© 2026 Svenska Bergteknikföreningen och författarna/Swedish Rock Engineering Association and authors.

EFTERINJEKTERING – LJUS I TUNNELN TILLSLUT? ERFARENHETER FRÅN DELPROJEKT KORSVÄGEN, VÄSTLÄNKEN

POST GROUTING – FINALLY A LIGHT IN THE TUNNEL? EXPERIENCES FROM SUB-PROJECT KORSVÄGEN, VÄSTLÄNKEN

Magnus Zetterlund, Norconsult

Johan Thörn, Bergab

Sofia Löseth, Bergab

Christian Butron, Trafikverket

Sammanfattning

Efterinjektering utförs som åtgärd i någon grad i de flesta tunnelprojekt med krav på täthet med hänsyn till miljö och/eller funktion. I fall där omgivningspåverkan från tunnelprojekt riskerar att överstiga miljödomskrav eller om funktionen inte kan upprätthållas krävs ofta omfattande efterinjekteringsinsatser. På tidigare Bergdagarna har vi redovisat pågående efterinjekteringar i Skårtunneln inom delprojekt Korsvägen i Västlänken. Slutsatserna var att effekten av efterinjektering varierar och förutsättningarna för att lyckas beror till stor del på geologiska och hydrogeologiska förutsättningar samt inte minst på kontinuerlig uppföljning och engagerade parter.

Spårtunneln i Skår med parallell servicetunnel är nu färdiguttagen, och efter omfattande efterinjekteringsarbete även färdigtätad. Aktivt injekteringsarbete fortgick fram till mars 2025 och inläckaget till tunneln har därefter verkat stabilt och acceptabelt. Lyckat resultat, men till vilken tid och kostnad? I artikeln redovisas erfarenheter av injekteringsutförande som har använts med olika anpassningar av borrhålsgeometri, anpassning av injekteringsmedel i olika förhållanden, anpassning av stoppvillkor och arbetssätt. Förutom resultat av tätningsarbetena diskuteras även generella erfarenheter kring hantering av uppföljning av villkor i miljödom och inte minst åtgärder när villkoren riskerar att överstigas.

Nyckelord: Injektering, Efterinjektering, Västlänken

Inledning

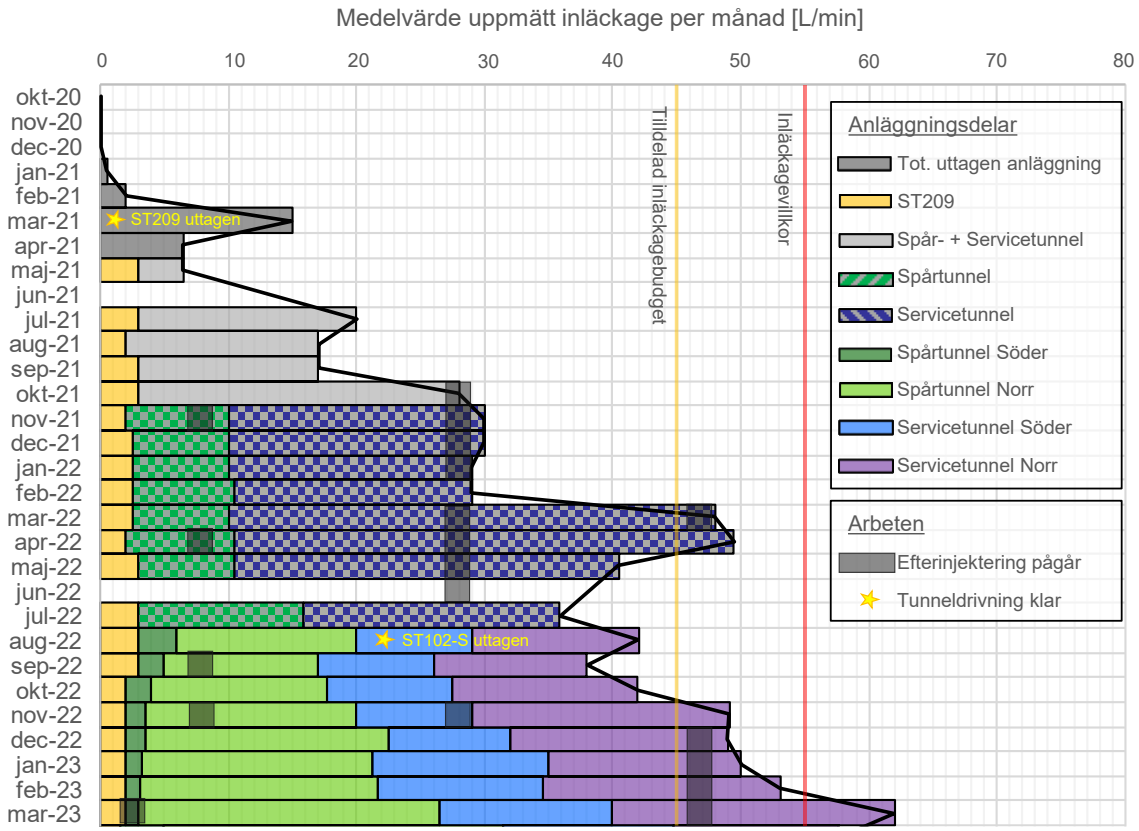
Västlänken är ett åtta kilometer långt dubbelspårigt järnvägsprojekt som byggs under centrala Göteborg. Projektet, med en ursprunglig budget på 20 miljarder kronor, påbörjades 2018, har haft stora utmaningar som har förlängt byggskedet och beräknas stå färdigt 2030. Anläggningen omfattar tre underjordiska stationer och cirka sex kilometer tunnlar i en geologiskt varierad miljö bestående av hårt kristallint berg och lösa leror på tunna friktionslager. De geologiska och hydrogeologiska förutsättningarna är mycket komplexa. Sydligaste delen av Västlänken, Skår som är en del av E05 (entreprenad Korsvägen), omfattar bland sina centrala utmaningar byggnader som är känsliga för grundvattensänkning, hundratals installerade energianläggningar, läckage till befintliga tunnlar, begränsad naturlig grundvattenbildning samt en heterogen jordlagerföljd och bergmassa. I Skår har strikta krav på tillåten inläckage införts, motsvarande 55 liter per minut för 1020 m spårtunnel med sammanlagt 1060 m servicetunnel som begränsningsvillkor för driftskedet.

