



Figur 1. Isbildning i tunnelpåslag.

Dropptätning av tunnlar

Två tunnlar, "Sjökullen Norra och Sjökullen Södra" som är cirka 120 m långa vardera och ligger mellan 10 och 15 m under markytan, har injekterats och utvärderats i det här projektet. Förinjekteringen använde både cement och silica sol (fintättningsmedel) och följde en strukturerad metod där vattenförlustmätningar användes i varje injekteringshål. Utvärderingen gjordes på plats för att snabbt kunna bestämma vilken typ av injekteringsmedel som skulle användas. Det slutliga resultatet indikerar att användningen av denna metod minskat mängden dropp.

Bakgrund

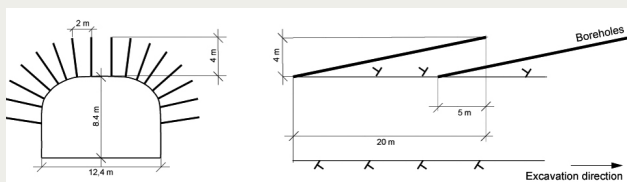
Dropp och åtföljande istappsbildning kräver kostsamma åtgärder för dränsättning i väg- och järnvägstunnlar och i vissa fall även efterinjektering (Figur 1). Problemet är väl känt och har studerats i flera tunnelprojekt som genomförts under senare år. Förinjektering med fintättningsmedel (silica sol), rätt utfört, har visat sig vara effektivt för att tätas tunnlar så att den erforderliga dränarean minskar väsentligen. Vidare finner man att i många projekt är de flesta

av injekteringshålen så kallade nollhål, där injekterad bruksvolym i stort sett motsvarar hålvolumen. Om vattenförlustmätningarna för dessa hål analyseras finner man att de har en låg vattenförlust, l/min vid ett givet tryck (Lu), alltså de är inte helt täta. De "nollhål" som borrats för injektering och inte utnyttjas fullt ut kan injekteras med ett fintättningsmedel (silica sol) som genom sin bättre inträngningsförmåga förmår täta de fina sprickorna som är ett bidrag till droppen i tunneln.

Syfte

Huvudsyftet var att genomföra en design baserat på förinjektering som kommer att minimera droppar från tunneltaket. Detta förmodas kunna undvika de problem som droppar skapar och minska mängden dräner. Dessutom ville projektet visa att man kan utnyttja det redan utförda arbetet med borrhål (noll-borrhål) på ett effektivare sätt. Detta genom att implementera i gällande design även ett fintättningsmedel (silica sol). För förståelsen krävde detta en strukturerad arbetsmetod där vattenförlustmätningar i varje injekteringshål användes för att bestämma vilken typ av medel skall användas.

Projektet jämförde en förinjekteringsdesign baserad på både cement och silica sol med en design baserad på endast cement. Det förväntade resultatet är att entreprenörer och beställare kommer att dra nytta av resultatet genom effektivare arbetsprocesser, ökad förståelse av processen och "mer tunnel" för pengarna.



Figur 2. Layout av förinjekteringskärm. Avstånd och längd av borrhålen är specificerad.



Figur 3. Injektering av skärm nr 2 i Sjöskullen Södra tunnel med både cement och silica sol. Vattenförlustutrustningen som användes syns i nedre vänstra delen av bilden.

Genomförande

Med stöd från SBUF och Trafikverket har arbetet utförts av avdelningen för geologi och geoteknik på Chalmers Tekniska Högskola. Två tunnlar nära Sjöskullesjön längs "BanaVäg i Väst-projektet" har undersökts och utvärderats i det här projektet (Sjöskullen Norra och Sjöskullen Södra). Tunnelnarna är cirka 120 m långa vardera och ligger mellan 10 och 15 m under markytan. De är bara några tiotals meter från varandra. Berggrunden i området är främst gnejs med varierande inslag amfiboliter.

Den injekteringsdesign som används i detta projekt följde en strukturerad metod där borrhålen från förundersökning har använts som grund för layout, se **Figur 2**. Vattenförlustmätningar (hydrauliska tester) i injekteringshål användes för att bestämma vilken typ av injekteringsmedel som skulle användas (cement eller silica sol), ett exempel på en injekteringskärm visas i **Figur 3**. I designen för Sjöskullen Norra tunnel användes enbart cement,

därför utfördes inga hydrauliska tester innan injektering. Efter tunneldrivningen utfördes en droppkartering med syftet att visa kvarvarande dropp. En droppkartering består av kartläggning av observerade droppar från tunneltaket och droppmängden som fukt, droppande eller rinnande vatten. Droppkartering var en mycket viktig del av uppföljningen och förståelsen.

Resultat och slutsatser

Sjöskullen Södra tunnels skärmar nr 1, 2 och 3 (som ligger vid de båda påslagen) var injekterade med endast cement medan resterande skärmar injekterades med en kombination av cement och silica sol. I Sjöskullen Norra tunnels samtliga skärmar injekterades med enbart cement. Jämförelsen av båda tunnelnarna visade att injekterad bruksvolym i stort sett motsvarar hålvolymen när enbart cement användes. Om man använde fintättningsmedlet silica sol visar detta på en större bruksvolym vilket beror på silica solens bättre penetrationsförmåga i de finare sprickorna. Jämförelsen mellan droppkarteringen av de båda tunnelnarna samt vetskap om dess likhet i sprickfördelningen visar att användningen av silica sol i kombination med cement för injektering gav bättre tätningseffektivitet (mindre antal droppar) än om enbart cement användes. Detta påstående stöds av mängden dräner i tunnelns tak, ungefär 70 % i Sjöskullen Norra jämfört med cirka 50 % i Sjöskullen Södra. Denna utvärdering visade att en design baserad på en metod där vattenförlustmätningar i injekteringshål utnyttjas för att bestämma vilken typ av injekteringsmedel som skall användas (cement eller silica sol) har minskat mängden dropp, alltså är ett av syftena med projektet uppfyllt.

Efter tunneldrivningen fanns det delar med kvarvarande dropp, vilket gjorde droppkarteringen till en mycket viktig del av uppföljningen och förståelsen. Det återstående droppet antas härröra från ett kanaliserade systemet som inte tätats av förinjekteringen. De transmissiva plana-sprickor förväntas vara tätade antingen med cement eller med silica sol under injektering. Detta projekt visade också att de förväntade praktiska svårigheterna med två olika medel i samma injekteringskärm löstes ganska smidigt. Detta ger mer förtroende för själva förfarandet. Den utförda droppkarteringen är gjord under vintern. För att få en bättre förståelse om hur dropparna varierar i mängd rekommenderas att en droppkartering utförs under våren och höst.

Ytterligare information

Kontaktpersoner:

Christian Butrón, Chalmers Tekniska Högskola / Vectura Consulting AB, tel 070-2322913, e-post: christian.butron@chalmers.se.

Johan Funehag, Chalmers Tekniska Högskola, tel 0706-008225, e-post: johan.funehag@chalmers.se

Litteratur:

- Pre-excavation grouting in the Sjöskullen tunnels: Design, evaluation and experiences (Chalmers University of Technology, Publ. nr. 2012:4, av Christian Butrón, Johan Funehag, Gunnar Gustafson, 72 sidor) kan lånas från Chalmers Biblioteket.

Internet:

www.sbuf.se under projekt 12306