

Underhållstätning av befintliga tunnlar

Äldre bergtunnlar tenderar att ha omfattande inläckage av vatten, vilket leder till stora drift- och underhållskostnader för tunnelägarna. Tätning genom efterinjektering har hittills ansetts vara en svår och osäker metod. I detta projekt har man, i en trång bergtunnel från början av 1970-talet installerad med fukt känsliga utrustningar, framgångsrikt utvecklat en metod för efterinjektering som medfört att vattenläckaget minskats till en tredjedel. Framgångsfaktorer var bland annat utveckling av designmetodik, genomförande av injekteringsarbetet, anpassning av utrustning och logistik till det begränsade utrymmet i tunneln samt inte minst ett gott samarbete mellan samtliga inblandade parter.

Bakgrund

Stora forskningsinsatser på injektering har utförts inom Sverige de senaste 20 åren. Forskningen har i huvudsak varit inriktad på nyproduktion av bergtunnlar och bergrum och främst som förinjektering, det vill säga injektering av berget före berguttaget.

Efterinjektering, vilket innebär injektering av omkringliggande berg efter berguttag, och förståelse för dess mekanismer har generellt ansetts som svårt och hopplöst. Under de senaste åren har forskningsinsatser gjorts vid Chalmers (Fransson & Gustafson, 2006 och Fransson & Gustafson, 2008) i syfte att förstå mekanismerna vid efterinjektering samt för att upprätta strategier för design och utförande.

Telia har ett stort antal bergtunnlar runt omkring i Sverige och tunnarna i Göteborgsregionen byggdes under 1960- och 1970-talet som har en varierande grad av vattenläckage in i tunnarna. Flera efterinjekteringsinsatser har gjorts under åren i dessa tunnlar, främst under 1980-talet, och en viss minskning av vattenläckaget in i tunnarna har uppnåtts. Det kvarvarande vattenläckaget in i tunnlar leder ofta till stora drift- och underhållskostnader för anläggningsägarna.

Syfte

Syftet med projektet är att implementera och vidareutveckla en designmetod för efterinjektering med syftet att minska inflödet och ge ett tillvägagångssätt för framtida underhållsarbete.

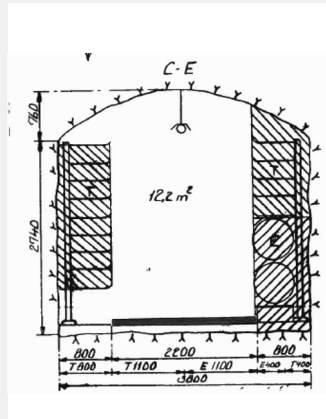
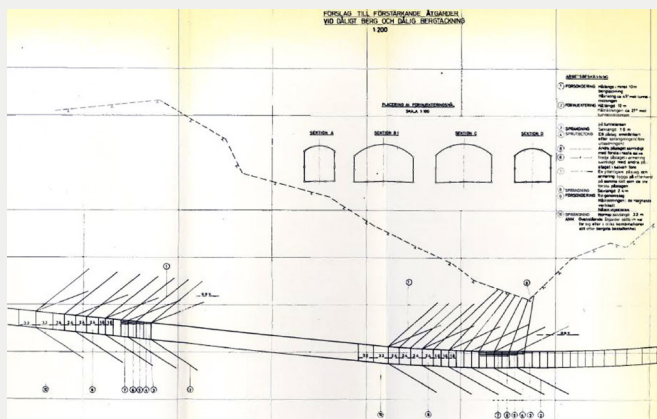
Projektets främsta mål är därför att demonstrera och prova nyvunna kunskaper inom efterinjekteringsforskningen samt att dokumentera testad design och utförande.

Genomförande

Med finansiellt stöd från SBUF, BeFo och Sven Tyréns stiftelse har arbetet utförts av Chalmers, Avd för geologi och geoteknik (forskare), Tyréns (projektör) och AB Besab (bergentreprenör).

I projektet har en cirka 1 km lång bergtunnel under centrala Göteborg ingått i utvecklingen av en ny designmetodik för efterinjektering. Anläggningsägaren för den aktuella tunneln är Telia. Utredningar och projektering av bergtunneln påbörjades i slutet av 1960-talet och genomfördes under början av 1970-talet (1970 till 1972). Tunneldrivningen skedde med traditionella metoder (borring och sprängning) samt en konventionell förstärkning,

det vill säga genom bergbult och sprutbetong. Under tunneldrivningen förekom stabilitetsproblem vid tunnelns lågpunkt där bland annat upptryckning av botten skedde. Dessa stabilitetsproblem åtgärdades med en betongplatta och betongstöttor och -bågar. Under genomförandet av tunnelprojektet togs beslut att förinjektering med cement skulle ske vid "dåligt berg" och



"dålig bergtäckning" efter sonderingsborrning enligt bygghandlingar, se figur. Efter ett antal års drift kompletterades tunneln med ytterligare efterinjektering i början av 1980-talet i syfte att minska vattenläckaget in i tunneln. Vid efterinjekteringen användes huvudsakligen cement som injekteringsmedel för spricktätning.

