

AVLASTNINGSHÅL SOM KOMPLEMENT TILL DRÄNER OCH EFTERINJEKTERING I BERGTUNNLAR

Förstudie

Thomas Andersson

Thomas Janson

Avlastningshål som komplement till dräner och efterinjektering i bergtunnlar

Förstudie

Thomas Andersson, Tyréns
Thomas Janson, Tyréns

FÖRORD

Systemet för tätning av tunnlar innefattar vanligen förinjektering, eventuell även efterinjektering samt därefter montering av vatten- och frostisolering i form av dränmattor som sprutas in med fiberarmerad betong. I samband med en inventering av olika möjligheter till förbättringar av dräneringssystemet har en idé presenterats som innebär att man styr inläckande vatten på så sätt att det kan samlas upp eller avledas på ett på ett mera rationellt sätt än med konventionella dräner. Förslaget ansågs värt att pröva i form av en mindre förstudie som skulle kunna ligga till grund för eventuellt fältförsök i mindre skala som i sin tur skulle visa metodens möjligheter i större tillämpning. Föreliggande studie har sålunda genomförts av Thomas Andersson och Thomas Janson, Tyréns, och innehåller också förslag till ett praktiskt försök. Beslut om ett sådant kommer att prövas först efter att man funnit en lämplig plats och tagit fram ett mer detaljerat förslag till genomförande. Förstudien har finansierats av SveBeFo.

Stockholm i maj 2007

Tomas Franzén

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

1	BAKGRUND OCH SYFTE.....	1
2	FÖRUTSÄTTNINGAR OCH PROBLEMSTÄLLNING.....	2
2.1	Bergets geologiska och hydrogeologiska egenskaper	2
2.2	Utförda bergarbeten	2
3	INFORMATIONSSÖKNING	4
4	FÖRSLAG TILL PLANERING AV AVLASTNINGSHÅL	6
4.1	Generellt.....	6
4.2	Risker och konsekvenser med avlastningshål.....	8
5	BORRNING AV AVLASTNINGSHÅL - PRINCIPER	9
6	REKOMMENDATIONER	14

1 BAKGRUND OCH SYFTE

I de flesta tunnelprojekt ställs krav med avseende på dels att minimera grundvattensänkningen och dels att tunneln skall vara mer eller mindre is- och droppfri. Det första kravet uppfylls vanligtvis med förinjektering och eventuellt efterinjektering. Det andra kravet om en droppfri tunnel tillgodoses främst genom dräner och vatten- och frostisolering (lätt inklädnad).

Montering av dräner och inklädnader är i regel tids- och kostnadskrävande och skapar ofta ytterligare problem som t ex samordning med andra installationer, krympsprickor i sprutbetong mm. Inklädnader kräver också ett relativt stort utrymme av den fria tunnelsektionen eftersom de måste monteras med distans mot berget för att få en jämn yta som är dränerande. Konstruktionen kan totalt bli ganska tjock med alla nödvändiga skarvar, överlappningar, förankringsbultar och täckande sprutbetongskikt, som fungerar som brandskydd för dränmattan.

Syftet med projektet är att undersöka om det kan finnas några ickekonventionella metoder för att minska droppläckaget i bergtunnlar. Denna rapport utgör en förstudie för att försöka finna lösningar på alternativa metoder. Undersökningen har koncentrerats till metoden att borra avlastningshål/dräneringshål i områden med inläckage. Olika varianter på denna lösning är tänkbara. Inledningsvis har förstudien koncentrerats till att samla in information från litteratur och eventuella erfarenheter från genomförda underjordsprojekt.

Därefter har några idéuppslag om vattenavledning studerats och beskrivits med avseende på tänkbart utförande och funktion. En analys av problem och risker med metoderna har därefter gjorts för att kunna bedöma metodernas relevans att minska inläckaget i tunnlar.

2 FÖRUTSÄTTNINGAR OCH PROBLEMSTÄLLNING

Det grundläggande syftet med avlastningshålerna är att minska och avleda dropläckaget inom en större yta för att kunna minimera insatsen av t ex efterinjektering och isolering. Metoden kan tänkas att utföras som ett komplement till de konventionella metoderna vid nybyggnation av bergtunnlar eller som ett försök att förbättra bortledning av vatten i befintliga tunnlar med inläckageproblem.

