

PM Platsgjuten betonginklädnad med plastmembran

Bilaga B2

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

Titel: PM Platsgjuten betonginklädnad med plastmembran

Uppdragsledare: Martin Hellgren

Författare: Björn Linde

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.....	4
2	Sammanfattning	5
3	Åtgärder för att reducera inläckaget.....	6
4	Olika typer av tätning med betonginklädnad	8
5	Tätning med platsgjuten betonginklädnad med plastmembran	9
5.1	Inledning.....	9
5.2	Konstruktion.....	10
5.3	Betonginklädnadens geometri.....	11
5.4	Arbetsgång vid byggande av betonginklädnad med plastmembran....	12
5.4.1	Översikt.....	12
5.4.2	Utökning av sprängd tvärsektion.....	12
5.4.3	Tätning mellan berg och betonginklädnad	13
5.5	Tidigare erfarenheter av metoden	14
6	Metodens användbarhet inom nya tunnelbanan.....	15
6.1	Påverkan på tunnelanläggningens utformning	15
6.1.1	Inledning.....	15
6.1.2	Utsprängda geometrier inom område 2a i Sofia.....	17
6.1.3	Utsprängda geometrier inom område 2b och 2c Katarina Bangata	18
6.1.4	Utsprängda geometrier inom område 4a i Luma	19
6.2	Påverkan på utförd injektering.....	20
6.3	Påverkan på skydds-zonen kring tunnelutrymmet, markåtkomst och planförutsättningar.....	21
6.4	Analys av ökat inläckage under byggtiden.....	22
6.4.1	Delsträcka 2a Sofia	22
6.4.2	Delsträcka 2b och 2c Katarina Bangata	22
6.4.3	Delsträcka 4a Luma	22
6.5	Konsekvenser för övriga tekniska system.....	23
6.6	Konsekvenser för kostnad, tid och klimatpåverkan	23
6.6.1	Beräkningsförutsättningar	23
6.6.2	Kostnad.....	28
6.6.3	Byggtid.....	28
6.6.4	Klimatpåverkan	28

1 Inledning

Region Stockholm har fått tillstånd till att, inom ramen för utbyggnaden av tunnelbanan från Kungsträdgården till Nacka och Söderort, leda bort inläckande grundvatten från tunnelanläggningen. Tillståndet är förenat med ett antal villkor, bland annat att tätning ska genomföras så att inläckaget, under bygg- respektive drifttid, inte överskrider angivna värden för olika delsträckor.

Region Stockholm har utfört tunneldrivningen på det sätt som angivits i ansökan, där byggmetoden borrhning och sprängning har tillämpats. Det innebär att tätning med en, eller flera, injekteringsomgångar har utförts före utsprängning (förinjektering).

Efter att tunnarna har sprängts ut har tunnarna förstärkts med sprutbetong och bergbultar. Dessutom har efterinjektering (dvs. kompletterande injekteringsomgångar efter sprängning) utförts på sträckor där det har förekommit svaghetszoner i berget.

Under år 2024 kommer tunnarna att vara utsprängda och förstärkta i sin helhet, se mörkblå markering i figur 1 nedan.



Figur 1. Utsprängda tunnlar år 2024.

Trots omfattande tätningsarbeten bedömer Region Stockholm att inläckagevillkoret för drifttiden inte kommer att kunna innehållas för delsträckorna 2a Sofia och 4a Luma, se figur 2 i avsnitt 3 nedan. Dessa delsträckor är i princip redan färdigutdrivna och det faktiska inläckaget överskrider villkorsvärdena för drifttiden.

Inom delsträckorna 2b och 2c Katarina Bangata har ungefär två tredjedelar av tunneldrivningen utförts. Det faktiska inläckaget ligger än så länge under villkorsvärdet för drifttiden (det samlade värdet för bägge delsträckorna), men givet att kvarvarande tunneldrivning förväntas passera flera svaghetszoner är det osäkert om inläckagevillkoret för drifttiden kommer att kunna innehållas.

Region Stockholm bedömer att tätningen av berget har utförts, och alltså utförs, i den utsträckning som är tekniskt möjlig och rimlig. För att det faktiska inläckaget till delsträckorna 2a Sofia och 4a Luma ska kunna begränsas till villkorsnivåerna för drifttiden behöver ytterligare tätningsåtgärder (annat än för- och efterinjektering) vidtas. Sådana åtgärder kan också visa sig krävas för att innehålla inläckagevillkoret för drifttiden för delsträckorna 2b och 2c Katarina Bangata. Den enda metod som Region Stockholm har identifierat som möjligen skulle kunna begränsa inläckaget ytterligare är att täta tunnlarna med en membranförsedd betonginklädnad.

Syftet med den här promemorian är att utreda genomförbarheten och konsekvenserna av att tillämpa en eftermonterad tätning i form av en platsgjuten membranförsedd betonginklädnad.

2 Sammanfattning

Det är inte självklart att ett byte av tätningsmetod till betonginklädnad och membran leder till att det samlade inläckaget till tunnelanläggningen minskar, eller att inläckagevillkoret för de aktuella delsträckorna kan innehållas.

Att i dagsläget, efter det att de aktuella delsträckorna redan har sprängts ut, byta från en tätningsmetod baserad på injektering till en tätning med betonginklädnad kräver förändring av tvärsektionen i befintliga, bergschaktade tunneldelar. Detta tekniskt krävande arbete har aldrig tidigare utförts i en redan utsprängd anläggning med lika komplexa och varierande tunnelgeometrier som tunnelbanan. Det saknas därmed praktisk kunskap om hur effektiv åtgärden kan tänkas vara, men även kunskap om vilka risker som är förknippade med att tillämpa metoden under föreliggande omständigheter. Vissa erfarenheter finns från projekt Hallandsås, där det dock var fråga om betydligt gynnsammare geometriska förhållanden med ett fast tunneltvårsnitt.

Nedan sammanfattas förutsättningarna för och de huvudsakliga konsekvenser som följer av att i efterhand täta redan utsprängda tunnlar med en membranförsedd betonginklädnad:

- Tunnlarna inklusive utförd bergförstärkning och injektering behöver strossas (dvs. sprängas större) och därefter förstärkas på nytt för att uppnå en lämplig geometri och skapa utrymme för inklädnaden.
- Arbetet med strossning kommer kraftigt försämra effekten av redan utförd injektering och ge ett ökat inläckage av grundvatten under byggskedet.
- Betonginklädnad behöver installeras på längre tunnelsträckor för att få någon betydande tätande effekt. Erfarenhetsmässigt medför otillräcklig omfattning på inklädnaden betydligt större risk för att inläckaget flyttas till oinklädda delar.
- Den rationella produktionsmetoden för att platsgjuta en lång utsträckt betonginklädnad är, i normala fall, att gjuta i sektioner och återanvända gjutformarna, ofta rälsburna. För att uppnå en likvärdig rationell produktionsmetod i aktuella tunnlar krävs att tvärsnittet

stressas ut till samma storlek. Detta innebär att vissa tunnelsträckor utförs ”överstora” för att matcha utrymmesbehovet för de största formarna.

- Vissa enkelspårtunnlar kommer av stabilitetsskäl att behöva kombineras till en stor dubbelspårtunnel, vilket skulle inkräkta betydligt på skyddszonen och i vissa fall riskera att leda till intrång utanför skyddszonen.
- Den befintliga järnvägsplanen och detaljplanen ger inte förutsättningar för ett utökat tunnelutrymme med tillhörande skyddszon vilket därmed behöver hanteras i nya planprocesser utmed hela sträckan där betonginklädnad byggs.
- Det stressade berget, med en fast volym på ca 350 tusen m³, kommer ha hög inblandning av fiberarmerad sprutbetong och bultstål och kommer därför behöva deponeras som avfall.
- Om tätning med betonginklädnad utförs i den omfattning som troligen hade krävts för att, åtminstone teoretiskt, kunna innehålla inläckagevillkoret för de aktuella delsträckorna, medför detta en ökad klimatpåverkan på grund av borttransporterat berg, tillförd betong och stål för projektet m.m., med 139 819 ton CO₂e.
- Den utökade byggtiden som tätning med betonginklädnad skulle medföra senarelägger driftstart för den nya tunnelbanan med minst 4–5 år. Byggekostnaden för betonginklädnaden uppgår till ca 3,5–4,5 miljarder kr.

3 Åtgärder för att reducera inläckaget

Trots omfattande tätningsinsatser överstiger det faktiska inläckaget till delsträckorna 2a Sofia och 4a Luma villkorsvärdena för drifttiden. Dessa delsträckor är i princip redan färdigutdrivna. Inom delsträckorna 2b och 2c Katarina Bangata har ungefär två tredjedelar av tunneldrivningen utförts. Inom dessa delsträckor ligger det faktiska inläckaget under villkorsvärdet för drifttiden (det samlade värdet för bägge delsträckorna), men givet att kvarvarande tunneldrivning förväntas passera flera svaghetszoner är det osäkert om inläckagevillkoret för drifttiden kommer att kunna innehållas.

För att Region Stockholm ska ha möjlighet att innehålla inläckagevillkoret för drifttiden, se Tabell 1, för de aktuella delsträckorna krävs ytterligare åtgärder (annat än för- och efterinjektering). Detta gäller framför allt för delsträckorna 2a Sofia och 4a Luma, men potentiellt även för delsträckorna 2b och 2c Katarina Bangata.

Tabell 1. Tillåtet högsta inläckage för drifttiden per aktuell delsträcka.

Delsträcka	Högsta tillåtna inläckage (drifttid)
2a Sofia	80 l/min
2b Katarina Bangata mot Söderort	35 l/min
2c Katarina Bangata mot Nacka	30 l/min

Den metod som bedöms ha störst möjlighet att reducera inläckaget ner mot inläckagevillkoret för drifttiden är platsgjuten betonginklädnad. Det finns olika former av betonginklädnader, men platsgjuten betonginklädnad med plastmembran bedöms vara det bästa alternativet i detta fall, se vidare beskrivning i avsnitt 4 och 5.

Tätningmetoden innebär i detta fall i korthet 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, redan injekterat, berg behöver sprängas bort, vilket i byggskedet leder till ett högre inläckage än det inläckage som förekommer till tunnarna idag. En färdigställd och lyckad betonginklädnad kommer att innebära ett reducerat inläckage under drifttiden, inom de delar av tunneln som kläs in. Inläckage under drifttiden kommer dock att ske i utrymmet mellan berget och betonginklädnadens ändrar, där det trots tätning inte är möjligt att få det helt tätt. Antalet ändrar, dvs anslutningar mellan icke inklädda bergtunnlar och betonginklädnad, får alltså en avgörande betydelse för hur stort inläckaget blir under drifttiden. Komplicerade tunnelgeometrier med flera parallella tunnelrör som korsas av tvärtunnlar och stationsutrymmen (vilket förekommer i vissa delar av tunnelanläggningen) ger upphov till fler ändrar. Med antalet ändrar växer även risken att inklädnaden inte lyckas fullt ut vilket, i värsta fall, kan leda till högre inläckage än innan betonginklädnaden utfördes och att åtgärden därmed blir verkningslös eller till och med kontraproduktiv. För att reducera inläckaget maximalt bör, mot bakgrund av ovan, betonginklädnaden byggas längs längre tunnelsträckor där antalet korsande tvärtunnlar och andra anläggningsdelar minimeras.

