almedal.

Station Korsvägen – Mölndalsåns dalgång

Prediktiva simuleringar har utförts med antagande om att det vid ungefärlig gräns för arbetsområde i marknivå, se blå markering figur 23, upprätthålls en trycknivå i undre magasin så att trycksänkningen längs denna gräns uppgår till 0,6 m eller 0,3 m för respektive beräkningsscenario. Beräkningarna har generellt utförts för ett antaget inläckage till bergtunnlar enligt figur 22. För servicetunnel Korsvägen har antagits inläckage på 2,0 - 4,8 liter/min per 100 meter för servicetunnel Liseberget 4,0 liter/min per 100 meter. Servicetunnel Korsvägen har simulerats med olika inläckage med avseende på passage av Eklandagatan.

Fyra sektioner (1, 2, 3N och 3S) har studerats närmare för att ge en överskådlig sammanfattande bild över de olika beräkningsscenarierna.

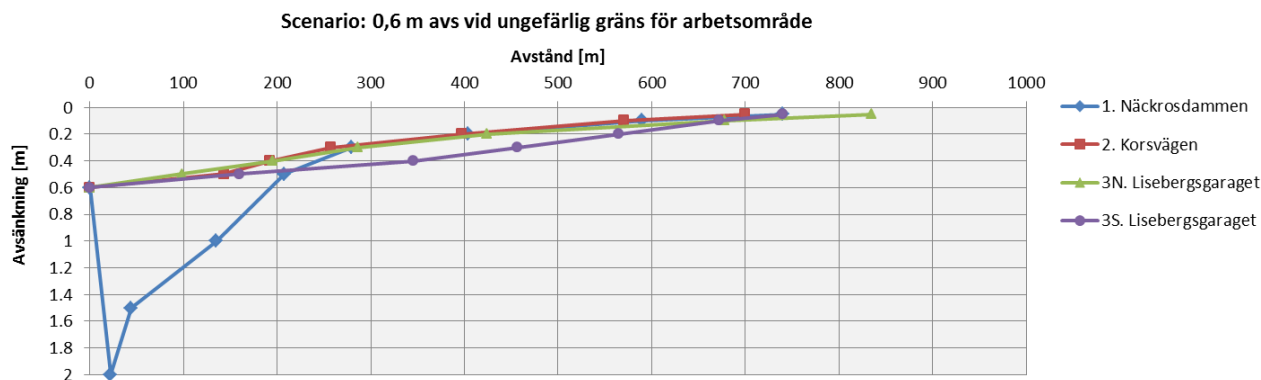


Figur 23 Planlaga för sektioner kring Korsvägen – Liseberg. Gröna ytor = områden med undre magasin i jord och vita ytor = områden där grundvattenytan återfinns i berg.

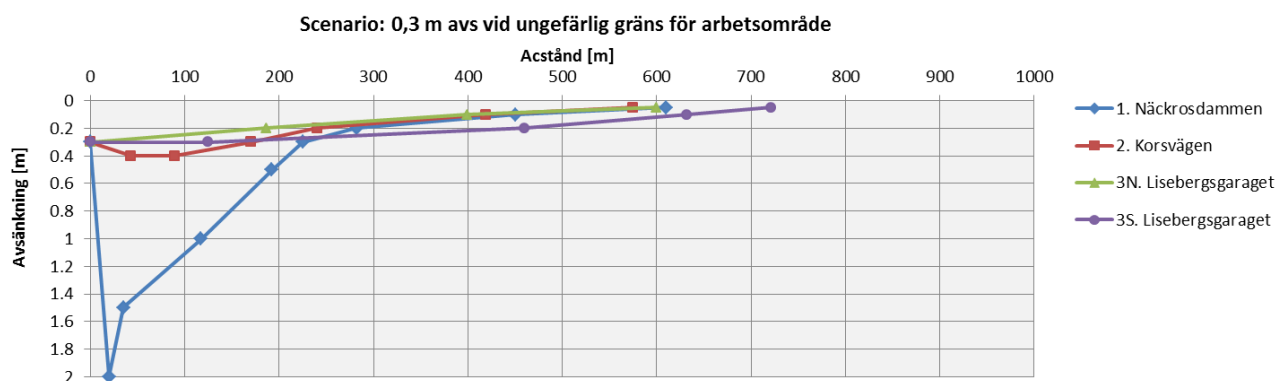
Som framgår av beräkningsresultaten i figur 24 till figur 25 kan upprätthållande av en viss trycknivå i undre magasin i jord längs gräns för antaget arbetsområde i marknivå påverka trycksänkingsutbredningens form (i huvudsak) och utbredning (i mindre omfattning) i tre av de fyra studerade sektionerna.

I graferna redovisas beräknad grundvattennivåsänkning för de fyra redovisade sektionerna (i figur 23) för de två scenarierna 0,6 och 0,3 meters avsänkning vid schaktgräns (blå linje i figur 23). Av figurerna framgår att påverkan sträcker sig 600 till drygt 800 meter ut från arbetsområdet. Det som påverkar vilken grundvattennivåsänkning som uppkommer är den avsänkning som förutsätts vid Västlänkens närhet.

För sektion 1 (Näckrosdammen) får aktiviteter inom arbetsområde i markytan ingen eller liten effekt på utbredning av trycksänkning i undre magasin i jord. Anledningen till detta är att trycksänkingsutbredningen längs denna sektion styrs av inläckage till undermarksanläggningar som påverkas mycket lite av upprätthållande av en viss trycknivå längs gräns för arbetsområde i marknivå.



Figur 24 Beräknad utbredning av trycksänkning i undre magasin i jord kring Korsvägen - Liseberg vid 0,6 m trycksänkning längs arbetsområde.



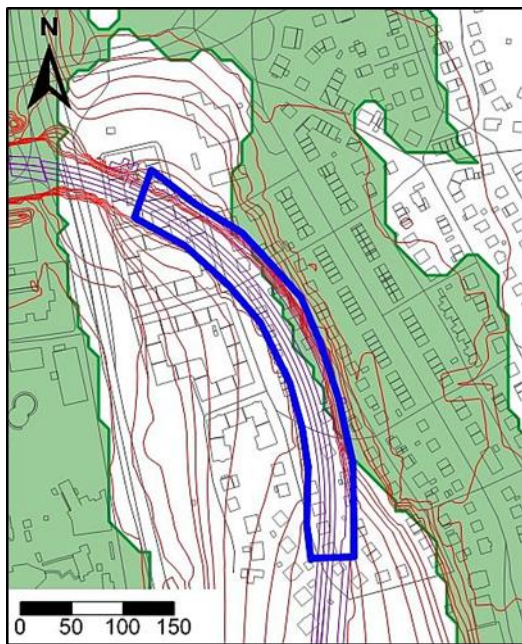
Figur 25 Beräknad utbredning av trycksänkning i undre magasin i jord kring Korsvägen - Liseberg vid 0,3 m trycksänkning längs arbetsområde.

Detaljstudier av grundvattennivåpåverkan för servicetunnel Korsvägen och servicetunnel Liseberget indikerar att höga täthetskrav kan behövas för den förstnämnda tunneln vid passage av sänkan väster om Carlanderska sjukhuset. Beräkningarna visar dock att skyddsinfiltration kan ha en positiv påverkan på områdets grundvattennivåer.

