

Läckande borrhål, problem?

Läckande borrhål kan vara ett problem i tunnelbyggande, trots att de har injekterats. Läckagen är ibland små så att de inte upptäcks innan borrhålen är bortsprängda, eller ibland stora med flertalet misslyckade tätningsförsök. Med strikta krav på inläckage till tunnlar i urban miljö kan de läckande borrhålen stå för en stor andel av det kvarvarande inläckaget.

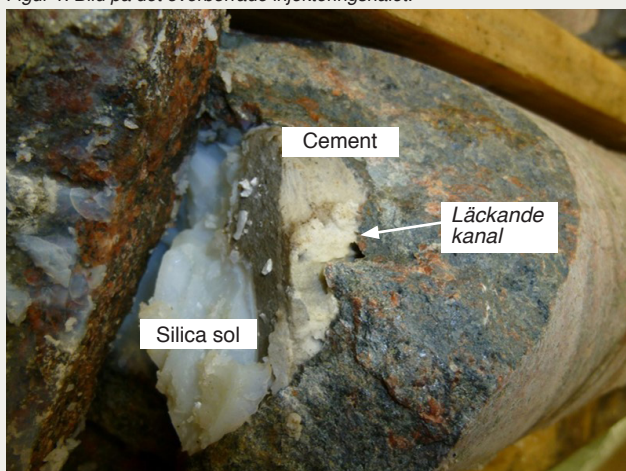
Bakgrund till forskningsprojektet

Kraven på täthet i tunnlar är idag stora och i många tunnlar står kvarvarande läckande borrhål för en signifikant del av inläckaget. Att borrhål kan läcka efter det att de injekterats är inte helt känt i branschen. Det beror bland annat på att framdriften i tunnelprojekt är snabb, vilket gör att berguttaget sker strax efter att man injekterat färdigt och möjligheten till uppföljning blir då liten eller obefintlig. Upptäckten av läckande borrhål i produktion berör därför främst bulthål som borrar i ett senare skede.

Läckande borrhål kan vara ett problem i tunnelbyggande, trots att de injekterats. Läckagen är ibland små så att de inte upptäcks innan borrhålen är bortsprängda, eller ibland stora med flertalet misslyckade tätningsförsök. Med strikta krav på inläckage till tunnlar i urban miljö kan de läckande borrhålen stå för en stor andel av det kvarvarande inläckaget. Vad som orsakar läckagen i borrhålen och vilka processer som är bakomliggande kan vara många men erosion av injekteringsmedlet är en av dem.

Detta projekt med ett läckande borrhål i en mediatunnel finansierades främst av SBUF och TeliaSonera.

Figur 1. Bild på det överborrade injekteringshållet.



Syfte

Några hypotetiska förklaringar till varför läckande borrhål uppträder trots att borrhålen blivit injekterade och fyllda listas nedan:

- *Injekteringstekniken*; kanaler bildas i pluggen, tryck och tider är inte lämpliga, borrhålsfyllnaden är inte tillräcklig, manschetten läcker.
- *Bruksvalet*; inte anpassat till sprickorna längs borrhålet, för lågt injekteringstryck i förhållande till skjuvhållfasthet på bruket, bruket har för låg skjuvhållfasthet när injekteringstrycket stängs av, manschetten tas bort för tidigt.
- *Berget*; Vattenföringen i berget ger en för hög eroderande skjuvkraft, sprickgeometrierna gör så att man får ytläckage, sprickor som läcker i bulthålen har inte nåtts av injekteringshålerna, andra vattenförande kanaler öppnas upp på grund av injekteringstrycket.

Av den ovanstående listan av möjliga orsaker till läckande borrhål, behandlar detta projekt främst vattenföringen i berget och dess potentiellt eroderande kraft på bruket.

Genomförande

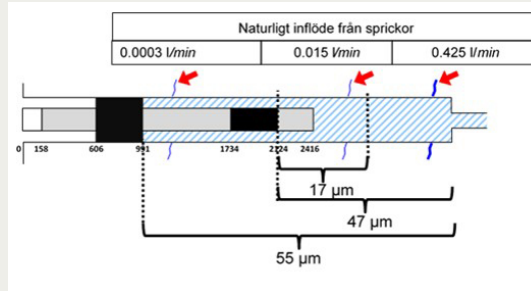
Problemet med läckande borrhål har utretts som en del i ett forsknings- och tätningsprojekt i en mediatunnel i Göteborg. Efterinjektering användes som en underhållsåtgärd för att minska inläckaget till tunneln. Delprojektet ingår i ett större projekt där hydraulisk gradient och läckande borrhål studeras vidare med både laborationstester och ytterligare fältobservationer. Arbetet har utförts främst som fältarbete tillsammans med Besab AB där flertalet hydrauliska tester och injekteringar har utförts.

Hydraulisk gradient och aktuell spricka

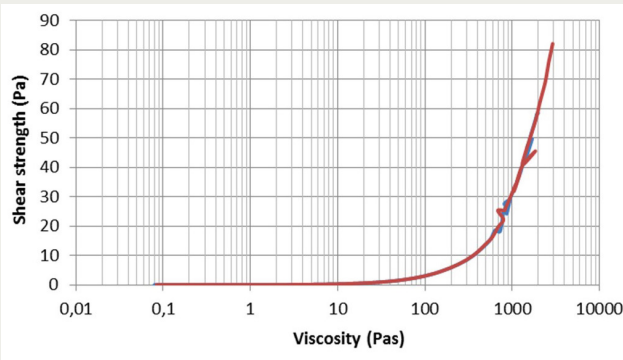
I detta projekt har borrhål borrats vid sidan av aktuellt borrhål vilka korsar den läckande sprickan. Med den trycksänkning som mättes i de konnekterande borrhålen givet spricklängden kunde den hydrauliska gradienten beräknas.



