

Teknisk beskrivning

Bilaga A

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

Titel: Teknisk beskrivning

Uppdragsledare: Martin Hellgren

Författare: Ingrid Sjödel & Karl Persson

Bilder & illustrationer: Eva Meyer

Diarienummer: FUT 2024-0367

Utgivningsdatum: 2024-03-28

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

1	Inledning och syfte	4
1.1	Projektet, befintligt tillstånd och den tekniska beskrivningen	4
2	Plan- och höjdsystem.....	7
3	Tunnelanläggningen	7
3.1	Delsträckor	7
3.1.1	Delsträcka Saltsjön	8
3.1.2	Delsträcka 2a Sofia	9
3.1.3	Delsträcka 2b och 2c Katarina bangata	10
3.1.4	Delsträcka 4a Luma	11
3.2	Tunnlarnas specifikationer	12
4	Byggmetod och skyddsåtgärder	13
4.1	Byggmetoden	13
4.2	Skyddsåtgärder mot grundvattenavsänkning.....	14
4.2.1	Inledning.....	14
4.2.2	Tätning (injektering)	15
4.2.3	Skyddsinfiltration	16
5	Utveckling av tätningsarbetena och återstående tätning	17
5.1	Inledning.....	17
5.2	Utveckling av injekteringsmetodiken	17
5.2.1	Förinjekteringskoncept.....	18
5.2.1.1	Injekteringsstrategi som beskrevs i ursprunglig ansökan	18
5.2.1.2	Utvecklad injekteringsstrategi i bygghandlingskedet	18
5.2.1.3	Utvecklad injekteringsstrategi under byggtiden.....	20
5.2.2	Efterinjektering	26
5.2.2.1	Strategi efterinjektering.....	27
5.2.2.2	Utförande av systematisk efterinjektering.....	27
5.2.2.3	Utförande av behovsanpassad efterinjektering	28
5.2.2.4	Analys av behov av efterinjektering.....	28
5.3	Förväntat inläckage med utvecklad tätningsmetodik.....	29
6	Skyddsinfiltration	30
6.1.1	Inledning.....	30
6.1.2	Teknisk lösning infiltrationsanläggning	32
6.1.3	Permanent infiltration	33
6.1.4	Försörjning av vatten till infiltrationsanläggningar	34
7	Ordlista	Fel! Bokmärket är inte definierat.
8	Referenser.....	Fel! Bokmärket är inte definierat.

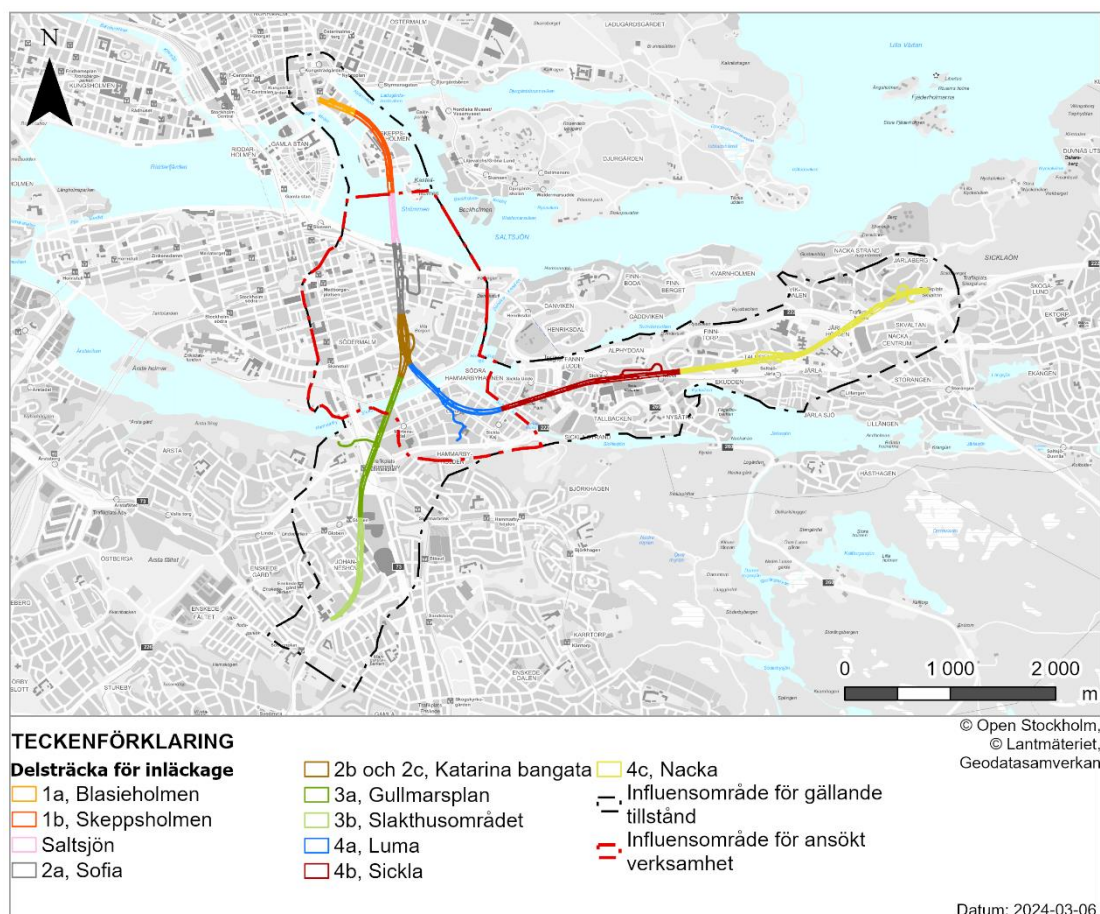
Bilaga A1. Typritningar infiltrationsanläggningar

1 Inledning och syfte

1.1 Projektet, befintligt tillstånd och den tekniska beskrivningen

Denna tekniska beskrivning är en del av Region Stockholms, Förvaltning för utbyggd tunnelbana ("Regionen"), ansökan om tillstånd till utökad grundvattenbortledning under framtida drift av den nya tunnelbanedelsträckan från Kungsträdgården till Nacka och Söderort. Ansökan avser delsträckorna Saltsjön, 2a Sofia, 2b och 2c Katarina bangata och 4a Luma, se Figur 1.1.

Totalt är tunnelbaneanläggningen uppdelad i elva delsträckor med olika ansatta inläckagevillkor som i de flesta fall skiljer sig mellan bygg- och driftskedet. Delsträckorna ingår i den blå linjen av tunnelbanan som för närvarande anläggs av Regionen, där tunnelbanan förlängs med 11,5 km från Kungsträdgården till Nacka, med en koppling till Söderort norr om befintlig station Sockenplan. Byggandet har pågått sedan år 2019 och idag har ca 85% av tunnelarna drivits ut. Planerad trafikstart för den nya tunnelbanesträckan är 2030.



Figur 1.1. Karta över tunnelbanedelsträckan från Kungsträdgården till Nacka och Söderort med delsträckor för inläckage.

Regionen har tillstånd till bortledning av grundvatten och skyddsinfiltation för anläggandet och driften av tunnelbanan från Kungsträdgården till Nacka och Söderort. Mängden grundvatten som får ledas bort från anläggningen begränsas av villkor 3.1 samt 4.1 och 4.2 som anger mängden vatten som får läcka in i bergtunnelarna under drift- respektive byggtiden. Tillståndet omfattar även villkor med krav på kontroller av grundvattennivåer och åtgärder i bygg- och driftskedet för

att motverka att grundvattennivåerna påverkas på sådant sätt att det uppkommer skada i omgivningen.

Det i tillståndet föreskrivna villkoret för hur mycket grundvatten som får läcka in i anläggningen under drifttiden är mycket strängare än det villkorsförslag som Regionen presenterade inom ramen för prövningen av tillståndet. För aktuella delsträckor skärptes villkoret kraftigt jämfört med andra tillståndsgivna tunnlar i Stockholm om man tar hänsyn till tunnelanläggningens storlek, komplexitet och förväntade miljökonsekvenser. Efter meddelandet av tillståndet har det kunnat konstateras att det längs flera av dessa sträckor finns väsentligt färre känsliga objekt än vad som var känt vid miljöprövningen, och härtill har det visats att infiltration utgör en effektiv skyddsåtgärd för att motverka sänkta grundvattennivåer.

Värdena för högsta tillåtna inläckage under byggtiden beslutades gälla som begränsningsvärden, vilket är både ovanligt strängt och svårt att innehålla vid passage av svaghetszoner. Regionen har ansökt om en villkorsändring av inläckagevillkoret för byggtiden med avsikt att värdena ska gälla som riktvärden istället för begränsningsvärden. Villkoret för byggtiden ändrades för delsträckorna 1a Blasieholmen, 1b Skeppsholmen, 2a Sofia, 3a Gullmarsplan och 3b Slakthusområdet. För övriga delsträckor; 2b och 2c Katarina bangata, 4a Luma, 4b Sickla, 4c Nacka gäller fortsatt begränsningsvärden under byggtiden. För drifttiden gäller samtliga värden för högsta tillåtna inläckage som begränsningsvärden.

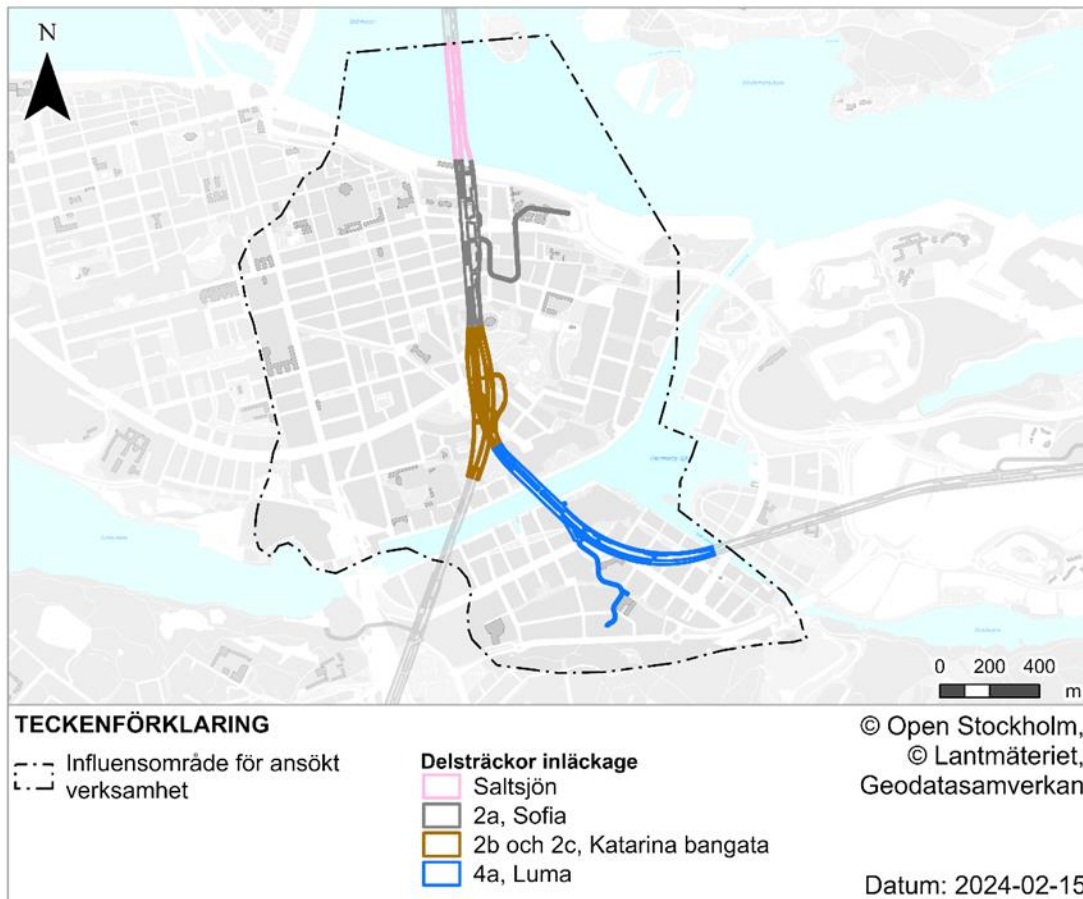
Regionen vidtar omfattande åtgärder för att begränsa inläckaget till tunnelanläggningen genom den tätningsteknik som tillämpas. Trots omfattande åtgärder för att begränsa inläckaget vidtas har Regionen gjort bedömningen att inläckagevillkoret för driftskedet inte kommer att kunna innehållas i alla delar. En större mängd grundvatten än vad som medges i inläckagevillkoret kommer att läcka in i färdig tunnel längs åtminstone två delsträckor, 2a Sofia och 4a Luma. Längs delsträckorna 2b och 2c Katarina bangata ser Regionen att det är fortfarande osäkert om villkoret för drifttiden kommer kunna innehållas. Vidare är det för Saltsjöns dels osäkert om villkoret för drifttiden kommer kunna innehållas då tunneldrivningen kommit så pass kort, dels kan det inte uppkomma några miljökonsekvenser eftersom det inte finns några objekt som kan påverkas av grundvattennivåavsänkningar i Saltsjön. Av denna anledning ansöker Regionen om att få leda bort ytterligare mängder grundvatten i driftskedet i förhållande till meddelat tillstånd, enligt Tabell 1.1 nedan.

Tabell 1.1. Tabellen redovisar villkor för inläckage under drifttid för delsträckorna Saltsjön, 2a Sofia, 2b och 2c Katarina bangata och 4a Luma samt utökad grundvattenbortledning enligt sökt verksamhet.

Delsträcka	Nuvarande inläckagevillkor (drifttid)	Inläckage sökt verksamhet (totalt, drifttid)
Saltsjön	100 l/min	200 l/min
2a Sofia	80 l/min	150 l/min
2b och 2c Katarina bangata mot söderort/Nacka	35 l/min respektive 30 l/min	110 l/min ¹
4a Luma	125 l/min	245 l/min

¹ Samlat värde för delsträckorna 2b och 2c Katarina bangata mot söderort respektive mot Nacka.

Syftet med den tekniska beskrivningen är att beskriva de tekniska detaljer som är av vikt för att förstå och behandla föreliggande ansökan om ökad grundvattenbortledning. Detta innefattar bl.a. att redogöra för det omfattande tätningsarbete och övriga skyddsåtgärder som utförs för att begränsa inläckaget till tunnelanläggningen och för att därigenom minska risken för omgivningspåverkan. Berörda delsträckor visas i Figur 1.2 och innefattar Saltsjön, 2a Sofia, 2b och 2c Katarina bangata och 4a Luma. Figuren visar även influensområdet som ansökan avgränsas till.



Figur 1.2. Influensområde för sökt verksamhet som den tekniska beskrivningen avgränsas till visas med streckad linje och innefattar delsträckorna Saltsjön, 2a Sofia, 2b och 2c Katarina bangata och 4a Luma.

Den tekniska beskrivningen är upplagd på följande sätt:

I *Kapitel 2* redovisas grundläggande uppgifter om plan- och höjdsystem.

I *Kapitel 3* redovisas en översikt över anläggningen, samt hur långt tunneldrivningen hittills har kommit.

I *Kapitel 4* redovisas byggmetoder för tunneldrivning samt ges en generell beskrivning av hur skyddsåtgärder för grundvattenpåverkan används inom projektet.

I *Kapitel 5* redovisas hur tätningsmetodik utvecklats sedan tillståndet erhållits, kvarvarande förinjektering samt utförd och planerad efterinjektering.

I *Kapitel 6* beskrivs hur skyddsinfiltration fungerar och vilka infiltrationsinsatser som krävs för att motverka skadlig grundvattenpåverkan till följd av den sökta verksamheten.