I omgivningen av bergtunnlarna i Skår är topografin varierad med dalsänkor och mellanliggande bergryggar i nord-sydlig riktning, det vill säga till stor del parallellt med bergtunnlarna. Provpumpningar och infiltrationstest från miljöprövningsuppdraget visade att påverkan kan sträcka sig på stora avstånd i det sammanhängande grundvattenmagasin som finns längs dalgången. I arbetet med den hydrogeologiska prognosen var kopplingen mellan grundvattennivåerna i jord och berg känd, det var dock inte förväntat att tunnlarna skulle löpa längs en svaghetszon på en sträcka av ca 300 m. Ett välkonnekterat spricknätverk utöver den påträffade zonen har bidragit till ett stort påverkansområde, särskilt norrut/uppströms. En påverkan i undre magasin i en observationspunkt nära tunneln har som exempel spridit sig i motsvarande magnitud till observationspunkter över 600 meter från tunneln. Konnektiviteten i bergmassan visade sig även vid ett spårämnesförsök som utfördes av uppdraget Beställarens uppföljning av tillstånd i början av 2024. Infiltration med spårämne utfördes i ett bergborrhål i de norra delarna och spårämne detekterades i stora delar av tunnlarna, ända ner till det södra tunnelpåslaget som är ca 700 m från infiltrationspunkten.

I vår redovisning på Bergdagarna 2023 beskrevs förinjekteringskonceptet, som ursprungligen projekterades lika för hela Västlänken. Detta koncept nådde inte hela vägen i Skår, mycket på grund av geologiska och hydrogeologiska faktorer som hög vattenföring och hög konnektivitet på spricksystemet vilka landade utanför typinjekteringens giltighet. Detta tillsammans med responsiva grundvattenmagasin som står i god kontakt med berget ledde till en oönskad omgivningspåverkan och ett behov av omfattande injektering.

Produktionsaspekter, såsom svårigheten att träffa parallella strukturer med ordinarie skärminjektering, hålstabilitet och manschettmontering i kraftigt uppsprucken bergmassa lyftes 2023 som utmaningar. Det fanns även utmaningar i produktions-uppföljning, där installation av mätvallar/mätdiken för mätning av inläckage utfördes förhållandevis långt efter att tunneln passerat vilket innebar en osäkerhet i om värden från inläckagemätningarna var tillförlitliga. Detta medförde svårighet att enas kring att implementera ytterligare omfattande åtgärder inledningsvis.

Mars 2023, månaden som förra artikeln presenterades, blev den första som inläckaget gick över villkoret på hela sträckan, detta innan allt berg var uttaget (Figur 1). Vi hade då tagit fram förslag på utökat utförande i förinjekteringen och ett större paket efterinjektering.



Figur 1. Sammanställning av totalt uppmätt inläckage i Skår fram till och med mars 2023 fördelat på anläggningsdel tillsammans med utförd efterinjektering.

Tre faser av efterinjektering

Efterinjekteringsarbetena i Skår-tunnlarna kan i efterhand delas in i tre faser. Efterinjekteringarna illustreras i Figur 2 med utbredning färglagd efter vilket år/fas de utförts. Figur 2 visar tunnelsystemet två gånger, där markeringar i den vänstra vyn avser spårtunneln och högra vyn servicetunneln. Bredvid respektive vy visas några schematiska sektioner för borrgeometrier, med pilar mot de områden där de tillämpats. Inom varje sektion kan det förekomma varianter och borrning både ”framåt”, ”bakåt” och nästan vinkelrätt tunnelns längdmätning.

Positionerna för inläckagemätning redovisas i Figur 2 med röd pil från vilken sida vattnet kommer. Mätsträckor i spårtunneln har beteckningar E05-2x**a**, och i servicetunneln E05-2x**b**. Sträcka 29 är den nordligaste delen och gemensam för båda tunnlarna, Denna indelning återkommer i Tabell 1.