Bergtunnel genom bergparti vid Skår

Vid Skår ligger Västlänkens tunnlar längs markerad sträcka i figur 26 relativt nära undre magasin i jord. Här kan således trycksänkningen från bergtunnlarna lättare fortplanta sig ut till undre magasin i jord och medföra en trycksänkning i magasinet.

Baserat på tidigare modellering beräknades inläckaget längs markerad sträcka till 6,3 liter/min/100 m (Bilaga 2). Denna bortledning medför en beräknad trycksänkning i undre magasin längs Laboratoriegatan med som mest ca 1,5-2 m. Simulering med tätare tunnlar längs markerad sträcka, här simulerat till 2,7 liter/min/100 m, medför en beräknad trycksänkning i undre magasin längs Laboratoriegatan med som mest ca 0,5-1 m.

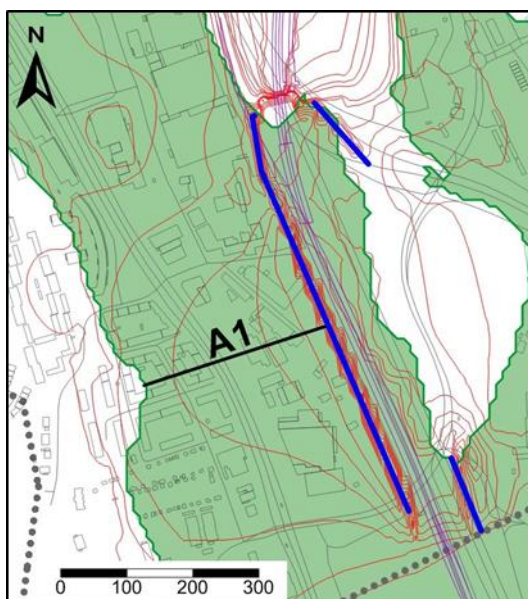


Figur 26. Planlaga över tunnelsträckning vid Skår. Gröna ytor = områden med undre magasin i jord och vita ytor = områden där grundvattenytan återfinns i berg. Modellerad bergtunneldel markeras med blå linje.

Betongtunnel och betongtråg vid Almedal

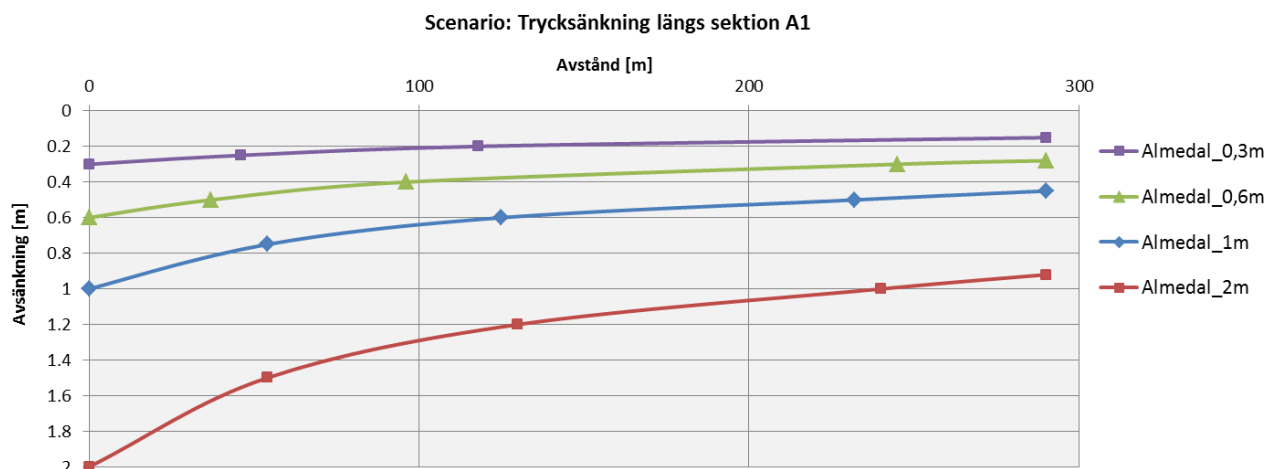
Vid Almedal har beräkningar fokuserat på risk för trycksänkning av det undre magasinet i jord längs Mölndalsåns dalgång. Beräkningarna har generellt utförts med antagande att ett visst läckage sker till Västlänkens anläggningar vilket leder till en lokal trycksänkning av undre magasin i jord, alternativt att det sker en temporär lokal trycksänkning av byggnadstekniska skäl.

Trycksänkningens storlek, lokalt inom arbetsområdet, kontrolleras och styrs så att trycksänkningseffekt längs linje för antaget arbetsområde (blå linje i figur 27) uppgår till vissa antagna värden, här; 2,0 m, 1,0 m, 0,6 m respektive 0,3 m.



Figur 27 Planlaga över tunnelsträckning vid Almedal. Gröna ytor = områden med undre magasin i jord och vita ytor = områden där grundvattenytan återfinns i berg.

Beräkningsresultaten (figur 28) pekar på behovet av att begränsa grundvattennivåpåverkan i anslutning till anläggningen för att undvika utbredd påverkan i Mölndalsåns dalgång.



Figur 28. Beräknad utbredning av trycksänkning i undre magasin i jord längs sektion A1 (Figur 27) vid Almedal vid olika scenarier för trycksänkning längs antagen gräns för arbetsområdet

10.5 Resultat

De olika beräkningarna visar på grundvattennivåpåverkan i undre magasin i jord som typiskt sträcker sig upp mot 600 till 800 meter ut från Västlänken vid antagna grundvattennivåsänkningar och inläckage.

Beräkningarna visar på vikten av att tätheten i olika anläggningsdelar i berg och avsänkingsnivåer i jord bör "balanseras" för att inte enskilda anläggningsdelar ska tillåtas dominera den samlade påverkan. Med det avses att grundvattennivåpåverkan från olika anläggningsdelar bör optimeras så att inte enskilda delar ger upphov till förhållandevis betydande påverkan medan andra anläggningsdelars täthet inte får avsedd positiv verkan. Vidare visar utförda beräkningar på behovet av förhållandevis låga inläckage vid Skår och begränsad avsänkning vid Almedal om påverkansområdets ska begränsas, alternativt på behovet av skyddsinfiltration.

Redovisade inläckagevärden har inte beräknats i modellen utan ansatts som förutsättning. Vid resulterande beräknad grundvattennivåpåverkan har Västlänkens utformning i berg kraftigt förenklats och innefattar inte samtliga anläggningsdelar, varför angivna inläckagevärden inte bör utgöra grund för bedömt inläckage. Modellen lämpar sig dock utmärkt för känslighetsstudier när det gäller grundvattennivåpåverkan.