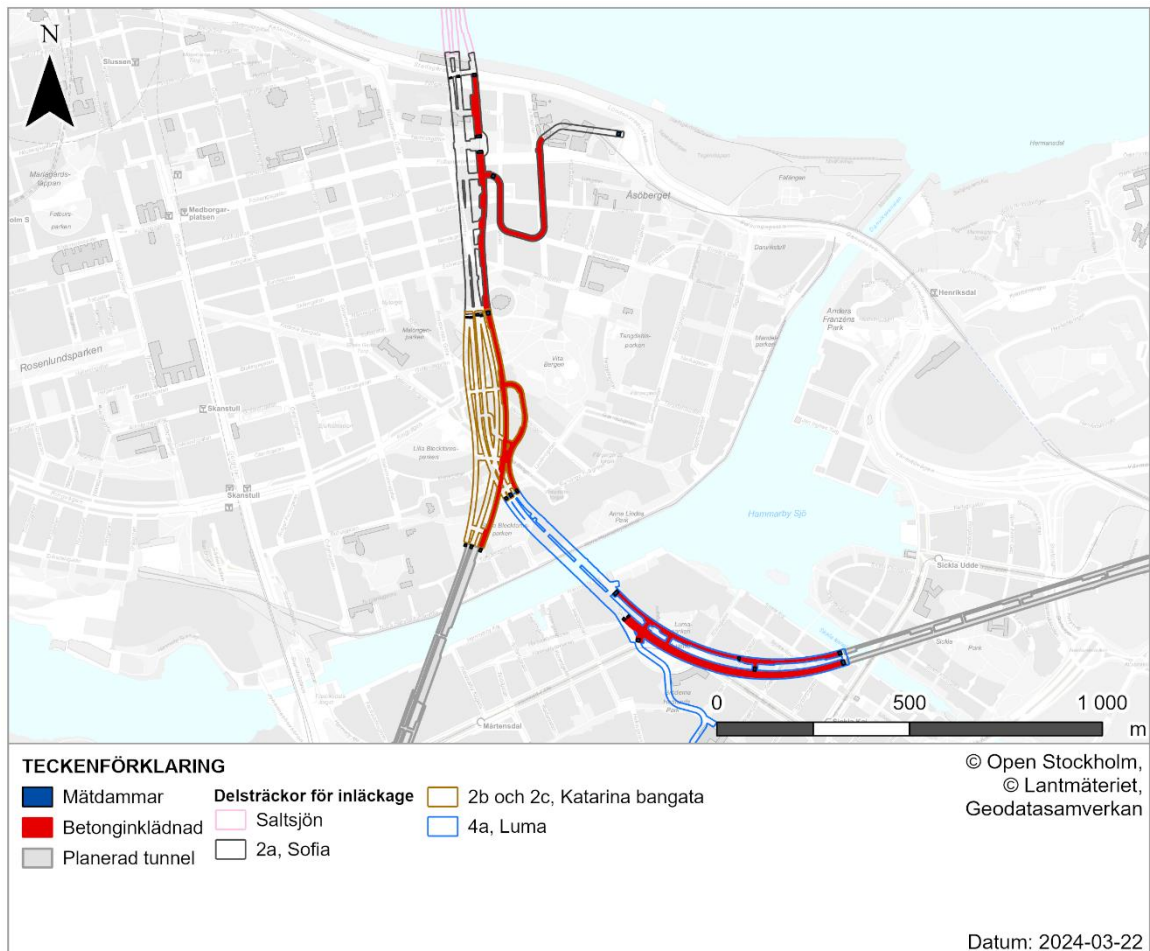
En analys av vilka delar av tunnelanläggningen inom delsträckorna 2a Sofia, 2b och 2c Katarina Bangata och 4a Luma som skulle behöva tätas med betonginklädnad för att om möjligt nå inläckagevillkoret för drifttiden har utförts. De beräkningsfall som har studerats redovisas nedan i Figur 2 och omfattar de delar av tunnelanläggningen, inom respektive delsträcka, där det bedöms tekniskt möjligt att utföra betonginklädnad och motsvarar för delsträcka 2a Sofia: arbetstunnel och servicetunnel, för delsträckorna 2b och 2c Katarina Bangata: de två servicetunnlarna och för delsträcka 4a Luma: spårtunnlar, tvärtunnlar och servicetunnel öster om arbetstunnelns mynning. Att utföra betonginklädnad av större eller andra delar av delsträckorna har inte bedömts som tekniskt möjligt då dessa tunneldelar utgörs av allt för komplicerade geometriska förhållanden som stationer och dess uppgångar, sjöpassage under Hammarby kanal samt parallella enkelspårtunnlar på olika djup.

Inläckageberäkningar för ovan beskrivna beräkningsfall har tagits fram och resultatet redovisas mer utförligt i *Bilaga B3. PM Inläckageberäkningar*. För att uppnå ett minskat inläckage förutsätts omsorgsfullt arbete med kontaktinjektering, ridåinjektering och avslut i berg av relativt god kvalitet. Resultaten visar att det är osäkert att drifttidens villkor skulle kunna nås för alla delsträckor, men att det för de mest gynnsamma beräkningsantagandena är teoretiskt möjligt. I Figur 2 visas de tunneldelar för de olika delsträckorna som skulle behöva tätas med betonginklädnad för att ha en chans att nå inläckagevillkoren och som samtidigt är tekniskt genomförbara.

Betonginklädnadens omfattning och bedömt spann för inläckage under drifttiden för delsträckorna redovisas nedan:

- Delsträcka 2a Sofia: arbetstunnel och servicetunnel, 75–150 l/min

- Delsträcka 2b och 2c Katarina Bangata: de två servicetunnlarna, 60–110 l/min
- Delsträcka 4a Luma: spårtunnel, tvärtunnel och servicetunnel öster om arbetstunnelns mynning, 115–185 l/min



Figur 2. Tunneldelar inom delsträckorna 2a Sofia, 2b och 2c Katarina Bangata och 4a Luma som studerats för en teoretisk betonginklädnad.

4 Olika typer av tätning med betonginklädnad

Det finns flera olika typer av betonginklädnader som har anlagts i bergtunnlar. Sådana inklädnader har dock ofta applicerats för andra syften än för att motverka inläckage, till exempel som bergförstärkning vid mycket dåligt berg eller vid låg bergtäckning. Att använda betonginklädnad som tätningsåtgärd med de förutsättningar som gäller för de aktuella delsträckorna och för tunnelbanan generellt är dock en obeprövad åtgärd.

Några vanliga förekommande typer av inklädnader är:

- *Platsgjuten betonginklädnad med plastmembran (även kallat "betonglining")*. Metoden beskrivs mer utförligt i kommande avsnitt.
- *Platsgjuten betongkonstruktion som gjuts mot berget*. Istället för ett vattentätt plastmembran är det i detta fall den armerade betongen i sig som tar upp vattentrycket och reducerar inläckaget i begränsad grad. Inläckande vatten försämrar dock kraftigt betongens kvalitet under gjutning och påverkar betongens tätande förmåga, och metoden förutsätter därför relativt torra förhållanden. Metoden används ofta för att permanent förstärka berg vid låg bergtäckning eller extremt dålig bergkvalitet. Det föreligger dock stor risk att betongens naturliga sprickbildning leder till ett oacceptabelt högt inläckage och metoden bedöms därför inte kunna användas för att begränsa inläckaget till angivna inläckagevärden i tillståndet.
- *Prefabricerade betongsegment*. Beprövad metod förutsatt att segmenten förtillverkas och därefter monteras i samband med att bergschaktning utförs med en tunnelborrningsmaskin. Inga referenser har hittats där prefabricerade betongsegment monterats i efterhand i samband med bergschaktningsmetoden borrhning och sprängning. Det bedöms inte möjligt att använda sig av denna tätningsmetod på grund av tunnarnas varierande tvärsnittsgeometri.
- *Cirkulär sprutbetongkonstruktion*. Metoden används i princip uteslutande som förstärkning. Sprutbetongens tätande förmåga mot vatteninläckage är erkänt dålig. Konstruktionen är således ett alternativ till förstärkning med platsgjuten betonginklädnad utan membran, men kan inte användas för att reducera inläckaget.

Samtliga tätningsmetoder som beskrivs ovan är obeprövade under de förutsättningar som råder inom projektet. Metoden betonginklädnad med membran bedöms av metoderna ovan ha störst möjlighet att eventuellt reducera inläckaget ner mot inläckagevillkoret, dock med beaktande av de begränsningar och svårigheter i det enskilda fallet som beskrivs i det följande.

5 Tätning med platsgjuten betonginklädnad med plastmembran

5.1 Inledning

Berguttagsmetod i kombination med tätningsmetod behöver bestämmas i ett tidigt skede, redan under förstudien. Detta eftersom metodvalet påverkar val av tvärsektioner, geometrier, spårprofil, vertikal- och horisontalradier, lågpunkter, läge för stationerna, uppgångar och möjliga målpunkter för resenärer.

I detta avsnitt beskrivs betonginklädnadens uppbyggnad och överväganden som behöver göras under betonginklädnadens detaljprojektering.

Avsnittet avslutas med en beskrivning av erfarenheterna från liknande arbeten med betonginklädnad för att täta tunnlar i projekt Hallandsås.

