

PM Hydrogeologi

Bilaga B1

Ansökan om tillstånd till utökad grundvattenbortledning för tunnelbana till Nacka och Söderort

Titel: PM Hydrogeologi

Uppdragsledare: Martin Hellgren

Författare: Matilda Gustafsson & Karl Persson

Bilder & illustrationer: Eva Meyer

Diarienummer: FUT 2024-0367

Utgivningsdatum: 2024-03-27

Distributör: Region Stockholm, Förvaltning för utbyggd tunnelbana

Box 454 36, 104 31 Stockholm. Tel: 08 737 25 00. E-post:

nyatunnelbanan.fut@regionstockholm.se

Innehållsförteckning

Inledning och syfte	6
1 Plan och höjdsystem	7
2 Underlagsmaterial	7
3 Bergförhållanden, utförd tätning och hittills uppkomna inläckage	8
3.1 Inledning.....	8
3.2 Prognos och projektering av injektering.....	8
3.2.1 Bergkvalitet och injektering.....	9
3.2.2 Inläckage.....	12
3.3 Erfarenheter från tunneldrivningen	13
3.3.1 Delsträcka Saltsjön	13
3.3.1.1 Förinjektering delsträcka Saltsjön.....	14
3.3.1.2 Inläckage.....	15
3.3.2 Delsträcka 2a Sofia	15
3.3.2.1 Förinjektering delsträcka Sofia.....	16
3.3.2.2 Efterinjektering.....	18
3.3.2.3 Inläckage.....	19
3.3.3 Delsträckorna 2b och 2c Katarina Bangata	22
3.3.3.1 Förinjektering delsträckorna Katarina Bangata	23
3.3.3.2 Efterinjektering.....	24
3.3.3.3 Inläckage.....	25
3.3.4 Delsträcka 4a Luma	27
3.3.4.1 Förinjektering delsträcka Luma	28
3.3.4.2 Efterinjektering.....	30
3.3.4.3 Inläckage.....	32
4 Uppkommen grundvattenpåverkan och utförd infiltration	34
4.1 Inledning.....	34
4.2 Delsträcka Saltsjön	36
4.3 Delsträcka 2a Sofia	36
4.3.1 Delavrinningsområde Stadsgården	37
4.3.1.1 Hydrogeologiska förhållanden	37
4.3.1.2 Känsliga objekt	38
4.3.1.3 Grundvattenpåverkan.....	39
4.3.2 Delavrinningsområde Folkungagatan	40
4.3.2.1 Hydrogeologiska förhållanden	40
4.3.2.2 Känsliga objekt	43
4.3.2.3 Grundvattenpåverkan och skyddsinfiltation.....	44
4.3.3 Delavrinningsområde Färgarplan	47
4.3.3.1 Hydrogeologiska förhållanden	47
4.3.3.2 Känsliga objekt	48
4.3.3.3 Grundvattenpåverkan och skyddsinfiltation.....	49
4.4 Delsträckorna 2b och 2c Katarina Bangata	51

4.4.1	Delavrinningsområde Katarina Bangata	52
4.4.1.1	Hydrogeologiska förhållanden	52
4.4.1.2	Känsliga objekt	54
4.4.1.3	Grundvattenpåverkan och skyddsinfiltration.....	55
4.4.2	Delavrinningsområde Eriksdal-Skanstull	57
4.5	Delsträcka 4a Luma	58
4.5.1	Delavrinningsområde Vintertullstorget	59
4.5.1.1	Hydrogeologiska förhållanden	59
4.5.1.2	Känsliga objekt	61
4.5.1.3	Grundvattenpåverkan och skyddsinfiltration.....	62
4.5.2	Delavrinningsområde Mårtensdal.....	63
4.5.2.1	Hydrogeologiska förhållanden	63
4.5.2.2	Känsliga objekt	67
4.5.2.3	Grundvattenpåverkan och skyddsinfiltration.....	67
4.5.3	Delavrinningsområde Hammarby sjöstad.....	69
4.5.3.1	Hydrogeologiska förhållanden	69
4.5.3.2	Känsliga objekt	72
4.5.3.3	Grundvattenpåverkan och skyddsinfiltration.....	73
5	Bedömning av inläckage- och grundvattenpåverkan	75
5.1	Bakgrund till ansökan och nollalternativet	75
5.2	Bedömning ansökt verksamhet	77
5.2.1	Inledning.....	77
5.2.2	Bedömning inläckage.....	78
5.2.2.1	Delsträcka Saltsjön	78
5.2.2.2	Delsträcka 2a Sofia	78
5.2.2.3	Delsträckorna 2b och 2c Katarina Bangata	78
5.2.2.4	Delsträcka 4a Luma	79
5.2.3	Bedömning av grundvattenpåverkan och infiltrationsbehov	79
5.2.4	Inledning.....	79
5.2.4.1	Delsträcka Saltsjön	79
5.2.4.2	Delsträcka 2a Sofia	79
5.2.4.3	Delsträckorna 2b och 2c Katarina Bangata	81
5.2.4.4	Delsträcka 4a Luma	83
5.3	Bedömning nollalternativ – tätning med betonginklädnad	86
5.3.1	Inledning.....	86
5.3.2	Bedömning inläckage.....	86
5.3.3	Bedömning av grundvattenpåverkan och infiltrationsbehov	86
5.3.3.1	Delsträcka 2a Sofia	87
5.3.3.2	Delsträckorna 2b och 2c Katarina Bangata	88
5.3.3.3	Delsträcka 4a Luma	88
5.4	Sammanfattad bedömning	89
6	Definitioner och begrepp	89

7 Referenser..... 92

Bilaga 1. Anvisad injekteringsklass

Inledning och syfte

Region Stockholm, Förvaltning för utbyggd tunnelbana ("Regionen"), bygger ut tunnelbanan från Kungsträdgården till Nacka och Söderort. Regionen har fått tillstånd för vattenverksamhet från mark- och miljödomstolen att leda bort grundvatten från tunnelanläggningen med mera. Domstolen har beslutat om villkor, bland annat att Regionen ska begränsa inläckaget genom tätningssåtgärder så att det inte överstiger beslutade värden för olika delsträckor.

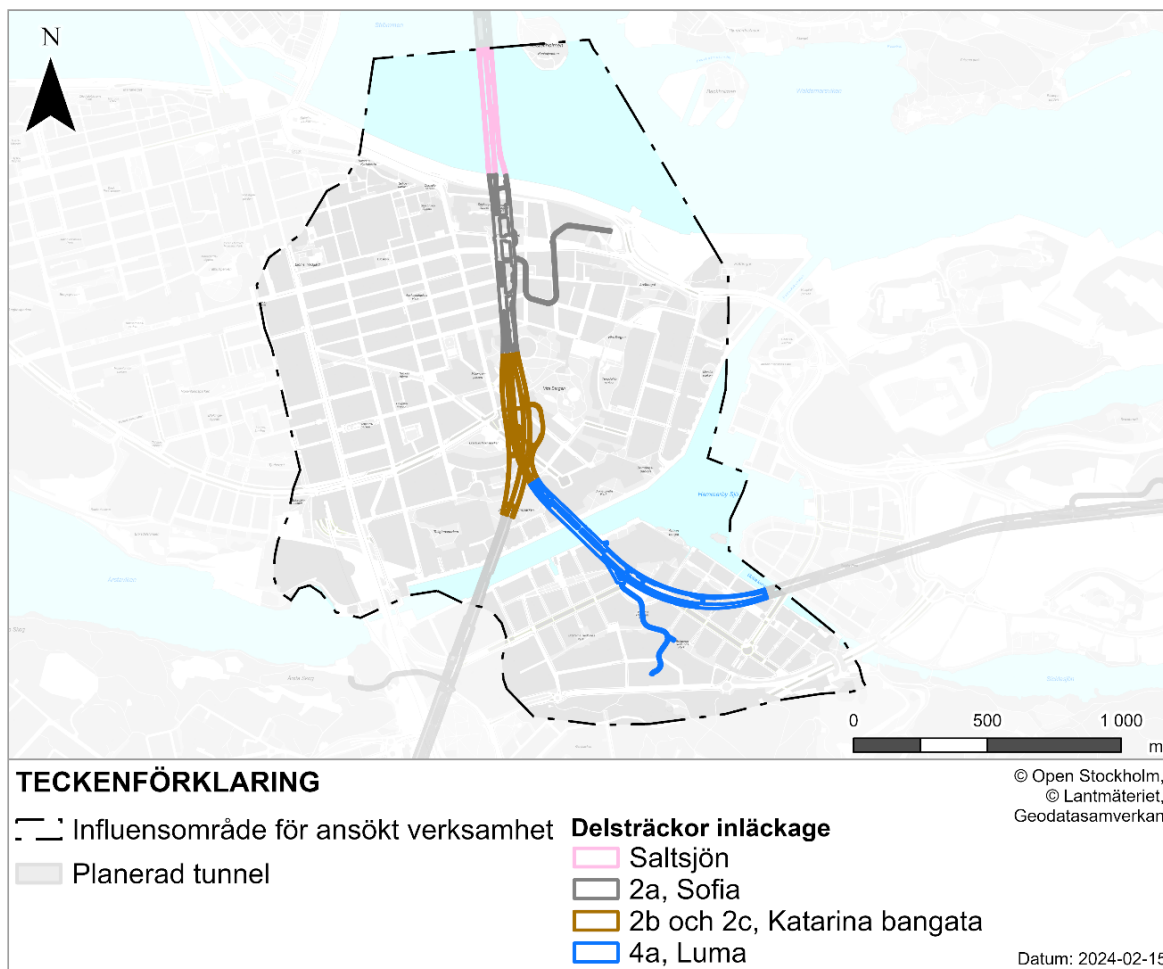
Regionen har utfört arbetena för den nya tunnelbanedelsträckan i enlighet med vad Regionen har åtagit sig i ansökan för tillståndet samt i enlighet med vad som i övrigt har beslutats av mark- och miljödomstolen. Det har dock visat sig att det föreskrivna villkoret för högsta tillåtna inläckage under drifttiden inte kommer att kunna innehållas för vissa delsträckor, och att det för andra delsträckor är osäkert om villkoret kommer att kunna innehållas.

Mot bakgrund av ovanstående ansöker Regionen om tillstånd till ökad grundvattenbortledning under framtida drift av tunnelbanan genom att ytterligare grundvatten, jämfört med befintligt tillstånd, tillåts att läcka in till delsträckorna Saltsjön, 2a Sofia, 2b och 2c Katarina Bangata och 4a Luma under drifttiden. De aktuella delsträckorna framgår av Figur 1 nedan.

Syftet med denna PM är att redogöra för erfarenheterna från hittills genomförd tunneldrivning för de aktuella delsträckorna, inklusive utförda injekteringsinsatser, det inläckage och den grundvattenpåverkan som uppkommit. PM:et syftar också till att redogöra för det bedöma slutliga inläckaget till de aktuella delsträckorna under drifttiden utifrån nuvarande byggteknik och den grundvattenpåverkan som förväntas uppstå vid dessa inläckagenivåer. Syftet är därtill att beskriva vilken påverkan som uppkommer ifall ansökan inte bifalls.

Dokumentet är upplagd på följande sätt:

- I Kapitel 2 redovisas plan- och höjdsystem.
- I Kapitel 3 redovisas underlagsmaterial med avseende på bergförhållanden, utförd tätning och hittills uppkomna inläckage.
- I Kapitel 4 redovisas uppkommen grundvattenpåverkan och utförd infiltration.
- I Kapitel 5 redovisas bedömning av inläckage och grundvattenpåverkan för ansökt verksamhet och för nollalternativet.



Figur 1. Influensområde för sökt verksamhet som PM Hydrogeologi avgränsas till visas med streckad linje och innefattar delsträckorna Saltsjön, 2a Sofia, 2b och 2c Katarina Bangata och 4a Luma.

1 Plan och höjdsystem

Regionen använder det geodetiska referenssystemet SWEREF 99 18 00 för plankoordinater och höjdangivelser görs i RH2000.

2 Underlagsmaterial

Nedan anges det material som har utgjort underlag för den information som presenteras och de bedömningar som görs inom ramen för denna PM:

- Data och analyser från kontrollprogram för vattenverksamhet. Det innefattar kontroller och uppföljning av inläckage till tunneln, infiltration av vatten till grundvattenmagasin, grundvattennivåer och sättningmätningar.
- Fältundersökningar i form av jord- och bergborringar, installation av nya grundvattenrör, infiltrationstester och drifttest av infiltrationsanläggningar.
- Befintligt underlag för grundläggningsuppgifter inom kontrollprogrammet för vattenverksamhet.

- Uppgifter om bergbrunnar (insamlat från Sveriges geologiska undersöknings (SGU) brunnsarkiv samt från Stockholms stad).
- Prövningsunderlaget från befintligt tillstånd (Mark- och miljödomstolens vid Nacka tingsrätt deldom den 19 juni 2019 i mål M 1431-17).
- Information om bergförhållanden samt utförd bergtätning från tunneldrivningen från respektive entreprenad.

3 Bergförhållanden, utförd tätning och hittills uppkomna inläckage

3.1 Inledning

Tunnelanläggningen ger upphov till inläckage av grundvatten från omgivande berg under både bygg- och drifttiden, detta trots långtgående tätning. Storleken på inläckaget beror bland annat på bergets kvalitet, det vill säga förekomst och utbredning av vattenförande sprickor, sprickornas beskaffenhet samt mängden tillgängligt grundvatten i jordlagren.

Regionen arbetar efter en tunneldrivningsmetodik som innefattar följande huvudsakliga steg: tätning genom förinjektering, borrarng av hål för sprängmedel samt sprängning och bortforsling av bergmassor, bergrensning, bergförstärkning. Förinjekteringen inkluderar stegen borrarng, spolning av hål, manschettering, injektering, väntetid och kontroller av resultat och beslut om fortsatt injektering. Förinjekteringen utförs i huvudsak med ett cementbaserat injekteringsmedel. En systematisk förinjektering genomförs för alla tunnlar innan bergschakt.

I det följande presenteras hur prognosen för bergkvaliteten, injekteringsklasser och inläckage togs fram och såg ut under arbetet med den tidigare tillståndsansökan, se vidare i avsnitt 3.2. I avsnitt 3.3 redovisas erfarenheter från tunneldrivningen, anvisad injekteringsklass, karterad bergkvalitet och uppmätt inläckage per delsträcka.

3.2 Prognos och projektering av injektering

Information om berggrunden och dess egenskaper, injekteringskoncept samt beräkningar av prognostiserat inläckage togs fram i samband med tidigare tillståndsansökan. Informationen om berggrundens egenskaper, injekteringskonceptet och erfarenheter från andra tunnelprojekt i Stockholmsområdet användes som grund för de förslag till inläckagevillkor som Regionens presenterade inom ramen för prövningen av det befintliga tillståndet. I och med att Regionens fick skärpta villkor för inläckage i förhållande till ansökan gjordes därefter åtskilligt arbete med att förbättra och öka injekteringsinsatserna för att möta villkoren.

I projekteringskedet togs sedan en prognos för bergkvalitet fram och en ökad detaljeringsgrad på injekteringskonceptet. Under byggskedet utvecklades förinjekteringskonceptet ytterligare allt eftersom erfarenheter från tunneldrivning inhämtades, till exempel information om bergkvalitet från karteringar, hydrogeologiska egenskaper från observationer om inläckande grundvatten, samt injekteringsbruksåtgångar och injekteringsförlopp med tryck- och flödesgrafer.

3.2.1 Bergkvalitet och injektering

Under tillståndsprocessen för befintligt tillstånd undersöktes berggrundens egenskaper genom att studera kartunderlag från SGU och den byggnadsgeologiska kartan där bergarter samt större sprick- och svaghetszoner identifierades. Även information från närliggande befintliga tunnelanläggningar inhämtades. I tillägg genomfördes även olika typer av förundersökningar för att öka kunskapen om berggrunden och dess egenskaper, däribland jordbergsonderingar, etablering av bergborrade brunnar för att undersöka bergets vattenförande förmåga i identifierade svaghetszoner, kärnborrningar och kartering av upptagna borrkärnor i syfte att klarlägga bergarter, frekvens och orientering på sprickor. Vattenförlustmätningar och inläckagemätningar utfördes i undersökningshål för att kartlägga bergets vattenförande förmåga. Bergets vattenförande förmåga undersöktes även genom statistisk bearbetning av uppgifter från bergborrade brunnar från SGU:s brunnsarkiv och fältundersökningar av krosszoner inom området för tunnelbaneanläggningen.

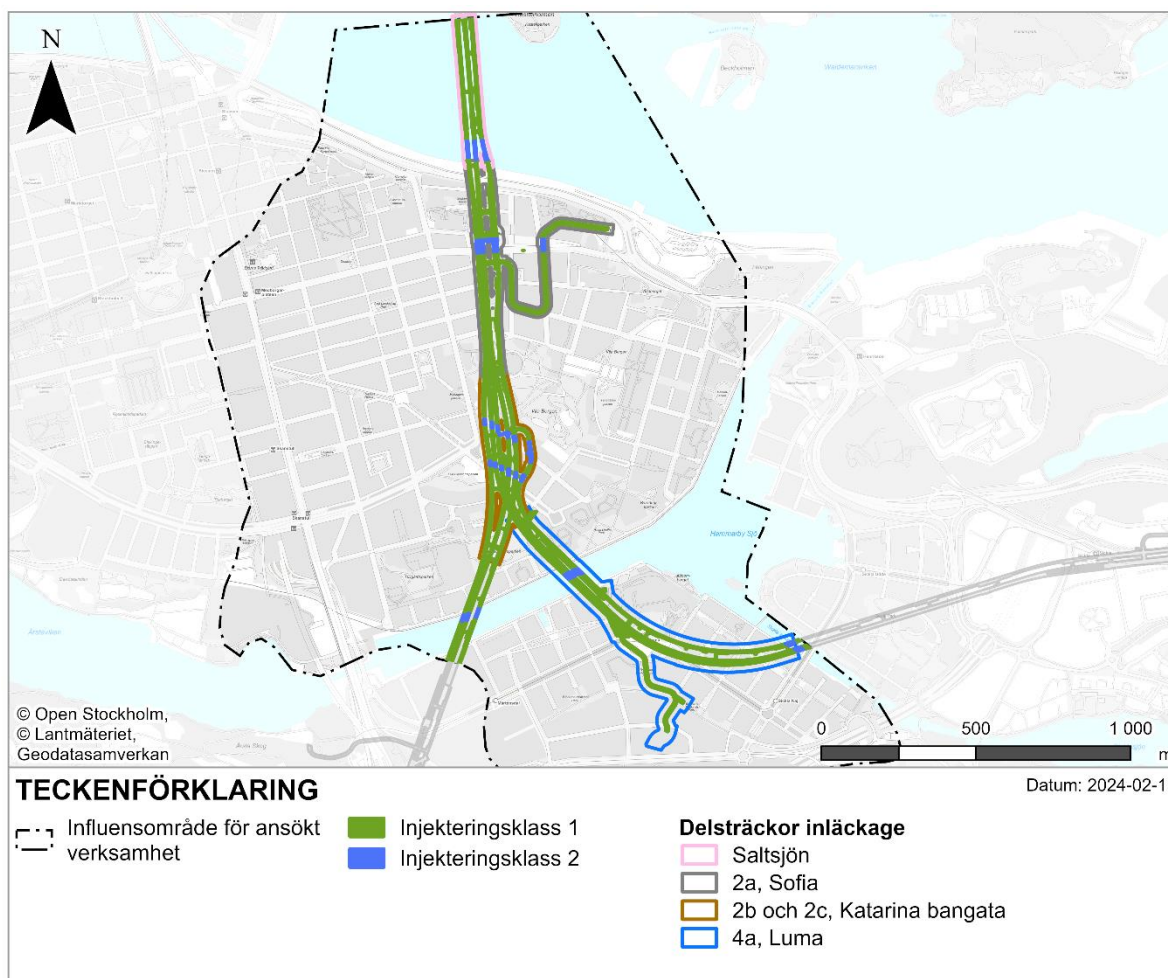
Det injekteringskoncept som beskrevs i tillståndsansökan baserades på tillgänglig information om berggrundens egenskaper samt erfarenheter från närliggande och nyligen utförda stora infrastrukturprojekt i Stockholmsområdet, utförda inom samma bergdomäner som tunnelbanan (till exempel Södra Länken, Citybanan och kraftledningstunnlar i Söderort). Injekteringskonceptet baserades på tre injekteringsklasser (1–3) som skiljer sig åt med avseende på exempelvis antal borrhål, injekteringsbruk och kriterier för kompletterande injektering. Injekteringsklasserna beskrivs nedan:

- Injekteringsklass 1: Injektering med en omgång, med kompletterande injektering baserat på resultatet av den första omgången och utförande enligt injekteringsklass 2.
- Injekteringsklass 2: Injektering med två omgångar, med kompletterande injektering baserat på resultatet från de båda omgångarna.
- Injekteringsklass 3: Injektering med två omgångar där det bedöms att injekteringsklass 1 eller 2 inte kommer att uppfylla ställda krav.

Prognostiserad injekteringsklass beror huvudsakligen på prognostiserad bergkvalitet enligt karaktärisering av bergmassan med RMRbas som baserats på information från förundersökningar. Baserat på bergkvaliteten prognostiserades bergklass A till D längs tunnelsträckan, där varje bergklass motsvarar ett RMRbas-intervall. Bergklass A representerar bäst bergkvalitet med låg sprickförekomst och bergklass D representerar sämst bergkvalitet med svaghetszoner och genomsläppligt berg.

I Figur 2 visas prognostiserad injekteringsklass för de aktuella delsträckorna som presenterats i samband med den tidigare tillståndsprocessen. Prognostiserad bergklass utgjordes mestadels av A- och B-berg. C- och D-berg prognostiserades i områden där tunneln passerar partier med förväntat sämre berg och bedömda svaghetszoner.

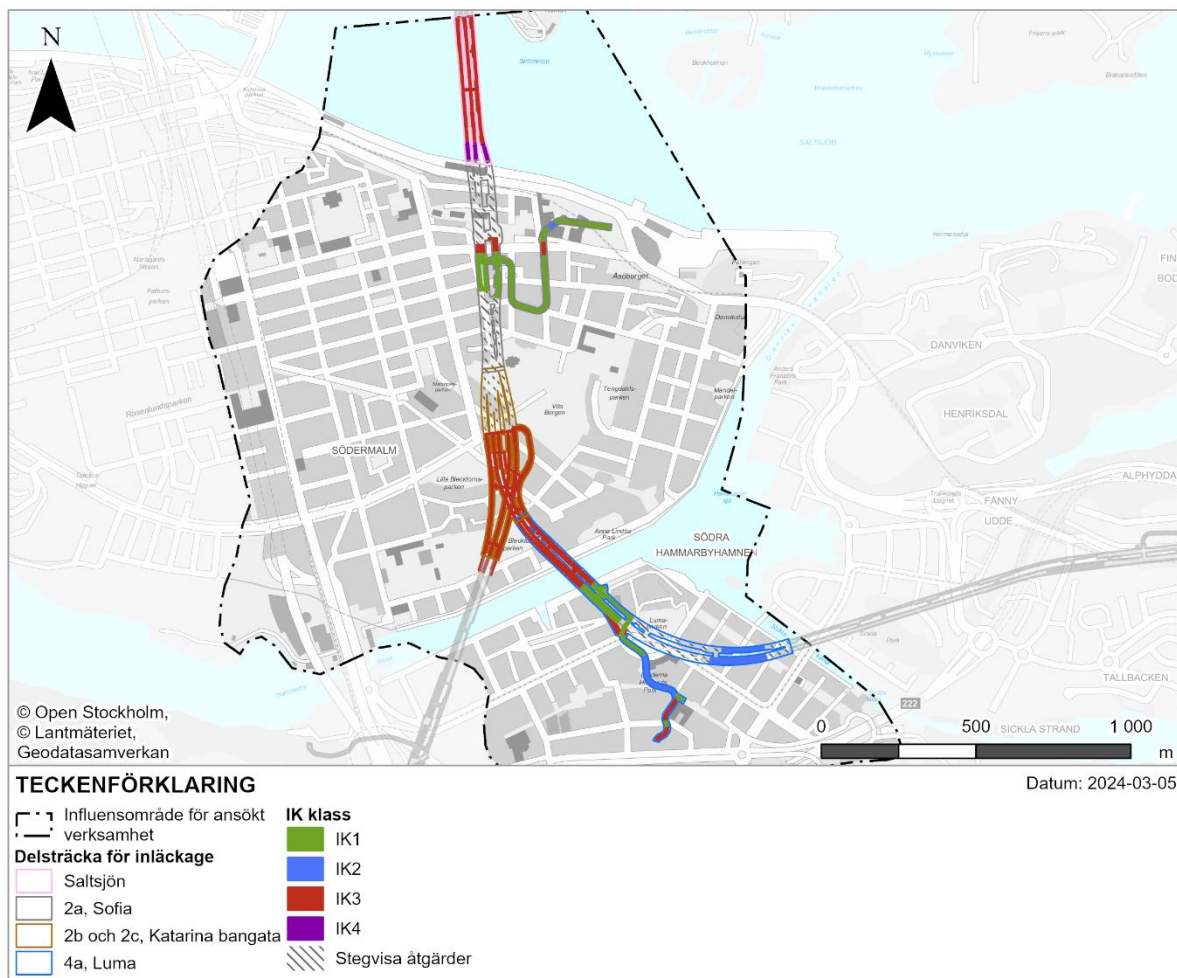
Prognostiserad injekteringsklass för de aktuella delsträckorna var övervägande injekteringsklass 1. Injekteringsklass 2 prognostiserades i områden där tunnelanläggningen passerar partier med sämre berg och svaghetszoner vid Stadsgården, Folkungagatan, området söder om Ringvägen och kanalpassagen vid Hammarby kanal.



Figur 2. Prognostiserad injekteringsklass för de aktuella delsträckorna som presenterats i samband med den tidigare tillståndsprocessen. Grön motsvarar injekteringsklass 1, blå injekteringsklass 2, streckad svart linje visar influensområde för ansökt verksamhet.

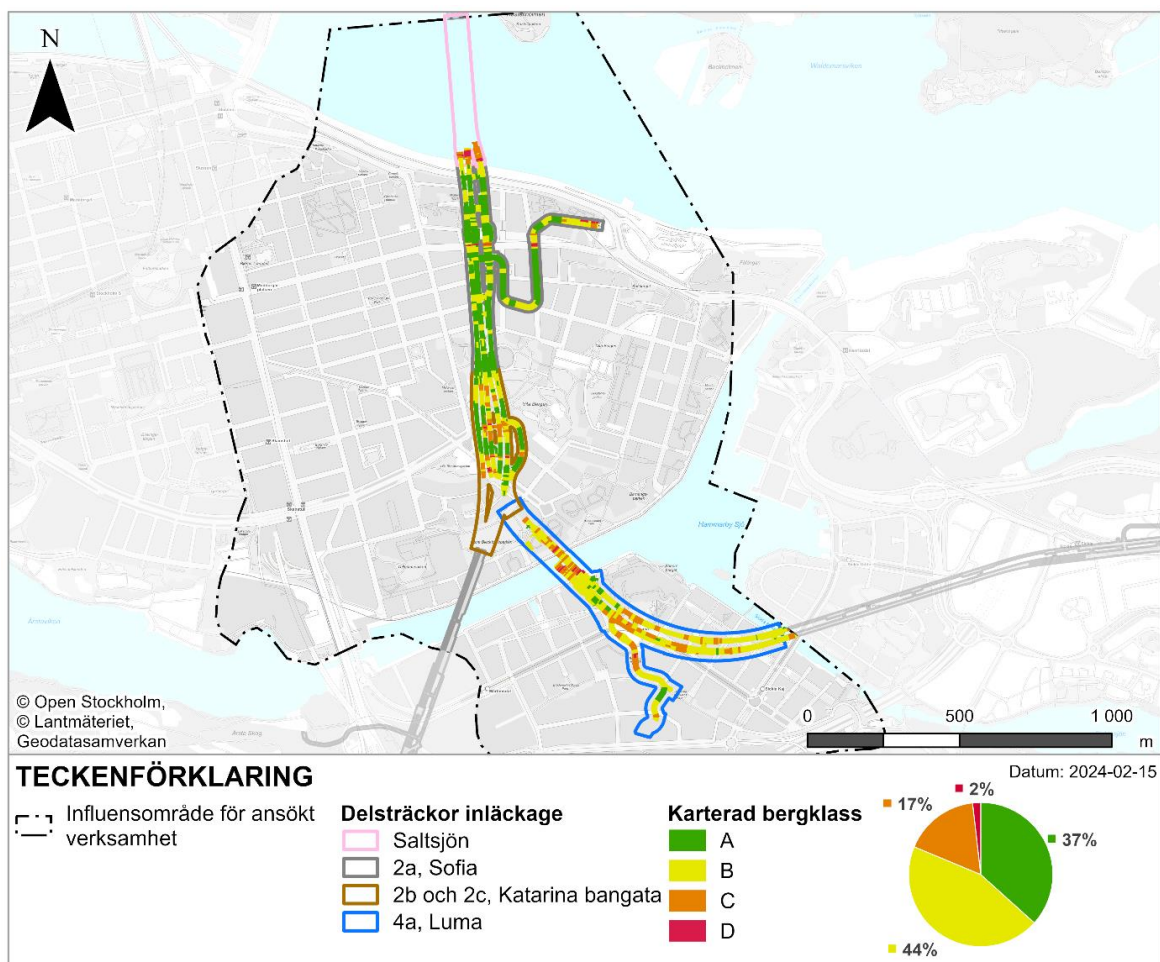
Allt eftersom kunskap om bergets egenskaper ökade genom informationsinhämtning i de olika delarna av projektet, från tidigt skede med tillståndsprocessen till detaljprojektering av bygghandling och vidare i byggskedet vid tunneldrivning, har injekteringsstrategin utvecklats och anpassats. Utvecklingen av injekteringsstrategi innefattat systematiskt arbetssätt beskriv närmare i *Bilaga A. Teknisk beskrivning*, avsnitt 5.2.1.

Under bygghandlingsprojekteringen utvecklades injekteringsklass 3 (IK3) och flera områden har fått högre injekteringsklass. Under byggskedet har förinjekteringskoncepten fått högre ambitionsnivå avseende tekniska parametrar och utförande (Stegvisa åtgärder), injekteringsstrategi med utvecklad observationsbaserad metodik togs fram (Behovsanpassad IK3) och ny injekteringskoncept för vattenpassager introducerades (IK4). Injekteringsklasser som använts vid tunneldrivning redogörs för översiktligt i Figur 3 och i detalj i *Bilaga 1. Anvisad injekteringsklass*.



Figur 3. Redogörelse för föroretningsklasser som använts vid tunnelldrivning enligt bygghandling och i kombination med den utvecklade injekteringsstrategin i byggskedet.

I Figur 4 visas karterad bergklass A-D längs delsträckorna. Bergmassan utgörs i huvudsak av A- och B-berg. C- och D-berg förekommer i anslutning till svaghetszoner.



Figur 4. Bergkvalitet för uttagna tunnelsträckor. Mycket bra bergkvalitet A (grön), bra bergkvalitet B (gul), acceptabel bergkvalitet C (orange), dålig bergkvalitet D (röd).

3.2.2 Inläckage

Inläckage till en bergtunnel beror på flera olika faktorer, såsom bergets vattenförande förmåga, tunnelns djup, tunnelns dimension, grundvattenbildning och utförande av tätning. De beräkningar av prognostiserat inläckage som presenterades i samband med den tidigare tillståndsansökan gjordes med en analytisk beräkningsmodell presenterad i flera publikationer och handböcker bland annat "Hydrogeologi för bergbyggare" (Gustafson 2009). Beräkningsformeln är vedertagen och har använts i flera tidigare tunnelprojekt. För beräkning av inläckage till vertikala och subvertikala schakt användes en numerisk modellberäkning. I beräkningarna användes beräknade värden för bergets vattenförande förmåga som togs fram i samband med de förundersökningar som utfördes, se avsnitt 3.2.1. Inläckaget beräknades utifrån att förinjektering utförs enligt ovan beskrivet injekteringskoncept med en tätningseffekt på upp till ca 80 %.

Regionen presenterade i yttrande från mars 2019 i mål M1431-17 förslag på inläckagevillkor för bygg- och drifttiden enligt domstolens indelning i delsträckor. Regionen föreslog, om slutliga villkor skulle föreskrivas för bygg- och drifttiden, att samma villkorsvärden skulle föreskrivas för bygg- och drifttid. De föreslagna villkoren baserades på genomförda utredningar och beräkningar som beskrivs ovan samt jämförelser av inläckage för andra tunnlar i närheten av den planerade tunnelbaneanläggningen. För delsträckan Saltstjörn ansåg Regionen att det inte fanns något motiv till att ha inläckagevillkor, då delsträckan sträcker sig under Saltstjörn utan risk för grundvattenavsänkning och utan känsliga objekt som kan påverkas.

De inläckagevillkor som beslutades för delsträckorna genom deldom i mål M1431-17 skiljer sig från de förslag som Regionen presenterade, där beslutade villkor för drifttiden reducerades till 25–50% av ansökta värden, se Tabell 1. I Tabell 1 redovisas för de aktuella delsträckorna nuvarande inläckagevillkor för drift- och byggtiden.

För att kunna följa upp inläckage av grundvatten kontinuerligt för de olika delsträckorna under tunneldrivningen har inläckageprognoser för varje delsträcka tagits fram. För de delsträckor där föreskrivna villkor för bygg- och drifttiden skiljer sig åt har separata inläckageprognoser tagits fram. Prognoserna visar hur mycket inläckage som bedöms förekomma vid varje given tidpunkt utifrån framdriften av tunneldrivningen. Prognosen fungerar som ett hjälpmedel för styrning av förinjekteringsinsatser och uppföljning av inläckage, och fördelar ut inläckagevillkoren på olika delområden (typområden) längs med delsträckan. Inom de typområden där förekomsten av svaghetszoner och sämre berg enligt prognos har varit större än inom andra områden har en större inläckagebudget (dvs. det tillåts ett större inläckage) tilldelats. Andra faktorer som vägts in i framtagandet av inläckageprognosen är omgivningspåverkan, vattenpassager och storleken på tunnlarna.

Tabell 1. Tabellen redovisar nuvarande inläckagevillkor för bygg- och drifttiden.

Delsträcka	Tillåtet inläckage enligt befintligt tillstånd för byggtid (riktvärde* eller begränsningsvärde)	Tillåtet inläckage enligt befintligt tillstånd för drifttid (begränsningsvärde)
Saltsjön	<i>Inget värde</i>	100 l/min
2a, Sofia	325 l/min*	80 l/min
2b, Katarina Bangata mot söderort	140 l/min	35 l/min
2c, Katarina Bangata mot Nacka		30 l/min
4a, Luma	245 l/min	125 l/min

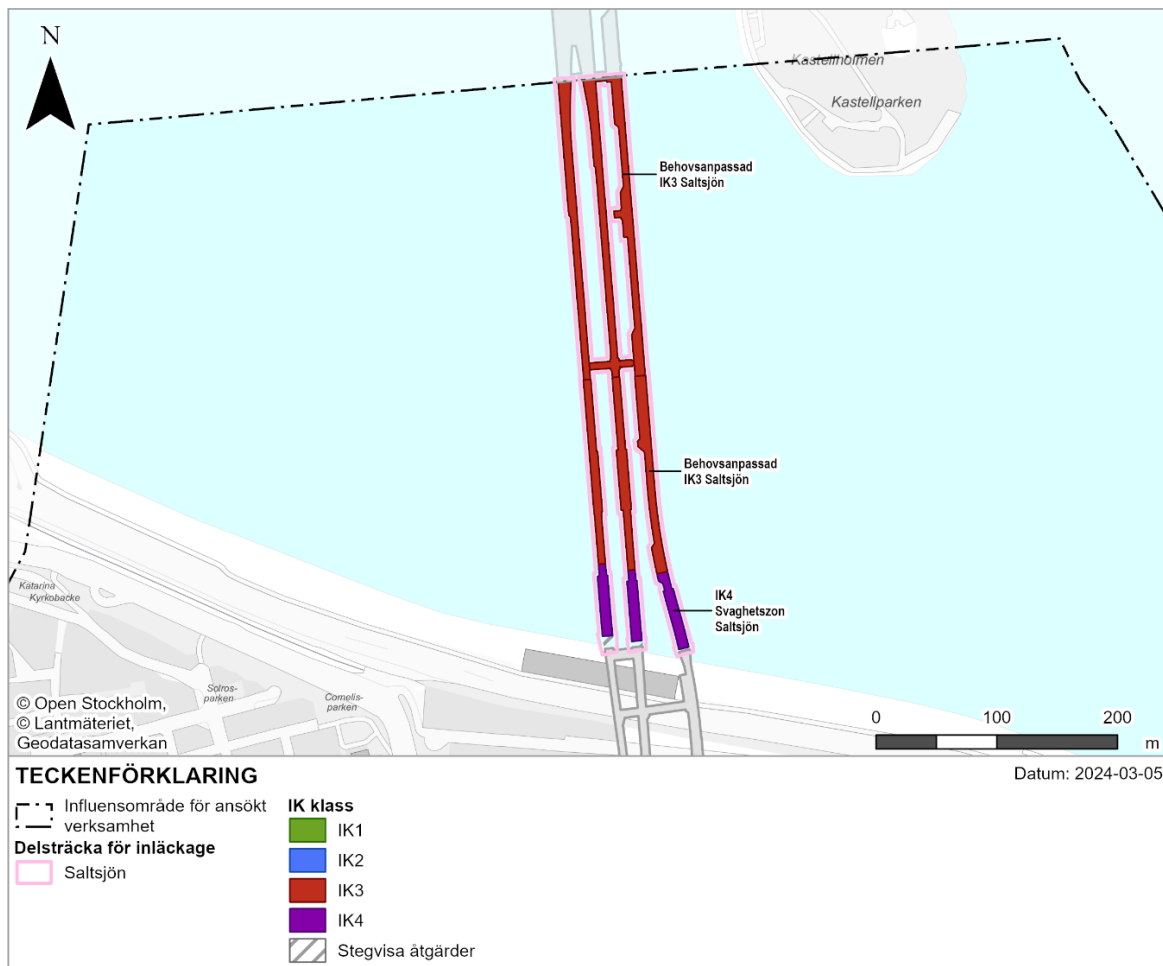
3.3 Erfarenheter från tunneldrivningen

3.3.1 Delsträcka Saltsjön

Delsträckan Saltsjön sträcker sig från Kastellholmen till Södermalms strandkant vid Stadsgårdskajen (längdmätning 1+170 – 1+650 södergående spår). Delsträckan är utdriven till 10%. Delsträckan innefattar vattenpassager med enkelspårtunnlar, servicetunnel och tvärtunnlar. Tunnelarnas djup under mark är ca 70–80 meter, där de djupaste delarna återfinns söderut. Under Saltsjön finns en stor förkastningszon som verifierats genom borrhärdar från tidigare projekt. Under september-oktober 2022 utfördes ytterligare kärnborrningar från tunnelstuff inom entreprenad Sofia norrut mot aktuell bergmassa för att ytterligare verifiera bergets egenskaper. Bergmassan inom delsträckan består av en omvandlad stockholmsgranit eller en migmatiserad gnejs. I området för svaghetszonen finns flera leromvandlade mindre strukturer. Bergmassan inom delsträckan har hittills utgjorts av C- och D-berg, se Figur 5.

3.3.1.1 Förinjektering delsträcka Saltsjön

Förinjekteringsklasser på sträckan Saltsjön är Behovsanpassad IK3 Saltsjön och IK4 Vattenpassage igenom den regionala svaghetszonen (Saltsjöförkastningen), Figur 3. Dessa har utvecklats och förfinats i byggskedet allteftersom kunskapen om bergets egenskaper ökat genom tunneldrivning och kompletterande kärnbörning under Saltsjön.



Figur 3. Förinjekteringsklasser längs delsträckan Saltsjön.

IK4 Vattenpassage innefattar mycket omfattande förinjektering med kort avstånd mellan injekteringskärrmar, sonderingshål, två obligatoriska omgångar och stegvisa kontroller för beslut om ytterligare tätning. Resultat från förinjekteringen visar att det inom området varit relativt stora bruksåtgångar och problematik med sambandshål, vilket har medfört att anpassningar i produktion har behövt utföras med villkor för uppdelning av respektive obligatorisk omgång i A- och B-hål (s.k. split spacing). Detta har möjliggjort en större brukspridning i berg.

En kort del av sträckan med injekteringskoncept Behovsanpassad IK3 har hittills bergschaktats. Injekteringskonceptet innebär anpassade geometrier med större stickning, ökat tryck och kriterier för injekterad bruksvolym, utökade kontroller och observationer med stegvisa beslut om förfarande med tätning från en till tre injekteringsomgångar. Resultat av injekteringsarbetet på denna sträcka är att injekteringsborrhålens lutning (stickning) fått ökas ytterligare för att kompensera för bergutfall som minskat den förinjekterade zonen. Arbetena visar också att det stoppkriterium som tagits fram, där injektering skulle avbrytas efter att ha pågått viss tid, behövt anpassas då det gav otillräcklig tätning. Ändringar gjordes så att kriteriet för att avbryta injekteringen i stället utgick från att det inte längre gick in några större mängder bruk (flödeskriterium).

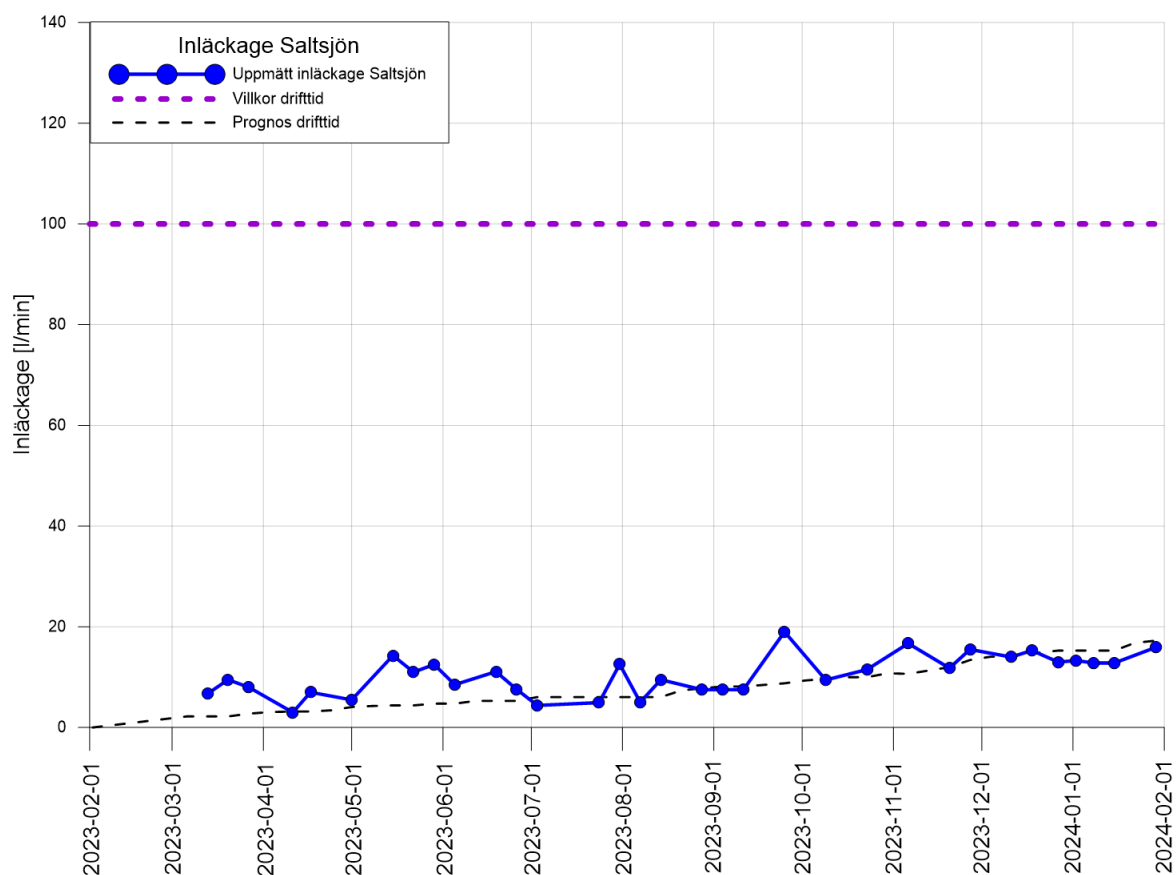
Förinjekteringen har huvudsakligen utförts med den mer finmalda cementsorten UF20,

3.3.1.2 Efterinjektering

Ingen systematisk efterinjektering har utförts längs delsträckan Saltsjön. Enstaka läckagepunkter vid rörspiling har åtgärdats med en-komponents kemiskt injekteringsmedel.

3.3.1.3 Inläckage

Totalt uppmätt inläckage som ett medelvärde för januari 2024 är ca 13 l/min, vilket motsvarar ca 10 l/min per 100 m tunnel. Inläckagevillkoret för drifttiden för delsträcka Saltsjön motsvarar ett inläckage på ca 7 l/min omräknat per 100 m tunnel. Delsträckan har inget föreskrivet värde för maximalt inläckage under byggtiden. Uppmätt inläckage har hittills legat i nivå med eller något över inläckageprognosen för drifttiden, se Figur 4. Ingen tydlig ökning av inläckaget har observerats i samband med drivning genom den södra svaghetszonen under Saltsjön. Mot bakgrund av att tunneldrivningen hittills inte kommit så långt är det dock svårt att bedöma hur inläckaget kommer att utveckla sig i förhållande till villkoret vid fortsatt tunneldrivning.



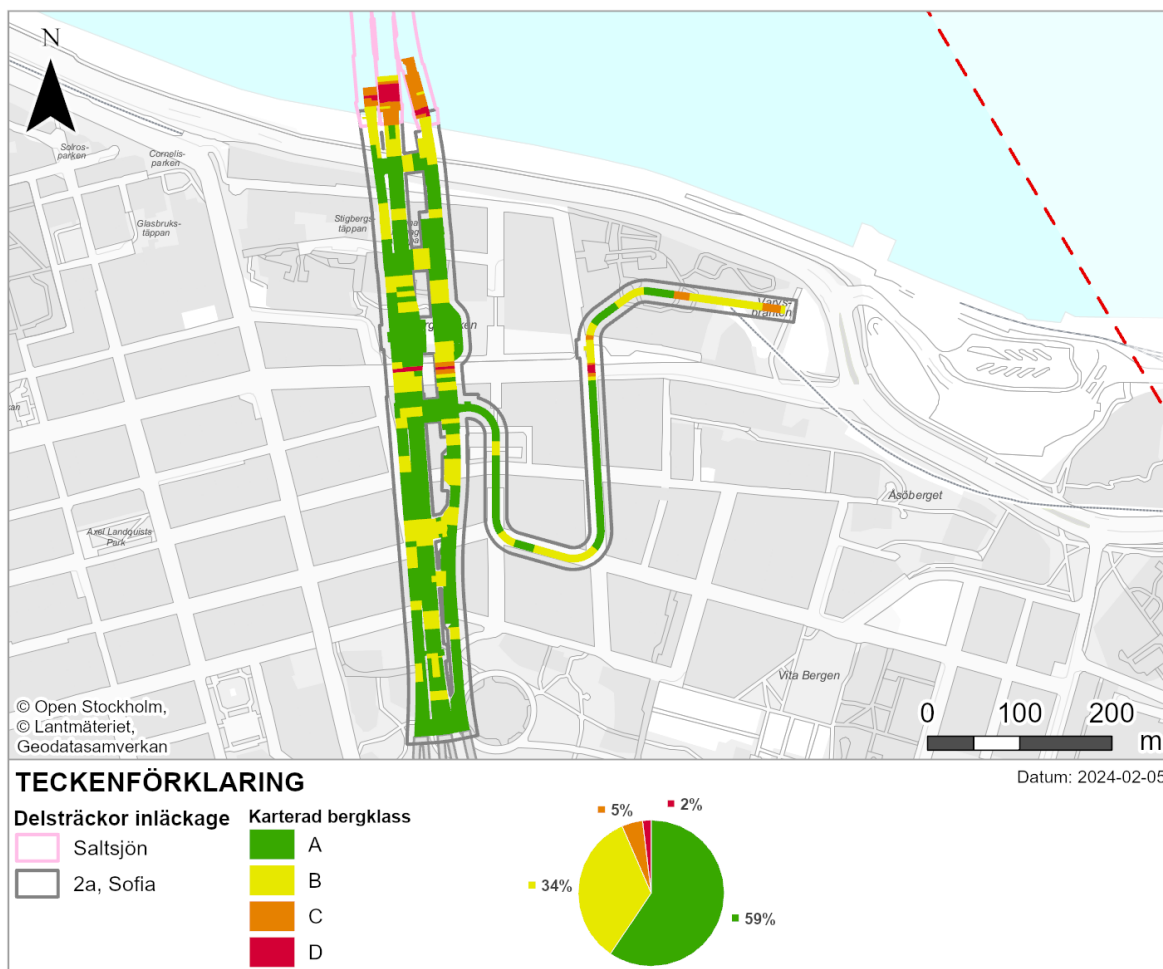
Figur 4. Uppmätta inläckage för delsträckan Saltsjön visas i den blå grafen. Inläckaget är baserat på veckovisa mätningar och redovisas som liter per minut. Inläckageprognos utifrån framdrift visas med svart streckad linje för drifttiden och det totala villkoret visas med streckad lila linje för drifttiden.