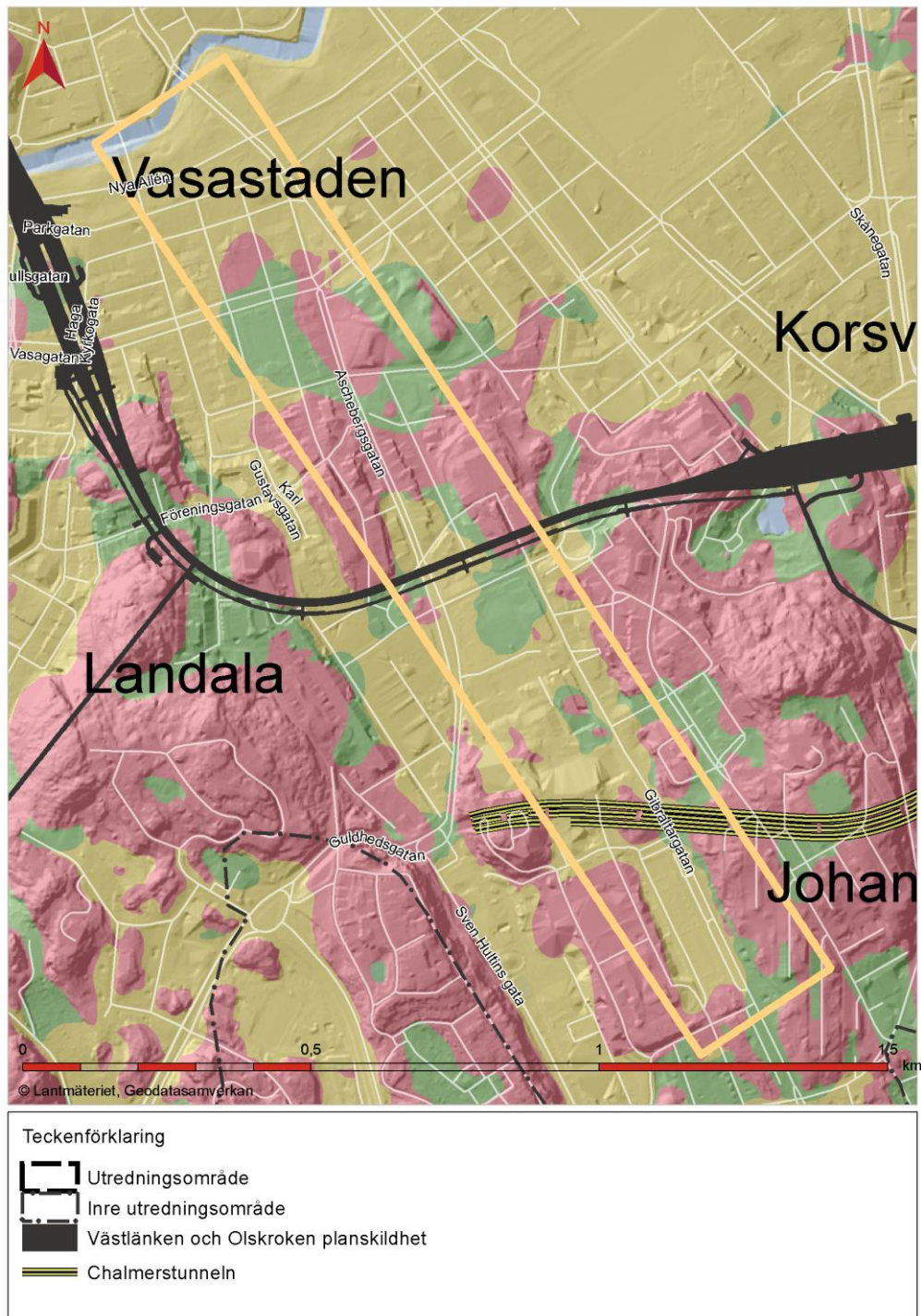
11 Numerisk grundvattenmodellering Gibraltargatan

11.1 Modelluppbyggnad

Föreliggande beskrivning bygger i all väsentlighet på Bilaga 3. För detaljer hänvisas till denna bilaga.

En numerisk grundvattenmodell (tvärsnittmodell) har upprättats för att studera inläckage av grundvatten till Västlänkens spårtunnel vid passage av den jordfyllda sänka som sträcker sig längs Gibraltargatan öster om Chalmers tekniska högskola och vidare norrut till Vallgraven, figur 29. Resultaten syftar till att kunna användas som underlag för bedömning av Västlänkens omgivningspåverkan på grundvattenmiljön både platsspecifikt och generellt i områden med liknande geologiska förhållanden. Syftet med modelleringen är även att studera inläckage och grundvattennivåpåverkan i berg vid olika tunneltäthet.

Modellen är cirka 2 000 meter lång (i grundvattnets huvudsakliga strömningsriktning) och cirka 275 m bred. Modellområdet är orienterat tvärs Västlänken på sådant sätt att grundvattenflödet i huvudsak sker linjärt och parallellt modellens långsidor. Modellens uppbyggnad sammanfattas i tabell 5. Modellens geometri är vald utifrån de hydrauliska ränder som avgränsar området.



Figur 29 Modelldomän, cirka 2000 meter lång och 275 meter bred.

Modelldomänens södra del utgörs av en jordfylld nord-sydlig dalsänka som i väster och öster gränsar till höga bergnivåer med berg i dagen eller tunna jordlager. Modelldomänens norra del utgörs av mäktiga jordlager i anslutning till Vallgraven. Avrinning av grundvatten och ytvatten sker huvudsakligen mot det topografiskt lägre liggande området i norr.

Ungefär vid Johannebergs kyrka tvärrar Chalmerstunnelns Gibraltargatans dalgång i cirka öst-västlig riktning. Bergtunneln sträcker sig från Södra vägen till Chalmers tekniska högskolas huvudentré vid Aschebergsgatan.

11.2 Hydrauliska egenskaper

Sammanhängande grundvattenmagasin förekommer i undre friktionsjordlager samt i berg.

Jordlagerföljden inom modelldomänen har tolkats som tre skilda enheter med avseende på hydrogeologiska egenskaper: fyllningsjord, lerjord och undre friktionsjord. Fyllningsjorden bildar ett övre grundvattenmagasin i jord och den undre friktionsjorden ett undre grundvattenmagasin i jord. De två magasinerna har begränsad inbördes hydraulisk kontakt via lerlager vilka har låg vattengenomsläpplighet.

Bergmassan utgör ett sammanhängande grundvattenmagasin med lokalt god hydraulisk förbindelse med undre friktionsjordlager i de jordfyllda sänkorna. De översta delarna av berget har definierats som ytberg, med förhöjd vattengenomsläpplighet (hydraulisk konduktivitet) jämfört med övrigt, djupare berg. Karakteristiska värden på hydraulisk konduktivitet baserar sig huvudsakligen på undersökningar som genomfördes i samband med byggandet av Chalmerstunneln samt på historiska data insamlade för Västlänken. De ansatta hydrauliska konduktiviteterna fördelar sig på de olika geologiska enheterna enligt tabell 5.

Tabell 5 Ansatt hydraulisk konduktivitet i de olika geologiska enheterna. Konceptuella egenskaper avser målvärden medan kalibrerade egenskaper är resulterade värden från modellkalibrering.