Fas 1 – fristående insatser

Den inledande fasen av arbetena är från byggstart i slutet av 2020 fram till januari 2023. Under denna fas identifieras problem med mer vattenförande bergmassa än prognostiserat, med större inläckage och mer omfattande omgivningspåverkan än förutsatt som konsekvens. Under denna fas utfördes efterinjektering som fristående insatser i områden där mer vattenförande bergmassa och/eller större inläckage noterades. Insatsernas utförande och omfattning baserades på bedömda förhållanden i tunnlarna samt analys av utförd förinjektering. Totalt utfördes insatser i fem olika områden i tunnlarna, två områden i spårtunneln och tre områden i servicetunneln. Efterinjektering utfördes under ca 24 dagar där det borrades ca 6 200 m injekteringshål och injekterades ca 97 ton cement och 20 m^3 silica sol.

Fas 2 – större analys av utfört arbete

Efter analys av effekten från åtgärderna i Fas 1 och utförd förinjektering vid fortsatt tunneldrift, i kombination med rådande inläckagesituation, beslutades att ytterligare åtgärder krävdes. Detta innebar ett justerat förinjekteringsutförande samt ytterligare efterinjekteringsinsatser i sex identifierade områden, två i spårtunneln och fyra i servicetunneln. Justering av förinjekteringen utfördes för drivning av tunnlarna åt norr och innebar införandet av extra injekteringshål i inledande omgång och en tredje ordinarie injekteringsomgång för att öka tätningsambitionen. Justeringen infördes då det återstod ca 235 m av spårtunneln och ca 250 m av servicetunneln.

Efterinjektering inom Fas 2 utfördes mellan februari 2023 och april 2024. Generellt utförande var att injektera ett hål i taget med ca 10-15 bar och maximalt 400 L med normaltätningsbruk för att sedan växla till maximalt 1000 L grovtätningsbruk, och

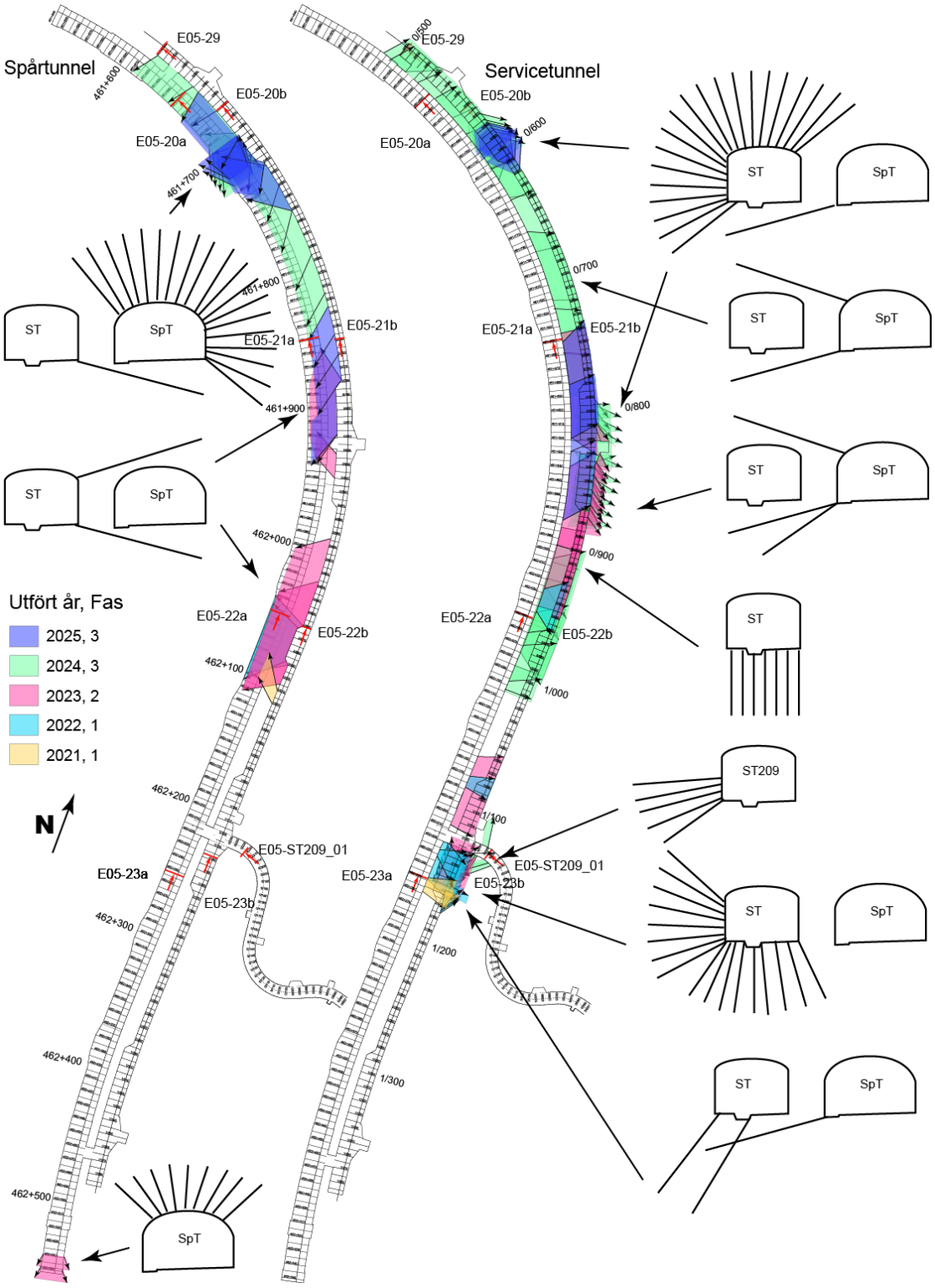
därefter grövre blandning med vct 0,5 tills flöde avtar. Totalt innebar insatsen ca 35 dagsetapper där det borrades ca 11 000 m injekteringshål och injekterades ca 153 ton cement.