3.3.2 Delsträcka 2a Sofia

Delsträcka 2a Sofia sträcker sig från Saltsjöns strandkant på norra Södermalm vid Stadsgårdskajen, söder ut till Sofia kyrka, med en arbetstunnel öster om anläggningen (längdmätning 1+650 – 2+320 södergående spår), se Figur 5. Den norra arbetstunnel har inte byggts på grund av sämre bergkvalitet och tätningsproblematik. Beslutet är positivt sett till att det innebär ett mindre inläckage till tunnelanläggningen och därmed mindre risk för omgivningspåverkan. Delsträckan innefattar station Sofia, dubbelspårtunnel, enkelspårtunnlar, tvärtunnlar, servicetunnel, arbetstunnel och ett vertikalschakt för hiss, med tillhörande öppen

schakt i jord och berg för stationsentrén i Stigbergsparken. Delsträckan är nästan helt färdigutdriven det kvarstår ett hisschakt som ansluter via Stigbergsparken samt en mellanvägg mellan servicetunneln och kommande plattformsrumsrum. Tunnelnarnas djup under mark är ca 70–100 meter i området under Stigbergsparken och sluttar uppåt söderut mot Hammarby kanal.

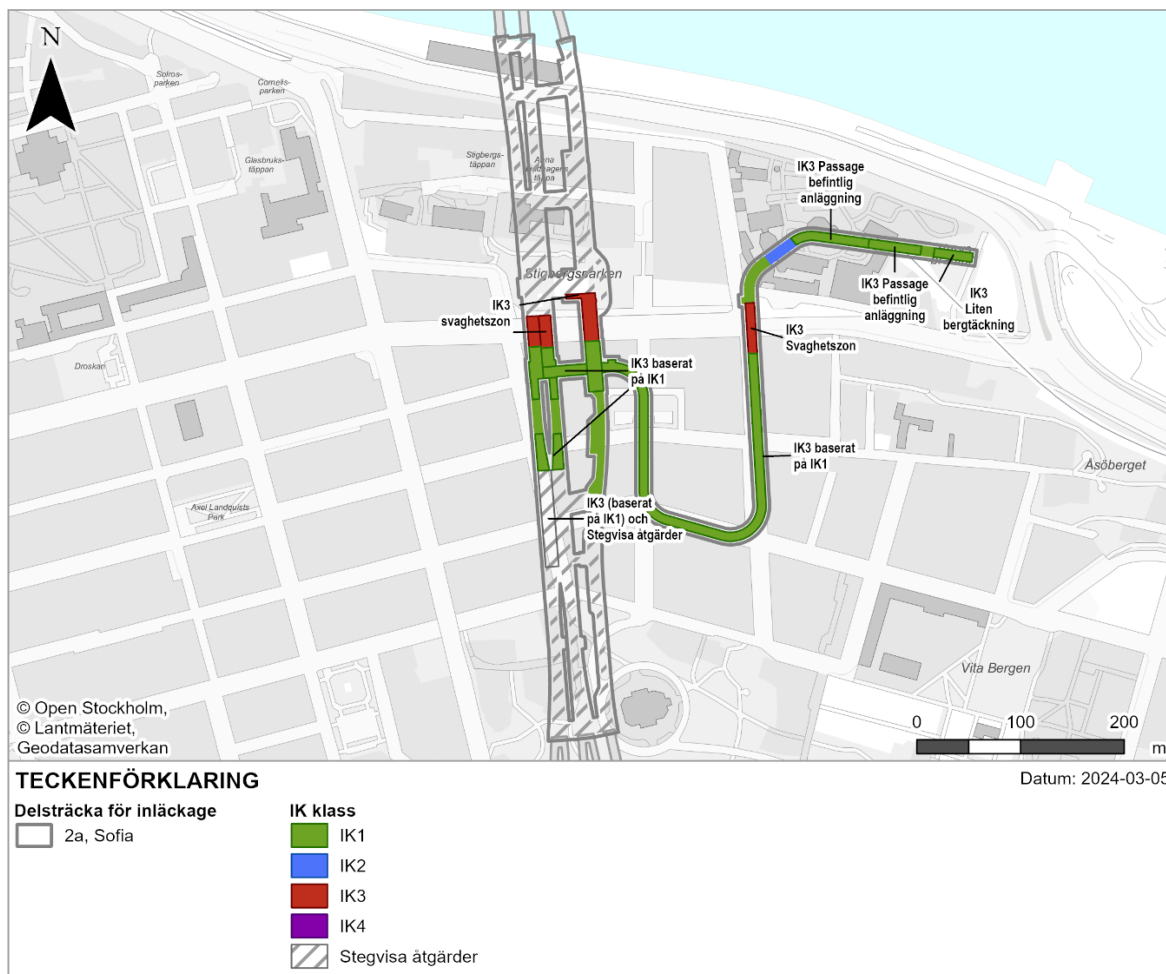
Bergmassan inom delsträckan består till största del av granit och gnejs. Delsträckan utgörs i huvudsak av A- och B-berg, där C- och D-berg förekommer i anslutning till svaghetszoner, se Figur 5. Längs med Folkungagatan finns en svaghetszon med öst-västlig orientering med brant stupning. Bergmassan inom zonen är mycket uppsprucken och utgörs huvudsakligen av ler-grafitomvandlad breccia. Zonen har verifierats som mycket vattengenomsläpplig.



Figur 5. Karterad bergklass inom delsträcka 2a Sofia, där grön=bergklass A, gul=bergklass B, orange=bergklass C och röd=bergklass D.

3.3.2.1 Förinjektering delsträcka Sofia

I delsträckan ingår arbetstunnel, tunnlar med bland annat stora berggrum för station och växelrum och ett vertikalt 400 m² stort bergschakt. Förinjekteringen längs delsträckan Sofia är en kombination av förinjekteringsklasser från bygghandlingsskedet IK1-IK2-IK3, anpassningar av förinjektering med IK3 Svaghetszon och den utvecklade förinjekteringsstrategin Stegvisa åtgärder, Figur 6. Injekteringen har varit betydligt mer omfattande än vad som angavs i ursprunglig ansökan. Flera anpassningar har också gjorts under drivningen.



Figur 6. Förinjekteringsklasser längs delsträckan Sofia.

Vid förinjektering för arbetstunneln har huvudsakligen injekteringskonceptet som beskrivits i ursprunglig ansökan använts med IK1 eller IK3 baserat på IK1 inom delar med låg bergtäckning och närhet till befintlig anläggning i berget. Vid passage av svaghetszonen vid Folkungagatan användes IK3 Svaghetszon, vilken omfattar fler omgångars injektering. Ytterligare justeringar har behövts göras i byggskedet vid passage av svaghetszon Folkungagatan, då genomsläpplighet i zonen visade sig överskrida det antagna baserat på förundersökningar. Antalet injekteringsomgångar ökades och förutom två obligatoriska omgångar i varje läge för förinjektering i zonen utfördes omgång 3 och omgång 4 baserat på utvärdering av uppnådd täthet i föregående omgång.

Efter anslutning från arbetstunneln till huvudtunnlar har injekteringsstrategin utvecklats dels med anledning av observationer och utvärdering av tätningsresultat från arbetstunneln dels på grund av passage av Folkungagatanzonen med servicetunnel och plattformsrumsrum.

Resultat från arbetstunneln visade på en problematik med sambandshål som är typiskt för områden med sämre berg, men problematiken visade sig både i områden med konduktivt zonberg och i områden med karterad mycket god bergkvalitet. Resultat avseende injekteringsbruksåtgång indikerade att det volymkriterium för när injektering skulle avbrytas som satts upp enligt bygghandlingen troligen var för snävt och detta ändrades därför. Systematisk observation och utökad kontroll av injekteringsresultatet infördes i produktion. Arbetet med utveckling av injekteringsstrategi utfördes som stegvisa åtgärder ("en sak i taget") med datainsamling och successivt införande av ändrade kriterier (se *Bilaga A Teknisk beskrivning*, avsnitt 5.2.1). Resultaten från förinjekteringen är en ökad mängd injekterat bruksvolym med villkor för

bruksbyte, fler injekteringsomgångar på grund av skärpta kriterier för kompletterande injektering och anpassningar till lokala förhållanden både avseende geologi och geometri, såsom till exempel växelrum och plattformsrumsrum.

Stegvisa åtgärder innefattade:

- observationer vid borrhning
- ökad stickning
- ökad mängd injekterad bruksvolym och kriterier för byte av bruksblandning
- utökade villkor för komplettering (omgång 2)
- utökade kontroller genom provningar och utvärderingar av injekteringsförlopp
- mer finmalet cementsort och nya bruksblandningar
- statistisk analys av utförd injektering

Injekteringsklassen IK3 Svaghetszon utvecklades baserat på erfarenheter från drivning genom svaghetszonen i Folkungagatan och denna användes sedan vid andra passager av svaghetszoner inom projektet. Ytterligare anpassningar av förinjekteringen gjordes för att hantera de specifika förhållanden som rådde i servicetunneln respektive i plattformsrumsrummet vid passage av samma svaghetszon. Det har inneburit utökade kontroller av inläckande grundvatten (vattenförlustmätningar), fler injekteringsskärmlägen, fler injekteringsomgångar och förinjektering av hål för spilingbult.

Förinjekteringen inom entreprenaden Sofia har huvudsakligen utförts med den mer finmalda cementsorten UF20 vilket ger bruksinträngning i finare sprickor.

3.3.2.2 Efterinjektering

I arbetstunneln har efterinjektering utförts i direkt anslutning till passage av svaghetszon Folkungagatan och syftade till att skapa förutsättningar för drivning av arbetstunnel 2 som planerades med förgrening i riktning längs Folkungagatan, se behovsanpassad efterinjektering i Figur 7. Svaghetszonen i arbetstunneln visade sig vara >10m bred med mycket genomsläpplig bergmassa och medförde kraftig ökning av inläckage i tunneln trots utförd omfattande förinjektering. Efterinjektering utfördes runt om tunnelperiferin vid tre injekteringslägen med ett kemiskt 2-komponents injekteringsmedel polyuretanharts. Polyuretanharts är användbart vid mycket stora läckage av grundvatten, då detta medel kan reagera nästintill omedelbart och dessutom skummar i kontakt med vatten. Resultat från efterinjekteringen utvärderades genom inläckagemätningar vid fortsatt tunneldrivning vilket visade på en minskning i storleksordningen 5 l/min.

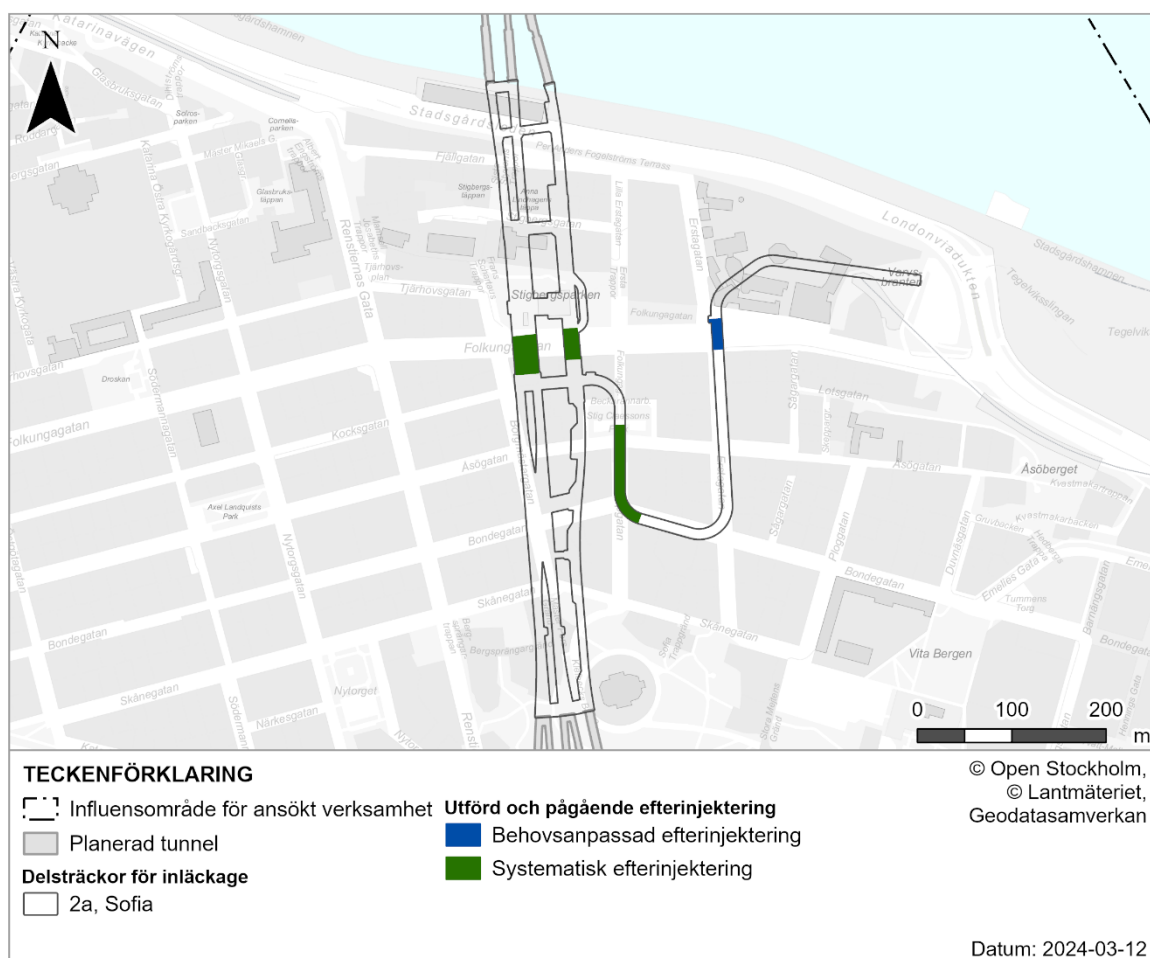
Systematisk efterinjektering har utförts i områden identifierade med särskild analys, se Figur 7. Områden där systematisk efterinjektering utförs eller planeras är:

- arbetstunnel, servicetunnel och plattformsrumsrum vid passage av Folkungagatan-svaghetszon
- arbetstunnel på en sträcka med observation om inläckageökning vid tunneldrivning och okulära observationer om dropp till rinnande vatten i tak och vägg.

Teknisk lösning för efterinjektering i Folkungagatanzonen är systematisk efterinjektering runt om tunnelperiferin (botten, vägg, tak) med primära och sekundära rader uppdelade i A- och B-hål. Efterinjektering i plattformsrumsrummet är färdigställd i sin helhet medan efterinjektering i servicetunneln pågår. Resultat från plattformsrumsrummet är relativt små inläckage i injekteringshål (<10 l/min), måttlig bruksåtgång i initiala omgångar och bruksåtgång motsvarande hålfyllnad (teoretisk volym på injekteringshålen) i avslutande omgångar. De enstaka återstående punktvisa inläckage har åtgärdats med efterinjektering med kemiskt en-komponentsmedel. Mycket stora inläckage har observerats vid borrhning i servicetunneln utanför förinjekterad zon (upp till >100

l/min) vilket visar på tillfredställande resultat med relativt ”tät” zon runt tunneln från förinjekteringen. Resultat från hittills utförd efterinjektering i servicetunneln är mycket stora bruksåtgångar initialt med successiv minskning mellan omgångar och måttlig bruksåtgång därefter. Utvärdering av resultat indikerar på otillräcklig tätning norr om zonen och anvisning om systematisk komplettering för efterinjektering har tagits fram. Okulära observationer indikerar kraftig minskning av inläckage i zonområdet.

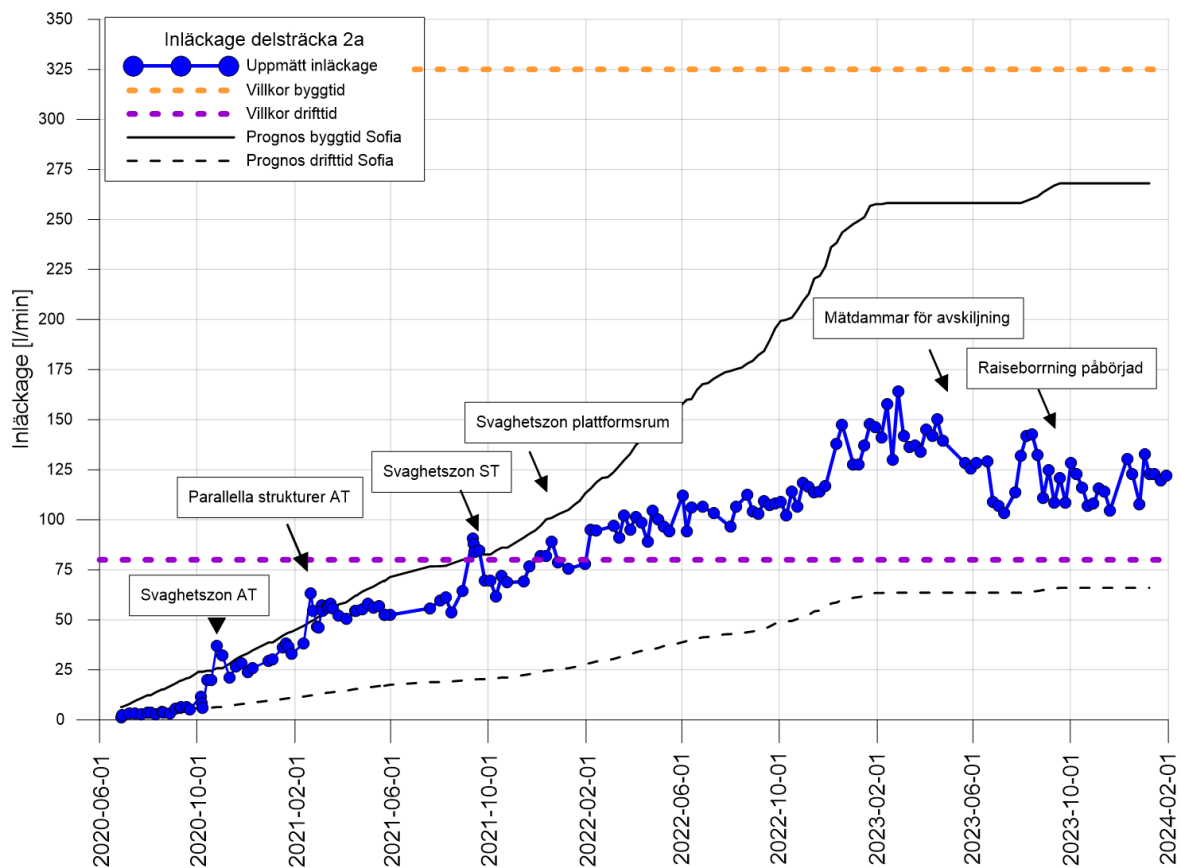
Efterinjektering i arbetstunneln pågår och har utförts enligt teknisk lösning, först med tätning av kraftiga punktläckage/ vattenförande strukturer med kemisk en-komponentsmedel och därefter med cementbaserad injekteringsmedel. Hittills har efterinjektering utförts i vägg och tak med primära och sekundära rader. Resultat från efterinjekteringen är stokastisk bruksåtgång, huvudsakligen liten med enskilda injekteringshål med stort till mycket stor bruksåtgång. Okulära observationer, baserade på jämförelse mellan droppkartering utförd vid tunneldrivning och särskild droppkartering efter utförd efterinjektering, indikerar minskade områden/omfattning på inläckage.



Figur 7. Utförd och pågående systematisk efterinjektering längs delsträckan Sofia.

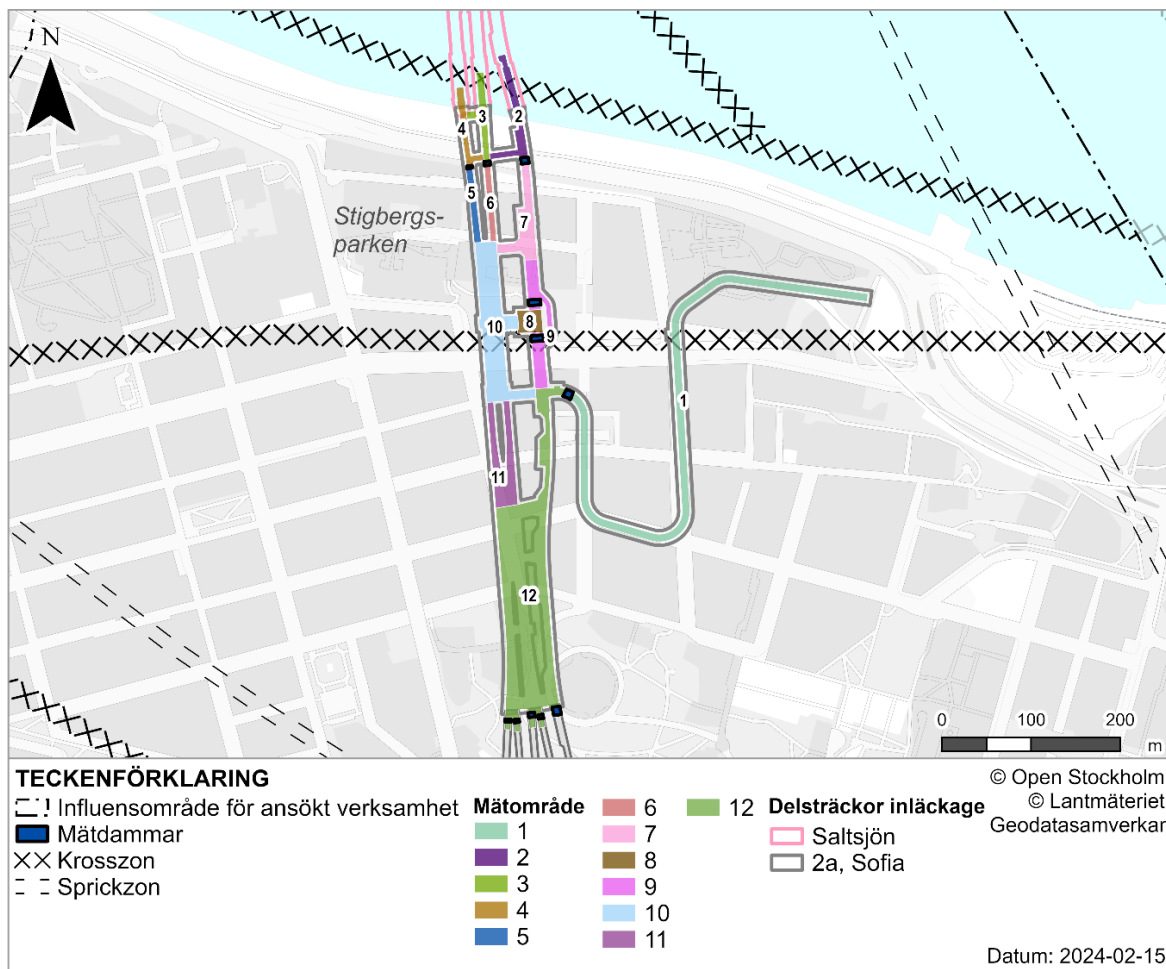
3.3.2.3 Inläckage

Totalt uppmätt inläckage som ett medelvärde för januari 2024 är ca 124 l/min. Uppmätt inläckage ligger över inläckageprognos och villkoret för drifttiden men med god marginal under villkoret för byggtiden, se Figur 8. Förhöjda inläckage på delsträckan kan kopplas till drivningen av arbetstunneln, servicetunneln och stationsutrymmet genom den 3–10 m breda svaghetszonen längs med Folkungagatan (se vidare nedan).



Figur 8. Uppmätta inläckage för delsträckan Sofia visas i den blå grafen. Inläckaget är baserat på veckovisamätningar och redovisas som liter per minut. Inläckageprognos utifrån framdrift visas med svart heldragen linje för byggtiden och svart streckad linje för drifttiden. Det totala villkoret visas med streckad orange linje för byggtiden och streckad lila linje för drifttiden.

Den första beaktansvärda ökningen av inläckaget i förhållande till prognosen (se Figur 8, ”Svaghetszon AT”) inträffade i mitten av oktober 2020 då drivning av arbetstunneln passerade svaghetszonen längs med Folkungagatan, ca 250 meter in i arbetstunneln, se mätområde 1, Figur 9. Från ett tidigare uppmätt inläckage på ca 5 l/min innan svaghetszonen steg inläckaget till ca 22–27 l/min. Svaghetszonen bedöms därmed ha tillfört ett inläckage på ca 20 l/min. På grund av den vattenförande zonen, att det inom zonen karterats lerslag, uppkrossat berg och svag omgivande bergmassa togs beslutet att inte bygga den projekterade norra grenen av arbetstunneln som var planerad att byggas ca 70 m längs med svaghetszonen. De åtgärder som utförts för att reducera inläckaget till arbetstunneln består i efterinjektering runt om tunnelkonturen med kemiskt injekteringsmedel (polyuretanharts) längs sträckan med svaghetszonen. Arbetet pågick under ca 3 veckor, under maj-juni 2021.



Figur 9. Mätområden för inläckage inom delsträcka 2a Sofia.

I februari 2021 noterades, ca 500 m in i arbetstunneln, ytterligare en kraftig ökning av uppmätt inläckage, se "Parallella strukturer AT" i Figur 8 och mätområde 1 i Figur 9. Det ökade inläckaget bedöms ha uppkommit i slutet av andra kurvan på arbetstunneln och pågått i ca 80–100 m. I området karterades foliationsparallella sprickor samt bankningsplan i tak samt några kraftiga sprickor i N-S-orientering. Detta bedöms ha orsakat det ökade inläckaget och området bedöms ha tillfört ett ökat inläckage på ca 10–15 l/min till delsträckan.

Under september 2021 påträffades svaghetszonen längs med Folkungagatan i den norrgående servicetunneln, se "Svaghetszon ST" i Figur 8 och mätområde 9 i Figur 9. Initialt uppmättes en kraftig ökning av inläckaget. Efter de utförda omfattande tätningåtgärderna uppmättes ett inläckage för området på ca 10–15 l/min.

I december 2021 passerade spårtunnelns plattformsutrymme svaghetszonen längs med Folkungagatan, se "Svaghetszon plattformsrums", i Figur 8 och mätområde 10 i Figur 9. Initialt steg inläckaget vid passage av svaghetszonen för att sedan sjunka något. Området bedöms ha tillfört ett ökat inläckage på ca 10 l/min till delsträckan.

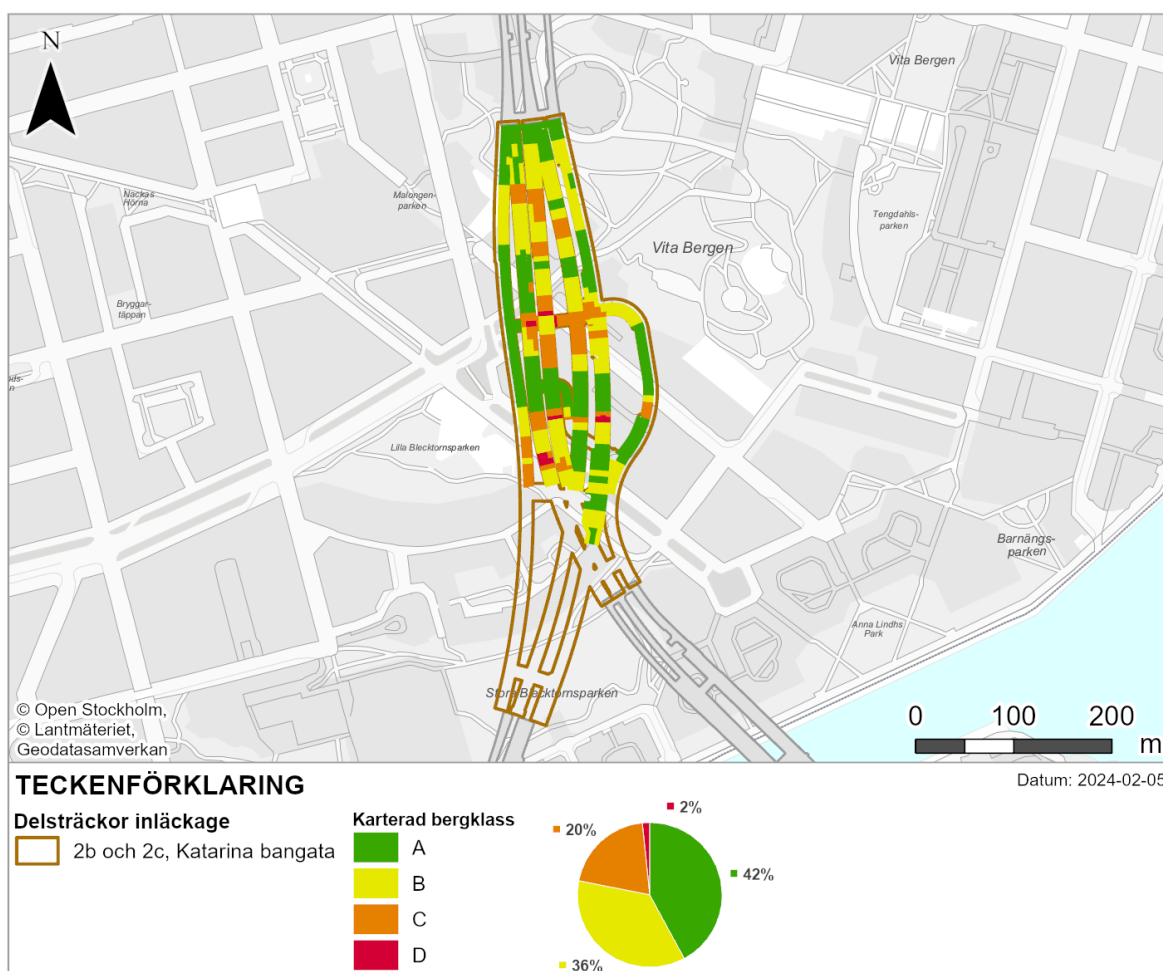
Under våren 2023 upprättades succesivt fem permanenta mätdammar för avskiljning mot delsträcka 2b och 2c Katarina Bangata. Detta har medfört att det varit möjligt att "dra av" en del av det inläckande grundvattnet till delsträcka 2a Sofia, då det egentligen tillhörde delsträckorna Katarina Bangata. Av det skälet minskade inläckaget på delsträcka Sofia kring mars-april 2023, se "Mätdammar för avskiljning" i Figur 8.

Under juli 2023 noterades återigen en temporär ökning av inläckaget i samband med genomslag vid det 90 meter djupa pilotschaktet vid Stigbersparken för kommande hisschakt. För att kunna särskilja inläckaget från schaktet från övriga tunneldelar har två temporära mätdammar gjutits nedanför schaktet.

3.3.3 Delsträckorna 2b och 2c Katarina Bangata

Delsträckorna 2b och 2c Katarina Bangata mot Söderort respektive Nacka sträcker sig från Sofia kyrka söder ut ner till Blecktornsparken (längdmätning 2+320 – 2+920 mot Sockenplan (2b) och 2+810 mot Nacka (2c) södergående spår). Delsträckan innefattar enkelspårstunneln, tvärtunneln och servicetunneln. Delsträckan är utdriven till ca 65 %. Tunnelnarnas djup under mark varierar från ca 65 meter i norr till omkring 45 meter mot Nacka respektive 55 meter mot Sockenplan.

Bergmassan inom delsträckorna domineras av granit och sedimentådergnejs med inslag av fem prognosticerade svaghetszoner som korsar tunneln. Delsträckan utgörs i huvudsak av A- och B-berg men även C-berg, se Figur 10. Flera av svaghetszonerna har riktning nordväst-sydöst och har stor variation i stupning från brantstående till flacka med 30 graders stupning. Området bedöms därmed ha väldigt god kontakt med Stockholmsåsen, vilket kan medföra högre inläckage vid dessa områden. Svaghetszonerna bedöms bestå av berg med ökad sprickintensitet och högre vattengenomsläpplighet.



Figur 10. Karterad bergklass inom delsträckorna 2b och 2c Katarina Bangata, där grön=bergklass A, gul=bergklass B, orange=bergklass C och röd=bergklass D.

sträckor med bra berg har injektering generellt utförts i en omgång och vid passage av svaghetszon har injektering utförts med två-fyra omgångar och med split-spacing.

Utvärdering av injekteringsförlopp indikerade att stoppkriterium på tid var för snävt med risk för otillräcklig tätning. Justering av strategin utfördes i byggskedet genom att tidskriterium ersattes med flödeskriterier vilket medför längre injekteringstid och bättre tätning i genomsläppligt berg.

Förinjekteringen inom delsträckorna har utförts med den mer finmalda cementsorten UF20 vilket ger bruksinträngning i finare sprickor.

Resultat från förinjekteringen är generellt liten bruksåtgång i bra berg och måttlig till mycket stor bruksåtgång i acceptabelt till dåligt berg. Det förekommer partier med mycket stora inflöden och stor bruksåtgång i enstaka hål vilket är typiskt för bra berg med öppna strukturer. Bergmassan har kunnat tätas med goda resultat. Stegvisa observationer enligt flödesschemat har gett möjlighet till att identifiera svaghetszoner vid förinjekteringen och precisera zonernas läge och orientering före bergschakt. Det medfört att förinjektering har ytterligare anpassats och kompletterats utöver konceptet Behovsanpassad IK3. Till exempel genom tidigareläggning av nästföljande injekteringskärm och obligatorisk uppdelning av omgångar i A- och B-hål vilket ger mer omfattande tätning på samma sträcka innan tunneldrivningen når zonen.

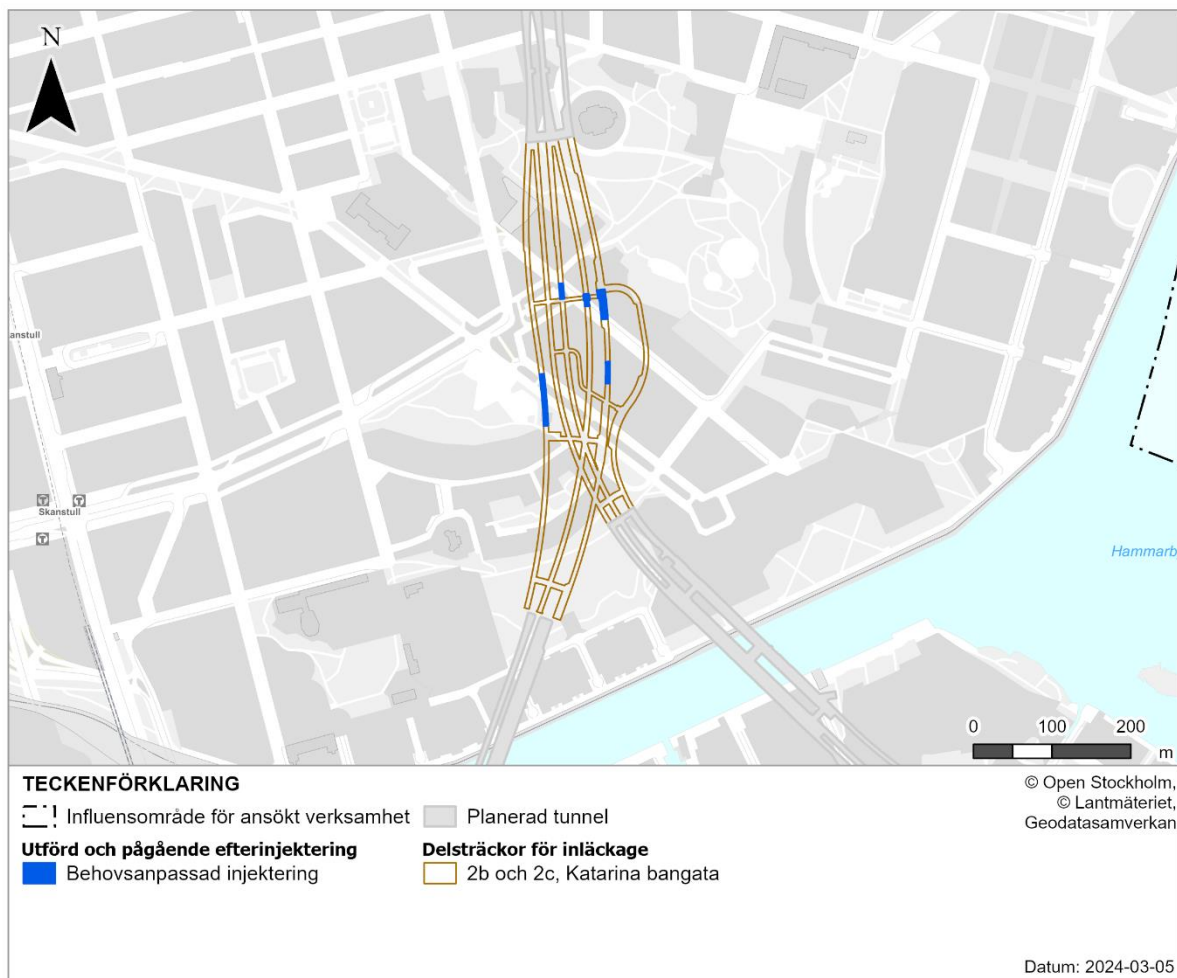
3.3.3.2 Efterinjektering

Efterinjektering har utförts vid tunnelsträckor som passerat svaghetszon eller flera zoner, se Figur 12. Tekniska lösningar för efterinjektering har utformats med primära och sekundära rader och beroende på geometriska förutsättningar för tunnlar och svaghetszonernas orientering/stupning. Huvudsakligen har efterinjektering utförts i tak och vägg i direkt anslutning till att zonen har passerats och innan fortsatt tunneldrivning. Detta för att skapa förutsättningar för att förstärkning ska kunna installeras och innan tvärtunnlar och parallella tunnlar drivs i kapp. Fler öppna ytor innebär sämre förutsättningar för ett lyckat resultat från efterinjekteringen då risken för ytläckage ökar och trycket vid injektering måste reduceras kraftigt vilket påverkar inträngningslängden av injekteringsmedel i berg negativt.

Resultat från efterinjekteringar är successivt minskad bruksåtgång mellan efterinjekteringsomgångar och primära till sekundära rader. Trots bruksåtgång motsvarande hålfyllnad (teoretisk volym för injekteringshållet) för de avslutande omgångar har återstående inläckage som kunnat observeras okulärt varit relativt stor och diffus (droppande till rinnande vatten över större ytor utan att tydligt kunna härledas till viss spricka eller specifikt ställe).

Efterinjektering av läckande bulthål har utförts i områden med genomsläppligt zonberg.

Efterinjektering med kemisk en-komponentsmedel utförts vid observerade punktläckage längs tunnelsträckor.

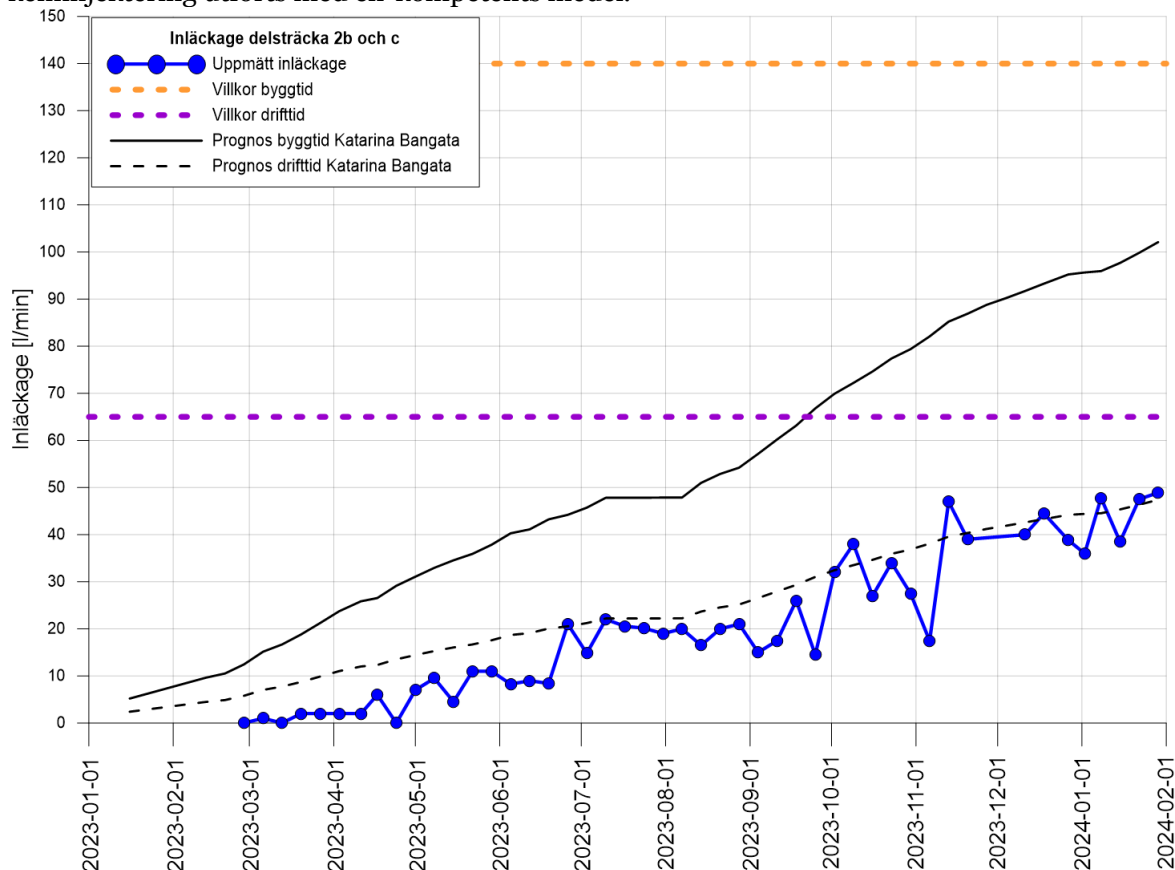


Figur 12. Utförd behovsanpassad efterinjektering längs delsträckorna Katarina Bangata.

3.3.3.3 Inläckage

Totalt uppmätt inläckage som ett medelvärde för januari 2024 är ca 44 l/min, vilket är i linje med inläckageprognos för drifttiden och under prognos för byggtiden, se Figur 13. Under vissa perioder har uppmätt inläckage överskridit prognos för drifttiden, vilket går att koppla till passager av ett mer genomsläppligt berg med sämre bergkvalitet som ofta har sammanfallit med svaghetszoner. Tätningen har i dessa fall kompletterats med behovsanpassad efterinjektering vid passage av svaghetszoner med genomsläppligt berg och där tätning med förinjektering inte var tillräcklig, vilket har reducerat inläckaget. I problemområden med relativt stora punktläckage har

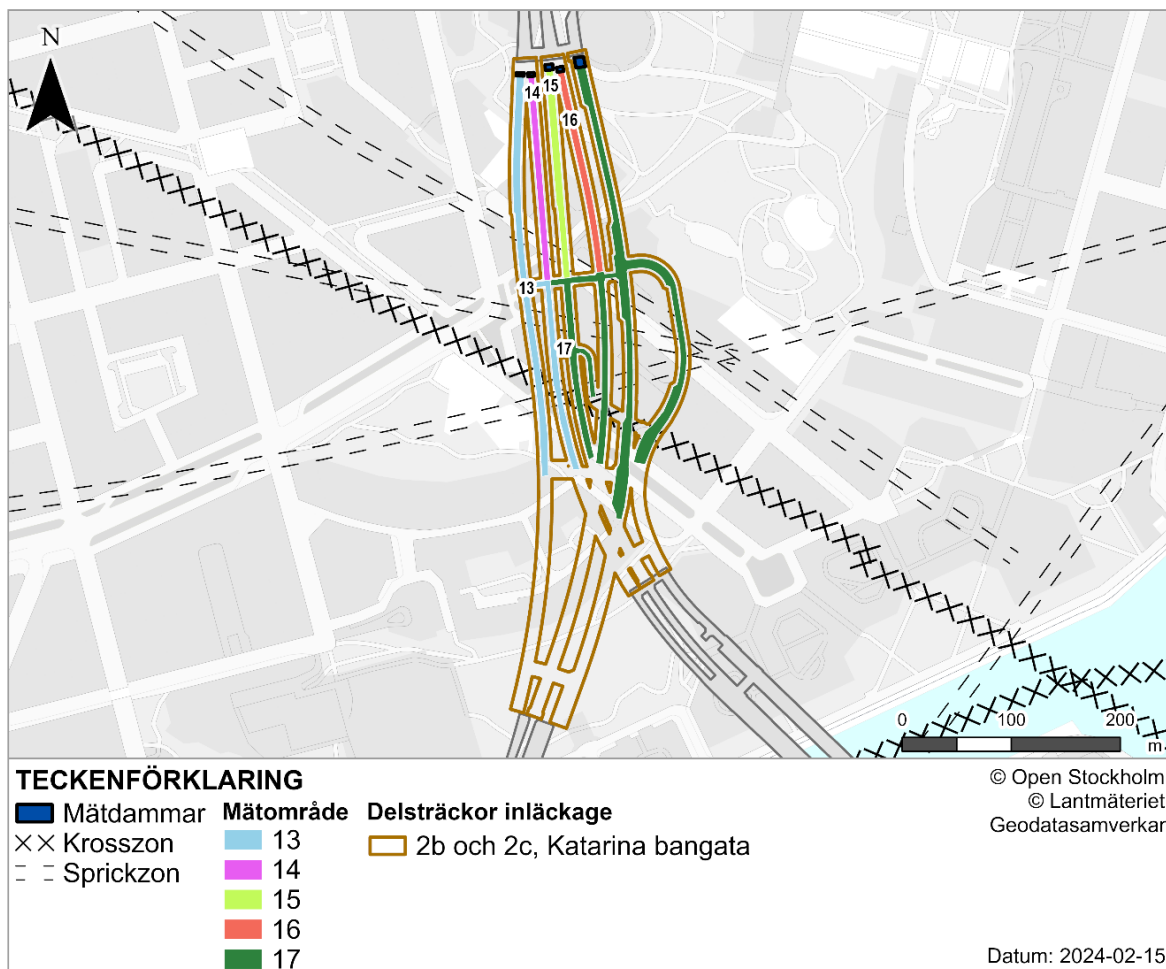
keminjektering utförts med en-komponents medel.



Figur 13. Uppmätta inläckage för delsträckorna Katarina Bangata visas i den blå grafen. Inläckaget är baserat på veckovisa mätningar och redovisas som liter per minut. Inläckageprognos utifrån framdrift visas gemensamt för 2b och 2c med svart heldragen linje för byggtiden och svart streckad linje för drifttiden. Det totala villkoret visas med streckad orange linje för byggtiden och streckad lila linje för drifttiden (detta också utifrån det samlade värdet för delsträckorna).

Inledningsvis av delsträckorna var inläckaget lågt, se Figur 13. Under maj-juli 2023 hade framdriften nått den första tvärtunneln, mätområde 17 i Figur 14, där ett mer genomsläppligt berg karterades i tre av fem tunnelrör. Området sammanfaller även med en av de prognosticerade svaghetszonerna. Området bedöms efter passage ha tillfört en total permanent ökning av inläckage på ca 10 l/min. De tre tunnelrören med sämre berg har sedan etappvis efterinjekterats enligt koncept med behovsanpassad efterinjektering (se *Bilaga A Teknisk Beskrivning* avsnitt 5.2.1.3). Inom varje område har det dessutom utförts tätning med 1-komponentens kemiska injekteringsmedel.