2 Plan- och höjdsystem

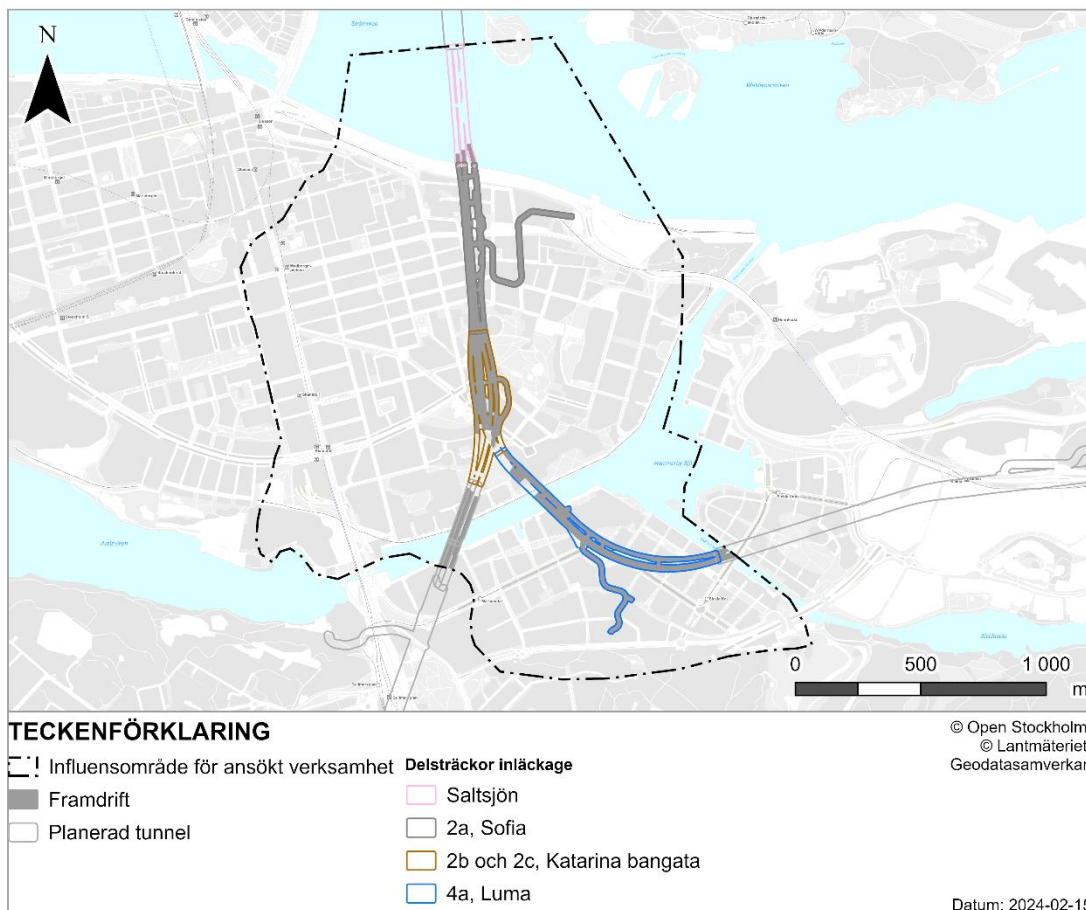
Regionen använder det geodetiska referenssystemet Sweref 99 18 00 för plankoordinater och höjdangivelser görs i RH2000.

3 Tunnelanläggningen

3.1 Delsträckor

De aktuella tunnelbanedelsträckorna för ansökan sträcker sig från Kastellholmen under vattenpassagen Saltsjön till Södermalm och inkluderar östra Södermalm, samt västra Hammarby sjöstad (norr om Hammarbyvägen och väster om Sickla kanal). Tunnelsträckningen består av enkelspårtunnlar och dubbelspårtunnlar, två stationer, servicetunnlar och två arbetstunnlar, se Figur 3.1 för karta över tunnelbanesträckan samt aktuell framdrift (till och med januari 2024).

Nedan i avsnitt 3.1.1–3.1.4 redovisas en kortfattad summering av geologi, bergkvalitet, utförd injektering och uppmätta inläckage för de aktuella delsträckorna sedan grundvattenbortledningen påbörjades. Alla tidsreferenser är baserade på siffror till och med den 31 januari 2024. För varje delsträcka har dessutom inläckageprognoser tagits fram. Prognoserna är baserade på framdriften och visar det inläckage som bedöms förekomma vid varje tunnelmeter av utdriven tunnel, för att kunna innehålla aktuellt inläckagevillkor. Uppmätt inläckage jämförs på så sätt med inläckageprognoserna. För en mer utförlig redogörelse i dessa delar hänvisas till *Bilaga B1, PM Hydrogeologi*.



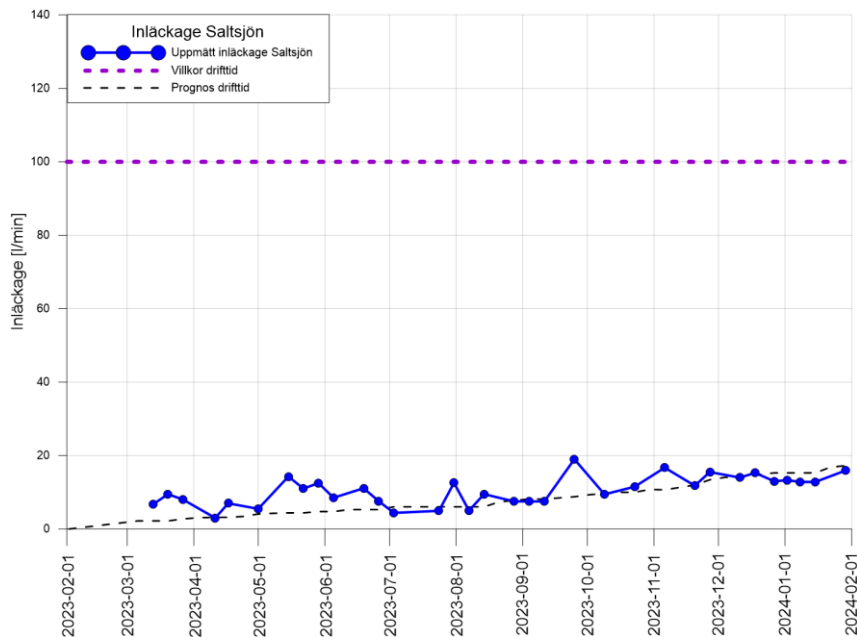
Figur 3.1. Översikt över delsträckorna Saltsjön, 2a Sofia, 2b och 2c Katarina bangata och 4a Luma samt aktuell utsprängd tunnel i grått (fram till januari 2024).

3.1.1 Delsträcka Saltsjön

Delsträckan sträcker sig från Kastellholmen till Södermalms strandkant vid Stadsgårdskajen (längdmätning 1+170 - 1+650 södergående spår). Delsträckan innefattar enkelspårtunnlar, servicetunnel och tvärtunnlar. Tunnel drivningen har ännu inte kommit så långt, ca 10% av delsträckan var färdigutdriven i slutet av januari 2024.

Berget hittills har varit av mycket dålig kvalitet på grund av en regional svaghetszon. Det har resulterat i omfattande injekteringsarbete med förstärkning och förkortade salvor. Trots den dåliga bergkvaliteten har mängden inträngande grundvatten hittills varit liten, tack vare de omfattande tätningsinsatserna. Villkoret för inläckaget är dock strängt (dvs. förhållandevis lite grundvatten tillåts att läcka in).

Totalt uppmätt inläckage som ett medelvärde för januari 2024 är ca 13 l/min. Figur 3.2 visar veckovist uppmätt inläckage jämfört med inläckageprognos och villkor för drifttiden. Det uppmätta inläckaget ligger generellt över prognosen för drifttiden (streckad svart linje), men baserat på hittills utförd tunnel drivning väl under det totala inläckagevillkoret (driftskede) för hela delsträckan (lila streckad linje). Då tunnel drivningen ännu inte kommit så långt är det svårt att bedöma hur inläckaget kommer att utveckla sig i förhållande till villkoret vid fortsatt tunnel drivning. Dock har tunnel drivningen hittills visat att berget är av dålig kvalitet och trots omfattande tätningsarbeten ligger inläckaget generellt strax över prognosen. Det är därmed osäkert om värdet för högsta tillåtna inläckage under drifttiden inte kommer att kunna innehållas.



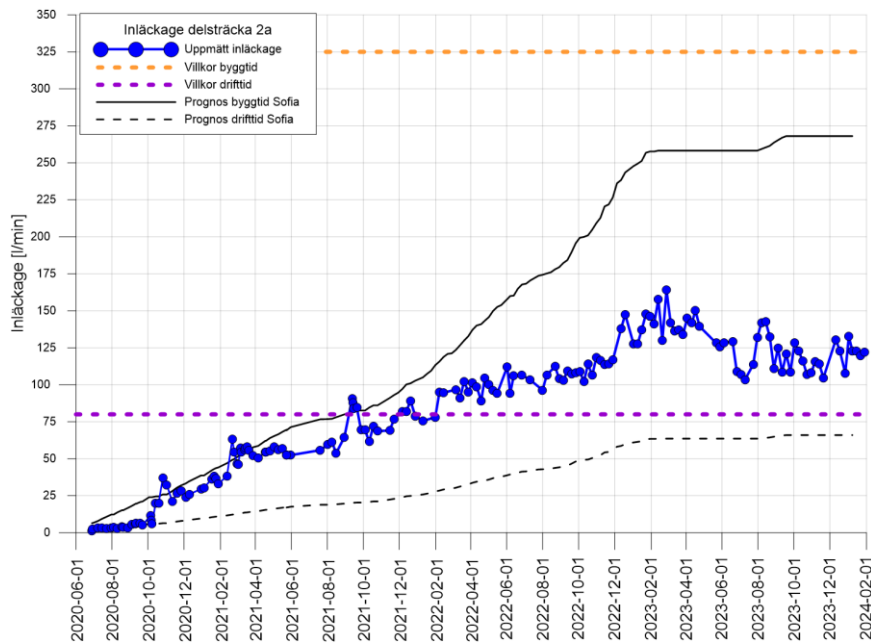
Figur 3.2. Uppmätta inläckage för delsträckan Saltsjön visas i den blå grafen. Inläckaget är baserat på veckovisa mätningar och redovisas som liter per minut. Inläckageprognos utifrån framdrift visas med svart streckad linje för drifttiden och det totala villkoret visas med streckad lila linje för drifttiden.

3.1.2 Delsträcka 2a Sofia

Delsträckan sträcker sig från Saltsjöns strandkant på norra Södermalm vid Stadsgårdskajen, söder ut till Sofia kyrka, med arbetstunneln öster om anläggningen (längdmätning 1+650 - 2+320 södergående spår). Delsträckan innefattar station Sofia, dubbelspårtunnel, enkelspårtunnlar, tvärtunnlar, servicetunnel, arbetstunnel och ett vertikalschakt för hiss, med tillhörande öppen schakt i jord för stationsentrén i Stigbergsparken. Delsträckan var under januari 2024 nästan helt färdigutdriven, förutom hisschaktet i Stigbergsparken samt en mellanvägg i kommande plattformsrumsrum som kvarstår.

Tunneldrivningen har i vissa partier bidragit till större inläckage än prognostiserat. En orsak är den svaghetszon som löper parallellt med Folkungagatan, vilken passerades vid drivningen av arbetstunneln hösten 2020. Berget i zonen var av mycket dålig kvalitet och vattengenomsläppligt. Samma svaghetszon passerades även senare med servicetunneln och stationsområdet, vilket likt tidigare bidrog till ökade inläckage. Mycket omfattande injekteringsinsatser har genomförts under tunneldrivningen genom svaghetszonen, men trots det har inläckaget varit högre än prognosen för drifttidens villkor. I arbetstunnelns kurva ner mot spårtunnlarna påträffades våren 2021 även ett bergparti av sämre kvalitet. Tunnelparallella kraftiga strukturer bidrog till att tätningsinsatserna försvårades. Berget vid de problematiska områdena har inneburit att mer fokus lagts på att både täta och förstärka. Den dåliga bergkvaliteten och tätningsproblematiken vid drivning genom svaghetszonen längsmed Folkungagatan bidrog till att Regionen utredde och senare beslutade att inte bygga den norra grenen av arbetstunneln.

Totalt uppmätt inläckage som ett medelvärde för januari 2024 är ca 124 l/min. Figur 3.3 visar veckovist uppmätt inläckage jämfört med inläckageprognos och villkor för bygg- och drifttiden. Inläckaget ligger under villkoret för byggtid (streckad orange linje), men över villkoret för drifttiden (streckad lila linje). Detta trots att omfattande för- och efterinjektering har utförts. Det bedöms därav inte möjligt att nå drifttidens villkor.



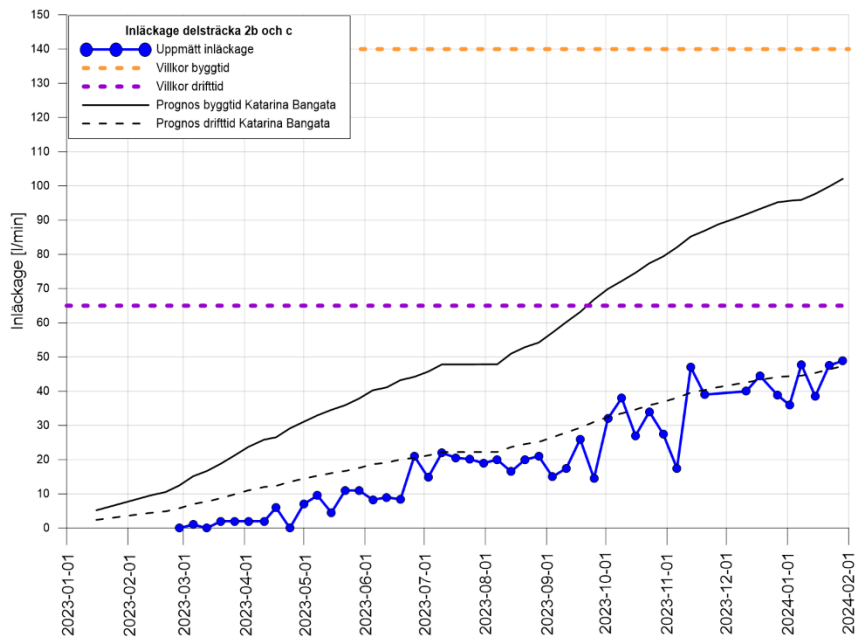
Figur 3.3. Uppmätta inläckage för delsträckan 2a Sofia visas i den blå grafen. Inläckaget är baserat på veckovisa mätningar och redovisas som liter per minut. Inläckageprognos utifrån framdrift visas med svart heldragen linje för byggtiden och svart streckad linje för drifttiden. Det totala villkoret visas med streckad orange linje för byggtiden och streckad lila linje för drifttiden.

3.1.3 Delsträcka 2b och 2c Katarina bangata

Delsträckorna 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). Delsträckorna innefattar enkelspårtunnlar, tvärtunnlar och servicetunnlar. Under slutet av januari 2024 hade ca 65% av den totala sträckningen av 2b och 2c Katarina bangata brutits ut.

Observationer från utförd tunneldrivning visar på att svaghetszonernas lägen och omfattning i tunnarna avviker från prognosen, vilket har medfört och fortsatt medför större svårigheter i förinjekteringen. Uppmätta inläckage är relativt små med hänsyn till bergets kvalitet med svaghetszoner och hög genomsläpplighet vilket sannolikt beror på utvecklade injekteringsarbetet som har utförts inom delsträckan.

Totalt uppmätt inläckage som ett medelvärde för januari 2024 är ca 44 l/min. Figur 3.4 visar veckovist uppmätt inläckage jämfört med inläckageprognos och villkor för bygg- och drifttiden, vilket visas gemensamt för delsträcka 2b och 2c. Inläckaget ligger under prognosen för byggtid (svart linje) och drifttid (svart streckad linje). Det ligger även, baserat på hittills utförd tunneldrivning, under det totala villkoret för byggtiden (streckad orange linje) och drifttiden (streckad lila linje). Marginalen till drifttidens villkor är dock liten och en stor del av delsträckorna återstår att bryta ut.



Figur 3.4. Uppmätta inläckage för delsträckorna 2b och 2c Katarina bangata visas i den blå grafen. Inläckaget är baserat på veckovisa mätningar och redovisas som liter per minut. Inläckageprognos utifrån framdriften visas gemensamt för delsträcka 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 (också detta som ett gemensamt värde för bägge delsträckorna).

