

# ***PM Hydrogeologi***

Bilaga C3

Grundvattenmodellering

Miljöprövning för tunnelbana från Fridhemsplan till Älvsjö

Titel: PM Hydrogeologi – Bilaga C3 Grundvattenmodellering

Konsult: Sweco Sverige AB

Författare: Robina Kiss

Projektledare: Kajsa Nilsson, förvaltning för utbyggd tunnelbana (FUT)

Bilder & illustrationer: Sweco och Region Stockholm om inget annat anges.

Dokument ID: 7300-G721-23-00001\_bilaga 3

Diarienummer: FUT 2021-1095

Utgivningsdatum: 2024-12-16

Distributör: Region Stockholm, förvaltning för utbyggd tunnelbana

Box 454 36, 104 31 Stockholm. Tel: 08-123 100 00.

E-post: [registrator.fut@regionstockholm.se](mailto:registrator.fut@regionstockholm.se)

## Innehållsförteckning

1	Inledning .....	4
1.1	Områdesbeskrivning .....	4
2	Numeriska modeller .....	6
2.1	Modellverktyg och allmänna egenskaper .....	6
2.1.1	Lagerföljd.....	7
2.1.2	Parameterisering .....	7
2.1.3	Basmodell och scenarier .....	8
2.1.4	Antaganden.....	8
2.2	Fridhemsplan .....	9
2.2.1	Konceptuell modell.....	9
2.2.2	Modellområde och parametrisering.....	10
2.2.3	Randvillkor .....	11
2.2.4	Basmodell och scenarier .....	11
2.2.5	Resultat.....	12
2.3	Liljeholmen.....	13
2.3.1	Konceptuell modell.....	13
2.3.2	Modellområde och parametrisering.....	14
2.3.3	Randvillkor .....	15
2.3.4	Basmodell och scenarier .....	15
2.3.5	Resultat.....	16
2.4	Årstaberget-Årstafältet-Östbergahöjden.....	18
2.4.1	Konceptuell modell.....	18
2.4.2	Modellområde och parametrisering.....	19
2.4.3	Randvillkor .....	20
2.4.4	Basmodell och scenarier .....	20
2.4.5	Resultat.....	21
2.5	Älvsjö .....	22
2.5.1	Konceptuell modell.....	22
2.5.2	Modellområde och parametrisering.....	24
2.5.3	Randvillkor .....	25
2.5.4	Basmodell och scenarier .....	25
2.5.5	Resultat.....	25
2.6	TBM-borrade spårtunnlar .....	26
2.6.1	Konceptuell modell.....	26
2.6.2	Modellområde och parametrisering.....	27
2.6.3	Randvillkor .....	27
2.6.4	Basmodell och scenarier .....	28
2.6.5	Resultat.....	28
3	Referenser.....	32

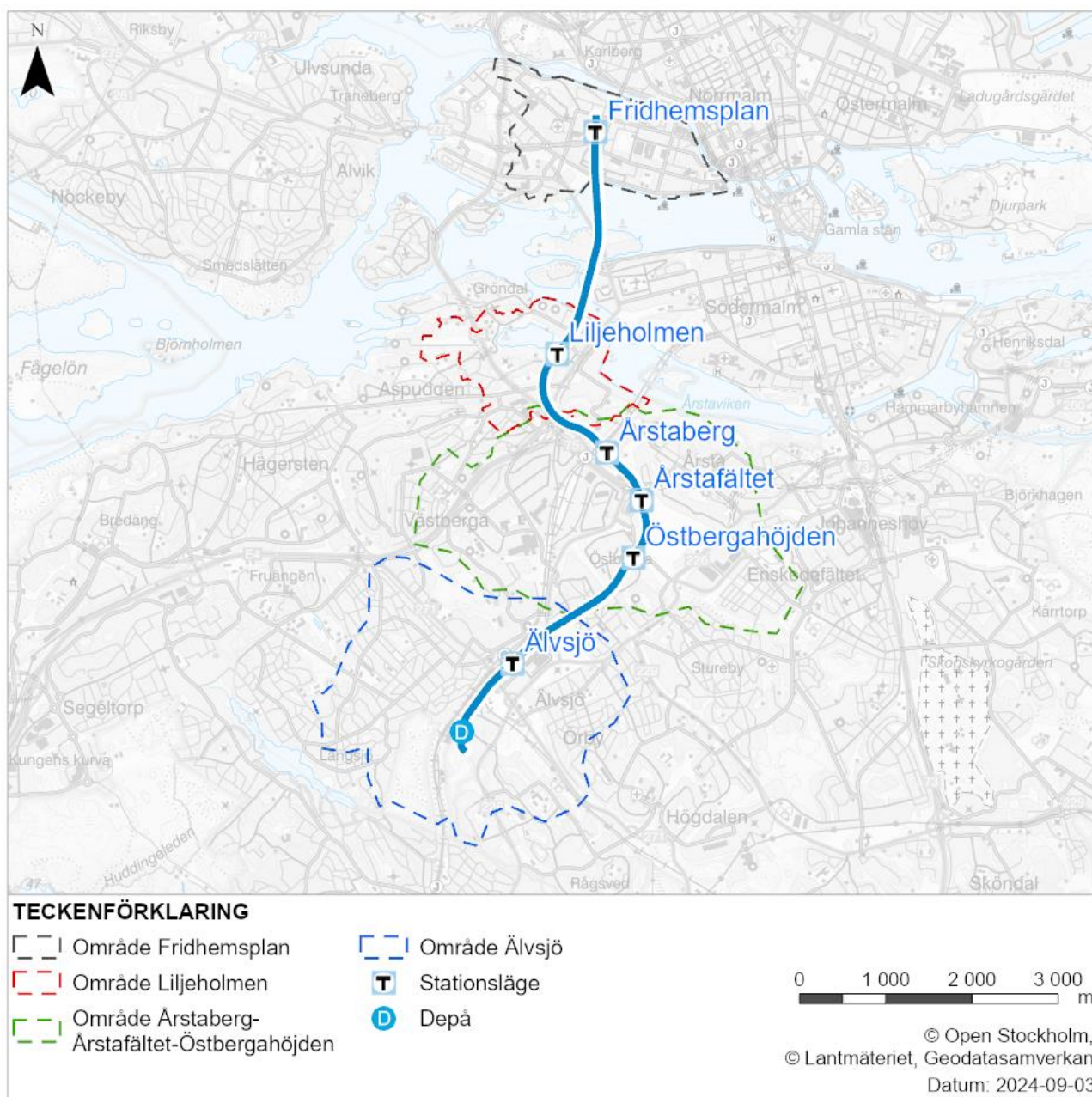
# 1 Inledning

Region Stockholm planerar att bygga ut tunnelbanan från Fridhemsplan till Älvsjö. Denna PM ingår som bilaga till PM Hydrogeologi, Bilaga C till ansökan om tillstånd om vattenverksamhet enligt Miljöbalken.

Fem numeriska modeller har tagits fram för denna utredning. Syftet med modellerna är att nyttja ett verktyg som kan hjälpa till att ge en ökad förståelse för områdets hydrogeologiska förhållanden och vidare att möjliggöra kvantifiering, osäkerhetsanalys och visualisering av de effekter den planerade verksamheten har på de grundvattensystem som omger tunnelanläggningarna, särskilt påverkan på strömningsförhållanden, vattenbalans och trycknivåer beskrivs med denna typ av modell i 3D. Vidare har modellresultaten tjänat som underlag för bestämning av det slutliga påverkansområdet, se definition i PM Hydrogeologi.

## 1.1 Områdesbeskrivning

För beskrivning av topografi, geologi och hydrogeologiska förhållanden för samtliga modelleringsområden för stationerna hänvisas till PM Hydrogeologi där de beskrivs i detalj. Dessa beskrivningar ligger till grund för konceptualiseringen och modelleringen av områdena som inkluderades i utredningen, se Figur 1.



Figur 1. Planvy över områdena som inkluderades i utredningen.

Inom ramen av denna utredning har fem olika tredimensionella numeriska modeller tagits fram. Dessa modeller skapades för att utreda påverkan av framtida stationer inom sina respektive områden. Stationerna vid Fridhemsplan, Liljeholmen och Älvsjö modellerades separat medan Årstaberget, Årstafältet och Östbergahöjden modellerades i en gemensam modell. En separat, generisk modell skapades för att kontrollera påverkan av tunnlar drivna med tunnelborrmaskin (TBM).

De stationsdelar som ingått i modelleringen presenteras i Tabell 1. Marginella skillnader mellan mått på verklig anläggning och modellerad anläggning förekommer på grund av de förenklingar av anläggningens utformning som görs i och med diskretiseringsarbetet. Dessa skillnader bedöms inte påverka varken resultat eller slutsatser i denna PM.

Tabell 1. Konstruktioner som har modellerats i denna utredning.

Station	Stationsdel	Längd (m)	Berguttag
Fridhemsplan	Uppställningsspår	105	Borra/spräng
	Station	265	Borra/spräng

	Uppgång	103	Annat
	Tekniktunnel	190	Borra/spräng
Liljeholmen	Fläktunnel	70	Borra/spräng
	Station	100	Borra/spräng
	Vertikalschakt	26	Annat
	Fläktunnel	70	Borra/spräng
Årstaberget	Starttunnel	25	Borra/spräng
	Station	270	Borra/spräng
	Vertikalschakt	24	Annat
Årstafältet	Fläktunnel	70	Borra/spräng
	Station	95	Borra/spräng
	Vertikalschakt	25	Annat
	Fläktunnel	70	Borra/spräng
Östbergahöjden	Fläktunnel	70	Borra/spräng
	Station	95	Borra/spräng
	Vertikalschakt	25	Annat
	Fläktunnel	70	Borra/spräng
Älvsjö	Starttunnel	25	Borra/spräng
	Station	225	Borra/spräng
	Vertikalschakt	26	Annat
	Depåschakt	355	TBM
	Bergtunnel	283	TBM
	Bergskärning	280	Annat

## 2 Numeriska modeller

### 2.1 Modellverktyg och allmänna egenskaper

Modellerna upprättades i modelleringsverktyget FEFLOW 8 (Diersch, 2014). FEFLOW bygger på finita elementmetoden vilket ger möjlighet till ett beräkningsnät som är numeriskt stabilt kring områden med stora hydrauliska gradienter och som kan anpassas till komplexa geometrier, så som bergschakt och tunnlar.

Inflödets påverkan på grundvattennivåerna simulerades som funktion av tiden, det vill säga tidsberoende (transient). Randvillkoren på markytan såsom grundvattenbildning och ytvattennivåer antogs vara konstanta över tid (stationära). Att simulera stationernas påverkan transient ger möjlighet att ansätta begränsningar för dessa randvillkor, exempelvis för vattendrag eller i noder där avvattning pågår. Övriga modellränder antogs vara täta (*no-flow boundary*), det vill säga ingen grundvattenströmning antogs ske in i grundvattenmodellen från sidorna eller underifrån. Samtliga randvillkor beskrivs närmare i relevanta kapitel nedan.

Modellerna som upprättades för Liljeholmen och för tunnlar driva med TBM är så kallade boxmodeller. För en boxmodell används en primitiv form såsom en låda eller cylinder för att skapa den slutliga modellens form. En annan viktig aspekt av en boxmodell är att den inte är platsspecifik, ingen höjddata implementeras, det vill säga att alla lager och ytor inklusive markytan är platta. I boxmodeller där höjddata inte har implementerats har vissa randvillkor på ytan av boxmodellen hämtades från en global modell.

En konceptuell modell är en beskrivning av de geometrier, egenskaper och processer som erfordras för att kunna besvara en aktuell frågeställning. Den konceptuella förståelsen för ett område är fundamental för att området korrekt ska kunna implementeras i en numerisk modell och för att korrekta slutsatser ska kunna dras utifrån resultaten. Baserat på tillgängliga uppgifter och egenskaper beskrivna i PM Hydrogeologi har konceptuella hydrogeologiska modeller tagits fram för samtliga intresseområden som grund för de numeriska grundvattenmodellerna. De stora dragen och allmänna insikterna som gäller i alla modellområden för de konceptuella modellerna beskrivs nedan.

Vissa enheter såsom sprickzoner eller tunnlar har lagts in i modellerna som "*Discrete Features*". *Discrete Features* är objekt med en dimension som är lägre än den för modellen, de läggs in i beräkningsnätet och representerar en- (*Discrete Edge Feature*) eller tvådimensionella (*Discrete Face Feature*) diskreta objekt såsom tunnlar, rör eller sprickor. Dessa objekt har en fysisk koppling till beräkningsnätet men de hydrauliska egenskaperna för dessa kan ändras oberoende av materialegenskaperna i nätet.

Samtliga stationer ska ligga i bebyggda stadsmiljöer. Det antas därför att en del av nederbörden som faller på marken rinner av och det är endast en viss andel som bidrar till grundvattenbildningen. Stadsmiljön antas också innebära att i jordlagren finns rör, dräner och tunnlar närvarande med okända läge som kan bidra både till lokal dränering och läckage av vatten till grundvattnet.

### 2.1.1 Lagerföljd

Jordarterna som finns i områdena beskrivs närmare i PM Hydrogeologi. Den byggnadsgeologiska kartan från 1980 stod som bas för jordarternas horisontella variation medan jordlagerföljden antas vara följande:

- Hela markytan täcks av fyllning, eller i vissa fall endast där det inte finns berg i dagen,
- Fyllningen underlagras av lera med varierande mäktighet,
- Under leran och på berg i dagen ligger morän,
- Berg i dagen förekommer på flera ställen,
- Berggrunden antas vara mer genomsläpplig till 20 meters djup från bergöverytan, också kallas för ytberg i denna rapport,
- Under ytberg är berget intakt, också kallas för normalberg eller kompetent berg.

Tjockleken för samtliga egenskapslager i modellen har antagits utifrån empiriska data från sonderingar och installation av grundvattenrör samt brunnar.