Under oktober 2023 passerade tunneln ytterligare en svaghetszon med en av spårtunnlarna, mätområde 13. Uppmätt inläckage innan passagen var ca 20 l/min och efter ca 30 l/min. Zonen bedöms därmed ha tillfört ett ökat inläckage på ca 10 l/min till delsträckan. Området har därefter efterinjekterats i tak och vägg. Även här utfördes kompletterande tätning med kemiska injekteringsmedel (1-komponent) har även utförts löpande.

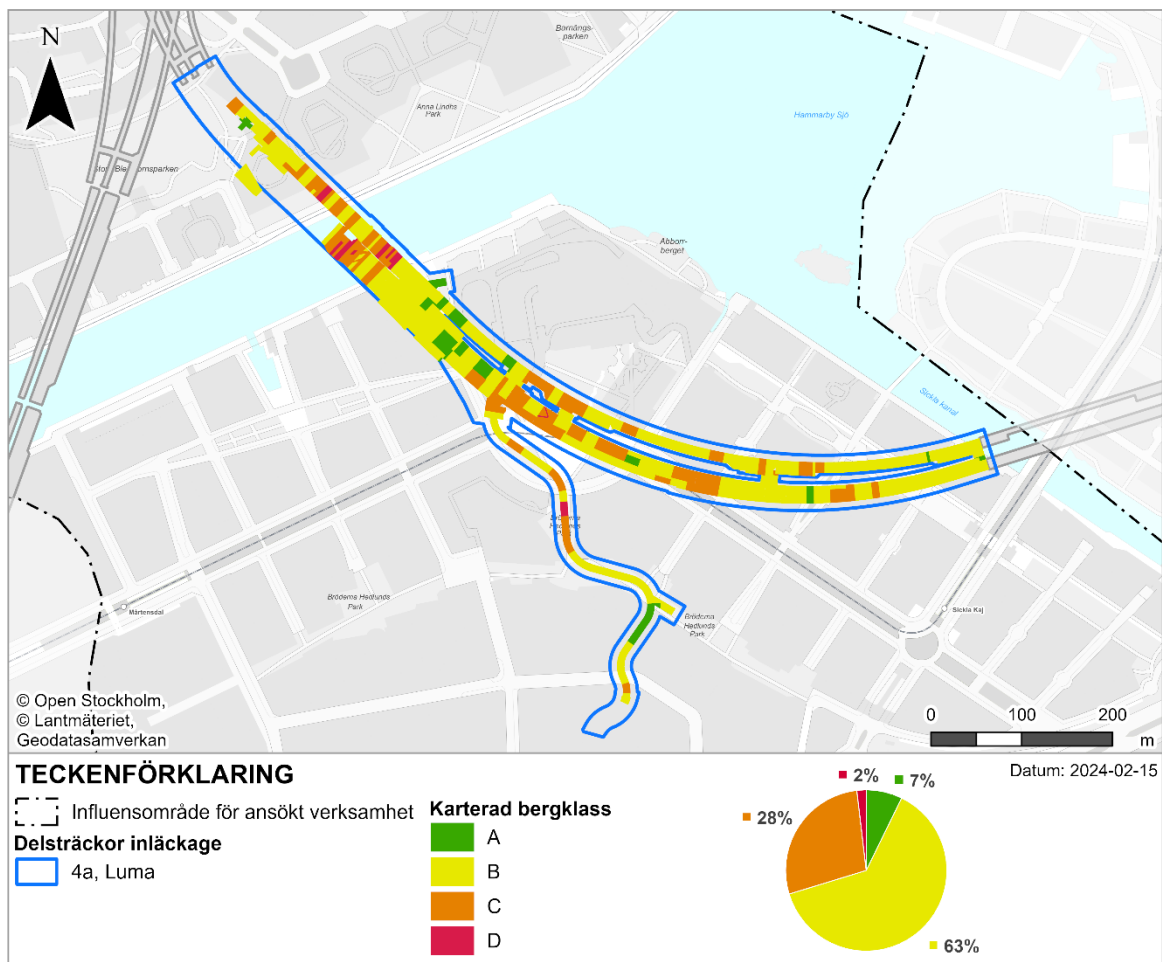


Figur 14. Mätområden för inläckage inom delsträckorna 2b och 2c Katarina Bangata.

3.3.4 Delsträcka 4a Luma

Delsträcka 4a Luma sträcker sig från Blecktornsparken på Södermalm under Hammarby sjö och genom Luma i Hammarby sjöstad med slut precis innan Sickla kanal (längdmätning 2+810 – 3+850 södergående spår), se Figur 15. I delsträckan ingår station Hammarby Kanal med tillhörande schakt för totalt två uppgångar på vardera sida om kanalen, arbetstunnel, två ventilationsschakt, enkelspårtunnlar, dubbelspårtunnlar, tvärtunnlar och servicetunnel. Delsträckan är utdriven till ca 90 % och det som kvarstår är schakt för stationer och ventilation samt spår- och servicetunnlar lokaliserade på Södermalm. Tunnlarnas djup under mark varierar mellan 40 och 50 meter i området under Hammarby Kanal och sluttar uppåt österut mot Sickla.

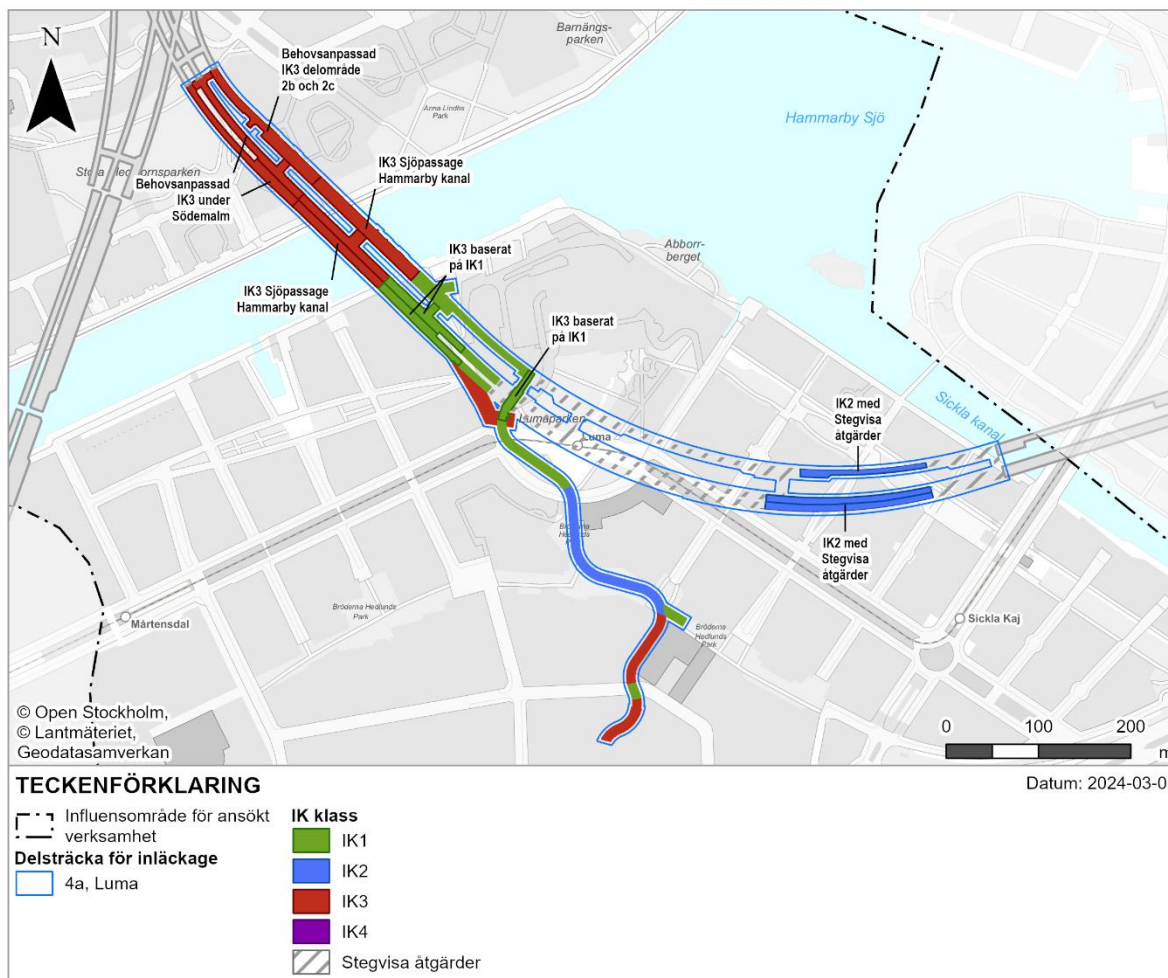
Bergmassan inom delsträckan består till största del av sedimentär gnejs samt gnejsig granit. Delsträckan utgörs i huvudsak av B- och C-berg, se Figur 15. Berget i området för delsträckan har påverkats av flera regionala zoner som stryker dels öst-västligt, dels nord-sydligt. Flera grafitfyllda svaghetszoner har karterats i området och i kanalpassagera sammanfaller dessa med partier av sämre bergkvalitet.



Figur 15. Karterad bergklass inom delsträcka 4a Luma, där grön=bergklass A, gul=bergklass B, orange=bergklass C och röd=bergklass D.

3.3.4.1 Förinjektering delsträcka Luma

I delområdet ingår en arbetstunnel som utförts i separat entreprenad, del under Södermalm, tunnlar och plattformsrums under vatten i Hammarby kanal, service- och spårtunnlar och dubbelspårstunnel. Delområdet innehåller även flertal ovanjordschakt, vertikala bergschakt och bergschakt för rulltrappa. Förinjekteringen på delsträckan Luma är en kombination av förinjekteringsklasser från bygghandlingsskedet IK1-IK2-IK3, förinjekteringskoncept IK3 Sjöpassage Hammarby kanal, den utvecklade förinjekteringsstrategin med Stegvisa åtgärder och Behovsanpassad IK3, Figur 16.



Figur 16. Förinjekteringsklasser längs delsträckan Luma.

I delen av området under Södermalm norr om Hammarby kanal har injekteringsstrategi Behovsanpassad IK3 under Södermalm tillämpats (se *Bilaga A Teknisk beskrivning*, avsnitt 5.2.1). Området bedömts tillhöra samma geologiska domän som delområde Katarina Bangata. Injekteringsstrategin Behovsanpassad IK3 under Södermalm är därför motsvarande vad som har utvecklats för delområde Katarina-Bangata med en justering avseende minskad mängd injekterad bruksvolym med hänsyn till den lägre bergtäckningen inom denna entreprenad och risken för uppträngning av injekteringsbruk på markytan. Förinjektering utförts i en (1) till två omgångar. Resultat från injekteringen är liten mängd injekterad bruksvolym i det som förväntas vara normalberg och något större injekterad bruksvolym överlag i områden med sämre bergkvalitet.

Under Hammarby kanal har injekteringsstrategi IK3 Vattenpassage Hammarby kanal tillämpats. Det innefattar mycket omfattande förinjektering med kort avstånd mellan injekteringskärrmar, stor stickning, två obligatoriska omgångar och stegvisa kontroller för beslut om ytterligare tätning. Resultat från förinjekteringen är relativt stora bruksåtgångar och problematik med sambandshål vilket medfört anpassning i produktion och kompletteringar med omgång 3 och 4. Trots omfattande förinjektering har stor andel av hål borrhålen för bultförstärkning varit vattenförande med dropp till rinnande vatten.

Förinjekteringen i arbetstunnel har utförts enligt injekteringsklasser i bygghandling med undantag för kompletterande andra omgång vid anslutning till spår tunnlar på grund av observerad problematik med sambandshål och genomsläppligt zonberg. Utförandet har kompletterats med extra rensning av injekteringshål inför förinjekteringen i försök att öka bruksåtgången. Inläckage i borrhålen har observerats och noterats kontinuerligt och visar på fuktiga till små inläckage.

Resultat från förinjektering i arbetstunneln och i korsning till service och spårtunnlar är generellt mycket liten bruksåtgång. Dropp har observerats både vid kartering av uttagna tunneldelar och vid borrning av hål för bult. Det antyder svårinjekterat berg, vilket sannolikt beror på grafitrikt berg med små sprickor och kraftiga strukturer med lera som kan direkt kopplas till sträckor där både inläckage över acceptabla nivåer kan observeras okulärt och genom mätning av inläckande grundvatten.

Förinjekteringen för service- och spårtunnlar norr om arbetstunneln är enligt injekteringsklasser i bygghandlingen. Resultaten motsvarar vad som kan väntas i normalberg med enstaka öppna strukturer, små bruksåtgångar generellt och större bruksåtgång i några enstaka hål. Förinjekteringskonceptet för service- och spårtunnlar söder om arbetstunneln har justerats stegvis i byggskedet efter observation om svårinjekterat berg och negativ trend med ökade mängder inträngande vatten, motsvarande det i arbetstunnel och anslutning till huvudsystemet. Systematisk observation och utökad kontroll av injekteringsresultatet infördes i produktion. Framför allt anades stoppvillkoren avseende tryck och tid vara för snäva baserat på utvärdering av injekteringsförloppen. Arbetet med utveckling av injekteringsstrategi utfördes som stegvisa åtgärder ("en sak i taget") med datainsamling och successivt införande av ändrade kriterier (se *Bilaga A Teknisk beskrivning*, avsnitt 5.2.1).

Stegvisa åtgärder innefattade:

- utökade kontroller genom provningar och utvärderingar av injekteringsförlopp
- ökad stickning med hänsyn till större tunnelseparationer och förekomst av grafit och lera som kan ge deformationer av förinjekterade sprickor efter berguttag
- höjt injekteringstryck och ökad injekteringstid
- utökade villkor för komplettering (omgång 2)
- ökad mängd injekterad bruksvolym och kriterier för byte av bruksblandning
- mer finmalen cementsort och nya bruksblandningar
- teststräcka med förinjektering enligt ovan punkter och i två obligatoriska omgångar

Åtgärderna har utförts stegvis med utvärdering och analys av resultat med fokus på att optimera förinjektering och därmed åstadkomma minskad mängd inträngande grundvatten. En marginell ökning i bruksåtgång, i enstaka hål per skärm, kunde observeras efter höjt tryck och förlängd injekteringstid.

Det har genomförts försök med vattenförlustmätningar och extra rensning av injekteringshål utan att någon positiv trend med ökad bruksåtgång eller minskat inläckage kunnat observeras. Vattenförlustmätningar visade på bergmassa med låg genomsläpplighet med 0,3 LU i medel, 0,2 LU i median och som högst uppmätt 0,8 LU (LU, Lugeon, är ett mått på vattenförande förmåga i ett borrhål i berget).

Injekteringskonceptet på sträckan söder om arbetstunneln har utvecklats för de möjliga styrande parametrar för cementinjektering, avseende observationer och kontroller i utförandet. Trots detta visar resultaten på liten till ingen ökning i bruksåtgången (majoriteten av hål har bruksåtgång motsvarande teoretisk volym för det borrarade injekteringshålet) och successivt ökande inläckage i nivå med byggskedesprognosen och över driftskedesprognosen.

3.3.4.2 Efterinjektering

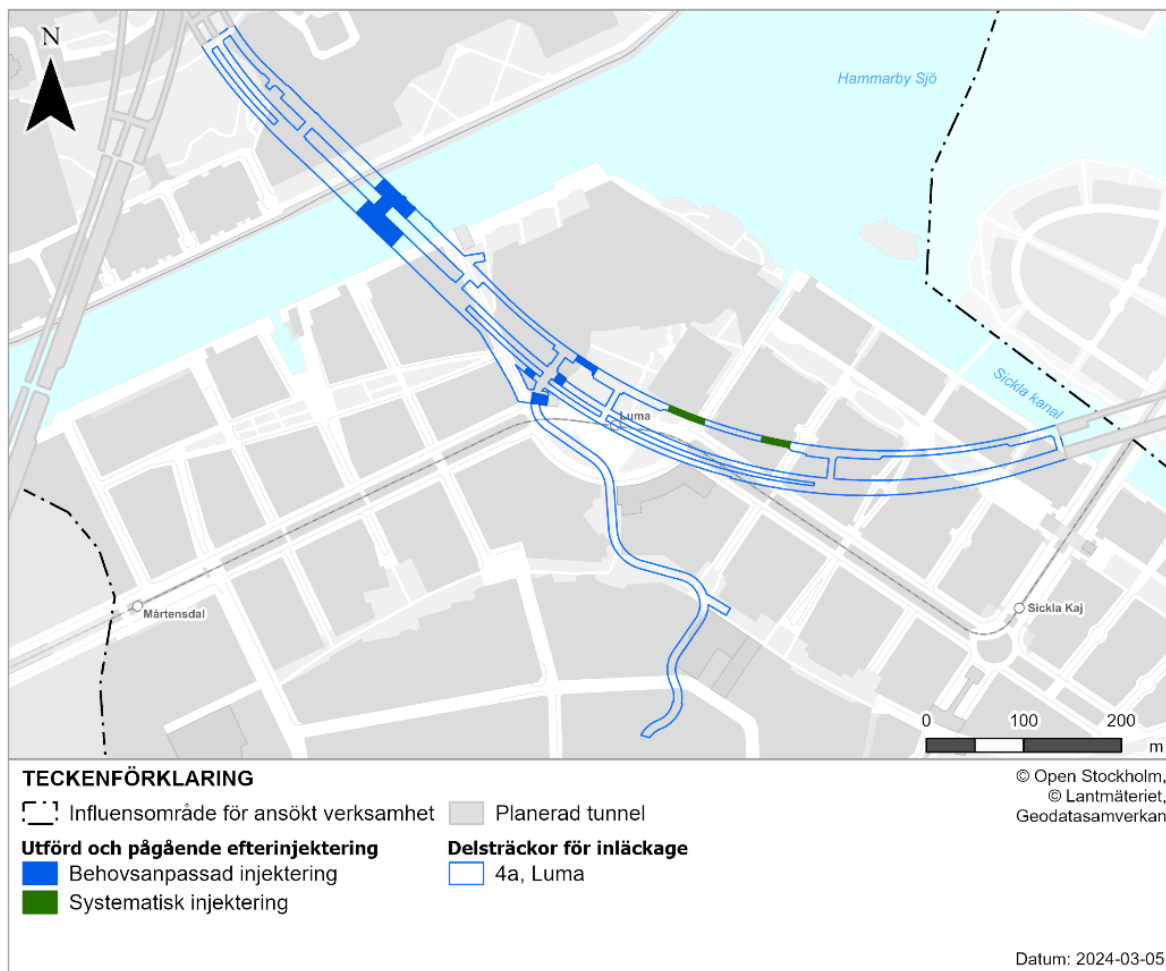
Efterinjektering har utförts för korsningen mellan arbetstunnel och huvudtunnelsystemet, vid tvärtunnel i svaghetszon under Hammarby kanal och på två sträckor i servicetunnel där tätningen bedömts vara otillräcklig vid särskild analys, se Figur 17. Utgångspunkten för efterinjekteringen

har varit att genomföra samtliga åtgärder som är möjliga för att generera en minskning av inläckaget som är större än marginell.

Efterinjektering har utförts i korsningen mellan arbetstunnel och service- och spårtunnlarna där svaghetszon påträffades med påföljd att inläckaget ökade över prognosticerade värden och kraftigt dropp till rinnande vatten observerades på sträckorna. Efterinjektering utfördes i tak och vägg. Resultat från efterinjekteringen är måttlig bruksåtgång i spårtunnlar och liten bruksåtgång i servicetunneln.

Under Hammarby kanal passerar tunnlar ett område med flertal kraftiga svaghetszoner. Vid tunneldrivning av servicetunnel och del av plattformsrummet har dessa verifierats vara mycket genomsläppliga. Fler öppna ytor innebär sämre förutsättningar för ett lyckat resultat från efterinjekteringen då risken för ytläckage ökar och trycket vid injektering måste reduceras kraftigt vilket påverkar inträngningslängden av injekteringsmedel i berg negativt. Efterinjektering utfördes från servicetunnel och uttagen del av plattformsrummet innan bergschakt för tvärtunnel. Efterinjektering utfördes genom borrhning vinkelrätt tunnlar över taket och under botten på parallell tunnel med syftet att reducera inläckage för att säkerställa uppfyllelse av byggskedesvärden.

Systematisk efterinjektering har utförts runt om tunnelperiferin för två sträckor i servicetunnel. Dessa områden har en tydlig ökning av inläckage och okulära observationer om inläckande grundvatten vilka båda kan härledas till områdenas grafitrika bergmassa, sprickfyllnad av lera och kraftiga strukturer och svaghetszoner. Resultat från efterinjektering är mycket små bruksåtgångar. Analys av injekteringsförlopp visar på bruksåtgång i botten över det normala för delsträckan vilket sannolikt beror på att nedåtriktade hål ”slangas” (dvs. hålen fyllts manuellt med slang till dess att man ser injekteringsbruket komma ut ur hålet vilket medför viss överfyllnad av hålen jämfört med injektering genom en manschett). Okulära observationer, baserade på jämförelse mellan droppkartering utförd vid tunneldrivning och särskild droppkartering efter utförd efterinjektering, indikerar minskade områden/omfattning på inläckage framför allt i vägg. Ingen uppenbar minskning av inläckagen har kunnat kopplas till utförd efterinjektering på dessa sträckor.

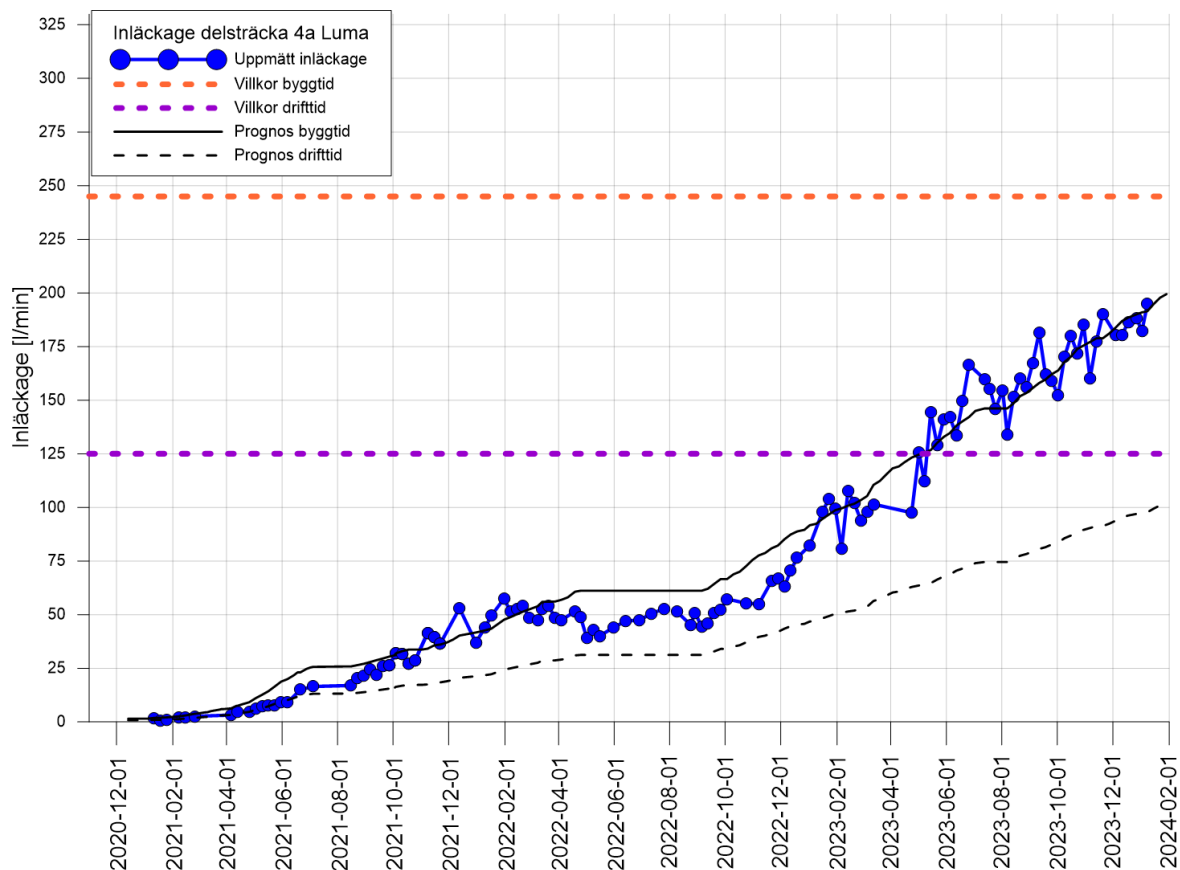


Figur 17. Utförd systematisk och behovsanpassad efterinjektering längs delsträckan Luma.

För att möjliggöra kravuppfyllnad avseende byggskedesvärden har åtgärder för läckande bulthål fått förändras och skärpas. Omfattande problematik med borrhål för bult som läcker förekom i områden med grafitrik bergmassan och lerfyllda sprickor, huvudsakligen i områden med bergkvalitet C. Bergkvalitet C kräver bergförstärkning med systematisk bultning med tätt bultavstånd vilket medför många hål med inläckage och risk att byggskedesvärden överskrids. De läckande bulthålen har efterinjekterats kontinuerligt och med systematik under tunneldrivningen. Bulthål har efterinjekterats med cementbaserade injekteringsmedel och ifall läckaget kvarställt har efterinjektering kompletterats med kemiska en-komponents injekteringsmedel.

3.3.4.3 Inläckage

Totalt uppmätt inläckage som ett medelvärde för januari 2024 är ca 189 l/min, vilket är över inläckageprognosen för drifttiden och i linje med inläckageprognosen för byggtiden se Figur 18. Ökade inläckage på delsträckan kan kopplas till drivning genom svaghetszon i botten av arbetstunnel och flera svaghetszoner med grafit- och lerfyllnad.



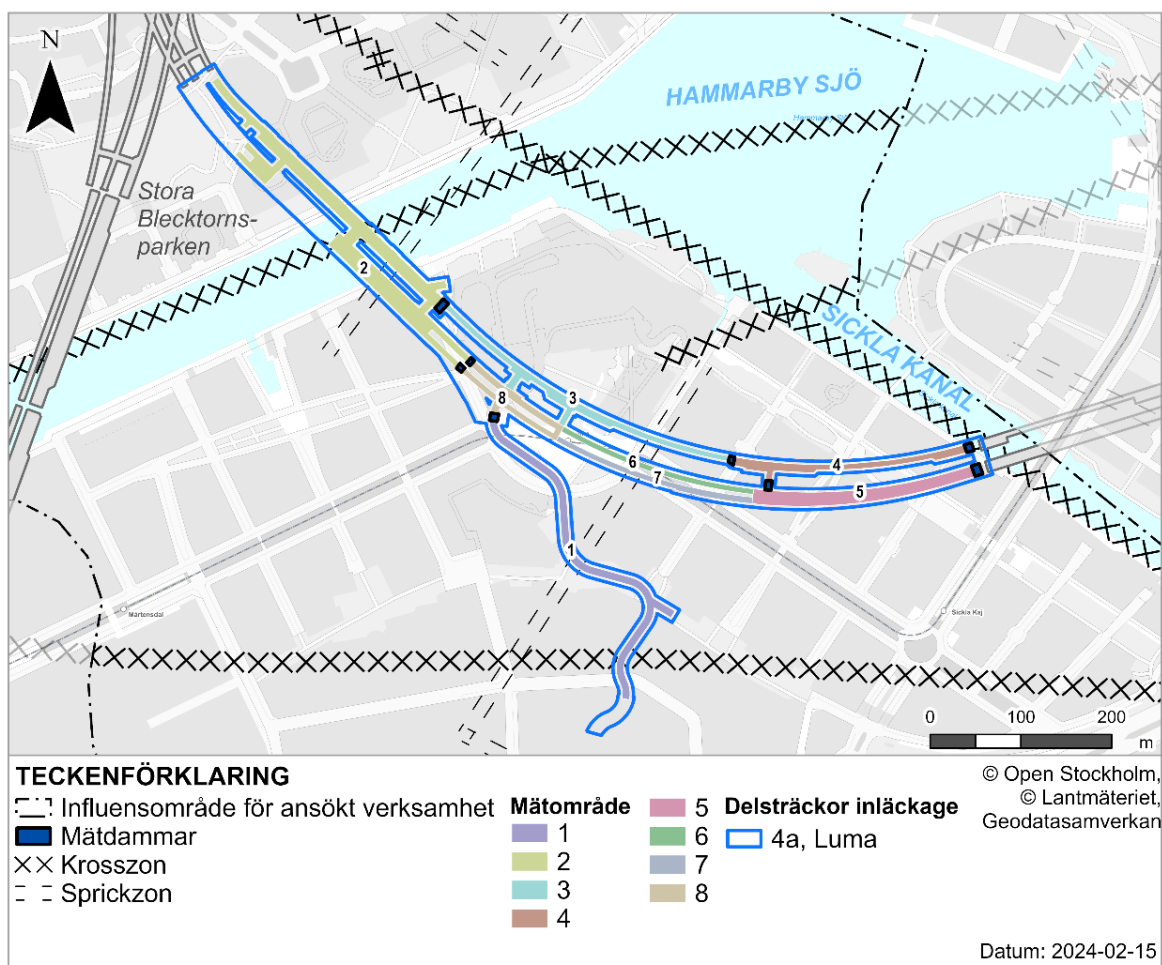
Figur 18. Uppmätta inläckage för delsträckan Luma visas i den blå grafen. Inläckaget är baserat på veckovisaveckovisamätningar och redovisas som liter per minut. Inläckageprognos utifrån framdrift visas med svart linje för byggtiden och svart streckad linje för drifttiden. Det totala villkoret visas med streckad orange linje för byggtiden och streckad lila linje för drifttiden.

Tunneldrivningen inleddes med utdrivning av arbetstunneln, vilket motsvarar mätområde 1 i Figur 19. Inläckaget steg när svaghetszoner passerades, vilket främst var i nedre delen av arbetstunneln. Inläckaget för mätområde 1 ligger över prognosen för drifttid men under prognosen för byggtid.

I korsningen mellan arbetstunneln och spårtunnlar förekommer en svaghetszon och flera geologiska strukturer parallella med svaghetszonen bidrog till större inläckage.

Vid fortsatt tunneldrivning österut genom mätområde 3, 4, och 5, se Figur 19, passerades flera svaghetszoner med grafit med ogynnsamma strukturer i förhållande till tunneldrivningens riktning vilket gjorde berget svårinjekterat. Det uppmätta inläckaget ökade gradvis under passage av dessa områden, utan någon tydlig peak eller zon likt den i Sofia. Trots de extra tätningsåtgärder som genomfördes på sträckan har inget minskat inläckage observerats. I mätområde 3 ligger inläckaget över prognos för drifttid men under prognos för byggtid. I mätområde 4 och 5 ligger inläckaget över prognos för både bygg- och drifttid.

Norr om arbetstunneln avgränsas inläckagemätningarna med hjälp av mätdammar, vilket motsvarar mätområde 2. Mätområdet omfattar hela plattformsrummet, servicetunneln, rulltrappsschakten och kanalpassagen genom Hammarby kanal. Tunnlarna har generellt större dimensioner här och präglas av grafitförande berg där grafiten förekommer i uppkrossade linser längs foliationsplanen som varierar i storlek. I de områden där grafitlinserna förekommer tätt är berget relativt uppsprucket och karteras till C- eller D-berg. Vid områden med längre avstånd mellan linserna har berget oftast karterats till B-berg med ökad blockstorlek. Inläckaget ligger under prognos för byggtiden men över prognos för drifttiden i detta mätområde.



Figur 19. Mätområden för inläckage inom delsträcka 4a Luma.

4 Uppkommen grundvattenpåverkan och utförd infiltration

4.1 Inledning

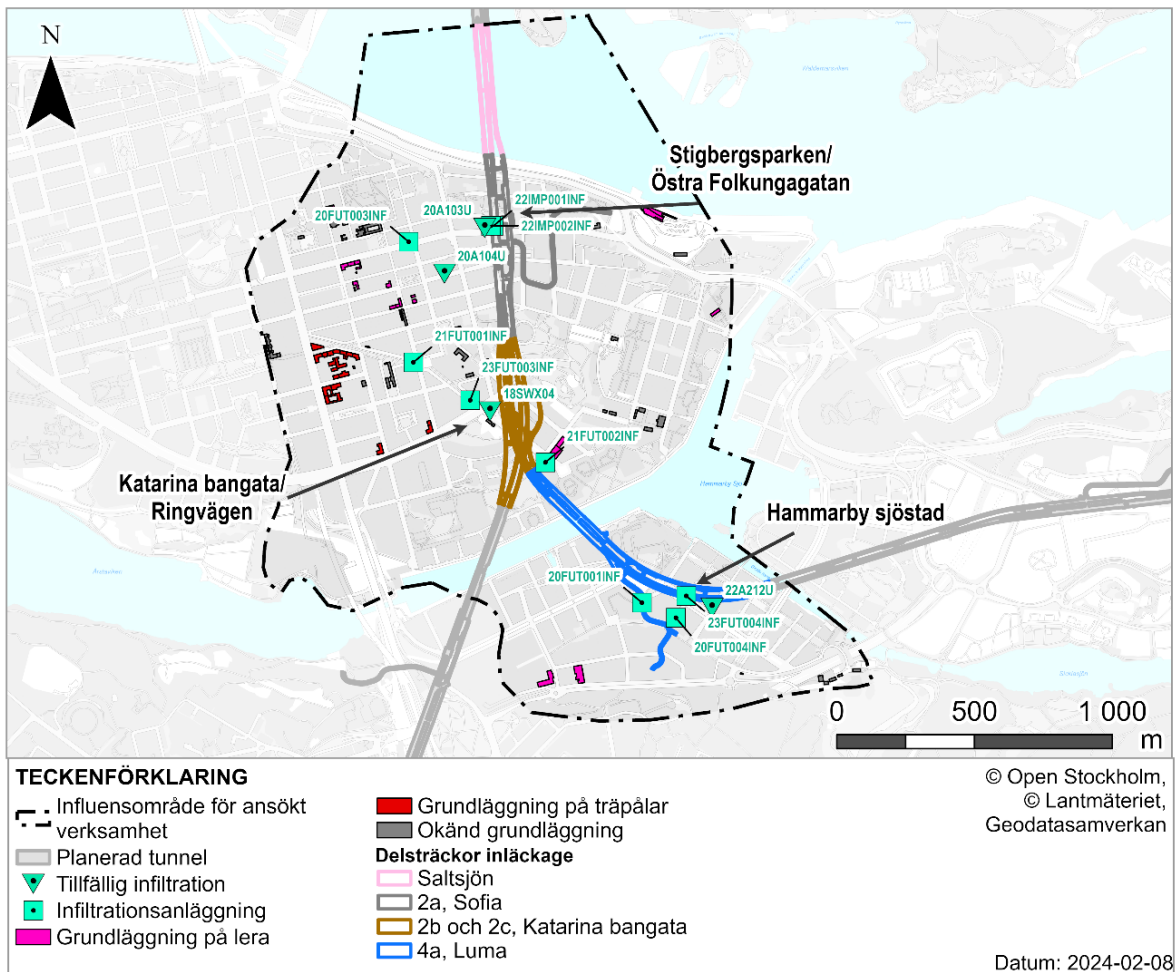
Tunnelanläggningen ger upphov till inläckage av grundvatten, vilket kan orsaka grundvattenpåverkan i jord och berg. Grundvattenpåverkan handlar dels om förändringar av vattnets strömningsbild vilket kan orsaka spridning av befintliga markföroreningar eller att grundvattenförhållanden för naturmiljöer förändras, dels handlar grundvattenpåverkan om de konsekvenser som är associerade med grundvattennivåsänkningar i jord och berg. Om grundvattennivån sänks i lerjord kan sättningar uppkomma vilket riskerar att orsaka sättningsskador på byggnader eller markförlagda ledningar. En avsänkt grundvattennivå i berg kan leda till en försämrad effekt i energibrunnar. Försämrad effekt beror på avsänkningens storlek och brunnens djup. Avsänkningar på under 10 meter ger i regel inte upphov till något märkvärt effektbortfall.

Grundvattenpåverkan i jord övervakas, inom ramen för Regionens kontrollprogram för vattenverksamhet, genom mätning av grundvattennivåer i observationsrör. Mätningarna sker veckovis i de områden där tunnelarbeten pågår. Varje grundvattenberoende objekt är kopplat till ett observationsrör som ansätts med åtgärdsnivåer. Åtgärdsnivåerna anger vid vilken uppmätt

grundvattennivå en åtgärd ska vidtas. Regionens huvudsakliga strategi för att fastställa åtgärdsnivåer är: Åtgärdsnivå 1 (ÅN1) normalt förekommande låg grundvattennivå (ungefär årligen återkommande) och Åtgärdsnivå 2 (ÅN2) lägsta förekommande grundvattennivå. Om ÅN2 underskrids ska skyddsinfiltration till grundvattenmagasinet startas omgående. Skyddsinfiltration innebär infiltration av vatten till undre grundvattenmagasin i syfte är att skydda känsliga objekt från marksättningar till följd av grundvattennivåsenkning. Anläggningar för skyddsinfiltration, så kallade infiltrationsanläggningar, har anlagts i de olika grundvattenmagasinen för att kunna utföra skyddsinfiltration. Infiltrationsanläggningar behövs ofta tillfälligt under byggnationen av tunnlar, men kan även behövas permanent när tunnelanläggningen är färdig om behovet av att upprätthålla grundvattennivåerna kvarstår. Det vatten som infiltreras under byggtiden är kommunalt ledningsvatten från Stockholm Vatten och Avfall (SVOA).

Grundvattenpåverkan i berg övervakas genom mätningar av grundvattennivån i energibrunnar. Mätningar sker månadsvis. Vid behov kommer Regionen att vidta skadeförebyggande åtgärder alternativt skadereglera eventuell permanent påverkan på brunnarna i efterhand.

I detta avsnitt beskrivs de hydrogeologiska förutsättningarna inom influensområdet indelat utifrån delsträcka, avrinningsområde och grundvattenmagasin. Grundvattenmagasinens indelning baseras på geologin, strömningsriktning och samvariation av grundvattennivåer. I avsnittet beskrivs även vilka grundvattenberoende objekt (känsliga objekt) som finns inom respektive grundvattenmagasin, hitintills uppkommen grundvattenpåverkan i jord och berg samt vilken beredskap med skyddsinfiltration som finns och som i dagsläget utförs. I Figur 20 redovisas en översikt över i vilka områden inom influensområdet som en grundvattenpåverkan i jord har observerats samt var beredskap för skyddsinfiltration i form av infiltrationsanläggningar finns. Även känsliga objekt i form av byggnader redovisas. Hitintills uppkommen grundvattenpåverkan är liten och isolerad till ett mindre område vid östra Folkungagatan och Stigbergsparken, området vid korsningen Katarina Bangata/Ringvägen och runt norra Malmgårdsvägen samt i ett mindre område i anslutning till tunneln i Hammarby Sjöstad. Vid Katarina Bangata/Ringvägen och Malmgårdsvägen upprätthålls grundvattennivåerna med infiltration. Området vid östra Folkungagatan och Stigbergsparken är inte känsligt för en grundvattennivåavsänkning (varför infiltration inte utförs här) och i Hammarby Sjöstad upprätthålls nivåerna delvis med hjälp av infiltration. I Hammarby Sjöstad pågår utredningar över områdets känslighet och eventuellt behov av fler infiltrationsanläggningar.



Figur 20. Översiktskarta över i vilka områden som en grundvattenpåverkan i jord har observerats samt var beredskap för skyddsinfiltation i form av infiltrationsanläggningar finns. Även känsliga objekt i form av byggnader redovisas.

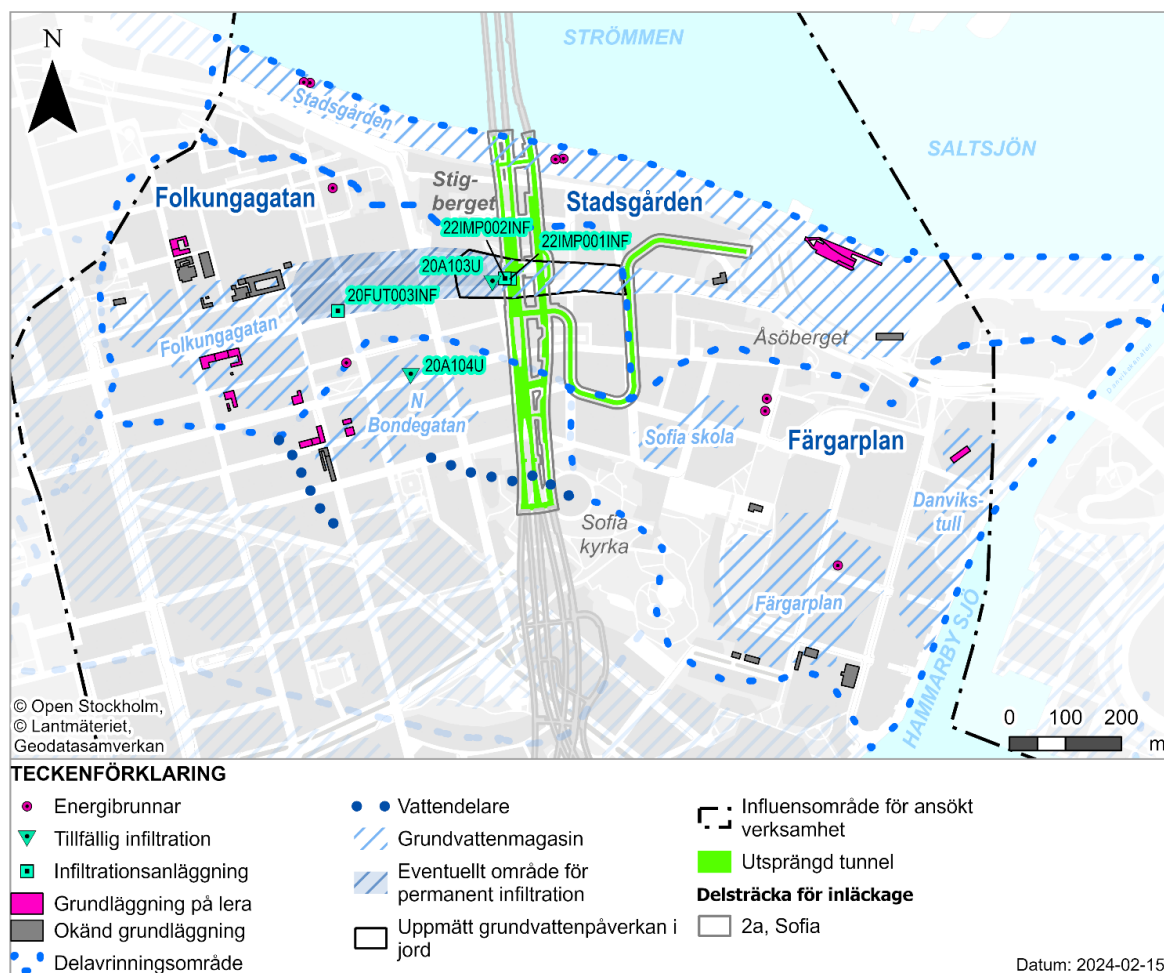
4.2 Delsträcka Saltsjön

Delsträcka Saltsjön sträcker sig under Saltsjön och någon hydrogeologisk påverkan kan därför inte uppstå. Hydrogeologisk beskrivning eller beskrivning av grundvattenpåverkan redovisas därför inte.

4.3 Delsträcka 2a Sofia

Delsträcka 2a Sofia sträcker sig från Saltsjöns strandkant på norra Södermalm vid Stadsgårdskajen, söder ut till Sofia kyrka. Området inom delsträckan karaktäriseras av Stadsgårdskajens förkastningsbrant upp mot Stigberget och Åsöberget. Området inom och runt delsträckan kan delas in i de tre delavrinningsområdena Stadsgården, Folkungagatan och Färgarplan, se Figur 21. Inom delavrinningsområde Folkungagatan finns två undre grundvattenmagasin och lokala, separata övre grundvattenmagasin längs med Folkungagatan. Inom delavrinningsområde Stadsgården finns ett undre magasin och inom delavrinningsområde Färgarplan finns tre undre magasin. Delavrinningsområdet längs med Stadsgårdskajen är egentligen inget sammanhållet område utan utgör den del av östra Södermalm som avrinner direkt mot Strömmen och som begränsas av Stigberget och Åsöberget mot söder.

Inom delsträckan har grundvattenpåverkan i jord, i form av avsänkta grundvattennivåer, orsakad av Regionens arbeten observerats lokalt i området runt östra Folkungagatan och Stigbergsparken. Påverkan går att koppla till utdrivningen av arbetstunneln till Station Sofia och drivning genom den svaghetszon som löper parallellt med Folkungagatan. Området som har påverkats är inte känsligt för en grundvattennivåsänkning eftersom grundvattennivån sedan länge ligger under lerjordens underkant. Tre infiltrationsanläggningar finns; en väster om tunneln längs Folkungagatan och två i anslutningen till schaktet vid Stigbergsparken. Påverkan i berg har observerats i två energibrunnar inom avrinningsområde Färgarplan. Känsliga objekt längs delsträckan finns främst väster om anläggningen i närheten av de västra delarna av Folkungagatan.



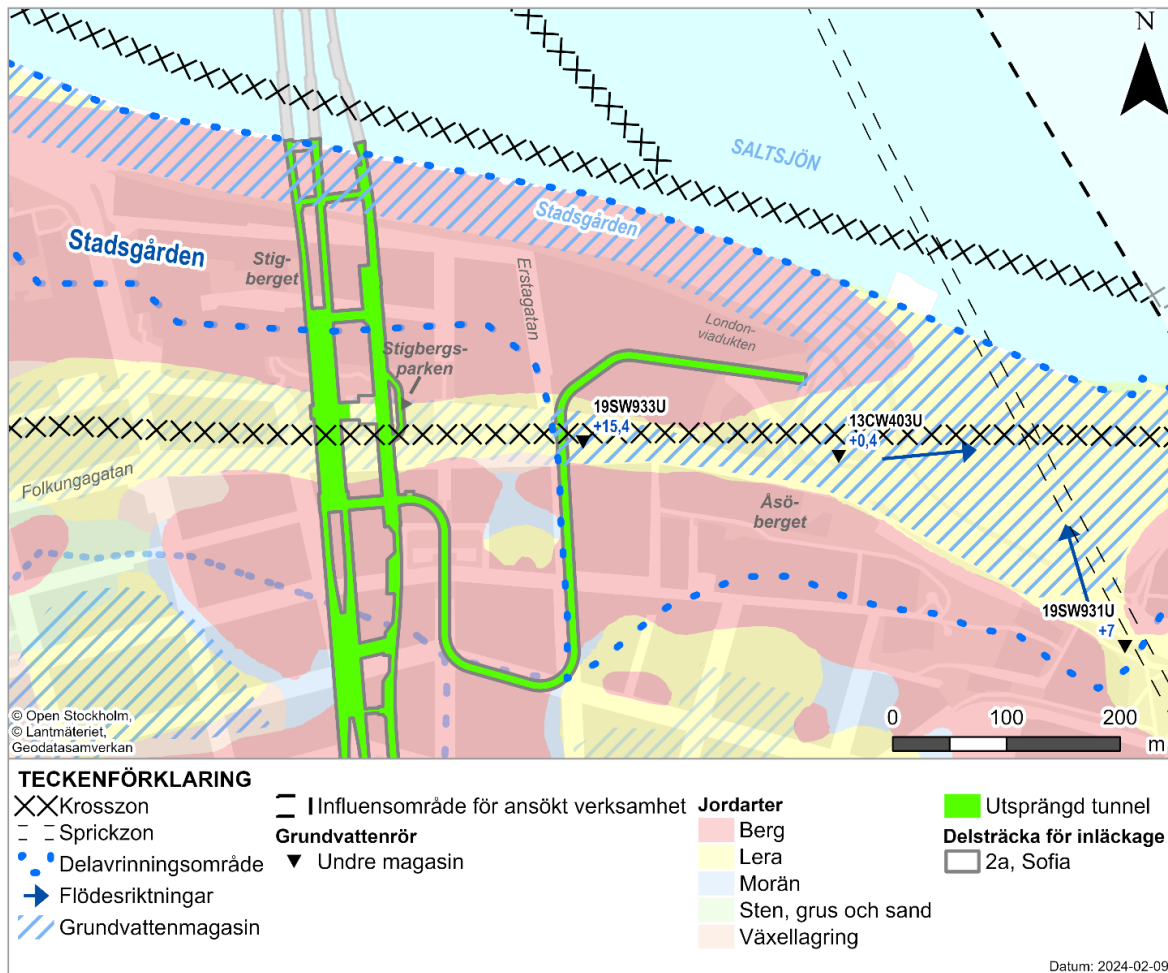
Figur 21. Översiktskarta över de delavrinningsområdena (Folkungagatan, Stadsgården och Färgarplan) som ligger inom delsträcka 2a Sofia. Grundvattenmagasin, känsliga objekt samt möjlighet till skyddsinfiltration redovisas samt aktuell utsprängd tunnel (fram till och med januari 2024).