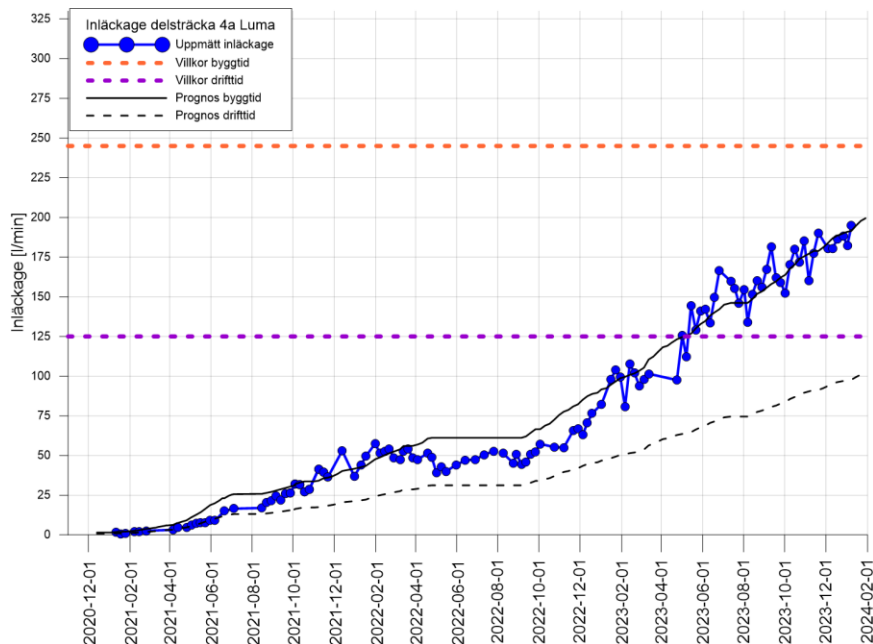
3.1.4 Delsträcka 4a Luma

Delsträckan 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). I sträckan ingår station Hammarby Kanal med tillhörande schakt för totalt två uppgångar på vardera sida om kanalen, arbetstunnel, två ventilationsschakt, enkelspårtunnlar, dubbelspårtunnlar, tvärtunnlar och servicetunnel. En stor del av delsträckan har redan drivits ut och under slutet av januari 2024 kvarstod ca 10% tunnel (schakt för stationsuppgångarna och ventilation, en liten del av plattformsrummet samt spårtunnlar på den delen av delsträckan som är lokaliserad på Södermalm).

Längs arbetstunneln förekommer partier med frekventa, mindre svaghetszoner innehållande grafit och lera. Berget har visat sig vara vattengenomsläppligt och svårt att täta med förinjekteringen. Vid tunneldrivningen österut från arbetstunneln, i riktning mot Sickla, har spår- och servicetunnlar varit fortsatt svåra att täta med förinjektering till en nivå under eller i linje med byggtidens inläckageprognos. Detta då berget är generellt grafitrikt, med lerfyllda sprickor som har en dominerande sprickorienteringen (orientering på svaghetszoner) i princip tunnelparallell för östra delen av Luma-delsträckan, vilket sannolikt bidragit till ökad mängd inträngande grundvatten.

Tunnlarna på västra sidan av arbetstunneln, i riktning mot Södermalm, har drivits i relativt bra berg fram till sjöpassagen under Hammarby kanal. Från kajkanten och norrut under sjöpassagen har berget varit vattengenomsläppligt och av dålig kvalitet.

Totalt uppmätt inläckage som ett medelvärde för januari 2024 är ca 189 l/min. Figur 3.5 visar veckovist uppmätt inläckage jämfört med inläckageprognos och villkor för bygg- och drifttiden. Inläckaget ligger över eller i nivå med prognosen för byggtid (svart linje) och förhållandevis långt över prognosen för drifttid (svart streckad linje). Inläckaget ligger, baserat på hittills utförd tunneldrivning, under det totala villkoret för byggtiden (streckad orange linje), men över det totala inläckaget för drifttiden (streckad lila linje).



Figur 3.5. Uppmåttat inläckage för delsträckan 4a Luma visas i den blå grafen. Inläckaget är baserat på veckovisa mätningar och redovisas som liter per minut. Inläckageprognos utifrån framdriften 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.

3.2 Tunnlarnas specifikationer

Spårtunnlarna är utformade som två parallella enkelspårtunnlar med en färdriktning i vardera tunnelrör eller som dubbelspårtunnlar med två färdriktningar i samma tunnelrör. Enkelspårtunnlarnas bredd uppgår till cirka 6 meter. Tunnelhöjden från bergbotten uppgår till cirka 7 meter och totalhöjden. Tvärsnittsarean uppgår till cirka 35 kvadratmeter. Avståndet mellan enkelspårtunnlarna och servicetunneln (se mer nedan) varierar mellan cirka 10–25 meter. Dubbelspårtunnlarna har en bredd om cirka 12–17 meter. Tunnelhöjden från bergbotten uppgår till cirka 8 meter. Tvärsnittsarean på dubbelspårtunneln uppgår till cirka 60–100 kvadratmeter. Avståndet mellan dubbelspårtunneln och den intilliggande servicetunneln varierar mellan cirka 10–25 meter.

Parallellt med spårtunnlarna anläggs en servicetunnel, för att säkerställa åtkomst och i nödfall räddningsinsatser samt utrymning längs hela sträckan. Avståndet mellan spårtunneln eller spårtunnlarna och servicetunneln varierar normalt mellan cirka 10–25 meter. I anslutning till stationerna kommer det finnas ett flertal rum för teknisk utrustning i servicetunneln. I servicetunneln installeras VA-ledningsnät och med långsgående dräneringsledningar och anslutningar från spårtunnlarna via tvärtunnlarna samt el, tele och ventilation. Servicetunnelns bredd varierar mellan cirka 6–10 meter. Tunnelhöjden uppgår till cirka 7–9 meter och tvärsnittsarean på servicetunneln varierar mellan cirka 40–100 kvadratmeter.

Servicetunneln ansluts till spårtunneln eller spårtunnlarna genom tvärtunnlar på regelbundna avstånd om maximalt 300 m. Tvärtunnlarnas storlek varierar beroende på användning, men har generellt en bredd på cirka 5 meter. Höjden uppgår till cirka 5 meter. Tvärsnittsarean på en tvärtunnel uppgår till cirka 20 kvadratmeter.

Arbetstunnlarna leder i regel ner till servicetunneln (eller till spårtunneln). Den används i ett första skede under byggtiden till att få ner utrustning för utsprängning av stationernas tunnlar, för utlastning av bergmassorna. Under driftskedet används arbetstunnlarna som infartstunnlar till den färdiga anläggningen, intag för friskluft och i vissa fall som utrymningsväg. Arbetstunnlarna

har en bredd på cirka 8 meter för att möjliggöra mötande arbetstrafik. Tunnelhöjden uppgår till cirka 8 meter. Arealen på arbetstunnlarna uppgår till cirka 60 kvadratmeter.

Stationerna består av ett plattformsrumsrum. I Sofia är plattformsrumsrummet utformat som ett ca 160 m långt, 25 m brett och 16 m högt bergrum med plattformen i mitten. Plattformsrumsrummet i Hammarby kanal är utformat på samma sätt ca 160 m långt, 18 m brett och 11 m högt.

Uppgångarna med rulltrappor är utformade som lutande bergtunnlar av varierande längd och bredd beroende på antalet rulltrappor. Nära markytan ansluter de lutande tunnlar till ett större utrymme med en biljetthall som via en kort trappa leder upp till markytan. I station Sofia har rulltrapporna ersatts av snabbgående hissar som går i ett ca 21 x 21 m stort, 104 m högt hisschakt som leder direkt upp till biljetthallen i en byggnad på markytan.

4 Byggmetod och skyddsåtgärder

4.1 Byggmetoden

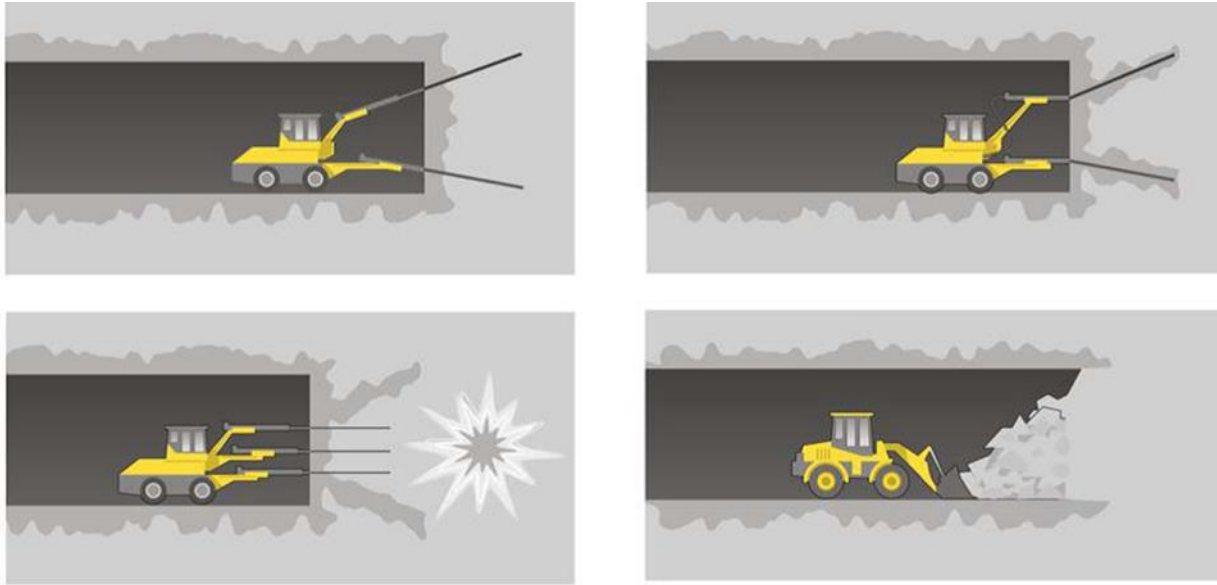
Tunnelbaneanläggningen drivs med metoden borra - spräng. Denna metod är vanligast förekommande vid tunneldrivning i Sverige och omfattar följande viktigare arbetsmoment: förinjektering, salvborrning, laddning och sprängning, utlastning, bergrensning samt bergförstärkning, se figur 4.1 nedan.

Det första momentet är förinjektering. Syftet med injekteringen är att täta sprickor i bergmassan närmast runt den blivande tunneln för att minimera mängden inträngande grundvatten till tunneln. Förinjektering utförs genom ett antal borrhål borras i en solfjäder runt tunnelns ytterkant. Därefter pumpas injekteringsmedel (cementsuspension av cementpartiklar och vatten) under tryck in i borrhålen och på så sätt även ut i bergsprickor. Injekteringen pågår (injekteringsbruk pumpas in i hålen och vidare i sprickor/spricksystem) under viss förutbestämd tid eller till dess att en viss volym injekteringsbruk har uppnåtts (s.k. bruksåtgång). När bruket penetrerat sprickor och stelnat har det bildats en tätad zon runt den blivande tunneln. Kontroll av utförd injektering utförs innan salvborrningen samt med kontinuerlig utvärdering under tunneldrivningen.

Nästa moment är borring av salvhålen. Hålen, och därmed salvlängden, anpassas med hänsyn till bergförhållandena och risker för skador till följd av vibrationer. Efter borringen laddas hålen med sprängämne. Laddningen sprängs och tunneln ventileras på spränggaser innan utlastning av bergmassor kan påbörjas.

Bergrensning (skrotning) utförs efter utlastningen. Kvarsittande löst berg i väggar och tak tas bort maskinellt och för hand med skrotspett. Därefter spolats bergytan ren med vatten och en besiktning och kartering görs för att utvärdera behovet av bergförstärkning.

Bergförstärkning utförs i normalfall med sprutbetong och bultar. Om bergtäckningen är liten, bergkvaliteten är kraftigt nedsatt eller vid passager nära känsliga objekt kan andra typer av förstärkning behövas. I dessa områden anpassas även drivningen efter föreliggande förhållanden.



Figur 4.1. Tunneln drivs med en metod som kallas borra - spräng. Denna metod omfattar följande viktigare arbetsmoment: förinjektering, salvborrning, laddning och sprängning, utlastning, bergrensning samt bergförstärkning.

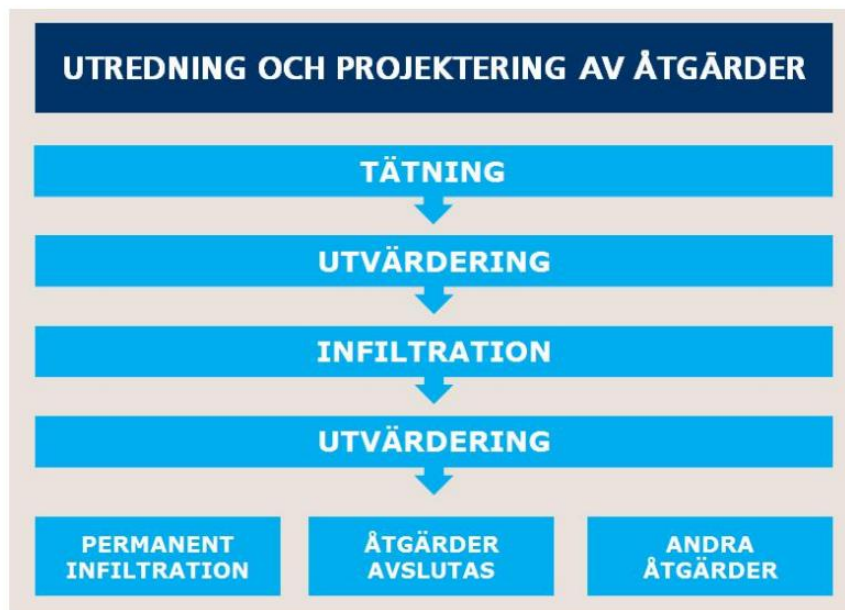
Berggrunden där tunnelbanedelsträckan byggs är, med undantag för vissa delar av sträckan, för det mesta av bra kvalitet. Generellt krävs då endast normala tätnings- och förstärkningsåtgärder, dvs förinjektering och bergförstärkning efter utsprängd tunnel. Under tunneldrivningen sker löpande kontroll och bedömning av bergkvaliteten. Tätnings- och förstärkningsåtgärder kan på så sätt anpassas till aktuell bergkvalitet genom justeringar och åtgärder. Inom influensområdet har förekomsten av områden med uppsprucket och svårtätat berg lett till att injekteringsarbetet har utvecklats och anpassats för att uppfylla inläckagevillkor i befintligt tillstånd.

4.2 Skyddsåtgärder mot grundvattenavsänkning

4.2.1 Inledning

Inläckaget av grundvatten till tunnelanläggningen kan medföra negativa konsekvenser. Inläckaget medför i sig inga negativa konsekvenser, men det kan leda till grundvattennivåsänkningar i områden utmed tunnelanläggningen, vilket i sin tur riskerar att leda till skada på bland annat anläggningar och naturmiljö som är känsliga för grundvattennivåsänkningar. Det är av denna anledning viktigt att säkerställa att inläckaget inte leder till grundvattennivåsänkningar där sådana avsänkningar riskerar att medföra skada.

För att underlätta arbetet med hanteringen av risker för miljöpåverkan till följd av utbyggnaden av tunnelbanedelsträckan arbetar Regionen enligt en metodik med skadeförebyggande åtgärder. Skador orsakade av grundvattennivåsänkning uppkommer generellt långsamt. Strategin för de skadeförebyggande åtgärderna är att arbeta i steg, med flera olika skyddsåtgärder och med successiv utvärdering mellan varje steg. Arbetsgången rörande de skadeförebyggande åtgärderna sammanfattas i Figur 4.2. Utgångspunkten vid utredning och projektering av åtgärder är att minska risken för att skador uppkommer utan att kostnaden blir omotiverat hög. I avsnitt 4.2.2 och 4.2.3 beskrivs Regions huvudsakliga åtgärder; tätning och skyddsinfiltation. Andra åtgärder, vilket ingår i Figur 4.2, handlar om tex åtgärder för att säkerställa bergvärmebrunnas funktion.



Figur 4.2. Arbetsgången rörande de skadeförebyggande åtgärderna där strategin för de skadeförebyggande åtgärderna är att arbeta i steg, med flera olika skyddsåtgärder och med successiv utvärdering mellan varje steg.

4.2.2 Tätning (injektering)

Regionens huvudsakliga skyddsåtgärd för att minimera inläckaget till tunnelanläggningen (och därmed minska risken för grundvattennivåsänkningar och i förläningen skada på omgivningen) är att utföra förinjektering med cementbaserade tätningsmedel. Arbetsgången vid förinjektering beskrivs i avsnitt 4.1 ovan.

Förinjekteringskoncept tas fram för de olika lokala geologiska och hydrogeologiska förhållandena (bergkvaliteten). Dels enligt en framtagna bergkvalitetprognos, dels genom de observationer som görs under tunneldrivningens gång. I projekteringskedet utformades tekniska lösningar anpassade efter de förväntade förutsättningarna och även åtgärder vid avvikelser. Så kallade injekteringsklasser (klass 1-3) togs fram, vilket innebär ett specificerat utförande avseende till exempel antal borrhål, injekteringsbruk och kriterier för kompletterande injektering.