Fas 3 – Ny större analys av utfört arbete

Insatserna i Fas 3 baserades på dataanalys och rapportering fram till januari 2024, där inläckagen fortsatt inte innehöll villkoret. När fas 3 inleddes var berguttaget i stort sett slutfört. Analyserna av situationen resulterade i nya utpekade områden, som utgjordes av flera större, sammanhängande områden. Ett par områden med förhöjda läckage ingick i detta. Det ingick även en utbredd sträcka i de norra delarna med injektering över och under intilliggande tunnel där målet var att fokusera på att upprätthålla trycknivåer i omgivningen snarare än att reducera större inläckageflöden i tunneln. Beslut om denna åtgärd baserades på att det noterades avsänkningar i grundvattenmagasinen i jord i samband med drivning genom området. Syftet med insatsen var att kunna minska skyddsinfiltrationsflödet.

Fas 3 utfördes mellan maj 2024 och mars 2025. Utförandet med cement var i huvudsak lika fas 2. Med silica sol användes både blandningar för fintätning, och blandningar med kort geltid för att stoppa vid mycket stor åtgång eller läckage. Totalt borrades 32 400 m injekteringshål, under ca 129 dagsetapper med efterinjektering. Total åtgång var ca 93 ton cementbruk och ca 193 m^3 silica sol.

Fas 3 blev den mest omfattande fasen, både i dagsetapper, borrmeter och åtgång av injekteringsmedel. En större andel av arbetet föreskrevs med silica sol än cementbruk jämfört med Fas 1 och 2 eftersom merparten av områdena som åtgärdades hade injekterats med cement alternativt utfördes tätning med cement i en inledande omgång. Syftet med silica sol-injekteringen var då att kunna injektera mindre sprickaperturer och på så sätt erhålla en ökad täthet.



Figur 2. Översikt över utförda åtgärder. Åtgärder avseende Spårtunneln till vänster och servicetunneln till höger. Schematiska borrplaner redovisas, de med 2-3st hål motsvarar rader längs tunneln, övriga är skärmar.

Resultat av utförd efterinjektering

Inläckage över tid för tunneldelarna, tillsammans med tidpunkt för utförda efterinjekteringar samt när drivning var slutförd för respektive anläggningsdel redovisas i Figur 3. Från augusti 2022 kunde inläckaget delas upp i fem delar, den anslutande ST209 samt spår- och servicetunnel norrut respektive söderut från anslutningen till ST209. Från överskridandet av villkoret i mars 2023 var en betydande del av läckaget från den norra delen av servicetunneln, denna del stod även för merparten av ökningen upp till det maximala läckaget på ca 76 L/min. Detta innebar att en stor del av efterinjekteringsarbetet, både i fas 2 och 3, fokuserade på servicetunnel norr.