4.3.1 Delavrinningsområde Stadsgården

4.3.1.1 Hydrogeologiska förhållanden

Delavrinningsområdet Stadsgården utgör den del av östra Södermalm som avrinner direkt mot Strömmen och begränsas av Stigberget, Åsöberget och Danviksberget i söder. I Figur 22 visas en jordartskarta över området med undre grundvattenmagasin, grundvattenrör och grundvattnets strömningsriktning. De omgivande höjddpartierna avgränsar delavrinningsområdet på ett tydligt sätt. Markytan ligger på ca +22 vid korsningen Folkungagatan och Erstagatan och faller därifrån brant österut till nivå ca +5 vid korsningen Folkungagatan och Londonviadukten. Mellan höjddpartierna återfinns ett grundvattenmagasin längs med Folkungagatan som avrinner österut

med utlopp i Saltsjön. Jorddjupen varierar mellan 5–12 meter och jordlagren utgörs av fyllnadsmaterial underlagrat av lerjord och av friktionsmaterial. Lerjordens tjocklek varierar mellan 1–4 meter. Grundvattennivån ligger under lerjordens underkant. Längs med Folkungagatan är grundvattennivåns gradient brant ostlig med nivåer som varierar mellan nivån cirka +15,4 vid korsningen Folkungagatan och Erstagatan (19SW933U) och fallande ned till cirka +0,3 vid korsningen Folkungagatan och Londonviadukten (13CW403U). Grundvattennivån i magasinets östra delar styrs av ytvattnets nivå i Saltsjön.

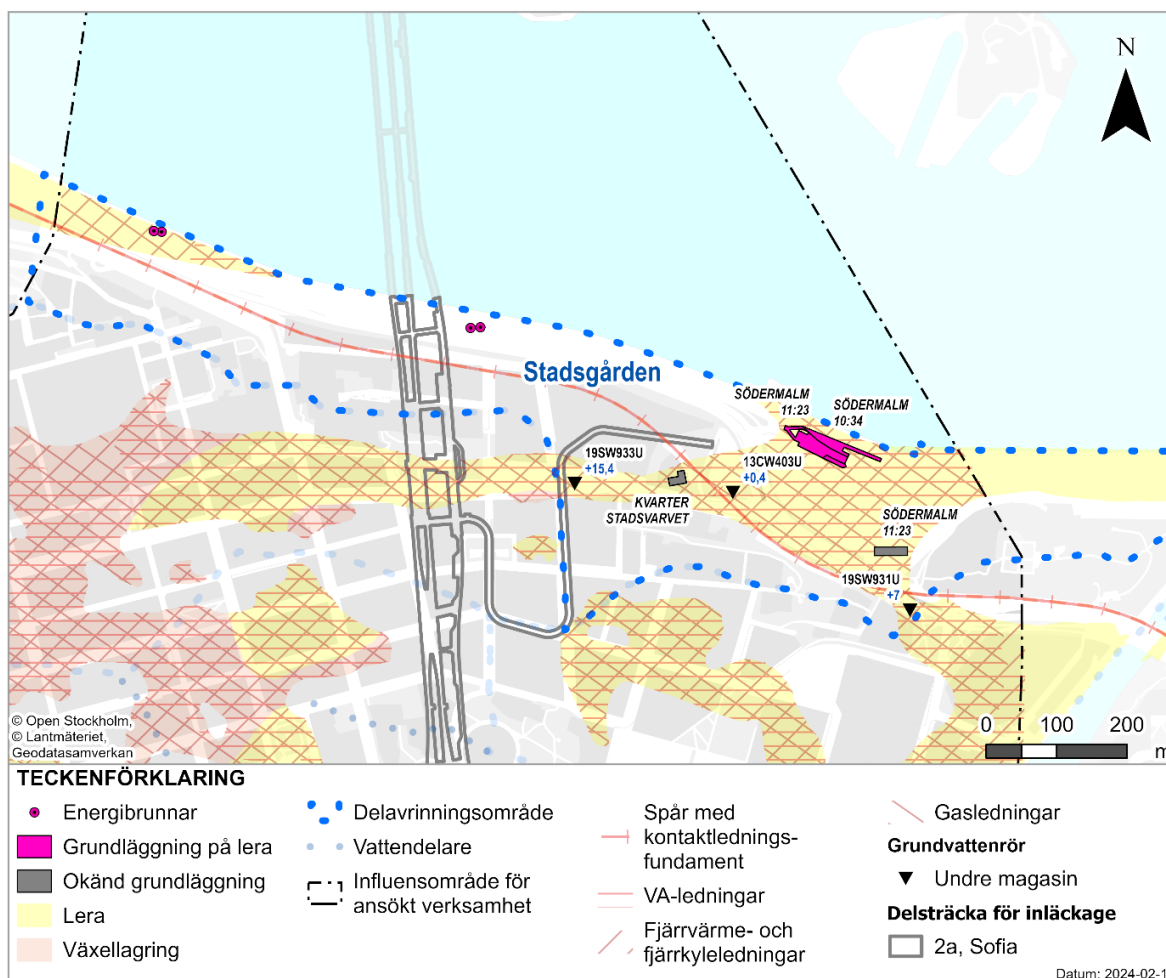


Figur 22. Hydrogeologisk karta över delavrinningsområde Stadsgården som redovisar jordarter, krosszon/sprickzon, undre grundvattenmagasin, grundvattenrör och grundvattennivå samt grundvattnets strömningsriktning. Aktuell utsprängd tunnel för delsträcka 2a Sofia (fram till och med januari 2024) redovisas också.

4.3.1.2 Känsliga objekt

Inom delavrinningsområdet finns ett fåtal känsliga objekt som har okänd grundläggning samt markförlagda ledningar belägna inom lerjord samt energibrunnar, se Figur 23. Inom kvarteren

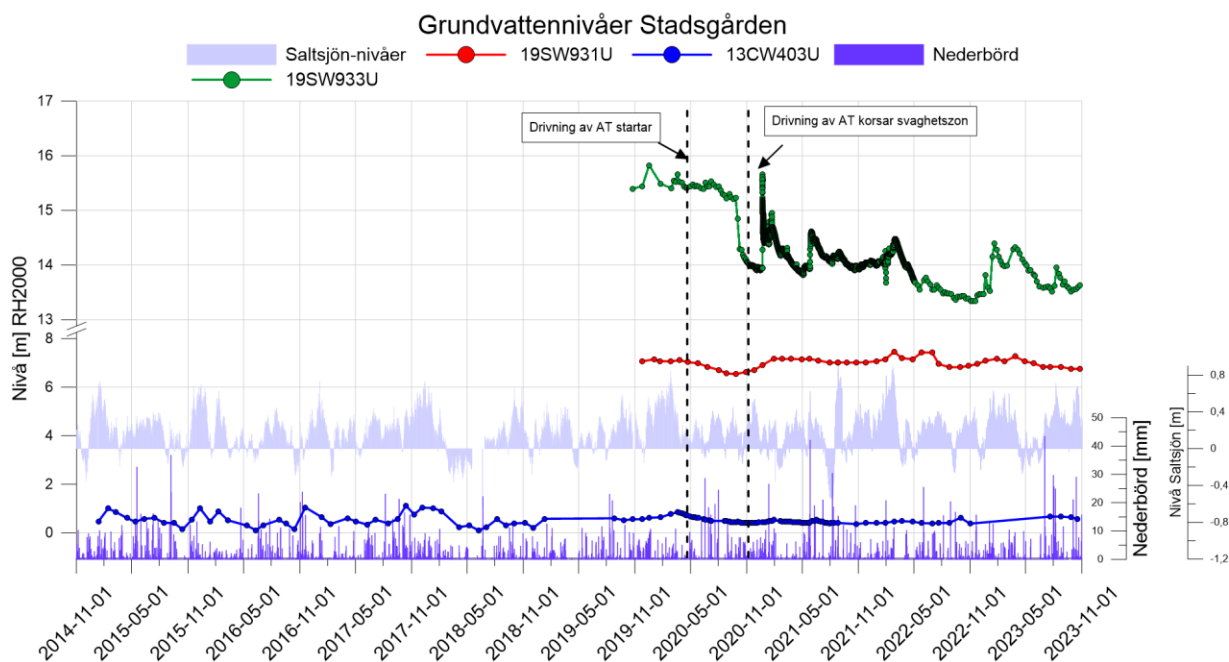
Stadsvarvet och Södermalm 11.23 finns byggnader med okänd grundläggning. Ett objekt, Södermalm 10.24 (Viking line-terminalen) är grundlagt på lera.



Figur 23. Känsliga objekt inom delavrinningsområde Stadsgården. Inom delavrinningsområdet finns ett fåtal känsliga objekt som har okänd grundläggning samt markförlagda ledningar belägna inom lerjord.

4.3.1.3 Grundvattenpåverkan

Grundvattenpåverkan i form av avsänkta nivåer i jord är begränsad till ett mindre område kring östra Folkungagatan, grundvattentrör 19SW933U, se Figur 23. Uppkommen påverkan går att koppla till drivningen av arbetstunnel Sofia och passagen av den svaghetszon som löper parallellt med Folkungagatan. Grundvattennivån ligger sedan tidigare under lerjordens underkant och området är därför inte känsligt för en grundvattennivåavsänkning. Uppkommen grundvattenpåverkan är begränsad till detta område och avsänkningen uppgår till som mest ca 2 m, se Figur 24.



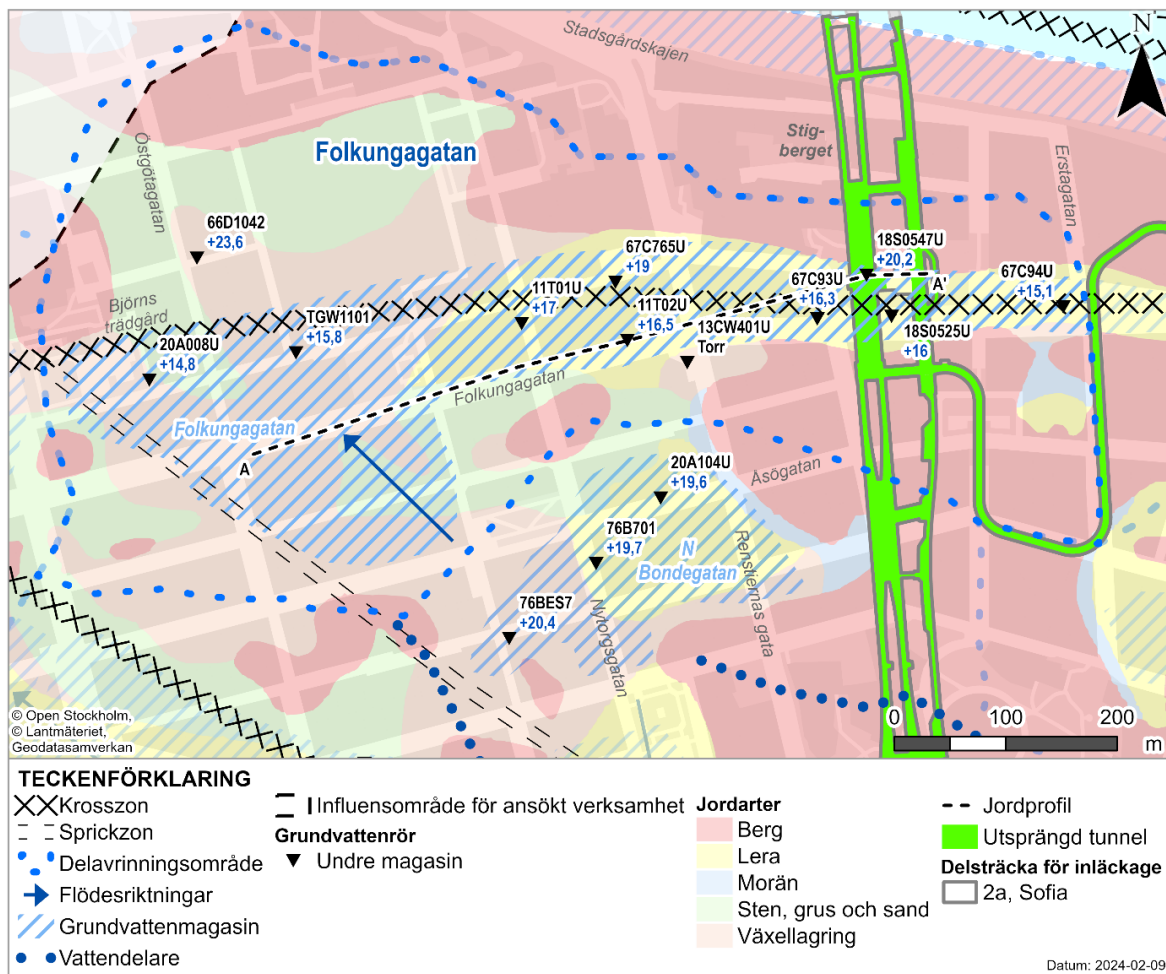
Figur 24. Grundvattennivåer inom grundvattenmagasin Stadsgården. Uppkommen grundvattenpåverkan är begränsad till ett mindre område kring östra Folkungagatan och avsänkningen uppgår till som mest ca 2 m. Grundvattennivån ligger sedan tidigare under lerjordens underkant och området är därmed inte känsligt för en grundvattennivåavsänkning. Dygnsnederbörd och ytvattennivå i Saltjön samt tidpunkt för när drivning av arbetstunnel startar och när huvudtunnlarna korsade svaghetszonen redovisas även i grafen.

4.3.2 Delavrinningsområde Folkungagatan

4.3.2.1 Hydrogeologiska förhållanden

Delavrinningsområde Folkungagatan sträcker sig i öst-västlig riktning mellan en bergtröskel i höjd med Erstagatan i öster till en bergtröskel i höjd med Björns trädgård i väster som delvis dämmer utflödet mot väster. I Figur 25 visas en jordartskarta över området. I kartan redovisas även undre grundvattenmagasin, grundvattenrör, grundvattnets strömningsriktning samt utmärkning av sonderingsprofil i plan. Delavrinningsområdet kännetecknas av höjdparter på ömse sidor av Folkungagatan som utgör en lågpunkt i stadsbilden. Markytan ligger på nivån cirka ca +25 vid korsningen mellan Folkungagatan och Renstiernas gata och faller därifrån österut till nivån ca +21 vid korsningen med Erstagatan för att sedan ligga på cirka ca +16 vid korsningen med Sägargatan och ca +9 vid korsningen mellan Folkungagatan och Londonviadukten. Västerut är topografin flack och vid Björns trädgård ligger marknivån på ca +25. I området söder om Folkungagatan i närheten av korsningen Åsögatan och Nytorngsgatan ligger marknivån på ca +28.

I området finns två undre grundvattenmagasin som sannolikt är sammankopplade, ett längs med Folkungagatan (*grundvattenmagasin Folkungagatan*) och ett mindre magasin söder om Folkungagatan (*grundvattenmagasin Norra Bondegatan*). Längs Folkungagatan förekommer lokala, separata, övre grundvattenmagasin. Inget övre magasin finns vid schaktet vid Stigbergsparken.



Figur 25. Hydrogeologisk karta över delavrinningsområde Folkungagatan som redovisar jordarter, krosszon/sprickzon, undre grundvattenmagasin, grundvattenrör och grundvattennivå samt grundvattnets strömningsriktning. Aktuell utsprängd tunnel för delsträcka 2a Sofia (fram till och med januari 2024) redovisas även.

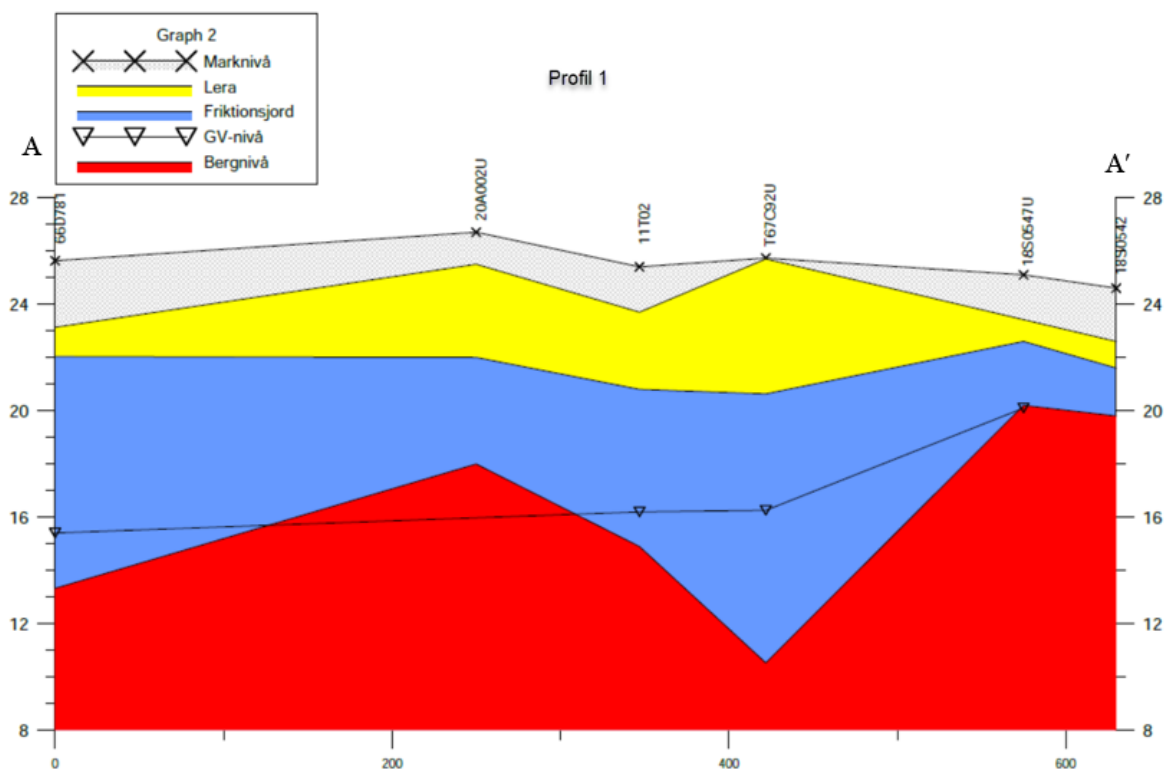
Grundvattenmagasin Folkungagatan

Grundvattenmagasin Folkungagatan sträcker sig längs med Folkungagatan och den svaghetszon som löper längs gatan. Svaghetszonen utgörs huvudsakligen av ler- och grafitomvandlad breccia. Bergmassan inom och nära svaghetszonen är ställvis uppsprucken med partier av kross. Svaghetszonen har en bredd på ca 5–10 meter. Längs med Folkungagatan är jorddjupen inom vissa delar betydande, bland annat vid Stigbergsparken där station Sofia planeras. Jordlageronderingar längs med norra sidan av Folkungagatan visar på jorddjup på upp mot 15–23 meter. I Figur 26 visas en jordlagerprofil längs med Folkungagatan, se också Figur 25 för läge i plan. Jordlagerföljden längs med Folkungagatan utgörs överst av fyllnadsmaterial, lera och friktionsmaterial. Trots stora jorddjup är lerjordlagrets tjocklek begränsat och varierar mellan 1–4 meter. Vid Stigbergsparken är lerjordlagrets mäktighet cirka 1,5 meter. Längs med den västra delen av området är lerjordlagrets mäktighet ca 1,5 meter. Ner mot Stadsgårdskajen ökar lermäktigheten till cirka 3–5 meter. Folkungagatans västra delar utgörs av mer växellagrade jordar med sand blandat med siltigare jordlager. Delar av området tillhör Stockholmsåsen. Lager med lera eller lerlinser förekommer i växellagringen men inget sammanhängande lerjordlager finns här.

Längs med Folkungagatan är grundvattennivåns gradient relativt flack med nivåer som varierar mellan nivån cirka +17 till +17,5 som högst vid Renstiernas gata och Stigbergsparken (11T02U) och fallande ned till cirka +15,8 vid korsningen Folkungagatan och Östgötagatan (TGW1101) i

närheten av bergtröskeln i väster och nivån ca +16 vid korsningen Folkungagatan och Erstagatan (67C94U) i närheten av bergtröskel i öster. Generellt ligger grundvattennivån djupt, 8 till 10 meter under markytan och under lerjordens underkant. En gemensam trend för grundvattennivåerna vid och runt Folkungagatan är att de under 70–80 talet haft en nedåtgående trend för att sedan stabiliseras under 90- till 00-talet. Runt åren 2015–2016 har återigen avtagande grundvattennivåer noterats i området fram till dagens datum vilket inte går att koppla till Regionens arbeten som startade 2020.

Inom grundvattenmagasin Folkungagatan har lerans egenskaper kopplat till sättningsbenägenhet analyserats i tre punkter; två punkter i närheten av Stigbergsparken och en punkt vid Erstagatan. Leran inom området är silt- och sandskiktad och ostörda analyser på proverna har därför ej varit möjligt. De punkter som provtagits saknar förekomst av lös lera. Grundvattennivån i magasinet ligger under lerjordens underkant. Sammantaget bedöms lerjorden längs Folkungagatan inte vara sättningkänslig.



Figur 26. Jordlagerprofil längs Folkungagatan. Profilen sträcker sig från A-A', se Figur 25 för profilens läge i plan.

Grundvattenmagasin Norra Bondegatan

Grundvattenmagasinet söder om Folkungagatan är ett mindre magasin som begränsas av höjdområden i öst (korsningen Renstiernas gata och Kocksgatan samt Åsögatan) och nordväst (korsningen Kocksgatan och Nytorrgsgatan). Jordlagren utgörs av mer växellagrade jordar med sand blandat med siltigare jordlager. Förekomsten av lerjord är begränsad. Delar av området är en del av Stockholmsåsen.

Grundvattennivåerna i magasinet varierar mellan +20,6 och +19,5, se Figur 25.

Grundvattennivåmätningar i befintliga rör visar att grundvattennivån ligger ca 7 meter under markytan samtidigt som största jorddjup uppgår till ca 10–12 meter som mest. Grundvattennivån i rören 76B701 och 77A127 samvarierar med grundvattennivån i rör längs med Folkungagatan, vilket visar att det finns en kontakt mellan grundvattenmagasin Folkungagatan och grundvattenmagasin Norra Bondegatan. Under en 50-årsperiod har grundvattennivån i rören 76B701, 76BES7, och 77A127 sjunkit mellan 4 och 7 meter.

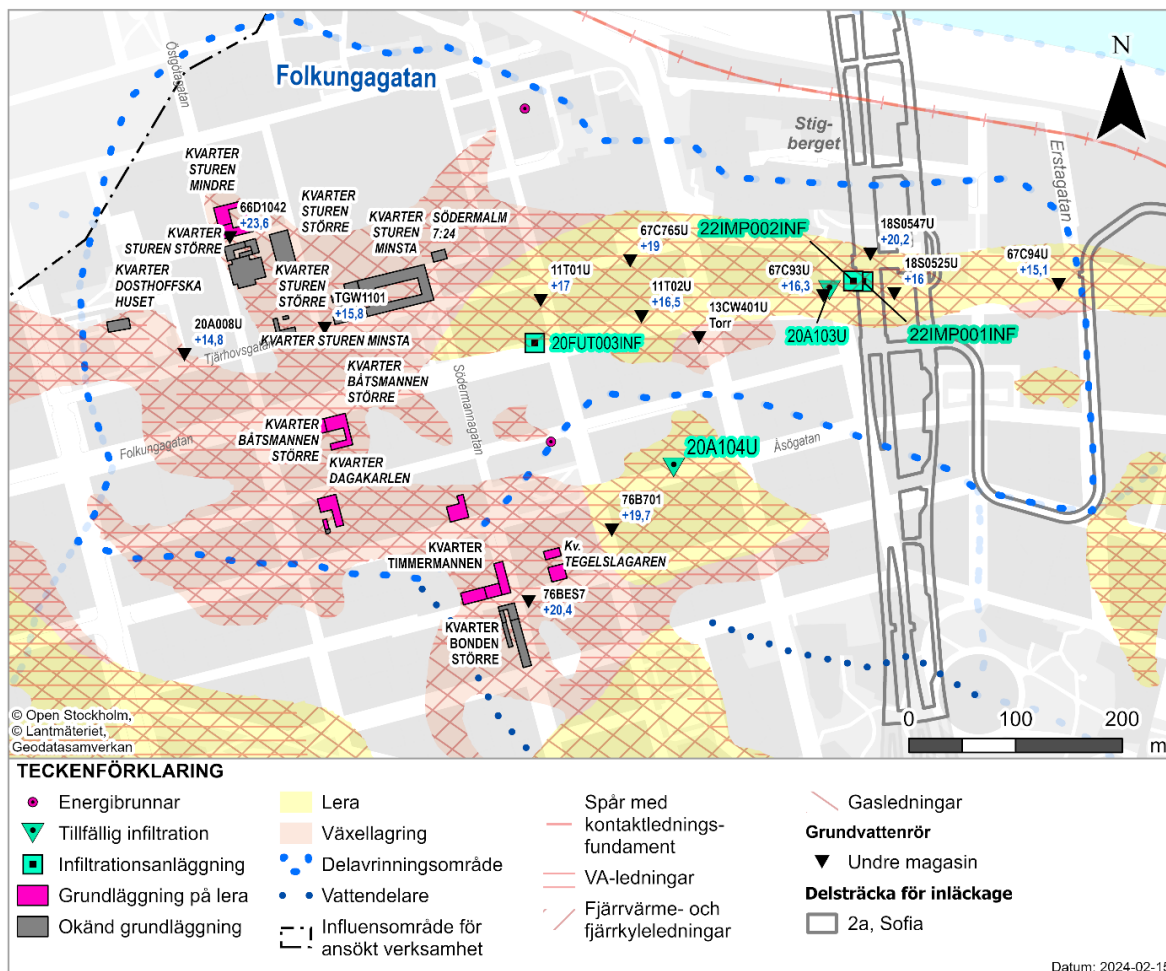
Inom magasinet påträffades ingen lera i den undersökningspunkt som togs i området. Eftersom uppmätta grundvattennivåer ligger relativt nära bergöverytan begränsas eventuellt förekommande lager med lös lera därmed i mäktighet och området bedöms som måttligt sättningsbenäget.

4.3.2.2 Känsliga objekt

Inom området finns känsliga objekt i form av byggnader grundlagda på lera eller med en okänd grundläggning samt markförlagda ledningar belägna inom lerjord och energibrunnar, se Figur 27. Byggnaderna som är känsliga ligger i områdets västra och södra delar.

I närheten av korsningen Östgötagatan och Tjärhovsgatan finns byggnader inom kvarteren Sturen Mindre, Båtsmannen Större och Dagakarlen som är grundlagda på lera. Inom kvarteren Sturen Större och Sturen Minsta finns det byggnader med okänd grundläggning. I området runt korsning Åsögatan och Södermannagatan finns det byggnader inom kvarteren Timmermannen och Tegelslagaren som är grundlagda på lera. Inom kvarteret Bonden Större finns det byggnader med okänd grundläggning. Vid Björns trädgård ligger Dosthoffska huset med okänd grundläggning. Det närmaste objektet ligger ca 300 m från tunnelanläggningen.

Många objekt längs med Folkungagatan, belägna närmare tunnelanläggningen, som tidigare var klassade som känsliga har under perioden 2020–2023 kunnat avskrivas som känsliga med stöd av fördjupad grundläggningsinventering och information om att grundvattennivån sedan länge ligger under lerjordens underkant. De känsliga objekt som återstår är troligtvis inte känsliga för en grundvattennivåavsänkning eftersom grundvattennivån ligger under lerjordens underkant. Regionen avser att utföra utökade undersökningar i närheten av dessa objekt i form av lerprovtagning för att undersöka om objekten kan avskrivas från kontrollprogrammet.



Figur 27. Känsliga objekt inom delavrinningsområde Folkungagatan. Inom området finns känsliga objekt i form av byggnader grundlagda på lera eller med en okänd grundläggning samt markförlagda ledningar belägna inom lerjord.

4.3.2.3 Grundvattenpåverkan och skyddsinfiltration

I grundvattenmagasin Folkungagatan finns möjlighet till skyddsinfiltration till undre grundvattenmagasin i tre punkter och i grundvattenmagasinet Bondegatan finns möjlig till skyddsinfiltration i en punkt, se Figur 27. Grundvattenpåverkan i form av avsänkta nivåer i jord är begränsad till ett mindre område kring östra Folkungagatan och vid Stigbergsparken. Uppkommen påverkan går att koppla till drivningen av arbetstunnel Sofia. Uppkommen grundvattenpåverkan är begränsad till dessa områden och sträcker sig inte västerut. Grundvattennivån i magasinet Folkungatan har sedan 70-talet påverkats av mänsklig aktivitet. Under 70 till 80-talet och 2015–2016 har grundvattennivån sjunkit troligtvis pga andra tunnelbyggen, däribland Söderledstunneln, se Figur 28. Den sjunkande trenden har fortsatt fram till och med 2023 då effekten av Regionens infiltrationsinsatser har börjat synas i området. Delen av delsträckan 2a Sofia som ligger inom avrinningsområde Folkungagatan är nästan helt färdigutdriven. Där återstår enbart hisschaktet i Stigbergsparken samt en bergvägg mellan servicetunneln och plattformsrummet.

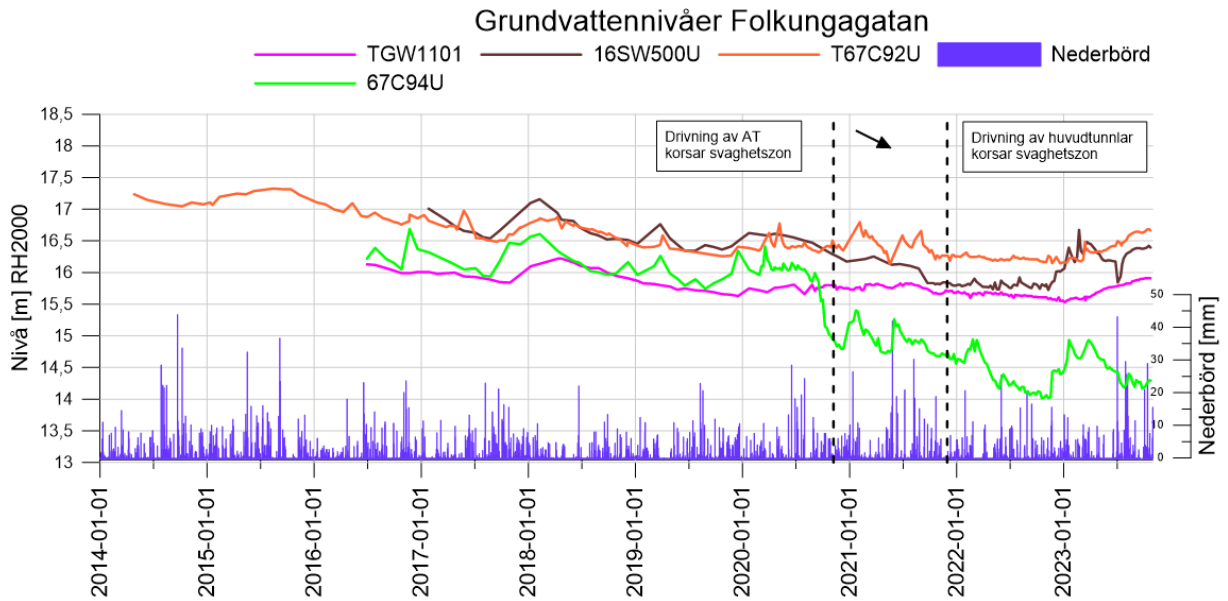
I samband med drivning av arbetstunnel för station Sofia observerades sjunkande grundvattennivåer i området runt korsningen Folkungagatan och Erstagatan, se 67C94U i Figur 29. Avsänkningen uppgår till som mest ca 2 meter och går att koppla till att arbetstunneln löper parallellt med den svaghetszon som löper längs med Folkungagatan. Drivningen av arbetstunneln pågick under perioden maj 2020 till maj 2021. Samma zon passerades även vid drivningen av servicetunneln och plattformsrummet (juni 2021-november 2022) varpå grundvattenpåverkan i

jord observerades kring Stigbergsparken, se 16SW500U i Figur 29. Avsänkningen uppgår till som mest ca 0,5 meter. Sedan våren 2022 har skyddsinfiltration periodvis utförts i området runt Stigbergsparken. Två infiltrationsbrunnar 22IMP001INF och 22IMP002INF, se Figur 27, har under våren 2022 anlagts utanför sponten till vertikalschaktet för hisschakt. Brunnarna har en kapacitet på 4 respektive 40 l/min. Respons från infiltrationen kan ses i området sydöst om brunnarna, se grundvattenrören 16SW500U, 18S0525U, 20A103U, 22GA001U 22GA002U. Infiltrationen har bidragit till att grundvattennivåerna i området runt Stigbergsparken har återhämtat sig något.

Mätdata visar att sättningar pågår i området (kvarteren Buketten, Rudan Större, Båtsmannen mindre) och har gjort sedan 70-talet om än i liten skala med mindre rörelser. Rörelserna är sannolikt kopplade till avtagande grundvattennivåerna sedan 70 – 80 talet som nämns ovan. Mellan åren 1970–2020 har sättningar på maximalt 2,5 cm inträffat i området. Det går inte att se en ökad takt av sättningar sedan 1970 till 2019, vilket är naturligt eftersom grundvattennivån ligger under lerans underkant. Infiltrationsanläggningen 20FUT003INF byggdes under sommaren 2020 och drifttestades under september 2020. Anläggningen följs upp via åtgärdsnivåröret TGW1101 och har en maximal kapacitet på knappt 40 l/min. Respons i form av förhöjda grundvattennivåer kan ses i grundvattenrören 11To1U, 20A001U, 13CW409Hb, 11To2U, T67C92U och TGW1101, se Figur 27. Infiltration via denna anläggning har pågått sedan oktober 2021 då åtgärdsnivå 2 underskreds i åtgärdsnivåröret TGW1101. Infiltrationsflödet har varierat mellan ca 20 och 30 l/min. I början av 2023 har en borstning av infiltrationsröret som är kopplat till anläggningen genomförts. Åtgärden medförde förbättrad kapacitet och respons till grundvattenmagasinet, vilket har gjort att grundvattennivåerna har börjat stiga, se rören T67C92U och TGW1101.

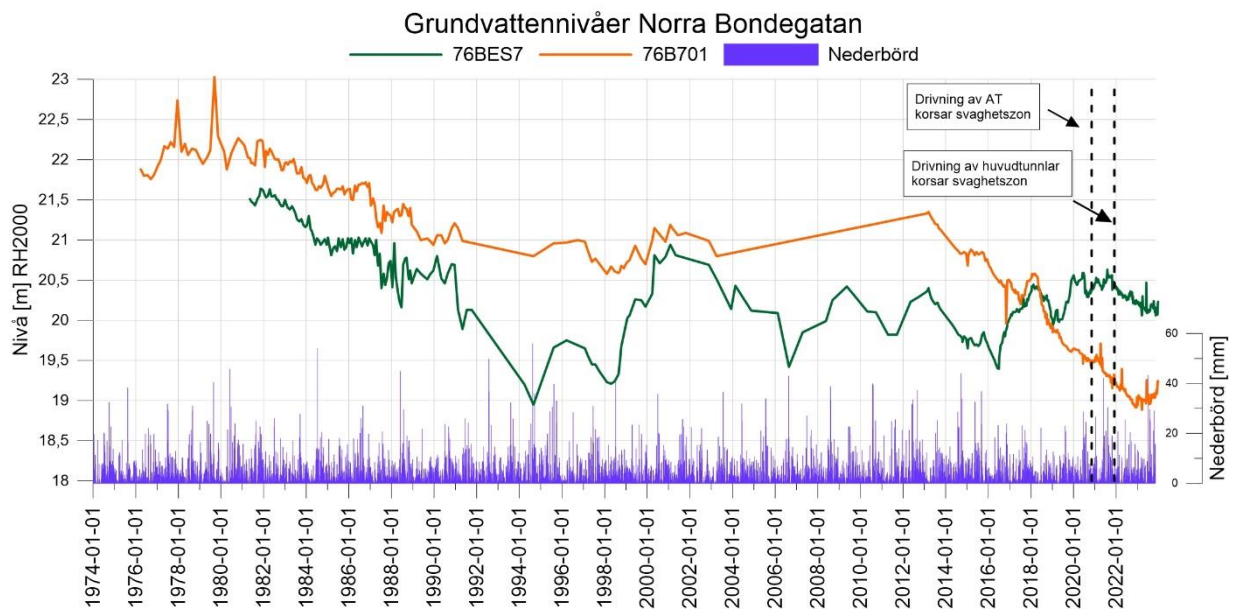


Figur 28. Grundvattennivåer inom grundvattenmagasin Folkungagatan. Dygnsnederbörd redovisas även i grafen.



Figur 29. Grundvattennivåer inom grundvattenmagasin Folkungagatan. Dygnsnederbörd samt tidpunkt för när drivning av arbetstunneln respektive huvudtunnlarna korsade svaghetszonen redovisas även i grafen.

I grundvattenmagasinet Bondegatan har samma trend som för grundvattenmagasin Folkungagatan med sjunkande grundvattennivåer sedan 70 till 80-talet observerats, se 76B701 i Figur 30. Rör 76BES7, som ligger mer öster ut sett från rör 76B701, har inte visat på samma påverkan, vilket skulle kunna tyda på att röret ligger inom ett annat Delavrinningsområde. Ingen grundvattenpåverkan i jord eller berg som går att koppla till Regionens arbeten har observerats i magasinet. Mätdata visar inte heller på några pågående sättningar i området. I grundvattenmagasinet finns möjlighet till tillfällig infiltration i grundvattenrör 20A104U. Infiltrationstest har utförts i röret under april 2022. Testet visade att ett flöde på ca 70 l/min kan infiltreras i punkten och respons kan ses i rören 76B701 och 13CW410U.



Figur 30. Grundvattennivåer inom grundvattenmagasin Norra Bondegatan. Dygnsnederbörd samt tidpunkt för när drivning av arbetstunneln respektive huvudtunnlarna korsade svaghetszonen redovisas även i grafen.

4.3.3 Delavrinningsområde Färgarplan

4.3.3.1 Hydrogeologiska förhållanden

Delavrinningsområde Färgarplan avgränsas av Åsöberget i norr, Vita bergen i väster och delvis söder. Avrinning från delavrinningsområdet sker österut mot Hammarby Sjö. I Figur 31 visas en jordartskarta över området. I kartan redovisas även undre grundvattenmagasin, grundvattenrör och grundvattnets strömningsriktning. De omgivande höjdpartierna avgränsar delavrinningsområdet på ett tydligt sätt. Markytan ligger på nivån ca +30,5 vid korsningen Skånegatan och Erstagatan för att sedan falla österut ned mot korsningen Åsögatan och Ploggatan där nivån ligger på ca +21. Vid korsningen Emelies gatan och Tegelviksgatan ligger nivån på ca +10. Längre söderut vid Färgarplan ligger marknivån på ca +11.

Delavrinningsområdet Färgarplan består av tre områden med undre grundvattenmagasin: ett litet magasin norr om Vita bergen vid Bondegatan (*grundvattenmagasin Sofia Skola*), ett större magasin vid Färgarplan (*grundvattenmagasin Färgarplan*) och slutligen ett magasin längs med kajen mot Danvikskanalen (*grundvattenmagasin Danvikstull*).

Grundvattenmagasin Sofia Skola

Grundvattenmagasin Sofia Skola är mer att betrakta som ett antal jordfyllda skålar i berg där grundvattnet rinner från en skål till en annan. Jordlagerföljden utgörs överst av fyllning och lera och därunder ett tunt lager av friktionsmaterial. Jorddjupen i detta område varierar mellan 3–6 meter och lerjordens tjocklek uppgår till som mest ca 3 meter. De grundvattenrör som finns eller har funnits i området har grundvattennivåer nära rörens underkant eller är stundtals torra. Grundvattennivåns gradient är relativt flack och riktad österut, med utlopp i Hammarby sjö. Grundvattennivåerna i magasinet varierar mellan nivå ca +27 vid korsningen Skånegatan och Erstagatan (20A005U) och +26,3 vid korsningen Bondegatan och Ploggatan, se Figur 31. I utkanten av magasinet finns två rör, 77A122 och 77AAES9 som är torra. I området har lerans egenskaper kopplat till sättningsbenägenhet analyserats i en punkt. I undersökningspunkten påträffades ingen lera. Utifrån jordlageruppgifter från de grundvattenrör som finns, eller har funnits i området, bedöms det inte förekomma någon lös lera i området. Området bedöms därmed ej vara sättningbenäget med anledning av det tunna jorddjupet och den låga grundvattennivån.

Grundvattenmagasin Färgarplan

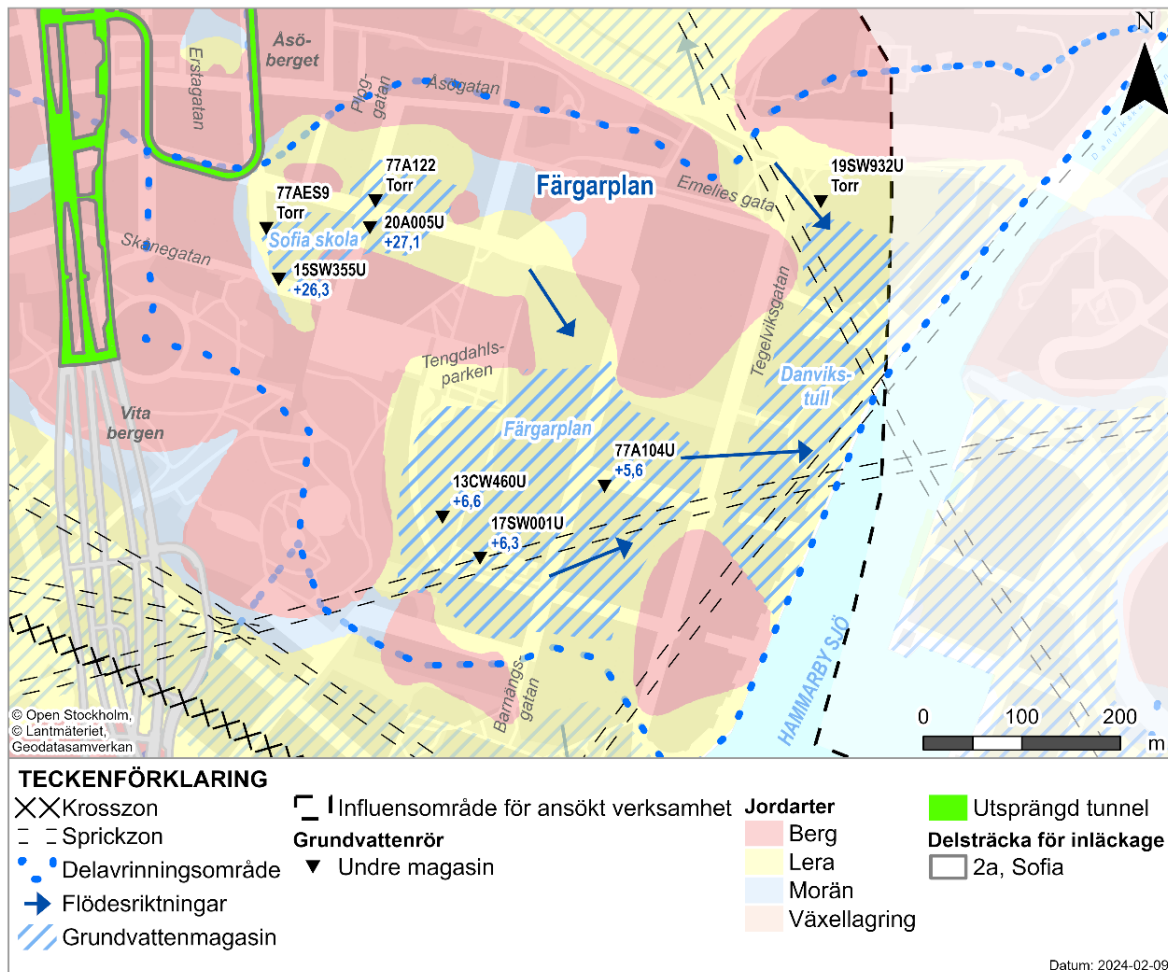
Det större grundvattenmagasinet vid Färgarplan är ett magasin med betydande jorddjup och mäktigare lerjord. Jordlagerföljden utgörs överst av fyllning, lera och friktionsmaterial. Jorddjupen varierar mellan 10–20 meter och lerjordens tjocklek varierar mellan 6–12 meter. Genom magasinet löper en svaghetszon i berget i öst-västlig riktning som även fortsätter genom tunnelanläggningen. Grundvattennivåns gradient är relativt flack och riktad österut, med utlopp i Hammarby sjö. Grundvattennivåerna i magasinet varierar mellan nivå ca +7 vid Tengdahlsparken (13CW460U) och +6 vid korsningen Barnängsgatan och Nackagatan (77A104U), se Figur 31.

I området har lerans egenskaper kopplat till sättningsbenägenhet analyserats i fem punkter. Resultatet visar att området är sättningkänsligt.

Grundvattenmagasin Danvikstull

Grundvattenmagasin Danvikstull sträcker sig längs kajen mot Hammarby sjö och Danvikskanalen bedöms styras av ytvattnets nivåer. Mellan detta magasin och magasinet vid Färgarplan begränsas kontakten av högre bergnivåer. Jorddjupen varierar mellan 10 och 20 meter och lerjordens tjocklek varierar mellan 3 och 10 meter.

I området har lerans egenskaper kopplat till sättningsbenägenhet analyserats i fyra punkter. Östra delen av området visar en hög sättningsbenägenhet medan den södra delen har en låg sättningsbenägenhet eftersom lerjordens tjocklek är lägre här.