Åtgärderna förutsätter att en kontinuerlig förinjektering av berget är utförd under tunneldrivningen och att de alternativa metoderna bedrivs innanför den tätade zonen. Bortledning av inläckande vatten genom t ex avlastningshål är tänkt att utföras i områden där omfattande dropläckage fortfarande kvarstår efter utförd förinjektering. Borrning av avlastningshål måste därför utföras inom den tätade zonen och utan risk för grundvattenavsänkningar.

De faktorer som mest bedöms påverka möjligheterna och resultatet att avleda läckvatten genom s.k. avlastningshål kan indelas enligt nedan:

- Bergets geologiska och hydrogeologiska egenskaper
- Utförda bergarbeten

2.1 Bergets geologiska och hydrogeologiska egenskaper

Flera faktorer har betydelse för möjligheterna att avleda vatten genom avlastningshål. Hur är de vattenförande sprickorna orienterade i förhållande till tunnelns och borrhålens riktning samt till bergets huvudspänningsriktningar? Sprickegenskaper som sprickvidd, ytråhet, vittringsgrad, sprickfyllning och längd har stor betydelse för vattenföringen. Hur ser bergmassans sprickmönster, blockvolym och sprickfrekvens ut? Finns det vattenförande sprick- och krosszoner? Förekomsten av vattenförande sprickkanaler och mikrosprickor mellan huvudsprickriktningarna kan spela en stor roll i sammanhanget. Hur varierar bergets hydrauliska konduktivitet i tunnelprognosen samt mellan otätad och tätad bergmassa?

Man har ofta ett stort vattentryck mot den injekterade zonen och ett minskande vattentryck inom tätzonen, vilket kan medföra en viss kapillaritet i bergets sprickor. Dräneringsvägarna mot avlastningshålerna kan motverkas av bergmassans porositet och kapillärkrafter.

Typ av berggrund, kristallin eller sedimentär, förekomst av olika bergarter som t ex vattenavskärmande diabas- och amfibolitgångar liksom vattenförande zoner och pegmatiter påverkar givetvis också förutsättningarna. En god geologisk och hydrogeologisk modell av berggrunden är viktig för att kunna bedöma möjligheterna att avleda inläckande vatten.

2.2 Utförda bergarbeten

Resultaten av förinjektering, skadézonsutbredning efter sprängning, läckande borrhål etc. påverkar också effekten av avlastningshål.

Risken att den injekterade zonen punkteras av avlastningshålerna ökar om det finns stora variationer i den tätade zonens tjocklek och om tätningseffekten varierar

mycket i bergmassan. Skadezonens tjocklek i förhållande till teoretisk tunnelkontur beror till stor del av bergschaktningstolerans, typ av sprängmedel och borrhålens stickning. Utfall av större bergkilar utanför teoretisk bergschaktningskontur minskar också utrymmet för borring av avlastningshål.

3 INFORMATIONSSÖKNING

Sökningen har främst koncentrerats till databaser där relevant information kan tänkas finnas. Databaser över utgivna publikationer, avhandlingar och rapporter har sökts hos högskolor, Vägverket, Banverket mm. *Tabell 3.1* visar en sammanställning av sökområden.

Förutom sökning på nedanstående adresser har sökning även utförts på hela webben. Exempel på sökord har varit: *dränering, vattenavledning, inläckage, droppläckage, drainage, tunnel drainage, tunnel leakage, tunnel seepage, seepage cutoff, dewatering, relief wells, relief holes, wellpoint, vacuum wellpoint* mm. Sökningen har ofta gett träffar på rapporter, tekniska pm och avhandlingar. På några sidor har hela publikationer kunnat hämtas medan på flertalet finns endast abstracts och sammanfattningar. Gemensamt är dock att någon relevant information som behandlar alternativa metoder för dränering av läckvatten i bergtunnlar, inte har kunnat hittas förutom en artikel från Rallaren nr. 28 som beskriver is- och vatttenproblem i Nuoljatunneln där dräneringsrör borrades för att avlasta betongkonstruktioner. Hålen har försetts med eluppvärmning.