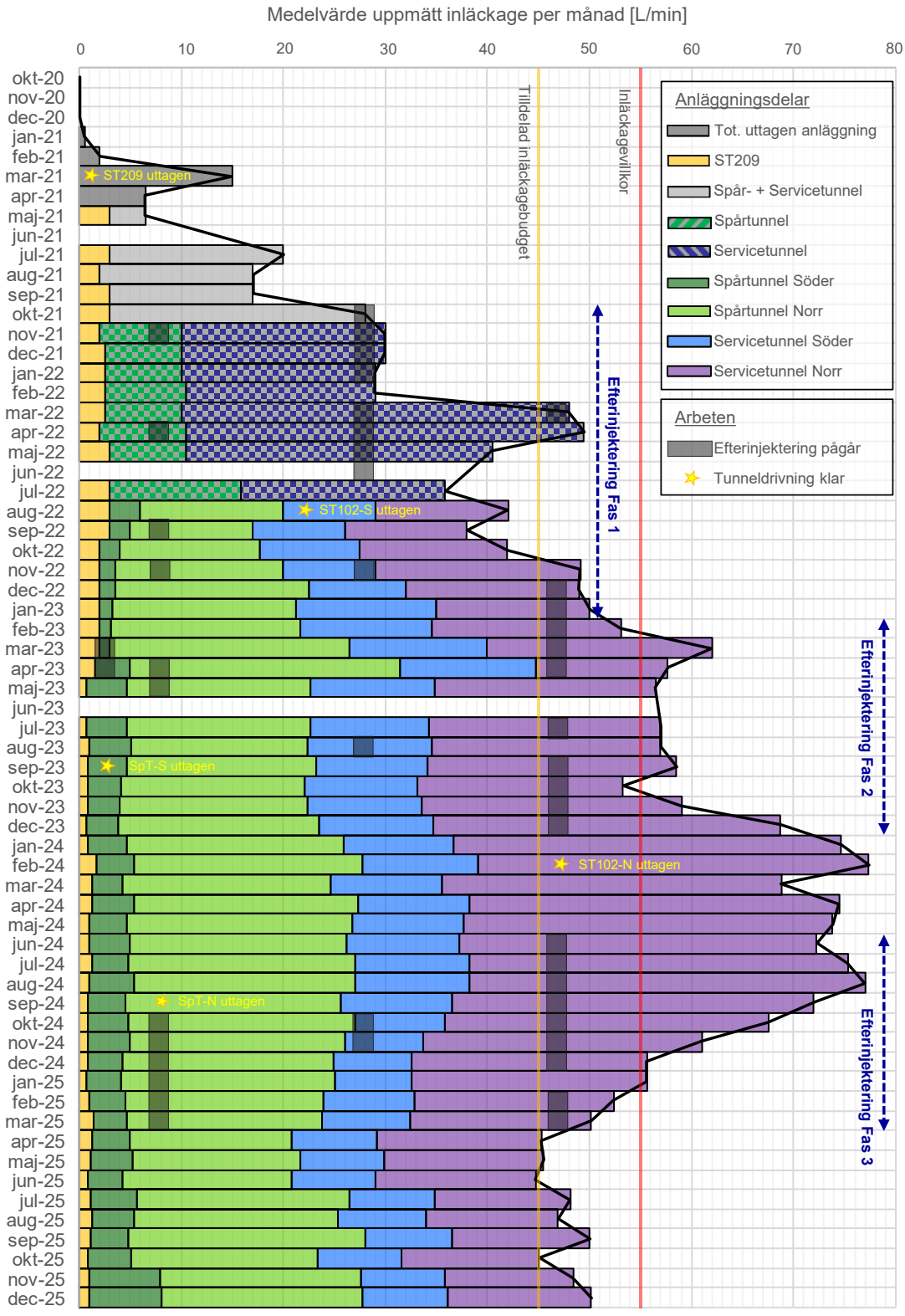
Tabell 1 redovisar uppmätta inläckage fördelat på enskilda mätsträckor. Den högra kolumnen i Tabell 1 redovisar reduktionen av inläckage från våren 2024 till våren 2025. Mätningar visar att efterinjekteringarna i fas 3 reducerat inläckagen med ca 50–70% på sträckorna med omfattande arbete och höga läckage; E05-20b, E05-21b och E05-20a.

Åtgärder som resulterade i inläckagereduktion

Under fas 1 och 2 samt inledande del av fas 3 resulterade utförda åtgärder inte i någon tydligt mätbar reduktion av inläckaget, utan den övergripande trenden var ett ökat inläckage. Under denna period förekommer också tunneldrivning, installation av mätanordningar och vissa mätproblem vilket gör mätvärdena svåra att gruppera. Men under den senare delen av fas 3 började inläckaget reduceras. I denna period utfördes åtgärder främst på de norra sträckorna, E05-20 och E05-21 genom:

- Kontinuerlig borrning över och under den intilliggande tunneln på båda sträckorna med upp till 29 m långa hål med ca 3–4 m mellanrum. På de sträckor där bruksåtgången var förhöjd borrades sedan en andra omgång med mellanliggande hål. Totalt ca 19 km borrhål, 25 ton cement och 134 m^3 silica sol.
- På sträcka E05-20 riktades även insatser mot en tvärande zon, där ett tiotal halvskärmar per tunnel liksom tvärande borrning under intilliggande tunnel. Denna enskilda åtgärd bedömdes medföra en inläckagereduktion om 2–5 L/min per tunnel. Totalt 8 km borrhål, 20 ton cement och 36 m^3 silica sol.
- På sträcka E05-21b i servicetunneln utfördes ett större antal botteninjekteringar och halvskärmar i vägg för att åtgärda den parallella zon som identifierats i området. Totalt i fas 2+3 ca 10 km borrhål, 67 ton cement och 18 m^3 silica sol.

Vissa enskilda efterinjekteringar i både fas 1 och 2 ledde till ökade läckage. När detta identifierats ökades omsorgen om att inte lämna läckande eller oinjekterade hål efter sig. Tunnelarbetarna visade stor flit i att få manschetter på plats, och alla hål efterfylldes sedan med tjockt bruk genom i hålmynningen monterad engångsmanschett.



Figur 3. Sammanställning av totalt uppmätt inläckage i Skår fördelat på anläggningsdel tillsammans med utförd efterinjektering.

Tabell 1. Översikt inläckagemätsträckor i Skår. Redovisade värden bedöms vara opåverkade av yttre faktorer. Värden ges för inläckage inför efterinjekteringsinsatsen 2024–2025, samt uppföljning av utfall i resulterande inläckage och reduktion i procent. Reduktion är beräknat från angivna medelvärden.