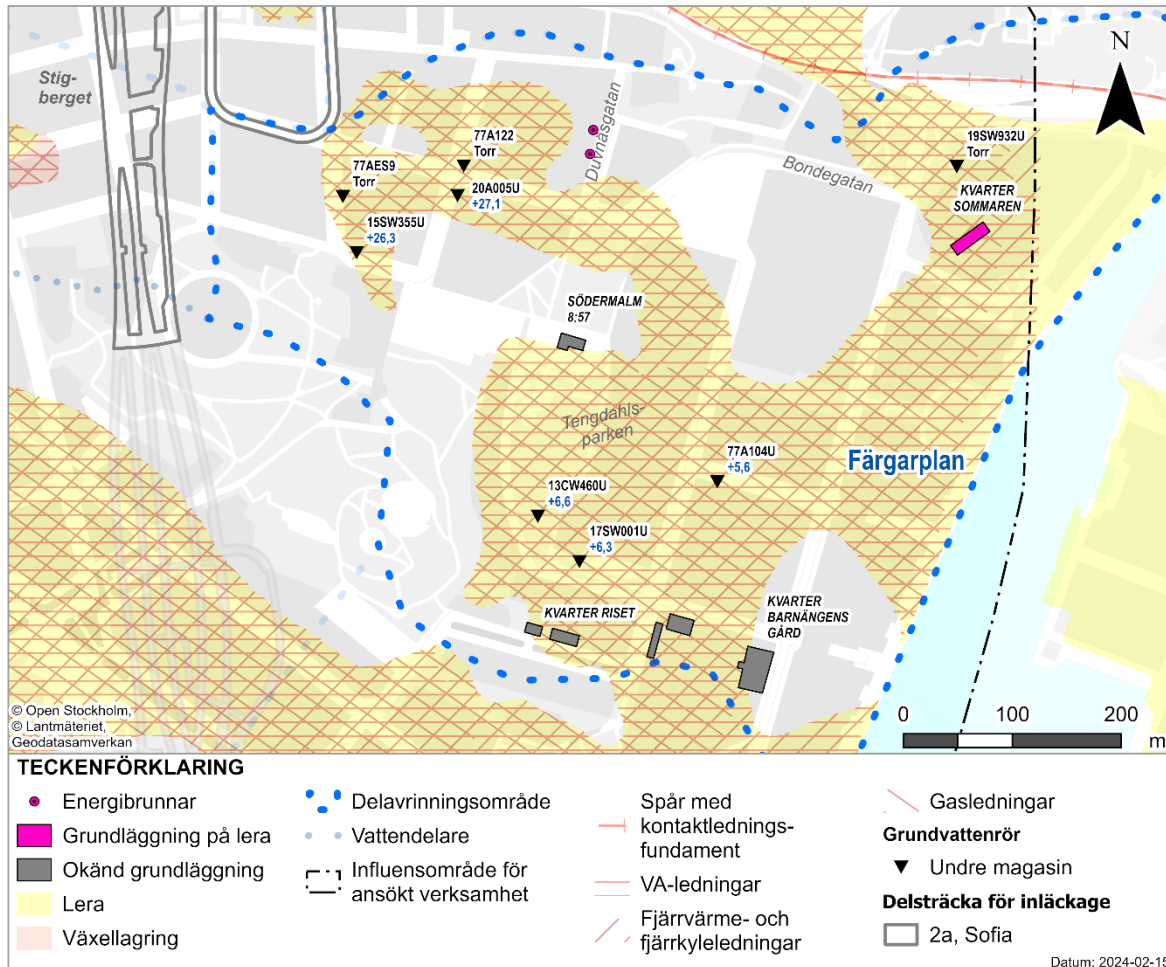


Figur 31. Hydrogeologisk karta över delavrinningsområde Färgarplan som redovisar jordarter, krosszon/sprickzon, undre grundvattenmagasin, grundvattenrör och grundvattennivå samt grundvattnets strömningsriktning. Aktuell utsprängd tunnel för delsträcka 2a Sofia (fram till och med januari 2024) redovisas även.

4.3.3.2 Känsliga objekt

Inom området finns känsliga objekt i form av byggnader med en okänd grundläggning samt markförlagda ledningar belägna inom lerjord samt energibrunnar, se Figur 32. Byggnaderna som är känsliga ligger öster om Vita bergen. I närheten av Tengdahlsparken och Tengdahlsgatan finns det byggnader inom kvarteren Riset, Barnängens gård och Södermalm med okänd grundläggning. Längre österut i närheten av kajen mot Hammarby sjö och Danvikskanalen finns en byggnad inom kvarteret Sommaren som är grundlagt på lera. Det närmaste objektet ligger ca 200 m från

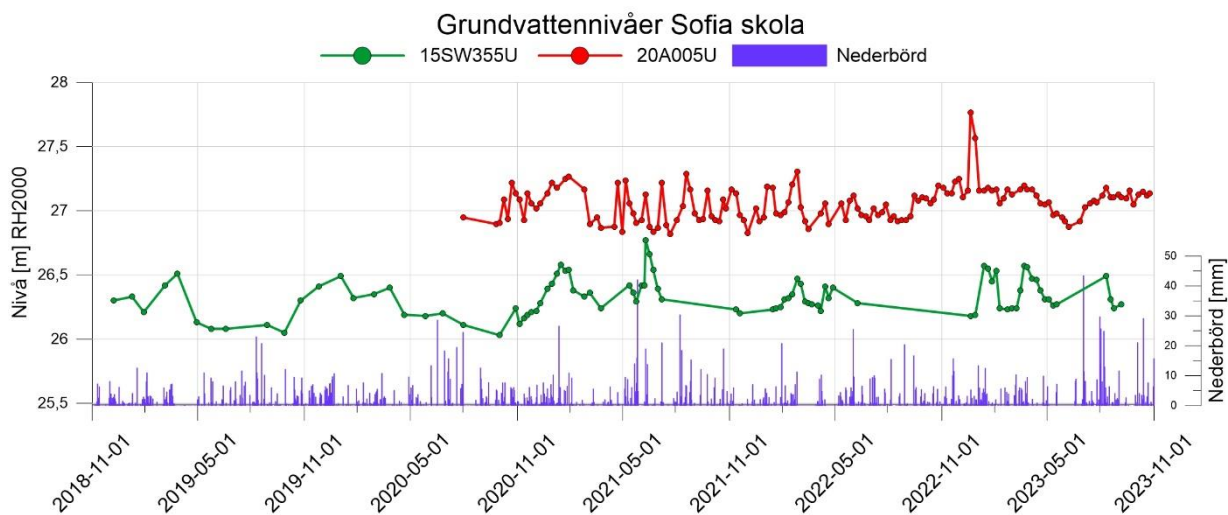
tunnelbaneanläggningen.



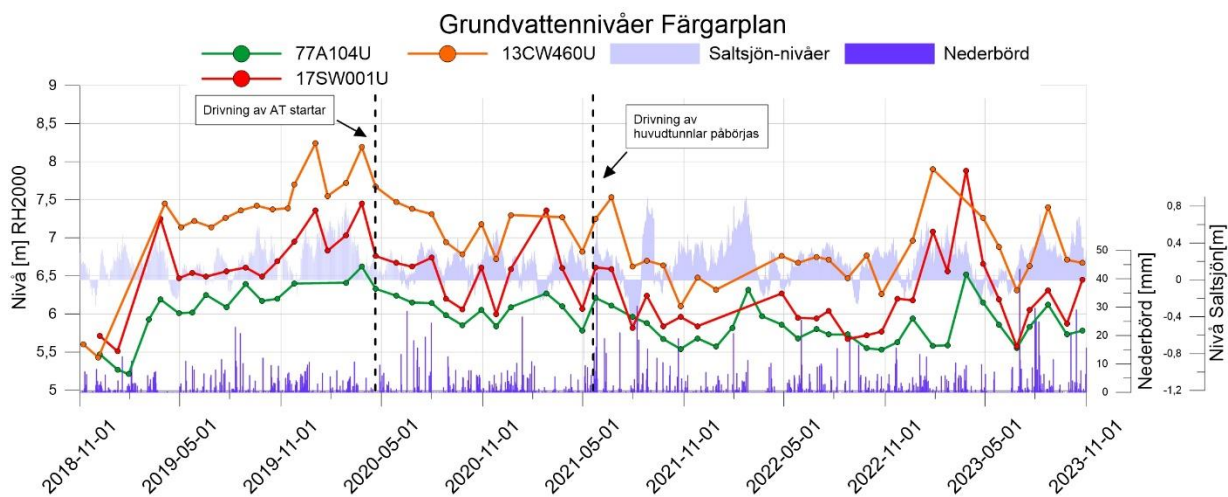
Figur 32. Känsliga objekt inom delavrinningsområde Färgarplan. Inom området finns känsliga objekt i form av byggnader med en okänd grundläggning samt markförlagda ledningar belägna inom lerjord. Det finns en byggnad som är grundlagd på lera.

4.3.3.3 Grundvattenpåverkan och skyddsinfiltation

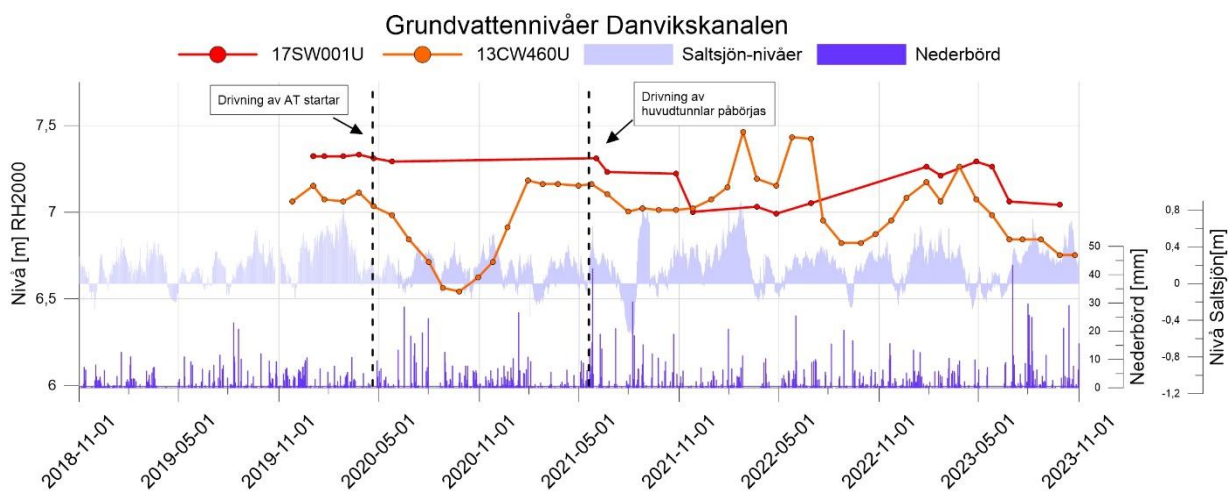
Inom området har ingen grundvattenpåverkan i form av avsänkta nivåer i jord observerats, se Figur 33–Figur 35. Grundvattenpåverkan i berg har observerats i två energibrunnar belägna i närheten av korsningen Bondegatan och Duvnäsgatan, se Figur 32. Uppmätt avsänkning i brunnarna uppgår till ca 12 m. Avsänkningen går att koppla till drivning av arbetstunnel för station Sofia och drivning av servicetunneln och plattformsrummet under Stigbergsparken.



Figur 33. Grundvattennivåer inom grundvattenmagasin Sofia skola. Dygnsnederbörd redovisas även i grafen.



Figur 34. Grundvattennivåer inom grundvattenmagasin Färgarplan. Dygnsnederbörd och ytvattennivå i Saltsjön samt tidpunkt för när drivning av arbetstunneln respektive huvudtunnlarna startade redovisas i grafen.



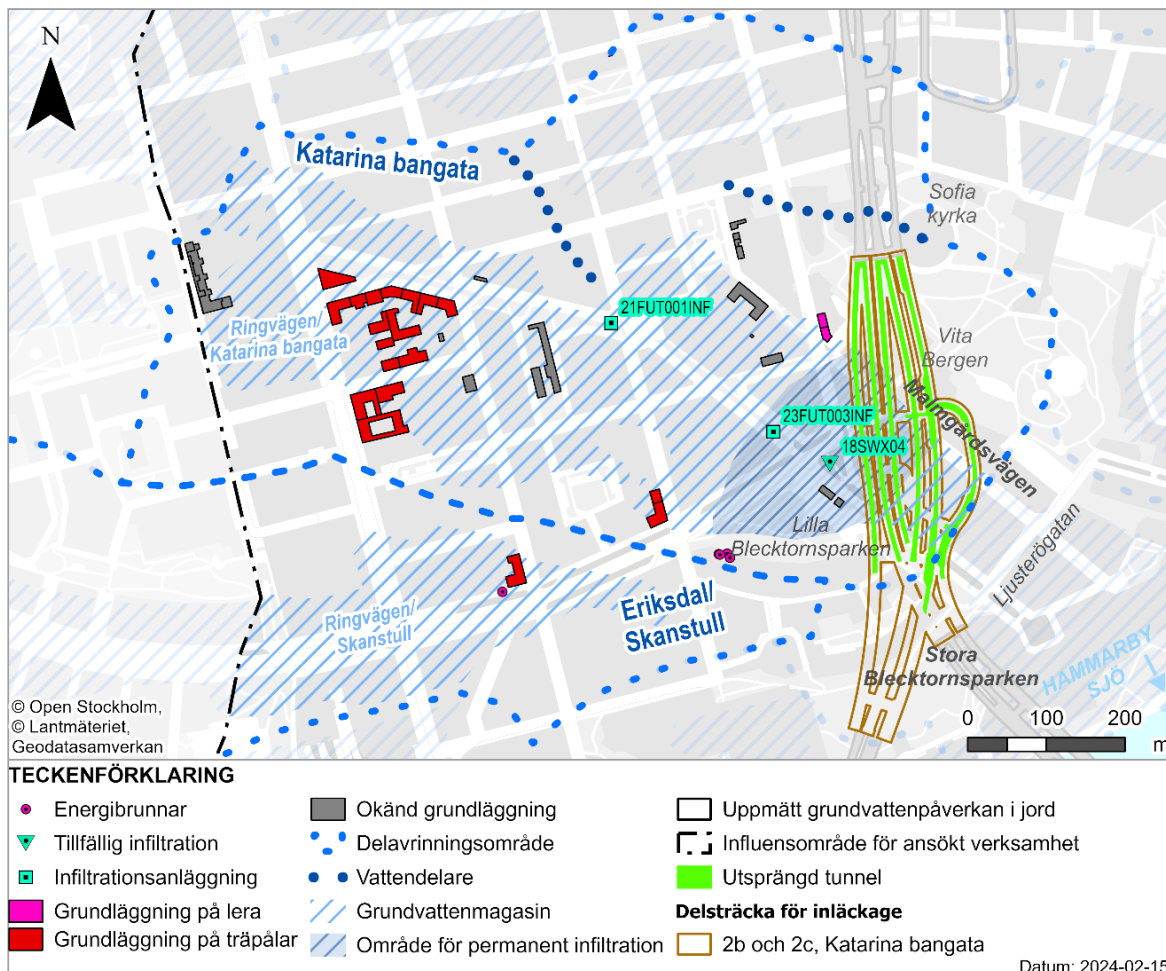
Figur 35. Grundvattennivåer inom grundvattenmagasin Danvikskanalen. Dygnsnederbörd och ytvattennivå i Saltsjön samt tidpunkt för när drivning av arbetstunneln respektive huvudtunnlarna startade redovisas även i grafen.

4.4 Delsträckorna 2b och 2c Katarina Bangata

Delsträckorna 2b och 2c Katarina Bangata sträcker sig från Sofia kyrka söder ut ner till Lilla Blecktornsparken. I höjd med Ljusterögatan delar tunnelanläggningen upp sig i spårtunnlar mot Nacka respektive Sockenplan. Området inom delsträckan karaktäriseras av Vita bergen i öster samt bergshöjden intill Lilla Blecktornsparken söder om Ringvägen. Området inom och runt delsträckan kan delats in i de två delavrinningsområdena Katarina Bangata och Eriksdal-Skanstull, se Figur 36.

Inom delavrinningsområdet Katarina Bangata finns ett större undre grundvattenmagasin och ett övre magasin i de västra delarna. Inom delavrinningsområde Eriksdal-Skanstull finns ett undre magasin och ett övre magasin. Grundvattenpåverkan i jord orsakad av Regionen har observerats i området runt korsningen Ringvägen, Katarina Bangata samt Malmgårdsvägen. Påverkan går att koppla till arbeten med spår- och servicetunnlar under våren 2023. Påverkan är liten och infiltration har startats som på ett effektivt sätt upprätthåller grundvattennivån i magasinet.

Grundvattenpåverkan i berg har observerats i två hammarborrhål och en energibrunn väster om Lilla Blecktornsparken. Påverkan är liten och uppgår till ca 2 m nivåminskning. Inom området finns två infiltrationsanläggningar, en vid Greta Garbos torg och en vid korsningen Ringvägen och Katarina Bangata. Känsliga objekt längs delsträckan finns väster om anläggningen.



Figur 36. Översiktsskarta över de delavrinningsområden (Katarina Bangata och Eriksdal/Skanstull) som ligger inom delsträckorna 2b och 2c Katarina Bangata. Grundvattenmagasin, känsliga objekt samt möjlighet till skyddsinfiltation redovisas även samt aktuell utsträngd tunnel för delsträckorna 2b och 2c Katarina Bangata (fram till och med januari 2024). Uppmätt grundvattenpåverkan är inte utmarkerad i kartan då grundvattennivåerna upprätthålls med hjälp av infiltration.

4.4.1 Delavrinningsområde Katarina Bangata

4.4.1.1 Hydrogeologiska förhållanden

Delavrinningsområde Katarina Bangata avgränsas av bergsbetingade grundvattendelar med Vita bergen i öster och delvis i norr. I söder avgränsar höjdpartierna vid Götgatan, Bjurholmsplan samt mellan Lilla och Stora Blecktornsparken. Avrinning från delavrinningsområdet sker främst i sydostlig riktning mot Hammarby sjö, längs med Katarina Bangata och Malmgårdsvägen. Områdets nordvästra delar avrinner i nordvästlig riktning mot Fatbursområdet via en avsmalnad passage i Katarina Bangatas förlängning. I Figur 37 visas en jordartskarta över området. I kartan redovisas även undre grundvattenmagasin, grundvattenrör, grundvattnets strömningsriktning samt utmärkning av sonderingsprofil i plan (Figur 38). Markytan ligger på nivå ca +24 vid korsningen Katarina Bangata och Östgötagatan och nivå ca +22 vid Greta Garbos torg. Söder om Greta Garbos torg faller markytans nivå söderut. Vid korsningen Katarina Bangata och Ringvägen ligger nivån på ca +17 och vid korsningen Katarina Bangata och Ljusterögatan ca +7. Tre krosszoner/sprickzoner passerar området i öst-västlig till nordväst-sydöstlig riktning. De nordväst-sydostliga zonerna löper nästan parallellt med Katarina Bangata. Inom delavrinningsområdet finns ett större undre grundvattenmagasin som sträcker sig längs med Katarina Bangata, *Grundvattenmagasin Katarina Bangata*. I de västra delarna av området finns ett grundvattenmagasin i övre magasin, vilket inte beskrivs mer ingående.

Grundvattenmagasin Katarina Bangata

Grundvattenmagasin Katarina Bangata kan delas in i två delområden utifrån lerans utbredning där jordlagerföljden utgörs av fyllnadsmaterial, lera och friktionsmaterial. Mellan dessa två områden löper Stockholmsåsen, där jordlagren utgörs av friktionsmaterialet isälvssediment (sand- och grusavlagringar), se Figur 38. I området runt Katarina Bangata är jorddjupen inom vissa delar betydande och uppgår till som mest 30 meter. De största jorddjupen återfinns i anslutning till den del av Stockholmsåsen som passerar igenom området och precis nordväst om korsningen Katarina Bangata och Ringvägen. Bergöverytans läge varierar relativt mycket längs med Katarina Bangata, se jordprofilen i Figur 38, vilket skapar olika skålförmade delområden. Detta är tydligast på ömse sidor om Ringvägen och mellan Ringvägen och Ljusterögatan. I området förekommer grundvattenmagasin både i övre fyllningsjorden och undre friktionsjorden.

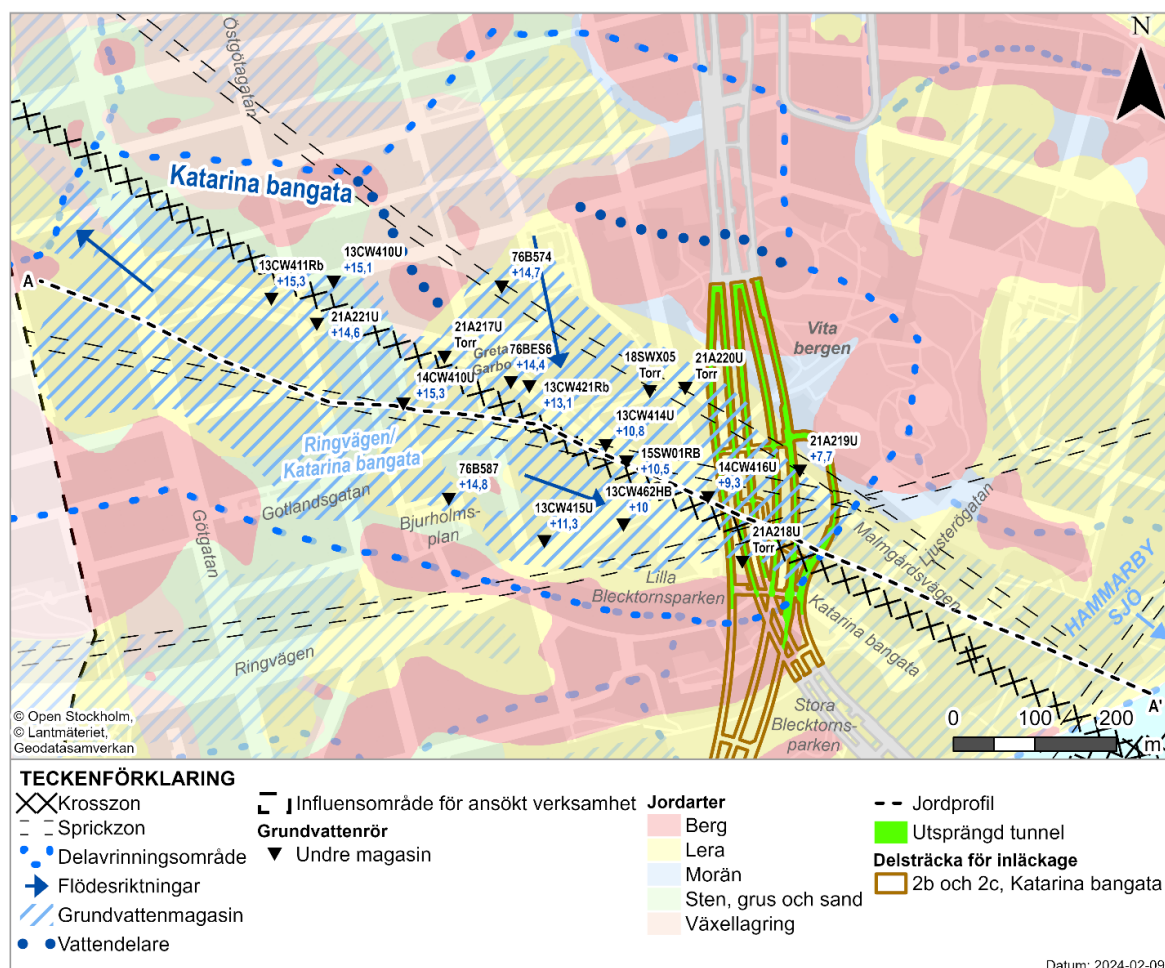
Information från grundläggningsinventering visar att jordlagren i magasinets nordvästliga delar består av fyllning och därunder av ett mäktigt lager av lera upp till 15 meter. Närmast berget återfinns 1–3 meter friktionsmaterial. Den totala jordmäktigheten varierar mellan ca 10 och 20 meters djup. Längs Bjurholmsgatan och Östgötagatan uppgår jorddjupet till som mest 20 meter där Stockholmsåsen passerar. I detta område utgörs jordlagerföljden av friktionsmaterial. I området runt Greta Garbos torg varierar jorddjupen mellan 5 och 7 meter. Söder om Greta Garbos torg ökar jorddjupen längs med Katarina Bangata. Vid korsningarna Katarina Bangata och Gotlandsgatan (15S0426) uppgår jorddjupet till ca 12 meter. Jordlagerföljden utgörs här av ett mäktigt lager fyllnadsmaterial på ca 8 meter, ca 1,5 meter lera underlagrat av ca 2 meter friktionsmaterial. Jorddjupet avtar österut från Katarina Bangata sett och är i 18SWX05 ca 5 meter, varav ca 1,5 meter utgörs av lera.

Precis norr om korsningen Katarina Bangata och Ringvägen (15SW01RB) är jorddjupen som mäktigast och uppgår till ca 30 meter. Jordlagerföljden utgörs här av fyllnadsmaterial på ca 8 meter, ca 16 meter lera och ca 6 meter friktionsmaterial. Söder om Ringvägen smalnar magasinet av och breder främst ut sig i en sydvästlig dalgång mellan Katarina Bangata och Malmgårdsvägen som avgränsas av Blecktornsparken i väst och Vitabergen i öst. Berg i dagen kan observeras längs Katarina Bangatas västra sida. Information från grundläggningsinventering visar att jorddjupen är som mäktigast i de centrala delarna (mellan Katarina Bangata och Malmgårdsvägen) och uppgår

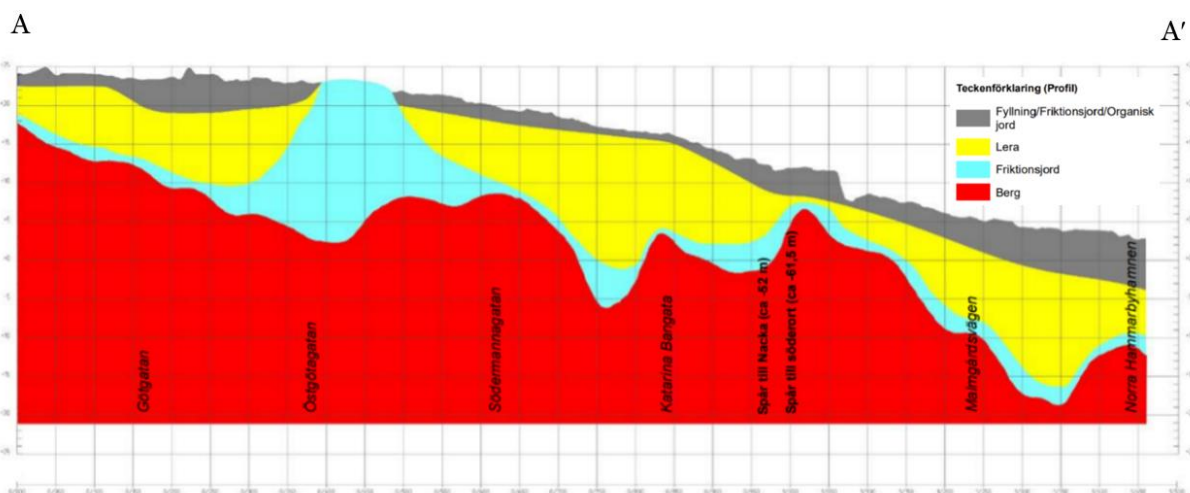
till ca 10–15 meter där även lerjord finns. Längs Malmgårdsvägen avtar jorddjupet och förekomsten av lerjord är begränsad.

Grundvattennivåns gradient är riktad åt sydost med utlopp i Hammarby sjö. På grund av kraftig lutning av markytan samt avsmalning av grundvattenmagasinet finns en brant hydraulisk gradient mellan norra Katarina Bangata och södra Katarina Bangata. Grundvattennivåerna varierar från ca +15,3 vid Östgötagatan (13CW411Rb) till +7,7 vid de södra delarna av Malmgårdsvägen (21A219U). I de västra och centrala delarna (runt Greta Garbos torg) ligger grundvattennivån ca 6–8 meter under markytan och mestadels under lerjordens underkant. I området runt Greta Garbos torg och östra Gotlandsgatan är vissa grundvattenrör torra. Längre söderut mellan Gotlandsgatan och Ringvägen ligger grundvattennivån ca 6 meter under markytan. I dessa områden ligger grundvattennivån ovanför lerjordens underkant.

I området har lerans egenskaper kopplat till sättningsbenägenhet analyserats i tre punkter i närheten av korsningen Katarina Bangata och Ringvägen. Resultatet visar att området är sättningkänsligt och att det sannolikt pågår sättningar. De rörelser som har observerats i området startade innan Regionens arbeten påbörjades. Beräknade sättningar i detta område för en grundvattennivåavsänkning på 3 meter blir efter 2 år ca 2 centimeter och efter 50 år ca 11 centimeter.



Figur 37. Hydrogeologisk karta över delavrinningsområde Katarina Bangata som redovisar jordarter, krosszon/sprickzon, undre grundvattenmagasin, grundvattenrör och grundvattennivå samt grundvattnets strömningsriktning. Aktuell utsprängd tunnel för delsträckorna 2b och 2c Katarina Bangata (fram till och med januari 2024) redovisas även.

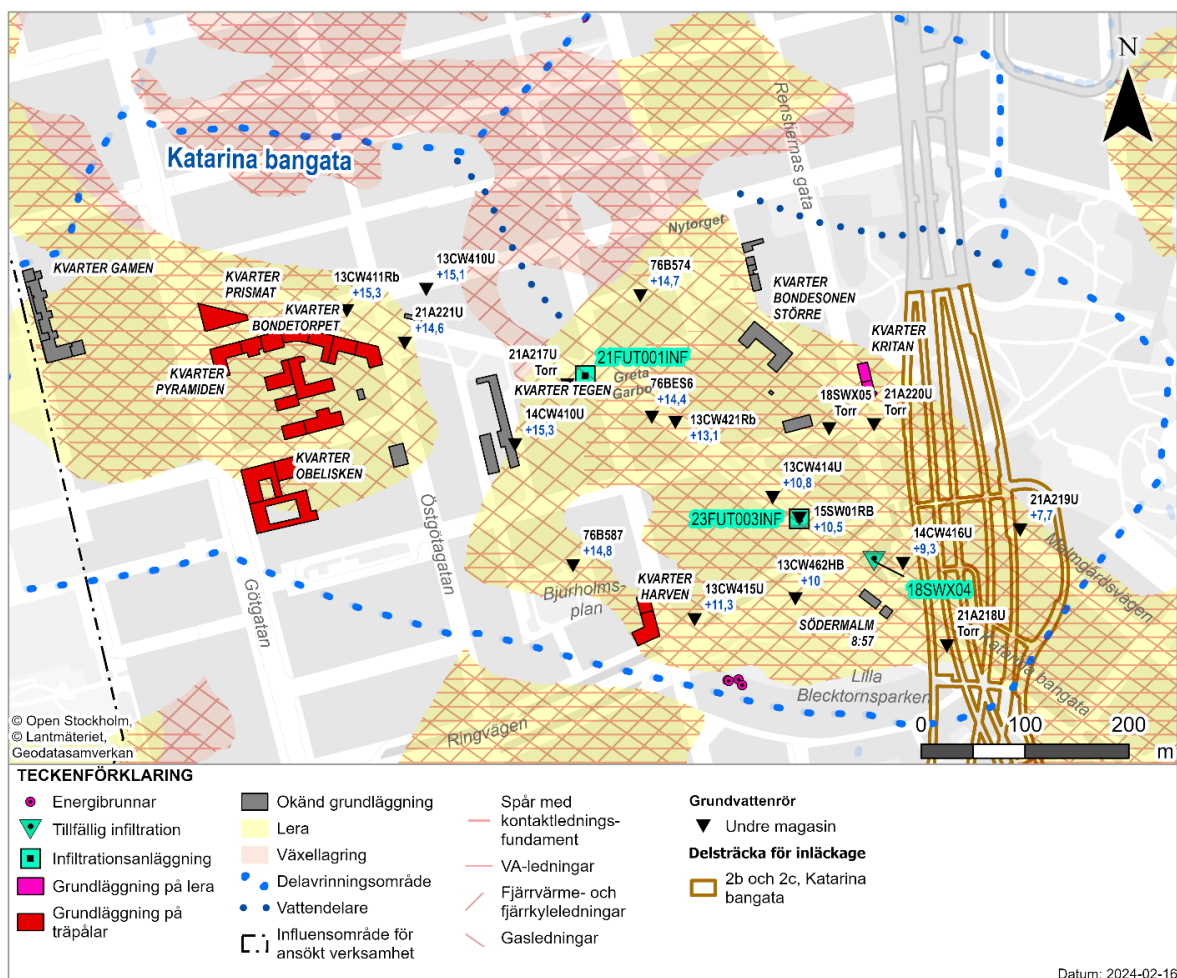


Figur 38. Jordlagerprofil inom grundvattenmagasin Katarina Bangata. Profilen sträcker sig från A-A', se Figur 37 för profilens läge i plan.

4.4.1.2 Känsliga objekt

Inom området finns känsliga objekt i form av byggnader grundlagda på lera eller på träpålar, byggnader med en okänd grundläggning, energibrunnar samt markförlagda ledningar belägna inom lerjord, se Figur 39. Byggnaderna som är känsliga ligger väster om anläggningen.

Väster om Götgatan finns det byggnader inom kvarteret Gamen med okänd grundläggning. I området mellan Götgatan och Östgötagatan finns det byggnader inom kvarteren Prismat, Pyramiden och Obeliskan som är grundlagda på träpålar. En av byggnaderna från vardera av dessa kvarter har en okänd grundläggning. Byggnaderna inom kvarteret Pyramiden har grundförstärkts sedan kontrollprogrammet togs fram och är sannolikt inte längre känsliga för en grundvattennivåavsänkning. I närheten av Bjurholmsgatan och Bjurholmsplan finns byggnader inom kvarteren Bondetorpets och Tegen med okänd grundläggning och byggnader inom kvarteret Harven som är grundlagt på träpålar. I närheten av Nytorget och Renstiernas gata finns byggnader inom kvarteren Bondesonens Större med okänd grundläggning och byggnader inom kvarteret Kritan som är grundlagda på lera. Vid Lilla Blecktornsparken finns en byggnad inom kvarteret Södermalm med okänd grundläggning.



Figur 39. Känsliga objekt inom delavrinningsområde Katarina Bangata. Inom området finns känsliga objekt i form av byggnader grundlagda på lera eller på träpålar, byggnader med en okänd grundläggning samt markförlagda ledningar belägna inom lerjord.

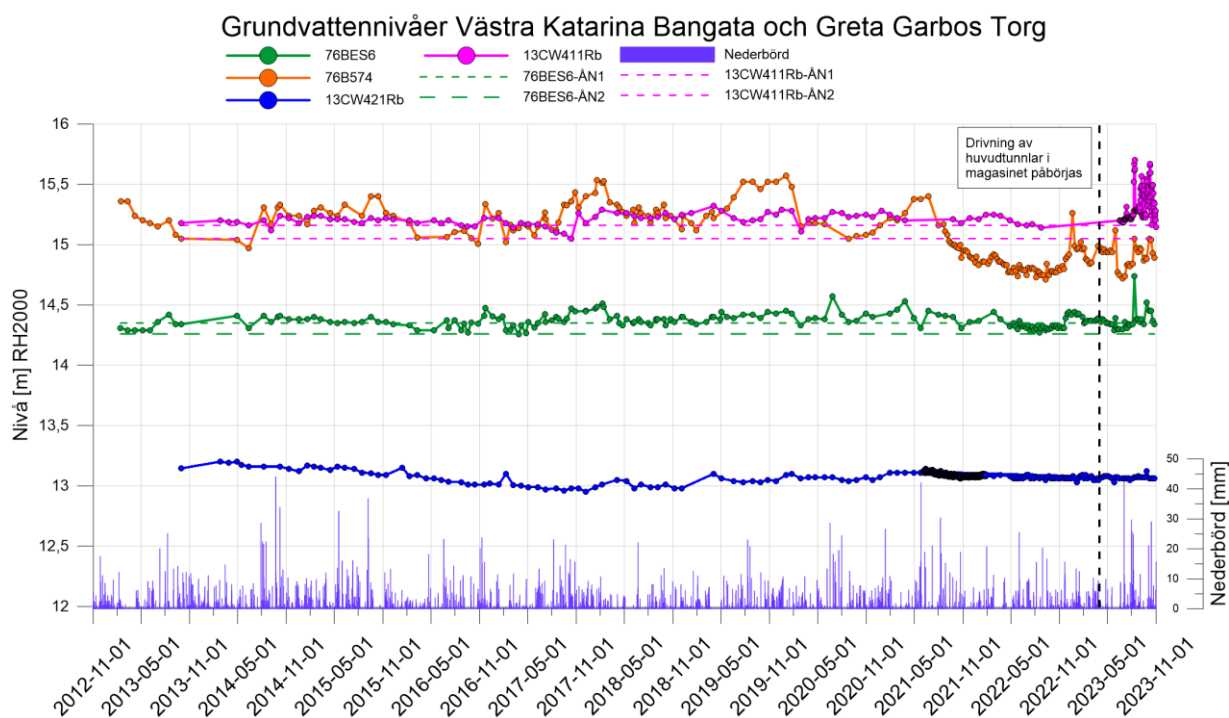
4.4.1.3 Grundvattenpåverkan och skyddsinfiltration

Inom grundvattenmagasin Katarina Bangata finns möjlighet till skyddsinfiltration till undre grundvattenmagasin i tre punkter, se Figur 39. Grundvattenpåverkan i form av avsänkta nivåer i jord för delsträckan är begränsad, men en mindre påverkan kan ses i området strax nordost om Greta Garbos torg och i området i närheten av korsningen Katarina Bangata och Ringvägen. Grundvattenpåverkan norr om Greta Garbos torg går inte att koppla till Regionens arbeten. Uppkommen grundvattenpåverkan i jord är begränsad till dessa områden. Uppkommen grundvattenpåverkan i berg har observerats i tre punkter i närheten av Lilla Blecktornsparken. Delsträckorna Katarina Bangata 2b och 2c är utbruten till ungefär 66 % där det berg som återstår främst ligger inom de sydvästra områdena som ligger inom delsträcka 2c Katarina Bangata på grenen mot Sockenplan.

I området runt Greta Garbos torg visar mätserien för grundvattenröret 76B574 på något lägre nivåer sedan sommaren 2021. Nivåerna har sedan dess legat kvar på en något längre medelnivå, ca 0,3 meter längre, se Figur 40. Sommaren 2021, samma tidpunkt som tidpunkten då de sjunkande nivåerna observerades i 76B574, var arbetstunneln till station Sofia precis utsprängd ner till plattformsutrymmet och ingen tunneldrivning i närheten av detta område hade inletts. Det var först under höst/vinter 2022 som servicetunneln drevs ut i höjd med området. Spårtunnlarna drevs ut i området tidig vår 2023. Den sjunkande trenden kring rör 76B574 går därför inte att koppla till utförda tunnel- eller ovanjordarbeten. I övrigt kan ingen påverkan observeras i

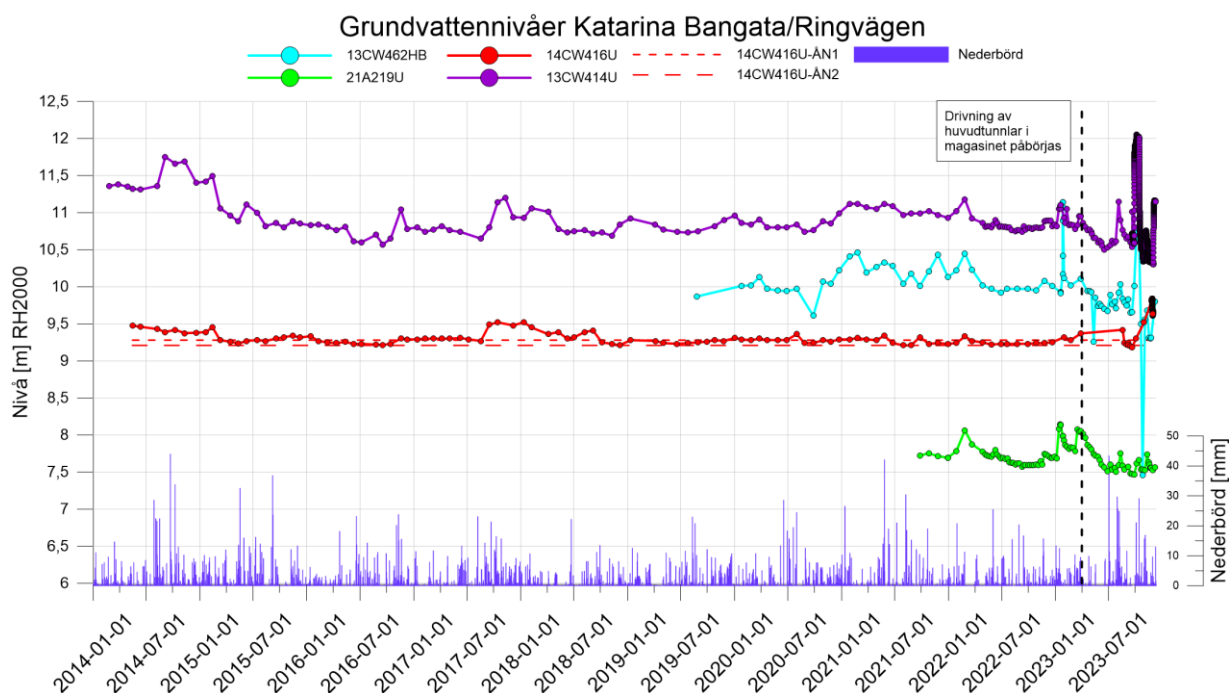
området, där åtgärdsnivårören 76BES6 och 13CB411Rb uppvisar stabila nivåer sedan mätseriernas start 2013, se Figur 40.

Infiltrationsanläggningen 21FUT001INF (Katarina Bangata Norra) byggdes under våren 2021 och har drifttestats vid två tillfällen, i maj 2021 och i januari 2023. Anläggningen är kopplad till åtgärdsnivårören 76BES6 och 13CB411Rb och har en maximal kapacitet på ca 130 l/min. Respons i form av förhöjda grundvattennivåer kan ses i grundvattenrören 76B574 och 76BES6, se Figur 39. Inget underskridande av ÅN2 har inträffat för de åtgärdsnivårör som anläggningen är kopplad till, varför ingen infiltration har utförts. Detta gäller dock inte för två veckor i september 2023 då infiltration via anläggningen pågick på grund av underskridande av ÅN2 i ett ÅN-rör längre söderut (14CW416U), innan anläggningen 23FUT003INF blev färdig.



Figur 40. Grundvattennivåer inom grundvattenmagasin Katarina Bangata (i närheten av Greta Garbos Torg). Dygnsnederbörd samt tidpunkt för när drivning av huvudtunnlarna startade inom magasinet redovisas även i grafen.

I området runt korsningen Katarina Bangata och Ringvägen samt Malmgårdsvägen visar mätserien för grundvattenrören 13CW414U, 13CW462HB och 21A219U på något avtagande nivåer under våren 2023, se Figur 41. Spår- och servicetunnlar drevs ut i området under samma period. Påverkan är liten, ca en decimeter nivåminskning. Grundvattenpåverkan i berg har observerats i två hammarborrhål och en energibrunn väster om Lilla Blecktornsparken. Påverkan uppgår till ca 2 meter nivåminskning. Infiltrationsanläggningen 23FUT003INF (Ringvägen) byggdes under hösten 2023 och har drifttestats under september och oktober. Anläggningen är kopplad till åtgärdsnivåröret 14CW416U och har en maximal kapacitet på ca 90 l/min. Respons av förhöjda grundvattennivåer kan ses i grundvattenrören 13CW414U, 13CW462HB, 13CW415U och 21A219U, se Figur 41. Infiltration via anläggningen har pågått sedan september då ÅN2 underskreds i åtgärdsnivåröret 14CW416U. Infiltrationsflödet har varierat mellan 30 och 60 l/min.

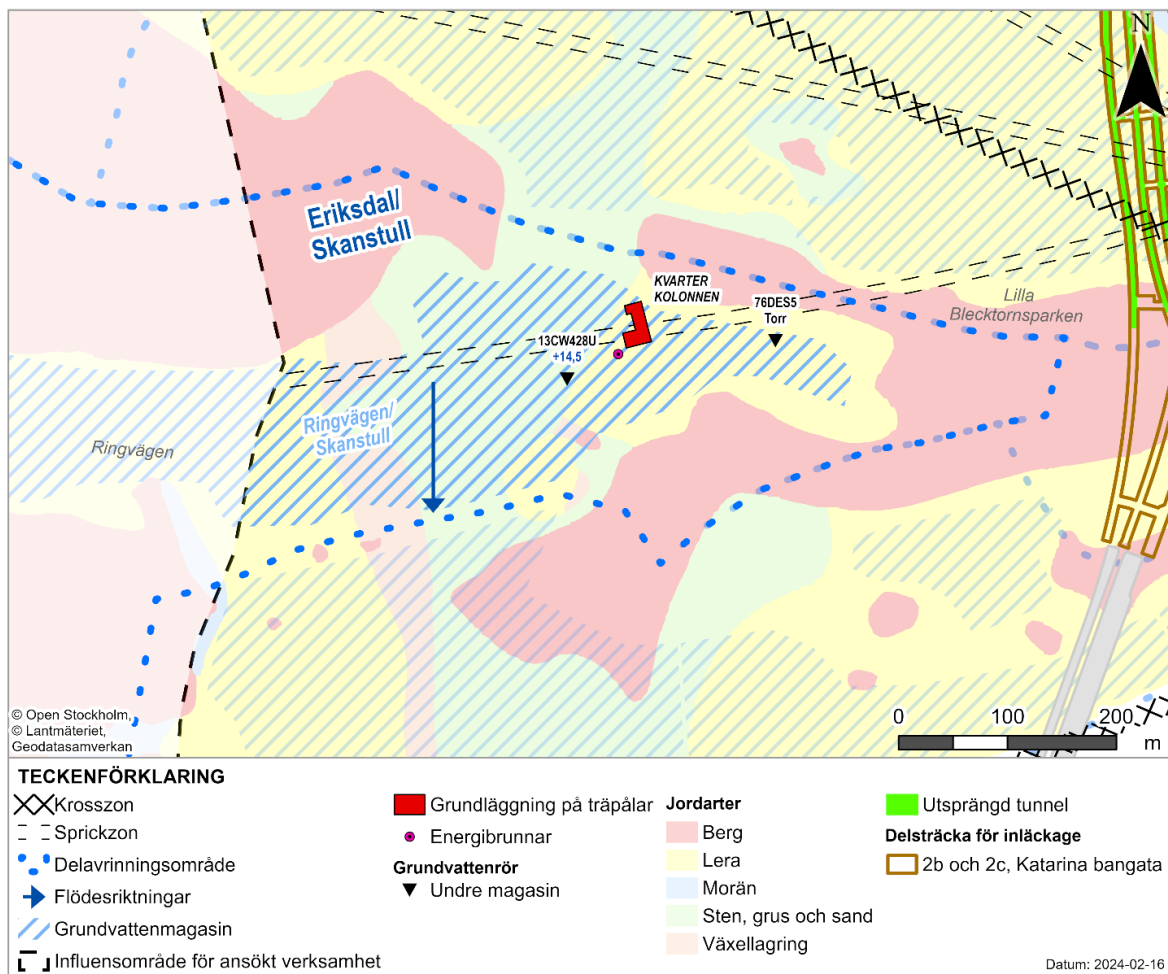


Figur 41. Grundvattennivåer inom grundvattenmagasin Katarina Bangata (i närheten av korsningen Katarina Bangata och Ringvägen). Dygnsnederbörd samt tidpunkt för när drivning av huvudtunnlarna startade inom magasinet redovisas även i grafen.

4.4.2 Delavrinningsområde Eriksdal-Skanstull

Delavrinningsområde Eriksdal-Skanstull avgränsas i norr och öster av omgivande höjdparter norr om Ringvägen och vid Lilla Blecktornsparken. De omgivande höjdparterna avgränsar delavrinningsområdet mot delavrinningsområde Katarina Bangata. I Figur 42 visas en jordartskarta över området med undre grundvattenmagasin, grundvattenrör och grundvattnets strömningsriktning. Markytan inom avrinningsområdet är flack och längs Ringvägen ligger markytan på nivå ca +19. Mellan höjdparterna återfinns ett undre grundvattenmagasin längs med Ringvägen som avrinner söderut mot Hammarby sluss. Grundvattenmagasinet är en del av Stockholmsåsen. I området finns även övre grundvattenmagasin. Jorddjupen uppgår till ca 10 meter. Information om jordlagerföljden är begränsad men enligt den byggnadsgeologiska kartan utgörs den av friktionsmaterialet isälvssediment (sand- och grusavlagringar) som i magasinets yttre delar till viss del är överlagrat av lerjord. Grundvattennivåns gradient är flack och grundvattennivån ligger på omkring +14,5 i magasinet. I magasinets östra delar i anslutning till höjdparter vid Lilla Blecktornsparken är grundvattenröret 76DES5 torrt.

Inom området finns ett känsligt objekt i form av en byggnad inom kvarteret Kolonnen som har en grundläggning på träpålar, se Figur 42. Ingen grundvattenpåverkan har observerats inom grundvattenmagasinet.