5.2 Konstruktion

En platsgjuten betonginklädnad med plastmembran består normalt av följande delar från berget in mot mitten:

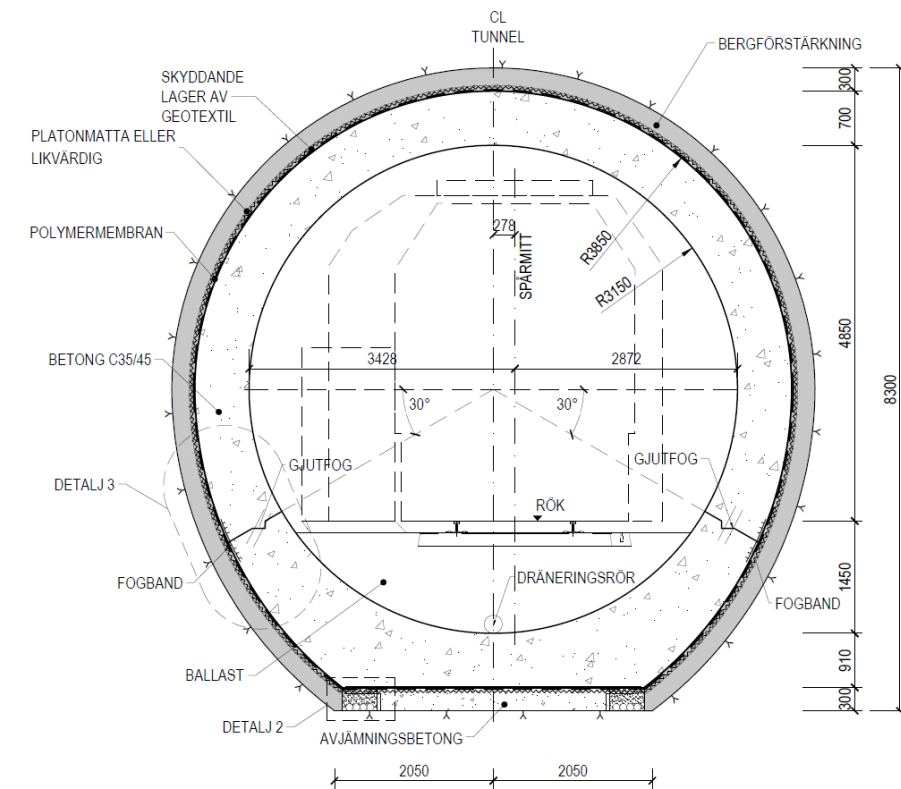
- Förstärkt berg utfört med sprutbetong, ev nätarmering och bergbult.
- En yttre avjämningsbetong, helst platsgjuten (alternativt uppsprutad med avjämnande oarmerad sprutbetong).
- Geotextil som skydd för membranet.
- Ett vattentätt plastmembran.
- En inre tryckupptagande konstruktion av armerad platsgjuten betong, dimensionerad för rådande högsta vattentryck längs sträckan.

Betonginklädnadens inre betongrings funktion är att ta upp vattentrycket som överförs från det vattentätande plastmembranet. Plastmembranet säkerställer att inläckaget hålls till ett minimum.

Betonginklädnaden måste vara sluten och tät kring hela tvärsnittet, det räcker inte att enbart täta tak och vägg.

Inom ramen för utbyggnaden av den aktuella tunnelbanesträckan har två tunnelpassager genom svaghetszoner under Saltsjön respektive Ladugårdslandsviken förberetts med ett cirkulärt tvärsnitt. Detta för att möjliggöra en eventuell senare betonginklädnad av passagera, om så skulle anses påkallat på grund av stabilitetsskäl. I samband med detta togs en principskiss fram för hur en potentiell betonginklädnad av passagera skulle kunna utformas, se figur 3 nedan. Efter att tunneldrivningen hade passerat svaghetszonerna kunde emellertid konstateras att det inte var nödvändigt med betonginklädnad för att uppnå erforderlig tunnelstabilitet. Tunnelstabiliteten säkrades i stället med ordinarie bergförstärkning, dvs sprutbetong, nätarmering och bergbult.

Principuppbyggnad för en tunnel som är betonginklädd med plastmembran redovisas i figur 3 nedan:



Figur 3. Platsgjuten armerad betonginklädnad med plastmembran anpassad för nya tunnelbanans tvärsnitt i enkelspårtunnel.

5.3 Betonginklädnadens geometri

Betonginklädnadens geometri i tvärsnitt bestäms av ett flertal faktorer. Förutom livslängdskrav på 120 år och de olika laster som betonginklädnaden ska dimensioneras för, är en viktig parameter vattentrycket, dvs djupet under grundvattenytan.

Med djupet ökar vattentrycket och den inre betongringens tjocklek behöver utökas. Med djupet ökar även kravet på att nå en så pass cirkulär geometri som möjligt för att uppnå en gynnsam spänningsfördelning av vattentrycket i betongkonstruktionen.

Vid tvärtunnlarna behöver dessutom träformar platsbyggas för att ansluta till och ta upp de geometriska skillnaderna till de förtillverkade formarna.

Parallella tunnlar bör tätas på lika sätt på grund av problematiken med vattenflöde på utsidan av betonginklädnaden och att vatteninläckage annars riskerar att flyttas till ej betonginklädda delar.

Mot bakgrund av svårigheterna med att hålla det tätt mellan berget och betonginklädnadens ändrar kommer ett inläckage uppstå i den oinklädda tunneln vid start och slut av inklädnaden. Som ett minimum för att undvika fler inklädnadsändar än nödvändigt och därmed minska det totala inläckaget bör betonginklädnaden byggas oavbrutet utmed längre tunnelsträckor.

På rakare sträckor kan ett formpaket med förbeställd geometri (äggform eller cirkulärt, ofta rälsburna) användas och sedan flyttas vidare efter genomförd gjutning. Vid större geometriförändringar som till exempel anslutning till tvärtunnlar, övergång från enkel- till dubbelspår och i skarpa kurvor behöver platsbyggda gjutformar användas.

5.4 Arbetsgång vid byggande av betonginklädnad med plastmembran

5.4.1 Översikt

Betonginklädningen byggs i normalfallet i ca 10-15 m långa sektioner i en stegvis repetitiv arbetsprocess. Normalt sker utsprängning till rätt dimension i ett första skede, men eftersom tunnarna i förevarande fall redan är utsprängda och behöver vidgas behöver ytterligare moment utföras. I punktlistan nedan redovisas en konceptuell översikt över de arbetsmoment som skulle behöva utföras för att förse de redan utsprängda tunnarna med en platsgjuten betonginklädning med plastmembran:

1. Vid behov utförs tätning med injektering utanför den redan injekterade zonen.
2. Tunnelns tvärsnitt utökas genom strossning och geometrin anpassas för den cirkulära betonginklädningen. Aktiviteten inkluderar även bergförstärkning och eventuell efterinjektering
3. Gjutning av betongplatta för montage av räls på botten av tunneln för de spårbundna formarna.
4. För att kunna gjuta i tillräcklig torrhet monteras dräneringsledningar och vattenavledande dräner på tunnelns väggar och tak.
5. Gjutning av den yttre avjämningsbetongen mot bergförstärkningen.
6. Montage av plastmembran på den nedre bottendelen av tunneln.
7. Gjutning av den inre betongringens botten.
8. Montage av plastmembranet på den övre delen.
9. Gjutning av väggar och tak.
10. Upprepning av aktivitet nr 3 till nr 10 tills betonginklädningen färdigställts i hela sin längd.
11. Tätning i ändarna mellan berg och betonginklädning.
12. Stängning av dräneringssystemet bakom inklädningen och trycksättning.

Den inre och yttre betongringen gjuts normalt med förtillverkade återanvändningsbara formar. När motsvarande arbete utfördes inom ramen för projekt Hallandsås användes tre specialbyggda 16 m långa rälsburna formar och två vagnar för olika arbeten som rullade fram längs tunnarna. Byggandet av inklädningen upptog en sträcka på ca 150 m.

5.4.2 Utökning av sprängd tvärsektion

Stor volym förstärkt berg behöver tas ut för att nå en gynnsam geometri för betonginklädningen. Spårprofilen, dvs spårets läge, ligger fast och går inte att flytta, bland annat på grund av de utsprängda stationernas läge, närheten till andra anläggningar och vattenpassagerna genom svaghetszonerna.

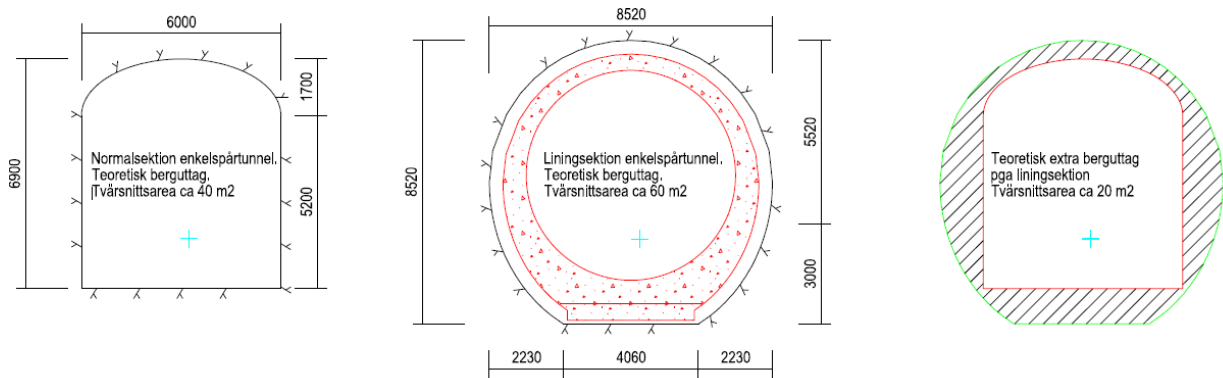
En utökning av tvärsektionen är komplicerad och innebär risker som normalt inte behöver hanteras. Utökningen leder till ökade arbetsmiljörisker då exempelvis utförd förstärkning i tak och vägg sprängs bort.

I projekt Hallandsås kunde spårprofilen sänkas, vilket begränsade uttaget till vägg och botten med bibehållen förstärkning och säkerhet i tak. För nya tunnelbanan innebär spårprofilens fasta läge

att även det bultförstärkta och injekterade berget i tak behöver sprängas bort vilket påverkar tunnelstabiliteten och säkerheten negativt. Vid dåliga bergförhållanden riskerar därmed hela tunneln att kollapsa.

Sträckor med relativt höga inläckage sammanfaller oftast med dålig bergkvalitet, vilket medför stabilitetsrisker i form av utfall och ras vid strossning.

Strossningen minskar även den injekterade zonens utbredning kring tunneln och dess förmåga att begränsa inläckaget, se vidare avsnitt 6.2.