Geologisk enhet	Hydraulisk konduktivitet, konceptuell	Hydraulisk konduktivitet, kalibrerad
Fyllnadsmaterial	10^{-8} till 10^{-3} m/s	1×10^{-6} till 7×10^{-5} m/s
Lera	10^{-8} m/s	5×10^{-8} m/s
Undre friktionsjord	10^{-5} till 10^{-4} m/s	1 till 7×10^{-5} m/s
Ytberg, uppsprucket	1 till 2×10^{-7} m/s	1×10^{-7} m/s
Friskt berg	4×10^{-8} till 2×10^{-7} m/s	3 till 5×10^{-8} m/s
Svaghetszoner, 10 m breda	2×10^{-7} till 5×10^{-6} m/s	6 till 2×10^{-7} m/s

Nybildning av grundvatten över hela modelldomänen har antagits till mellan 20 och 300 mm/år (årsmedelvärde). Hur stor del av denna nybildning som tillförs de olika modellagren och de olika geologiska enheterna beror på ett flertal hydrogeologiska och hydrauliska parametrar som exempelvis hydrogeologiska egenskaper, hydrauliska gradienter, grundvattennivåer och förekomst av dräner. Omfördelningen av nybildat grundvatten hanteras i samband med modellkalibrering samt vid de olika beräkningsscenarier som studeras. Nybildning av grundvatten samt olika lagers vattenbalans är inte konstant utan beror på vattentillgång och grundvattennivå. Det kan förutsättas att vattenvolymen ökar i samband med att grundvattennivåer sänks till följd av dränering till tunnelanläggning.

I tabell 6 visas antagna intervall för grundvattenbildning för olika geologiska enheter samt värden som erhållit vid modellkalibrering.

Tabell 6 Grundvattenbildning/vattenomsättning för olika geologiska enheter. Konceptuella egenskaper avser målvärden medan kalibrerade egenskaper är resulterade värden från modellkalibrering.

Geologisk enhet	Grundvattenbildning, konceptuell	Grundvattenbildning, kalibrerad
Lera	20-50 mm/år	16-31 mm/år
Friktionsmaterial	20-300 mm/år	16-126 mm/år
Berg	20-300 mm/år	16-160 mm/år

Inom modelldomänen förekommer bergtunnel Chalmerstunneln. Denna tunnel har antagits ha en dränerande effekt på jord och berg inom modelldomänen. Det ansatta inläckaget i modellen uppgår till totalt 8,6 liter/min. Tunneln hanterats som en drän i modellen.

Västlänken tvärs modelldomänen med en tunnelbottenivå mellan -19 och -21. Modellens mitt befinner sig ungefär vid Västlänkens längdmätning 460+200. Västlänkens längd inom modelldomänen är cirka 275 m.

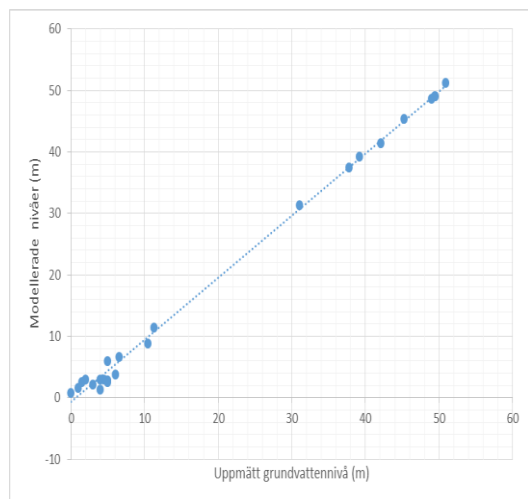
Modelldomänen är vald så att rådande grundvattenflöde samt flöde efter att Västlänken har anlagts, i huvudsak sker parallellt med modellens längdutsträckning, vilket i det aktuella fallet innebär strömningsriktning från söder mot norr. Grundvattenflöde tvärs modellens längdutsträckning bedöms således som marginell.

Modellens ränder i väster och öster utgörs av höga berglägen vilka i modellen antagits vara ränder över vilka inget grundvattenflöde sker. I söder finns en gravitationsvattendelare som i modellen representeras av en rand över vilken inget grundvattenflöde sker. I norr antas att Vallgraven kan representeras av en rand med konstant grundvattennivå på ± 0 .

Topprandvillkoret utgörs av en modelluppställning som innebär varierande grundvattenbildning. Ökad grundvattenbildning vid avsänkta förhållanden har implementerats med Modflow's EVT-modul. EVT-modulen simulerar ökad grundvattenbildning vid avsänkta grundvattennivåer genom att minska avdunstningen.

11.3 Kalibrering och verifiering

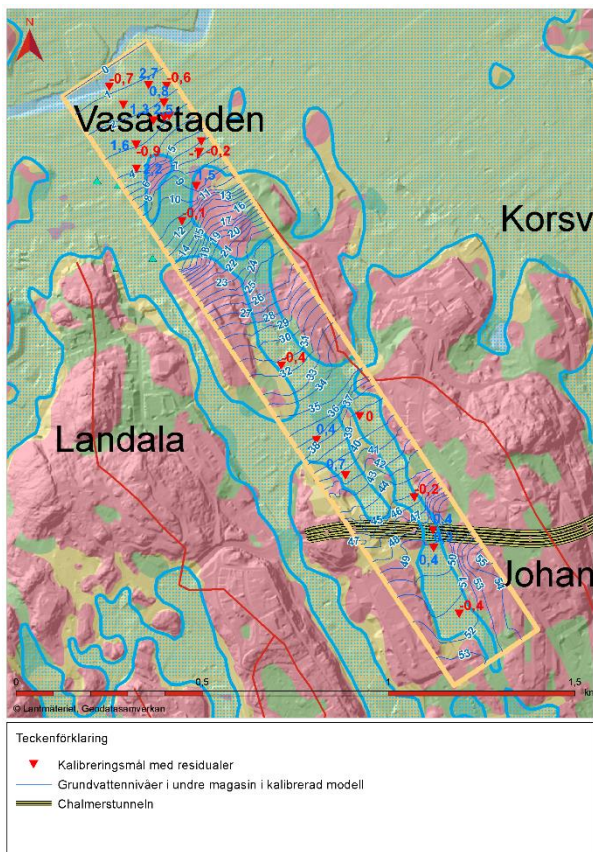
Den upprättade modellen har kalibrerats utifrån kända grundvattennivåer inom området samt uppmätta inflöden till den befintliga Chalmerstunneln. Kalibreringen har utförts genom justeringar av hydraulisk konduktivitet och grundvattenbildning. I figur 30 illustreras kalibreringsmål och kalibrerade nivåer.