### 2.1.2 Parameterisering

Utifrån den geologiska strukturen delades modellerna in i fem olika hydrogeologiska domäner, se PM Hydrogeologi Bilaga C2. All lera inom området representeras på samma vis och ansätts med en viss hydraulisk konduktivitet, effektiv porositet och specifik magasinkoefficient, alltså magasinets förmåga att behålla vatten, se Tabell 2. Den hydrauliska konduktiviteten för fyllning, lera och berg har baserats på litteratur och empiriska värde, den för friktionsjord på tester utförda i grundvattenrör, se PM Hydrogeologi Bilaga C2. Friktionsjord har inte inkluderats i Tabell 2 då dess parametrar är annorlunda för varje modellområde och inga initiala parametrar har tagits fram. Andra hydrogeologiska parametrar som effektiv porositet och specifik magasinkoefficient för samtliga enheter är baserade på litteraturvärde (Domenico & Schwartz, 1998). En mindre känslighetsanalys genomfördes för specifik magasinkoefficient i normalberg och injekterade berg och det visade sig att modellerna inte visar stor skillnad i resultat när det gäller en tiopotens högre specifik magasinkoefficient. Avvikelser från de generella hydrauliska parametrarna finns och beskrivs i relevanta kapitel.

Alla höjder i denna rapport är angivna i RH2000.

Gränserna för de olika modellerna är anpassade för att kunna säkerställa att ränder är ansatta på ett tillräckligt stort avstånd från stationer för att inte påverka påverkansområdet.

Grundvattenbildning baserades på beräkningarna i PM Hydrogeologi och justerades efter modellernas egenskaper och behov.

Tabell 2. Initiala hydrauliska parametrar för samtliga geologiska enheter.

Geologisk enhet	Hydraulisk konduktivitet (m/s)	Effektiv porositet (-)	Specifik magasinkoefficient (1/m)
<i>Fyllning</i>	$1 \times 10^{-5}$	0,4	$1,4 \times 10^{-3}$
<i>Lera</i>	$1 \times 10^{-9}$	0,06	$1 \times 10^{-4}$
<i>Ytberg</i>	$1 \times 10^{-7}$	0,002	$1,5 \times 10^{-6}$
<i>Normalberg</i>	$2 \times 10^{-8}$	0,001	$1 \times 10^{-7}$
<i>Injekterat ytberg</i>	$1 \times 10^{-8}$	0,001	$5 \times 10^{-8}$
<i>Injekterat normalberg</i>	$5 \times 10^{-9}$	0,001	$1 \times 10^{-8}$
<i>Plugg</i>	$1 \times 10^{-14}$	0,0001	$1 \times 10^{-9}$

### 2.1.3 Basmodell och scenarier

Basmodellerna beskriver de aktuella förhållandena för områdena runt stationer inklusive grundvattenbildning och randvillkor för stationära förhållanden. Resultaten från dessa modeller sätter de ursprungliga grundvattennivåerna för alla andra scenarier och står som grund för jämförelse gällande påverkan av blivande infrastruktur. Grundvattennivåerna i basmodeller har inte kalibrerats mot uppmätta nivåer, de har dock jämförts och approximerats utifrån observationer.

Många olika beräkningsfall, eller scenarier, har testats för samtliga modeller. Olika varianter gällande hydrauliska parametrar, grundvattenbildning eller form av konstruktionsdelar har testats under modellernas uppbyggnad för att kontrollera, säkerställa och kalibrera dem till att ha önskad effekt i alla delar. Nedan visas de viktigaste beräkningsfallen för att visa på hur olika infrastruktur och olika osäkerheter påverkar resultaten.

En modells vattenbalans är viktig för att kontrollera att systemet konvergerar, är stabilt och korrekt, samt att stationära förhållanden har uppnåtts. Som mått på att detta uppfylls accepteras normalt att avvikelser mellan vad som flödar in och ut ur modellen, eller diskrepansen, är mindre än 1 % (Anderson & Woessner, 1992).

Resultat redovisas i form av inläckage och omgivningspåverkan i form av trycknivåsänkning till följd av eller under konstruktion. Avsänkningarna beräknades genom att jämföra simulerade grundvattennivåer från basmodellen med simulerade grundvattennivåer för varje scenario. Resultaten extraherades efter att modellerna nått stationära förhållanden, det vill säga att simulerade flöden och grundvattennivåer stabiliserats. Avsänkningen visas som en trycknivåminskning i respektive modellager som motsvarar till exempel friktionsjord, berg på tunnelnivå och så vidare.

### 2.1.4 Antaganden

Alla modeller är förenklingar av verkligheten. För att skapa en så enkel modell som möjligt som ger de svar som efterfrågas krävs att antaganden och förenklingar görs och vissa osäkerheter måste accepteras. För modellerna till denna utredning har följande förenklingar och antaganden utförts:

- Alla modellager antas vara homogena med avseende på hydrauliska parametrar.
- För stora delar av modellen har antaganden kring jordlagerföljd gjorts utifrån jordartskartan samt sonderingar och andra undersökningar i områden, se också kapitel 2.1.1.



- Geologiska strukturer såsom sprickzoner har inte implementerats om inte annat särskilt anges. De har dock beaktats vid ansättning av de hydrauliska parametrarna i berg.
- Djupavtagandet har inte beaktats och implementerats för normalberg, vilket gör att inläckage till djupt liggande tunnlar kan överskattas.
- Underjordiska konstruktioner såsom garage, rör, drän och tunnlar har inte beaktats om inte annat särskilt anges.
- Alla parametrar och randvillkor såsom ytvattennivå och grundvattenbildning antas vara stationära, det vill säga ingen hänsyn till förändringar på grund av årstider har tagits om inte annat särskilt anges.
- Ostörda grundvattennivåer för områden har approximerats utifrån observationer och antaganden.

Även med den stora mängden av data som finns tillgängligt så finns det osäkerheter och resultaten som extraheras från modellerna har en viss felmarginal.

Skillnader mellan avsänkingsavstånd och inläckage för numeriska och analytiska beräkningar kan förekomma på grund av skillnader i stationernas dimensioner som använts för beräkningarna. Detta beror på att de numeriska modellerna upprättades successivt och stationerna baserades på anläggningsplaner som var tillgängliga när modellerna upprättades. Dessa planer har sedan ändrats flera gånger men skillnaderna bedömdes inte vara så stora att uppdatering av modellerna hade bedömts vara nödvändig.

Modellresultaten är konservativa. Grundvattenbildningen till det undre magasinet i modellen är lägre jämfört med verkligheten då ränderna där grundvattenbildningen kan ske, alltså morän i dagen, är underrepresenterade i modellen på grund av begränsningar i modelleringen såsom diskretisering och parametrering. Till följd av detta kan påverkan på grundvattennivåer vara överskattad.

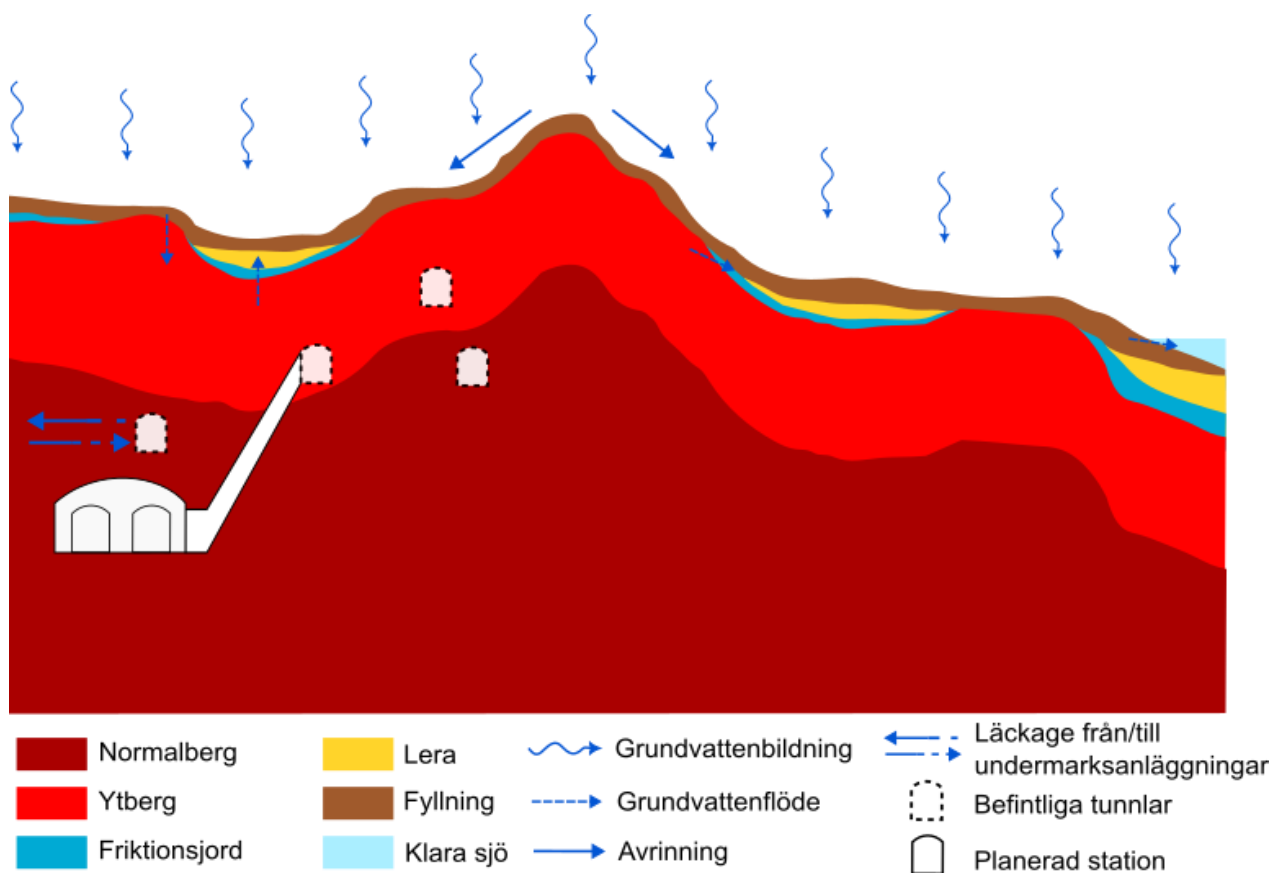
## 2.2 Fridhemsplan

### 2.2.1 Konceptuell modell

Stationen ska ligga på Kungsholmen i bebyggd stadsmiljö. Det antogs därför att markytan är täckt av hårdgjorda ytor och större delen av grundvattenbildningen är begränsad till gröna ytor såsom Kronobergsparken och Rålambshovsparken.

Stationen och tunnlar ska utföras cirka 55 – 60 meter under markytan. Berggrunden är marknära i största delen av området och jordlagren ovan stationen är tunna med endast några meters mäktighet som mest består av fyllning.

Grundvattenströmningen i modellen bestäms förutom av var grundvattenbildning och dränering sker även av den inlagda marktopografien som genererar en gravitativ strömning från höjdpunkter ned mot omgivande ytvatten. Vid den planerade stationen är grundvattenförhållandena i berggrunden starkt påverkade av befintlig tunnelbana och andra undermarksanläggningar.



Figur 2. Den konceptuella modellen som har tagits fram för modellen i Fridhemsplan. Tvärsektionen togs från grundvattenmodellen och är modifierad, den sträcker sig från väster om stationen mot öster till Klara sjö.

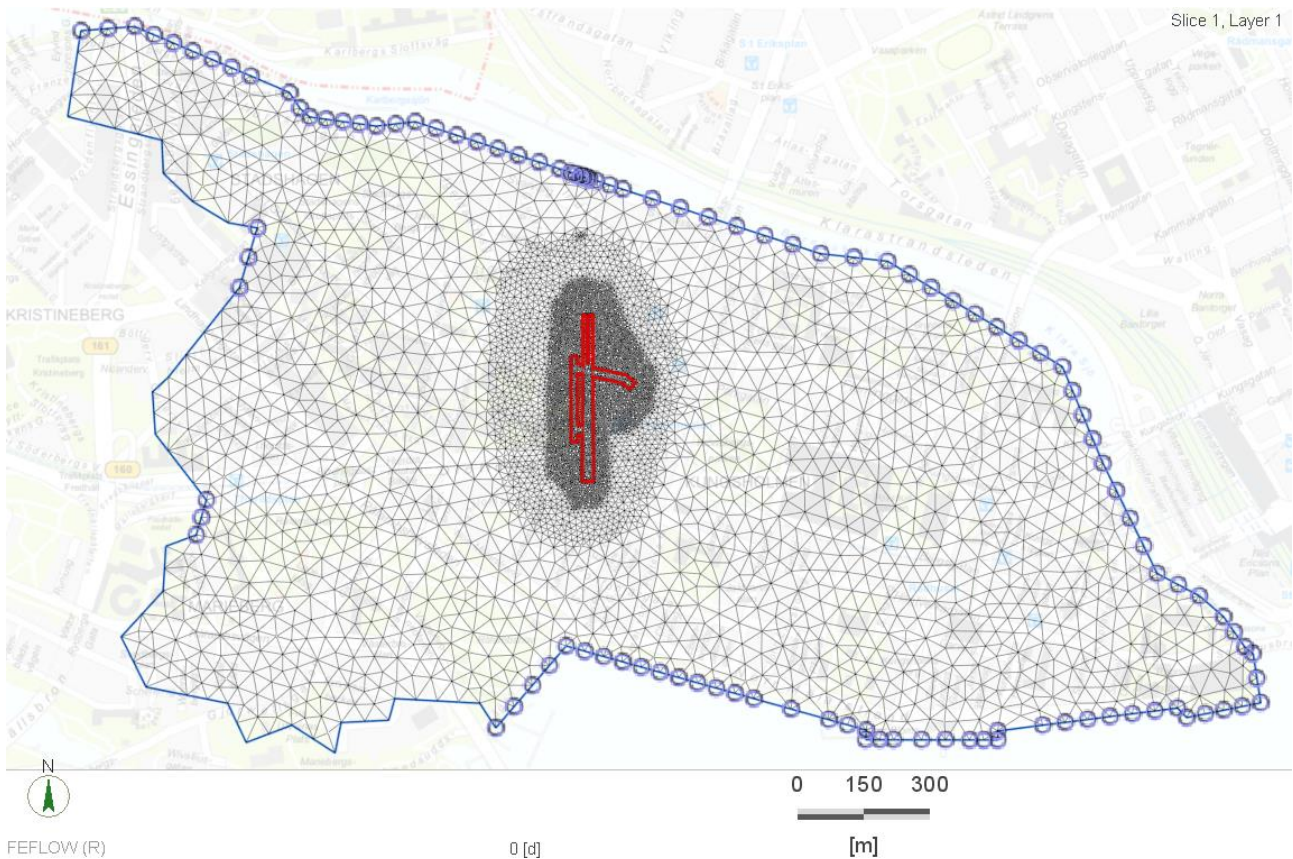
## 2.2.2 Modellområde och parametrering

Modellen som har skapats för Fridhemsplan är platsspecifik. Modellområdet är 2,59 km<sup>2</sup> stort och avgränsas av Riddarfjärden i söder, av Klarasjön, Barnhusviken och Karlbergssjön i nordost och norr respektive. Modellområdesgränser i väst bestämdes utifrån naturliga avrinningsområdesgränser.