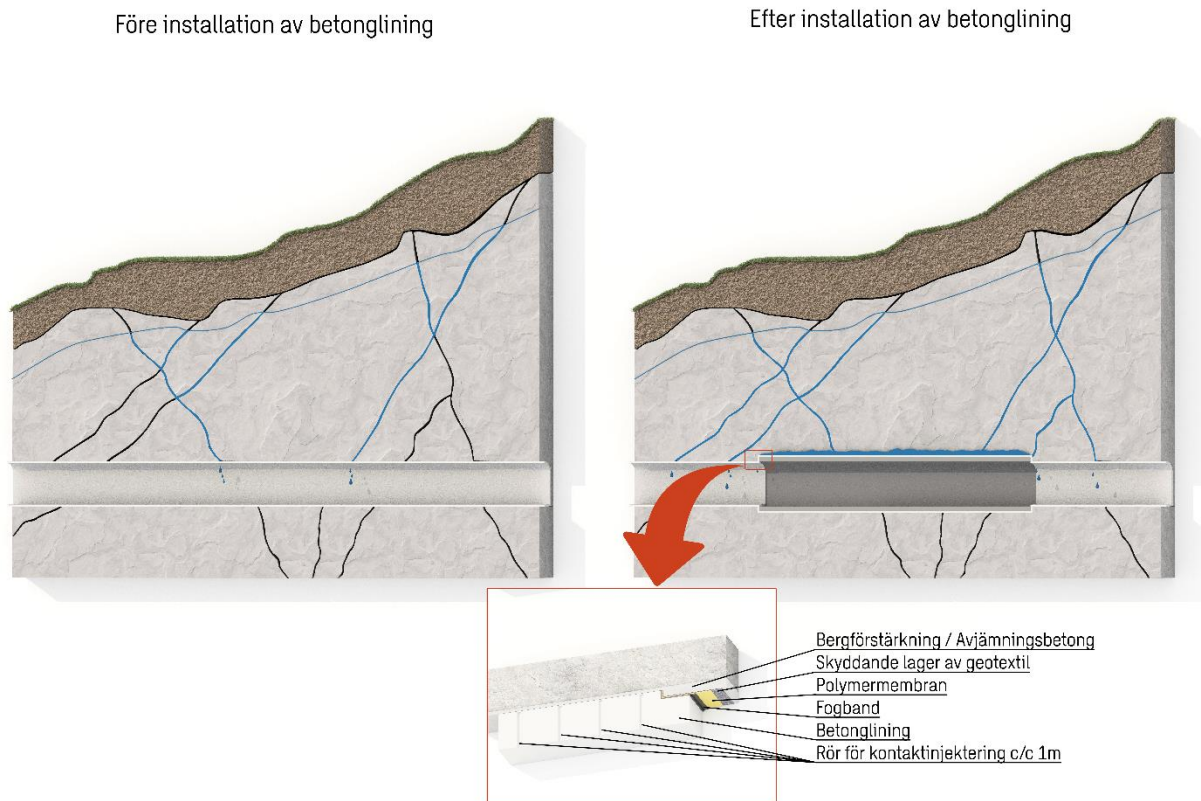


Figur 4. Jämförd befintlig utsprängd sektion med nya cirkulära.

Den förstärkta bergmassan som tas ut i efterhand innehåller förstärkningsbult och fiberarmerad sprutbetong och ibland bergnät, ett avfall och som behöver deponeras.

5.4.3 Tätning mellan berg och betonginklädning

Utmed betonginklädningen kopplas olika akviferer samman på utsidan av inklädningens membran. Detta innebär att ett vattentryck/-flöde sprids och fördelas utmed utsidan av betonginklädningens membran till inklädningens avslut. Nya spricksystem som tidigare inte hade koppling till en akvifer riskerar att aktiveras och vatten läcker in till tunnarna på nya platser. Exempel finns från projekt Hallandsås norra påslag där det började flöda in vatten i oinklädda intilliggande avsnitt när betonginklädningen trycksattes. I figur 5 nedan visas en illustration över det ovannämnda.



Figur 5. Princip för utjämning av grundvattentryck och grundvattenflöde utmed inklädnadens utsida.

För att minska risken för vattenflöde längs tunnlarna kan olika barriärlösningar appliceras i gränssnittet mellan berg och betonginklädnad. Vid den platsgjutna betonginklädnaden som utfördes i tunnlarna genom Hallandsås byggdes exempelvis barriärer som var ca 80 m. Detta förhindrade dock inte tryckutjämningen eller flödet i sin helhet, vilket visar på svårigheten att förhindra detta.

För att motverka ett långsgående vattenflöde ut från betonginklädnadens avslut utförs en omfattande kontaklinjektering i slutet av inklädnaden där den är motgjuten mot berg. Trots detta är det inte möjligt att hålla avsluten helt tät.

5.5 Tidigare erfarenheter av metoden

Att tätas mot vatteninläckage med en platsgjuten betonginklädnad med membran är en väl beprövad metod under vissa förhållanden, t.ex. i berg med förhållandevis okomplicerade geometriska förhållanden, men däremot inte under de omständigheter som råder i förevarande fall.

Som ett exempel på ett fall där en platsgjuten betonginklädnad med plastmembran har använts med goda resultat kan nämnas projekt Hallandsås.

Efter flera försök att bygga och tätas tunnlarna genom Hallandsås med förinjektering och bergschaktningsschaktning metoden borrhning och sprängning ändrade Banverket metod till bergschakt med tunnelborrningsmaskin och tätning med en betonginklädnad bestående av förtillverkade betongelement. Ca 80 % av tunnlarna tätades på detta sätt. Redan utsprängda tunnlar behövde

dock tätas med en annan metod. Här valde Banverket att täta tunnlarna med en platsgjuten betonginklädnad med plastmembran.

I tunnlarna genom Hallandsås tätades en sträcka på ca 1,1 km i varje tunnelrör (2,2 km totalt) med platsgjuten betonginklädnad med ett gott resultat.

En likhet mellan Nya tunnelbanan och Hallandsåsprojektet är att tunnlarna i projekt Hallandsås (inom vilka den platsgjutna betonginklädnaden med plastmembran sedan utfördes) också var utsprängda med en mindre tvärsnittsarea när beslutet togs att byta tätningsmetod från injektering till betonginklädnad. Detta ledde till att ett massivt strossningsarbete behövde utföras för att kunna få plats med betonginklädnaden, vilket i sin tur ledde till ökat inläckage under byggtiden till dess att betonginklädnaden var klar och kunde trycksättas.

Förutom ökat inläckage under byggtiden ökade även inläckaget under drifttiden till intilliggande delar. Detta visade sig på så sätt att när de första 500 m av betonginklädnaden trycksattes ökade inläckaget i intilliggande oinklädda delar, varvid ytterligare betonginklädnad behövde utföras i ett senare skede på de intilliggande sträckorna.

Det föreligger dock en avgörande skillnad mellan projekt Hallandsås och utbyggnaden av nya tunnelbanan – där tunnlarna genom Hallandsås har ett låst tvärsnitt utmed hela den inklädda sträckan har nya tunnelbanan ett tvärsnitt med en komplex geometri med en tvärsnittsstorlek som varierar flera gånger per hundra meter.

Sammanfattningsvis finns mycket begränsad erfarenhet av att använda metoden för att begränsa inläckage till bergtunnlar under de särskilda omständigheter som råder inom projekt Nya tunnelbanan. Det saknas därmed kunskap om vilken effekt en betonginklädnad skulle få på inläckaget till tunnelanläggningen, liksom vilka risker som är förenade med att tillämpa metoden i detta fall.

6 Metodens användbarhet inom nya tunnelbanan

6.1 Påverkan på tunnelanläggningens utformning

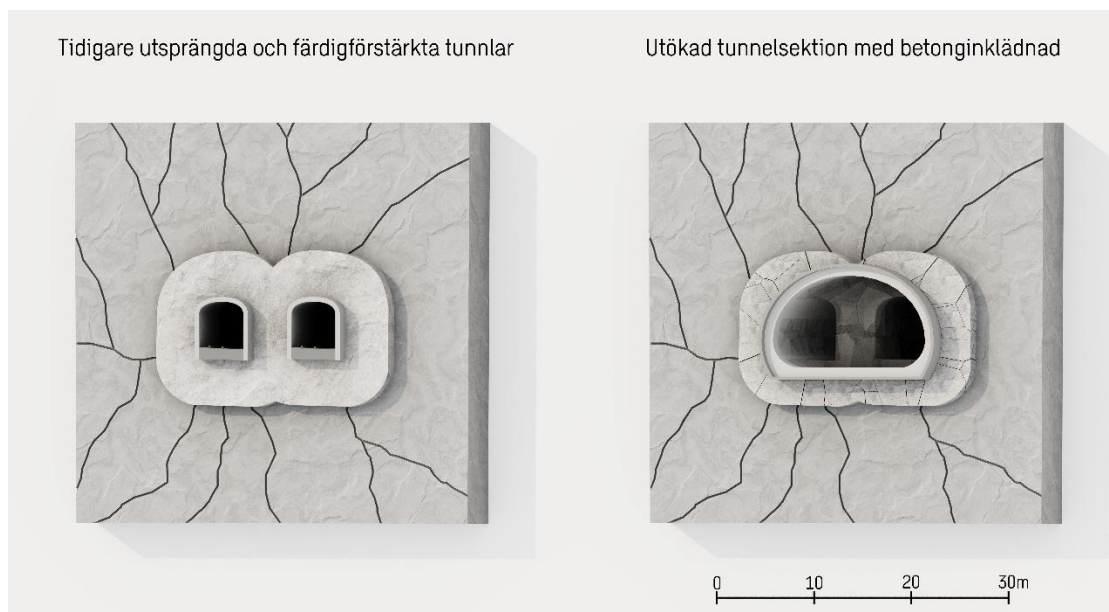
6.1.1 Inledning

Tunnelarnas geometri och tvärsnitt varierar kontinuerligt utmed hela den utsprängda tunnelanläggningens längd för att ge plats åt publika utrymmen, hissar, rulltrappor, drifttekniska byggnader, säkerhetstekniska system och andra installationer.

Stora delar av de aktuella delsträckorna är utsprängda och slutligt förstärkta. Inom vissa delar är även sprutbetonginsprutade dränmattor monterade som ska förhindra vattendropp från tak och vägg ner på tekniska installationer.

De utsprängda tunnelarnas geometri och lägen är inte anpassade för att i efterhand utökas för att rymma en betonginklädnad. Enkelspårtunnlar med liten avskiljande bergpelare i mitten behöver exempelvis av stabilitetsskäl, då bergpelarens bredd mellan tunnlarna inte tål att minskas

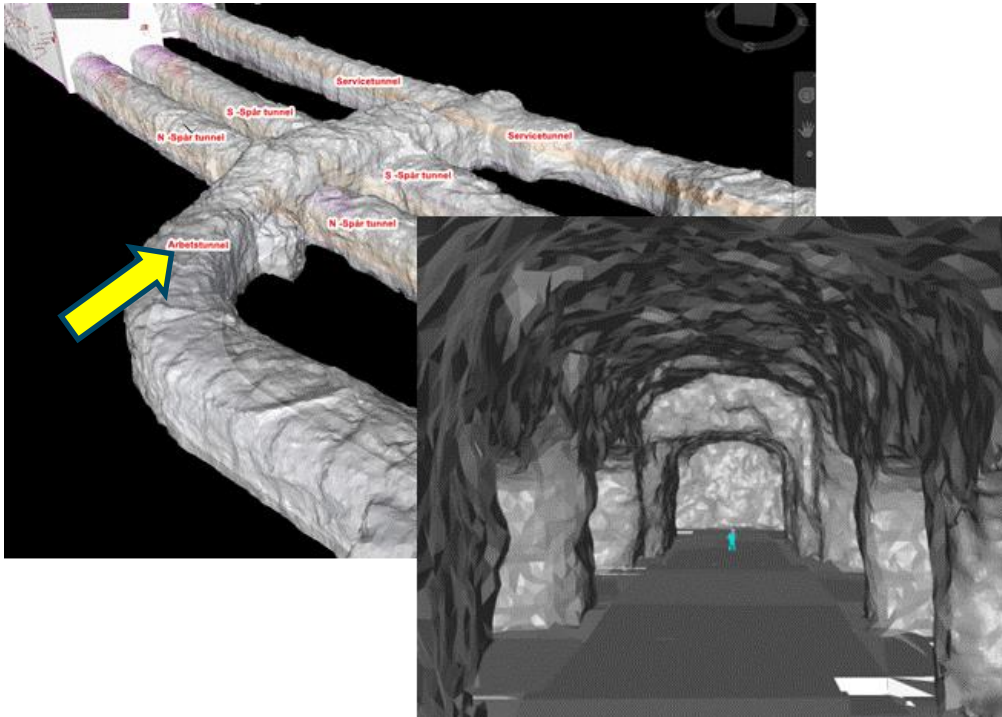
ytterligare, slås ihop till en större dubbelspårtunnel för att betonginklädnaden ska få plats, se figur 6 nedan.