	Typvärde inläckage våren 2024 [L/min]	**Medelvärde rapporterat inläckage april – maj 2024 [L/min]**	**Omfattning utförda arbeten juni 2024 – mars 2025**	**Uppmätta inläckage april – oktober 2025 [L/min]**	**Medelvärde rapporterat inläckage april – oktober 2025 [L/min]**	**Faktisk reduktion [%]** ***Positiv = minskning inläckage Negativ = ökning inläckage***
ST209-01	0,7 – 1,1	1,1	Ingen	0,8 – 1,2	1,1	0
E05-20a	7,5 – 8,5	8,3	Omfattande	3,7 – 4,5	4,0	52
E05-21a	4,5 – 5,5	5,8	Begränsat	3,0 – 4,5	4,0	31
E05-22a	5,3 – 6	6,1	Begränsat	4,9 – 6,0	5,5	10
E05-23a	3 – 4,4*	4,4*	Ingen	3,6 – 4,7	4,1	6
E05-29	2,2 – 3,1	2,7	Begränsat	2,8 – 3,5	3,2	-21
E05-20b	9,0	9	Omfattande	2,7 – 3,0	2,9	68
E05-21b	17,5 – 18	17,9	Omfattande	6,4 – 7,2	6,8	62
E05-22b	8,5 – 9	8,5	Begränsat	6,2 – 6,8	6,3	26
E05-23b	10,7 – 11,5	11	Begränsat	8,1 – 8,7	8,3	24
Totalt rapporterat inläckage:		**74,2**			**46,5**	**37**

**1,5 L/min adderas på E05-23a som representerar inläckage från 9 meter tunnel söder om stoppvall i SpT. Från och med sommaren 2025 ingår inläckage från tunnelförlängningen i E05-23a.*

Störst reduktion av inläckaget har uppnåtts både i procent och absoluta tal på sträckor med omfattande arbete. Sträcka E05-29 med begränsade insatser ökade med 0,5 L/min under jämförelseperioden vilket bedöms bero på omfördelning från att angränsande E05- 20a och E05-20b minskat med totalt 10,4 L/min. Detta stärker den allmänna tesen att punktinsatser kan ha svårare att lyckas än utbredda insatser i det dåliga berget som sträcker sig in i intilliggande bättre berg.

Omgivningspåverkan

För att upprätthålla grundvattensituationen i omgivningen har skyddsinfiltration utförts. Infiltration har utförts i tre bergbrunnar och två-tre brunnar i jord. Under 2024 var det totala medelflödet 155 L/min vilket reducerades något under 2025 till 148 L/min. Infiltrationen innebär att grundvattennivåerna upprätthålls över i stort sett hela påverkansområdet, men flödena är höga. Ett optimeringstest planeras avseende infiltrationsflöden, som skulle kunna minska det totala infiltrationsflödet.

Noterbart är att det är ett betydligt större infiltrationsflöde jämfört mot inläckaget till berganläggningen. Trots minskade inläckage med 37% under 2025 har det totala infiltrationsflödet inte gått att sänka nämnvärt. 2025 var dock ett torrt år, eventuellt kan infiltrationsflödena reduceras något mer under normala år.

Diskussion

Infiltration och inläckagemätning

Det grundvattenmagasin som sträcker sig längs den stora dalgång som ligger parallellt med bergtunnlarna i Skår har under projektets gång visat sig vara svårtolkad, stora fluktuationer i både jord- och bergmagasinet har utvecklat sig på stora avstånd. Då det råder artesiska tryck i magasinet i kombination med att jord- och bergmagasinet samvarierar har det funnits svårigheter att kompensera påverkade grundvattennivåer med infiltration av samma storleksordning som inläckaget.

De brunnar som installerats inför bygget visade sig inte räcka till fullt ut för att kompensera för den uppkomna omgivningspåverkan på större avstånd från tunneln och svårighet finns att kompensera nivåerna vid samtliga riskobjekt, till exempel direkt ovanpå tunneln. Kompletterande borrningar har gjorts, där infiltration genom bergbrunnar har fungerat bättre än genom jordbrunnar. Vissa brunnar har etablerats närmare riskobjekten på dalsidorna. Då tillståndsprocesser för att få borra en brunn och förlägga ledningar i allmän mark är mycket tidsödande är tiden från identifiering av önskat borrläge ca 6 månader tills infiltrationsbrunnen är borrad och ytterligare 6 månader till färdig anläggning.

Ett villkor i miljödomen för Västlänken gäller mätning och rapportering av inläckage till bergtunnlarna. Som många bergtunnelprojekt erfarit föreligger det vissa osäkerheter och svårigheter med mätning av inläckage. Ambitionsnivån i Västlänken är hög med loggande flödesmätare i alla mätanordningar, veckovisa manuella mätningar efter produktionsuppehåll, kompletterat med totalmätningar. Detta tydliggör samtidigt variationer och osäkerheter på ett sätt som inte är möjligt i projekt med bara manuella mätningar. Det behövs en förståelse för flöden och hur inläckagemätningen påverkas av de arbeten som pågår och det vattensystem som finns. Anpassningar behöver ske kontinuerligt under projektets gång för att inläckagemätningarna ska bli representativa. Hela organisationen som arbetar i tunnlarna behöver även ha förståelse för inläckage-mätningens betydelse och hur olika arbeten inför mätning påverkar dess resultat.

På delprojekt Korsvägen har loggande flödesmätare använts på i stort sett samtliga sektionerande mätpunkter. Den stora fördelen är att de gör det möjligt att utvärdera när

det är stabila flöden och eventuell påverkan av framförallt processvatten avstannat. De ger även möjlighet till långa dataserier över perioder då det är längre produktionsuppehåll. Flödesmätningen kräver dock mer underhåll: fler ledningar och komponenter kan sätta igen, elektroniken kan krångla, styrning med nivågivare och pump behöver fungera bland annat. Vid mätning med flödesmätare behövs även en manuell kontrollmöjlighet för att kontrollera mätarens funktion så den inte satt igen/slitits ut av tunnelvattnet. Man behöver även kunskap om vilka flödesmätare som fungerar vid olika förutsättningar samt att dimensionering av flödesmätaren blir rätt i förhållande till det flödesintervall som ska mätas.