Injekteringsresultatet utvärderas genom att före fortsatt tunneldrivning studera injekteringsförlopp och allt eftersom tunneldrivning pågår genom geologisk kartering, inspektion av tunnelns stabilitet och övervakning av vatteninträngning genom inläckagemätning.

Tätheten som uppnås med förinjekteringen beror på olika faktorer varav vissa inte kan påverkas, såsom bergets vattenförande egenskaper, grundvattentryck, bergtäckningen och bergmassans injekterbarhet. Den ursprungliga tätheten hos berget är av betydelse, och ett sprickfattigt berg av god kvalitet kan ge en relativt tät tunnel även utan ytterligare tätningsåtgärder. Injekterbarheten (dvs. förutsättningarna för injektering) hos bergmassan, inklusive sprickvidd, sprickfyllnad, sprickriktningar och vittringsgrad, påverkar hur effektiv tätning som kan åstadkommas. Parametrar inom tätningskonceptets utförande, omfattning och flexibilitet kan justeras till viss del för att uppnå bästa möjliga resultat. Det innefattar exempelvis egenskaper hos tätningsmedlet, prestanda på material och utrustning, antal injekteringshål och dess längd och utbredning, arbetsordning, tid som injekteringen pågår, mängd injekteringsbruk som används samt kontroller och uppföljning av uppnådd täthet.

Olika anpassningar av förinjekteringen utförs vid behov där parametrar som är betydande vid injekteringen justeras. Det kan till exempel krävas om bergkvaliteten är sämre än prognostiserat, vid förekomst av uppsprucket berg där tätningen inte fungerar väl, vid genomsläppligt berg eller

om sprickorna är fyllda med ett material som försvårar injekteringen. Åtgärder för att anpassa förinjekteringen till de lokala förhållandena kan då till exempel vara att injekteringen utförs med mindre avstånd mellan injekteringslägena, större överlapp mellan injekteringslägena eller justering av injekteringstryck och val av andra cementtyp.

Om förinjekteringen, trots åtgärder och anpassningar, inte fungerar tillräckligt bra kan efterinjektering behöva utföras. Efterinjektering är ett samlingsnamn för all injektering som utförs av berget i utsprängda tunneldelar, och syftar, liksom förinjekteringen, till att minska inläckage av grundvatten. Efterinjektering har dock vissa utmaningar som förinjekteringen saknar. Det är till exempel svårt att tätning nära rinnande vatten förekommer (risk för urspolning under tätningförloppet) samt att det inte går att applicera lika stort tryck när man tätar nära en utsprängd tunnelvägg, som innan den är utsprängd. Generellt gäller att förinjektering är mer effektivt än efterinjektering, och därför används den senare metoden som ett komplement till förinjektering. Vid speciellt komplicerade förhållande används även kemiska tätningsmedel vid efterinjektering.

Ursprungligen, i projekteringskedet var det meningen att tätning huvudsakligen skulle genomföras med en omgång förinjektering. Injekteringen skulle utökas till två omgångar i passager med mer vattenförande berg, exempelvis vid svaghetszoner. I praktiken har förinjekteringskoncept utvecklats så långt det är teknisk möjligt och förinjekteringen har utökats kraftigt jämfört med vad som planerats, vilket beskrivs i avsnitt 5.2.1. Dessutom har mer omfattande efterinjekteringar utförts vilket beskrivs i avsnitt 5.2.2.

4.2.3 Skyddsinfiltration

För att undvika skadliga grundvattennivåsänkningar till följd av det grundvatten som, trots omfattande tätningsåtgärder oundvikligen läcker in till tunnelanläggningen, utförs också skyddsinfiltration vid grundvattennivåkänsliga objekt eller i känsliga områden. Det är en effektiv åtgärd för att motverka skada om en grundvattenpåverkan blir större än vad som prognosticerats eller inte fullt ut kan hanteras med noggrann tunneltätning.

Infiltration sker till jordlagrens undre magasin för att återställa och upprätthålla naturliga grundvattennivåer vid en eventuell grundvattennivåsänkning. Anläggningar för skyddsinfiltration, så kallade infiltrationsanläggningar, har anlagts inom influensområdet. Anläggningarna anpassas och dimensioneras utifrån platsens förhållanden och jordlagrens hydrogeologiska egenskaper, vilket utreds i tidigt skede genom undersökningsborring samt infiltrationstest. Inom hela influensområdet finns det mätpunkter för grundvattennivåer (grundvattenrör). Till dessa mätpunkter finns ansatta åtgärdsnivåer, som används för att styra när och i vilken omfattning infiltration utförs.

Det vatten som infiltreras under byggtiden inom utredningsområdet är kommunalt ledningsvatten från Stockholm vatten och avfall (SVOA). Som utvecklas i avsnitt 6.4 nedan är det under byggtiden inte aktuellt att infiltrera med det inläckande grundvattnet, men detta kan eventuellt bli aktuellt under drifttiden.

5 Utveckling av tätningensarbetena och återstående tätning

5.1 Inledning

Inför tillståndsprovningen för befintligt tillstånd genomfördes fältundersökningar och analyser av berg, geologi och hydrogeologi längs tunnelbanedelsträckan. Baserat på dessa resultat togs prognoser fram för att estimeras hur anläggandet och driften av tunnelbaneanläggningen skulle påverka hydrogeologin i området den passerar. Projektering av tätning och andra åtgärder utfördes också. Med underlaget som grund utfördes bedömningar av vilka inläckage som skulle kunna innehållas för bygg- respektive drifttiden av tunnelbanedelsträckan. Bedömningarna utgick även från erfarenheter från andra infrastrukturprojekt i Stockholmsområdet och resulterade i Regionens villkorsförslag för inläckage. Domstolen höll inte med om Regionens bedömning och beslutade om väsentligt strängare inläckagevillkor för flera sträckor, framför allt för driftskedet. Det resulterade i de inläckagevillkor som gäller för de aktuella delsträckorna (villkor 3.1 i tillståndet, se Tabell 1.1). Utifrån de skärpta villkoren har Regionen utvecklat tätningensmetodiken samt uppföljning och kontroll av tätningen.

Regionen tillämpar ett metodiskt arbetssätt för att följa upp och styra injekteringsinsatser. I detta ingår bland annat tillsättande av arbetsgrupper med god kunskap inom bergbyggnad för uppföljning och styrning av injekteringen inom respektive entreprenad. I arbetsgrupperna ingår projektledare, byggledare, geolog, handläggare för vattenverksamhet och teknikstöd inom hydrogeologi och injektering. Arbetsgrupperna träffas regelbundet, där respektive disciplin redovisar resultaten från den löpande uppföljningen av geologisk kartering, genomförd injektering och inläckage. Uppmätta inläckage jämförs kontinuerligt med upprättade prognoser för inläckage, som baserar sig på villkoren (beskrivet i avsnitt 3.1). På så sätt kan Regionen löpande se om inläckaget ligger på rätt nivå i jämförelse med utbruten tunnel. Arbetsgrupperna utvärderar resultaten, diskuterar prognosen avseende kommande geologiska och hydrogeologiska förhållanden och lämnar slutligen förslag till eventuella åtgärder. Resultaten från arbetsgrupperna förs direkt in i produktionen genom att byggledare tar med sig åtgärderna och anvisar för entreprenörerna. Regionen har också en avdelningsövergripande strategigrupp för injektering med syfte att skapa en erfarenhetsåterföring mellan entreprenaderna, hantera övergripande strategiska frågor på avdelningsnivå och fördela teknikstödsresurser.

5.2 Utveckling av injekteringsmetodiken

Erfarenheterna från hittills genomförd tunneldrivning visar att metodiken för tätning av berget med förinjektering fungerar väl i de flesta områden. Det gäller även för vissa delsträckor som har fått skärpta inläckagevillkor i förhållande till vad Regionen föreslog i samband med tillståndsprovningen. En anledning till att förinjekteringen fungerar så väl är att metodiken utvecklats både under projektering och byggtid och i kombination med flera sträckor med goda geologiska förutsättningar för lyckad förinjektering.

Förinjekteringen har anpassats till ett arbetssätt baserat på observationsmetoden, snarare än ett arbetssätt där förinjekteringen redan på förhand är definierad. Injekteringskonceptet är utformat med syftet att innehålla föreskrivet inläckagevillkor och därför har tätningensåtgärderna anpassats till de rådande förhållandena. Injekteringskoncept med justerad metodik ger möjlighet att observera förhållanden och anpassa tätningensåtgärden i steg. Även grundläggande injekteringstekniska parametrar som injekteringstryck, injekteringstid och mängden injekterad

bruksvolym har justerats i injekteringskonceptet. Åtgärderna bedöms ha medfört större bruksspridning i berget runt tunnelsystemet och därmed har de haft en positiv effekt avseende att minska mängden inträngande grundvatten, trots områden med dålig bergkvalitet och genomsläppligt berg. Arbetet resulterar dock i fler omgångar av injekteringar än tidigare planerat, vilket tar längre tid och saktar ner tunneldrivningen. Utöver detta har efterinjekteringskonceptet utvecklats till ett arbetssätt som går ut på kompletterande tätningsinsatser med systematisk efterinjektering i identifierade områden med högre inläckage längs tunnelsträckorna. Vanligtvis görs efterinjektering punktvis där större läckage noterats men i detta fall görs efterinjektering längs längre sträckor och även runt stora delar eller hela tunnelperiferin.

5.2.1 Förinjekteringskoncept

Förinjekteringen som beskrevs i ansökan för befintligt tillstånd utgick från en så kallad systemhandling, vilket utgörs av en preliminär projektering. Injekteringen har därefter utvecklats utifrån befintligt tillstånd och villkor samt under fortsatt projektering av bygghandling. En bygghandling är det underlag som skickas ut till entreprenaderna i samband med att arbetena handlas upp. Injekteringen har därefter utvecklats ytterligare under byggtiden.

5.2.1.1 Injekteringsstrategi som beskrevs i ursprunglig ansökan

Injekteringsstrategin som beskrevs i ansökan för befintligt tillstånd baserades på underlag från systemhandlingen som fanns tillgänglig under 2017. Där i beskrevs följande injekteringsklasser:

- *Injekteringsklass 1 (IK1)* - Injektering med en omgång, med kompletterande injektering baserat på resultatet av den första omgången och utförande enligt injekteringsklass 2.
- *Injekteringsklass 2 (IK2)* - Injektering med två omgångar, med kompletterande injektering baserat på resultatet från de båda omgångarna.
- *Injekteringsklass 3 (IK3)* - Injektering med två omgångar där det bedöms att injekteringsklass 1 eller 2 inte kommer att uppfylla ställda krav.

5.2.1.2 Utvecklad injekteringsstrategi i bygghandlingsskedet

Injekteringsstrategin utvecklades under bygghandlingsskedet för att möta de (i förhållande till Regionens förslag) skärpta inläckagevillkoren. Injekteringen baserades också på kompletterande information om bergförhållanden samt ny information om de projekterade anläggningarna, till exempel bredd, höjd eller närhet till befintliga berganläggningar. Fler områden med högre injekteringsklass planerades in och injekteringsklass 3 utvecklades. Nedan följer en översiktlig beskrivning av respektive injekteringsklass inom den utvecklade injekteringsstrategin i bygghandlingsskedet.

5.2.1.2.1 Injekteringsklass 1 (IK1)

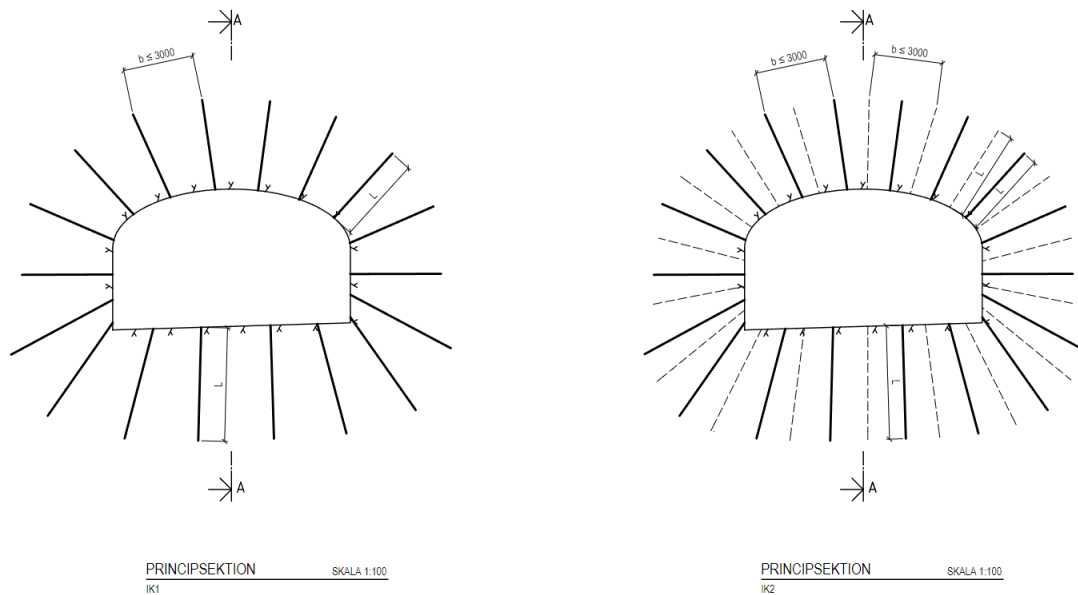
IK1 innebär en (1) obligatorisk omgång förinjektering med anpassning av skärmgeometri till bultlängd och injekteringstryck med anpassning till bergtäckning/grundvattentryck. Baserat på resultat från första omgången finns kriterier för kompletterande injekteringshål eller ytterligare en injekteringsomgång enligt IK2. Se Figur 5.1 och 5.2.

IK1 kan anses likvärdig den som redogjorts för i ansökan för befintligt tillstånd.

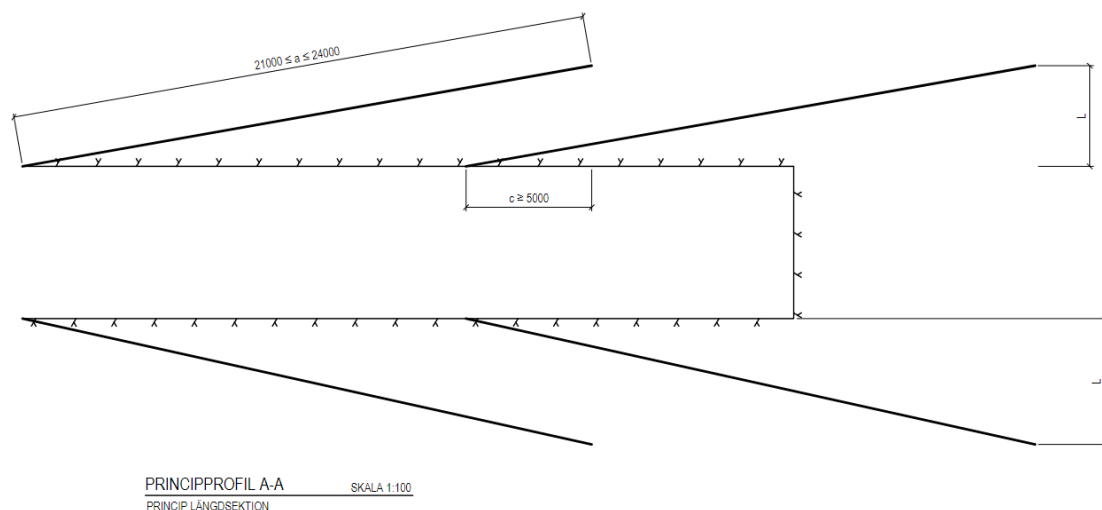
5.2.1.2.2 Injekteringsklass 2 (IK2)

IK2 innebär två obligatoriska omgångar förinjektering med anpassning av skärmgeometri till bultlängd och injekteringstryck med anpassning till bergtäckning/grundvattentryck. Båda omgångar utförs med samma skärmgeometri och stoppkriterier. Se figur 5.1 och 5.2.

IK2 kan anses likvärdig den som redogjorts för i ansökan för befintligt tillstånd.



Figur 5.1. Skärmgeometri för förinjektering i sektion för injekteringsklass 1 (IK1 till vänster) och injekteringsklass 2 (IK2 till höger). Stickning $L = 4\text{--}6$ meter och hålspetsavstånd $b \leq 3$ meter inom respektive injekteringsomgång.