Figur 6. Två enkelspårtunnlar blir en dubbelspårtunnel.

Vid varje arbetsmoment som ligger utanför ramen för den ordinarie repetitiva gjutprocessen med formtåget riskeras ett ökat inläckage. Komplicerade geometrier som kräver platsbyggnation försvårar alla delar i arbetet med betonginklädnaden. Små defekter i exempelvis avjämningsgjutningen eller vid montage och svetsning av membranet leder till inläckage som är mycket svåra att tätta i efterhand.

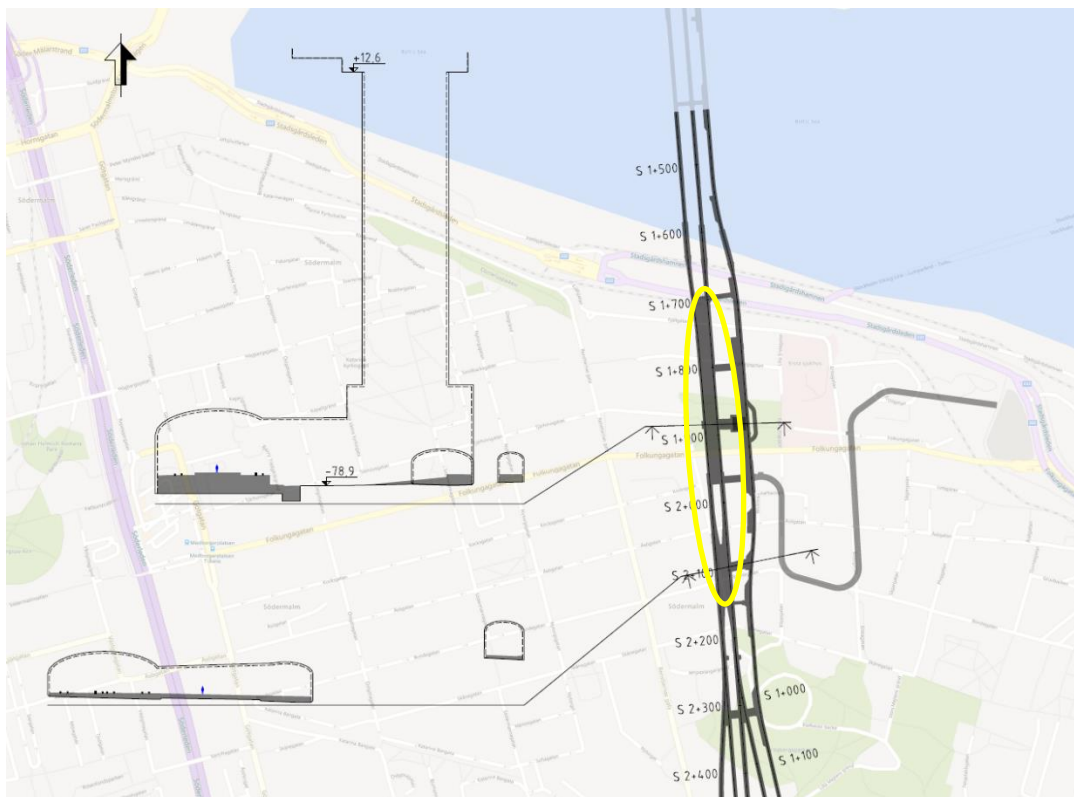
Detta leder till att vid komplicerade geometriska förhållanden som vid stationernas plattformsrums, dess uppgångar och exempelvis där Hammarby kanals arbetstunnel (delsträcka 4a Luma) ansluter till spår- och servicetunnlarna (se figur 7 nedan) är det mycket osäkert om den här typen av tätningsinsats med betonginklädnad med membran överhuvudtaget leder till ett minskat inläckage.



Figur 7. Exempel från Hammarby kanal på komplicerade utsprängda geometrier.

6.1.2 Utsprängda geometrier inom område 2a i Sofia

I figur 8 nedan redovisas några exempel på tvärsnitt för utsprängda tunnelgeometrier inom station Sofia.



Figur 8. Tunnelgeometrier inom Sofia, baserat på projekterad modell för utsprängt berg.

Station Sofia kommer när den är färdigbyggd att vara världens näst djupaste tunnelbanestation. Tunnelbanan i Kiev är ca 1 m djupare. I figuren syns det utsprängda hisschaktet som är ca 100 m djupt. I botten av hisschaktet och i nivå med plattformens grundläggning har ett grundvattentryck på ca 9 bar, motsvarande 90 meter vattenpelare, uppmätta. Vattentrycket innebär att betonginklädnaden måste utföras med ett cirkulärt tvärsnitt, vilket gäller inom hela det markerade området. Det höga vattentrycket innebär även att minsta misstag vid membranmontaget och gjutning av dess underlag riskerar att innebära ett större inläckage än det inläckage som förekommer idag.

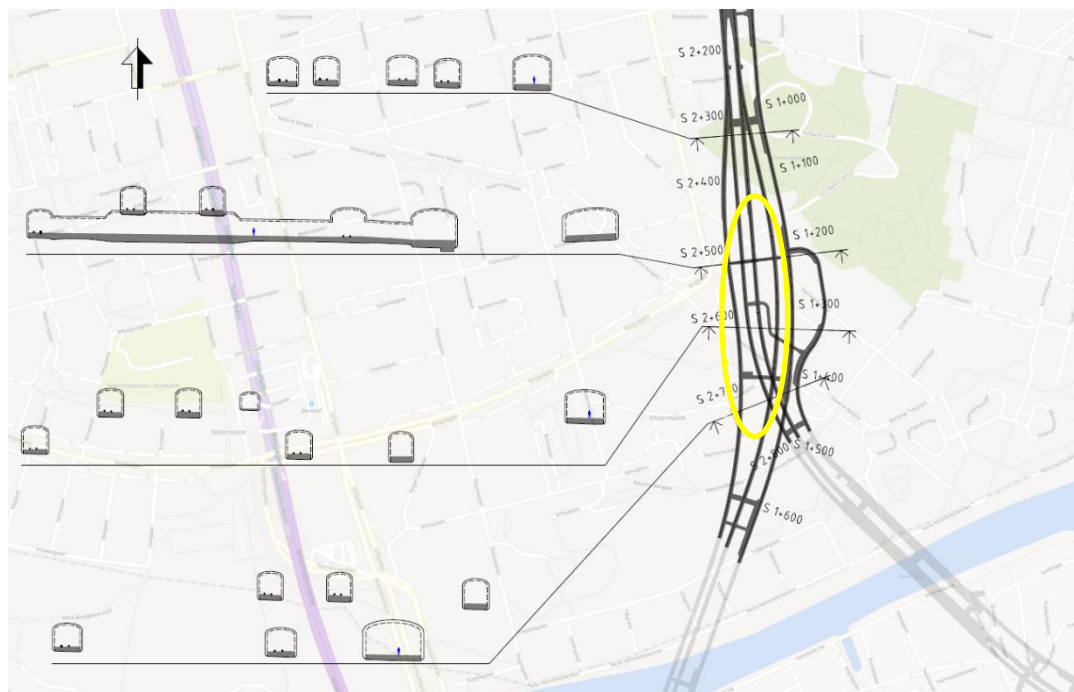
Tunnlarna och plattformsrummet skär genom en svaghetszon under Folkungagatan med mycket dåligt berg. Flera mindre ras inträffade när tunnlar byggdes. Kraftig förstärkning användes för att möjliggöra det fortsatta arbetet genom svaghetszonen. Det föreligger stor risk för tunnelkollaps om denna förstärkning sprängs bort i efterhand.

Att i efterhand skapa de tunnelgeometrier som krävs för att överhuvudtaget kunna bygga en betonginklädnad med ett tätt membran som motstår vattentrycket med erforderlig täthet är inte genomförbart i delarna kring plattformsrummet och hisschaktet, se det gulmarkerade området i figur 8 ovan.

Förutom bergarbetena pågår sedan 6-8 månader tillbaka omfattande betongarbeten inom station Sofia. Alla utförda betongkonstruktioner i servicetunneln och de tvärtunnlar som ansluter mot plattformsrummet måste rivas inför strossning och montage av en eventuell betonginklädnad.

6.1.3 Utsprängda geometrier inom område 2b och 2c Katarina Bangata

I figur 9 nedan redovisas några exempel på tvärsnitt för de utsprängda tunnlar under Katarina Bangata mellan station Sofia och station Hammarby kanal.



Figur 9. Tunnelgeometrier Katarina Bangata, baserat på projekterad modell för utsprängt berg.

Tunnelsystemet under Katarina Bangata är komplext. Som mest är det sju tunnlar som är placerade intill varandra i olika nivåer. Tunnlarnas läge styrs av spårprofilernas maximala och minimala lutning, tillåtna kurvradier, skyddsavstånd till andra underjordsanläggningar i höjd och

sidled samt krav på brand- och personsäkerhet med maxavstånd mellan brandväggarna i utrymningstunnlarna.

Av stabilitetsskäl byggs tunnlar med ett minsta avstånd mellan varandra som måste bibehållas. Avståndet beror till stor del på bergkvaliteten, tunnarnas storlek och spännvidd, deras placering i förhållande till varandra och bergspänningssituationen i bergmassan.