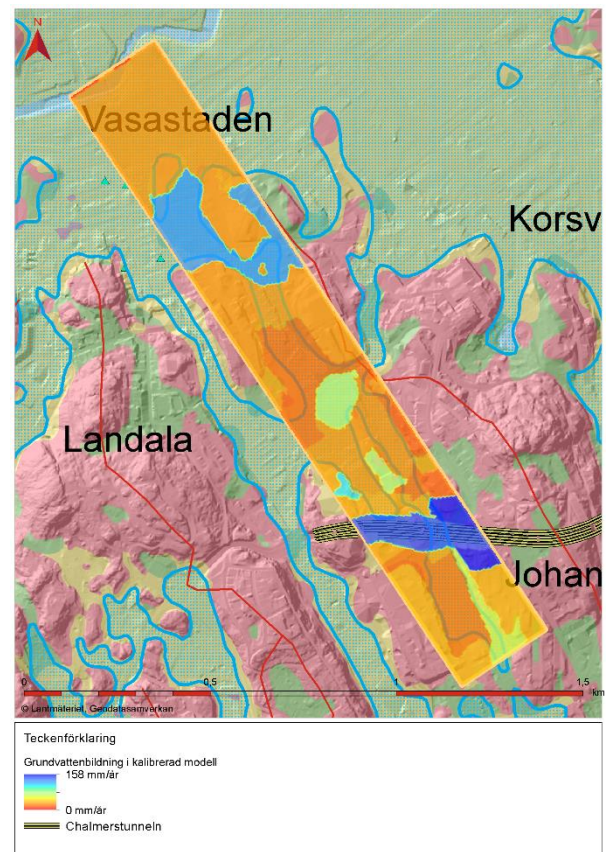
Figur 30 Uppmätt grundvattennivå och modellerad (kalibrerad) nivå

Beräknade grundvattennivåer i den kalibrerade modellen för det undre grundvattenmagasinet i jord redovisas i form av isolinjer i plan och profil med ekvidistansen 1 m. Grundvattennivån sjunker åt norr från vattendelaren i söder, från ca +54 till Hamnkanalen på nivån +0. Grundvattennivåerna redovisas i plan i figur 31 och profil i figur 33. Röda värden i figur 32 visar skillnad mellan modellerad nivå och kalibreringsmål (residual) där modellerad (kalibrerad) nivå ligger över uppmätt nivå, medan blå värden visar där modellerad nivå ligger lägre än uppmätt nivå. Blå linjer visar kalibrerade grundvattennivåer i undre magasin i jord inom modelldomänen.

Det totala inflödet till den kalibrerade modellen uppgår till ca 110 liter/min och består uteslutande av nederbörd. Avdunstningen över modelldomänen uppgår till 62,3 liter/min, vilket ger en avrinning på 47,7 liter/min eller motsvarande 49 mm/år. Utflöde från modellen sker via modellens norra hydrauliska rand (Vallgraven) med 39 liter/min och med 8,7 liter/min till Chalmerstunneln. Förhållandevis hög grundvattenbildning noteras i anslutning till Chalmerstunneln samt i grundvattenbildningsområden i bergpartiet i södra delen av Vasastaden, figur 32.

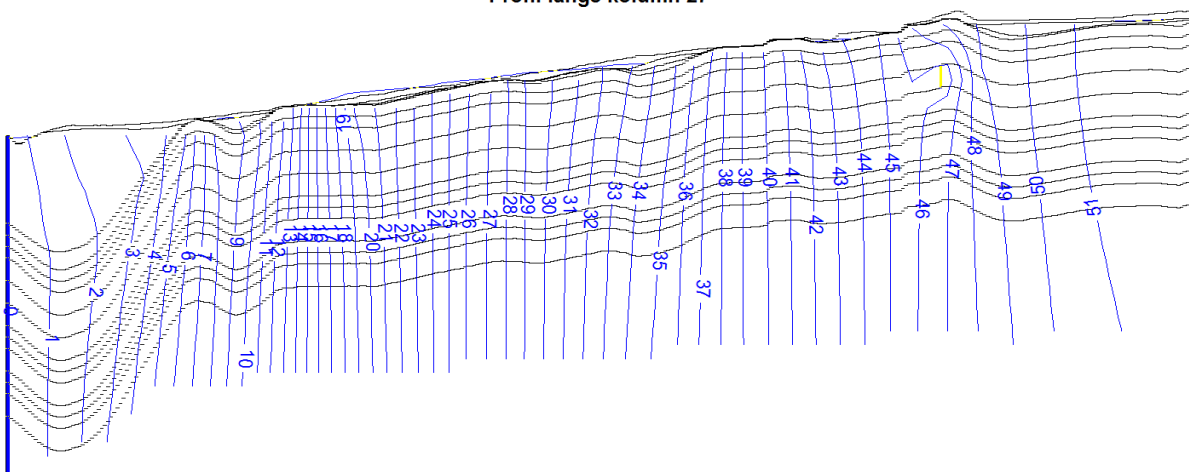


Figur 31 Grundvattennivåer och kalibreringsresidualer.



Figur 32 Grundvattenbildning i kalibrerad modell

Profil längs kolumn 27

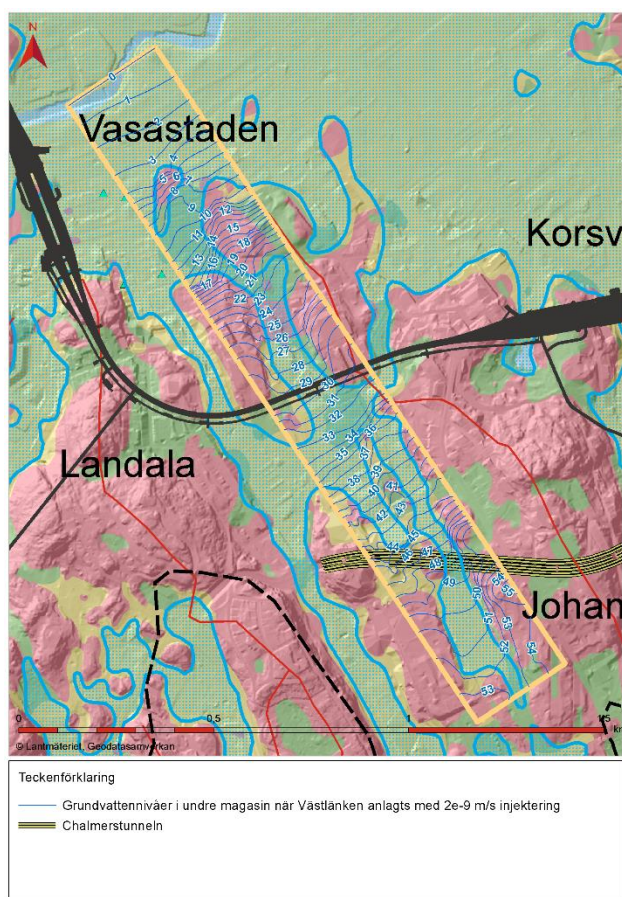


Figur 33 Grundvattennivåer i profil längs mitten av modellen. Figuren är orienterad i syd (höger) – nord (vänster).