Höjden varierar mellan 0 och +47 meter över havet, med de lägsta punkterna vid stränderna och de högsta i Stadshagen och Kronobergsparken.

Modellens triangulära beräkningsnät som redovisas i Figur 3 byggdes så att varje lager ska innehålla 11 000 beräkningspunkter (noder) och drygt 23 000 celler. Beräkningsnätet består av 32 lager och 33 ytor (så kallade slices) och totala antalet noder uppgår till 377 000. Beräkningsnätet förfinades kring stationen för bättre beräkningskvalitet. Befintliga tunnlar vid Fridhemsplan, tunnelbana och ledningstunnlar, har också implementerats i beräkningsnätet men visas inte, bland annat av sekretesskäl.

Djupet på modellen är 200 meter under markytan för att säkerställa att påverkan från stationen inte når botten av modellen.



Figur 3. Planvy av modellområdet för station Fridhemsplan med implementerade linjer (framtidiga stationen, röd) och Hydraulic-Head randvillkor (lila ringrar) som motsvarar randvillkoret som sattes till ytvattennivån. Ränder utan någon symbol representerar no-flow gränser.

### 2.2.3 Randvillkor

*1st kind (Dirichlet) flow* randvillkor ("Hydraulic-Head Boundary Condition/BC") ansattes till kanterna med strand på +0,12 meter som är medelvattenstånd för Saltsjön, se Figur 3. Inga andra vattendrag finns.

*Hydraulic-Head BC* har också ansatts till gränsen vid Lindhagensgatan och Drottningvägen enligt uppmätta grundvattennivåer i observationspunkter.

Grundvattenbildningen sattes till 120 mm/år i markytan med hjälp av *In/outflow on top/bottom (Inflow on top* i detta fall). *Inflow on top* ansatts till cellerna i det översta lagret i modellen och fungerar som "recharge". Modellen har inställts på så sätt att avrinningen, det vill säga överskottet på markytan tas bort automatiskt via *Hydraulic-Head BC*.

### 2.2.4 Basmodell och scenarier

Basmodellen för Fridhemsplansmodellen är såsom beskrivs i avsnitt 2.2.1, 2.2.2 och 2.2.3.

Två olika scenarier har tagits fram för Fridhemsplansmodellen. Scenario 1 representerar den nya tunnelbanestationens påverkan i omgivningen med implementerad station och uppgång till befintlig station, de befintliga tunnlarna har dock inte implementerats i Scenario 1.

Stationsdelar som implementerades i modellen är uppställningsspåren, plattformsutrymmet, tekniktunneln och tvärtunnlarna, växelparti samt uppgång till befintlig station. Uppställningsspåren är 105 meter långa, plattformsutrymmet och tekniktunneln är 265 respektive 190 meter långa, respektive. Samtliga konstruktionsdelar har samma position i modellen som i verkligheten fast de implementerades i förenklad form. Stationen och uppgången har implementerats som "luft" gällande hydrauliska parametrar i beräkningsnätets celler, och injekteringen ansattes till omgivande celler.

Avvattningen sker genom *Hydraulic-Head BC* som sattes till utkanterna av celler som representerar plattformsrums och uppgång till befintlig station, till atmosfärstryck med en maximal flödesbegränsning på 0 m<sup>3</sup>/d (så kallad "Seepage Face").

Basen för Scenario 2 är Scenario 1 med tillägg av påverkan från befintliga tunnlar. Avvattningen från tunnarna har implementerats med hjälp av *Hydraulic-Head BC* som sattes till respektive nivå i tunnarna med en maximal flödesbegränsning på 0 m<sup>3</sup>/d.

## 2.2.5 Resultat

### 2.2.5.1 Vattenbalans

Vattenbalansen för basmodellen visar att diskrepansen blev 0,2% som tyder på en mycket stabil modell, se Tabell 3.

Tabell 3. Vattenbalans i basmodellen för Fridhemsplansmodellen. Dirichlet motsvarar Hydraulic-Head, Distributed sink/source är grundvattenbildningen, medan Storage Capture/release tyder på en intern utbyte av vatten mellan olika material. Imbalansen är skillnaden mellan ut- och inflöde i modelldomänen.

Parametrar	Ut (l/min)	In (l/min)
<i>Dirichlet BCs</i>	654,1	61,2
<i>Distributed Sink/Source</i>		592,0
<i>Storage Capture/release</i>	11,4	10,6
Imbalans	1,7	
<i>Diskrepans</i>	0,2%	

### 2.2.5.2 Grundvattentrycknivåer

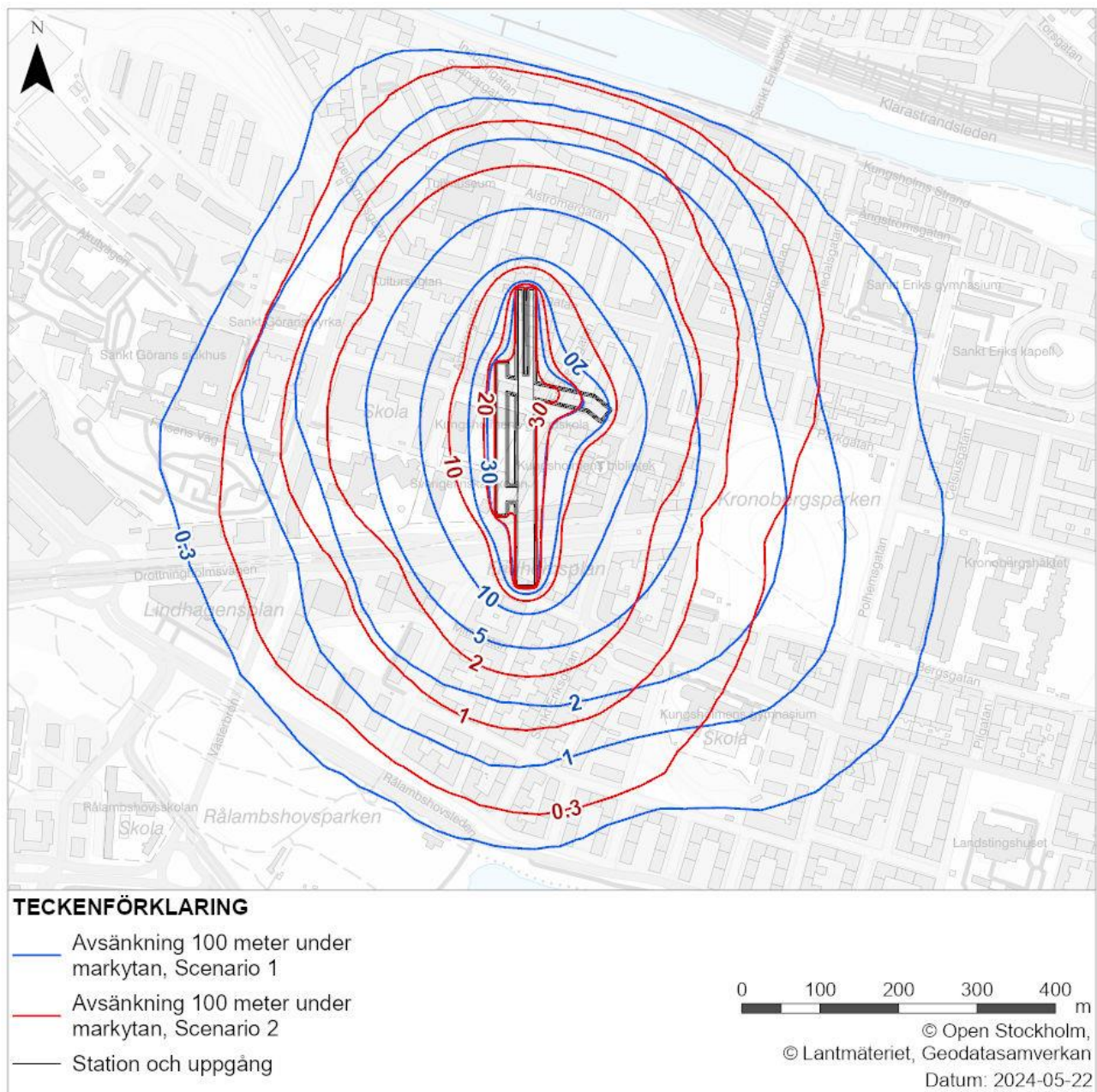
Resultaten från både Scenario 1 och 2 redovisas i Tabell 4 och Figur 4.

Påverkansavståndet på 1 meter, 100 meter under markytan är runt 240 meter åt norr och syd, och sträcker sig 350 och 430 meter mot väster respektive öster i Scenario 1. Samma påverkansavstånd i Scenario 2 är 20% mindre i genomsnitt, och är 70% mindre mot öster. Inläckaget minskar med drygt 30% med implementering av befintliga tunnlar.

Tabell 4. Inläckage från station Fridhemsplan i framtagna scenarier.

Scenario	Inläckage (l/min)
<i>Scenario 1</i> (station, servicetunnel och uppgång)	76
<i>Scenario 2</i> (station, uppgång, servicetunnel och befintliga tunnlar)	59





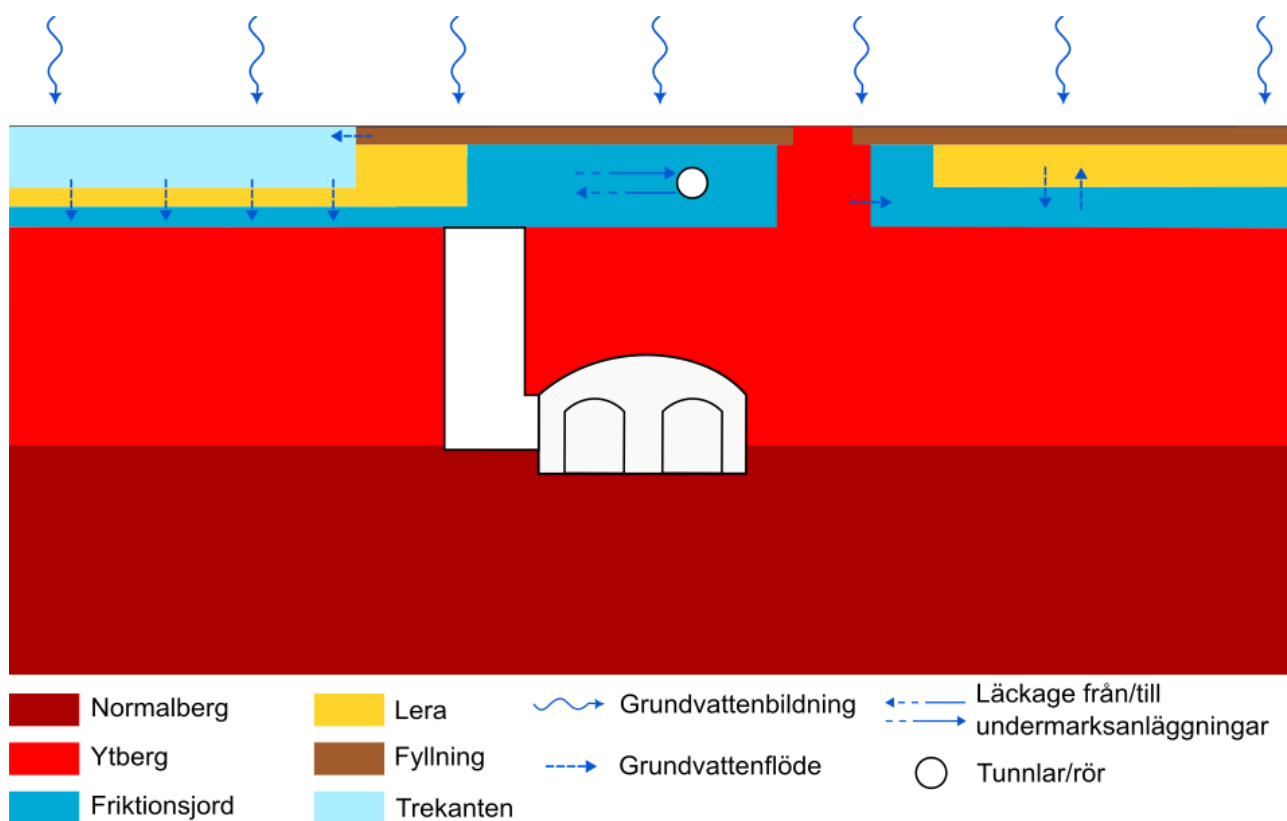
Figur 4. Avsänkningar i meter i Fridhemsplansmodellen Scenario 1 och 2 samt stationens läge.