Figur 5.2 Skärmgeometri för förinjektering i profil för injekteringsklass 1 (IK1) och injekteringsklass 2 (IK2). Injekteringshålllängd ≤ 24 meter och krav på överlapp mellan injekteringsskärmar ≥ 5 meter.

5.2.1.2.3 Injekteringsklass 3 (IK3)

Injekteringsklass 3 (IK3) består av flera olika injekteringskoncept, dels geometriskt anpassade efter IK1 eller IK2 (s.k. ”IK3 baserad på IK1/IK2”), dels anpassade för den aktuella platsen, dvs. specifikt utvecklade koncept.

IK3 skiljer sig delvis från det som beskrevs i ursprunglig ansökan genom att injekteringen utvecklats. Nedan följer exempel på när den uppdaterade IK3 används.

Exempel på IK3 baserad på IK1/IK2:

Parallella tunnlar med litet avstånd, tunnlar med liten bergtäckning, passage av befintliga anläggningar som innebär exempelvis anpassning av skärmgeometri, reducerat injekteringstryck, reducerad injekterad volym.

Exempel på IK3 som är platsspecifika/problemspecifika:

Tunnlar med stora spännvidder som innebär exempelvis ökad stickning, ökad volym injekterat bruk, minskat avstånd mellan injekteringskärmlägen, eventuella stufvhål. Koncepten innehåller ofta kriterier för byte av injekteringsbruksblandning och kriterier för omgång 2.

Svaghetszon som innebär exempelvis uppdelning av omgångar i s.k. split-spacing, två obligatoriska injekteringsomgångar, ökad stickning, ökad volym injekterat bruk, kriterier för byte av injekteringsbruksblandning, minskat avstånd mellan injekteringskärmlägen.

Vertikalschakt, rulltrappschakt, ovanjordsdelar som innebär exempelvis förinjektering med ridåinjektering i nivåer, anpassning av skärmgeometrier till schaktgeometri och stödkonstruktion. Koncept innehåller ofta kriterier för omgång 2 baserat på resultat från föregående omgång.

5.2.1.3 Utvecklad injekteringsstrategi under byggtiden

Utöver injekteringsklasser redovisade i föregående avsnitt har injekteringen ytterligare förbättrats och förfinats under byggtiden för att klara de föreskrivna inläckagevillkoren specifikt utifrån de särskilda bergförhållanden och förutsättningar för injektering som den enskilda delsträckan har. Justeringarna är baserade på erfarenheter inhämtade från tunneldrivningen. Med hänsyn till de hårt ställda inläckagevillkoren användes försiktighetsprincipen för att fånga olikheter genom observationer och att successivt införa ändringar inom projektet. Det resulterade i en ökning av ambitionsnivå i tätningsinsatser för de aktuella delsträckorna, likväl som för flera av de övriga delsträckorna som inte är föremål för prövning i detta fall.

Under tunneldrivning av arbetstunnlarna utfördes omfattande arbete med att utveckla systematiskt arbetssätt för att samla in information och utvärdera tätningsresultat från hösten 2020 till sommaren 2021.

Systematisk observation och utökad kontroll av injekteringsresultatet infördes i produktion. Syftet var att förstå vilka parametrar eller åtgärder som ökar tätningseffekten. Insamlade data utvärderades med avseende på tex:

- Observationer från borrning; borrhastighet och vattenföring i injekteringshål (ger information om bergets egenskaper)
- Injekteringsförlopp; tryck- och flödesgrafer per enskilt injekteringshål (ger information om dels bergets egenskaper, dels injekteringsutrustningens funktion, dels praktiskt utförande)
- Statistiska analyser av injekterad volym per omgång och antal sambandshål (ger information om tätningsresultaten)
- Veckovisa mätningar och okulära observationer av mängden inträngande grundvatten (verifierar resultat från utförd tätning)

Stegvisa åtgärder

Syftet med strategin *Stegvisa åtgärder* är att stegvis göra åtgärder beroende på inläckage. Åtgärderna gör injekteringslösningen stegvis robustare så långt det är möjligt att nå, utan måste göra om hela injekteringskonceptet. Strategin med stegvisa åtgärder (dvs. ändring av parametrar som styr injekteringsresultat), en-sak-i-taget, medför en ökad förståelse för vilka parametrar och parametervärden som injekteringsutförandet behöver styras mot.

Behovet av åtgärder delas in i steg (ambitionsnivåer) beroende på inläckaget i tunnlarna i förhållande till de föreskrivna inläckagevillkoren. Där nivå 0 innebär lättnader, nivå 1 relativt enkla åtgärder och sedan ökas ambitionsnivån stegvis till nivå 5. Injekteringen anpassat alltså till de faktiska förhållandena på platsen och innebär att injekteringen har utvecklats så långt det är teknisk möjligt med dagens teknik och ytterligare tätningsåtgärder bedöms ej uppnå tätare tunnel. Med ”budget” avses bedömt inläckage för aktuell uttagen tunneldel, Tabell 5.1. De stegvisa åtgärderna baseras på de allmänna grundsatserna enligt följande:

- **Injekteringstid:** längre injekteringstid ger större inträngningslängd vilket ger bättre täthet. Effekten är dock avtagande.
- **Injekteringstryck:** ökat injekteringstryck ger större inträngningslängd vilket ger bättre täthet. Osäkerheter finns dock beträffande effekten av spräckning/hävning av bergmassan vid högre tryck (mindre risk vid större tunneldjup).
- **Stickning:** större stickning ger större inträngningslängd utanför tunnelkonturen vilket ger större injekterad bergvolym och därmed bättre täthet. Större stickning ger fler injekteringshål vilket kan ge problem med samband mellan injekteringshål och ytläckage (dvs. injekteringsmedel kommer via en spricka till ett annat hål än det man injekterar eller direkt in i tunneln).
- **Antal injekteringsborrhål:** fler injekteringshål ger bättre täthet vid komplexa strömningsförhållanden. Det finns en begränsning av hur många hål som kan borraras och injekteras i samma omgång med hänsyn till samband och ytläckage.
- **Injekterad volym:** större injekterad volym ger bättre täthet. Effekten är dock avtagande. Försiktighet måste tas för att minimera risk för uppträngning av bruk på markytan.
- **Överlapp:** ökat överlapp ger bättre täthet.
- **Bruksegenskaper:** ett mer lättflytande bruk ger större inträngningslängd vilket ger bättre täthet. Men vid större sprickor kan ”fingering” (kanalformation) uppträda. Bruket blir mer känsligt för transport och utblandning vid förekomst av strömmande vatten.
- **Finmalet cement:** mer finmalet cement ger bättre inträngningsförmåga i finare sprickor. Effekten kan dock utebli om injekteringstiden inte matchas mot injekterad sprickvidd (finare sprickvidd).

Tabell 5.1. Till vänster visas inläckage (Q) mot bedömt inläckage och till höger visas föreslagna stegvisa åtgärder

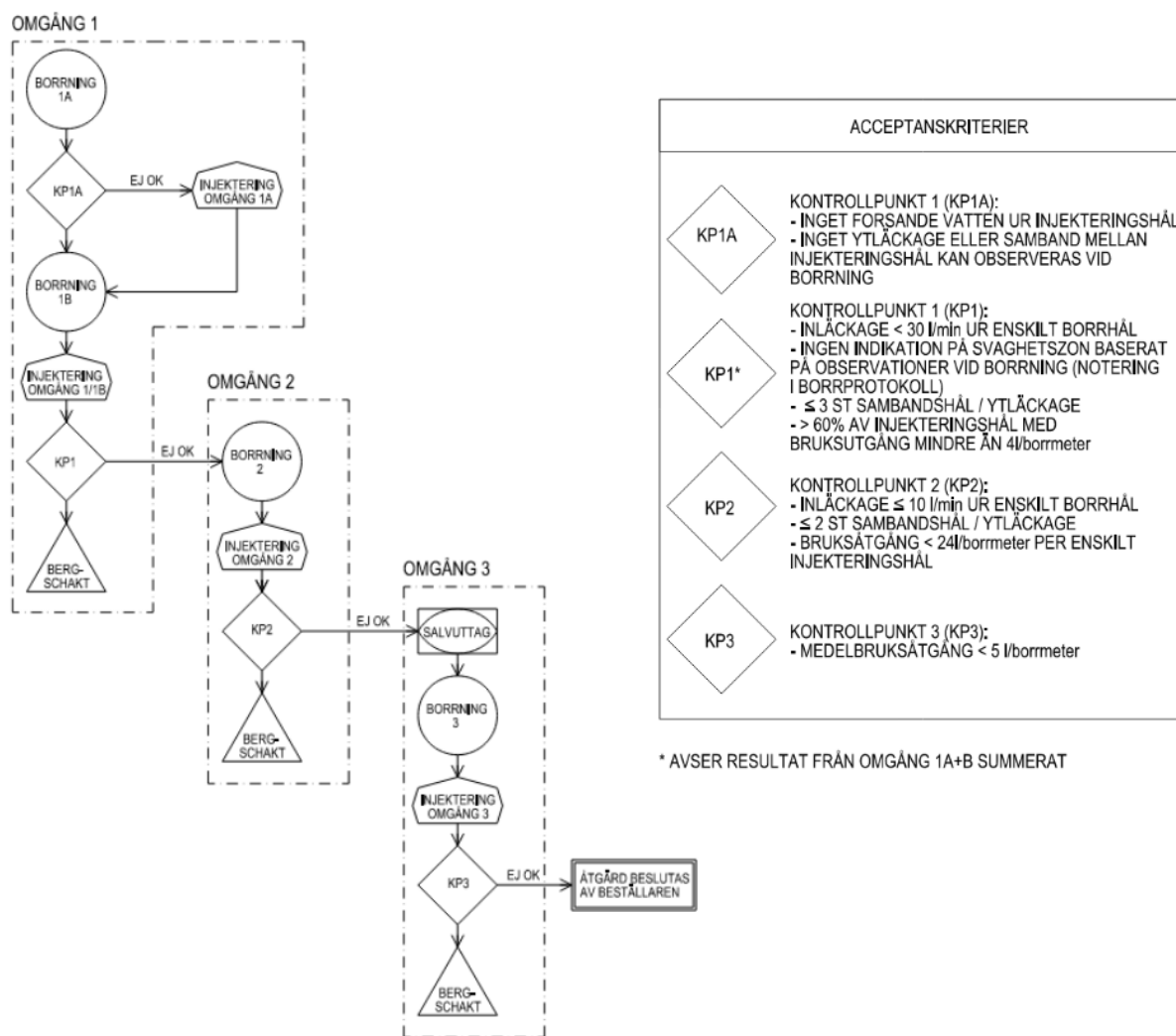
Inläckage (Q) vs budget	Ambitionsnivåer för åtgärder
Q <50%	Nivå 0 (Lättnad, individuellt anpassad)
Q: 50 – 70%	Nivå 1: Injekteringstid och Injekteringstryck ökas (yt nära zonberg)
Q: 70 – 90%	Nivå 2: Injekteringstid ökas, Injekteringstryck ökas, Ökad stickning (tunnlar med stora spännvidder), Stoppkriterier anpassas (injekterad volym, flöde), Utförande anpassas (utökade kontroller)
Q :90 – 110%	Nivå 3: Injekteringstid ökas, Kompletterande omgång utförs (justering kriterier), Stuffhål utförs (stationsområden), Identifiering zon (vid borrhning) Utförande anpassas (instruktion och utbildning)

Q: 110 – 125%	Nivå 4: Bruksbyte (flera olika injekteringsblandningar), Systematisk efterinjektering, Identifiering zon (efter 1 omgång injektering)
Q > 125%	Nivå 5: Byte cementsort, Ny injekteringsdesign, Keminjektering

5.2.1.3.1 Behovsanpassad IK3

Behovsanpassad injekteringsklass 3 (Behovsanpassad IK3) är ett resultat från *Stegvisa åtgärder* som utförts till den högsta ambitionsnivån (nivå 5 enligt Tabell 5.1) eller på sträckor där det bedömts att de föreskrivna inläckagevillkoren kommer vara mycket svåra att uppnå.

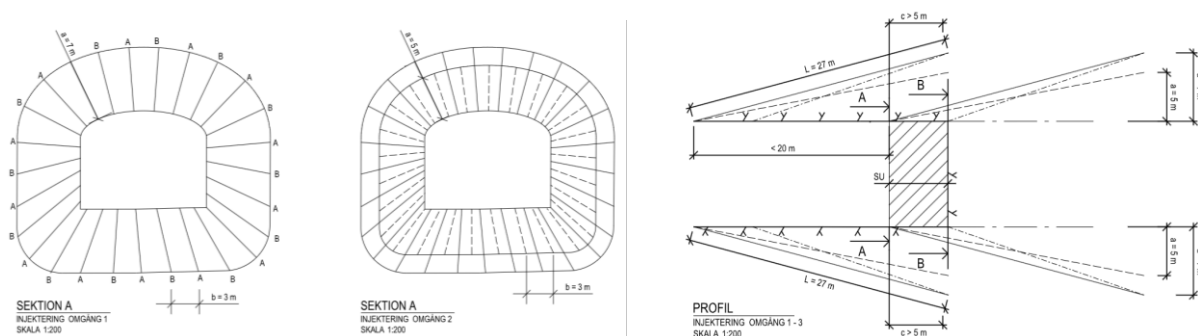
Injekteringsklassen Behovsanpassad IK3 innebär stegvisa observationer, kontroller och åtgärder med syftet att identifiera bergets genomsläpplighet och identifiering av svaghetszon, anpassa tätningsinsatsen till bergmassan och utvärdera resultat innan fortsatt bergschakt, Figur 5.3. Injekteringen utförs i en till tre injekteringsomgångar med kriterier för split-spacing och villkor för ytterligare åtgärd vid misstanke om otillräcklig tätning.



Figur 5.3. Utdrag från ritning med arbetsgång för förinjektering enligt *Behovsanpassad IK3* med stegvisa observationer, kontroller och åtgärder.

Behovsanpassad IK3 har anpassad skärmgeometri och stoppkriterier, Figur 5.4. Anpassning av skärmgeometrin innebär ökad stickning med hänsyn till bultlängd och till den bergmekaniskt

påverkade zonen där rörelser i bergmassan kan förväntas uppstå vid tunneldrivning. Anpassning av stoppkriterier innebär kriterier med ökad tid och injekterad volym och kriterier för byte av bruksblandning.

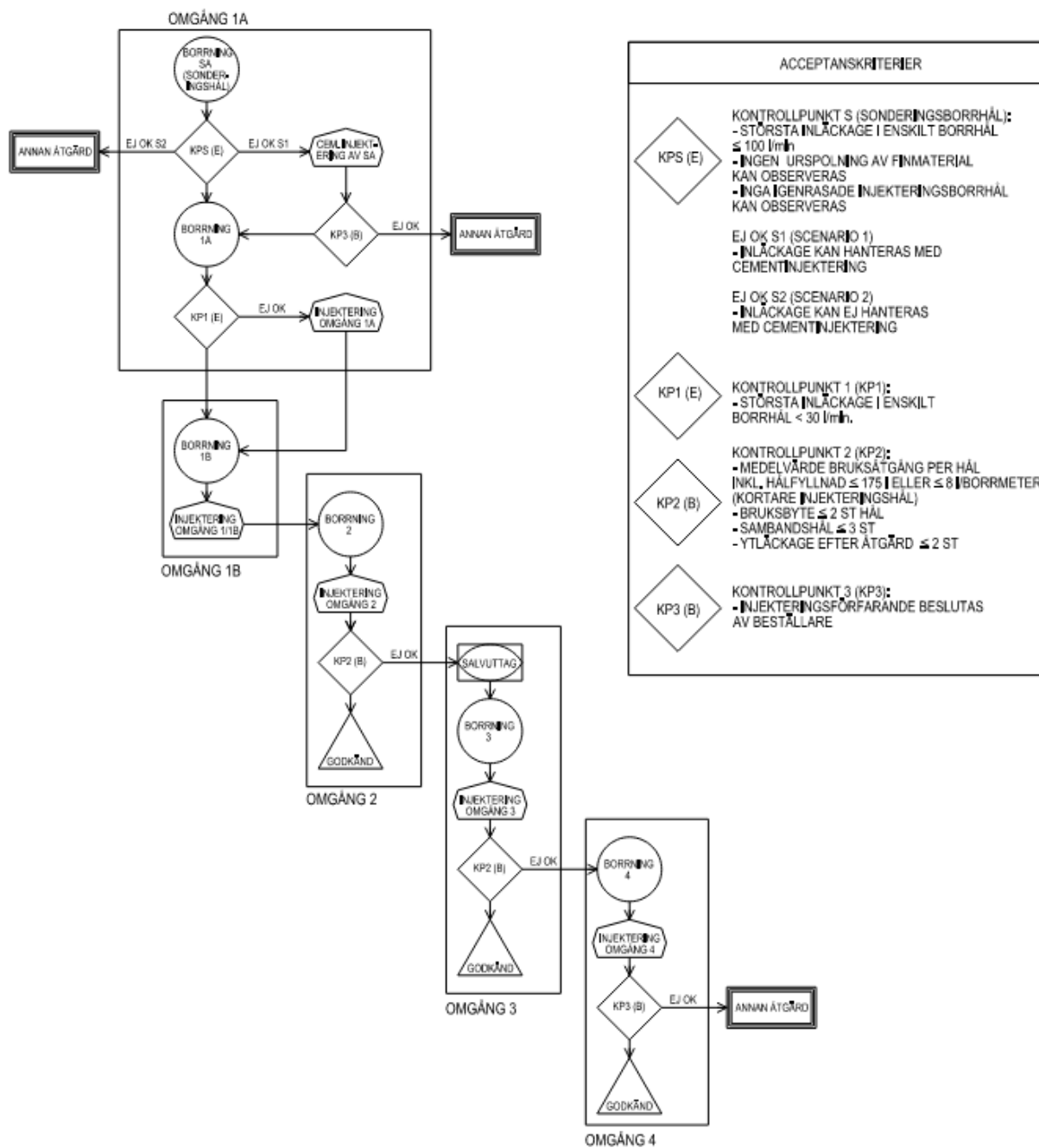


Figur 5.4 Utdrag från ritning med sektion och profil för skärmgeometri enligt Behovsanpassad IK3.