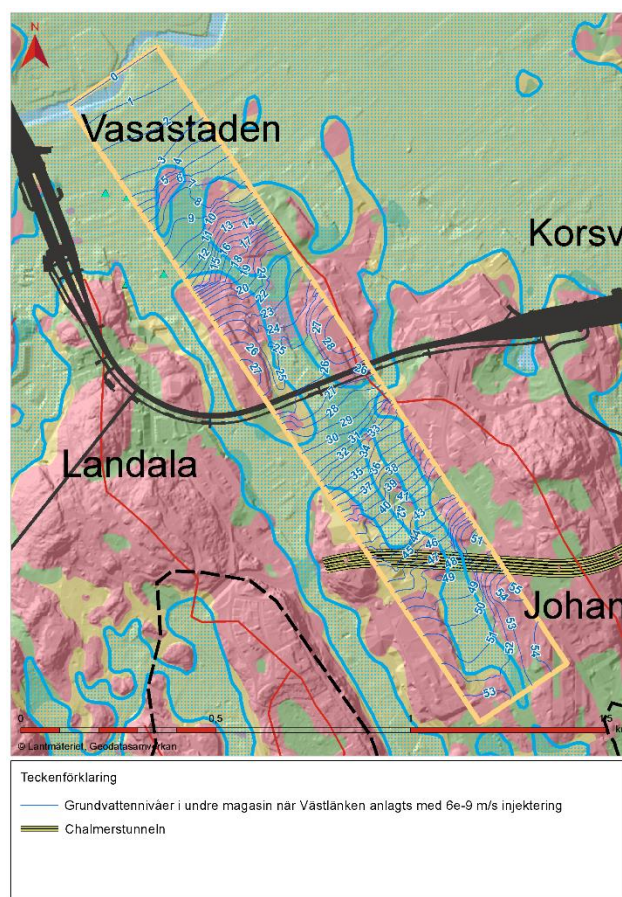
11.4 Prediktiv simulering för olika tunneltäthet

Beräkning av grundvattenpåverkan har utförts för två olika tätningar av Västlänkens bergtunnel; 2×10^{-9} respektive 6×10^{-9} m/s. Injekteringsskärmen har en antagen tjocklek på 5 meter. Vid modelleringen har antagits att grundvattenbildningen ökar vid grundvattennivåsänkning.

Beräknade grundvattennivåer i undre magasin i jord där Västlänken har en tätskärm med hydraulisk konduktivitet (K_i) på 2×10^{-9} respektive 6×10^{-9} m/s illustreras i figur 34 respektive i figur 35. Som framgår av figurerna är det mycket liten skillnad mellan beräknade nivåer för de två fallen, med generella flödesmönster som är i det närmaste identiska. Även vid en jämförelse med nuvarande grundvattensituation (utan Västlänken) är grundvattennivåpåverkan liten och uppträder endast lokalt i anslutning till Västlänken (jämför med figur 31).



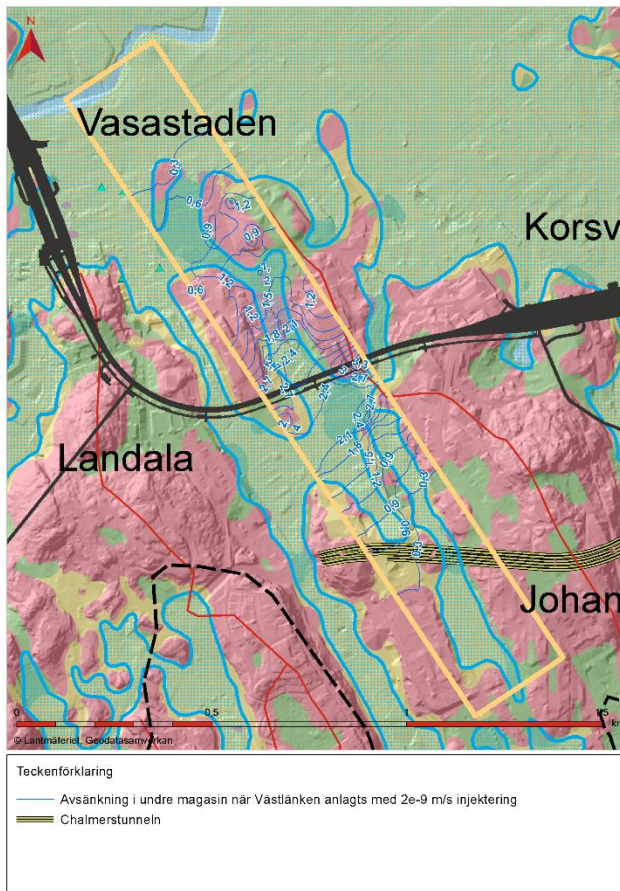
Figur 34 Beräknade grundvattennivåer i undre magasin i jord med Västlänkens täthet på 2×10^{-9} m/s.



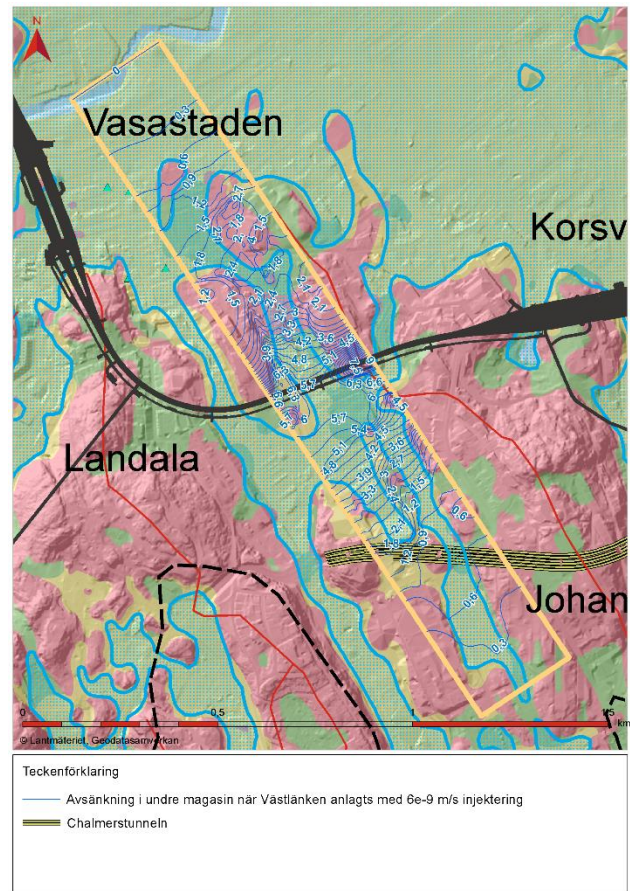
Figur 35 Beräknade grundvattennivåer i undre magasin i jord med Västlänkens täthet på 6×10^{-9} m/s.

Västlänken ger enligt utförda beräkningar tydlig grundvattennivåsänkning inom stora delar av modellområdet. Vid en tätning på 2×10^{-9} m/s uppkommer beräkningsmässigt en avsänkning på cirka 2,5 meter i undre magasin i jord (figur 36) och vid den lägre tätheten på 6×10^{-9} m/s drygt det dubbla (figur 37).

Påverkan i undre magasin i jord klingar av på större avstånd från Västlänken och uppgår enligt utförda beräkningar till cirka 0,3 meter på 400-700 meters avstånd vid en tätning på 2×10^{-9} m/s respektive på 800 meters avstånd vid den lägre tätheten.