## 2.3 Liljeholmen

### 2.3.1 Konceptuell modell

Stationen kommer att vara belägen vid Liljeholmstorget där mäktigheten för jordlagren uppgår till maximalt 16 meter, med ett medel på 7 meter och består mestadels av lera som underlagras av friktionsjord. Frikktionsjorden finns också runt berg i dagen och en bra kontakt antas finnas mellan friktionsjordslagren. Fyllning täcker hela markytan förutom där det finns berg i dagen.

Området avgränsas av Liljeholmsviken från norr till öster. Denna gräns agerar i sin tur som utlopp för grundvattnet som rinner från högre mark från områdets västra del. Sjön Trekanten som ligger cirka 100 meter väster om framtida stationen antas bidra med vatten till stationen i form av läckage.



Figur 5. Konceptualiseringen av hydrogeologiska förhållandena i Liljeholmsområdet. Tvärsektionen är schematisk.

### 2.3.2 Modellområde och parametrisering

Modellen för station Liljeholmen är en boxmodell. Modellen är platsspecifik när det gäller modellgränser och stationens läge och den är uppbyggt av rektangulära celler som förfinades nära intresseområdet, se Figur 6. Topografi har dock inte implementerats i modellen.

Modellområdet är 2,38 km<sup>2</sup> stort och avgränsas av Liljeholmsviken och Årstaviken i norr och nordost. Gränserna i väst och syd följer avrinningsområdesgränser och misstänkta grundvattendelare.

Beräkningsnätet skapades så att varje lager ska innehålla 15 000 beräkningspunkter (noder) och element, modellen är uppdelad i 23 lager som avgränsas av 24 ytor. Totalt uppgår antalet noder till 370 000.

Modellens marknivå ligger på +7 meter och gränserna mellan geologiska enheter, samt stationen har lagts in relativt till denna nivå. Djupet på modellen är 200 meter under markytan för att säkerställa att påverkan från stationen inte ska nå botten av modellen.





Figur 6. Plan vy av Liljeholmsmodellen. Fluid-transfer Boundary Condition (gröna ringar) representerar Trekanten, Hydraulic-Head Boundary Condition (lila ringar) sattes vid Årsta- och Liljeholmsviken. Stationen ligger i området för finat beräkningsnät.

### 2.3.3 Randvillkor

*Hydraulic-Head BC* sattes längst stranden vid Liljeholms- och Årstaviken till en meter under markytan.

Trekanten representerades med hjälp av *3rd kind (Cauchy) flow* randvillkor ("Fluid-transfer Boundary Condition"). Nivån i sjön sattes till 0,5 meter under markytan, till +6,5 meter med 0 m<sup>3</sup>/d maximal flödesbegränsning, det vill säga att vattenytan i sjön hålls på denna nivå och om den skulle överstigas så tas allt extra vatten bort från modellen.

Grundvattenbildningen antogs vara 165 mm/år som togs fram från vattenbalansberäkningarna som redovisas i PM Hydrogeologi, men påverkan av befintliga tunnlar har inte tagits hänsyn till. Grundvattenbildning ansattes som *Inflow on top* till modellens markyta.

### 2.3.4 Basmodell och scenarier

Basmodellen för Liljeholmsmodellen är såsom beskrivs i avsnitt 2.3.1, 2.3.2 och 2.3.3.

Stationsmodellen representerar förhållanden under drifttiden. Stationsdelar som implementerats i modellen är plattformsutrymmet, vertikalschakt och fläkt tunnlar norr och söder om plattformen. Tekniktunneln har inte implementerats. Plattformrummet är 100 meter lång, fläkt tunnarna före och efter stationen är båda 70 meter långa. Infrastruktur som är i modellen har samma struktur som i verkligheten fast den förenklades och anpassades till beräkningsnätet. Schaktet i jordlagren ovanpå vertikalschaktet antogs vara tät och ansattes som betong och på detta sätt har läckage från jordlagren exkluderats.

Bergschaktet och tunnlarna har representerats som luft och sattes till beräkningsnätets celler med hög hydraulisk konduktivitet (1 m/s). Injekteringen har lagts in på samma sätt, med hydrauliska parametrar beskrivna i Tabell 2. Avvattningen implementerades med hjälp av *Seepage Faces* som sattes till tunnelkontur.

För stationsmodellen har det byggts 3 olika scenarier, grunden för dessa är basmodellen. För Scenario 1 har både vertikalschaktet och tunnlarna implementerats. I Scenario 2 och 3 har endast vertikalschaktet respektive tunnlarna lagts in, se Tabell 5.

Tabell 5. Scenarierna som har tagits fram för Liljeholmsmodellen. X märker vilken enhet implementerats i scenariot.

Scenario	Plattformsrum och fläkt tunnlar	Vertikalschakt
Scenario 1	X	X
Scenario 2		X
Scenario 3	X	

## 2.3.5 Resultat

### 2.3.5.1 Vattenbalans

Vattenbalansen för basmodellen visar att avvikelserna är mindre än 1% som tyder på en mycket stabil modell, se Tabell 6.

Tabell 6. Vattenbalans för basmodellen i Liljeholmen. Cauchy BC motsvarar Fluid-Transfer randvillkoret.

Parametrar	Ut (l/min)	In (l/min)
Dirichlet BCs	597,2	0,01
Cauchy BCs	115,1	
Distributed Sink/Source		671,0
Storage Capture/release	0,003	42,5
Imbalans		1,2
Diskrepans		0,17%

### 2.3.5.2 Grundvattentrycknivåer

Resultaten från samtliga scenarier presenteras i Tabell 7, Figur 7 och Figur 8.

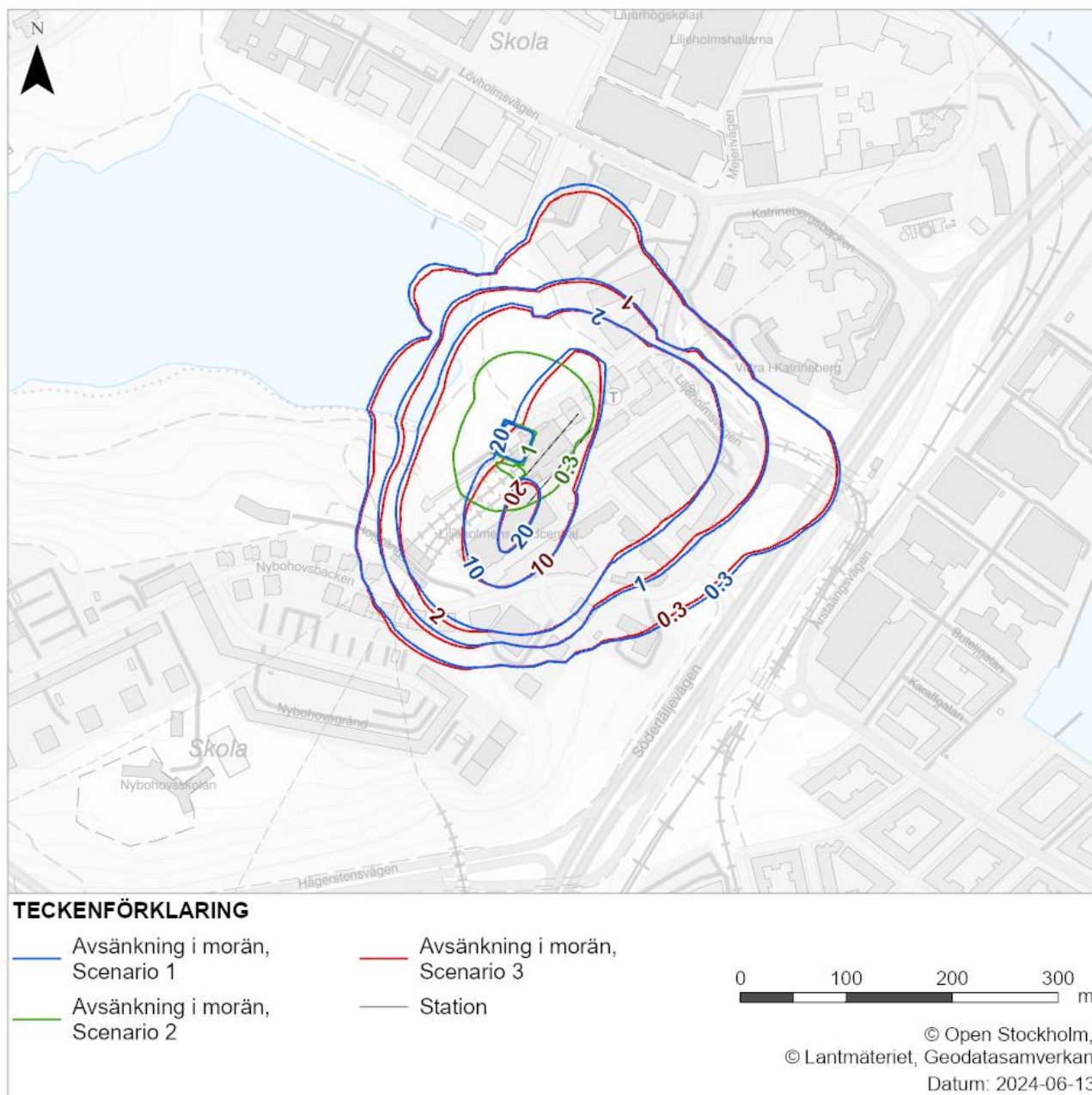
Grundvattennivåavsänkningen i Scenario 1 och 3 sträcker sig generellt 80 – 150 och maximalt 240 meter ut i morän, med största utsträckningen mot öst och minsta mot syd-sydväst. Påverkansavståndet är 70 meter som störts i Scenario 2. Avsänkning på 1 meter, djupt i berget sträcker sig 250 meter från stationen för Scenario 1 och 3, högsta avsänkningen för Scenario 2 är 0,5 meter.

Inläckagen är lika stora för Scenario 1 och 3 och minskar med 84% om det är endast vertikalschaktet som implementeras i modellen. Resultaten tyder på att avvattning i tunnlarna ger en mycket större effekt djupt i normalberget än vertikalschaktet.

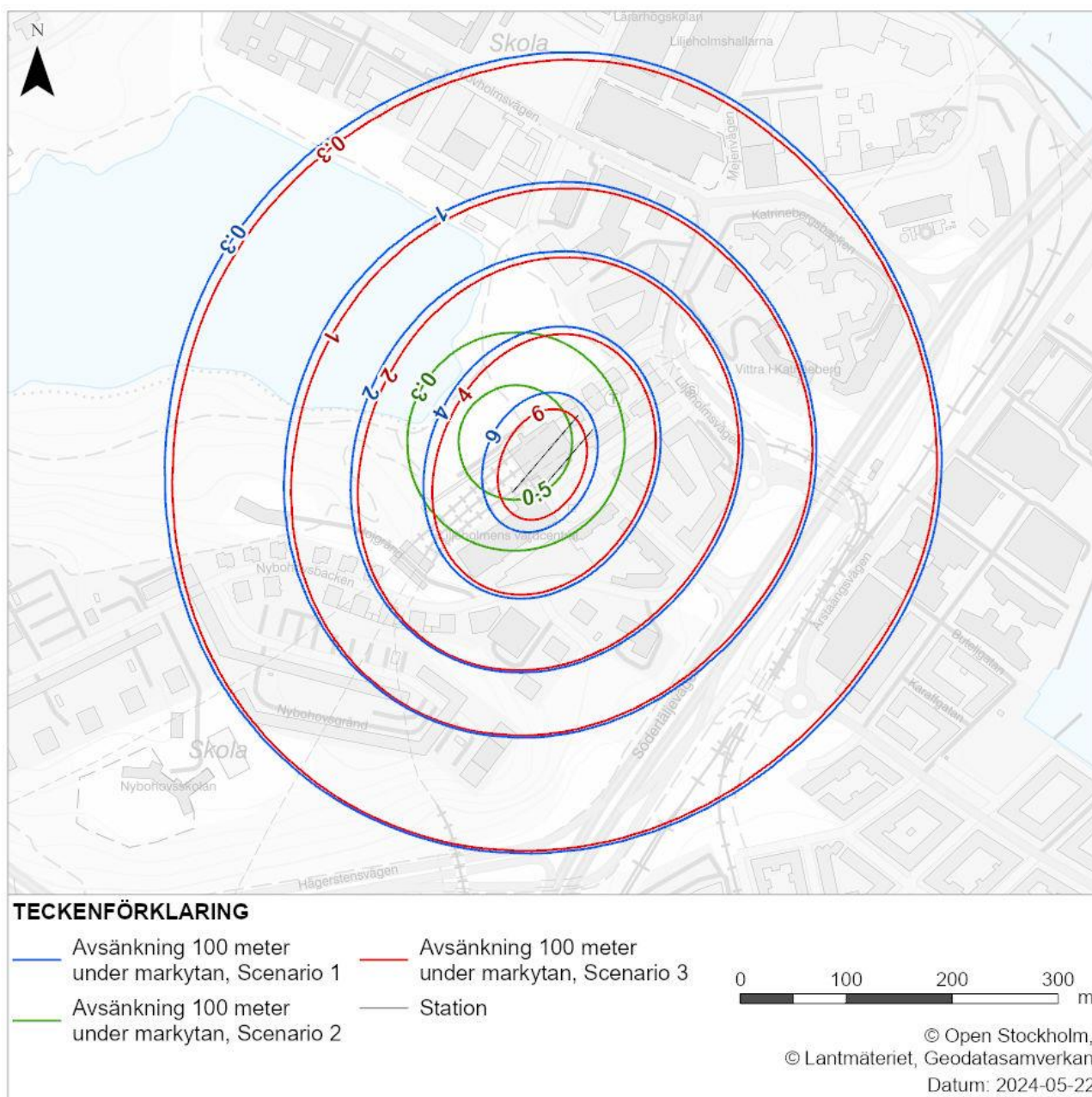


Tabell 7. Inläckage till station Liljeholmen i alla scenarier.