5.2.1.3.2 IK3 Vattenpassage

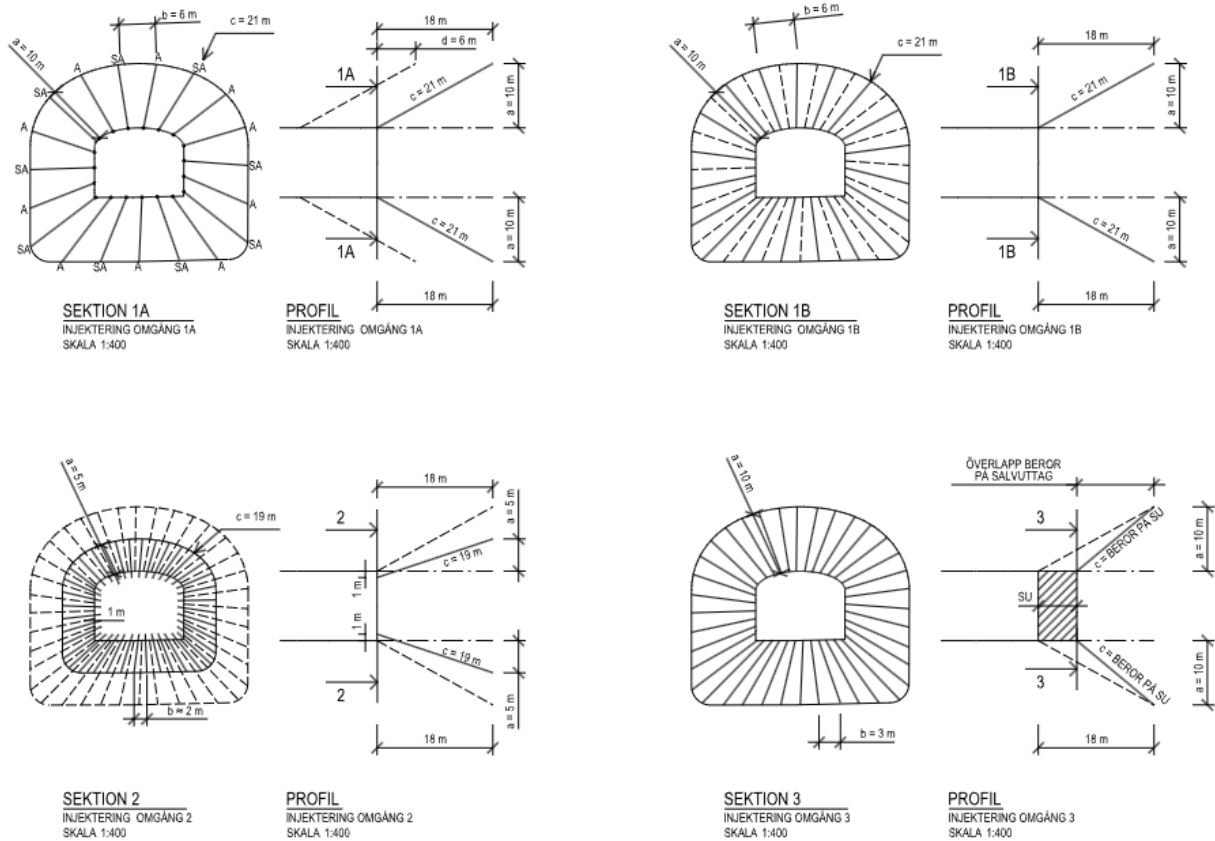
Injekteringsklass 3 Vattenpassage (IK3 Vattenpassage) är en specifik teknisk lösning för förinjektering vid tunneldrivning genom svaghetszon under sjöpassager i Hammarby kanal och Sickla kanal.

IK3 Vattenpassage syftar till att hantera risken för ”mycket stora (okontrollerbara) inläckage”, stegvis täta berget och utvärdera tätningsresultaten innan fortsatt bergschakt. Arbetsgången innefattar sonderingshål, en första omgång med split-spacing-förfarande, en obligatorisk andra omgång och kriterier för ytterligare omgång 3 och 4, Figur 5.5.



Figur 5.5. Utdrag från ritning med arbetsgång för förinjektering enligt *IK3 Vattenpassage* med stegvisa observationer, kontroller och åtgärder.

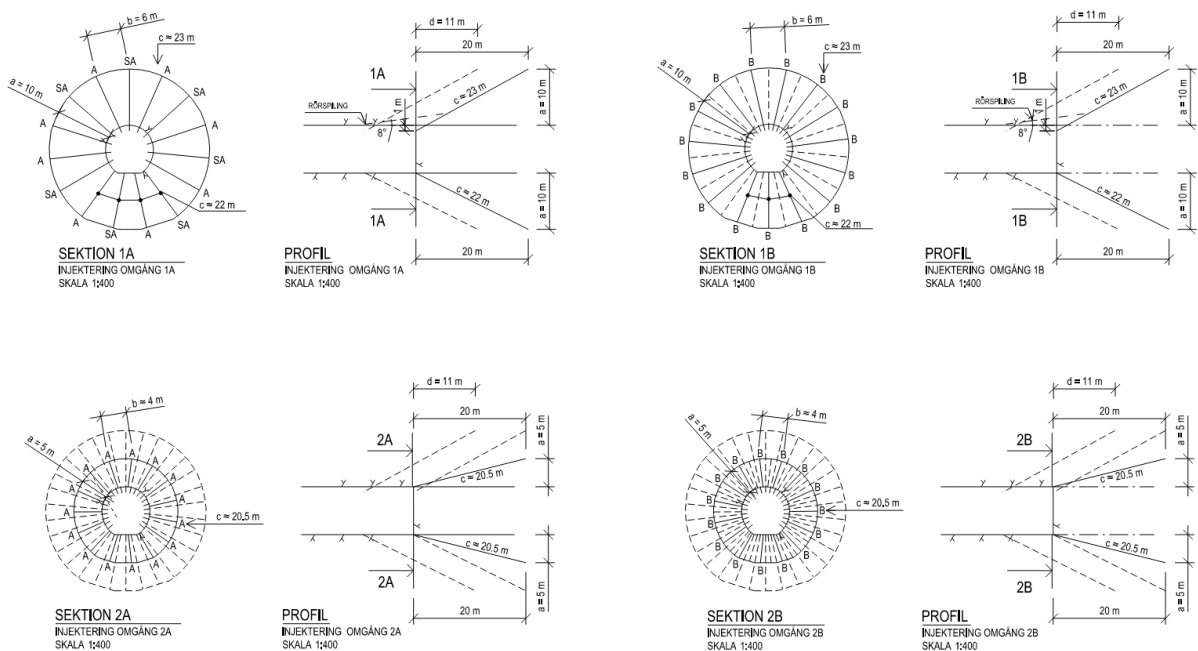
IK3 Vattenpassage har instruktioner för åtgärd vid mycket stora inläckage, anpassad skärmgeometri och stoppkriterier. Anpassning av skärmgeometrin innebär ökad stickning och ökat överlapp mellan injekteringskärrmar. Anpassning av stoppkriterier innebär kriterier med ökad tid och injekterad volym, kriterier med observation om bruksflödet och kriterier för byte av bruksblandning. Se Figur 5.6 för utdrag från ritning med sektion och profil för skärmgeometri enligt *IK3 Vattenpassage*.



Figur 5.6. Utdrag från ritning med sektion och profil för skärmgeometri enligt *IK3 Vattenpassage*.

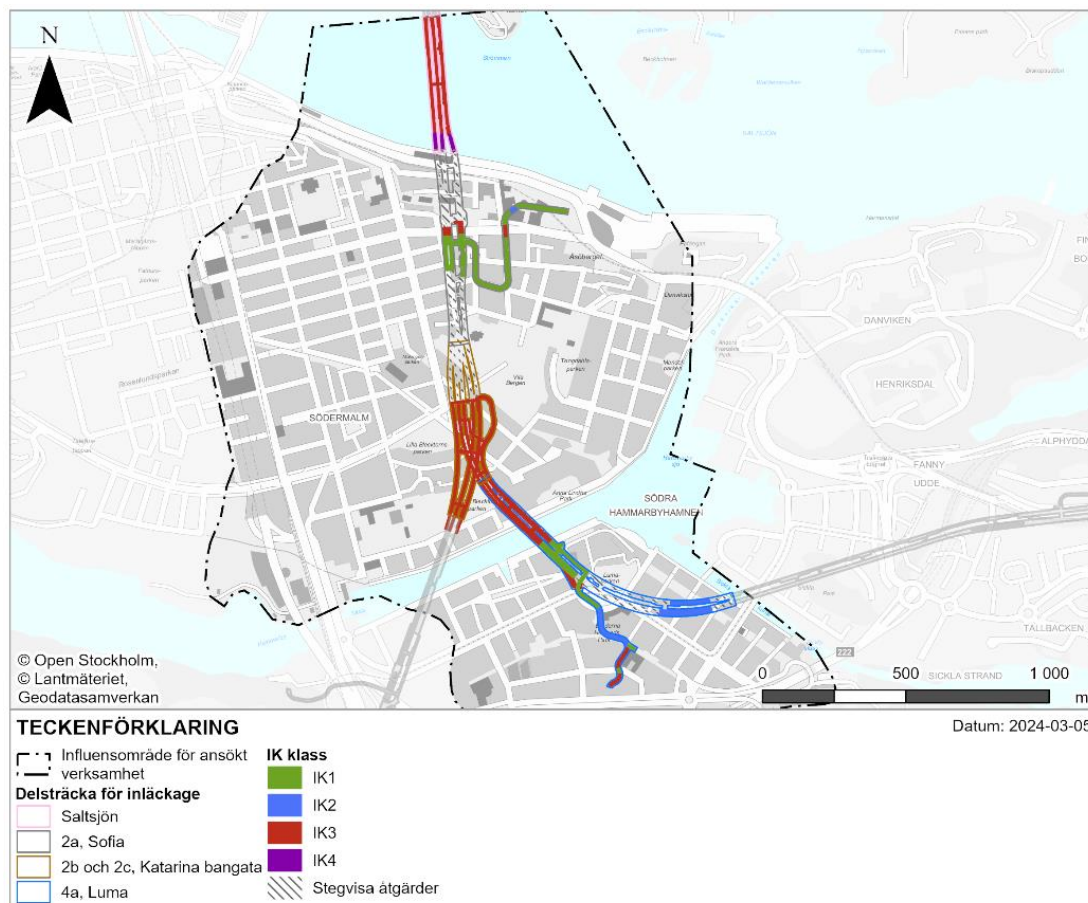
5.2.1.3.1 *IK4 Vattenpassage*

Injekteringsklass 4 vattenpassage (*IK4*) är specifik teknisk lösning för förinjektering vid tunneldrivning genom svaghetszon Saltsjöförkastningen under Saltsjön strax norr om Stadsgårdsleden. Förinjektering är likvärdig *IK3 Vattenpassage* med anpassning till tunneldrivning med rund sektion och förstärkning med rörsplining som medför särskilda krav på en specifik geometri av injekteringskärmor, Figur 5.7.



Figur 5.7 Utdrag från ritning med sektion och profil för skärmgeometri enligt *IK4 Vattenpassage*.

I Figur 5.8 redovisas de förinjekteringsklasser som använts vid tunneldrivning enligt bygghandlingen och i kombination med den utvecklade injekteringsstrategin i byggskedet. Utveckling av det systematiska arbetssättet under byggtiden involverade hela organisationen med beställare, projektörer och entreprenörer, dvs från utförande till analys och resulterade i en ny injekteringsstrategi med stegvisa åtgärder, utveckling av IK3 till Behovsanpassad och nya injekteringsklasser för sjöpassage IK3 respektive IK4.



Figur 5.8. Redogörelse för förinjekteringsklasser som använts vid tunneldrivning enligt bygghandlingen och i kombination med den utvecklade injekteringsstrategin i byggskedet.

5.2.2 Efterinjektering

Utöver förinjektering kan ytterligare tätning av tunnelanläggningen ske med efterinjektering. Efterinjektering är normalt sett inte en lika effektiv metod som förinjektering för att begränsa inläckage av grundvatten. Regionen har bland annat inhämtat erfarenheter från Trafikverkets projekt ”Förbifart Stockholm” i syfte att öka kunskapen om metodik och utförande av efterinjektering. Inom Förbifart Stockholm har ett systematiskt arbete med efterinjektering utförts, vilket delvis har gett en minskning av inläckaget inom det projektet.

Principen för efterinjekteringen är att den ska utföras systematiskt på de sträckor där det kan ge effekt och att injekteringshålarna borraras med brant vinkel i riktning motsatt tidigare utförd injektering eller ”solfjäderformat” (injekteringsborrhål riktade vinkelrätt ut från tunnelkonturen) med primära och sekundära rader. Tanken är att träffa bergets sprickor med en annan vinkel än förinjekteringen samt att utöka den tätade zonen. Efterinjektering utförs runt hela tunnelperiferin eller tak och väggar beroende på behov. Erfarenhetsmässigt, innebär punktåtgärder risk för att inträngande grundvatten ”flyttas” till andra delar av tunneln och att inläckagen totalt sett därmed inte minskar. Vid efterinjektering av tunnelbotten behöver den berggränsas på sträckan och ca 10 meter före och efter det identifierat området. Botten karteras därefter med avseende på

observationer av inträngande grundvatten. Därefter utförs efterinjektering. Utöver systematisk efterinjektering utförs tätning av enskilda läckagepunkter med kemiska injekteringsmedel.

Efterinjektering är en komplex åtgärd som kräver avancerad analys för att bli framgångsrik. Områden med inläckage över godtagbara nivåer är ofta kopplade till sämre bergkvalitet, t.ex. svaghetszoner eller områden i anslutning till svaghetszoner, där genomsläppligt berg förekommer. Särskild vikt läggs därför inledningsvis vid analys av geologiska förutsättningar för att identifiera områden med genomsläppligt zonberg. Därefter utförs detaljerad analys av utförd injektering och övriga observationer – t.ex. förekomst av läckande bulthål och okulära inläckage. Insatserna behöver också planeras ur ett produktionsperspektiv, eftersom kostnaderna för åtgärderna annars blir höga och arbetsmiljön kan bli lidande om flera arbetsmoment ska utföras på samma platser i tunnarna. Regionen arbetar systematiskt med att utreda och projektera efterinjekteringsinsatser för utbyggnaden av tunnelbanedelsträckan. Detta utförs inom ramen för upphandlade entreprenader och på samma sätt som för förinjektering är det Regionen som, i sin roll som beställare, avgör vilka efterinjekteringsinsatser som ska utföras.