Det finns ett flertal olika mätlösningar för inläckage som har olika fördelar. Inom projektet har mätdiken, mätvallar, stuffmätningar och uppsamlande totalmätningar använts. Mätvall eller mätdamm, en gjuten betongvall tvärs tunnelsektionen, är en etablerad mätmetod som entreprenörer vet hur den hanteras då den använts i många tidigare tunnelprojekt. Mätdiket, ett utsprängt dike tvärs tunnelsektionen kan, om det utförs korrekt, effektivisera installationen av sektionsvis mätning då det kan utföras nära tunnelfront. Mätdiken kräver noggrann och fungerande pumpning för att mätningen ska fungera. Vi har funnit att man behöver vara noga med hur mätdiket sprängs ut: tunnelbotten är ojämn och dikeskonturen behöver vara markant djupare än omkringliggande berg längs hela tunnelsektionen för att inläckage inte ska kunna rinna förbi mätdiket. Det behövs en tydlig genomförandebeskrivning med exempelvis toleranser på bergschaktet för diket och/eller ett tydligt utförandekrav då det är en mätmetod som inte använts i så många tidigare projekt. Innan mätdikena tas i drift skulle de även kunna scannas in för att säkerställa dess funktion i förhållande till bergkonturen. Det krävs även ett kontinuerligt underhåll av ovanliggande makadam. Borrkax och finmaterial sätter igen mätdikena över tid och underhåll behöver säkerställa att inläckaget kan infiltrera ner i mätdiket och mätas i inläckagemätningen.

Efterinjektering

De komplexa förutsättningarna med en påverkad grundvattensituation från till exempel energianläggningar, skyddsinfiltration och läckage till befintliga tunnlar i kombination med ett känsligt grundvattenmagasin i jord samt en konnekterad bergmassa medförde att utvärderingen av effekterna av utförda åtgärder var svår. Det var dock tydligt att det skedde en reduktion av inläckage under den senare delen av fas 3. Denna reduktion är förmodligen en kombination av dittills utförda åtgärder och de riktade åtgärderna i de norra delarna. Analysen visar tydligt att det var enklare att åtgärda inläckagets storlek än att kompensera för sänkta grundvattentryck i grundvattenmagasinen. Då infiltrationen i området som krävs för att upprätthålla nivåerna är nästan tre gånger större än inläckaget

till hela tunnelsystemet visar detta även på att grundvattensystemet är komplext och att det sannolikt inte är enbart Västlänkens tunnlar som påverkar nivåerna.

Tidsåtgång och kostnad

Efterinjektering i bergtunnlar är en åtgärd som ofta kräver betydande resurser, både tidsmässigt och ekonomiskt. Arbetet innebär att täta kvarvarande inflöden efter ordinarie förinjektering, vilket i praktiken kan vara mycket tidskrävande eftersom åtkomsten är begränsad och de hydrauliska förutsättningarna sämre. Detta gör att kostnaden per meter tunnel blir avsevärt högre än vid förinjektering, även om förinjekteringen modifieras eller görs mer omfattande. Samtidigt kan tidsåtgången påverka projektets övergripande tidplan, vilket gör den svår att på förhand kvantifiera. För Skår har själva efterinjekteringskostnaden varit cirka 50 Mkr. Detta avser dock enbart kostnad för arbeten och inte indirekta kostnader.

Som alternativ/komplement till omfattande efterinjektering kan långsiktig skyddsinfiltration utföras. En sådan lösning innebär kontinuerlig infiltration av dricksvatten för att upprätthålla grundvattennivåer och därmed minska risken för sättningar och miljöpåverkan. Viss infiltration runtom Västlänken förväntades vara oundviklig. Kostnaden för skyddsinfiltration över en tunnels tekniska livslängd på 120 år kan bli hög, men är dock starkt beroende av antagna kalkylräntor. Det har därför hela tiden funnits en avsikt att minimera behovet av permanent skyddsinfiltration. Vid låg ränta framstår den långsiktiga driftkostnaden som betydande, medan en högre kalkylränta reducerar nuvärdet av framtida kostnader.

Med ett förväntat infiltrationsflöde i driftskedet i Skår som är något lägre än nuvarande infiltration beräknas en grov uppskattning av nuvärdet av totalkostnaden för fyra anläggningar under 120 år till mellan ca 40 - 190 Mkr med en diskonteringsränta på 1,4% och 3,5%. Det är inte känt vilka flöden som hade varit aktuella om efterinjektering inte utförts. Totalkostnaden inkluderar en antagen ökning av vattentaxan på mellan 1 till 3% samt uppskattade kostnader för el, tillsyn och underhåll av anläggningen. Beräkningen är baserad på flera antaganden och därmed osäker. Räkneexemplet visar dock att rent ekonomiskt så finns det ofta utrymme att genomföra relativt omfattande efterinjekteringsarbeten om man därmed kan reducera behov och omfattning av skyddsinfiltration.