Figur 42. Hydrogeologisk karta över delavrinningsområde Eriksdal/Skanstull som redovisar jordarter, krosszon/sprickzon, undre grundvattenmagasin, grundvattenrör och grundvattennivå samt grundvattnets strömningsriktning. Aktuell utsprängd tunnel för delsträckorna 2b och 2c Katarina Bangata (fram till och med januari 2024) redovisas även.

4.5 Delsträcka 4a Luma

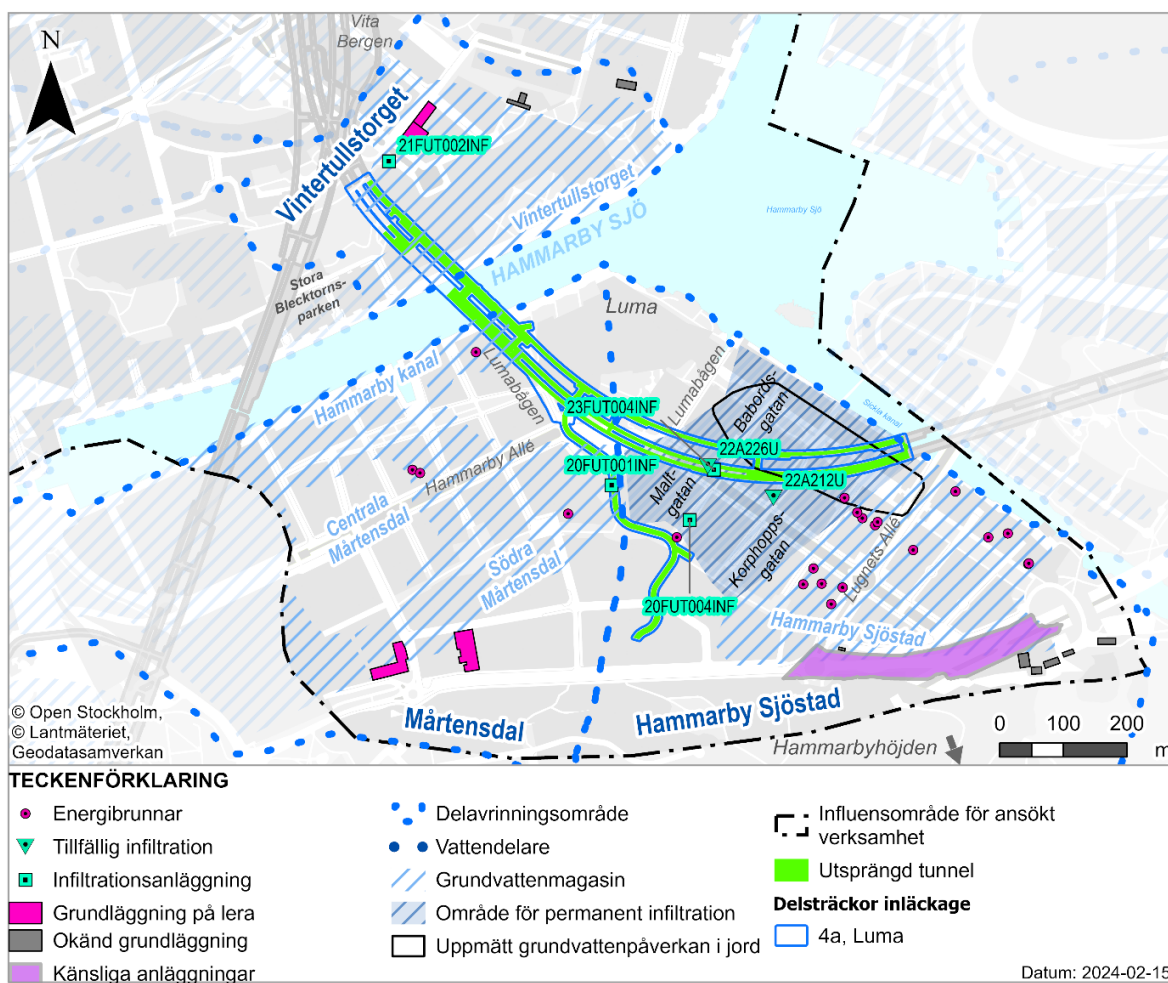
Delsträcka 4a Luma sträcker sig från Blecktornsparken på Södermalm under Hammarby sjö och genom Luma i Hammarby sjöstad fram till Sickla kanal. Området inom delsträckan som ligger på Södermalm avgränsas av Blecktornsparken och Vita Bergen och slutar svagt åt sydost och Hammarby sjö. Mårtensdal och Hammarby sjöstad är låglänta områden som slutar svagt norrut från Hammarbyhöjden med undantag för Lumaområdet, som utgörs av en mindre berg- och moränjordkulle i områdets norra spets. Gemensamt för områdena är att stora delar låg under Hammarby sjös vattenyta fram till sjösänkningen på 1920-talet.

Området inom och runt delsträckan kan delas in i de tre delavrinningsområdena Vintertullstorget, Mårtensdal och Hammarby sjöstad, se Figur 43. Inom delavrinningsområde Vintertullstorget finns ett undre grundvattenmagasin, inom delavrinningsområde Mårtensdal finns tre undre grundvattenmagasin och inom delavrinningsområde Hammarby sjöstad finns ett undre grundvattenmagasin.

Grundvattenpåverkan i jord orsakad av Regionen har observerats runt Lumabågen och Maltgatan samt i området norr om Hammarby allé (Babordsgatan, Korphopsgatan och Lugnets allé). Påverkan går att koppla till utdrivning av arbetstunneln till station Hammarby kanal samt spår- och servicetunnlar norr om Hammarby allé. Grundvattennivåerna i området upprätthålls i

dagsläget med infiltration runt Maltgatan och Lumabågen och delvis i området norr om Hammarby allé. Grundvattenpåverkan i berg har observerats i två energibrunnar inom avrinningsområde Mårtensdal samt fem energibrunnar inom avrinningsområde Hammarby Sjöstad. Påverkan uppgår till som mest 4 meter i en av brunnarna och i resterande brunnar uppgår nivåminskningen till ca 2 meter.

Inom delsträckan finns totalt fyra infiltrationsanläggningar vid Vintertullstorget, Lumabågen, Maltgatan och Babordsgatan. Känsliga objekt längs delsträckan utgörs främst av markförlagda ledningar inom lerjord. Även ett fåtal känsliga objekt i form av byggnader grundlagda på lera och med okänd grundläggning finns. Inom Mårtensdal och Hammarby sjöstad ligger dessa byggnader i utkanten av influensområdet.



Figur 43. Översiktsskarta över de delavrinningsområdena (Vintertullstorget, Mårtensdal och Hammarby Sjöstad) som ligger inom delsträcka 4a Luma. Grundvattenmagasin, känsliga objekt samt möjlighet till skyddsinfiltation redovisas även samt aktuell utsprängd tunnel för delsträcka 4a Luma (fram till och med januari 2024).

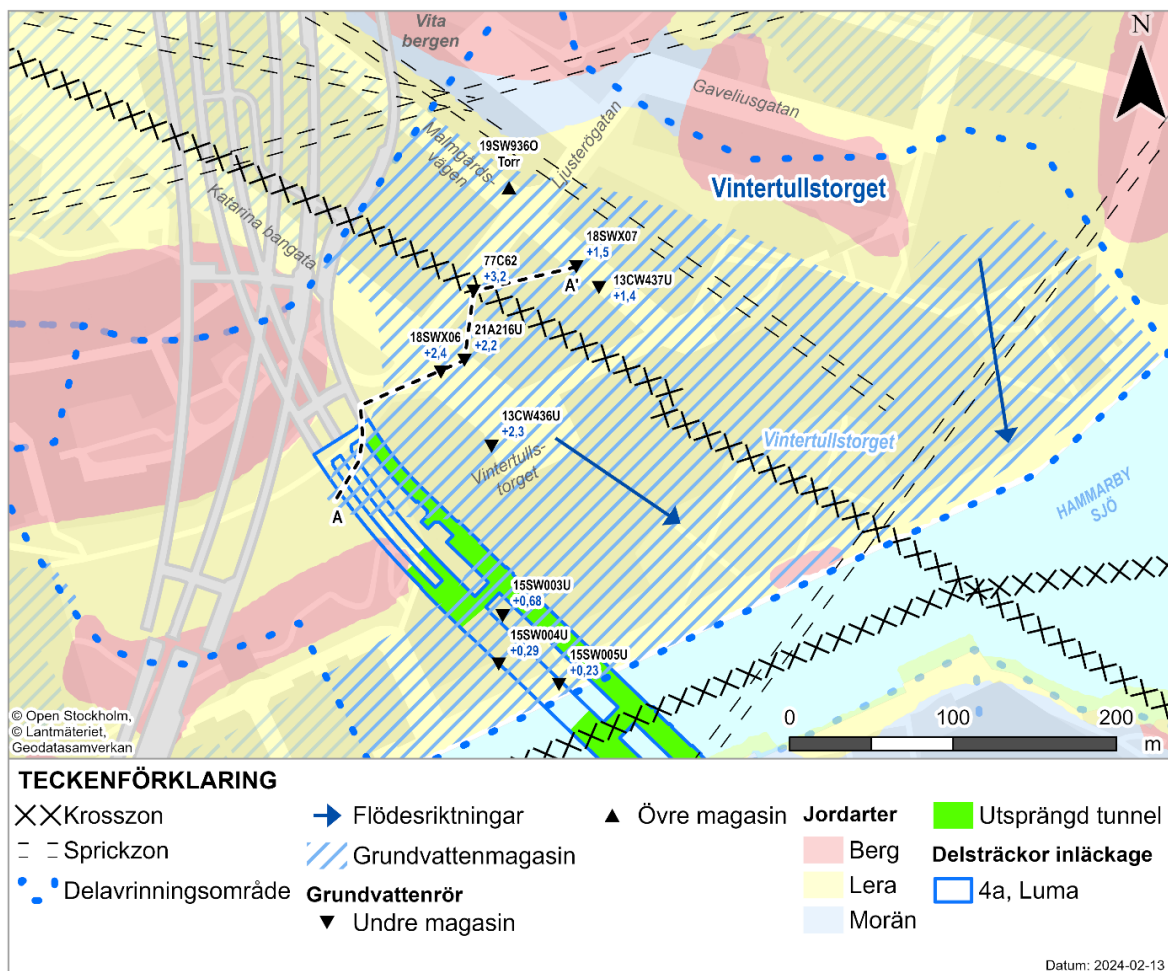
4.5.1 Delavrinningsområde Vintertullstorget

4.5.1.1 Hydrogeologiska förhållanden

Delavrinningsområde Vintertullstorget avgränsas i nordlig och östlig riktning av Vitabergen och en topografisk vattendelare som löper ungefär parallellt med Gaveliusgatan och sedan vidare ner mot Hammarby sjö. I västlig riktning avgränsas delavrinningsområdet av höjdparter vid Lilla och Stora Blecktornsparcken och i söder av Hammarby sjö/Hammarby kanal. Avrinning från delavrinningsområdet sker främst i sydöstlig riktning mot Hammarby sjö och Hammarby kanal.

Markytan ligger på nivå ca +7 vid Ljusterögatan och faller därifrån mot kajen och Hammarby sjö där markytan ligger på nivå ca +2. I Figur 44 visas en jordartskarta över området. I kartan redovisas även undre grundvattenmagasin, grundvattenrör, grundvattnets strömningsriktning samt utmärkning av sonderingsprofil i plan (Figur 45).

Inom delavrinningsområdet finns också ett undre grundvattenmagasin, *Grundvattenmagasin Vintertullstorget*.



Figur 44. Hydrogeologisk karta över delavrinningsområde Vintertullstorget som redovisar jordarter, krosszon/sprickzon, undre grundvattenmagasin, grundvattenrör och grundvattnens strömningsriktning. Aktuell utsprängd tunnel för delsträcka 4a Luma (fram till och med januari 2024) redovisas även.

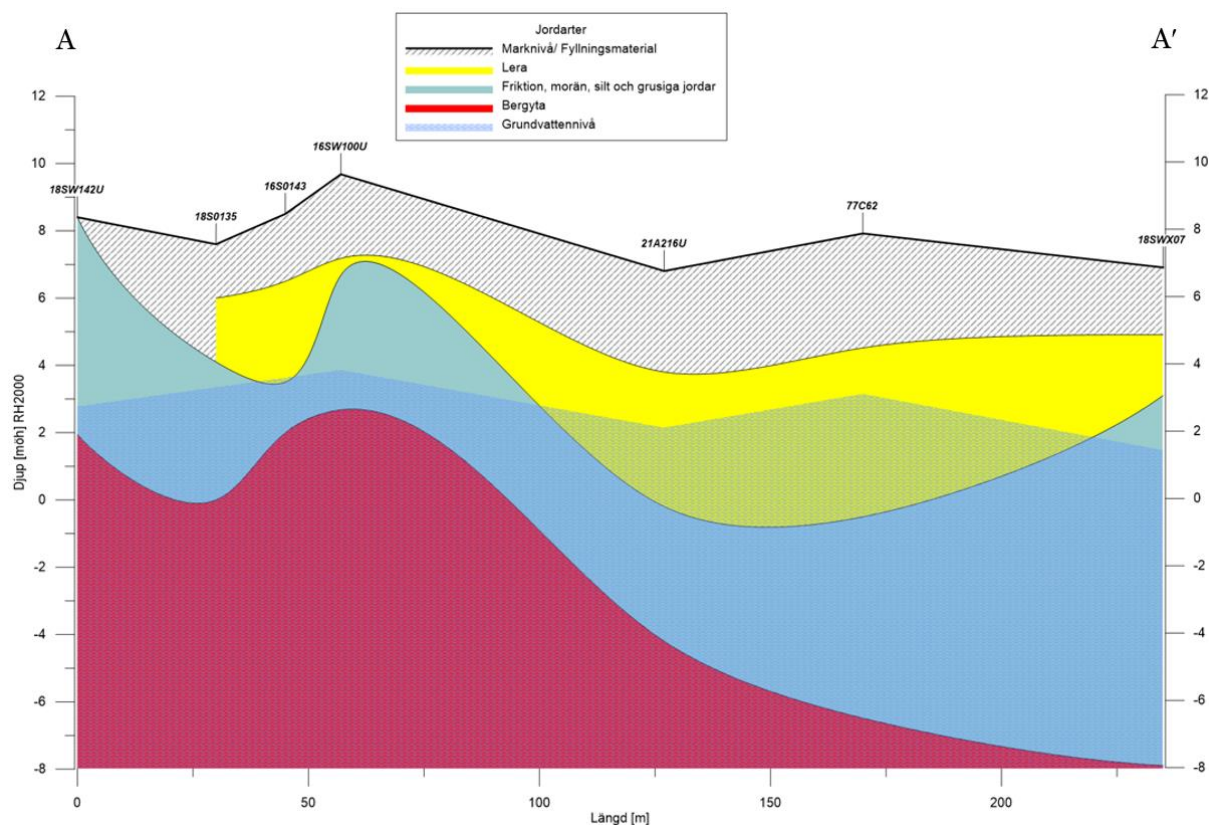
Grundvattenmagasin Vintertullstorget

Grundvattenmagasin Vintertullstorget breder ut sig i bergöverytans dalgång mellan Vita bergen i öster och Lilla och Stora Blecktornsparken i väster. Delar av området kring Vintertullstorget var sjöbotten fram till 1920-talet, då Hammarby sjö sänktes cirka 4 meter. Jorddjupen är som mäktigast i de centrala delarna av magasinet, runt Vintertullstorget, korsningen Katarina Bangata och Ljusterögatan samt längs Malmgårdsvägens södra delar, se jordprofilen i Figur 45. Jorddjupen varierar i dessa områden mellan 10 och 15 meter. Vid Vintertullstorget utgörs jordlagerföljden av överst ca 3 meter fyllning, 10 m lerjord och 2 meter friktionsjord (13CW436U). Vid korsningen Katarina Bangata och Ljusterögatan (21A216U) uppgår lerjordens mäktighet till ca 5 meter och längs Malmgårdsvägens södra delar ca 2 m. Jorddjupet avtar väster om Vintertullstorget där det varierar mellan 3 och 6 meter. Jordlagerföljden utgörs övervägande av överst fyllning följt av friktionsjord. Förekomsten av lerjord är begränsad i detta område. Söder om Vintertullstorget i

riktning mot Hammarby kanal uppgår jorddjupet till ca 6 meter och jordlagerföljden av överst ca 2 meter fyllning, sedan 2 meter lerjord och därefter 2 meter friktionsjord (15SW003U).

Grundvattennivåns gradient är riktad åt sydost med utlopp i Hammarby sjö. Grundvattennivån faller från en nivå på ca +3 vid Ljusterögatan (77C62) och ner mot, eller strax över, Hammarby sjös nivå nära kajen (15SW003U). Vid den södra delen av Malmgårdsvägen ligger grundvattennivån på ca +1,5 (13CW437U). Grundvattennivån i magasinet samvarierar tydligt med Saltsjöns nivåer och i magasinet ligger grundvattennivån ca 3–5 meter under markytan. Väster om Vintertullstorget är grundvattenrören torra. I områdena med mäktigast lerlager runt Vintertullstorget och korsningen Katarina Bangata och Ljusterögatan ligger grundvattennivån ovanför lerjordens underkant.

I området har lerans egenskaper kopplat till sättningsbenägenhet analyserats i tre punkter i närheten av Vintertullstorget. Resultatet visar att området runt Vintertullstorget har en medelhög sättningsbenägenhet. Beräknad sättning i området blir 17 centimeter efter 2 år och 27 centimeter efter 50 år, för en 3 meters grundvattennivåavsänkning. Resultatet visar även att det kan finnas risk för pågående sättningar i dessa punkter. I punkterna norr och söder om Vintertullstorget förekommer en mindre sättningsbenägen jord. Beräknade sättningar som varierar mellan 1 och 2,5 centimeter efter 2 år samt mellan 1 och 3 centimeter efter 50 år, för 3 meters grundvattennivåavsänkning.

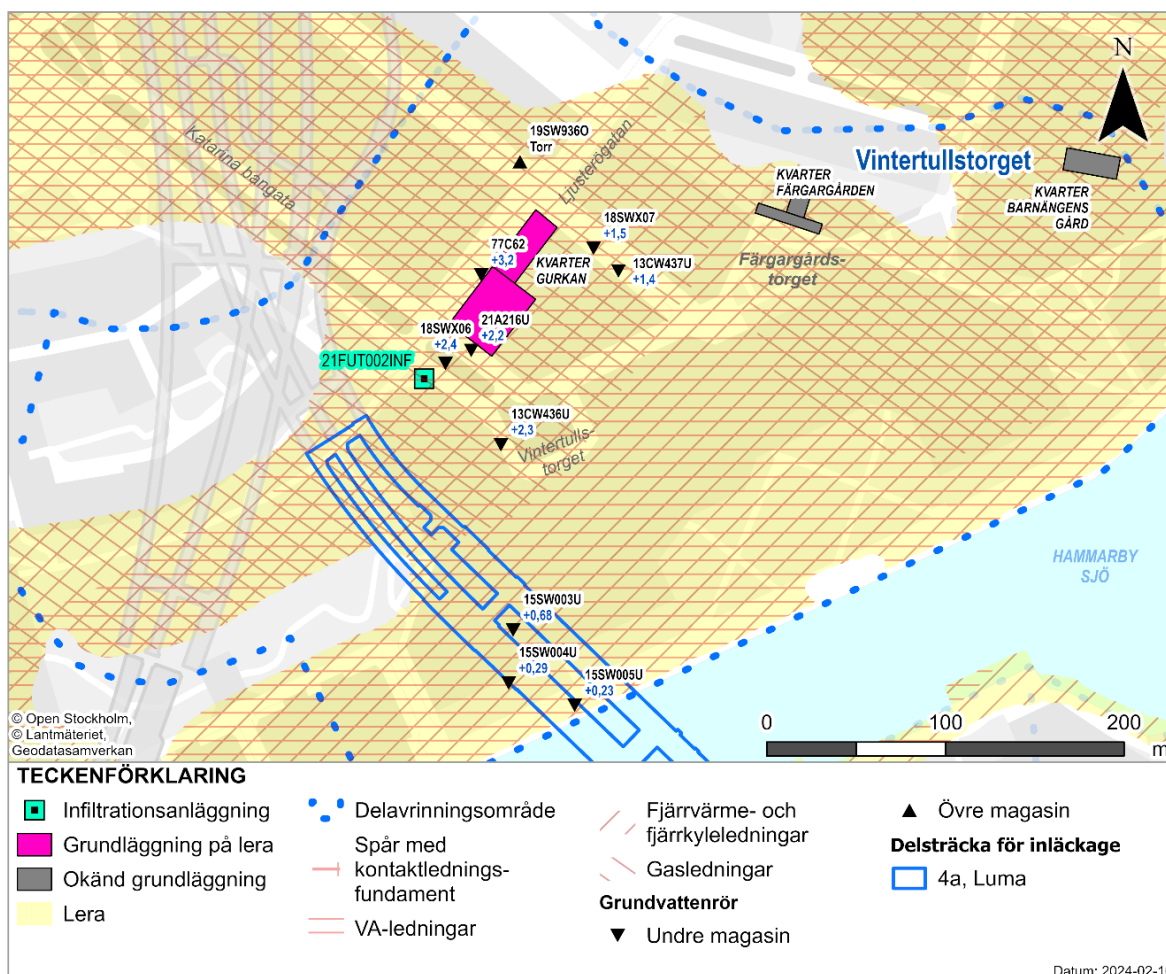


Figur 45. Jordlagerprofil inom grundvattenmagasin Vintertullstorget. Profilen sträcker sig från A-A', se Figur 44 för profilens läge i plan.

4.5.1.2 Känsliga objekt

Inom området finns känsliga objekt i form av byggnader grundlagda på lera och med en okänd grundläggning, energibrunnar samt markförlagda ledningar belägna inom lerjord, se Figur 46. Byggnaderna som är känsliga ligger öster om anläggningen. Längs Ljusterögatan finns det byggnader inom kvarteret Gurkan (Orienteatern) som är grundlagt på lera. Längre österut vid

Färggårdstorget finns byggnader inom kvarteret Färggårdsgården och Barnängensgård med okänd grundläggning.

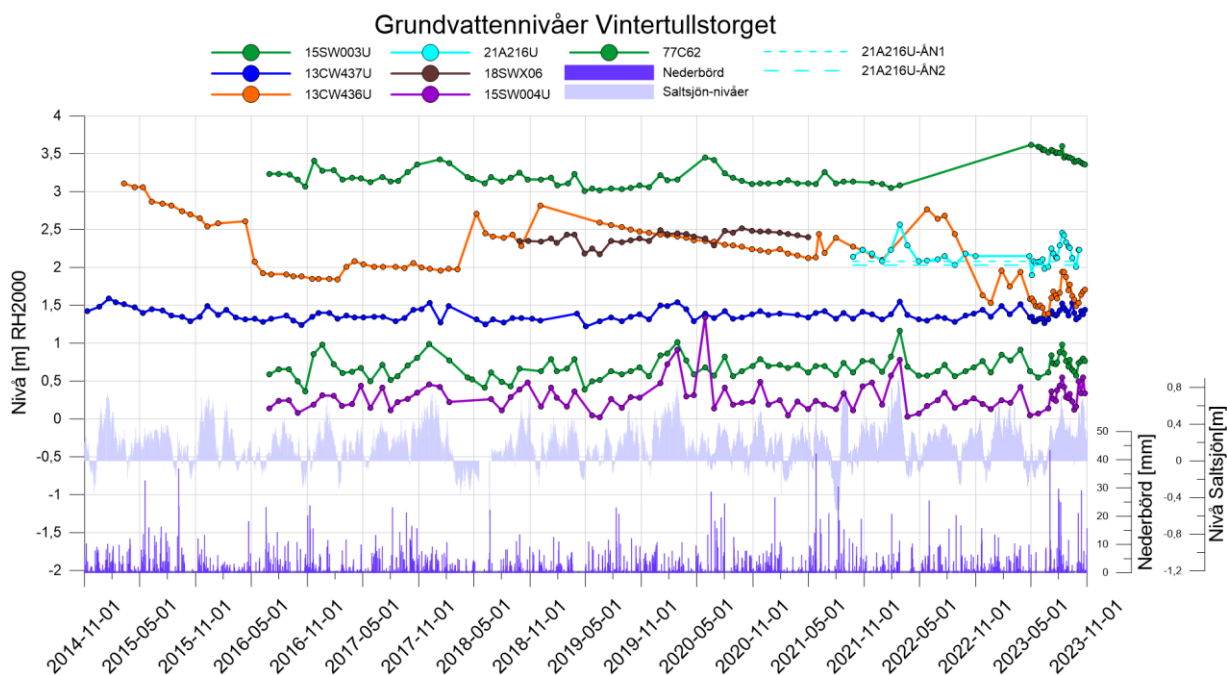


Figur 46. Känsliga objekt inom delavrinnsområde Vintertullstorget. Inom området finns känsliga objekt i form av byggnader grundlagda på lera och med en okänd grundläggning samt markförlagda ledningar belägna inom lerjord.

4.5.1.3 Grundvattenpåverkan och skyddsinfiltration

I grundvattenmagasin Vintertullstorget finns möjlighet till skyddsinfiltration till undre grundvattenmagasin i en punkt, se Figur 46. Ingen grundvattenpåverkan i form av avsänkta nivåer i jord som går att koppla till Regionens arbeten har observerats. Delsträckan Luma 4a är nästan helt utbruten (ungefär till 90 %) och det berg som återstår utgörs av rulltrappschakt och ventilationsschakt mellan Luma och Hammarby kanal, vilket kommer att utföras under 2024.

Vid Vintertullstorget visar mätserien för grundvattenröret 13CW436U på avtagande nivåer i november 2022, se Figur 47. Nivån i röret har sedan dess legat på en något lägre men stabil nivå som tydligt samvarierar med Saltsjöns nivå. En spolning av röret genomfördes under samma period då röret hade en sämre funktion. Spolningen förbättrade rörets funktion. Tunnelarbeten i höjd med området inleddes först under sommaren 2023 och de avtagande nivåerna går inte att koppla till Regionens arbete utan är snarare kopplat till den spolning som genomfördes. Nivåerna i magasinet samvarierar på ett tydligt sätt med Saltsjöns nivå, se Figur 47. I området finns inga mätpunkter för grundvattennivå i berg.



Figur 47. Grundvattennivåer inom grundvattenmagasin Vintertullstorget. Dygnsnederbörd och ytvattennivå Saltsjön redovisas även i grafen.

Infiltrationsanläggningen 21FUTO01INF (Katarina Bangata Södra) byggdes under våren 2021 och har drifttestats vid två tillfällen, i juni 2021 och augusti 2023. Anläggningen är kopplad till åtgärdsnivåröret 21A216U och har en maximal kapacitet på ca 60–70 l/min. Respons i form av förhöjda grundvattennivåer kan ses i grundvattenrören 21A216U, se Figur 46. Utförda drifttester visar att grundvattennivåerna i magasinet samvarierar med Saltsjöns nivåer och att respons från tillfört flöde via infiltrationsanläggningen är underordnat Saltsjöns nivåer, vilket är förklaringen till den begränsade responsen. Infiltration via anläggningen har pågått under två tillfällen i oktober och december 2023 då ÅN2 underskreds. Detta underskridande går inte att koppla till Regionens arbeten utan är i stället kopplat till låga nivåer i Saltsjön.

4.5.2 Delavrinningsområde Mårtensdal

4.5.2.1 Hydrogeologiska förhållanden

Delavrinningsområde Mårtensdal begränsas i både nordlig och västlig riktning av ytvatten från Hammarby kanal och Hammarby sjö. Österut begränsas området av en vattendelare som löper i nord-sydlig riktning tvärs igenom Lumaparken och i söder av bland annat Hammarbyhöjden. I Mårtensdal är områdena med ytligt berg och moränjord större än inom Hammarby sjöområdet och stora delar låg över Hammarby sjös vattenyta, före sjösänkningen på 1920-talet då sjön sänktes cirka 4 meter. Områdets jordlager består delvis av utsvallad sand från Stockholmsåsen.

Avrinning från delavrinningsområdet sker främst i nordlig och nordvästlig riktning mot Hammarby sjö och Hammarby kanal. I den del av delavrinningsområdet som ligger inom influensområdet är marknivån som högst vid Hammarbyvägen där nivån ligger på cirka +21. Marknivån faller i nordlig och nordvästlig riktning mot Hammarby kanal och vid Hammarby allé ligger nivån på cirka +9. Vid kajen längs Hammarby kanal ligger marknivån på cirka +2. Rakt norr om Hammarby allé stiger marknivån och ligger som högst vid Lumaparksvägen på cirka +16. I Figur 48 visas en jordartskarta över området. I kartan redovisas även undre grundvattenmagasin, grundvattenrör, sonderingspunkter, grundvattnets strömningsriktning samt utmärkning av sonderingsprofil i plan.

Den del av delavrinningsområde Mårtensdal som ligger inom influensområdet kan delas in i tre undre grundvattenmagasin: ett större grundvattenmagasin som ligger centralt i området (*Grundvattenmagasin centrala Mårtensdal*), ett magasin i den västra delen av området, som gränsar mot Hammarby kanal (*Grundvattenmagasin Hammarby kanal*) och ett mindre magasin i södra Mårtensdal i närheten av korsningen mellan Textilgatan och Virkesvägen (*Grundvattenmagasin södra Mårtensdal*).

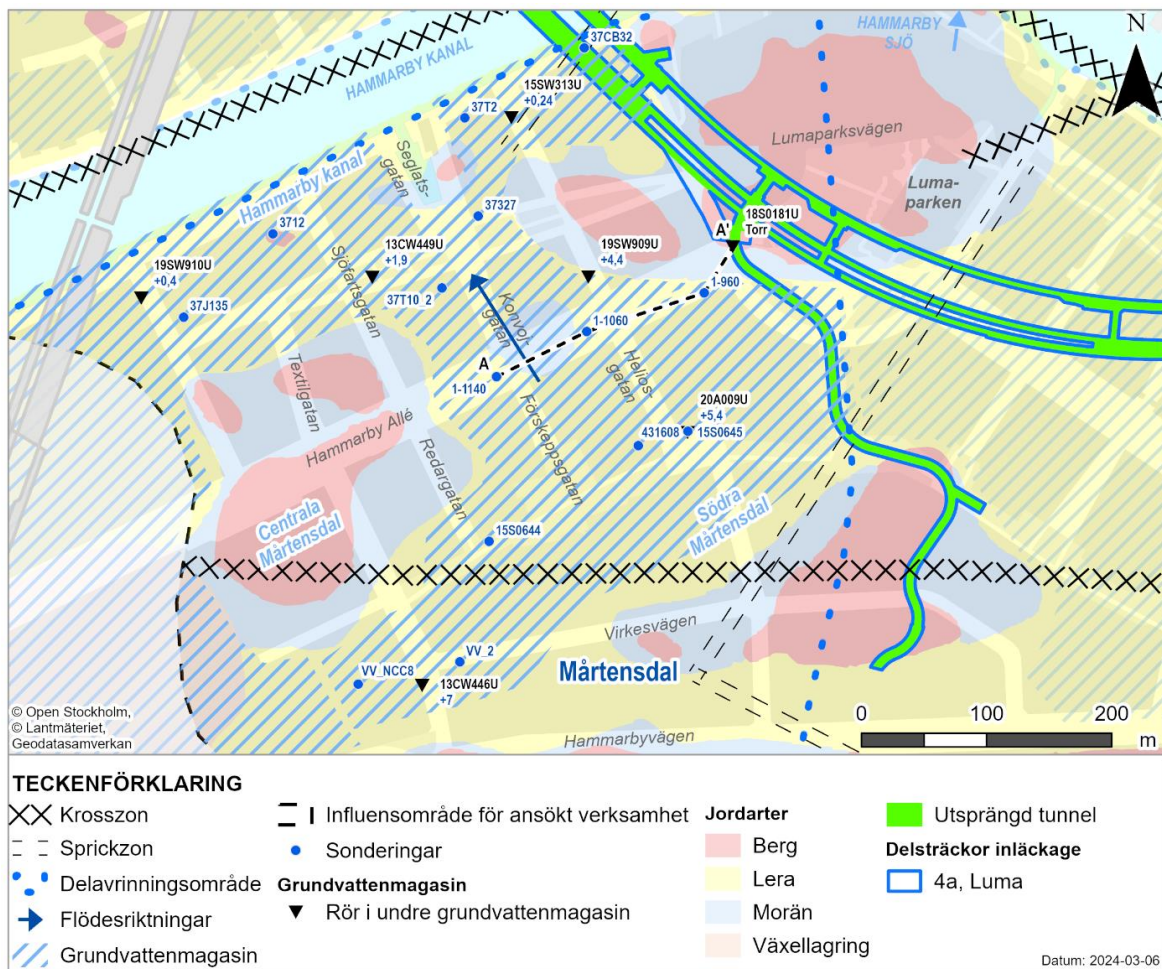
Grundvattenmagasin centrala Mårtensdal

Grundvattenmagasin centrala Mårtensdals utbredning begränsas av höjddpartiet vid Luma i norr av ett annat område med ytligt berg längst Hammarby allé i väst samt av den vattendelare som avgränsar avrinningsområdet i öst. Grundvattenmagasinet avgränsas i söder av området strax norr om Virkesvägen.

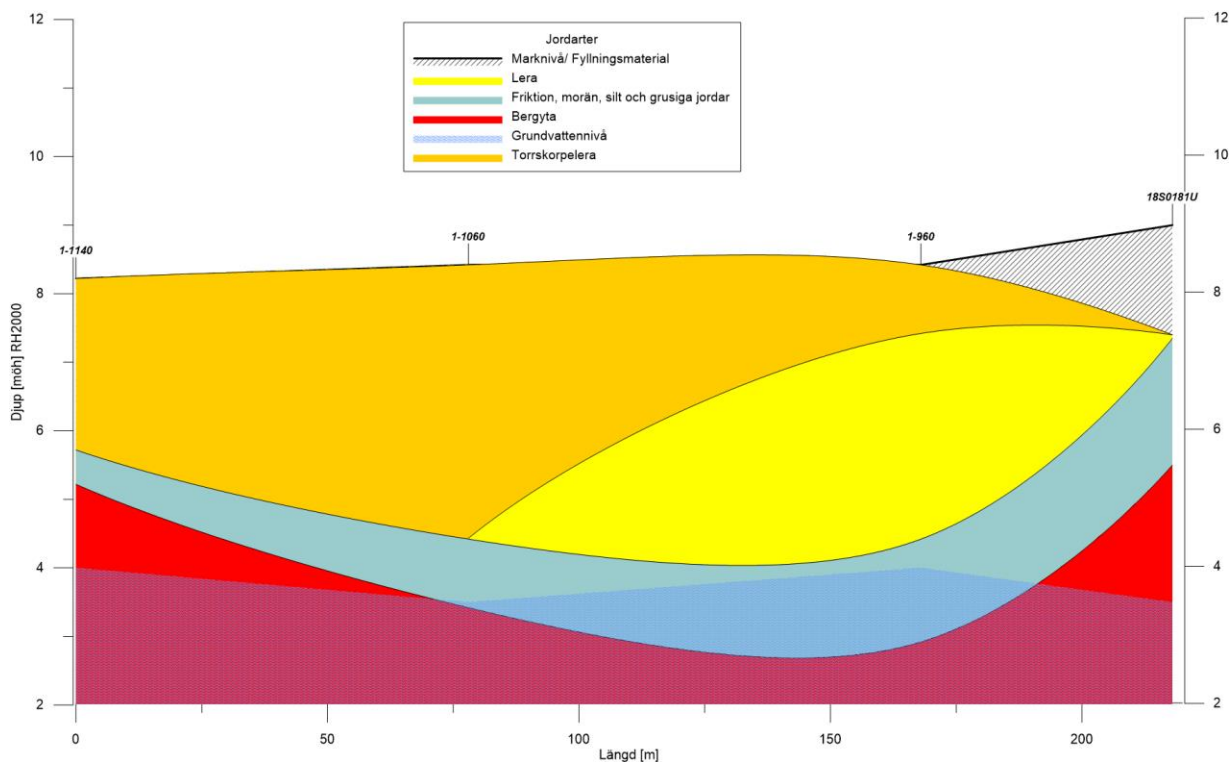
I magasinets norra del, i korsningen mellan Heliosgatan och Hammarby allé (19SW909U), uppgår jorddjupet till 5 meter, se Figur 48. Jordlagerföljden utgörs av fyllning ca 3 meter, lera ca 1 meter och friktionsjord ca 1 meter. Österut, längs med Hammarby allé, är jorddjupet liknande men fyllningen är inte lika mäktighet och lerjordens mäktighet är cirka 3 meter. Västerut längst Hammarby allé minskar jorddjupen till ca 3 m vid korsningen mellan Förskeppsgatan och Hammarby allé (1-1140) och lerjorden utgörs av torrskorpelera, se Figur 48. Jorddjupet ökar i nordlig riktning mot kanalen och uppgår till drygt 8 meter i korsningen mellan Konvojgatan och Hammarbyterassen (37T10_2), se Figur 48. Lerlagrets mäktighet uppgår till ca 4 meter i detta område. I den södra delen av magasinet, vid Heliostorget (20A009U), uppgår jorddjupet till ca 8 meter och lerjordens mäktighet varierar mellan 2–4 meter. I sydvästlig riktning från Heliostorget och längst med Heliosgången minskar jordlagrets mäktighet och ligger på endast 2,5 meter vid korsningen mellan Heliosgången och Redargatan (15S0644), se Figur 48. Inom detta område saknas även lera.

Grundvattennivåns gradient är riktad åt nordväst mot Hammarby kanal och Hammarby sjö och varierar mellan nivå +2 och +5 meter inom magasinet. Grundvattennivån är som högst vid Helios torg på nivå +5,4 (20A009U) och faller mot nordväst och ligger på nivå +1,9 vid Sjöfartsgatan (13CW449U). Grundvattennivån ligger ungefär 3–4 meter under markytan. Generellt ligger grundvattennivån under lerans underkant i nordöstra delen av magasinet (1-960) men 1–4 meter över lerans underkant i nordvästra (37T10_2) och sydöstra delen (431608), se Figur 48.

I området har lerans egenskaper kopplat till sättningsbenägenhet analyserats i tre punkter belägna vid Heliostorget och längst med Heliosgången samt i sydvästlig riktning fram till korsningen med Redargatan. Resultatet från de tre undersökningspunkter (15S0644, 431 608 och 15S0645), se Figur 48 visar att leran är normalkonsoliderad eller svagt överkonsoliderad. Sättningsberäkningar för dessa punkter visar att jorden är sättningbenägen vid de södra delarna av Heliosgatan och att det finns stor risk för pågående sättningar där. Den övriga delen av området uppvisar en mindre sättningbenägenhet.



Figur 48. Hydrogeologisk karta över delavrinningsområde Mårtensdal som redovisar jordarter, krosszon/sprickzon, undre grundvattenmagasin, grundvattentrör och grundvattennivå samt grundvattnets strömningsriktning. Aktuell utsprängd tunnel för delsträcka 4a Luma (fram till och med Januari 2024) redovisas även.



Figur 49. Jordlagerprofil inom grundvattenmagasin centrala Mårtensdal. Profilen sträcker sig från A-A', se Figur 48 för profilens läge i plan.

Grundvattenmagasin södra Mårtensdal

Grundvattenmagasinet avgränsas i söder av Hammarbyvägen och Hammarbyhöjden och i norr av ett höjdparti samt av det större centrala grundvattenmagasinet. I den norra delen av magasinet, i höjd med korsningen mellan Textilgatan och Virkesvägen, varierar jorddjupen mellan på 8–12 meter. Söderut, mot korsningen mellan Hammarbyvägen och Textilgatan, minskar jorddjupet till cirka 5 meter. Lermäktigheten i området varierar mellan 1 och 5 meter. I magasinet ligger grundvattennivån på cirka +7 och därmed ungefär 8 meter under markytan.

I två undersökningspunkter i mitten av magasinet (VV_2 och VV_NCC8), se Figur 48, har leran visat sig vara överkonsoliderad eller svagt överkonsoliderad. Sättningsberäkningar för dessa punkter visar att leran i området har en låg sättningsbenägenhet. I området ligger största delen av lerlagret ovanför grundvattenytan. En sondering strax söder om korsningen mellan Virkesvägen och Textilgatan (13CW446U), Figur 48, avviker dock från detta. Där ligger 3 meter av lerlagret under grundvattenytan.

Grundvattenmagasin vid Hammarby kanal

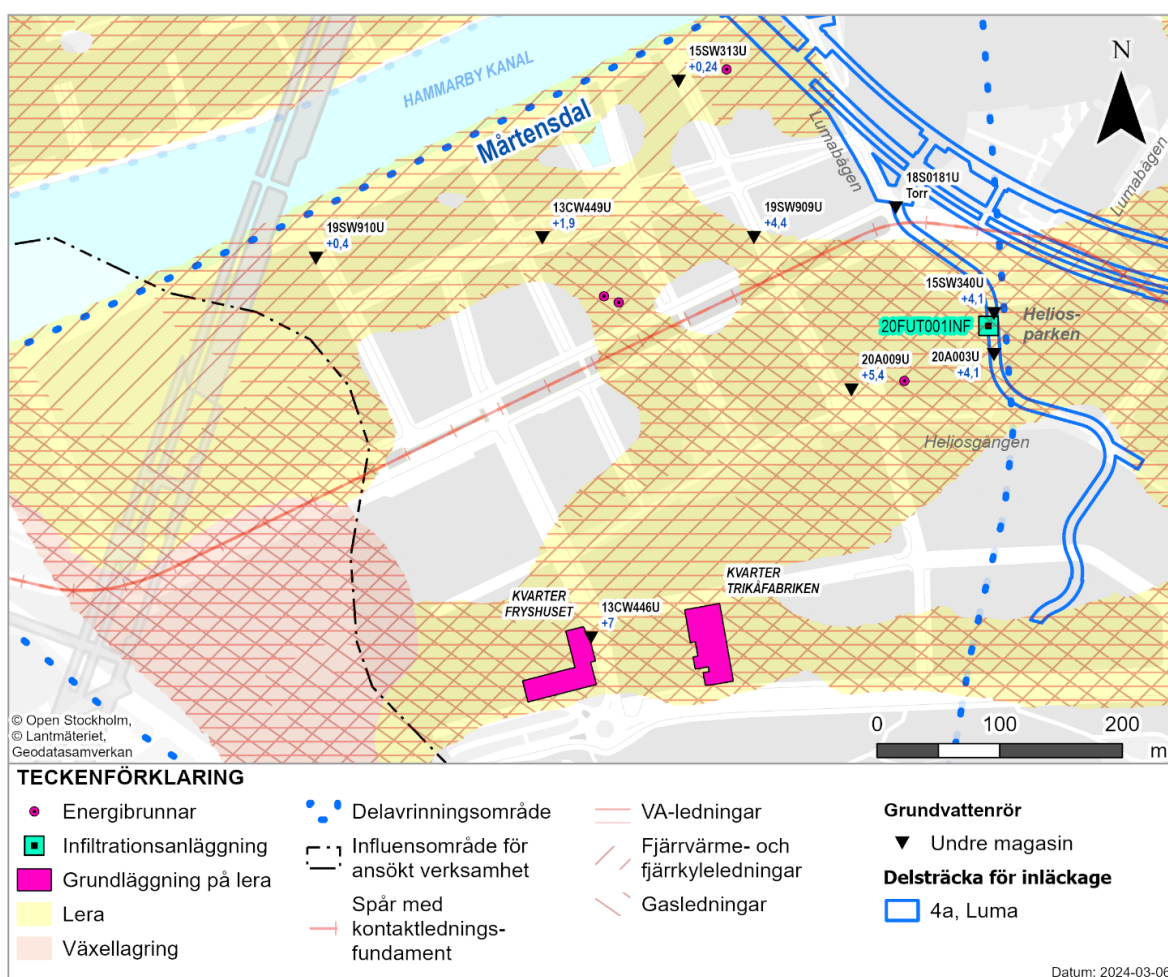
Grundvattenmagasinet sträcker sig längs med Hammarby kaj. Grundvattennivåerna i området samvarierar tydligt med Hammarby kanals nivåer, vilket skiljer sig från de två andra grundvattenmagasinen inom delavrinningsområdet. I den södra delen av magasinet, mellan Lumagatan och Heliosgatan, utgörs jordlagerföljden av 1–2 meter friktionsjord på berg (37CB32), se Figur 48. Jorddjupet ökar söderut i riktning mot kajen där de varierar mellan 10 till 14 meter och lerjordens mäktighet varierar mellan 2 och 4 meter. I området mellan Seglatsgatan och Sjöfartsgatan är jorddjupet fortsatt samma men förekomst av lerjord saknas. Lerjordens mäktighet längs kajen varierar mellan 1 och 3 meter. Fläckvisa områden med endast friktionsjord förekommer även här.

Grundvattennivåns gradient är riktad åt nordväst mot Hammarby kanal där grundvattennivån i magasinet varierar mellan nivå ca +0,4 vid Hammarby kajgata (19SW910U) och faller norrut till nivå ca +0,2 vid Heliosgatan (15SW313U), se Figur 48. Generellt ligger grundvattennivån 3–5

meter under markytan och över lerjordens underkant. Ett undantag till detta är vid korsningen mellan Textilgatan och Hammarbyterassen där en sondering i stället visar att lerans underkant ligger ovan grundvattenytan. Inom grundvattenmagasinet har lerans egenskaper kopplat till sättningsbenägenhet analyserats i två punkter (37J135 och 37 327), Figur 48. Resultatet visar att leran är överkonsoliderad och har låg sättningsbenägenhet. Beräknade sättningar i detta område blir som mest ca 1 centimeter såväl efter 2 år som efter 50 år vid en grundvattennivåavsänkning på 3 meter.

4.5.2.2 Känsliga objekt

Inom området finns känsliga objekt i form av två byggnader grundlagda på lera inom kvarteren Fryshuset och Trikäfabriken, energibrunnar, samt markförlagda ledningar belägna inom lerjord, se Figur 50. Fördjupad grundläggningsinventering har visat att byggnaden inom kvarter Trikäfabriken inte längre bedöms som ett känsligt objekt. Objektet kommer under 2024 att avskrivas från Regionens kontrollprogram.



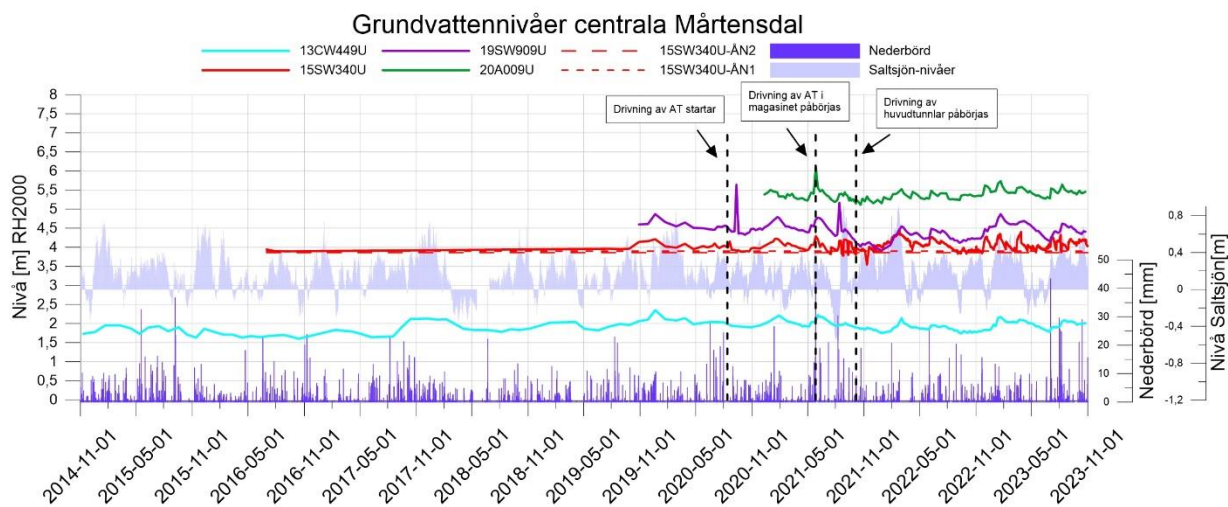
Figur 50. Känsliga objekt inom delavrinningsområde Mårtensdal. Inom området finns ett fåtal känsliga objekt i form av två byggnader grundlagda på lera samt markförlagda ledningar belägna inom lerjord.