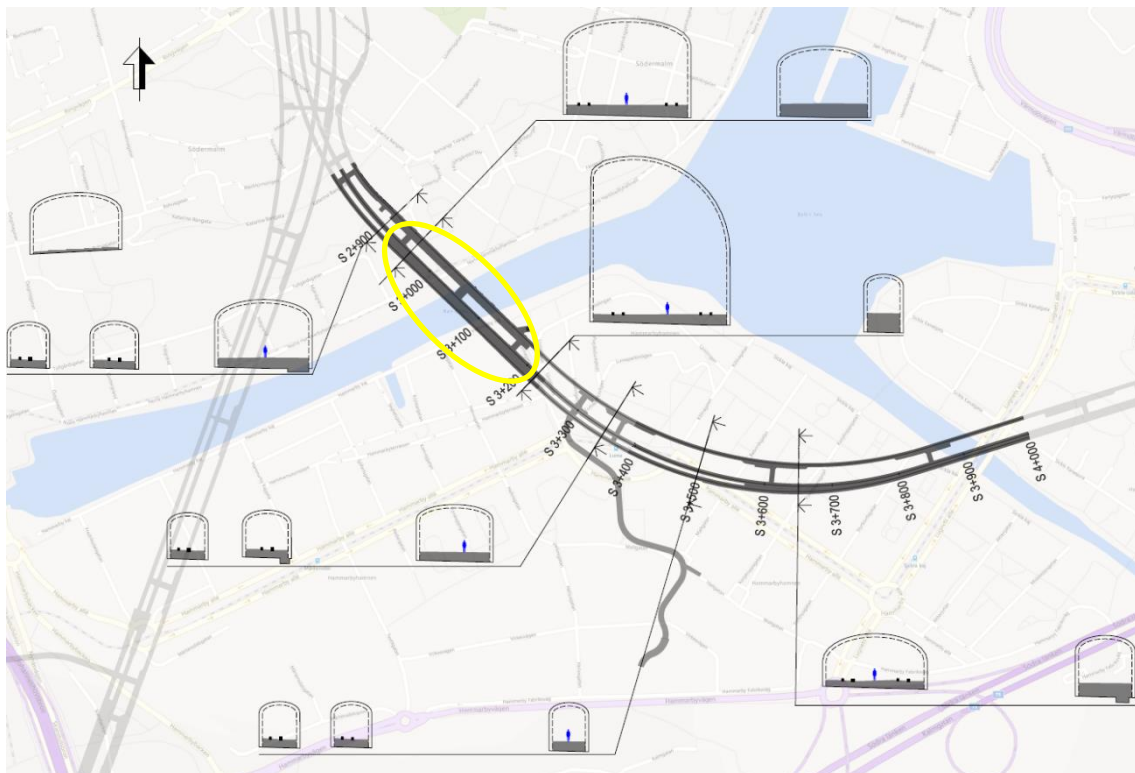
I detta fall, under Katarina Bangata, skulle tunnlar som ligger mindre än 5 m från varandra i tvärsnittet behöva slås ihop till större tunnlar för att ge plats för en betonginklädnad med bibehållen stabilitet. Som framgår av figur 9 ovan innebär detta att tunnlar med spår i olika nivåer och olika målpunkter behöver sammanfogas. Detta i sin tur leder till att brandavskiljningen mellan tunnarna som är nödvändig för säker utrymning vid exempelvis brand i princip omöjliggörs.

Sammantaget innebär detta att det, inom den gula markeringen i figur 9 ovan, inte är genomförbart att bygga en yttre betonginklädnad kring tunnarna med mindre än att berget mellan spårtunnlarna, som i sådana fall alltså måste sammanfogas, ersätts med omfattande betongkonstruktioner.

Det bedöms inte heller genomförbart att uppnå den täthet mot inläckage som krävs genom sådan betonginklädnad dels på grund av de komplicerade geometrierna som ska förses med membran, dels på grund av att hopslagningen av flera tunnlar kräver omfattande bergsprängningsarbeten som kommer att leda till att de injekterade zonerna kring de enskilda tunnarna i vissa fall sprängs bort med ökat inläckage som följd (se vidare i avsnitt 6.2).

6.1.4 Utsprängda geometrier inom område 4a i Luma

I figur 10 nedan redovisas ett axplock av olika tunnelgeometrier som existerar vid kommande station Hammarby kanal.



Figur 10. Tunnelgeometrier i Hammarby kanal, baserat på projekterad modell för utsprängt berg.

Som nämnts ovan behöver tunnlar av stabilitetsskäl byggas med ett minsta avstånd mellan varandra. I detta fall behöver enkelspårstunnlarna därför slås ihop till större dubbelspårstunnlar längs hela sträckan. Även här kommer den injekterade zonens storlek påverkas negativt med ökat inläckage som följd, främst under byggtiden men möjligen även under drifttiden på grund av betonginklädnadens utjämnande effekt och grundvattenflödet ut mot inklädnadens avslut (se vidare i avsnitt 6.2).

Under Hammarby kanal skär flertal svaghetszoner med mycket dåligt berg tvärs genom plattformsrummet. Flera utfall av berg inträffade när tunnlar byggdes. Kraftig förförstärkning fick därför användas för att möjliggöra det fortsatta arbetet genom svaghetszonen. Därefter förstärktes berget med omfattande sprutbetong, armeringsnät, lösjärnsarmerade bågar och bultförstärkning, ras

Kombinationen med mycket dåligt berg under öppet vatten, stora spännvidder och låg bergtäckning med en kraftigt förstärkt bergmassa gör att det, ur bland annat ett arbetsmiljöperspektiv, inte är möjligt att i efterhand spränga bort berget och förstärkningen för att utöka tvärsnittet och rymma en betonginklädnad. Det är inom det gulmarkerade området i figur 10, därför inte genomförbart att spränga bort det berg som krävs för att kunna få plats för betonginklädnaden.

6.2 Påverkan på utförd injektering

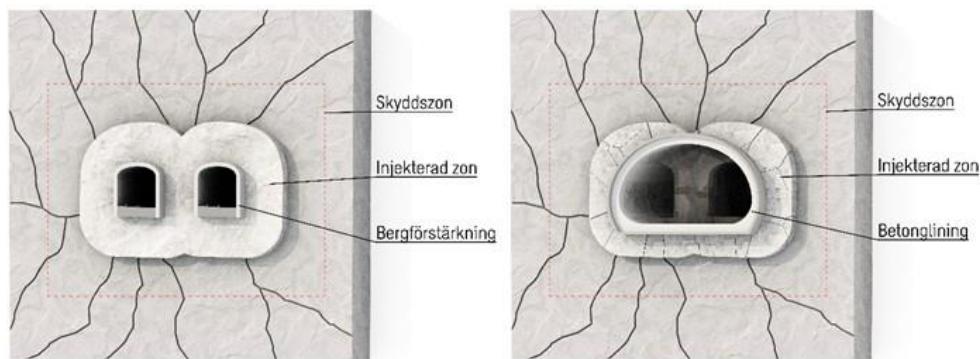
Tunnelanläggningen har i sin helhet kontinuerligt förinjekterats med cement, ofta i flera omgångar innan berguttag. Injekteringen syftar till att skapa en injekterad tätande zon i bergmassan kring tunnlar. Den tätande zonens utbredning styrs av flera faktorer, exempelvis injekteringsbrukets egenskaper, injekteringstryck, arbetsutförande, utrustning, injekteringsskärmens geometri och bergmassans beskaffenhet.

Där det har erfordrats på grund av höga inläckage eller för att säkra bergförstärkningens livslängd har även efterinjektering utförts efter berguttag. Generellt är det med efterinjektering betydligt mer komplicerat att uppnå samma tätande effekt som vid förinjektering. Detta eftersom injekteringsmedlet sprider sig ut mot det tomma bergtrummet där mothåll saknas och erforderlig tryckupbyggnad för att sprida injekteringsmedel in i bergmassan uppnås därmed inte.

Utökning av tunnelsektionen (strossning) för att få plats med betonginklädnaden minskar den injekterade zonens bredd ut från tunnelväggen. Det är möjligt och under vissa förhållanden nödvändigt att inför strossning injektera på nytt, detta motsvarar dock en efterinjektering och uppnår därmed inte samma tätande effekt som utförd förinjektering. Injekteringszonens verksamma bredd är svår att fastställa, men vid efterinjektering inom ramen för detta projekt har höga flöden påträffats direkt utanför förinjekteringsskärmens borrhål. Borrhålen sträcker sig normalt 5-6 m ut i bergmassan men anpassas efter tunnelgeometri och byggkvalitet och genomsläpplighet.

Tidigare utsprängda och färdigförstärkta tunnlar

Utökad tunnelsektion med betonglining



Figur 11. Påverkan på injekterad zon efter strossning för betonginklädning, exempel från Hammarby kanal.

Vid sämre berg kan även sprängskadezonens utbredning i den injekterade zonen ha betydelse eftersom strossningsarbetet initierar rörelser i bergmassan som sannolikt öppnar upp de förinjekterande strukturerna. Detta medför att tidigare tätande effekt makuleras. Flertalet områden inom de aktuella delsträckorna har även en historik med läckande bult och bulthål som har efterinjekterats i flera omgångar. Dessa inläckagevägar kommer att återaktiveras vid bortsprängning av bulten.

Bergförstärkning kommer behöva utföras på nytt efter strossningen och nya bulthål borras. Bulthålen riskerar att borras genom den ursprungligt injekterade zonen, vilket medför risk för läckande bulthål och ökade mängder inläckande grundvatten, kvalitetsproblem vid ingjutning av bult och försämrad livslängd på förstärkningen.

Erfarenheter från bland annat projekt Hallandsås visar att inläckaget ökar vid strossning. Med tanke på dagens inläckagesituation föreligger det risk för att inläckagevillkoret för byggtiden därmed överskrids. Denna risk är särskilt påtaglig inom Hammarby kanal, delsträcka 4a Luma, se vidare avsnitt 6.4.

Skadorna på den injekterade zonen som beskrivs ovan är svåra att helt reparera i efterhand med efterinjektering då förinjektering oftast ger ett tätare resultat än en efterinjektering på grund av en mer gynnsam spridning av medlet i bergmassan utanför tunneln under förinjekteringen som utförs "före" sprängning.

Det är inte heller självklart att det ökade inläckaget som uppkommer till följd av strossningen vägs upp av en efterföljande tätning med betonginklädning och platsmembran med de unika förutsättningar som förekommer här.

6.3 Påverkan på skyddsزونen kring tunnelutrymmet, markåtkomst och planförutsättningar

Tunnelbaneanläggningen består av ett tunnelutrymme med omgivande bergmassa. Den omgivande bergmassan kallas skyddsزون och behövs för att säkerställa tunnelns bärförmåga, stadga, beständighet och täthet. Den omgivande bergmassan utgör även ett skydd för anläggningen för det fall andra anläggningsarbeten utförs i närheten. Skyddsزونen sträcker sig i normalfallet 10 m ut från tunnelväggen, men vid större bergrumsgeometrier och vid partier med

sämre berg kan skyddszonen utökas till 15–20 m. Tunnelutrymme inklusive skyddszon finns planlagt i järnvägsplan och i detaljplan. I detaljplan regleras även schaktdjupsbestämmelser som ett skydd för tunnelbaneanläggningen. För att säkerställa markåtkomst till tunnelutrymme inklusive skyddszon i de fastigheter som tunnelbaneanläggningen passerar har officialservitut bildats genom lantmäteriförrättning.