5.2.2.1 Strategi efterinjektering

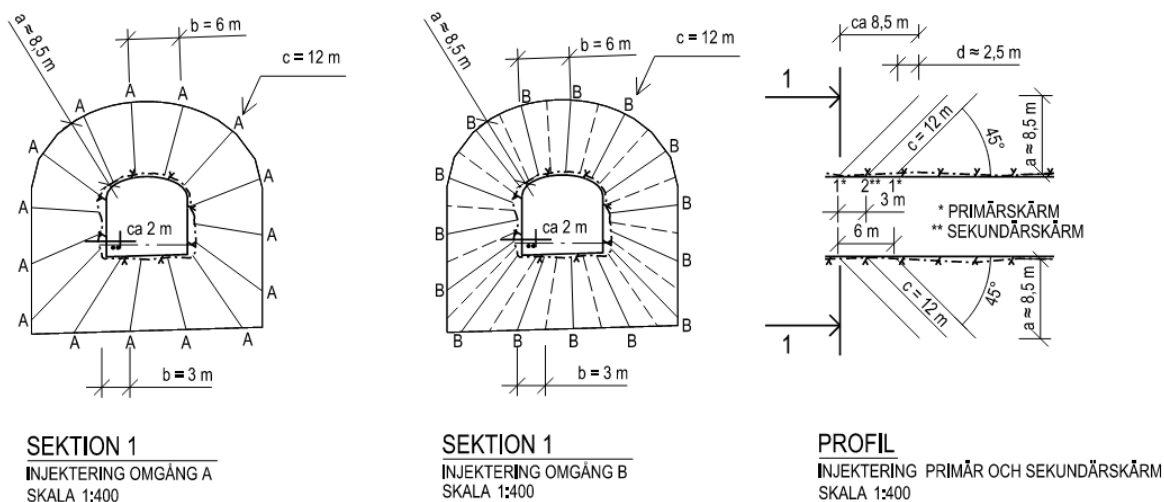
Precis som förinjektering syftar efterinjektering till att täta bergmassan. I jämförelse med förinjektering som utförs i bergmassan innan bergschakt för tunneln, så utförs efterinjektering efter det att tunneln är bergschaktad. Det medför väsentliga skillnader i förfaranden och betydande begränsningar i utförandet vid tätning med efterinjektering. En begränsning består i att injekteringstrycket måste anpassas till den redan bergschaktade tunneln (minskas väsentligt jämfört med förinjektering) för att minimera negativ påverkan på tunnelstabilitet och installerad förstärkning. För att få erforderlig bruksspridning med lägre tryck måste injekteringstiden ökas. En annan begränsning är att det förekommer rinnande vatten som innebär risk för urspolning av injekteringsbruk. Det kan krävas att injekteringen utförs i flera nivåer i samma injekteringshål (dvs. manschetten placeras på olika djup och hålet injekteras två gånger).

5.2.2.2 Utförande av systematisk efterinjektering

Systematisk efterinjektering utförs med cementbaserade injekteringsmedel och syftar till att ytterligare täta tidigare förinjekterade uttagna tunnelsträckor som har konstaterats ha inläckage som överskrider i tillståndet föreskrivna villkor.

Efterinjektering utförs för ett identifierat område med för höga inläckage runt om tunnelperiferin (botten, vägg och tak). Skärmgeometri vid efterinjektering innebär borrhning i motsatt riktning mot utförd förinjektering, med stickning utanför tidigare förinjekterat område och med hög frekvens (litet avstånd mellan injekteringsskärmarna). Förfarandet syftar till att träffa och täta sprickor och delar av sprickor som inte blivit tätade med förinjektering.

Systematisk efterinjektering utförs med primära och sekundära rader, dvs. först borrar och injekteras rader på 4–8 m avstånd och därefter borrar rader däremellan till slutligt avstånd på 2–4 m, Figur 5.9. Varje skärm kan delas in i A- och B-hål för att minska risk för samband mellan hålen (då bruket via en spricka fyller intilliggande hål) som försämrar bruksspridningen och därmed tätningresultatet.



Figur 5.9 Utdrag från ritning för systematisk efterinjektering av arbetstunnel Londonviadukten med primär- och sekundärskärmar med slutligt avstånd på 3 m.

5.2.2.3 Utförande av behovsanpassad efterinjektering

Behovsanpassad efterinjektering syftar till att reducera risk för att inläckagen ökar kraftigt vid passage av tunnelpartier med genomsläppligt berg och åtgärda specifika problem för att uppfylla på anläggningen ställda funktions- och kvalitetskrav, t.ex. hantera oönskade punktläckage eller erhålla erforderlig tätning för att förstärkningen ska kunna installeras med uppfyllt kvalitet.

Behovsanpassad efterinjektering kan utföras med cementbaserade injekteringsmedel med systematik för att hantera ett visst problem – t.ex. droppande och rinnande vatten i tak som medför att förstärkning inte kan installeras, sprutbetongen inte fäster på blöta bergytter och bultborrning medför risk för kraftigt ökat inläckage. Efterinjektering utförs då en kort sträcka bakom tunnelfronten i tak och vägg innan fortsatt bergschakt.

Samtliga hål som har borrats för bultförstärkning som överskrider krav på tillåten vattenföring efterinjekteras med cementbaserade injekteringsmedel.

Behovsanpassad injektering kan också utföras med kemiska injekteringsmedel – t.ex. för att kontrollera stora plötsliga inläckage eller hantera punktläckage som inte varit möjliga att åtgärda vid efterinjektering med cementbaserade injekteringsmedel.

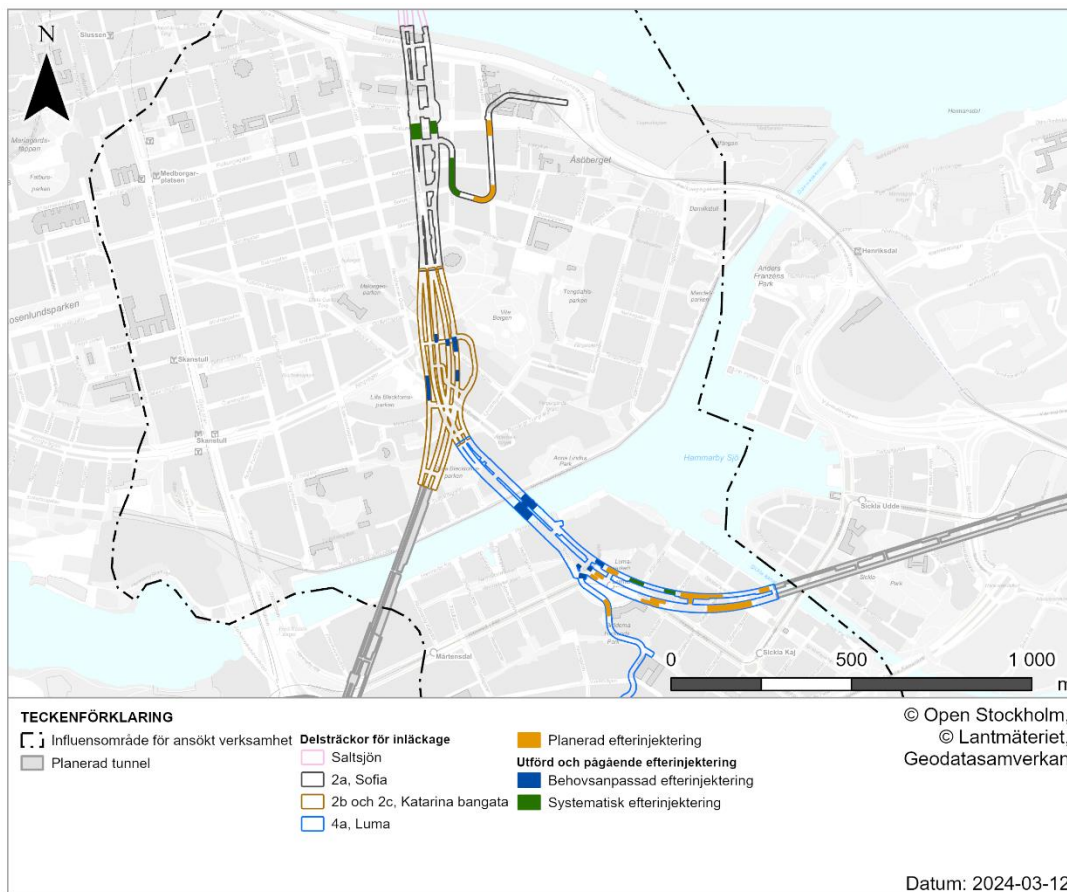
5.2.2.4 Analys av behov av efterinjektering

Regionen har analyserat de utsprängda tunnarna för att utreda vilka sektioner av tunnarna där efterinjektering kan minska inläckaget. Detta har utförts genom att först studera hur inläckaget till tunnarna har utvecklats. Genomsläppliga områden som bedöms tillföra en relativt stor mängd inläckage har därefter preciserats genom kombination av observationer, t.ex:

- Geologiska och hydrogeologiska förhållanden (karteringar, inläckage i injekteringsborrhål)
- Utvärdering av utförd förinjektering (injekterad bruksvolym, injekteringsförlopp)
- Minskning av tätad zon runt tunneln (bergutfall, deformationer)
- Okulära observationer om inläckage (förekomst och ställen – vägg/tak/strukturer),
- Och/eller problem med läckande bulthål (hål som fått efterinjekteras och nytt hål borrats).

Vidare har Regionen utfört en projektering av åtgärder i aktuella sträckor.

Flera extra mätdammar anläggs i områden med högre inläckage med syftet att identifiera och avskilja tunneldelar för uppföljning av inläckage och utvärdering av resultat från efterinjektering. Inom delsträcka 4a Luma har fyra extra mätdammar byggts och inom delsträcka 2a Sofia har tre mätdammar byggts. Ytterligare mätdammar är planerade inom området vid 2b och 2c Katarina bangata.



Figur 5.10. Karta över planerad och utförd efterinjektering i 2a Sofia, 2b och 2c Katarina bangata och 4a Luma. Orangea områden är områden med planerad efterinjektering, gröna områden är områden där systematisk efterinjektering har utförts eller pågår och blåa områden är områden där behovsanpassad efterinjektering har utförts.

Arbetet med analysen för behovet av systematisk efterinjektering är utförd för delsträckorna 2a Sofia och 4a Luma (för de uttagna tunneldelarna) och det systematiska efterinjekteringsarbetet har påbörjats. När det gäller delsträckorna Katarina bangata (2b och 2c) görs analysen kontinuerligt under tunneldrivningen och åtgärder utförs så snart som möjligt och ofta innan nästeföljande förinjekteringsläge (dvs <math><18\text{ m}</math>). Vad avser delsträcka Saltsjön har motsvarande analys inte genomförts då det inte förekommer några känsliga objekt som kan lida skada av uppkomna inläckage. Figur 5.10 redovisar vilka delar av tunnelarna som identifierats ha behov av efterinjektering och tunneldelar där efterinjektering pågår eller redan har utförts, antingen som systematisk eller som behovsanpassad efterinjektering.

5.3 Förväntat inläckage med utvecklad tätningsteknik

Den förbättring och anpassning av injekteringsmetodiken avseende förinjektering som redogjorts för ovan har, som framgår av redogörelsen, utvecklats så långt som bedöms vara tekniskt möjligt och rimligt vid konventionell tunneldrivning. Dessutom har analyser utförts av vilka

efterinjekteringsåtgärder som är tekniskt möjliga och som kan ge en mätbar minskning av inläckaget. Dessa åtgärder med efterinjektering pågår, förutom där det är uppenbart att det inte har någon miljömässig effekt såsom under Saltsjön och Hammarby kanal (då det inte är möjligt med grundvattennivåsänkningar). Detta avsnitt redovisar vilket inläckage som kan förväntas med aktuell injekteringsmetodik utifrån de hydrogeologiska förutsättningar som föreligger.

I Tabell 5.2 redovisas för de aktuella delsträckorna: nuvarande inläckagevillkor för drift- och byggtiden samt uppskattade slutgiltiga inläckageflöden för drifttid efter genomförda tätningsarbeten. Uppskattningen är baserad på erfarenheter från tunneldrivningen, utförda tätningsarbeten, effekt av skyddsinfiltration och bedömt inläckage för de delar som kvarstår att driva ut. Bedömningen redovisas närmare i *Bilaga B1 PM Hydrogeologi*. Då det inte finns några villkor för grundvattenbortledning från öppna schakt i jord räknas inte de flödena med i inläckage för byggtiden.

Tabell 5.2. Tabellen redovisar nuvarande inläckagevillkor för drifttiden och byggtiden samt uppskattade slutgiltiga inläckageflöden efter tätningsarbeten för de aktuella delsträckorna under drifttiden.

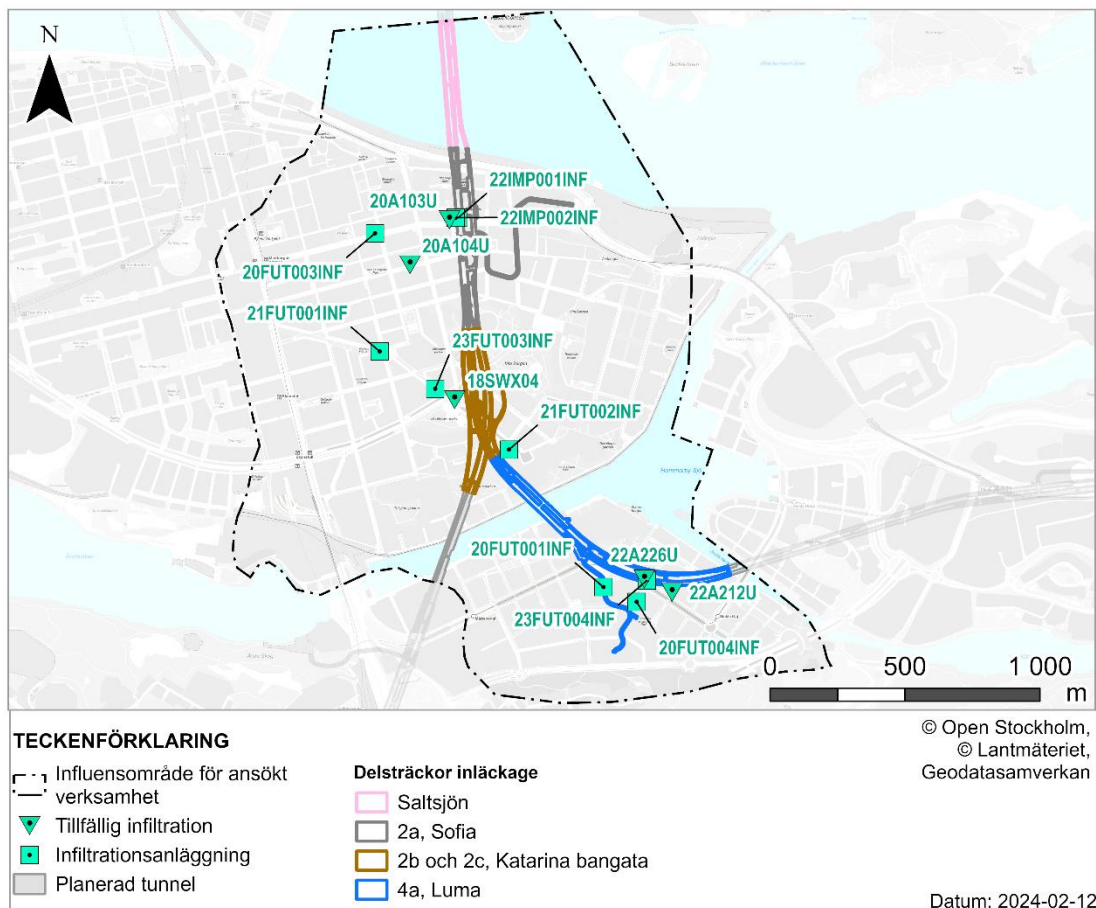
Delsträcka	Villkor i befintligt tillstånd för byggtid (riktvärde* eller begränsningsvärde)	Villkor i befintligt tillstånd för drifttid (begränsningsvärde)	Uppskattat slutgiltigt inläckage för drifttid
Saltsjön	Inget värde	100 l/min	200 l/min
2a, Sofia	325 l/min*	80 l/min	150 l/min
2b, Katarina bangata mot söderort	140 l/min	35 l/min	110 l/min
2c, Katarina bangata mot Nacka		30 l/min	
4a, Luma	245 l/min	125 l/min	245 l/min

6 Skyddsinfiltration

6.1.1 Inledning

Skyddsinfiltration innebär att vatten tillförs grundvattenmagasinen genom infiltrationsanläggningar för att kompensera för sjunkande grundvattennivåer. Regionen har enligt gällande tillstånd ha rätt till (respektive är skyldig) att vid behov infiltrera vatten i jord för att upprätthålla godtagbara grundvattennivåer för att undvika skada vid grundvattenkänsliga objekt. För detta syfte har anläggningar för skyddsinfiltration, anlagts inom influensområdet.