Rapporter och avhandlingar med avseende på konventionella metoder som injektering och isolering med dräner upptar det mesta av publicerat material.

Tabell 3.1 Informationssökning

Sökning inom Sverige	
Luleå tekniska universitet	http://www.ltu.se/
Kungliga tekniska högskolan	http://www.kth.se/
Uppsala universitet	http://www.ub.uu.se/
Chalmers tekniska högskola	http://www.chalmers.se/sections/forskning/publikationer
Libris	http://uppsok.libris.kb.se/sru/uppsok
SKB publikationer	http://www.skb.se/
Vägverket publikationer	http://www.vv.se/
Banverket	http://www.banverket.se/
Stiftelsen svensk bergteknisk forskning (SveBeFo)	http://www.svebefo.se/
Jonny Sjöberg's Rock Mechanics Site	http://user.tinet.se/~gha838e/welcome.htm
Internationell sökning	
Springerlink database	http://www.springerlink.com/home/main.mpx
ASCE database	http://www.pubs.asce.org/cedbsrch.html
Cenfor - Book Overview	http://cenfor.etailer.dpsl.net/
Tunnels and Tunnelling International	http://www.tunnelonline.info/
International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences	http://www.sciencedirect.com/
Norwegian tunnelling society	http://www.tunnel.no/
Statens Vegvesen i Norge	http://www.vegvesen.no/

Muntliga diskussioner har förts med några utvalda personer inom kategorierna beställare, entreprenör, konsult och leverantör.

Principen där avlastningshål har använts i syfte att leda bort läckvatten i den injekterade zonen verkar inte vara använt eller känt som någon vanligt tillämpad

metod i branschen. Borrning av dräneringshål för att leda bort vatten från salvborrning, bulstättning, injektering mm är en metod som nämns ibland, speciellt i gruvindustrin, där man ofta arbetar i områden med höga grundvattentryck. De muntliga diskussionerna kring detta har varit ganska otydliga, dvs. effekten och nyttan med dräneringshål har varit varierande med både lyckade och mindre lyckade resultat. Några egentliga slutsatser har inte kunnat göras. Dräneringshål inom gruvindustrin har dock ofta ett annat syfte än att avgränsa inläckaget i en färdig tunnel.

För TBM-borrade tunnlar används ibland dräneringshål för att minska vattentrycket vid tunnelfronten.

Studier av en mer teoretisk förståelse kring dropp och läckagevägar i berget pågår som ett forskningsprojekt på Chalmers, inst. för geologi och geoteknik. Eftersom forskningsprojektet är nyligen påbörjat finns ännu inga publicerade artiklar/rapporter och därmed inget beskrivande underlag.

Wellpoints

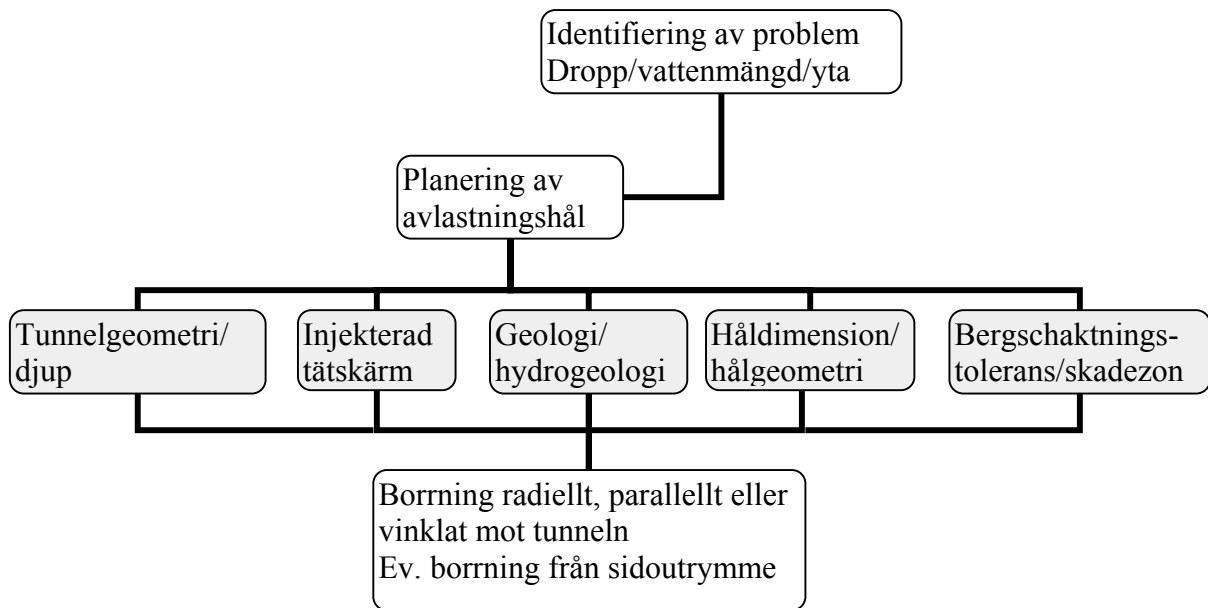
Borrning av *wellpoints* används ibland för att sänka av grundvattennivån intill öppna schakt. Metoden går ut på att pumpa bort vatten från en serie med borrhål som är placerade relativt tätt intill varandra för att skapa en avsänkningstratt runt varje borrhål. Metoden används främst i jordarter och i sedimentär berggrund. I lågpermeabla akvifärer där brunnskapaciteten är låg, kan det vara nödvändigt att skapa ett vacuum i borrhålet genom att försegla toppen av casingröret och montera en vakuumpump.