4.5.2.3 Grundvattenpåverkan och skyddsinfiltation

I grundvattenmagasin Centrala Mårtensdal finns möjlighet till skyddsinfiltation till undre grundvattenmagasin i en punkt, se Figur 50. Grundvattenpåverkan i form av avsänkta nivåer i jord har observerats i det östligaste delarna av det centrala magasinet under sommaren 2021. Uppkommen grundvattenpåverkan i berg har observerats i två energibrunnar. Påverkan går att koppla till Regionens arbete med utdrivningen av arbetstunneln Hammarby kanal. Grundvattennivåerna upprätthålls med infiltration. Delsträckan Luma 4a är nästan helt utbruten

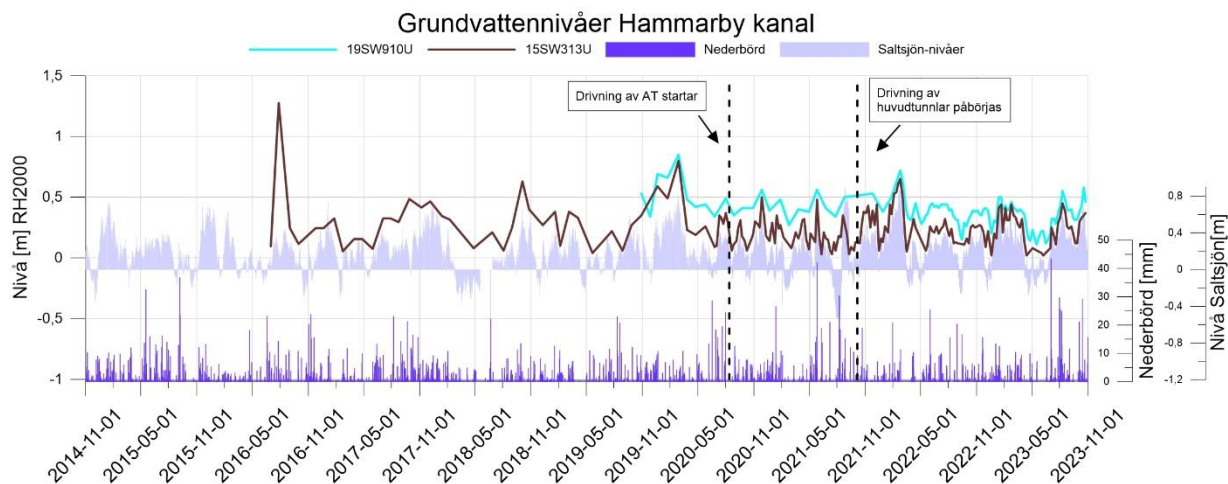
(ungefär till 90 %) och det berg som återstår utgörs av rulltrappschakt och ventilationsschakt mellan Luma och Hammarby kanal samt spår- och servicetunnlar på Södermalm, vilket kommer att utföras under 2024.

I området runt Lumabågen och Heliosparken visar mätserien för grundvattenrör 15SW340U, se Figur 51, på något avtagande nivåer under sommaren 2021. Arbetstunneln vid Hammarby kanal drevs ut precis ovanför området under samma period. Infiltrationsanläggningen 20FUT001INF byggdes under 2020 och har drifttestats under augusti och november 2020. Anläggningen är kopplad till åtgärdsnivåröret 15SW340U och har en maximal kapacitet på ca 15 l/min. Respons i form av förhöjda grundvattennivåer kan ses i grundvattenrören 20A003U och 15SW340U, se Figur 50. Infiltration via anläggningen, som har pågått sedan juli 2021 då ÅN2 underskreds i åtgärdsnivåröret 15SW340U, upprätthåller grundvattennivåerna i området. Infiltrationsflödet har varierat mellan 5–12 l/min.

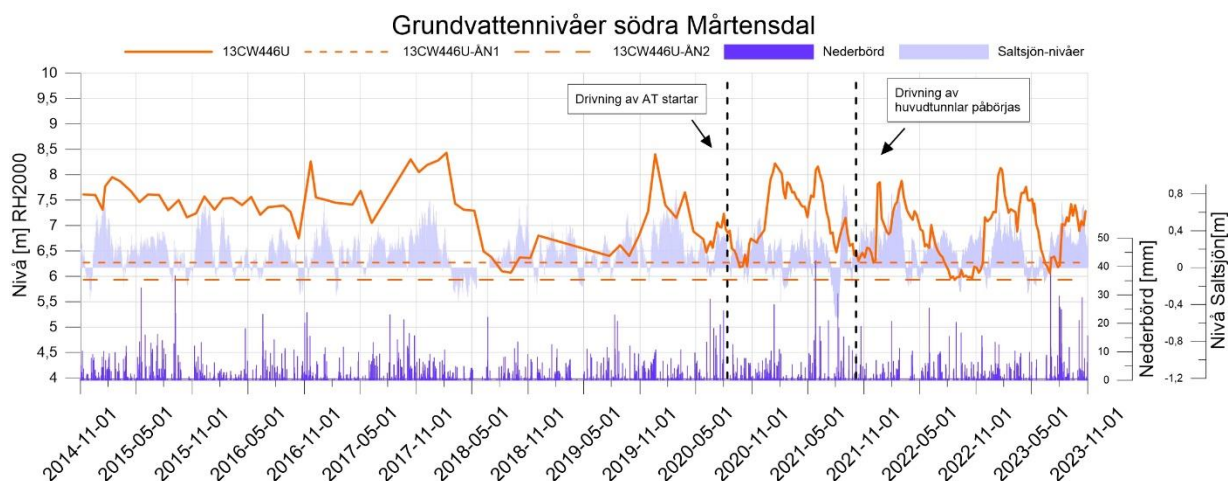


Figur 51. Grundvattennivåer inom grundvattenmagasin centrala Mårtensdal. Dygnsnederbörd, ytvattennivå i Saltsjön samt tidpunkt för när drivning av arbetstunnel och huvudtunnlar inom magasinet startade redovisas även i grafen.

Uppmätta grundvattennivåer i grundvattenmagasinen vid Hammarby kanal och det mindre magasinet i södra Mårtensdal visar inte på någon grundvattenpåverkan i jord, se Figur 52 och Figur 53. Grundvattennivåerna i magasinet vid Hammarby kanal samvarierar på ett tydligt sätt med Saltsjöns nivåer. Grundvattenpåverkan i berg har observerats i två energibrunnar, vid Hammarby kanal respektive Heliosgången. Påverkan uppgår till ca 2–3 m nivåminskning.



Figur 52. Grundvattennivåer inom grundvattenmagasin Hammarby kanal. Dygnsnederbörd, ytvattennivå i Saltsjön samt tidpunkt för när drivning av arbetstunnel och huvudtunnlar startade redovisas även i grafen.



Figur 53. Grundvattennivåer inom grundvattenmagasin södra Mårtensdal. Dygnsnederbörd, ytvattennivå i Saltsjön samt tidpunkt för när drivning av arbetstunnel och huvudtunnlar startade redovisas även i grafen.

4.5.3 Delavrinningsområde Hammarby sjöstad

4.5.3.1 Hydrogeologiska förhållanden

Delavrinningsområdet Hammarby sjöstad begränsas i nordlig och östlig riktning av Hammarby sjö och Sickla kanal. Västerut begränsas området av ett höjdparti som löper i nord-sydlig riktning tvärs igenom Lumaparken och i söder av Hammarbyhöjden och Hammarby skidbacke. Delavrinningsområdet förses i högre grad än Mårtensdals området av tillrinning från Hammarbyhöjden. Avrinning från delavrinningsområdet sker främst i nordostlig riktning mot Sickla kanal.

Marknivån är som högst i den sydvästra delen, vid Hammarby Fabriksväg, och ligger på nivå ca +16. Markytans nivå faller sedan i nordlig och nordvästlig riktning till nivå ca +6 vid Hammarby allé och vidare ner till nivå ca +2 vid kajen. I Figur 54 visas en jordartskarta över området. Kartan redovisar även undre grundvattenmagasin, grundvattenrör, sonderingspunkter, grundvattnets strömningsriktning samt utmärkning av sonderingsprofil i plan.

Inom delavrinningsområdet finns ett stort undre grundvattenmagasin (*Grundvattenmagasin Hammarby sjöstad*), vilket beskrivs nedan.

Grundvattenmagasin Hammarby sjöstad

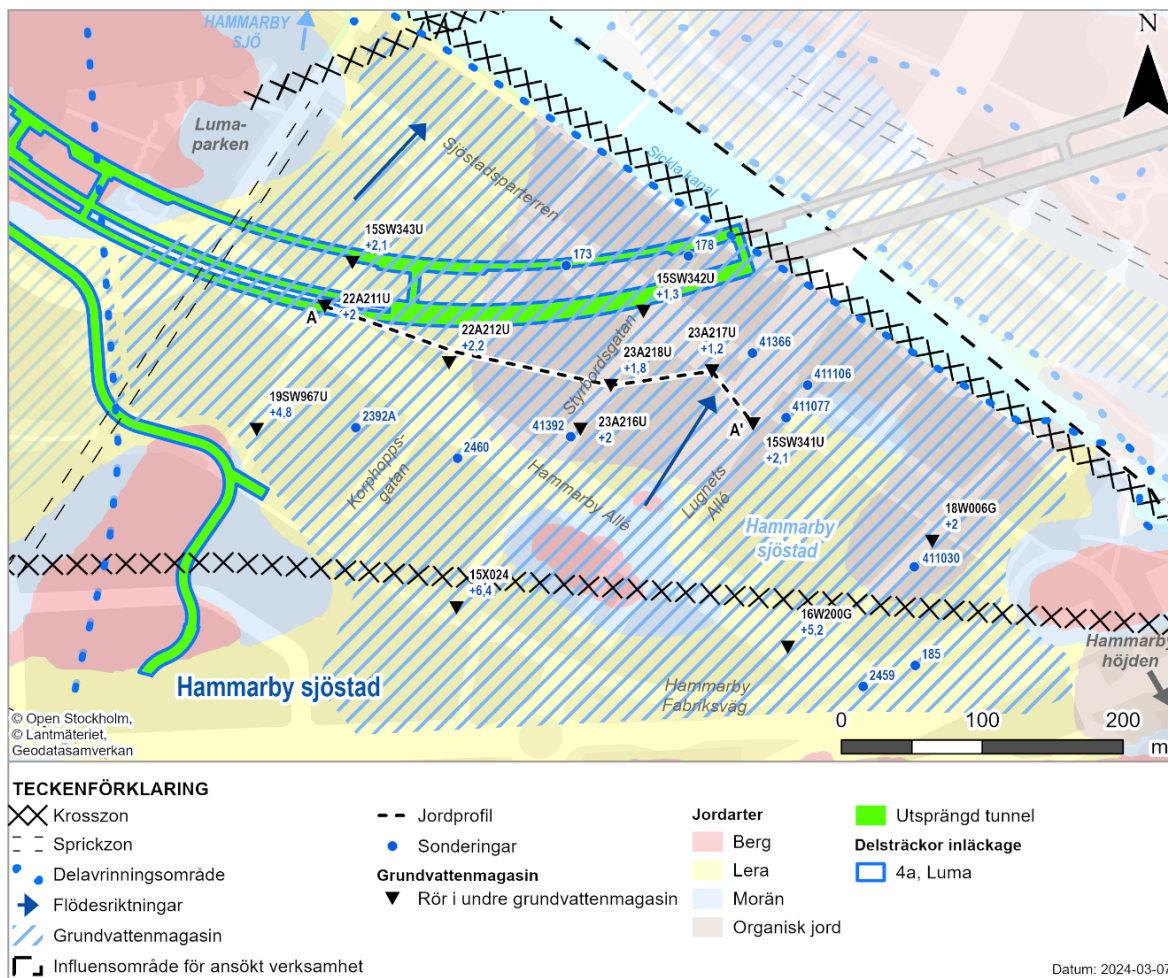
I magasinets södra del, söder om Hammarby allé, varierar jorddjupet mellan 5 och 12 meter där de mäktigaste jorddjupen återfinns vid södra Maltgatan (19SW967U), se Figur 54. Lerjordens mäktighet varierar i detta område mellan 1 och 5 meter. I ett område i närheten av korsningen mellan Korphoppsgatan och Hammarby allé förekommer dock jorddjup på knappt 2 meter och lera saknas (2392A och 2460), se Figur 54. I magasinets sydöstra del, korsningen mellan Hammarby allé och Hammarby fabriksväg, finns stora lermäktigheter på drygt 10 meter och jorddjupet varierar mellan 12 och 14 meter (185 och 2459), se Figur 54. Närmare kanalen minskar jorddjupet och varierar mellan 2 och 4 meter.

Vid korsningen Lugnets allé och Hammarby allé, är berget ytligt och lerjord saknas i området. Området med ytligt berg sträcker sig vidare västerut fram till korsningen med Styrbordsgatan. Norrut, längs Lugnets allé, varierar jorddjupet mellan 4 och 8 meter med en lermäktighet på mellan 0,5 och 5 meter. Sydöst om korsningen mellan Lugnets allé och Sjöstadsparterren har de mäktigaste jord- och lermäktigheterna påträffats (411077), se Figur 54. I och precis norr om samma korsning finns återigen ett område med ytligt berg med jorddjup på 0,8–2,5 m där jordprofilen i stort sett består av fyllning på berg (41366, 411106).

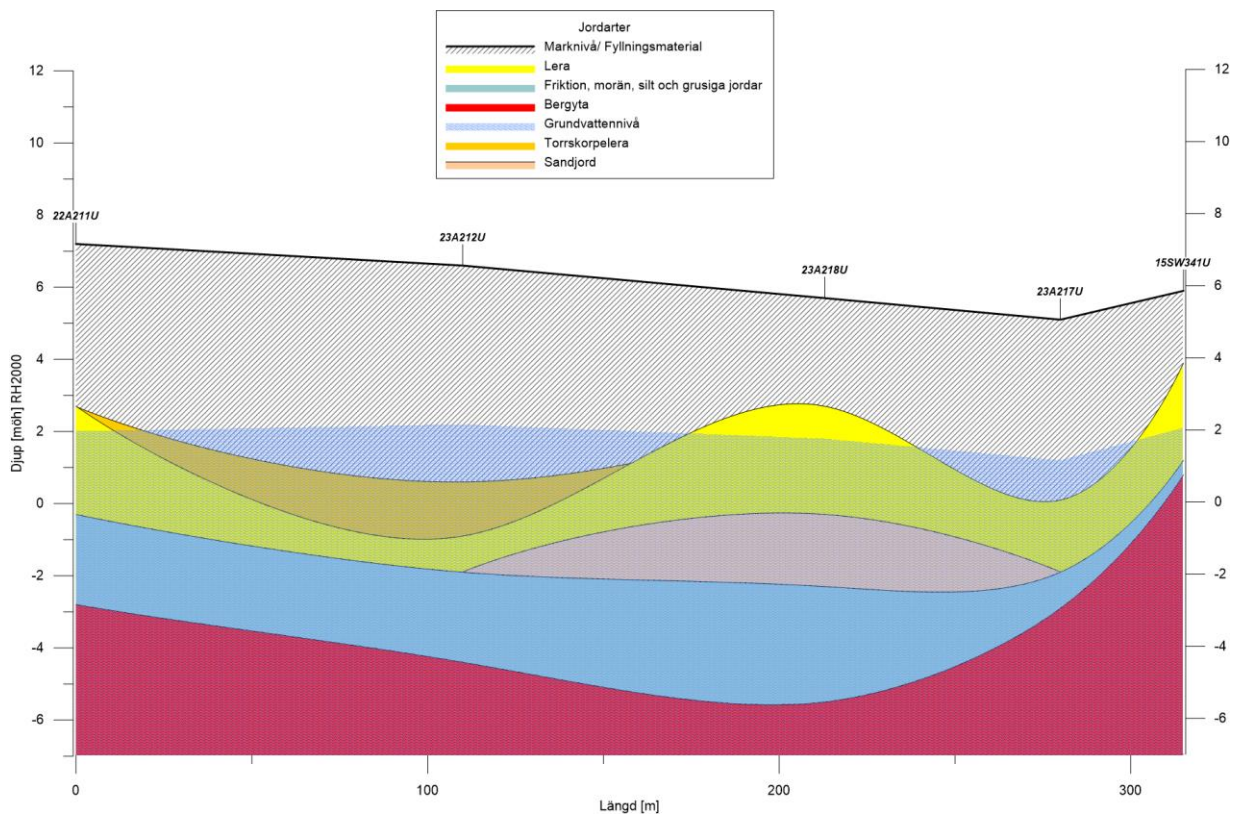
I området norr om Hammarby allé längs tvärgatorna Styrbordsgatan, Korphopsgatan och Babordsgatan varierar jorddjupet mellan 8 och 17 meter och lerjordens mäktighet varierar mellan 2 och 9 meter, mäktigast vid korsningen Babordsgatan och Sjöstadsparterren (173), se Figur 54. Jorddjupet ökar generellt i riktning mot Sickla kanal.

Grundvattennivåns gradient är riktad åt nordväst mot Sickla kanal där grundvattennivån i magasinet varierar mellan nivå ca +6,4 i de södra delarna (15X024) och faller norrut till nivå ca +2 i korsningen Hammarby allé och Babordsgatan (22A211U) och +5,2 i korsningen mellan Hammarby allé och Midskeppsgatan (16W200G). Ungefär 100 meter från kanalen ligger grundvattennivån på +1,3 (15SW342U), se Figur 54.

Generellt ligger grundvattennivån 3–5 meter under markytan och ovanför lerjordens underkant. I området där Sjöstadsparterren korsar Styrbordsgatan och Lugnets allé förekommer dock lerlager som ligger helt ovanför grundvattenytan. Inom grundvattenmagasinet har lerans egenskaper kopplat till sättningsbenägenhet analyserats i flertalet punkter. Sättningsbenägenheten bedöms som låg i stora delar av magasinet. Beräkningar visar att området norr om Lugnets allé har en låg sättningsbenägenhet och beräknade sättningar varierar mellan 1 och 2 centimeter efter 50 år och inga sättningar efter 2 år för en grundvattennivåavsänkning på 1 meter. För en grundvattennivåavsänkning på 3 meter är motsvarande siffror upp till 5 centimeter efter 2 år och 11 centimeter efter 50 år (för den punkt som är mest sättningskänslig se punkt 41173 i Figur 54). Resultatet visar på en måttlig sättningsbenägenhet i området söder och sydöst om Lugnets allé (411030 och 15X024), se Figur 54. Beräknad sättning för detta område blir ca 3 cm efter 50 år och inga 1–2 centimeter efter 2 år för en grundvattennivåavsänkning på 1 meter. För en grundvattennivåavsänkning på 3 meter är motsvarande siffror mellan 7 och 9 centimeter efter 2 år samt mellan 13 och 17 centimeter efter 50 år. Risken för pågående sättningar är låg i nordvästra delen men hög i den sydöstra delen av magasinet.



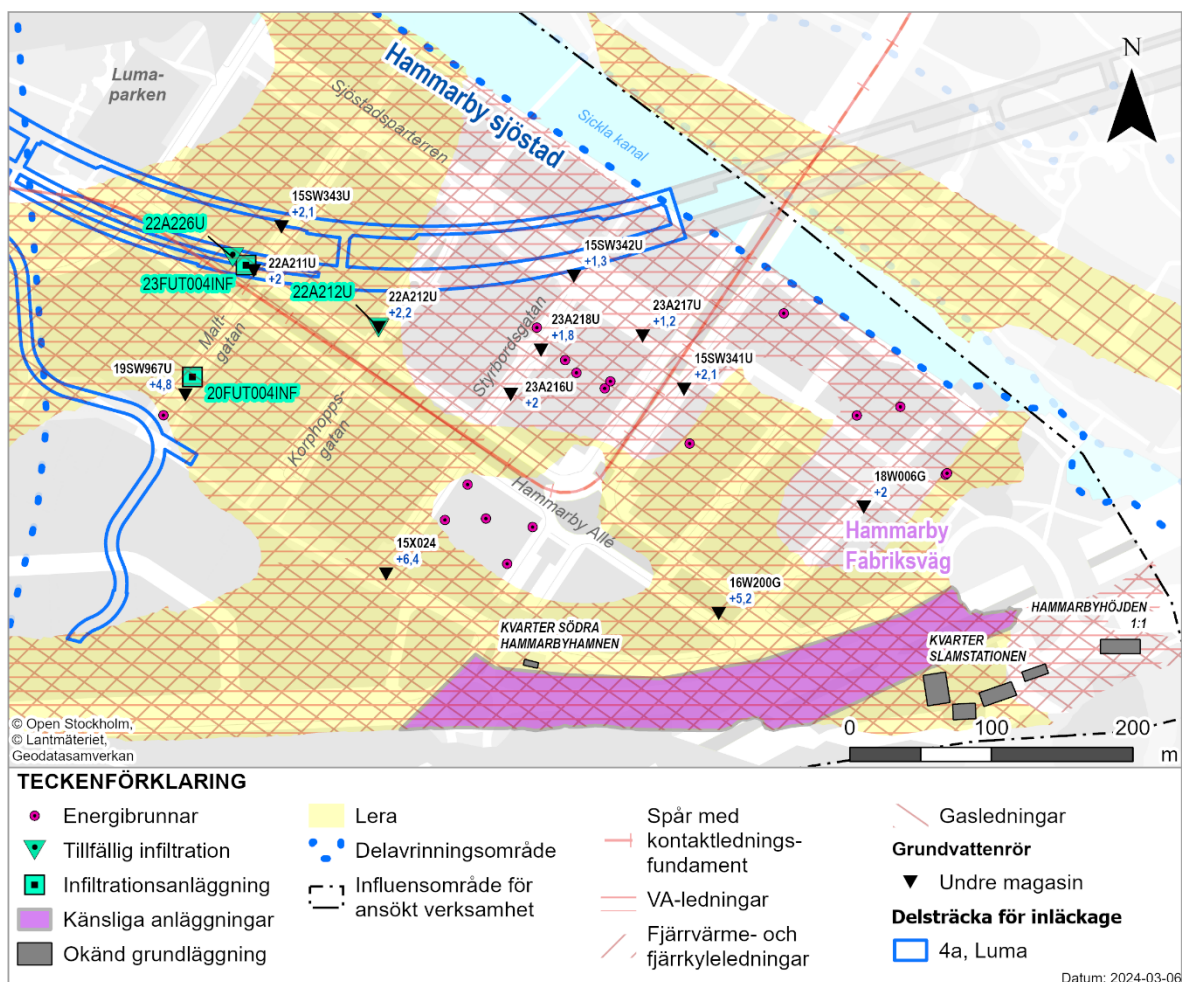
Figur 54. Hydrogeologisk karta över delavrinningsområde Hammarby Sjöstad som redovisar jordarter, krosszon/sprickzon, undre grundvattenmagasin, grundvattentrör och grundvattennivå samt grundvattnets strömningsriktning. Aktuell utsprängd tunnel för delsträcka 4a Luma (fram till och med januari 2024) redovisas även.



Figur 55. Jordlagerprofil inom grundvattenmagasin Hammarby Sjöstad. Profilen sträcker sig från A-A', se Figur 54 för profilens läge i plan.

4.5.3.2 Känsliga objekt

I den östra utkanten av området finns känsliga objekt i form av byggnader med okänd grundläggning inom kvarteren Slamstationen, Södra Hammarbyhamnen 2:7 och Hammarbyhöjden 1:1 samt en känslig anläggning och energibrunnar. Det finns även markförlagda ledningar belägna inom lerjord, se Figur 56.

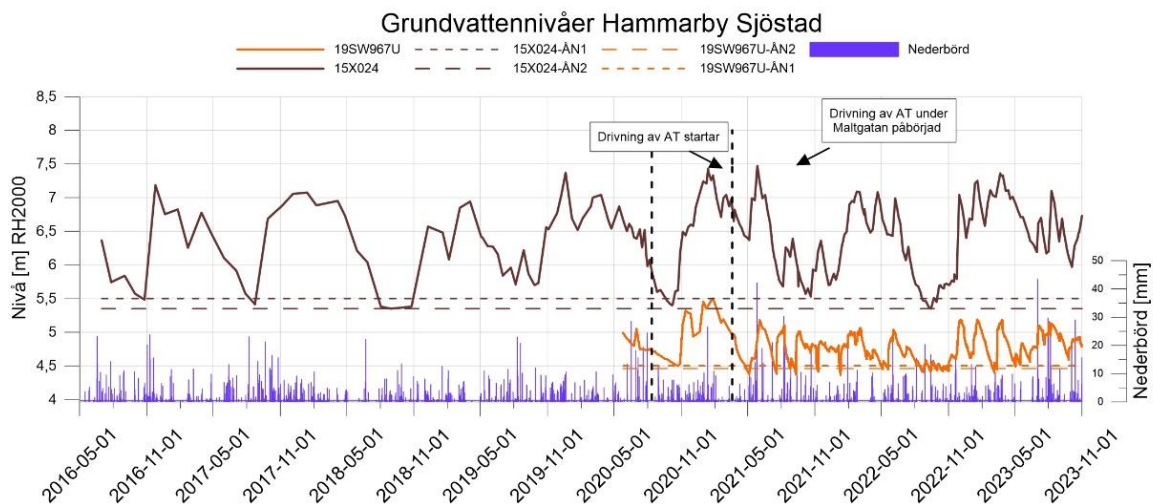


Figur 56. Känsliga objekt inom delavrinningsområde Hammarby Sjöstad. I den östra utkanten av området finns känsliga objekt i form av byggnader med okänd samt en känslig anläggning. Det finns även markförlagda ledningar belägna inom lerjord.

4.5.3.3 Grundvattenpåverkan och skyddsinfiltation

I grundvattenmagasin Hammarby sjöstad finns möjlighet till skyddsinfiltation till undre grundvattenmagasin i tre punkter, se Figur 56. Grundvattenpåverkan i jord och berg orsakad av Regionen har observerats i området runt Maltgatan och norr om Hammarby allé. Runt Maltgatan upprätthålls grundvattennivåerna via infiltration. Norr om Hammarby allé upprätthålls nivåerna delvis via infiltration. I detta område pågår utredningar om områdets känslighet och eventuellt behov av fler infiltrationsanläggningar. Delsträckan 4a Luma är nästan helt utdriven (ungefär till 90 %) och inom området återstår ett ventilationsschakt vid Maltgatan.

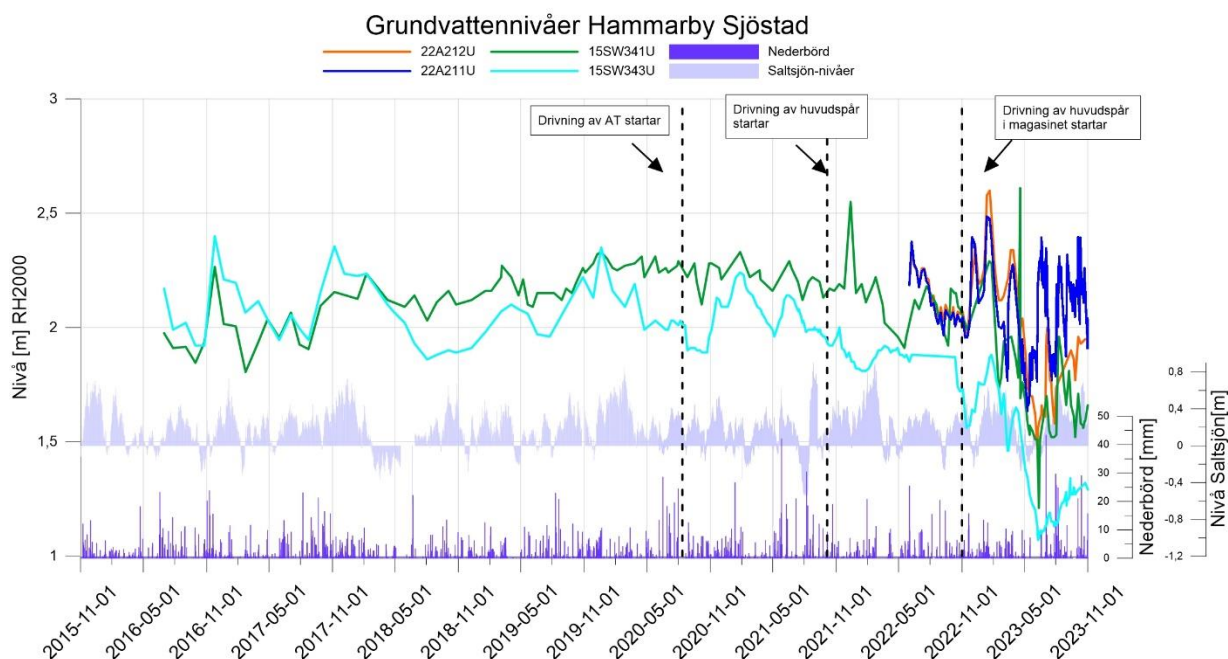
I området runt Maltgatan visar mätserien för grundvattenrör 19SW967U något avtagande nivåer under sommaren 2021, se Figur 57. Arbetstunneln vid Hammarby kanal drevs ut precis ovanför området under samma period. Infiltrationsanläggningen 20FUT004INF byggdes under september 2020 och har drifttestats under november 2020. Anläggningen är kopplad till åtgärdsnivåröret 19SW967U och har en maximal kapacitet på ca 60 l/min. Respons i form av förhöjda grundvattennivåer kan ses i grundvattenröret 19SW967U, se Figur 56. Infiltration via anläggningen har pågått sedan juli 2021 då ÅN2 underskreds i åtgärdsnivåröret 19SW967U och upprätthåller grundvattennivåerna i området. Infiltrationsflödet har varierat mellan 2–5 l/min. Ingen grundvattenpåverkan längre österut i närheten av rör 15X024 har observerats.



Figur 57. Grundvattennivåer inom grundvattenmagasin Hammarby Sjöstad. Dygnsnederbörd samt tidpunkt för när drivning av arbetstunnel i området startade redovisas även i grafen.

Grundvattenpåverkan i jord har observerats i området norr om Hammarby allé. Mätserier för grundvattenrör längs Babordsgatan 15SW343U, Korphoppsgatan 22A212U och Lugnets allé 15SW341U, se Figur 58, uppvisar avtagande nivåer under våren 2023. Spår- och servicetunnlar drevs ut ovanför området under samma period. Påverkan uppgår till som mest ca 0,8 meter i 15SW343U och 0,5 meter i 15SW341U. Ingen påverkan har observerats i 15SW342U som på ett tydligare sätt än övriga rör samvarierar med Saltsjöns nivåer. Grundvattenpåverkan i berg har observerats i ett antal energibrunnar mellan Styrbordsgatan och Lugnets allé. Påverkan uppgår till som mest 4 meter i en av brunnarna. I resterande brunnar uppgår nivåminskningen till ca 2 meter.

Som en skyddsåtgärd mot uppkommen grundvattenpåverkan i jord har infiltration till undre magasin via grundvattenrör 22A226U utförts sedan maj 2023. Infiltrationen har orsakat en lokal effekt och sedan juni 2023 har nivån i 15SW343U börjat stiga. Infiltrationsanläggningen 23FUT004INF (Babordsgatan) byggdes under december 2023 och har drifttestats under januari 2024. Anläggningen har anslutits till samma rör, 22A226U, som infiltration har utförts via sedan maj 2023. Anläggningen har en maximal kapacitet på ca 80 l/min. Under hösten 2023 har även infiltration på Korphoppsgatan utförts. Under januari 2024 har tre nya grundvattenrör installerats på Styrbordsgatan och vid Sjöstadsparterren. Under våren 2024 kommer infiltrationsstester att utföras i området för att utreda om en till infiltrationsanläggning ska byggas i området.



Figur 58. Grundvattennivåer inom grundvattenmagasin Hammarby Sjöstad. Dygnsnederbörd, ytvattennivå i Saltsjön samt tidpunkt för när drivning av arbetstunnel och huvudtunnlar inom magasinet startade redovisas även i grafen.

5 Bedömning av inläckage- och grundvattenpåverkan

5.1 Bakgrund till ansökan och nollalternativet

Trots omfattande tätningsinsatser har inläckaget till delsträckorna 2a Sofia och 4a Luma, som i princip är helt färdigutdrivna, inte kunnat begränsas till de nivåer som följer av drifttidens villkor. För delsträckorna 2b och 2c Katarina Bangata kvarstår en relativt stor del av tunneldrivningen, och det är osäkert om inläckagevillkoret för drifttiden kommer att kunna innehållas när delsträckorna är färdigställda. Såvitt avser delsträckan Saltsjön har tunneldrivningen inte kommit tillräckligt långt för att kunna bedöma om inläckagevillkoret kommer att kunna innehållas. Hittills genomförd tunneldrivning av delsträckan visar emellertid att uppmätt inläckage ligger i nivå med eller strax över prognosen för drifttidens villkor. Detta trots omfattande injekteringsinsatser, vilka har varit tidskrävande och kostsamma. Delsträckans lokalisering under Saltsjön innebär samtidigt att inläckaget till delsträckan (även om det blir större än den nivå som följer av villkoret) inte kan medföra någon hydrogeologisk påverkan.

Mot bakgrund av detta ansöker Regionen om tillstånd till utökad grundvattenbortledning längs delsträckorna Saltsjön, 2a Sofia, 2b och 2c Katarina Bangata och 4a Luma, genom att ytterligare grundvatten, jämfört med befintligt tillstånd, får läcka in till delsträckorna under drifttiden. För delsträckorna 2b och 2c Katarina Bangata gäller enligt inläckagevillkoret för drifttiden två olika värden för högsta tillåtna inläckage. Eftersom delsträckorna påverkar samma grundvattenmagasin ansöker Regionen om ett sammanslaget villkor.

I Tabell 2. Villkor för inläckage under drifttid för delsträckorna samt utökad grundvattenbortledning enligt sökt verksamhet. Tabell 2 nedan redovisas tillåtet inläckage under drifttiden enligt befintligt tillstånd tillsammans med tillåtet inläckage enligt sökt verksamhet,

vilket motsvarar bedömt inläckage för fullt utsprängd tunnel. Bakgrund till bedömt inläckage för fullt utsprängd tunnel redovisas vidare i avsnitt 5.2.2.

Tabell 2. Villkor för inläckage under drifttid för delsträckorna samt utökad grundvattenbortledning enligt sökt verksamhet.

Delsträcka	Tillåtet inläckage, befintligt tillstånd (drifttid)	Tillåtet inläckage, sökt verksamhet (drifttid)
Saltsjön	100 l/min	200 l/min
2a Sofia	80 l/min	150 l/min
2b och 2c Katarina Bangata mot söderort respektive Nacka	65 l/min (35 l/min respektive 30 l/min)	110 l/min
4a Luma	125 l/min	245 l/min

I enlighet med 6 kap. 35 § miljöbalken krävs det att en MKB till en tillståndsansökan innehåller inte bara en konsekvensbedömning av den ansökta verksamheten utan även av ett så kallat nollalternativ. Nollalternativet innebär information om de rådande miljöförhållandena före verksamhetens påbörjan och hur dessa förhållanden förväntas utvecklas om verksamheten inte genomförs. Nollalternativet motsvarar i detta fall att gällande inläckagevillkor för drifttiden skulle vara oförändrat.

För att Regionen, åtminstone teoretiskt, ska ha möjlighet att innehålla inläckagevillkoret för drifttiden för delsträckorna 2a Sofia och 4a Luma krävs ytterligare åtgärder (utöver för- och efterinjektering). Sådana ytterligare åtgärder kan även tänkas krävas för att Regionen ska kunna innehålla inläckagevillkoret för drifttiden för delsträckorna 2b och 2c Katarina Bangata. Den enda metod som Regionen har identifierat som möjligen skulle kunna begränsa inläckaget ytterligare är att täta tunnarna med en eftermonterad membranförsedd betonginklädnad.

Tätningmetoden innebär att det byggs en vattentät, platsgjuten betongtunnel inne i befintliga bergtunnlar. Eftersom den fria tunnelarean behöver vara densamma som i övrig bergtunnel, behöver bergtunnlarnas tvärsnitt utökas för att kunna rymma betongkonstruktionen. Det utökade tunneltvärsnittet innebär att mer berg måste sprängas bort och stora delar av redan injekterat berg behöver sprängas bort, vilket i byggskedet skulle leda till högre inläckage. Utförandet och genomförbarheten av metoden beskrivs vidare i *Bilaga B2. PM Platsgjuten betonginklädnad med plastmembran* och metodens bedömda effekt såvitt avser begränsning av inläckaget redovisas närmare i *Bilaga B3. PM Inläckageberäkningar*.

I Figur 59 redovisas de delar av tunnelanläggningen inom de olika delsträckorna som skulle behöva tätas med betonginklädnad för att, åtminstone teoretiskt, nå gällande inläckagevillkor för drifttiden. Även om det är teoretiskt möjligt är det osäkert om inläckagevillkoren kan nås.

För delsträckan Saltsjön bedöms det vara mycket svårt att genomföra en betonginklädnad. Nollalternativet för denna delsträcka, dvs. att innehålla gällande inläckagevillkor, kommer att kräva mycket omfattande efterinjektering med såväl cementbaserade som kemiska tätningemedel. Det är i nuläget oklart om villkoret kan innehållas trots dessa åtgärder.



Figur 59. Delar av delsträckorna 2a Sofia, 2b och 2c Katarina Bangata och 4a Luma som skulle behöva kläs in med en betonginklädnad för att teoretiskt innehålla inläckagevillkoret för drifttiden för respektive delsträcka. Rödmarkerat i kartan illustrerar de tunneldelar där betonginklädnad skulle behöva utföras.

I detta avsnitt redovisas en konsekvensbedömning för den ansökta verksamheten, avsnitt 5.2 och nollalternativet, avsnitt 5.3 med avseende på inläckage och grundvattenpåverkan till berg och jord. Behov av skyddsinfiltration redovisas även. Nollalternativet är, såvitt avser delsträckorna 2a Sofia, 2b och 2c Katarina Bangata och 4a Luma, uppdelat i ett byggskede, som avser den tid det tar att anlägga betonginklädnaden, och ett driftskede som avser tiden efter att betonginklädnaden är färdigställd. Den ansökta verksamheten avser enbart driftskedet, dvs. tiden efter byggtidens utgång då anläggningen är så pass färdigbyggd att ingen större förändring av vattenverksamheten längre kan ske. Byggtiden för den ansökta verksamheten motsvarar situationen som den är i dagsläget.

5.2 Bedömning ansökt verksamhet

5.2.1 Inledning

I detta avsnitt redovisas, för den ansökta verksamheten, en bedömning av inläckage, avsnitt 5.2.2, och en bedömning av grundvattenpåverkan i jord och berg, avsnitt 5.2.3. En bedömning av behov av skyddsinfiltration under driftskedet redovisas också.

5.2.2 Bedömning inläckage

Samtliga tunneldelar är ännu inte utbrutna längs med aktuella delsträckor. Det finns alltid osäkerheter i hur mycket grundvatten som kommer att läcka in i en berganläggning och det går därför inte att med säkerhet säga hur stort inläckaget kommer att bli när alla anläggningsdelar är utbrutna och tätningsarbetena är färdigställda. Samtidigt får inte en bedömning göras så snävt att inläckaget sedan visar sig bli högre än vad som förväntades, då det i sådana fall finns risk för att ytterligare en omprövning behöver utföras. Bedömningen av inläckage nedan har utförts utifrån erfarenheter från hittills utdrivna tunnlar, framtagna inläckageprognos, samt beräkningar och bedömningar som utfördes i samband med ursprunglig tillståndsprövning. Utgångspunkten är alltså att utgå från ursprunglig ansökan, men att erfarenheter i form av bergets kvalitet, hydrogeologiska förhållanden och tätningseffektivitet vägs in för att bedöma slutliga inläckage. Nedan redovisas en bedömning av slutligt inläckage för ansökt verksamhet under drifttiden per delsträcka.

5.2.2.1 Delsträcka Saltsjön

För delsträcka Saltsjön ligger uppmätt inläckage i januari 2024 på 13 l/min, vilket är över prognos för gällande villkor för drifttiden. Då den övervägande delen av tunneldrivningen kvarstår inom delsträckan är det svårt att avgöra om nuvarande villkor kommer att kunna innehållas. Tunneldrivningen har hittills visat att berget är av dålig kvalitet och trots omfattande tätningsarbeten ligger inläckaget över prognosen. Vad det slutliga inläckaget kommer att bli är osäkert. Med ledning av hittills utdrivna tunnlar inom projektet kan slutsatsen dras att vid passage av en svaghetszon kan inläckaget utan vidare öka 20–50 l/min per tunnelrör trots omfattande tätningsinsatser. Om berget fortsätter vara lika uppsprucket som hittills utdrivna delar och vid passage av flera svaghetszoner under Saltsjön kan det totala inläckaget uppgå till åtminstone 200–250 l/min när tunneldrivningen är avslutad, trots att en omsorgsfull förinjektering utförs. Det ska dock poängteras att eftersom delsträckan löper under Saltsjön kan inga negativa miljökonsekvenser uppstå. För att undvika kostnads- och tidskrävande efterinjekteringar bedömer Regionen att inläckagevillkoret för drifttiden behöver ändras till 200 l/min.

5.2.2.2 Delsträcka 2a Sofia

För delsträcka 2a Sofia ligger uppmätt inläckage i januari 2024 på 124 l/min, vilket är över nuvarande villkor för drifttiden på 80 l/min. Delsträckan är i princip helt färdigutdriven, där återstående tunneldel utgörs av hisschakt för stationsuppgång Sofia vid Stigbergsparken samt en mellanvägg. Hisschaktet är ca 80 m djupt och hittills har ett mindre raiseborrhål borrats mellan markytan och tunnlar. Erfarenheter har inhämtats om bergets kvalitet och nu pågår upprymning av schakten. Utifrån erfarenheterna bedöms det tillkommande inläckaget uppgå till mellan 20 och 30 l/min. Det totala bedömda inläckaget för drifttiden blir därför 150 l/min.

5.2.2.3 Delsträckorna 2b och 2c Katarina Bangata

För delsträckorna 2b och 2c Katarina Bangata ligger uppmätt inläckage i januari 2024 på ca 44 l/min då delsträckan är utbruten till ca 65 %, vilket är i linje med prognos för drifttidens villkor på 65 l/min. Det gällande villkoret är uppdelat på delsträcka 2b: 35 l/min och 2c: 30 l/min. Komplicerad tunnelgeometri gör det svårt att separera inläckaget mellan delsträckorna 2b och 2c. Någon särskild prognos (eller separata villkorsvärden) för de olika delsträckorna bedöms inte heller vara nödvändigt, då de påverkar samma grundvattenmagasin.

Det föreligger stora osäkerheter rörande hur stort det totala inläckaget kommer att bli på delsträckorna, beroende på att det förekommer flera svaghetszoner i berget. Återstående tunneldelar utgörs av spår- och servicetunnlar i delsträckornas södra delar, ca 1 200 meter. Uppmätt inläckage längs delsträckorna har hittills legat på ca 2–10 l/min per 100 meter tunnel, där de högre värdena motsvarar passager av svaghetszoner. Om berget utgörs av svaghetszoner på

återstående tunneldelar kan inläckaget på dessa delar uppgå till 70 l/min. Det bedömda inläckaget för drifttiden blir då ca 110 l/min som ett gemensamt sammanlagt värde för delsträckorna 2b och 2c.

5.2.2.4 Delsträcka 4a Luma

För delsträcka 4a Luma ligger uppmätt inläckage i januari 2024 på 189 l/min då delsträckan är utbruten till ca 90 %, vilket är över nuvarande villkor för drifttiden på 125 l/min. Återstående tunneldelar utgörs av två rulltrappschakt för uppgångar till station Hammarby kanal, där det södra schaktet är utdrivet till ca 80%, två ventilationsschakt samt spår- och servicetunnel ca 340 meter. Rulltrappsschakten och ventilationsschakten är ca 40–50 m djupa.

Det föreligger stora osäkerheter i hur stort det totala inläckaget kommer att bli när samtliga tunneldelar är utdrivna och tätningar är avslutade. Det beror på ett flertal olika faktorer, bl.a. beroende på vilken tätningseffektivitet som kan uppnås i berget under Hammarby kanal som är av mycket dålig kvalitet. Dessutom kommer återstående schakt upp till markytan att gå igenom det normalt mer uppspruckna ytberget, där möjlig tätningseffektivitet inte i detalj går att förutse. Det sammanlagda tillkommande inläckaget från dessa schakt uppskattas till ca 25 l/min. Uppmätt inläckage längs de tunneldelar av delsträckan som återstår har legat på ca 8 l/min per 100 meter tunnel. Bedömt tillkommande inläckage för de tunneldelar som återstår är 30 l/min. Det bedömda inläckaget för drifttiden är 245 l/min.

5.2.3 Bedömning av grundvattenpåverkan och infiltrationsbehov

5.2.4 Inledning

I detta avsnitt redovisas, för den ansökta verksamheten, en bedömning av grundvattenpåverkan i jord och berg samt behov av skyddsinfiltration under bygg- och drifttiden. Den sökta verksamheten avser endast en förändring under drifttiden och innebär därmed inte några förändringar under byggtiden. Bedömningarna baseras på information om hittills uppkommen grundvattenpåverkan och effekt av utförd skyddsinfiltration som har redogjorts för i avsnitt 4 tillsammans med information om inom vilka områden tunneldrift kvarstår.

5.2.4.1 Delsträcka Saltsjön

För Saltsjöns del är det uppenbart att inga skador kan uppkomma till följd av ett större inläckage, då inga känsliga objekt finns kopplade till delsträckan av naturliga skäl.

5.2.4.2 Delsträcka 2a Sofia

Delsträcka 2a Sofia är i princip helt färdigutdriven förutom ett hisschakt som ansluter via Stigbergsparken vilket beräknas vara färdigställt under 2024 samt en mellanvägg. Uppmätt inläckage för delsträckan ligger i januari 2024 på 124 l/min och det bedömda inläckaget till delsträckan enligt ansökt verksamhet uppgår till 150 l/min.

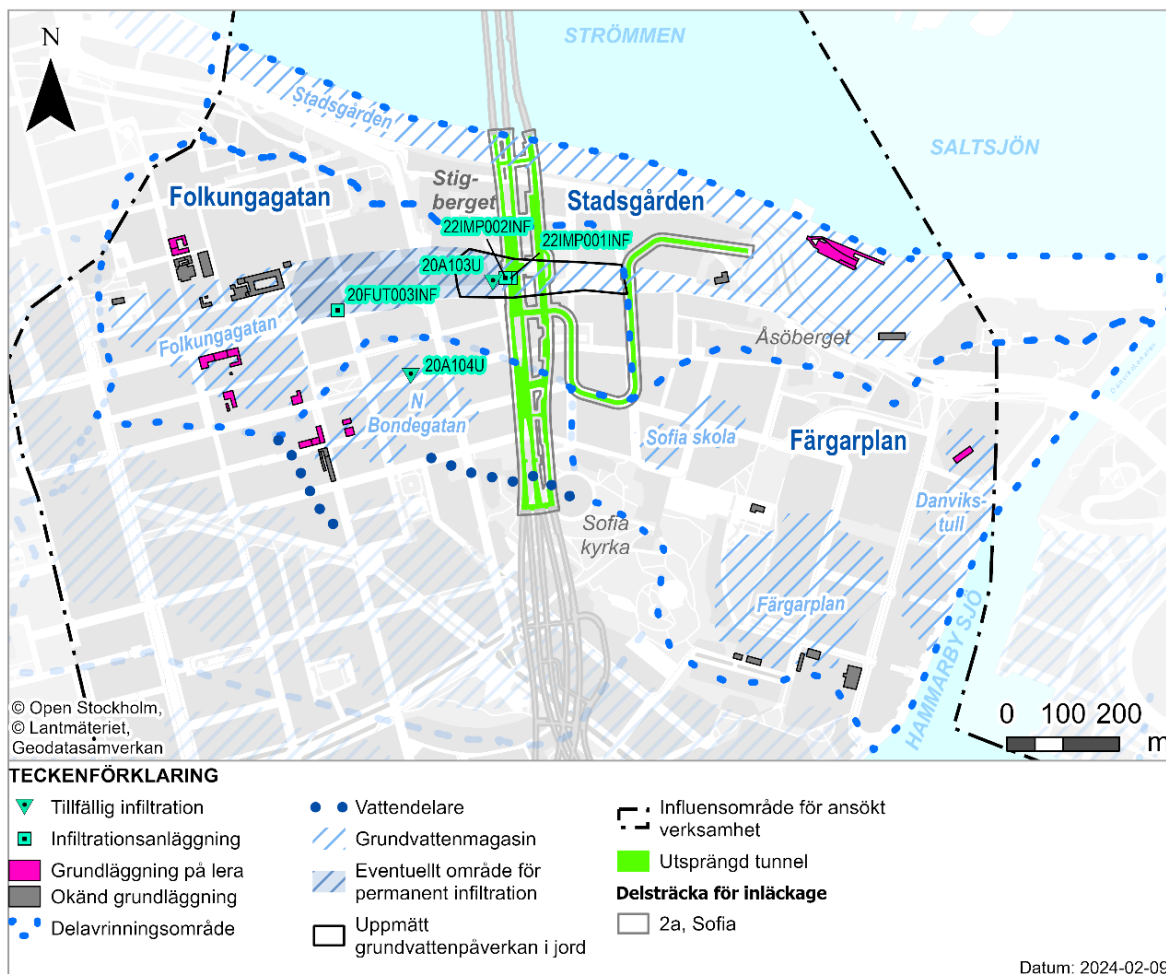
Den grundvattenpåverkan i jord, orsakad av Regionen, som hittills har observerats inom delsträckan berör ett mindre område runt östra Folkungagatan och Stigbergsparken, se Figur 60. Påverkan i berg har observerats i två energibrunnar belägna öster om arbetstunneln. Uppmätt avsänkning i brunnarna uppgår till ca 12 m. Påverkan går att koppla till utdrivningen av arbetstunneln till Station Sofia och drivning genom den svaghetszon som löper parallellt med Folkungagatan. Inom det påverkade området ligger grundvattennivån sedan en längre tid, innan Regionen påbörjade sitt arbete, under lerjordens underkant och området bedöms därmed inte som känsligt för en grundvattennivåavsänkning. Därav följer att de markförlagda ledningar inom lerjord som finns inom området inte är känsliga för en grundvattennivåavsänkning. Inga känsliga objekt i

form av byggnader med en grundvattenberoende grundläggning finns inom det påverkade området.