Scenario	Inläckage (l/min)
Scenario 1 (schakt och tunnlar)	56
Scenario 2 (endast vertikalschakt)	9
Scenario 3 (endast tunnlar)	53



Figur 7. Avsänkingskurvor i meter i morän för Scenario 1 – 3.



Figur 8. Avsänkingskurvor 100 meter under markytan (meter) från Scenario 1 – 3.

## 2.4 Årstaberg-Årstafältet-Östbergahöjden

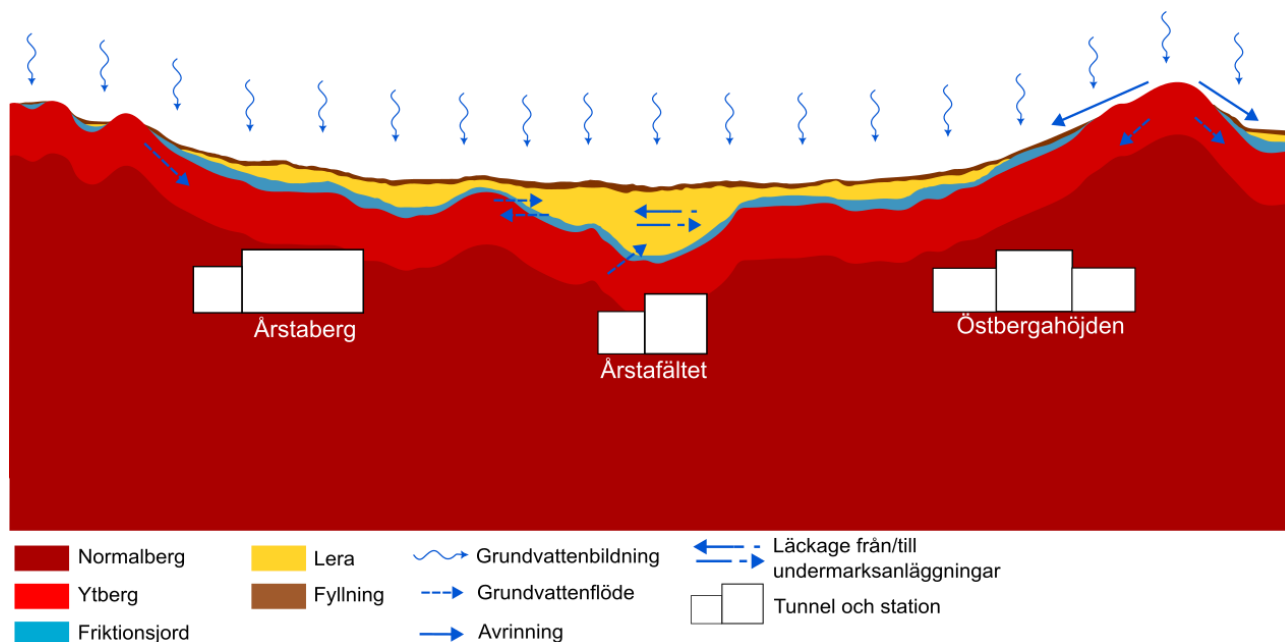
### 2.4.1 Konceptuell modell

Numeriska beräkningar för stationer Årstaberg, Årstafältet och Östbergahöjden har slagits samman till en och samma grundvattenmodell samt konceptuell modell, se Figur 9. Detta på grund av att stationerna ligger relativt nära varandra och tillhör samma avrinningsområde, det vill säga dessa stationer ska påverka grundvattenströmningar i samma system.

Jordmaktigheten ovanför stationerna varierar kraftigt inom modellområdet. Jord är mäktigast ovanför Årstafältets stationsläge, med en lertjocklek på 20 meter och maximal jordtjocklek på cirka 25 meter. Själva stationen ligger cirka 25 – 30 meter under bergöverkant. Ovanför Årstabergs stationsläge är jordtjockleken cirka 7 – 8 meter och består mestadels av lera. Stationen kommer att anläggas ungefär 30 meter under bergöverkant. Jordlagren är tunnast ovanför Östbergahöjdens stationsläge med bara

några meter lera och friktionsjord. Stationen kommer att ligga mellan 45 och 65 meter under bergöverytan. Fyllning täcker hela markytan förutom där det finns berg i dagen.

De västra och nordöstra delarna av området har de högsta punkterna. Gränsen till området i norr är Årstaviken som fungerar som utlopp för avrinning. Till följd av dessa antas att grundvattenflödet i jordlagren generellt sker från Enskede och Västberga mot Årstaviken.



Figur 9. Konceptualiseringen av hydrogeologiska förhållanden i Årsta och Östberga. Tvärsektionen är schematisk och följer spårtunneln från Årstaberg i norr (vänster) till Östbergahöjden i söder (höger).

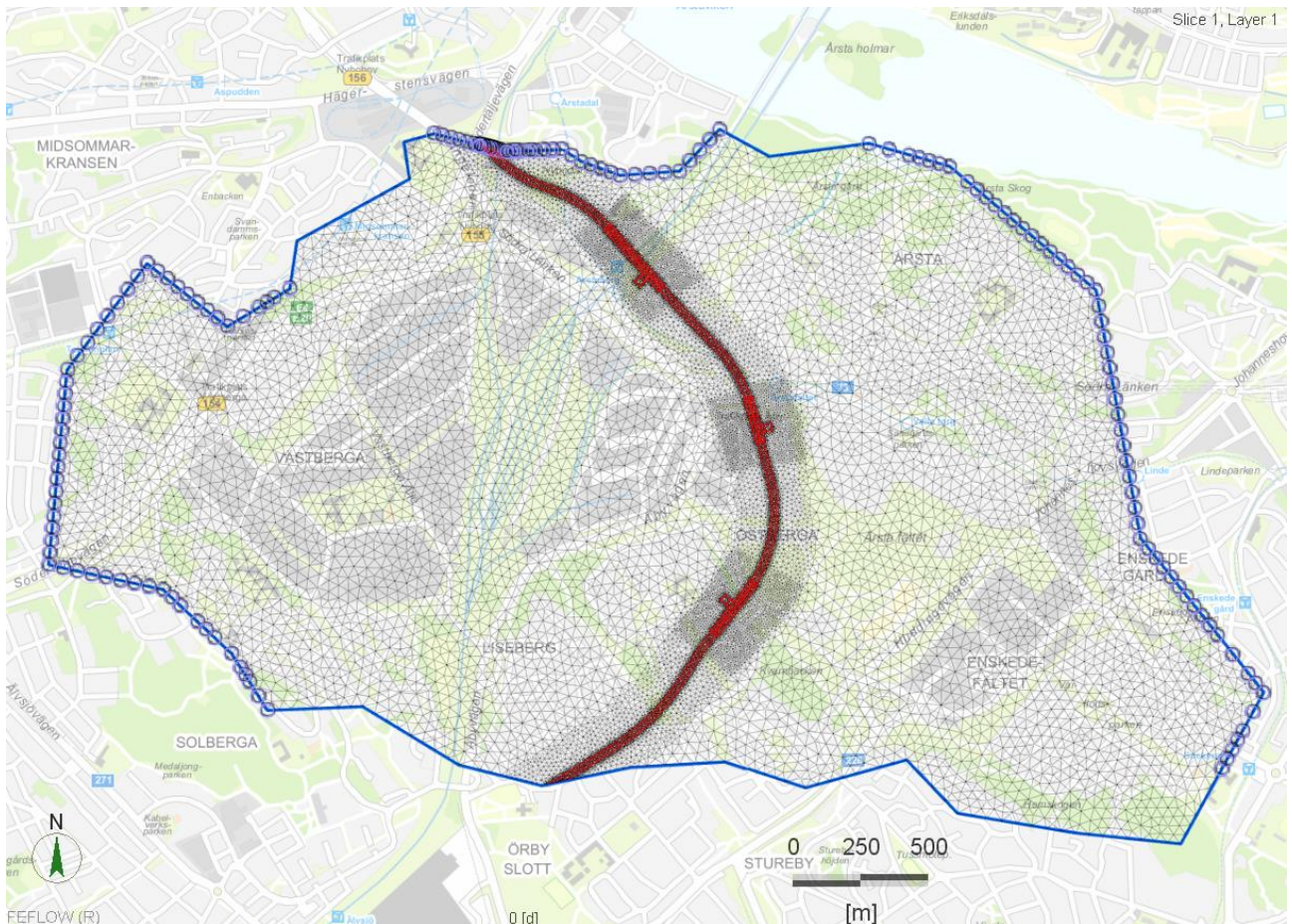
## 2.4.2 Modellområde och parametrering

Modellgränsen för Årstaberg-Årstafältet-Östbergahöjden modellen följer gränsen till det naturliga avrinningsområdet för det mesta. Området avgränsas av Sockenplan och Enskede gård i öst, Årstadal i norr, Telefonplan i väst, se också Figur 10. Modellområdet utökades över avrinningsområdesgränsen i syd-sydväst för att säkerställa att det finns gott om avstånd och påverkan från Östbergahöjden inte ska nå områdesgränsen. Modellområdet är 8,19 km<sup>2</sup> stort.

Topografin varierar mellan +0,5 meter i norr vid Årstaviken till +55 meter i öst. De högsta punkterna i modellen finns längst modellranden.

Beräkningsnätet består av 1,1 miljoner noder uppdelat i 33 ytor, eller 2,1 miljoner celler uppdelat i 32 lager (drygt 34 000 noder och 67 000 element per lager).





Figur 10. Plan vy av framtagna modellen för Årstaberg, Årstafältet och Östbergahöjden, implementerade linjer (röda) och Hydraulic-Head Boundary condition (lila ringrar). Gränserna är täta där det inte sattes något randvillkor.

### 2.4.3 Randvillkor

*Hydraulic-Head BC* ansattes till östra, norra och västra sidan av modellen. Vid Årstaviken har randvillkoret ansatts till +0,15 meter (medelnivå i Mälaren), i områden med lägre och högre höjdpunkter 1 respektive 2 meter under markytan. Inga större vattendrag fanns att implementera i modellen.

Grundvattenbildningen i området ansattes till 120 mm/år via *Inflow on top*.

### 2.4.4 Basmodell och scenarier

Basmodellen är som den beskrivs i avsnitt 2.4.1, 2.4.2 och 2.4.3.

För stationsmodellen har det byggts ett scenario för att modellera stationernas påverkan. Detta scenario byggdes baserat på basmodellen med tillägg av stationerna. Stationsdelar innefattar plattformsutrymmen, de vertikala schakten och tunnarna innan och efter plattformen. Starttunnel för Årstaberg är 25 meter lång. Fläkttunnlarnas längd för Årstafältet och Östbergahöjden är 70 meter. Plattformrummet är 270 meter lång för Årstaberg, och 95 meter för Årstafältet och Östbergahöjden. Samtliga infrastrukturer har samma position som i verkligheten fast de implementerades i förenklad form.

Själva schakten och tunnarna har lagts in som "luftceller" som är omgivna av celler injekteringsceller". Avvattningen skedde med hjälp av *Seepage Face* som sattes i noderna på kanterna mellan luft och injektering.

## 2.4.5 Resultat

### 2.4.5.1 Vattenbalans

Vattenbalansen för basmodellen som redovisas i Tabell 8 visar att avvikelsen mellan ut- och inflöden i modellen är 0,02% som tyder på en mycket stabil modell.

Tabell 8. Vattenbalans för Årstaberget-Årstafältet-Östberghöjden modellen

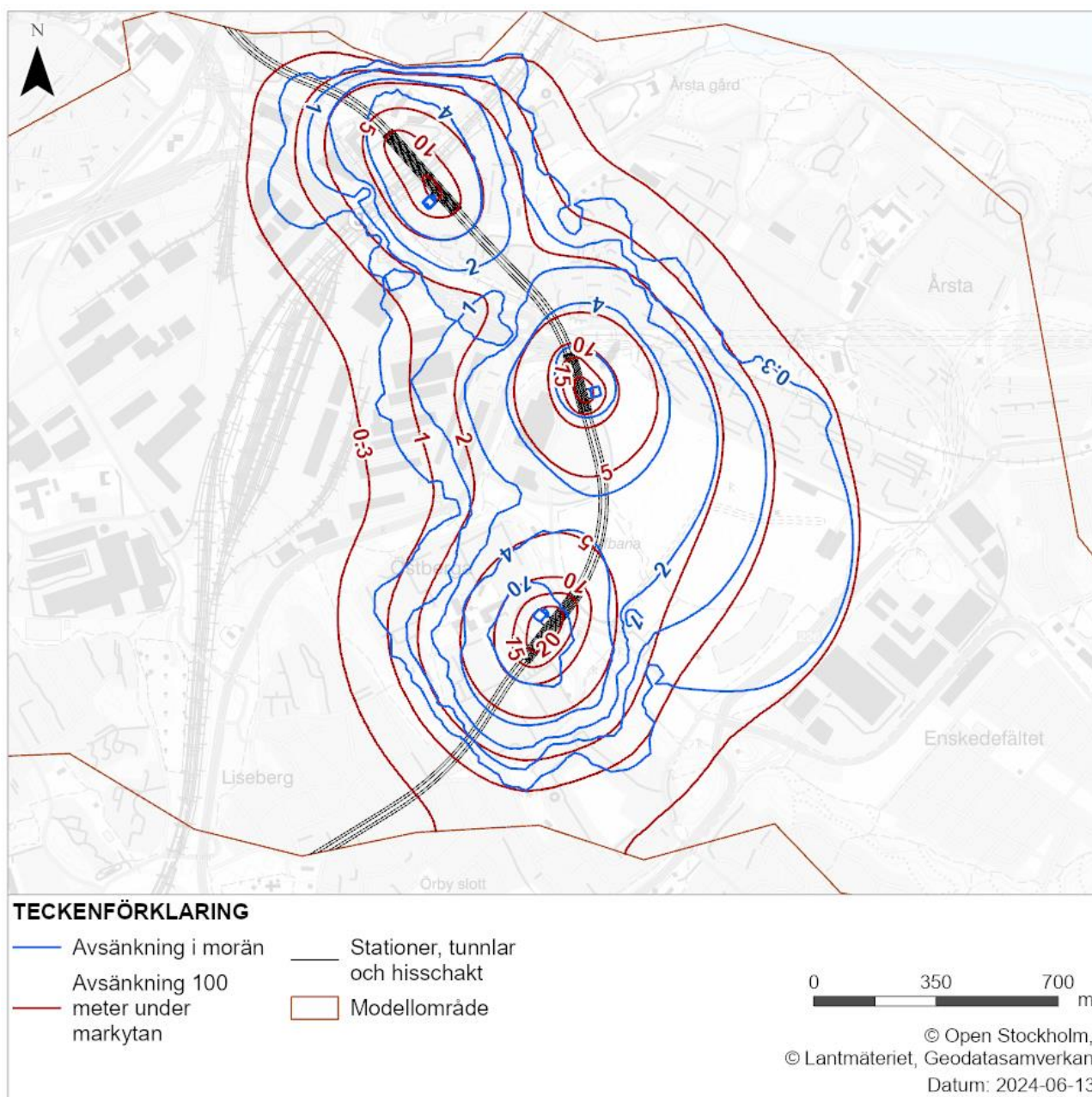
Parametrar	Ut (l/min)	In (l/min)
<i>Dirichlet BCs</i>	2219,4	285,6
<i>Distributed Sink/Source</i>		1869,4
<i>Storage Capture/release</i>	420,3	485,1
Imbalans		0,4
Diskrepans		0,02%