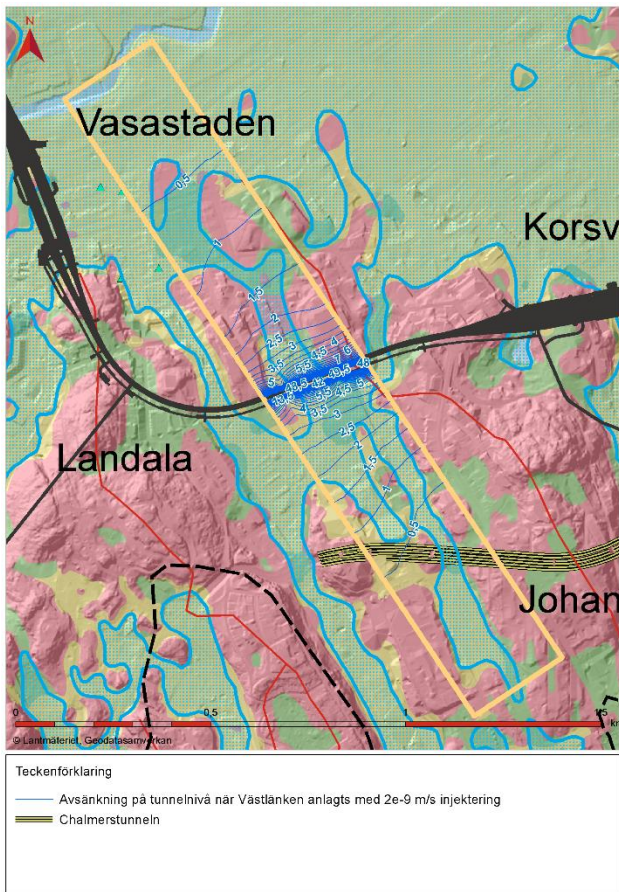
Figur 36 Beräknad avsänkning i undre magasin i jord med Västlänkens täthet på 2×10^{-9} m/s.



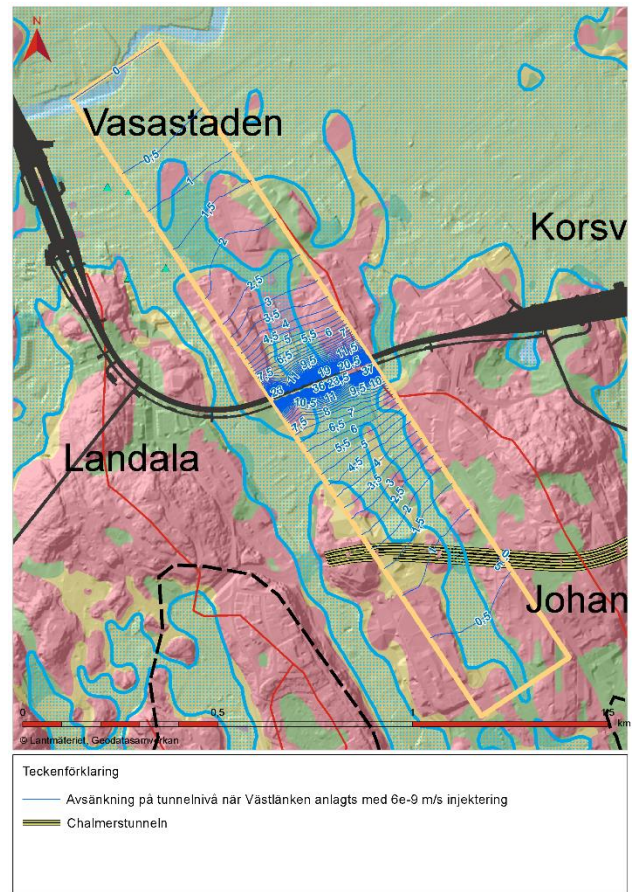
Figur 37 Beräknad avsänkning i undre magasin i jord med Västlänkens täthet på 6×10^{-9} m/s.

Beräkning av grundvattenpåverkan i berg på tunnelnivå åskådliggörs i figur 38 och figur 39 för respektive tunneltäthet. Västlänken ger enligt utförda beräkningar tydlig grundvattennivåavsänkning inom stora delar av modellområdet. Vid en tätning på 2×10^{-9} m/s uppkommer beräkningsmässigt en avsänkning på cirka 1 meter i berg vid tunneldjup på ett avstånd av cirka 400 meter (figur 38) och på cirka 600 meter (figur 39) vid den lägre tätheten.

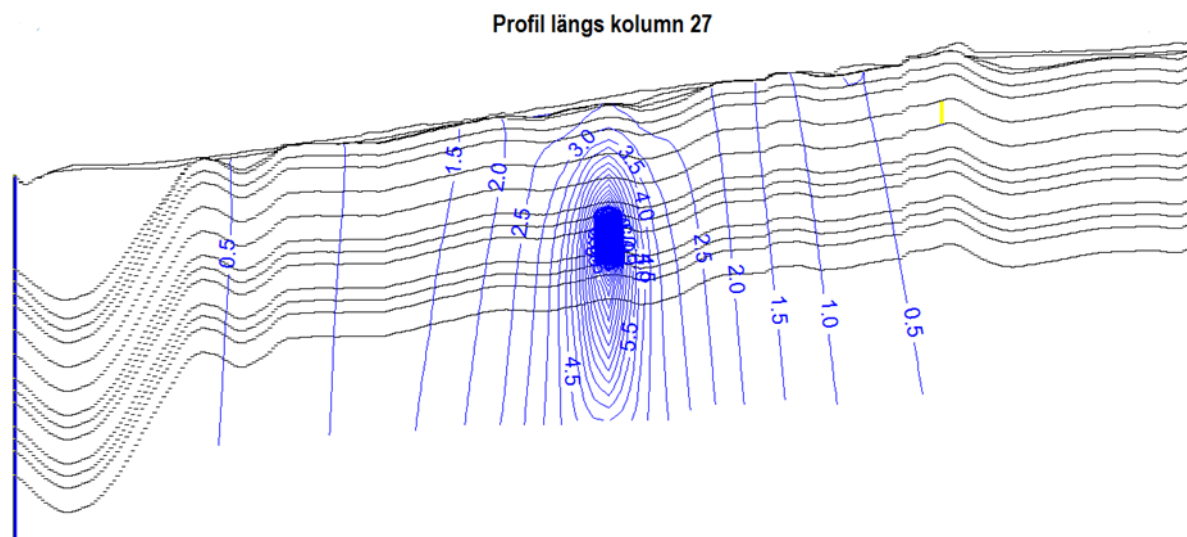
Grundvattenpåverkan i berg åskådliggörs i ett vertikalt snitt för de två tätningsscenarierna i figur 40 respektive figur 41. På cirka 200 meters avstånd från Västlänken uppkommer enligt beräkningarna en dubblad avsänkning vid den lägre tunneltätheten.