Eftersom delsträckan i princip är färdigutdriven bedöms grundvattenpåverkan i jord och berg för den ansökta verksamheten blir väldigt lik den hitintills observerade påverkan. Den ytterligare grundvattenpåverkan som kan tillkomma till följd av ytterligare inläckage för den ansökta verksamheten är kopplad till hisschaktet i berg vid Stigbergsparken. Det tillkommande inläckaget från schaktet bedöms innebära en mycket liten ytterligare grundvattenpåverkan. Beredskap för skyddsinfiltation finns i nära anslutning till hisschaktet för att möjliggöra upprätthållande av grundvattennivåer under byggtiden. Hisschaktet kommer att anläggas som en tät konstruktion, varför ingen grundvattenpåverkan bedöms uppstå under drifttiden. Påverkan i berg kan orsaka energibortfall i de påverkade energibrunnarna. Om problem uppstår kommer Regionen att åtgärda detta genom att bentonitfylla brunnarna för att återställa effekten. En ytterligare grundvattenpåverkan i jord och berg kan uppstå kopplat till Svenska Kraftnäts kraftledningstunnlar City Link som löper parallellt med tunnelbanan på Södermalm. För att motverka en eventuell ytterligare påverkan kan infiltrationsflöden till berörda grundvattenmagasin behöva höjas.

Inom delsträckan finns tre infiltrationsanläggningar, varav två (22IMP001INF och 22IMP002INF) är byggda i anslutning till hisschaktet i Stigbergsparken och en (20FUT003INF) väster om tunnelanläggningen längs Folkungagatan, se Figur 60. Anläggningarna i anslutning till schaktet är installerade i syfte att upprätthålla grundvattennivåer under byggtiden för hisschaktet. Schaktet kommer att utföras som en tät konstruktion och när det är färdigt kommer grundvattennivåerna att återhämta sig och anläggningarna kommer inte att behövas under drifttiden. 20FUT003INF har varit i drift sedan oktober 2021 då ÅN2 underskreds, maximalt flöde 40 l/min. Som tidigare beskrivits i avsnitt 4.3.2 har grundvattennivåerna i området haft en nedåtgående trend i två omgångar under 70–80 talet respektive 2015 fram till dagens datum. Den nedåtgående trenden kan observeras långt innan Regionen påbörjade sitt arbete i området. Grundvattennivån i hela grundvattenmagasin Folkungagatan ligger under lerjordens underkant och resultat från provtagning visar inte på någon sättningskänslig lera. Bedömningen är att inga effekter kopplade till grundvattenpåverkan i jord eller berg kommer att uppstå i området till följd av den sökta verksamheten, med ytterligare inläckage.

Trots detta utförs i dagsläget infiltration (25–40 l/min) för att uppfylla villkor i tillståndet om infiltration eftersom det återstår känsliga objekt väster om infiltrationsanläggningen 20FUT003INF. Som beskrivits i avsnitt 4.3.2 avser Regionen utföra utökade undersökningar i form av lerprovtagning för att undersöka om objekten kan avskrivas från kontrollprogrammet. Om resultatet visar att objekten inte är känsliga för en grundvattennivåavsänkning kommer ingen infiltration att behövas för den ansökta verksamheten inom delsträckan.



Figur 60. Översiktskarta över de delavrinningsområdena (Stadsgården, Folkungagatan och Färgarplan) som ligger inom delsträcka 2a Sofia. Uppmätt grundvattenpåverkan i jord redovisas i svart heldragen linje. Grundvattenmagasin, känsliga objekt samt möjlighet till skyddsinfiltation redovisas även samt aktuell utsprängd tunnel (fram till och med januari 2024).

5.2.4.3 Delsträckorna 2b och 2c Katarina Bangata

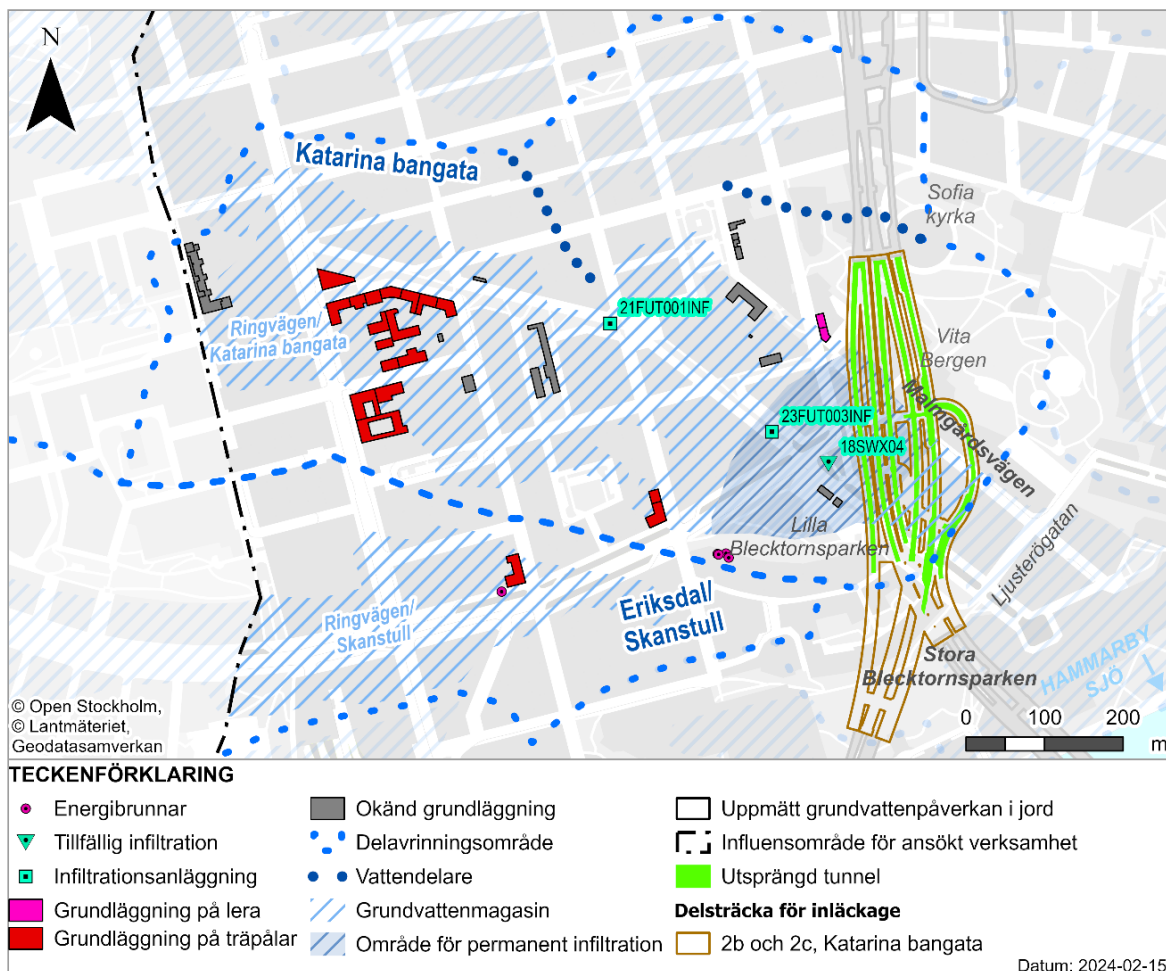
Delsträckorna 2b och 2c Katarina Bangata är i januari 2024 utdrivna till 65 %. Det som kvarstår är att driva ut spår- och servicetunnlar inom framför allt delsträcka 2c (Söderortsgrenen), men även inom delsträcka 2b (Nackagrenen) i anslutning mot delsträcka 4a Luma. Uppmätt inläckage för delsträckorna ligger i januari 2024 på 44 l/min och det bedömda inläckaget enligt sökt verksamhet (vid färdigutdrivna tunnlar) uppgår till 110 l/min.

Den grundvattenpåverkan i jord, orsakad av Regionen, som hittills har observerats inom delsträckan berör området i närheten av korsningen Katarina Bangata och Ringvägen och de norra delarna av Malmgårdsvägen. Grundvattenpåverkan i berg har observerats i två hammarborrhål och en energibrunn väster om Lilla Blecktornsparken. Påverkan är liten och går att koppla till utdrivningen av spår- och servicetunnlar. Inom det påverkade området finns känsliga objekt i form av markförlagda ledningar och en känslig byggnad med okänd grundläggning. Grundvattennivåerna i området upprätthålls i dagsläget med infiltration, där flödet varierar mellan 30 och 60 l/min. Den ytterligare grundvattenpåverkan som kan tillkomma till följd av ytterligare inläckage för den ansökta verksamheten är kopplad till utdrivningen av återstående del av delsträckorna 2b och 2c. Återstående del av delsträcka 2b passerar under ett område med ringa jorddjup och ytligt berg där det angränsande grundvattenmagasinet i söder, Vintertullstorget, samvarierar med Saltsjön. Återstående del av delsträcka 2c passerar under det höjdparti som skiljer Lilla och Stora Blecktornsparken åt samt under Stora Blecktornsparken. I Stora

Blecktornsparken är jorddjupen ringa och det finns inget undre grundvattenmagasin. Mot bakgrund av ovanstående bedöms grundvattenpåverkan i jord och berg för den ansökta verksamheten inte påverka nya områden. Påverkan kommer att beröra samma områden som idag. Det ökade inläckaget som den ansökta verksamheten innebär kommer att kunna kompenseras med ökad infiltration. En ytterligare grundvattenpåverkan i jord och berg kan uppstå kopplat till Svenska Kraftnäts kraftledningstunnel City Link som löper parallellt med tunnelbanan på Södermalm. För att motverka en eventuell ytterligare påverkan kan infiltrationsflöden till berörda grundvattenmagasin behöva höjas.

Inom delsträckan finns två infiltrationsanläggningar (21FUT001INF, Katarina Bangata Norra och 23FUT003INF, Ringvägen), se Figur 61. I området runt korsningen Ringvägen och Katarina Bangata samt Malmgårdsvägen har grundvattenpåverkan som går att koppla till Regionens arbeten observerats under våren 2023, vilket sammanfaller med tidpunkten för när tunneldrivningen passerade området. Påverkan är liten och uppgår till en grundvattenavsänkning om som mest ca 1 decimeter. Anläggningen 23FUT003INF startades i september 2023 då ÅN2 underskreds och har varit i drift sedan dess (med ett medelflöde på ca 30–60 l/min). Responsen har varit god och grundvattennivåerna kan upprätthållas. Lerjordens mäktighet är som störst i området precis norr om korsningen Katarina Bangata och Ringvägen. I samma område ligger grundvattennivån ovanför lerjordens underkant och resultat från provtagning visar att leran är sättningskänslig. De känsliga objekten i området utgörs av markförlagda ledningar och en byggnad med okänd grundläggning. I detta område bedöms infiltration behövas under driftskedet för den ansökta verksamheten, se Figur 61 ”*område för permanent infiltration*”. Med infiltration bedöms inga effekter kopplade till grundvattenpåverkan i jord uppstå till följd av den sökta verksamheten, med ett större inläckage.

Under våren 2024 kommer två nya grundvattenrör att installeras i området söder om Ringvägen för att möjliggöra ytterligare infiltrationsinsatser om behov skulle uppstå. Infiltrationsbehovet under drifttiden kommer att variera över året och bedöms bli högre än idag och variera mellan 50–80 l/min.



Figur 61. Översiktsskarta över de delavrinningsområdena (Katarina Bangata och Eriksdal Skanstull) som ligger inom delsträckorna 2b och 2c Katarina Bangata. Uppmätt grundvattenpåverkan i jord redovisas i svart heldragen linje (i detta område finns inget område utmarkerat då uppkommen grundvattenpåverkan motverkas med infiltration och nivåerna upprätthålls med infiltration). Område för permanent infiltration redovisas som skrafferat område i mörkblå färg. Grundvattenmagasin, känsliga objekt samt möjlighet till skyddsinfiltration redovisas även samt aktuell utsprängd tunnel (fram till och med januari 2024).

5.2.4.4 Delsträcka 4a Luma

En stor del av delsträcka 4a Luma har redan brutits ut. I januari 2024 kvarstår ca 10 % tunnel som utgörs av schakt för stationsuppgångarna till station Hammarby kanal på vardera sida om kanalen samt delar av spår- och servicetunnlar på Södermalm. Även två ventilationsschakt i Hammarby sjöstad (vid Hammarby kanal och Maltgatan) kvarstår. Delsträckan beräknas vara helt färdigutsprängd under 2024. Uppmätt inläckage för delsträckan ligger i januari på 198 l/min och bedömt inläckage för den sökta verksamheten uppgår till 245 l/min.

Den grundvattenpåverkan i jord, som hittills har observerats inom delsträckan berör områden i Hammarby sjöstad runt Lumabågen och Maltgatan samt området norr om Hammarby allé (Babordsgatan, Korphopsgatan och Lugnets allé), se Figur 62. Grundvattenpåverkan i berg har observerats i två energibrunnar inom avrinningsområde Mårtensdal samt fem energibrunnar i området söder om Hammarby allé. Påverkan uppgår till som mest 4 meter grundvattenavsänkning i en av brunnarna och i resterande brunnar uppgår nivåminskningen till ca 2 meter. Påverkan går att koppla till utdrivning av arbetstunneln till station Hammarby kanal samt spår- och servicetunnlar norr om Hammarby allé. Inom det påverkade området finns känsliga objekt i form av markförlagda ledningar. Inga känsliga objekt i form av byggnader med en grundvattenberoende grundläggning finns. Grundvattennivåerna i området upprätthålls i dagsläget med infiltration runt

Maltgatan och Lumabågen och delvis i området norr om Hammarby allé, där arbete avseende behov av ytterligare infiltrationsinsatser pågår.

Eftersom en stor del av delsträckan är färdigutdriven bedöms grundvattenpåverkan i jord och berg för den ansökta verksamheten blir väldigt lik den hitintills observerade påverkan. Den ytterligare grundvattenpåverkan som kan tillkomma till följd av ytterligare inläckage för den ansökta verksamheten är kopplad till schakt för station Hammarby kanal på vardera sida om Hammarby Kanal, spår- och servicetunnlar på Södermalm samt två ventilationsschakt. Schakt för stationen samt ventilationsschakt vid Hammarby kanal ligger inom grundvattenmagasinen Vintertullstorget och Hammarby kanal, som på ett tydligt sätt samvarierar med Saltsjöns nivå, se avsnitt 4.5.2. Samvariationen med Saltsjön tyder på att magasinen har en hydraulisk kontakt med Saltsjön och att en eventuell grundvattenpåverkan i dessa områden kommer att begränsas av det stora ytvattenmagasinet. Ingen påverkan bedöms därför tillkomma i dessa områden.

Ventilationsschaktet vid Maltgatan ligger inom grundvattenmagasin Hammarby sjöstad, se avsnitt 4.5.3, där jorddjupen är relativt mäktiga och lerjord förekommer. I detta område kan en ytterligare grundvattenpåverkan uppstå i samband med utdrivning av ventilationsschaktet. Beredskap för skyddsinfiltration finns i nära anslutning till schaktet för att möjliggöra upprätthållande av grundvattennivåer under byggtiden. Under drifttiden kommer ingen infiltration att behövas då ventilationsschaktet ska utföras som en tät konstruktion och när det är färdigt kommer grundvattennivåerna att återhämta sig.

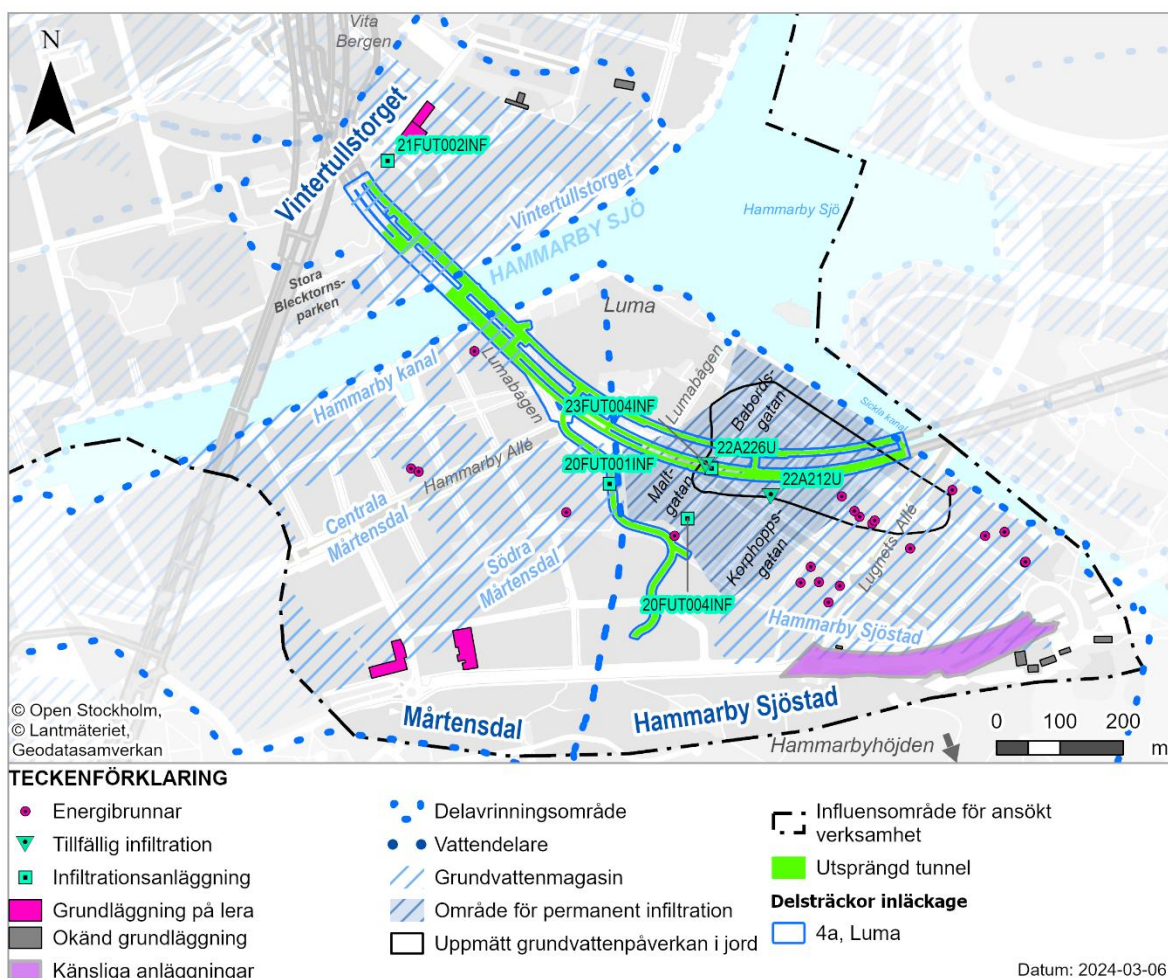
Inom delsträckan finns fyra infiltrationsanläggningar (21FUT002INF Katarina Bangata Södra, 20FUT001INF Lumabågen, 20FUT004INF Maltgatan och 23FUT004INF Babordsgatan), där 221FUT002INF ligger på Södermalm och resterande i Hammarby sjöstad. I området runt Katarina Bangata Södra och Vintertullstorget har ingen grundvattenpåverkan hittills observerats. Tunneldrivning pågår i området under januari 2024. Infiltration startades, för att motverka nivåsenkning, vid två tillfällen under oktober och december 2023 då ÅN2 underskreds. Grundvattennivåerna i området samvarierar på ett tydligt sätt med Saltsjöns nivåer, se avsnitt 4.5.1 och underskridandet av ÅN2 går inte att koppla till Regionens arbeten utan till låga nivåer i Saltsjön. Mot bakgrund av detta bedöms det inte finnas något behov av infiltration under driftskedet i området.

I området runt Lumabågen och Maltgatan har grundvattenpåverkan som går att koppla till Regionens arbeten observerats i samband med att arbetstunneln vid Hammarby kanal drevs ut under 2021. Arbetstunneln passerar precis under dessa områden och påverkan började observeras under sommaren 2021. Infiltration via 20FUT001INF och 20FUT004INF Maltgatan startades i juli 2021 då ÅN2 underskreds och har pågått sedan dess (med ett totalt medelflöde på ca 5–15 l/min totalt för båda anläggningarna). Grundvattennivåerna i området upprätthålls med hjälp av infiltrationen. I området är lerjordens mäktighet ca 3 m, varav grundvattennivån ligger ca 1 m ovanför lerjordens underkant. De känsliga objekten i området utgörs av markförlagda ledningar. I detta område bedöms infiltration behövas under driftskedet för den ansökta verksamheten, se Figur 62. Infiltrationsbehovet under drifttiden kommer att variera över året men bedöms bli liknande som idag, dvs. ca 5–15 l/min.

I området norr om Hammarby allé (Babordsgatan, Korphoppsgatan och Lugnets Allé) har en grundvattenpåverkan som går att koppla till Regionens arbeten observerats i samband med utdrivning av spår- och servicetunnlar. Infiltration har utförts i området sedan maj 2023 och under december 2023 byggdes infiltrationsanläggning 23FUT004INF på Babordsgatan, som då ersatte tillfällig infiltration i samma punkt. Infiltrationsflödet har varierat mellan 15–35 l/min. Grundvattennivåerna upprätthålls delvis via infiltration. Med dagens infiltrationsflöden kvarstår dock en avsänkning på mellan 0,5 och 0,8 meter. I området pågår utredningar över områdets känslighet och eventuellt behov av fler infiltrationsanläggningar.

Som beskrivits i avsnitt 4.5.3 är sättningsbenägenheten i det påverkade området låg och beräknade sättningar uppgår till mellan 1 och 2 centimeter efter 50 år och inga sättningar efter 2 år för en grundvattennivåavsänkning på 1 meter. Inom det område som är avsänkt mellan 0,5 och 0,8 meter förekommer det enbart gatumark och markförlagda ledningar som är känsliga för grundvattennivåavsänkning. Eventuella sättningar bedöms inte orsaka några skador. Infiltrationsbehovet under drifttiden kommer att variera över året men bedöms bli liknande eller något högre än idag, ca 20–50 l/min.

I detta område bedöms infiltration behövas under driftskedet för den ansökta verksamheten, se Figur 62 "område för permanent infiltration" nedan. Infiltrationsbehovet under drifttiden kommer att variera över året och bedöms bli ca 30–60 l/min till anläggningarna i Hammarby sjöstad.



Figur 62. Översiktskarta över de delavrinningsområden (Vintertullstorget, Mårtensdal och Hammarby Sjöstad) som ligger inom delsträcka 4a Luma. Uppmätt grundvattenpåverkan i jord redovisas i svart heldragen linje. Område för permanent infiltration redovisas som skrafferat område i mörkblå färg. Grundvattenmagasin, känsliga objekt samt möjlighet till skyddsinfiltration redovisas även samt aktuell utsprängd tunnel (fram till och med januari 2024).

5.3 Bedömning nollalternativ – tätning med betonginklädnad

5.3.1 Inledning

I detta avsnitt redovisas en bedömning av inläckage och grundvattenpåverkan i jord och berg för bygg- och drifttiden vid utförande av betonginklädnad inom delsträckorna 2a Sofia, 2b och 2c Katarina Bangata och 4a Luma. Avsnittet innehåller även en bedömning av behovet av skyddsinfiltration.

5.3.2 Bedömning inläckage

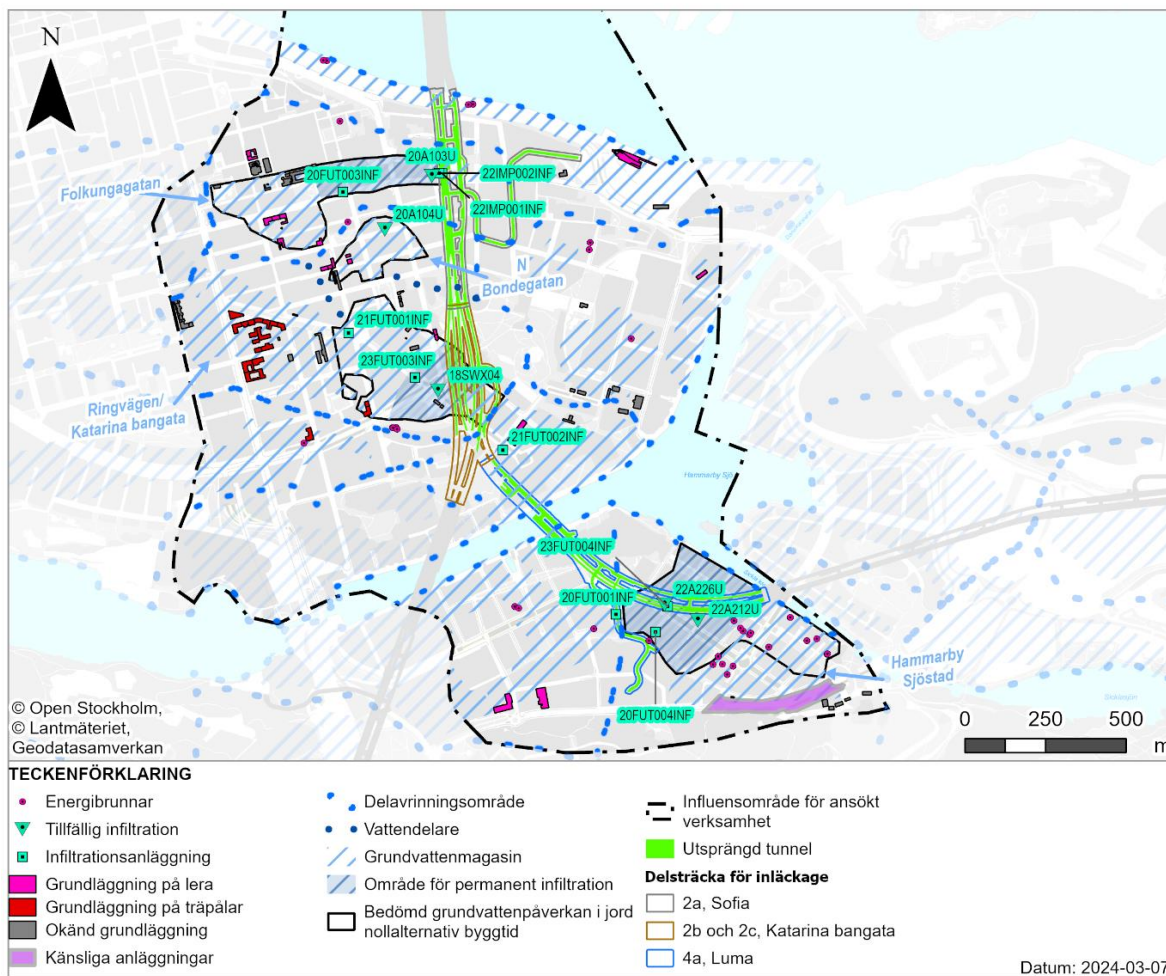
Bedömt inläckage för tätning med betonginklädnad med plastmembran baseras på information och erfarenheter från andra projekt där denna typ av tätningsmetod har använts. Som tidigare nämnts bedöms metoden behöva utföras i olika omfattning för de olika delsträckorna i syfte att inläckaget, åtminstone teoretiskt, ska underskrida villkorsnivåerna. För en närmare redogörelse för genomförbarheten av metoden hänvisas till *Bilaga B2. PM Platsgjuten betonginklädnad med plastmembran* och för en närmare redogörelse för den bedömda effekten av metoden såvitt avser begränsning av inläckaget, hänvisas till *Bilaga B3. PM Inläckageberäkningar*. I dessa bilagor redovisas även de delar av delsträckorna som hade behövt utföras med betonginklädnad.

Sammanfattningsvis visar bilagorna att det, utifrån de mest gynnsamma beräkningsantagandena, är teoretiskt möjligt att med en betonginklädnad i den omfattning som har utretts innehålla inläckagevillkoret för drifttiden för de aktuella delsträckorna. Beräkningarna är dock mycket osäkra, och tar inte hänsyn till de omfattande kostnader, förseningar och det stora klimatavtryck som är förenat med metoden.

Betonginklädnaden kommer att innebära ett högre inläckage under byggtiden då redan injekterat berg behöver sprängas (strossas) bort. Ökningen kommer att variera över tunnelsträckningen beroende på tunnelgeometri, där inläckaget kommer att öka mer inom områden med en mer komplicerad geometri eftersom utvidgningen av tunnelns tvärsnitt innebär att tunnlar till viss del hamnar utanför den injekterade zonen. För delsträcka 2a Sofia bedöms inläckaget under byggtiden öka med mellan 190 och 205 % jämfört mot dagens inläckage där den största ökningen bedöms ske vid strossning genom svaghetszonen som korsar både arbetstunneln och servicetunneln. För delsträckorna 2b och 2c Katarina Bangata bedöms inläckaget under byggtiden öka med mellan 60–115% jämfört mot uppskattat inläckage för fullt utbruten tunnel. För delsträcka 4a Luma bedöms inläckaget under byggtiden öka med mellan 75 och 100 % jämfört mot dagens inläckage. Inläckaget kommer att öka som mest i områden med dubbla enkelspårtunnlar där tunnlar behöver byggas ihop till en tunnel vilket leder till att merparten av den injekterade zonens utbredning i tak mellan tunnlar strossas bort.

5.3.3 Bedömning av grundvattenpåverkan och infiltrationsbehov

Utförandet av betonginklädnaden kommer, som redogjorts för ovan, att leda till ett ökat inläckage under byggtiden. Det ökade inläckaget bedöms ge upphov till grundvattenpåverkan inom ett större område än i nuläget. I Figur 63 nedan redovisas bedömda områden för grundvattenpåverkan i jord under betonginklädnadens byggtid för delsträckorna 2a Sofia, 2b och 2c Katarina Bangata och 4a Luma. I detta avsnitt följer en beskrivning av bedömd grundvattenpåverkan och effekt av denna, samt infiltrationsbehov per delsträcka.



Figur 63. Översiktsskarta över bedömd påverkan (svart heldragen linje) under byggtiden för betonginklädnaden för delsträckorna 2a Sofia, 2b och 2c Katarina Bangata och 4a Luma. Område för permanent infiltration redovisas som skrafferat område i mörkblå färg. Grundvattenmagasin, känsliga objekt samt möjlighet till skyddsinfiltation redovisas även samt aktuell utsprängd tunnel (fram till och med januari 2024).

5.3.3.1 Delsträcka 2a Sofia

En betonginklädnad av arbetstunneln och de norra och södra delarna av servicetunnel inom delsträcka 2a Sofia bedöms under byggtiden kunna ge upphov till en grundvattenpåverkan i jord som berör hela grundvattenmagasin Folkungagatan och även det mindre magasinet i söder, Norra Bondegatan, se Figur 63. Detta eftersom det finns en hydraulisk kontakt mellan magasinerna. Grundvattenpåverkan i jord riskerar därmed att sträcka sig till de känsliga objekt som finns i områdets västra delar. Grundvattenpåverkan i berg för byggtiden bedöms kunna innebära ökade avsänkningar i energibrunnarna öster om arbetstunneln, där en påverkan i dagsläget har observerats. För drifttiden, dvs. när betonginklädnaden är färdigställd, bedöms grundvattenpåverkan i jord och berg bli liknande som den idag uppkomna grundvattenpåverkan, vilket motsvarar en lokal påverkan i jord i området runt östra Folkungagatan och Stigbergsparken samt påverkan i några energibrunnar öster om arbetstunneln.

Som har beskrivits i avsnitt 4.3.2 är området inte sättningkänsligt och inga effekter av bedömd grundvattenpåverkan i jord för vare sig bygg- eller drifttid bedöms därför uppstå. Effekten av bedömd grundvattenpåverkan i berg för byggtiden bedöms kunna bli ett visst effektbortfall i påverkade energibrunnar, vilket kan åtgärdas genom att bentonitfylla brunnarna för att återställa effekten. Behovet av infiltration under byggskedet kan eventuellt bli aktuellt kopplat till de

känsliga objekt som finns i områdets västra delar, dit bedömd grundvattenpåverkan i jord skulle kunna sprida sig under byggtiden.

5.3.3.2 Delsträckorna 2b och 2c Katarina Bangata

En betonginklädnad av de två servicetunnlarna inom delsträckorna 2b och 2c bedöms under byggtiden kunna ge upphov till en grundvattenpåverkan i jord som berör den östra delen av grundvattenmagasin Katarina Bangata, se Figur 63. Påverkan i jord bedöms begränsas i väster av Stockholmsåsen vars magasinvolym bedöms verka buffrande och avgränsa påverkan än längre västerut. I öster bedöms påverkan i jord komma att begränsas av magasinets samvariation med Saltsjön i dessa delar. En påverkan bedöms kunna uppstå trots infiltration via befintliga infiltrationsanläggningar, då anläggningarnas kapacitet inte bedöms som tillräckligt för att kompensera för det ökade inläckaget. Grundvattenpåverkan i berg för byggtiden bedöms kunna innebära ökade avsänkningar i energibrunnarna längs Ringvägen där en mindre påverkan i dagsläget har observerats, vilket kan åtgärdas genom att bentonitfylla brunnarna för att återställa effekten. För drifttiden, dvs. när betonginklädnaden är färdigställd, bedöms grundvattenpåverkan i jord bli liknande som den idag uppkomna grundvattenpåverkan, vilket även bedöms motsvara påverkan för den ansökta verksamheten, vilket motsvarar ingen grundvattenpåverkan i jord eftersom nivåer upprätthålls med infiltration.

Som har beskrivits i avsnitt 4.4.1 är delar av magasinet sättningskänsligt. Beräknade sättningar i detta område vid en grundvattennivåavsänkning på 3 meter blir efter 2 år ca 2 centimeter. Effekten av en grundvattenpåverkan i jord under byggtiden bedöms motsvara detta. För drifttiden bedöms inga effekter uppstå eftersom ingen grundvattenpåverkan i jord bedöms komma att uppstå.

5.3.3.3 Delsträcka 4a Luma

En betonginklädnad av spårtunnlar, tvärtunnlar och servicetunnlar öster om arbetstunneln mynning inom delsträcka 4a Luma bedöms under byggtiden kunna ge upphov till en grundvattenpåverkan i jord inom grundvattenmagasin Hammarby Sjöstad, se Figur 63. Påverkans utbredning bedöms begränsas av Sickla kanal i nordöst som verkar som en positiv hydraulisk rand samt av partier med ytnära berg i korsningen Hammarby allé och Lugnets allé. Påverkan bedöms kunna uppstå trots infiltration via befintliga infiltrationsanläggningar, då anläggningarnas kapacitet inte bedöms som tillräckligt för att kompensera för det ökade inläckaget. Grundvattenpåverkan i berg för byggtiden bedöms kunna innebära ökade avsänkningar i de energibrunnar inom avrinningsområdet Mårtensdal och norr om Hammarby allé, där mindre påverkan i dagsläget har observerats, vilket kan åtgärdas genom att bentonitfylla brunnarna för att återställa effekten. För drifttiden, dvs. när betonginklädnaden är färdigställd, bedöms grundvattennivåerna inom delsträckan kunna upprätthållas med befintliga infiltrationsanläggningar.

Som har beskrivits i avsnitt 4.5.3 är delar av magasinet Hammarby sjöstad sättningskänsligt. Beräkningar visar att området söder och sydöst om Lugnets allé, dit en grundvattenpåverkan under byggtiden bedöms kunna sprida sig, har en måttlig sättningsbenägenhet. Inom det utökade området förekommer det gatumark och markförlagda ledningar som kan vara känsliga. Sättningar på 7–9 cm kan orsaka skador på gatumark och ledningar, som i så fall behöver repareras. Effekten av en grundvattenpåverkan i jord under byggtiden bedöms motsvara detta. För drifttiden bedöms inga effekter uppstå eftersom ingen grundvattenpåverkan i jord bedöms uppstå.

5.4 Sammanfattad bedömning

Sammantaget bedöms den ansökta verksamheten inte ge upphov till några negativa effekter kopplade till grundvattenpåverkan i jord och berg. För nollalternativets byggtid bedöms effekterna bli små för delsträcka 2b och 2c Katarina Bangata och måttliga för delsträcka 4a Luma och innefatta sättningar inom dessa områden. För nollalternativets drifttid bedöms inga negativa effekter uppstå.

Bedömd grundvattenpåverkan för ansökt verksamhet för delsträcka 2a Sofia, bedöms bli densamma som hittills uppkommen grundvattenpåverkan som är begränsad till ett litet område vid östra Folkungagatan och Stigbergsparken. Det påverkade område är inte sättningskänsligt då grundvattennivån sedan en längre tid ligger under lerjordens underkant. För delsträckorna 2b och 2c Katarina Bangata upprätthålls grundvattennivåerna i dagsläget med hjälp av infiltration via befintliga infiltrationsanläggningar. Bedömningen är att detta även kommer att gälla för den ansökta verksamheten. Bedömd grundvattenpåverkan för ansökt verksamhet för delsträcka 4a Luma, bedöms bli densamma som hittills uppkommen grundvattenpåverkan, som berör ett område norr om Hammarby allé, där påverkan bedöms uppgå till som mest ca 1 meter grundvattennivåsänkning. Påverkan bedöms inte ge upphov till några effekter då området har en låg sättningsbenägenheten och beräknade sättningar uppgår till mellan 1 och 2 centimeter efter 50 år. Inom det påverkade området förekommer det enbart gatumark och markförlagda ledningar som är känsliga för grundvattennivåsänkning. Eventuella sättningar bedöms inte orsaka några skador.

För den ansökta verksamheten kommer infiltration att behöva utföras inom delsträckorna 2b och 2c Katarina Bangata och 4a Luma. Infiltrationsbehovet kommer att vara ca 50–80 l/min för Katarina Bangata och 30–60 l/min för Luma, vilket svarar mot ett marginellt ökat infiltrationsbehov på ca 20 l/min för delsträcka 2b och 2c Katarina Bangata och 10 l/min för delsträcka 4a Luma.

Utförande av betonginklädnad för aktuella delsträckor kommer att innebära ett förhöjt inläckage till tunnelanläggningen under byggtiden och risk att överskrida inläckagevillkoret för byggtiden då stora delar av redan injekterat berg behöver sprängas bort. Inläckaget kommer att öka mer inom områden med en mer komplicerad geometri. Inläckaget kommer att vara förhöjt under några år och bedöms ge upphov till en grundvattenpåverkan inom delar av grundmagasinen, som i nuläget är opåverkade, inom delsträckorna 2a Sofia, 2b och 2c Katarina Bangata och 4a Luma. Den utökade grundvattenpåverkan bedöms inte ge upphov till några effekter för 2a Sofia då området inte är sättningskänsligt och eventuellt energibortfall i energibrunnar kan åtgärdas. För delsträcka 2b och 2c Katarina Bangata bedöms effekterna bli små och för delsträcka 4a Luma måttliga. Effekterna utgörs av sättningar vilket kan orsaka skada på känsliga objekt. För Delsträcka Saltsjön utgörs nollalternativet av mycket omfattande efterinjektering. Inga effekter för vare sig bygg- eller drifttid bedöms uppstå. För nollalternativets drifttid bedöms effekterna bli liknande de som för den ansökta verksamheten men infiltrationsbehovet bedöms bli lägre då inläckaget skulle vara lägre än för sökt verksamhet.

6 Definitioner och begrepp

Nedanstående ordlista, Tabell 3, syftar till att förklara vissa tekniska ord och begrepp som används i denna PM.

Tabell 3. Ordlista för att förklara tekniska begrepp

Begrepp	Förklaring
Bergklass	Bergklasser är ett mått på bergets kvalitet och sprickighet. Klass A-D där bergklass A innebär god stabilitet i bergmassan och är det mest önskvärda scenariot vid tunneldrivning.
Svaghetszon, förkastningszon	Område i bergmassan med svagare berg, vanligen även mer genomsläppligt.
Sjöpassage, vattenpassage	Bergtunnel som drivs under öppet vatten.
Byggskede	Det skede under vilket byggnation pågår då förändringar i vattenverksamheten kan ske, till exempel drivning av tunnel, borrhning för schakt, bergförstärkning, efterinjektering med mera.
Delsträckor för inläckage	Den uppdelning av tunnelanläggningen som gäller enligt befintligt tillstånd, där olika inläckagemängder tillåts läcka in till de olika delsträckorna.
Driftskede	Det skede som startar efter byggskedet då anläggningen är så pass färdigbyggd att ingen större förändring av vattenverksamheten längre kan ske. För ansökan om grundvattenbortledning innebär det att tunneldelar inom samma delområde är färdigutsprängda och erforderligt tätade.
Effekt (i en miljökonsekvensbedömning)	Effekten är den förändring av miljökvantiteter som uppstår till följd av projektets påverkan, till exempel att en energibrunn får lägre vattennivå eller att en byggnad riskerar att få sättningar. Effekter kan ofta, men inte alltid, beskrivas i kvantitativa termer.
Efterinjektering	Utförs som kompletterande tätning efter att utsprängning av berg färdigställts i specifika punkter eller tunnelavsnitt.
Förinjektering	Runt den blivande bergtunneln borrar ett antal hål så att de korsar bergets spricksystem. Sedan pressas en blandning av cement och vatten under högt tryck in i borrhålen och vidare ut i bergets sprickor. När cementen stelnat bildas en tätad zon runt den blivande bergtunneln.
Stegvisa åtgärder	Injekteringsmetodik med ändring av parametrar och parametervärden som styr injekteringsresultaten. Metodiken innebär ändring en-sak-i-taget med successiv ökad ambitionsnivå.
IK1	Injekteringsklass 1 injekteringskoncept enligt bygghandling med en injekteringsomgång.
IK2	Injekteringsklass 2 injekteringskoncept enligt bygghandling med två injekteringsomgång.
IK3	Injekteringsklass 3 injekteringskoncept med specifik anpassning till geometriska eller geologiska förhållanden.
IK4	Injekteringsklass 4 injekteringskoncept med specifik metodik för svaghetszon i vattenpassage.
Sambandshål	Ett injekteringshål som fylls med bruk via samband genom en bergsspricka från ett annat injekteringshål.

Ytläckage	Injekteringsbruk som vid injektering rinner ut i utspräng tunneldel via en bergsspricka. Vilket medför att tryckuppbyggnad inte kan uppnås med negativ inverkan på bruksspridning i berg.
Bruksspridning, inträngningslängd	Avstånd från borrhålet som injekteringsbruk sprids i bergssprickor.
Bruksåtgång	Injekterad bruksvolym.
Split-spacing	Förfarande där en (1) injekteringsomgång delas upp i två delar, A och B. Först borrar och injekteras vartannat hål (A-hål). Därefter borrar och injekteras mellanliggande hål (B-hål).
Grundvatten	Vatten som finns under markytan i den mättade zonen och som står i direkt kontakt med marken eller underliggande jordlager. I jord finns grundvattnet i porutrymmet mellan jordpartiklarna. Grundvatten i berg finns i sprickor och mellan sprickorna anses bergmassan vara tät.
Grundvattenmagasin	Ansamling av grundvatten som finns i jordlager samt sprickor i berggrunden. Begränsas av grundvattendelare.
Grundvattenbildning	Tillflöde av vatten till grundvattenzonen. Grundvatten bildas i inströmningsområden, där vatten perkolerar (strömmar nedåt) via markvattenzonen till grundvattenzonen. I utströmningsområden med grundvattennivå vid eller över markytan sker ett omvänt flöde.
Grundvattendelare	En gräns för ett grundvattenmagasin. Det kan vara en bergtröskel under mark som delar av ett grundvattenmagasin i jordlagren eller topografiskt betingad, så kallad gravitationsvattendelare, som gör att grundvattenströmningen riktas åt olika håll.
Grundvattennivå	Grundvattennivå avser grundvattenytans läge i mark där jämvikt med atmosfärstryck råder och tryckpotentialen är noll. Trycknivån kan avläsas i borrhål, grävda gropar eller likande.
Hydraulisk konduktivitet	Ett mått på jordlagrets (berggrundens) förmåga att släppa igenom vatten. Ett grundvattenflöde genom ett visst tvärsnitt beror på konduktiviteten och strömningsgradienten (nivå och/eller tryckskillnad) mellan två punkter.
Konsolidering	En volymminskning (komprimering) av (ler-)jord på grund av belastning eller minskning av portrycket. När en lerjord belastas pressas vatten ut ur jorden (porvolymen minskar). Om trycknivån sänks i under- eller överliggande jordlager kommer lerjordens portryck att minska med en konsolidering som följd. En överkonsoliderad jord har tidigare varit utsatt för en större belastning eller grundvattennivåsänkning än dagens förhållanden. En underkonsoliderad lerjord är utsatt för en belastning eller grundvattennivåsänkning men har ännu inte anpassats (konsoliderats) för rådande förhållanden.
Sättning, sättningsrörelse	Markytan sjunker på grund av att underliggande jordlager pressats samman (konsoliderats).
Sättningskänslig jord	Finjordar som ler- och siltjordar som konsolideras (trycks ihop) av pålagd last (byggnader och fyllning) eller av sänkning av grundvattnets trycknivå.
Torrskorpelera	Avvattnad, konsoliderad lerjord vid markytan som ofta är uppsprucken.

Friktionsjord	Jord vars hållfasthet till övervägande del beror på friktion mellan kornen. Grus och sand är exempel på friktionsjord. Motsats till kohesionsjord, exempelvis lera, där hållfastheten i huvudsak beror av kohesionskrafter.
Injektering	Tätning av bergets naturliga sprickor och hålrum (under tryck) med olika typer injekteringsmedel.
Influensområde	Avser det område i jord som kan komma att påverkas av en grundvattennivåsänkning under bygg- och driftskedet.
Skyddsinfiltration	Skyddsinfiltration innebär att rent vatten tillsätts grundvattenmagasinen genom en så kallad infiltrationsanläggning. Detta görs i syfte att upprätthålla grundvattennivåer i jord för att motverka sättningar som kan medföra en oförutsedd skada på grundvattenberoende byggnader, anläggningar eller naturmiljöer.
Vattenförlustmätning	Detta är en metod som använder vatten och tryck i borrhål för att erhålla information om bergmassans genomsläpplighet.

7 Referenser

Gustafson, Gunnar. Hydrogeologi för bergbyggare. Forskningsrådet Formas, 2009