### 2.4.5.2 Grundvattentrycknivåer

Resultaten från stationsmodellen redovisas i Tabell 9 och Figur 11. Påverkansavståndet på 0,3 meter varierar mellan 270 och 700 meter med ett medel på 400 meter i friktionsjorden. 1 meters avsänkning 100 meter under markytan sträcker sig generellt 400 meter i alla riktningar förutom väst och norr där påverkansavståndet är 500 respektive 300 meter. Påverkan gällande avstånd och inläckage är minst från Årstaberget och Östberghöjden respektive. Årstafältet orsakar den största störningen i både avstånd och inläckage.

Tabell 9. Inläckage till samtliga stationer inom modellområdet för Årstaberget-Årstafältet-Östberghöjden.

Station	Stationsdelar	Inläckage (l/min)
<i>Årstaberget</i>	Från hisschakt	19
	Från tunnlar	48
	<i>Summa</i>	67
<i>Årstafältet</i>	Från vertikalschakt	20
	Från tunnlar	49
	<i>Summa</i>	69
<i>Östberghöjden</i>	Från vertikalschakt	25
	Från tunnlar	34
	<i>Summa</i>	59



Figur 11. Avsänkningslinjer i morän (blå) och 100 meter under markytan (röd) i meter inom modellområdet för Årstaberget, Årstafältet och Östbergahöjden.

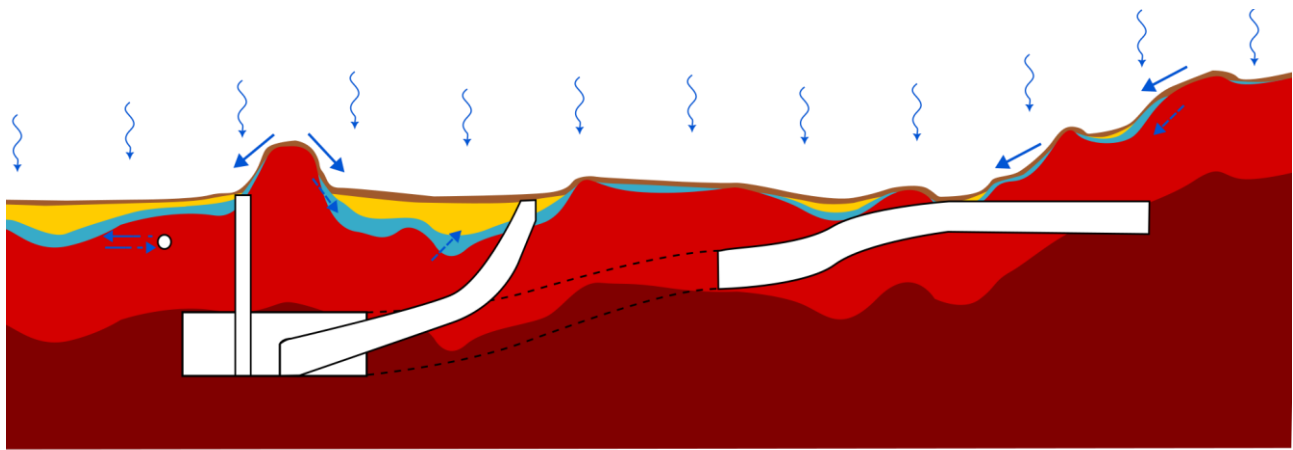
## 2.5 Älvsjö

### 2.5.1 Konceptuell modell

Området runt den planerade tunnelbanestationen består mestadels av bostadsområden samt industriområden. Det präglas av bergshöjder och berget ligger generellt marknära med undantag av området öster om Stockholmsmässan och längst Magelungsvägen där jordmättigheten uppnår till 20 meter. Stationen ska ligga ungefär 20 meter under bergets överkant som täcks av några meters jord. Enligt markundersökningar finns det maximalt 8 meters jord ovanpå depåschaktet. Konceptualiseringen av området redovisas i Figur 12.

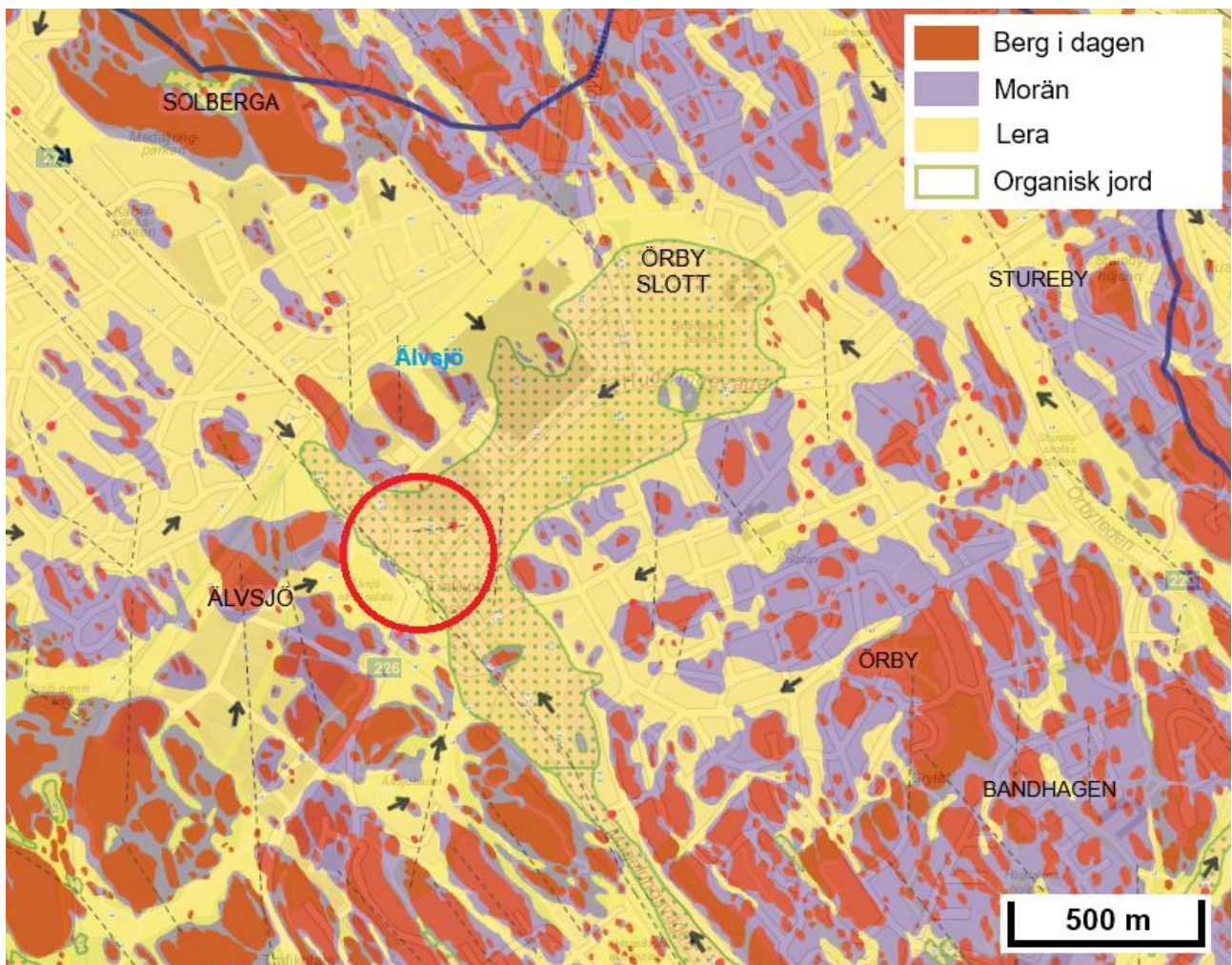
Grundvattennivåerna styrs mest av topografin och är starkt påverkade av undermarksanläggningar. Enligt Grundvattenkartan (Stockholms stads miljöförvaltning, 1996) finns ett dräneringsområde söder om Stockholmsmässan som bidrar till minskade grundvattennivåer, se Figur 13.





- |   |   |                     |   |
|---|---|---------------------|---|
| <span style="display:inline-block; width:15px; height:15px; background-color:darkred; border:1px solid black;"></span> Normalberg | <span style="display:inline-block; width:15px; height:15px; background-color:yellow; border:1px solid black;"></span> Lera    | Grundvattenbildning | Läckage från/till undermarksanläggningar  |
| <span style="display:inline-block; width:15px; height:15px; background-color:red; border:1px solid black;"></span> Ytberg         | <span style="display:inline-block; width:15px; height:15px; background-color:brown; border:1px solid black;"></span> Fyllning | Grundvattenflöde    | <span style="display:inline-block; width:15px; height:15px; background-color:white; border:1px solid black;"></span> Tunnelbanestation, arbetstunnel och depå |
| <span style="display:inline-block; width:15px; height:15px; background-color:cyan; border:1px solid black;"></span> Friktionsjord |   | Avrinning           |   |

Figur 12. Den framtagna konceptuella modellen för Älvsjöområdet. Tvärsektionen är schematisk och är från Stockholmsmässan i nordost (vänstra sida) till Hagsätraskogens naturreservat i sydväst (höger).



Figur 13. Dränering av grundvattnet (röd ring) nära planerade tunnelbanestationen. Hämtad från Grundvattenkartan (1996), Geoteknik.



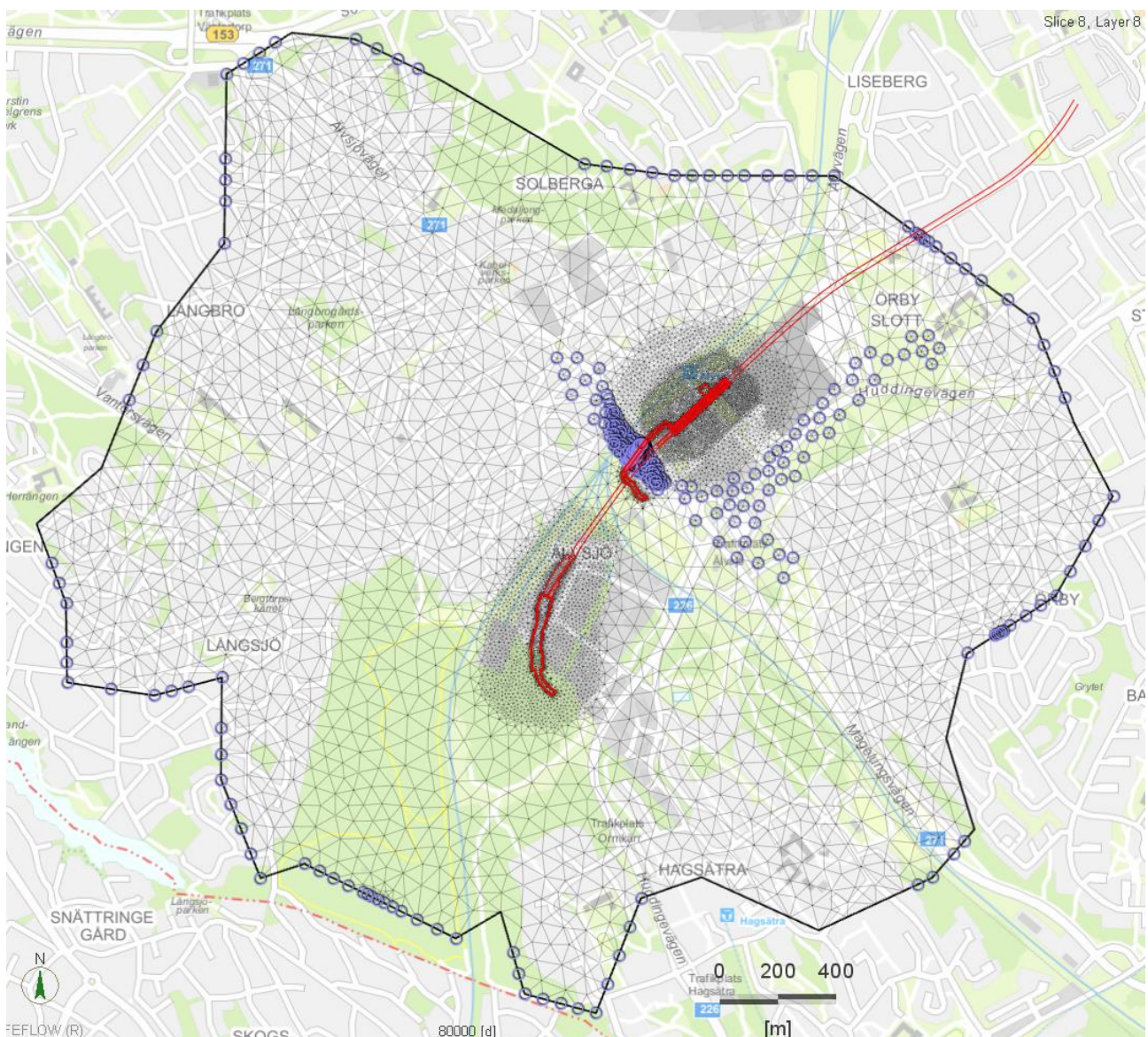
## 2.5.2 Modellområde och parametrering

Modellområdet är 7,74 km<sup>2</sup> stort och avgränsas av Solberga i norr, Örby-Örby slott i ost och Långbro i väst. Modellområdet bestämdes utifrån topografin och misstänkta grundvattendelare. Gränsen i syd följer avrinningsområdesgränsen.