Ett annat alternativ är att ansöka om en ny eller reviderad miljödom i det fall man kan påvisa att det föreligger en begränsad risk för skada i omgivningen även om angivna villkor inte innehålls. Detta innebär dock flera betydande risker. Det finns alltid en möjlighet att ansökan avslås eller att mer omfattande skyddsåtgärder föreskrivs. En ny prövning kan dessutom påverka projektets goodwill och relationer med myndigheter

och allmänhet. Vid beskrivna förhållanden i Skår, med en påverkan på grundvatten-situationen i området, är det osäkert hur nya eller reviderade villkor skulle utformas. Ett förändrat villkorsvärde skulle inte bidra till att hantera sättningsproblematiken i området och därmed är risken för avslag hög. En förnyad tillståndsprocess och den tid som det medför, skulle även i sig innebära en betydande kostnad för projektet.

Beslut om åtgärder och organisation

Vilka erfarenheter kan man då ta med sig från detta projekt till kommande? Även om varje projekt är unikt och har sina förutsättningar så finns det erfarenheter som man bör ta med sig från arbetena i Skår. En betydande fördel i detta exempel var att tunnlarna inte var på kritisk linje för produktion och det bedömdes realistiskt att utföra en omfattande efterinjekteringsinsats på ca 1 år. I perioder gjorde injekteringen att tunneldelar var avstängda för trafik, ibland med helt framgrävd bergbotten. Hade tunnlarna legat på tidskritisk linje hade en sådan åtgärd medfört betydligt större ekonomiska konsekvenser med väsentligt skilda förutsättningarna för val av åtgärd och dess omfattning. Vid val av åtgärd, som i huvudsak ofta omfattar utförande av efterinjektering, långsiktig skyddsinfiltration eller överväga att ansöka om nya eller reviderade villkor för projektet, medför detta en avvägning mellan tekniska, ekonomiska och strategiska faktorer. Varje alternativ har sina för- och nackdelar, och beslutet bör baseras på en helhetsbedömning av kostnader, risker, tidplan och långsiktig hållbarhet.

För att kunna identifiera behov av åtgärd så är det viktigt att det finns en organisation och rutiner för att identifiera behovet i så god tid som möjligt. På delprojekt Korsvägen fanns det en roll som injekteringsstöd som kontinuerligt följde upp utförda injekteringar och stöttade byggledning. Injekteringsstödet medverkade även på veckovisa samordningsmöten (VUK-möten) där även byggledning och de ansvariga för uppföljning av inläckage och omgivningspåverkan deltog. Detta medförde att man kontinuerligt kunde följa upp både injektering och inläckagesituationen.

Mätning av inläckage utfördes av entreprenören som delgav resultat till projektet och organisationen som ansvarade för uppföljning av tillståndet. För att säkerställa en jämn kvalitet i mätdata är erfarenheten att det krävs en dedikerad organisation som utför mätningarna då det krävs planering för att få till bra inläckagemätningar. Denna organisation bör vara på plats tidigt i projektet och upprätta rutiner som inte är personberoende. Det kan även vara en fördel att medvetengöra varför man mäter inläckaget och vad data ska användas till. Om inte tillförlitliga data erhålls så bör detta påverka entreprenörens framdrift, skrivningar i TB bör innehålla både tid och avstånd från stuff inom vilka mätningar ska levereras.

Inför beslut om åtgärd så behöver man, förutom att säkerställa att beslutet kan baseras på tillförlitliga data, ha en helhetsbild av olika alternativ. Olika parter i ett projekt har olika prioriteringar och det är viktigt att alla inser risker och konsekvenser med olika beslut. Till exempel så kan en påverkan på produktionshastigheten i det korta perspektivet vara kostsam, men ett varaktigt överskridande av villkor kan i ett längre perspektiv medföra betydligt större kostnader.

När man kommit till beslut om att utföra efterinjektering så är vår erfarenhet att kommunikation och dialog med samtliga involverade parter är viktig. Detta innebär att beställarens projektledning och byggledning, projektör samt entreprenörens platsledning och operatörer bör vara informerade om varför och hur en åtgärd ska utföras men även att man upprättar en dialog så att man kan tillvara ta allas erfarenhet och optimera utförandet. Det är även fördelaktigt om projektören kan vara aktiv i framtagandet av åtgärd, uppföljning av utförandet och analys av resultatet. Genom att utföra detta strukturerat så möjliggör det ett tydligare beslutsunderlag för att avgöra om åtgärderna har gett avsedd effekt eller vilka ytterligare åtgärder som krävs.

Slutsats

I det aktuella spricksystemet; välkonnekterat med många sprickor, öppna sprickor och parallella strukturer verkar nyckeln till lyckade resultat vara ihärdighet i efterinjekteringsarbetet med stora volymer, mycket borrning och engagemang i uppgiften i alla led.

Med facit i hand verkar inriktningen med omfattande efterinjektering ha varit rätt val framför ett försök till omprövning av villkor med de kostnader och insatser som det innebär och med oviss utgång. En viktig parameter i detta var att tunneln inte var på entreprenadens kritiska linje, så utrymme fanns att försena övriga efterföljande arbeten. Här hade tyngre insatser tidigare och i förinjekteringen kunnat ge effektivare resultat, men samsyn i alla led tog tid att uppnå.

Även om efterinjekteringen har lett till att inläckagevillkor innehålls behövs fortsatt omfattande infiltration för att upprätthålla nivåvillkoren.