Resultat

Inflödet mellan mätvall (sektion) 105-106 låg mellan 5 till 6 l/min på en stäcka av 100 m under 1970-talet. Efter den kompletterande efterinjekteringsinsatsen i början av 1980-talet sjönk vattenläckaget in i den aktuella sektionen till strax under 5 l/min på 100 m. Vid mätningar under 2009 vara vattenläckaget in i den aktuella mätsektionen 3,8 l/min på 100 m tunnel.

Bestämning av den dimensionerande sprickvidden är viktig för att sättas ett krav på injekteringsmedlets penetrationsförmåga.

Två huvudtyper av injekteringsmedel planerades för projekt, dels ett cementbaserat och dels ett silikatbaserat (silica sol). I planeringen förväntades det silikatbaserade injekteringsmedlet att användas i huvudsak och det cementbaserade vid större läckage i injekteringshålen. Kriteriet för när cement skulle användas angavs i basdesignen.

Baserat på resultat från kärnborrningen ändrades målet för acceptabelt vattenläckage in i tunneln från cirka 2 l/min och 100 m till cirka 1 l/min och 100 m för aktuell sträcka (sektion 2/992-3/081). Förändringen grundar sig på den nya kännedomen om sprickviddsfördelningen i kombination med minsta sprickvidd som är möjlig att injekteras med silica sol.

I nedanstående tabell sammanfattas vilka sprickvidder som måste tätas för att erhålla ett vattenläckage på 1 l/min och 100 m tunnel. Beräkningarna är baserade på vattenläckage utan injektering och vilken reducering av flödet som kan erhållas efter att sprickorna tätas.

Beräkning av inläckaget beroende på minsta tätad spricka.

Minsta tätad spricka, b_{min} [μm]	Beräknat vattenläckage, [l/min 100 m]	T_{inj} [m^2/s]	Kommentar
Ingen	3,8	$2,4 \cdot 10^{-6}$	Utan injektering
136	2,9	$8,2 \cdot 10^{-7}$	Största spricka tätad
34	1,0	$1,3 \cdot 10^{-7}$	Kritisk dimensionerad sprickvidd

I ovanstående tabell avses med benämningen "Ingen" ett beräknat vattenläckage lika med 3,8 l/min på 100 m tunnel, vilket verifierar att sprickviddsfördelningen är representativ för tunnelsträckan. Vattenläckaget 3,8 l/min på 100 m tunnel är förvänsvärt överensstämmande med uppmätt vattenläckage i mätvallen för tunnelsträckan.

Kärnborrning visade på en fullgod tätad zon med cement runt tunneln (vinkelrätt förinjekterings-skärmarna). Därmed fokuserades efterinjekteringen på sprickor parallellt med förinjekterings-skärmarna och "inne" i den förinjekterade zonen.

Slutsatser

Det genomförda projektet har uppnått syften och målen genom att man har:

- Utvecklat och genomfört en designmetodik för efterinjektering av befintliga tunnlar.
- Genomfört efterinjektering av befintlig tunnel enligt en framtagna design och strategi, där mindre förändringar av utförandet har baserats på observationer och basdesignen.
- Uppnått uppställda delmål under genomförandet och slutmål för acceptabla mängder vatten läckande in i aktuell tunnelsektion.
- Genomfört ett samarbetsprojekt där beställare, forskare, projektör och entreprenör har deltagit aktivt från initieringen till avslutning av projektet.

Förväntade scenarier och förlopp stämde bra överens med iakttagelser under injekteringen. Batchblandning och injektering med silica sol genomfördes utan problem tack vare att entreprenören hade tidigare erfarenhet av silica sol och direkta kommunikationer på plats mellan entreprenör, forskare och projektör via en injekteringsingenjör. I detta projekt, och även dokumenterat i andra projekt, var läckande borrhål ett problem. Vattenläckaget minskades från cirka 3,8 till cirka 1,3 l/min och 100 m tunnel, vilket är ett resultat andra efterinjekteringsprojekt inte har kunnat uppnå.

Rekommendationer inför liknade framtida efterinjekteringsprojekt är:

- en grundlig förundersökning av befintliga förhållanden såsom mätningar, handlingar etcetera
- kompletterande riktade undersökningar för designen
- genomgång av vilken utrustning som kan användas i förhållande till kravspecifikation samt transporter och logistik
- design som baseras på ovanstående punkterna och med åtgärder för olika situationer
- minst en avstämning görs inledningsvis för att verifiera design och utförande
- och slutligen att alla parter så tidigt som möjligt är engagerade i projektet.

Ytterligare information

Kontaktpersoner:

Tommy Ellison, Besab, tel 031-742 70 05, 070-552 09 22, e-post: tommy.ellison@besab.se

Litteratur:

Underhållstättning av mediatunnel i Göteborg – Design och utförande av efterinjektering (BeFo, Rapport 105, av T. Jansson, Tyréns, J. Funehag, Chalmers, N. Granberg, Tyréns, H. Jonsson, Tyréns) kan beställas från BeFo, tel 08-762 62 20, info@befoonline.org, www.befoonline.org