Topografin varierar mellan +19 och +69 meter. De högsta punkterna ligger i den södra delen av modellområdet vid Älvsjöskogens naturreservat och vid modellranden. De lägsta punkterna i modellen ligger nära framtida stationen vid Huddingevägen och längst Magelungsvägen.

Beräkningsnätet skapades så att varje lager ska innehålla 21 000 noder och 42 000 element och det har förfinats kring intresseområden för bättre beräkningsförmåga, se Figur 14. Modellen är uppdelad i 32 lager som avgränsas av 33 ytor. Totalt uppgår antalet noder till drygt 1 350 000.

Djupet på modellen är 200 meter under markytan för att säkerställa att påverkan från stationen inte ska nå botten av modellen.



Figur 14. Planvy av modellområdet för station Älvsjö med implementerade linjer (framtida stationen och depå, röd) och Hydraulic-Head BC randvillkor (lila ringrar).



## 2.5.3 Randvillkor

Randvillkoret *Hydraulic-Head BC* sattes på modellkanter enligt grundvattennivåobservationer på ställen där det finns tillgängliga serier. Det sattes empiriskt på höga och låga punkter där data inte var tillgänglig. Randvillkoren som implementerades visas också i Figur 14.

En dränerande yta har också implementerats söder om Stockholmsmässan enligt Grundvattenkartan, se Figur 13 och Figur 14. Ytan har lagts in via *Hydraulic-Head BC* i friktionsjord med nivåer som hämtades från grundvattenrör inom dräneringsområdet, och till den organiska jordens ungefärliga yta.

Grundvattenbildningen ansattes till 80 mm/år med hjälp av *Inflow on top*.

Det finns inga större vattendrag som implementerats inom det modellerade området.

## 2.5.4 Basmodell och scenarier

Basmodellen är som den beskrivs i tidigare avsnitt.

Det har byggts ett scenario i syfte att undersöka påverkan av stationen och depån under byggtid. Stationsdelar som har implementerats är starttunneln, plattformsrummet och vertikalschaktet. Längden på plattformsrummet är 225 meter, 250 meter sammanlagd med starttunneln. Schaktet nära Varuvägen och startschaktet för TBM är öppna och är ungefär 400 meter långa sammanlagd, bergtunneln är 110 meter lång.

## 2.5.5 Resultat

### 2.5.5.1 Vattenbalans

De initiala hydrauliska parametrarna har justerats så att de representerar platsspecifika förhållanden. Den hydrauliska konduktiviteten för friktionsjord och ytberg har ändrats till  $2 \times 10^{-5}$  och  $5 \times 10^{-8}$  m/s respektive, enligt sonderingar och markundersökningar i omgivningen.

Vattenbalansen för basmodellen visar en avvikelse på mindre än 1% som tyder på en stabil modell, se Tabell 10.

Tabell 10. Vattenbalans för basmodellen.

Parametrar	Ut (l/min)	In (l/min)
<i>Dirichlet BCs</i>	2779,4	1599,9
<i>Distributed Sink/Source</i>		1177,9
<i>Storage Capture/release</i>	6,7	6,5
Imbalans	1,7	
Diskrepans	0,06%	

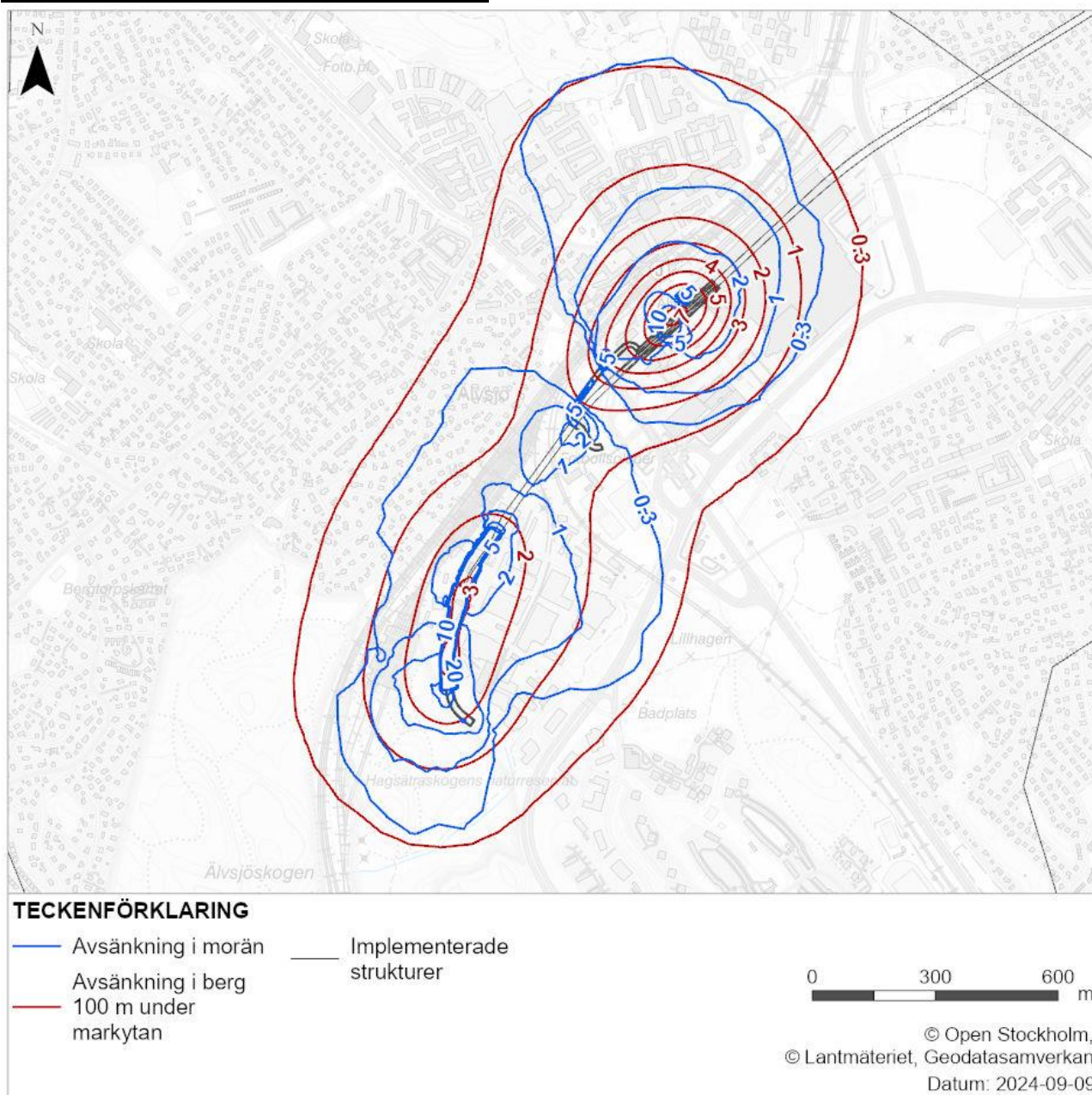
### 2.5.5.2 Grundvattentrycknivåer

Resultaten för stationsmodellen presenteras i form av läckage i Tabell 11 och påverkansavstånd i Figur 15. 0,3 meters påverkansavståndet i morän är som störst runt 600 meter i nordvästriktning från stationen och det är generellt 250 meter i andra riktningar. Avsänkning i morän runt depån är maximalt 420 meter i östriktning, 400 meter i norr-, 200 och 230 meter i väst- och sydriktning respektive.

Avsänkning på 1 meter sträcker sig 270 meter från stationen åt norr, 200 meter åt öster och 350 meter åt nordväst. Påverkan inom depån är 160–260 meter från schakten.

Tabell 11. Inläckage till olika anläggningar i Älvsjömodellen.

Konstruktionsdel	Inläckage (l/min)
Station	44
Arbetstunnel	26
Depå	47



Figur 15. Grundvattennivåavsänkning i meter i morän och 100 meter under markytan för station Älvsjö och depån.

## 2.6 TBM-borrade spårtunnlar

### 2.6.1 Konceptuell modell

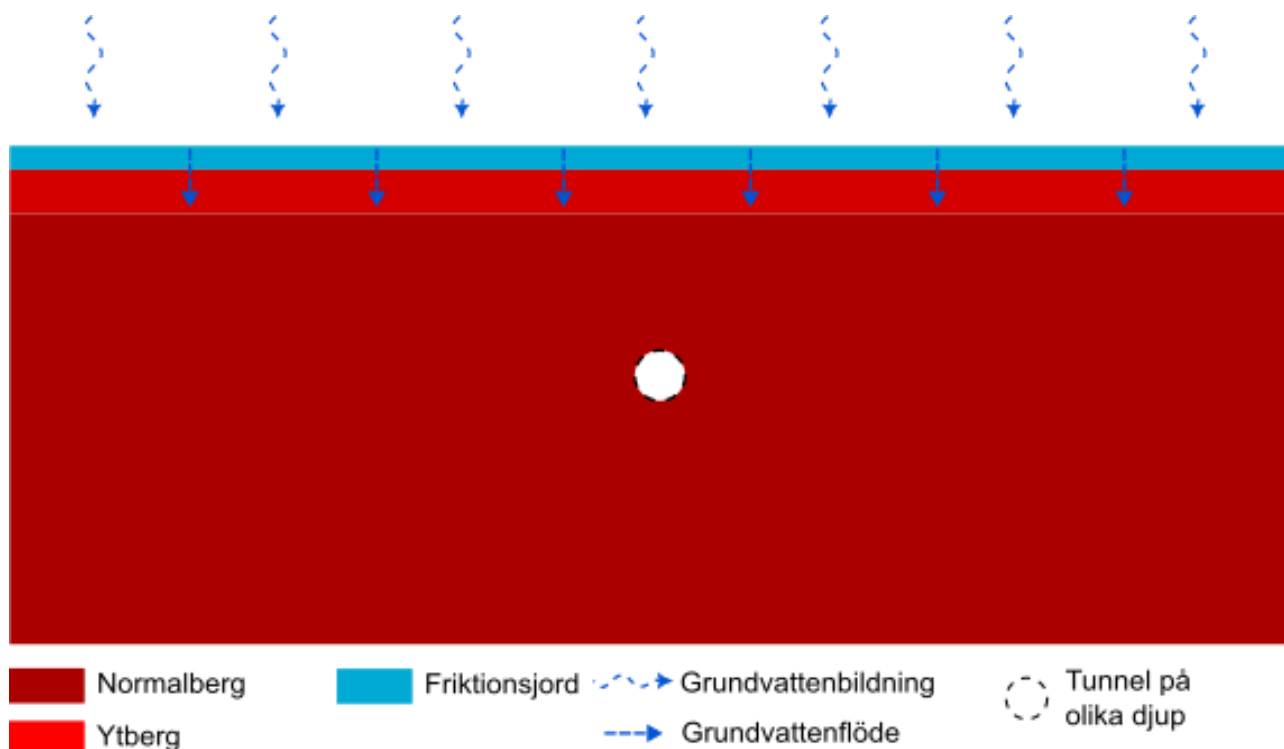
Syftet med denna modell är att undersöka påverkan från den TBM-borrade tunneln under byggtiden, då tunneln och upp till 200 meter bakom är helt eller delvis otätad. Dessutom har ett antaget

inläckage på 2 l/min/100 m modellerats för att undersöka vilken eventuell påverkan som kan uppkomma under drifttiden ifall några av betongliningens skarvar skulle läcka.

Modelluppbyggnaden skiljer från tidigare modeller genom att lerlager och eventuellt överliggande fyllningsjord tagits bort. Det översta lagret med friktionsjord kan anses representera ett undre magasin i de modellscenarior utan grundvattenbildningen under den 90 dagars period som de transienta byggtidsmodellerna omfattar, det vill säga motsvarande en sommarperiod.

För drifttid med antaget inläckage motsvarar modellerna öppna förhållanden eller slutna förhållanden med närliggande grundvattenbildningsområden, det vill säga smalare dalgångar.

Tunneln modelleras på olika djup i berg och på olika sätt beroende på skede, scenarierna beskrivs närmare nedan.



Figur 16. Den konceptuella modellen för tunnelbormaskinsmodellen.

## 2.6.2 Modellområde och parametrering

Modellen som byggdes är en generisk modell. Basen för beräkningsnätet är en 5 km x 3 km stor rektangel. Modellområdet och djupet i modellen bestämdes så att påverkan inte ska nå modellgränserna.