När strossning behöver utföras i tunnelutrymmet för att möjliggöra utrymme för en betonginklädnad medför det att skyddszonen minskar i omfattning och därmed behöver utökas. För att kunna utöka skyddszonen behöver markåtkomsten till tillkommande bergmassa säkerställas genom servitutsbildning i de fastigheter som tunnelbaneanläggningen passerar. Den befintliga järnvägsplanen och detaljplanen ger inte förutsättningar för en utökad skyddszon vilket bedöms behöva hanteras i nya planprocesser utmed samtliga berörda sträckor. Detta bedöms ta ca 2-3 år varvid ingen åtgärd kan påbörjas då rådighet saknas.

6.4 Analys av ökat inläckage under byggtiden

Det har tidigare konstaterats att strossningen leder till ett ökat inläckage under byggtiden. En analys av hur inläckaget under byggtiden kan öka på de olika delsträckorna har genomförts, en mer detaljerad beskrivning av beräkningar och antaganden återfinns i *Bilaga B3. PM Inläckageberäkningar*. Beräkningarna utgår från vedertagen beräkningsformel för inläckage till tätat respektive otäta tunnel enligt Gustafsson (2009), där fyra beräkningstypfall för de olika tunneldelarna; arbetstunnel, dubbla enkelspårtunnel, dubbelspårtunnel och servicetunnel har tagits fram. Det som skiljer typfallen åt är dels hur mycket tvärsnittsarean behöver utökas, dels på vilket sätt den injekterade zonen kommer att påverkas.

6.4.1 Delsträcka 2a Sofia

Beräkningarna visar att inläckaget för delsträcka 2a Sofia under byggtiden kan komma att variera mellan 360 och 380 l/min, vilket jämfört mot dagens inläckage motsvarar en ökning på mellan 190 och 205%. Byggtidsvillkoret på 325 l/min kommer därmed att överskridas. Inläckaget kommer att öka som mest i de delar av servicetunneln där den injekterade zonen behöver strossas bort och vid strossning genom svaghetszonen som löper längs Folkungagatan. Svaghetszonen har under tunneldriften visat sig vara mycket vattenförande. Strossning i områden som ligger i och i anslutning till zonen kommer att innebära ett ökat inläckage, som kan uppgå till ca 70 l/min vid en kraftig påverkan på den injekterade zonen i samma område.

6.4.2 Delsträcka 2b och 2c Katarina Bangata

Beräkningarna visar att inläckaget för delsträcka 2b och 2c Katarina Bangata under byggtiden kan komma att variera mellan 110 och 150 l/min, vilket jämfört mot uppskattat inläckage för fullt utbruten delsträcka motsvarar en ökning på mellan 60 och 115%. Byggtidsvillkoret på 140 L/min kan möjligen innehållas vid gynnsamma förhållanden men överskrids vid mindre gynnsamma förhållanden

6.4.3 Delsträcka 4a Luma

Beräkningarna visar att inläckaget för delsträcka 4a Luma under byggtiden kan komma att variera mellan 330 och 375 l/min, vilket jämfört mot dagens inläckage motsvarar en ökning på mellan 75 och 100 %. Byggtidsvillkoret på 245 l/min kommer därmed att överskridas. Inläckaget kommer att öka som mest i områden med dubbla enkelspårtunnlar där tunnarna behöver byggas ihop till en tunnel vilket leder till att merparten av den injekterade zonen utbredning i tak mellan tunnarna strossas bort. Det är osäkert hur bergmassan inom delsträckan kommer att svara på strossning.

Det grafit- och lerfyllda spricksystemet bedöms benäget till mer deformationer än i delar med bättre berg. Detta gör att strossning kan leda till ännu högre inläckage än de som presenterats.

6.5 Konsekvenser för övriga tekniska system

En cirkulär geometri kommer kräva anpassning och komplettering av de tekniska systemen, installationer, kanalisation, VA-ledningar, nya pumpanordningar och brunnar.

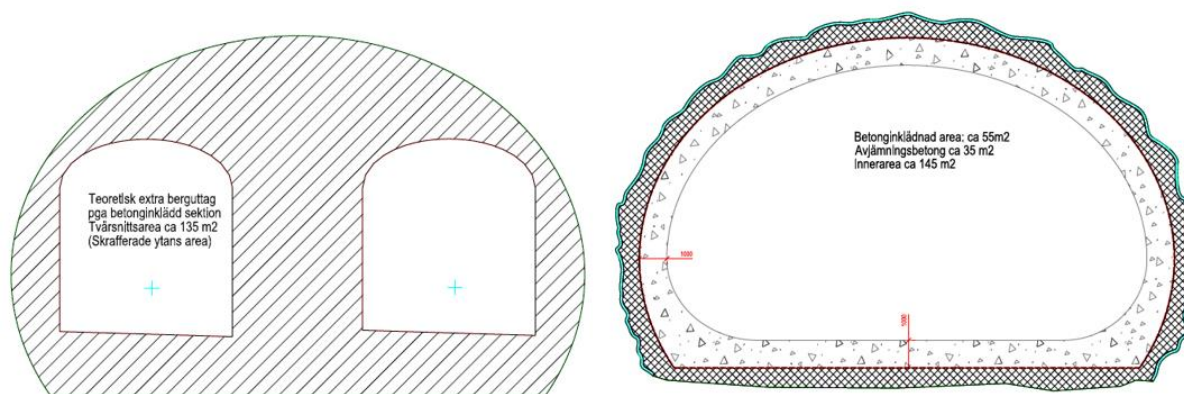
I en cirkulär geometri följer spårlinjen (rälsöverkant) botten av betonginklädnaden med ett fast avstånd. I de sprängda spårtunnlarna divergerar avståndet mellan bergbotten och spårlinjen då bergbotten styrs av kravet på exempelvis VA-ledningarnas självfall och minsta lutning som inte är samma som spårlinjeprofilens lutning. Då detta inte var en projekteringsförutsättning inledningsvis i projektet behöver de utförda tunnlar förses med ytterligare permanenta pumpstationer som pumpar dagvattnet förbi betonginklädnaden.

Förutom kostnader för omprojektering tillkommer kostnaden för byggnation och drift av de nya pumpstationerna.

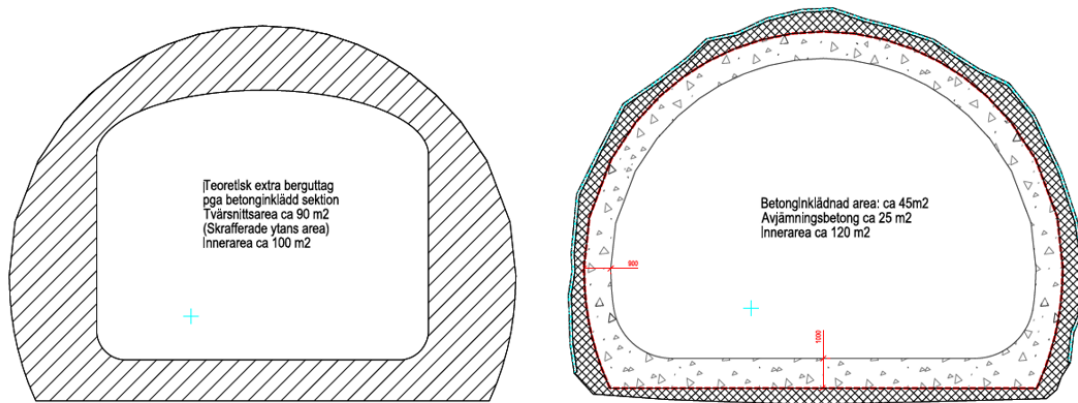
6.6 Konsekvenser för kostnad, tid och klimatpåverkan

6.6.1 Beräkningsförutsättningar

Då det saknas projekterat underlag för att täta tunnlar med en betonginklädnad har denna analys utgått ifrån en kraftigt förenklad modell där utökningen av tunnlar förutsätts kunna representeras av två tunneltvårsnitt med olika tvärsnittsstorlek enligt figur 12 och 13 nedan.



Figur 12. Analyserat tunneltvårsnitt för spårtunnlar.

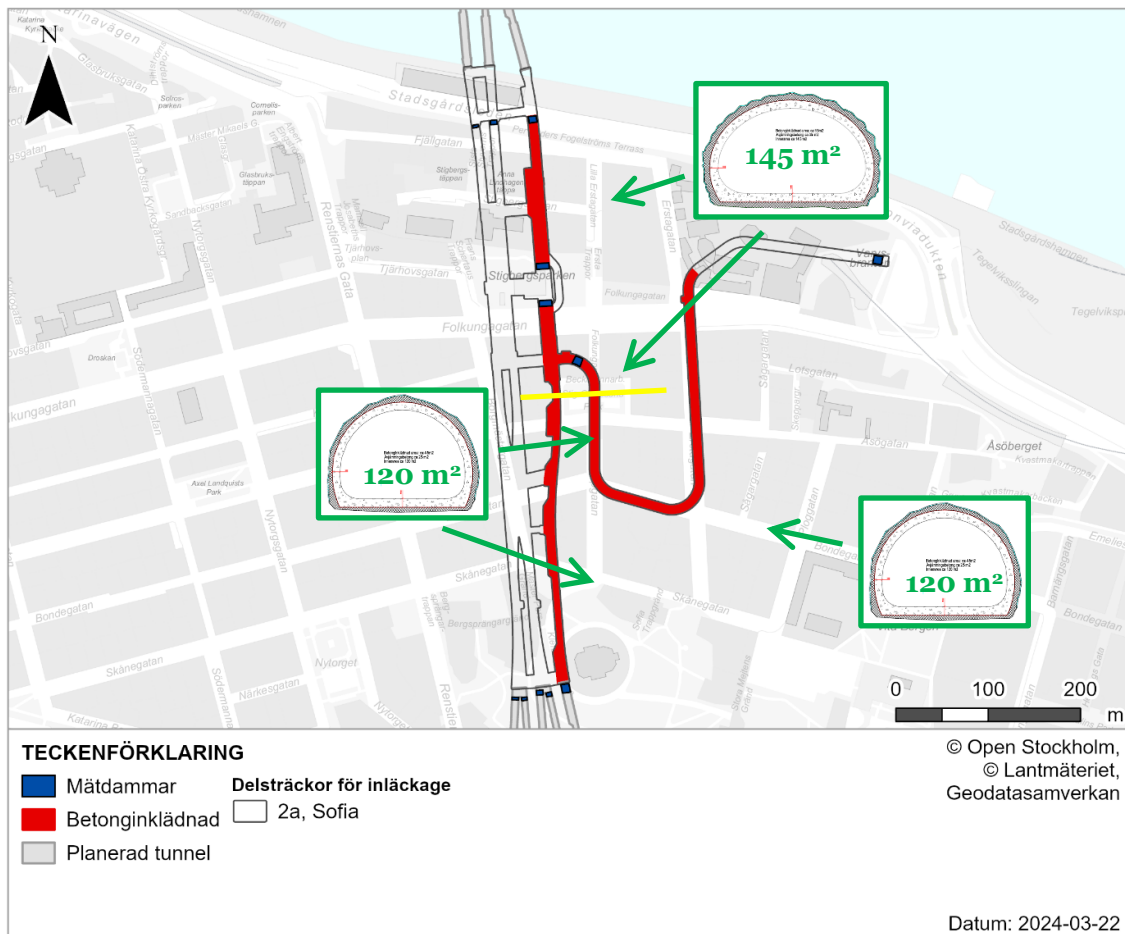


Figur 13. Analyserat tunneltvärsnitt för arbetstunnel/tillfartstunnel och servicetunnel.