Figur 2. Bild på injekteringspluggen vid den läckande sprickan cirka 3,3 m in i kärnan.



Figur 3. Figur visande de viktigaste analyserna från de sektionvisa hydrauliska testerna.



Figur 4. Diagram över styrketillväxten under gelningen för silica sol medan viskositeten ökar.

Överborrning av det tidigare injekterade borrhålet verifierade att sprickan inte blivit tät. Från sprickläget längs hela injekteringspluggen kunde en kanal skönjas. Sektionsvisa hydrauliska tester utfördes och bekräftade en hydraulisk sprickvidd på cirka 50 µm 3,3 m in från tunnelvägg. Den teoretiska modellen för hydraulisk gradient och skjuvkraft från vattnet innebär att ju större sprickvidd desto större blir skjuvkraften, eller ju större den hydrauliska gradienten är desto större blir skjuvkraften.

Silica sol beter sig som ett flytande material i början som sedan går över till ett mer duktilt material och slutligen åt ett mer sprött beteende. En serie av uppmätta fallkonsvärden jämfördes med nya reologiska mätningar av skjuvhållfastheten (Nilsson och Livieros, 2017). Båda mätningarna stämmer bra överens med en tolkad skjuvgräns på 60-80 Pa vid geltid.

Resultat

Hydraulisk gradient och skjuvkraft

De hydrauliska testerna visade på en hydraulisk sprickvidd på 50 µm. Konnektionstesterna visade en hydraulisk gradient på minst 60 m/m. Med teorin om skjuvkraft och gradient motsvarar detta en pådrivande kraft från vattnet på 15-20 Pa. Totalt utfördes fyra injekteringar av borrhålet inklusive ordinarie efterinjektering mellan åren 2010 och 2013. Ordinarie injektering utfördes med silica sol. Borrhålet blev inte tätt. Detta vittnar om att skjuvhållfastheten vid avslut av injekteringen var lägre än de 15-20 Pa som är vattnets pådrivande skjuvkraft antogs vara.

Silica solens geltid påverkas av temperaturen, en dubblad temperatur ger halverad geltid. När silica solen blandas i injekteringsutrustningen har den tunnelns temperatur. När medlet injekteras i berget så kyls den ned och geltiden förlängs. Enkelt uttryckt, när silica solen gellar i injekteringsutrustningen så är den fortfarande blaskig/flytande i berget. Vid den sista injekteringen kompen-serades geltiden med hänsyn till temperatur. Silica solen och

saltlösningen kyldes ner till 8-9°C innan den blandades. Två dagar senare öppnades manschetten och borrhålet bedömdes som tätt, varken vid öppnandet manschett eller vid mätning 30 cm framför borrhålspluggen observerades läckage.

”Misslyckade injekteringar” och skjuvhållfasthet

Teorin rörande bakåtlöde (Axelsson, 2009) mynnar ut i att skjuvhållfastheten måste vara större än vattnets pådrivande skjuvkraft vid avslut av injekteringen. Vid den lyckade injekteringen pågick injekteringen till långt förbi full geltid och med mer kontroll på temperaturen. Temperaturen uppgick till cirka 10°C i batchen vid avslut (två timmar) och den tolkade skjuvhållfastheten på silica solen var mer än 60 Pa. Denna injektering resulterade, enligt tidigare, i ett tätt borrhål. Med de två injekteringar som gjorts, en misslyckad och en lyckad kan slutsatsen dras att den skjuvkraft som verkade från vattnet var större än tidigare antaget och i storleksordningen mellan 21 till 60 Pa.

Slutsatser

De två olika sätten att bringa klarhet i hydraulisk gradient och skjuvkraft från vattnet har utförts från två olika håll. Hydrauliska tester indikerar att skjuvkraften från vattnet i just denna spricka är mellan 20-60 Pa. Den injektering som tätade borrhålet till slut avslutades med en hållfasthet på silica solen större än 60 Pa.

Att borra kontrollhål eller kompletterande efterinjekteringshål i en efterinjekterad tunnel utgör en ännu större risk för höga hydrauliska gradienter. Detta kan göras men större hänsyn bör tas till förhöjda gradienter vid dimensionering. Kunskap har erhållits om hur gradienten kan bedömas och vilken storleksordning av denna som förväntas.

Ytterligare information

Kontaktpersoner:

Johan Funehag, Tyréns AB och Chalmers tekniska högskola, tel. 0706-008225, e-post: Johan.funehag@chalmers.se.

Litteratur:

- Axelsson, M. (2009). Prevention of erosion of fresh grout in hard rock. Doktorsavhandlingar vid Chalmers tekniska högskola. Ny serie, 2915. Institutionen för bygg- och miljöteknik. Geologi och geoteknik. Chalmers tekniska högskola.
- Nilsson, R. Livieros, F. A. (2016). Shear strength and erosion susceptibility of silica sol Laboratory studies of a grouting material using mechanical tests, rheological tests and a fracture replica. Master of Science Thesis in the Master's Programme Infrastructure and Environmental Engineering. Chalmers Tekniska Högskola.