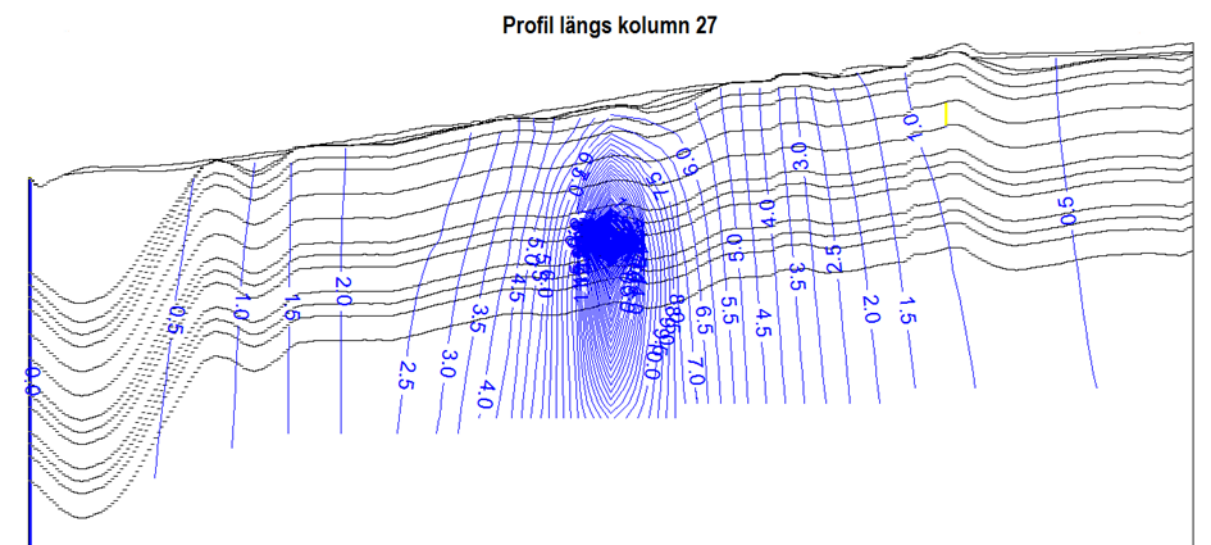
Figur 38 Beräknad avsänkning i berg på tunnelnivå med Västlänkens täthet på 2×10^{-9} m/s.



Figur 39 Beräknad avsänkning i berg på tunnelnivå med Västlänkens täthet på 6×10^{-9} m/s.

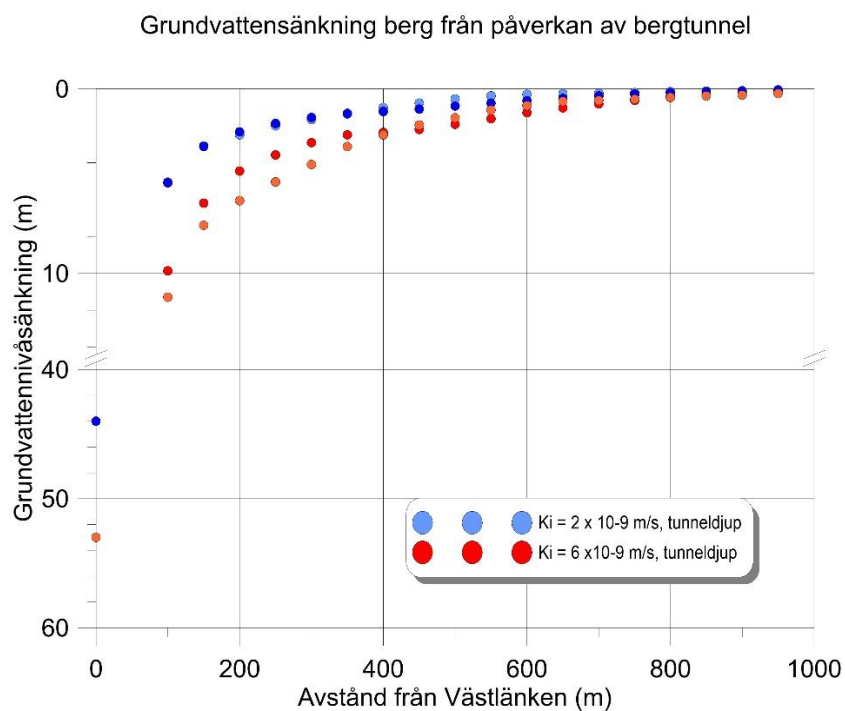


Figur 40 Beräknad grundvattennivåavsänkning i vertikalsnitt längs modellen med tunneltäthet på 2×10^{-9} m/s.



Figur 41 Beräknad grundvattennivåsänkning i vertikalsnitt längs modellen med tunneltäthet på 6×10^{-9} m/s.

Grundvattennivåsänkning i berg på tunneldjup ut från Västlänken för de två täthetsklasserna visas i figur 42. Figuren korresponderar med data från figur 38 (blå punkter) och figur 39 (röda punkter).



Figur 42 Beräknad grundvattennivåsänkning i berg på tunnelnivå för respektive antagna tunneltätheter.

Beräkningsförutsättningen att sänka grundvattennivåer kan förändra vattenbalansen i de olika grundvattenmagasinen medför ökad grundvattenvolym på bekostnad av minskad ytavrinning och avdunstning.

Tabell 7 Vattenbalans för kalibrerad modell samt med Västlänken och tunneltäthet (I) 2×10^{-9} m/s respektive (II) 6×10^{-9} m/s.

In:	Kalibrerad	Tunneltäthet (I)	Tunneltäthet (II)
Nettonederbörd	110 liter/min	110 liter/min	110 liter/min
Ut:			
Avdunstning	62,3 liter/min	50 liter/min	37,4 liter/min
Drän/Chalmerstunneln	8,7 liter/min	8,5 liter/min	8,2 liter/min
Konstant nivå/Hamnkanalen	39 liter/min	36,8 liter/min	34,6 liter/min
Drän/Västlänken	-----	14,6 liter/min	29,7 liter/min

11.5 Resultat

Beräkningarna i tvärsnittsmodellen kan användas för att visualisera grundvattenpåverkan i berg och jord på olika avstånd från Västlänken med hänsyn till två alternativa tunneltätheter (2×10^{-9} m/s respektive 6×10^{-9} m/s).

De olika beräkningarna visar på grundvattennivåpåverkan som typiskt sträcker sig upp mot 400 till 600 meter ut i berg på tunneldjup (för 1 meter avsänkning) och upp mot 400 till 800 meter i undre magasin i jord (för 0,3 meter avsänkning).

Den aktuella modellberäkningen bygger delvis på generella hydrauliska egenskapsvärden och förenklade hydrauliska modellränder. När det gäller Gibraltargatans dalgång bedöms därför beräknad påverkan mot söder något för stor medan påverkan mot norr sannolikt något för liten. Modellgeometri, hydrauliska ränder och hydrauliska egenskapsvärden innebär således att beräkningsresultat måste anpassas till det platsspecifika läge som studeras.

12 Referenser

Gustafson, G. (1986). *Hydrogeological preinvestigations in rock. Theoretical basis and applications*. Stockholm: Swedish Rock Engineering Research Foundation (BeFo).

Gustafson, G. (2009). *Hydrogeologi för bergbyggare*. Stockholm: Formas

Lindhe, A. (2010). *Risk Assessment and Decision Support for Managing Drinking Water Systems*. Department of Civil and Environmental Engineering, Chalmers University of Technology.