Beräkningsnätet består av drygt 29 000 noder och 57 000 triangulära element per lager och är uppdelat i 46 lager mellan 47 ytor.

Modellen uppdelades i 3 geologiska domäner. Det finns en meters friktionsjord på toppen. Under denna ligger ytberg på tio meter och normalberg ända ner till botten av modellen.

Ingen höjdvariation har implementerats i modellen.

## 2.6.3 Randvillkor

Grundvattenbildningen ansattes till 125 mm/år som *2nd kind (Neumann) flow* randvillkor ("Fluid-Flux Boundary Condition") på toppen av modellen med en maximal nivågräns på 0 meter (markyta). Detta betyder att vatten stoppas in i modellen på 125 mm/år tills grundvattennivån når markytan, sedan stängs randvillkoret av automatiskt.

Alla andra gränser är *no-flow boundaries*, det vill säga de är täta och inget vattenflöde sker genom dem.

## 2.6.4 Basmodell och scenarier

Ingen basmodell har tagits fram för TBM-modellen. De initiala grundvattennivåerna sattes till markytan för att representera helt mättade förhållanden.

Påverkan av tunnel driven med tunnelbormaskin har modellerats under både bygg- och drifttid, egenskaperna för varje scenario redovisas i Tabell 13.

Tunneln för byggtiden implementerades som ett tredimensionellt objekt med hjälp av cellerna i beräkningsnätet som ansattes som "luft". Tunneln var 200 meter lång och hade en diameter på 7 meter. Avvattningen ansattes till noderna på kanten av "luftcellerna" som *Seepage Face* och på så sätt bestäms det automatiskt hur stort flödet behöver vara för att helt avvattna tunneln.

På ena änden av tunneln har ett "plugg" lagts in som motsvarar betonginklädnaden. Ett scenario, som baserades på Scenario B1.1, har körts till stationära förhållanden där grundvattenbildningen ansattes till 100 mm/år. Detta scenario har tagits fram för att undersöka hur konstruktionen skulle påverka omgivningen på lång sikt.

För drifttidscenarierna har tunneln implementerades som *Discrete Edge Feature* från norra till södra modellgränsen för att representera en oändlig tunnel. Konduktiviteten i kanterna ansattes till 1 m/s och arean till 1 m<sup>2</sup> för att representera luft. Avvattningen skedde genom *Well Boundary Condition* som sattes var 100 meter i tunneln. Flödet i brunnarna har lagts in enligt Tabell 13 nedan. Drifttidscenarierna kördes till stationära förhållanden.

Både bygg- och drifttidscenarierna byggdes med tre olika variationer beroende på hur djupt tunneln har borrats. Varje scenario kördes på 60, 45 och 30 meters djup och namngavs i enlighet därmed som variation 1, 2 respektive 3. Till exempel, tunneln i Scenario B1.1 är på 60 meter, B1.2 på 45 meter och så vidare.

## 2.6.5 Resultat

De kalibrerade hydrauliska parametrarna för leran, friktionsjorden och berget presenteras i Tabell 12. Parametrarna har ansatts i boxmodellen innan markundersökningarna utfördes och därför har litteraturvärde använts, de hydrauliska parametrarna representerar generella egenskaper i stället för platsspecifika för de olika hydrogeologiska domänerna.

Tabell 12. Implementerade hydrauliska parametrar för TBM modellen.

Geologisk enhet	Hydraulisk konduktivitet (m/s)	Specifik magasinkoefficient (1/m)
Morän	$1 \times 10^{-5}$	$5 \times 10^{-4}$
Ytberg	$1 \times 10^{-7}$	$5 \times 10^{-5}$
Normalberg	$1 \times 10^{-8}$	$2,5 \times 10^{-5}$

### 2.6.5.1 Grundvattentrycknivåer

Resultat i form av inläckage och påverkansavstånd från TBM-scenarierna redovisas i Tabell 13 för både bygg- och drifttiden. Figur 17 representerar en profil som skär genom tunneln i Scenario D1.1, figuren visar hur påverkansavståndet som står i Tabell 13 är definierad.

Om konduktiviteten i byggtidscenarierna ökas med en tiopotens i det uppspruckna ytberget förändras varken påverkansavståndet eller inläckaget, detta beror på att konduktiviteten som styr storleken av

inläckaget är normalbergets konduktivitet. Däremot om en svaghetszon, som skär tunneln med låg konduktivitet introduceras kan påverkansavståndet och inläckaget öka med upp till 30% respektive 25%. Inläckaget för B3.3 verkar dock minska rejält jämfört med B3.1 och B3.2. Med högre konduktivitet i svaghetszonen blir påverkan ännu större med upp till 70% ökning i både inläckage och påverkansavstånd. Med introducering av grundvattenbildning till scenarierna med högt konduktiv svaghetszon så blir skillnaden i inläckaget större med djupare tunnel.

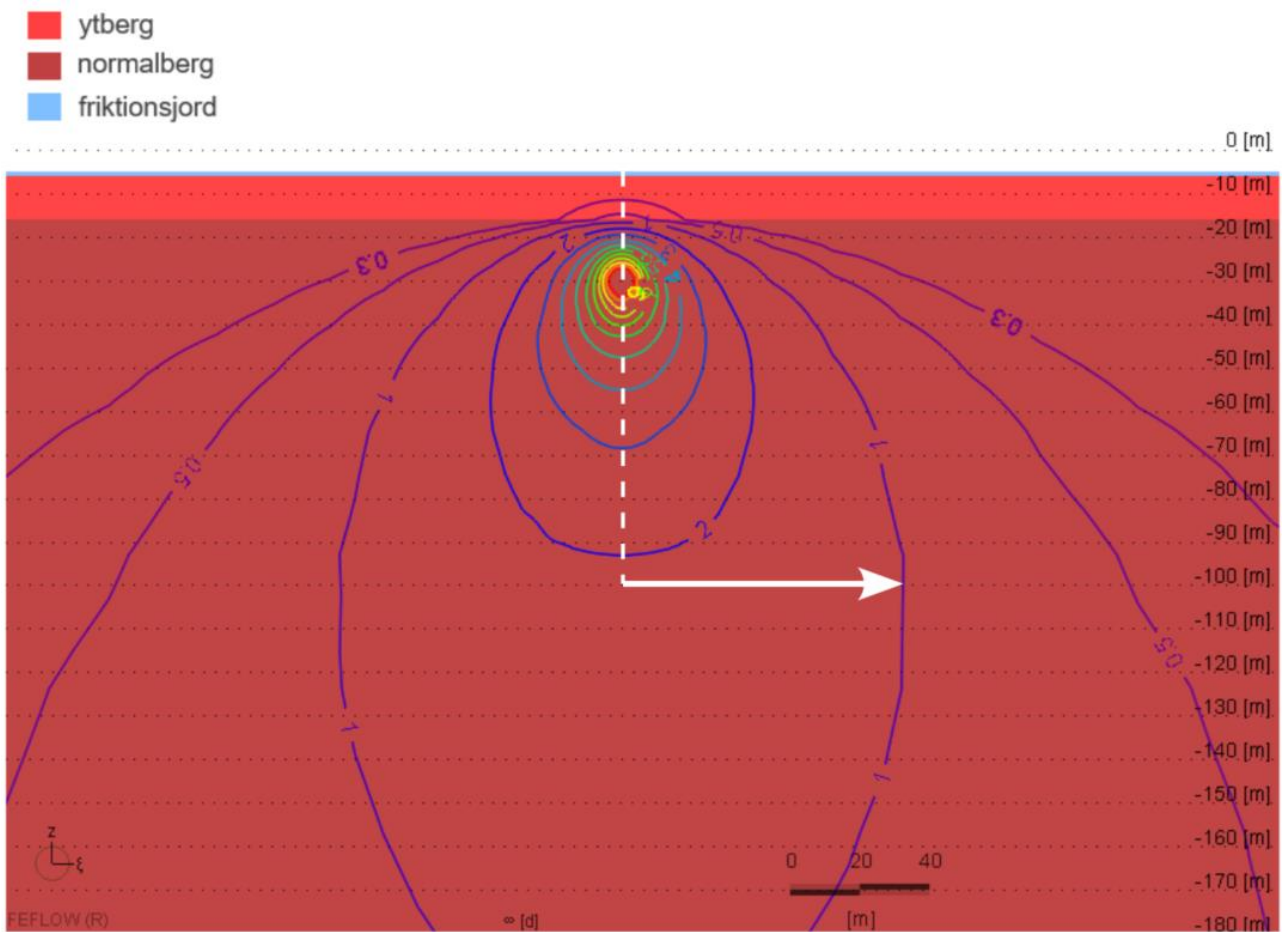
Scenarierna med högre konduktivitet i både yt- och normalberg har orsakat ökning i påverkansavstånd och inläckage med minst 60 och högst 80%.

Resultaten från steady-state scenariot visar att påverkansavståndet ökar med 40% på lång sikt jämfört med det efter tre månader och inläckaget blir oförändrat.

Resultaten från drifttidsscenarierna visar att modellen inte är känslig gällande grundvattenbildning då påverkansavstånden inte har ändrat betydligt för scenarierna D2 och D3.

Tabell 13. Resultaten för byggtidsscenarierna. Med påverkansavstånd menas 1 meters avsänkning, 100 meter under markytan jämfört med ostörda grundvattennivåer.

Scenario (Tunneldjup)	Kytberg (m/s)	Ksvaghetszon (m/s)	Grundvattenbildning (mm/år)	Påverkansavstånd (meter)	Inläckage (L/min)
<b>Byggtid</b>					
Scenario B1.1 (60 m)	1×10 <sup>-8</sup>	-	-	144	18
Scenario B1.2 (45 m)	1×10 <sup>-8</sup>	-	-	144	14
Scenario B1.3 (30 m)	1×10 <sup>-8</sup>	-	-	116	10
Scenario B2.1 (60 m)	1×10 <sup>-7</sup>	-	-	143	18
Scenario B2.2 (45 m)	1×10 <sup>-7</sup>	-	-	140	14
Scenario B2.3 (30 m)	1×10 <sup>-7</sup>	-	-	121	12
Scenario B3.1 (60 m)	1×10 <sup>-8</sup>	1×10 <sup>-7</sup>	-	176	25
Scenario B3.2 (45 m)	1×10 <sup>-8</sup>	1×10 <sup>-7</sup>	-	164	19
Scenario B3.3 (30 m)	1×10 <sup>-8</sup>	1×10 <sup>-7</sup>	-	172	6
Scenario B4.1 (60 m)	1×10 <sup>-8</sup>	1×10 <sup>-6</sup>	-	398	66
Scenario B4.2 (45 m)	1×10 <sup>-8</sup>	1×10 <sup>-6</sup>	-	360	48
Scenario B4.3 (30 m)	1×10 <sup>-8</sup>	1×10 <sup>-6</sup>	-	360	5
Scenario B5.1 (60 m)	1×10 <sup>-7</sup>	1×10 <sup>-6</sup>	-	408	72
Scenario B5.2 (45 m)	1×10 <sup>-7</sup>	1×10 <sup>-6</sup>	-	350	56
Scenario B5.3 (30 m)	1×10 <sup>-7</sup>	1×10 <sup>-6</sup>	-	350	13
Scenario B6.1 (60 m)	5×10 <sup>-7</sup>	-	-	349	81
Scenario B6.2 (45 m)	5×10 <sup>-7</sup>	-	-	340	63
Scenario B6.3 (30 m)	5×10 <sup>-7</sup>	-	-	571	46
Steady-state (60 m)	1×10 <sup>-8</sup>	-	100	238	18
<b>Drifttid</b>					
Scenario D1.1 (60 m)	1×10 <sup>-7</sup>	-	125	144	2 l/min/100 m
Scenario D1.2 (45 m)	1×10 <sup>-7</sup>	-	125	113	2 l/min/100 m
Scenario D1.3 (30 m)	1×10 <sup>-7</sup>	-	125	70	2 l/min/100 m
Scenario D2.1 (60 m)	1×10 <sup>-7</sup>	-	175	144	2 l/min/100 m
Scenario D2.2 (45 m)	1×10 <sup>-7</sup>	-	175	113	2 l/min/100 m
Scenario D2.3 (30 m)	1×10 <sup>-7</sup>	-	175	70	2 l/min/100 m
Scenario D3.1 (60 m)	1×10 <sup>-7</sup>	-	75	145	2 l/min/100 m
Scenario D3.2 (45 m)	1×10 <sup>-7</sup>	-	75	116	2 l/min/100 m
Scenario D3.3 (30 m)	1×10 <sup>-7</sup>	-	75	71	2 l/min/100 m



Figur 17. Tvärsnitt från Scenario D1.1 som redovisar hur påverkansavståndet togs fram. Påverkansavståndet räknades 100 meter under modelltopp (vit hel linje) från tunnels mittlinje (vit streckad linje) ut till en-meters avsänkningslinjen.

### 3 Referenser

Anderson, M., & Woessner, W. (1992). *Applied Groundwater Modeling. Simulation of Flow and Advective Transport*. London: Academic Press Inc.

Diersch, H.-J. (2014). *Reference Manual. DHI-WASY Software FEFLOW - Finite Element subsurface flow & transport simulation system*. Berlin, Tyskland: DHI-WASY GmbH.

Domenico, P., & Schwartz, F. (1998). *Physical and Chemical Hydrogeology. Second edition*. New York: John Wiley & Sons Inc.

Stockholms stads miljöförvaltning. (1996). *Grundvatten i Stockholm*.



Tunnelbana mellan Fridhemsplan och Älvsjö är ett samverkansprojekt mellan staten, Stockholms stad och Region Stockholm. Regionen har i uppdrag att planera och bygga den nya tunnelbanelinjen. Linjen är fristående och därför behövs en ny depå byggas där tågen kan underhållas och ställas upp. Byggtiden beräknas vara cirka nio år.