Det större tunneltvärsnittet används för sammanslagna enkelspårtunnlar och för dubbelspårtunnel. Det mindre tunneltvärsnittet appliceras i servicetunnel med tillräckligt stort utrymme för teknikinstallationer och teknikbyggnader samt tillfartstunneln i Sofia med utrymme för dubbelriktad trafik, teknikinstallationer och ventilation.

Analysen av konsekvenserna för byggkostnaden och byggtiden i detta avsnitt förutsätter att betonginklädnadsarbetena utförs enligt de rödmarkerade sträckorna enligt Figur 14, 15 och 16 nedan.

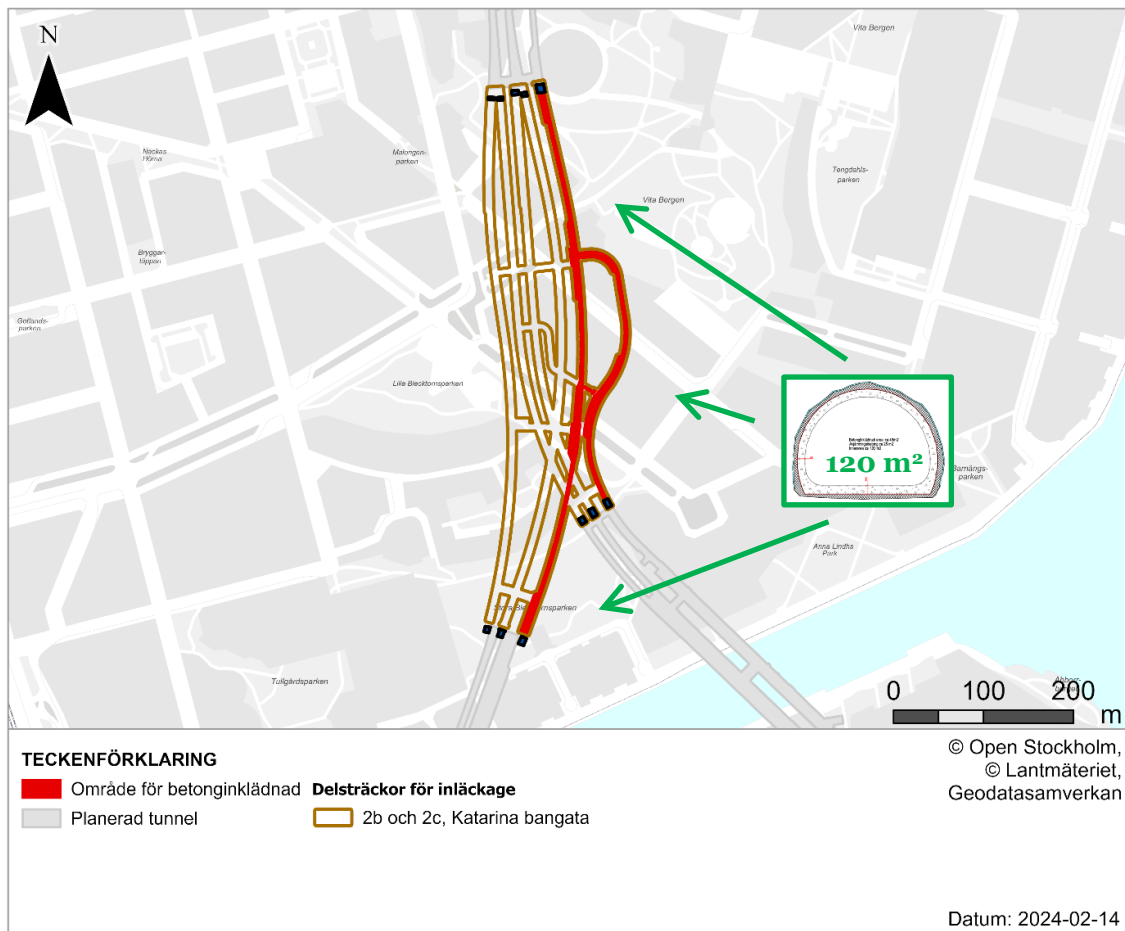
Delsträcka 2a, Sofia



Figur 14. Analyserat tunneltvärsnitt i Sofia.

- Tillfartstunneln från Londonviadukten: 530 m längd kläs in av totalt 750 m
- Servicetunnel söder om tillfartstunneln: 340 m lång varav 100 m med 60 m² tvärsnitt
- Servicetunnel norr om tillfartstunneln: 200 m kläs in

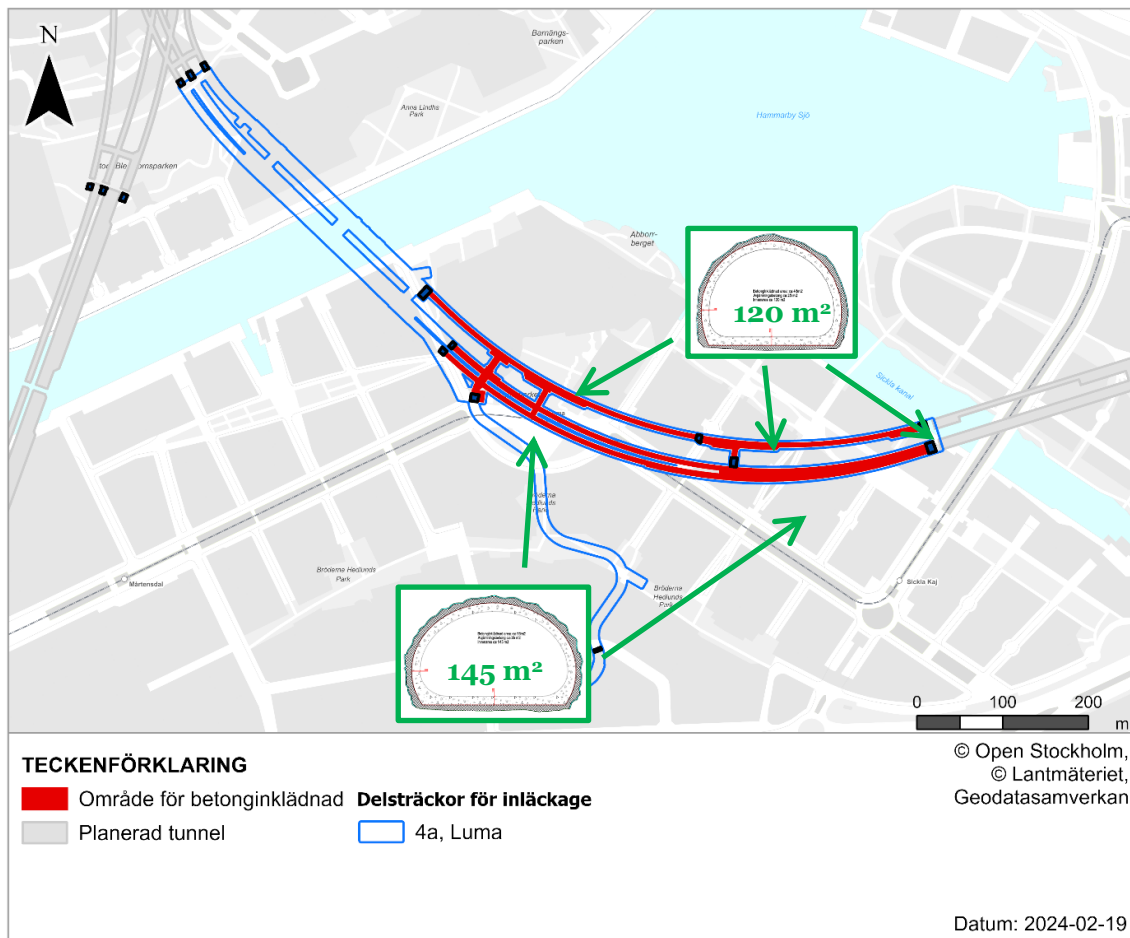
Delsträcka 2b och 2c, Katarina Bangata



Figur 15. Analyserat tunneltvårsnitt i Katarina Bangata

- Servicetunnel mot Gullmarsplan: 630 m lång varav 350 m med 60 m² tvärsnitt
- Servicetunnel mot Hammarby kanal: 330 m lång varav 160 m med 60 m² tvärsnitt

Delsträcka 4a, Luma



Figur 16. Analyserat tunneltvårsnitt i Hammarby kanal, Luma

- Spårtunnel: 600 m lång
- Servicetunnel: 630 m lång varav 340 m med 60 m² tvärsnitt

Följande parametrar har förutsatts i den fortsatta analysen:

Sammanfattning:

Längd spår -, arbets/tillfarts- och servicetunnel med betonginklädnad: $1\ 070 + 960 + 1\ 230 = 3\ 260\ \text{m}$

Längd tvärtunnel i Hammarby kanal med platsbyggd form: **200 m**

Stross: **367 400 m³ berg**

Betong: **244 200 m³ betong**

Armeringsstål: **60 700 ton stål**

6.6.2 Kostnad

Kostnaden för att spränga ut och täta tunnarna med en betonginklädnad bedöms ligga inom spannet 3,5 - 4,5 miljarder kronor.

6.6.3 Byggtid

Tiden för att utföra anläggningsarbetena enligt ovan, färdigställa kvarvarande arbeten i de avslutade entreprenadkontrakten, framtagande av förfrågningsunderlag och upphandling av ny entreprenör mm bedöms uppgå till ca 4–5 år.

6.6.4 Klimatpåverkan

För beräkning av klimatpåverkan har följande värden använts i beräkningarna:

- Emissionsfaktor betong: 0,415 ton CO₂e per m³ betong.
- Emissionsfaktor armeringsstål: 0,55 ton CO₂e per ton stål.

Vilket ger:

- En betongvolym på 244 200 m³ ger en tillkommande klimatpåverkan med 101 360 ton CO₂e för betong.
- 60 700 ton armeringsstål ger en tillkommande klimatpåverkan med 33 385 ton CO₂e för armeringsstål.
- Bergschakt inklusive transport av massorna 25 km till deponi ger tillkommande klimatpåverkan med 5 073 ton CO₂e.

Detta innebär att om ovan angiven tunnelsträcka förses med betonginklädnad medför det en beräknad tillkommande klimatpåverkan på 139 819 ton CO₂e. Vilket är i storleksordningen lika mycket som hela klimatpåverkan för den aktuella tunnelbaneutbyggnaden till Nacka och Söderort