Totalt inom influensområdet i Södermalm och Hammarby sjöstad finns nio driftsatta infiltrationsanläggningar. Utöver dessa finns det även ett antal temporära infiltrationspunkter i form av grundvattenrör som kan nyttjas vid behov för tillfällig infiltration. Endast ett fåtal av de infiltrationsanläggningar som idag används under byggskedet bedöms behövas även i driftskedet. I Figur 6.1 redovisas var nuvarande infiltrationsanläggningar är belägna och var det finns beredskap för tillfällig infiltration.



Figur 6.1. Karta över infiltrationsanläggningar och beredskap för tillfällig infiltration på Södermalm och i Hammarby sjöstad.

Infiltrationsinsatserna styrs med så kallade åtgärdsnivåer vilka har definierats för ett antal utpekade grundvattenrör. Åtgärdsnivåerna är specifika för respektive grundvattenrör och utgör lägsta tillåtna grundvattennivåer. I det kontrollprogram som tagits fram för vattenverksamhet definieras åtgärdsnivå 1 och åtgärdsnivå 2. Ett underskridande av åtgärdsnivå 1 ska uppmärksamma en eventuell första påverkan från anläggandet av tunnelbanedelsträckan och orsaken till avsänkning ska utredas. Om åtgärdsnivå 2 underskrids ska åtgärd vidtas för att höja grundvattennivån. Sådan åtgärd ska primärt bestå i att utföra infiltration av vatten till grundvattenmagasinet. Se Figur 6.2 för ett exempel på hur en infiltrationsanläggning i nedstigningsbrunn ser ut.



Figur 6.2. En infiltrationsanläggning under mark. I nedstigningsbrunnen finns styrordning för vattenflöde och el till frostskydd av vattenledningar.

6.1.2 Teknisk lösning infiltrationsanläggning

Syftet med skyddsinfiltation är att skydda objekt eller mark som är känslig för marksättningar orsakade av grundvattenavsänkning för skada. I en infiltrationsanläggning tillförs vatten till grundvattenmagasinet i jord genom en infiltrationsbrunn med filter eller ett infiltrationsrör med öppen spets som är borrarat från markytan. Rörets eller brunnens spets respektive filter installeras i det vattenförande jordlagret närmast bergytan, i det undre grundvattenmagasinet. Typ av rör/brunn samt dimension anpassas efter platsens egenskaper, önskad infiltrationsmängd och jordlagerförhållanden. Se Figur 6.3 för en schematisk bild över hur en infiltrationsanläggning är utformad och *Bilaga A1* för de typritningar som infiltrationsanläggningarna tagits fram efter.

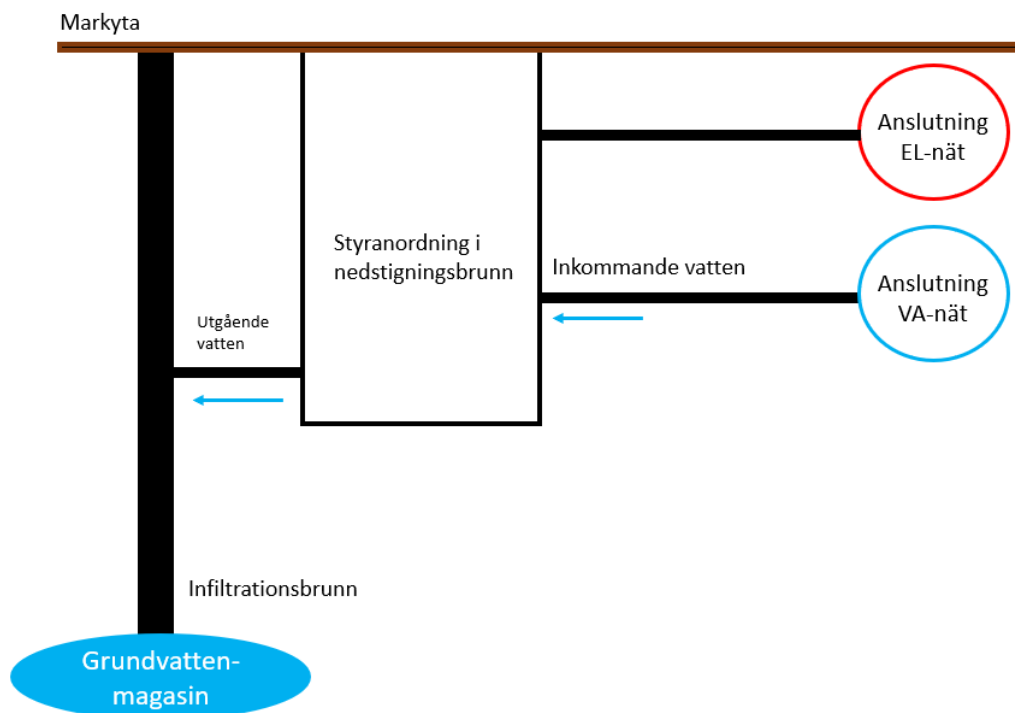
Styrning av infiltrationsflödet utförs manuellt utifrån ett styrskåp ovan mark eller i en nedstigningsbrunn under mark. Styrskåpet/nedstigningsbrunnen innehåller bland annat reglage för vattenflöde och flödesmätare. På så sätt kan önskad vattenvolym ställas in genom ett konstant flöde som kontinuerligt tillförs vattenmagasinet och kan därmed motverka ett underskott i vattenbalansen som riskerar att uppstå när grundvatten rinner ner i berg och in i tunnlar (inläckage). I styrskåpet kan även styrning av el för uppvärmning av ledningar vid minusgrader utföras.

Innan infiltrationsanläggningen byggs utförs ett infiltrationstest där infiltrationskapaciteten i det borrarade röret/brunnen testas under en kortare tid, ca 8–48 timmar. Vatten tillförs då röret/brunnen från en vattenkälla samtidigt som omgivande grundvattennivåer i grundvattenrör övervakas. På så sätt samlas information om möjligt infiltrationsflöde till grundvattenmagasinet samt hur stort område som påverkas av infiltrationen. Påverkansområdet kan variera stort beroende på jordlagrens och magasinets kapacitet och förutsättningar.

Jordlagrens vattenförande förmåga på platsen är avgörande för en infiltrationsanläggnings kapacitet. Oavsett brunnens tekniska utförande går det inte utan övertryck att infiltrera vatten snabbare än jorden kan leda bort det från brunnen, men kapaciteten kan också påverkas av brunnens tekniska utformning (filtrets utformning, filterlängden, och rördiametern etc.). De flesta

infiltrationsanläggningar inom influensområdet har infiltrationsrör i stål med dimensionen 5 cm och öppen spets.

När infiltrationsanläggningen väl är färdigbyggd utförs ett drifttest av anläggningen under en längre period, ca 2–4 veckor. Under drifttestet undersöks olika infiltrationsflöden för att anpassa flödet till de lokala förhållandena. Det är även viktigt att inte infiltrera för stora vattenvolymer då det kan finnas risk för översvämning av närliggande källare eller uppträngning av vatten på markytan.



Figur 6.3. En schematisk skiss över en infiltrationsanläggning med nedstigningsbrunn.

6.1.3 Permanent infiltration

Alla infiltrationsanläggningar som byggts under byggskedet kommer inte att behövas under tunnelbanans driftskede. Behovet av infiltrationsanläggningar under driftskedet kommer att fastställas med hjälp av underlag från de infiltrationsåtgärder som har behövts under byggskedet. En utredning avseende behov av permanent infiltration under driftskedet har utförts i *Bilaga B1 PM Hydrogeologi*. För den sökta verksamheten kommer det inte krävas några ytterligare anläggningar än de som redan finns etablerade idag (Figur 6.1), men det kan finnas behov av justerade infiltrationsflöden baserat på hur inläckaget med tiden stabiliserar sig. Anläggningarna bedöms kunna hantera ett eventuellt behov av större infiltrationsflöde. Eventuellt kan det bli aktuellt att ersätta någon av anläggningarna med en som är mer anpassad för permanent infiltration, till exempel om dränvatten används som vattenkälla vilket beskrivs i avsnitt 6.1.4 nedan.

Under tunnelbanans driftskede kommer ett nytt kontrollprogram för vattenverksamhet tas fram som anpassas efter projektets förhållanden utan bergsdrift. I kontrollprogrammet kommer det att finnas en beskrivning av styrning, driftorganisation och underhållsrutiner för de permanenta infiltrationsanläggningarna. Det kommer att finnas en driftorganisation för permanent infiltration som ansvarar för underhåll och kontroll av anläggningarna. Infiltrationsinsatser kommer dessutom att vara automatiserat och det kommer att finnas larm för eventuella driftstörningar. Det arbetssättet har fungerat väl i liknande projekt som till exempel Citybanan. Någon specifik

reservkapacitet av vatten vid exempelvis tillfälliga driftstörningar bedöms det inte finnas behov för, då sådana avbrott inte riskerar leda till att skador uppkommer.

6.1.4 Försörjning av vatten till infiltrationsanläggningar

Infiltrationsanläggningarna försörjs under byggskedet med vatten från Stockholm Vatten och Avfalls (SVOA) ledningsnät. Återanvändning av inläckande vatten till tunnarna för infiltration, även så kallat dränvatten, kan komma att bli aktuellt under driftskedet av tunnelbanan vid permanent infiltration. Detta är inte aktuellt under byggtiden på grund av bristande vattenkvalitet, se vidare nedan. Ur ett hållbarhetsperspektiv är det resurseffektivt att återanvända inläckagevattnet och därmed undvika att behöva använda vatten från ledningsnätet till infiltration. Vidare finns det ekonomiska incitament för Regionen, utifrån ett långsiktigt perspektiv, att återanvända inläckagevattnet i stället för dricksvatten. Att använda renat dränvatten för infiltration skulle ge en lägre driftkostnad under driftskedet och i förlängningen vara en besparing för skattebetalarna.

Vattnet som används för skyddsinfiltration behöver hålla en god vattenkvalitet, både för att föroreningar inte ska tillföras grundvattnet och för att infiltrationsanläggningarnas funktion inte ska försämrats över tid. Under byggskedet blandas inläckande grundvatten med processvatten från tunneldrivningen och vattnet har därmed inte tillräckligt god kvalitet för att kunna användas för infiltration. Under driftskedet används inget processvatten och dränvattnet kommer således att vara av ungefär samma kvalitet som det lokala grundvattnet (en viss försämring av vattenkvaliteten är dock möjlig vid exempelvis rengöring av spåren eller vid en olyckshändelse). Allt dränvatten från undermarksanläggningen kommer pumpas till en reningsanläggning vid station Sofia innan det släpps ut i Saltsjön. Efter rening bedöms dränvattnet också hålla tillräckligt hög kvalitet för att användas till infiltration.

Det finns dock svårigheter i att under driftskedet använda inläckande grundvatten för infiltration. Reningsanläggningen i VA-stationen vid Sofia är belägen ca 100 meter under mark, vilket kräver kraftiga pumpar för att föra vattnet till marknivån. De infiltrationsanläggningar som anses behövas i driftskedet ligger långt ifrån VA-stationen. På grund av att tunneln lutar ned mot VA-stationen innebär det ungefär samma lyfthöjd att dra rör till en tunneldel som inte ligger lika djupt. Ett alternativ för återanvändning av renat dränvatten är just att leda tillbaka vatten från reningsanläggningen genom servicetunneln och upp genom ett borrarat hål till markytan. En vattenledning behöver därefter dras, ovan mark i ledningsgrav, och ansluta till den befintliga infiltrationsanläggningen. I VA-stationen finns inte plats för fler pumpar och den behöver i så fall utökas i storlek. Oanvänt utrymme finns i närheten av station Sofia, där en magasinering av renat vatten med pumpar skulle kunna planeras. På grund av de långa ledningdragningarna och den höga lyfthöjden är det en kostsam och svårimplementerad lösning.

En alternativ lösning är att avleda dränvatten innan det når till reningsanläggningen i Sofia. Som nämnt ovan är rening dock nödvändig och en lokal reningsanläggning i mindre storlek skulle krävas. Detta utförs med fördel genom ett sandfilter. Ledningar behöver dras genom ett borrarat hål upp till marknivån. Dock krävs magasinering av vatten i tunneln för att en lösning med pump till ytan ska vara möjlig. Vid en lågpunkt vid Luma kommer en pumpstation byggas, men som inte är tillräckligt stor för att rymma en ytterligare pump med magasinering. Ytterligare pumpstationer i tunneln närmare en infiltrationsanläggning har inte projekterats och försänkningar skulle behöva sprängas ut för att ge utrymme till detta. Det är inte att föredra att utföra mer sprängningsarbeten med tanke på att berget i detta område är genomsläppligt och svårt att täta redan som det är.

Hur mycket vatten som behöver skyddsinfiltreras genom infiltrationsanläggningarna varierar naturligt under året. Årstider med mer nederbörd ger ett mindre behov av infiltration och vice versa. Inom utredningsområdet är flera infiltrationsanläggningar i drift. I de områden där

permanent infiltration kommer att krävas, bedöms infiltrationsflödet bli ungefär lika stort som det flöde som infiltreras i dagsläget i samma områden. Se vidare i *Bilaga A1 PM Hydrogeologi*.

Inom delsträcka 2a Sofia infiltreras totalt ca 25–40 l/min för att uppfylla villkor i tillståndet om infiltration. Övervägande delen av området är utrett och bedöms inte vara känsligt med avseende på grundvattenpåverkan, men det kvarstår ett område som kräver ytterligare utredningar vilket Regionen avser att utföra. Om resultatet visar att objekten inte är känsliga för en grundvattennivåavsänkning kommer ingen infiltration att behövas under drifttiden. Det kommer alltså inte bli någon skillnad i infiltrationsmängd eller antal anläggningar för sökt verksamhet jämfört med om ursprungligt villkor skulle innehållas.

Inom delsträcka 2b och 2c Katarina bangata infiltreras totalt ca 30–60 l/min under byggtiden i området kring korsningen Ringvägen och Katarina Bangata. Infiltrationsbehovet under drifttiden kommer att variera över året men bedöms bli liknande eller något högre än idag och variera mellan 50–80 l/min. Den tillkommande infiltrationen jämfört med om ursprungligt villkor skulle innehållas bedöms vara ca 20 l/min.

Inom delsträcka 4a Luma infiltreras totalt ca 20–50 l/min i alla aktiva anläggningar inom området runt Lumabågen och Maltgatan samt norr om Hammarby allé (Babordsgatan, Korphoppsgatan och Lugnets allé). Infiltrationsbehovet under drifttiden kommer att variera över året men bedöms bli liknande eller något högre än idag och variera mellan 30–60 l/min. Den tillkommande infiltrationen jämfört med om ursprungligt villkor skulle innehållas bedöms vara ca 10 l/min.

När det gäller vattenförsörjning till infiltrationsanläggningarna kan antingen vatten från det kommunala vattenledningsnätet nyttjas eller så kan återinfiltration av vatten från tunnlarna användas. När det gäller återinfiltration behöver i så fall ett sådant vattenledningsnät projekteras och anpassningar behöver göras såväl i tunnlarna, som ovanför tunnlarna. Exakt grundvattenpåverkan och behov av infiltration är inte känt förrän hela tunnelsystemet är färdigutbrutet, vilket försvårar möjligheten att planera för de tekniska lösningarna i tid. Det kan också finnas juridiska frågor som behöver hanteras, som exempelvis avsaknad av ledningsrätt och markrätt, som försvårar anläggandet av ledningsnät och de markanspråk som krävs.

Det finns fördelar med att vattnet till befintliga infiltrationsanläggningar inom området distribueras via ledningsnätet. SVOA har effektiva anläggningar för vattenrening och ett väl utvecklat distributionsnät inom de områden där skyddsinfiltrationen behöver ske. SVOA har även en organisation för drift och underhåll samt ledningsrätt för utveckling av distributionsnätet.

Utformningen av permanenta infiltrationsanläggningar och vattenförsörjningen till dessa kommer att utredas vidare inom den fortsatta byggtiden, i samråd med SVOA.