Denna teknik bedöms dock inte vara relevant för dränering inom en injekterad tätzon i bergtunnlar. Risken bedöms som mycket stor att man istället ökar inläckaget genom otätade sprickkanaler som har förbindelser med vattenförande zoner i bergmassan utanför den injekterade tätzonen. Man riskerar således att öka inläckaget och därmed en avsänkning av grundvattenytan.

4 FÖRSLAG TILL PLANERING AV AVLASTNINGSHÅL

4.1 Generellt

Nedan visas ett flödesschema över de huvudsakliga kriterierna som bör analyseras vid planering av avlastningshål.



Identifiering av problem

I ett första skede bör man undersöka vilken typ av läckage som föreligger och hur stort läckaget är. Utgörs problemet av några enstaka läckageplatser eller finns det utspritt över en större yta? Läckagemängderna beräknas genom att räkna dropp/minut på några läckagepunkter som sedan kan användas som referenspunkter. Om det finns mätvallar tas mätdata fram från en längre period för att se om det föreligger årstidsvariationer. Flödesmätningarna kan också jämföras med uppgifter från SMHI för att se hur flödesmängderna har varierat med nederbörds mängderna. Utförda dropp- och iskarteringar är värdefulla för identifiering av läckageproblemen.

Planering av avlastningshål

Innan man bestämmer var och hur avlastningshålen ska borraras bör man studera de data och uppgifter som kan finnas registrerade vid drivning av tunneln. Nedan följer några aspekter som man bör titta närmare på.

Tunnelgeometri/djup

Tunnelns orientering i förhållande till vattenförande zoner och sprickor är av stor betydelse för möjligheterna att få en bra riktning på avlastningshålen. Tunnelns djup i förhållande till grundvattennivån kan ha betydelse för avlastningshålens funktionalitet. Vid höga trycknivåer kan man anta att läckaget lättare letar sig ner genom bergmassans spricksystem. Vid en lyckad injektering är dock vattentrycket betydligt lägre inom den injekterade zonen, vilket kan medföra problem med kapillärkrafter i de fina sprickorna som motverkar flödet mot avlastningshålen.

Injekterad tätskärm

Avlastningshålen måste borras så att den injekterade tätzonen inte punkteras, vilket skulle kunna medföra risker för grundvattenavsänkning. Här kan man studera uppgifter från utförd injektering såsom mängd tryck och tid. Är området injekterat i flera steg med efterinjektering och har kemiska injekteringsmedel använts? Man kan titta på hur injekteringshålen är orienterade i förhållande till sprickgeometrin för att kanske bättre kunna förstå varför injekteringsmängderna varierar. Uppgifter från injekteringsborrningen såsom vattenförluster, läckande injekteringshål, analyser av MWD-data mm kan vara användbart för att få svar på var i tätskärmen de mest vattenförande sprickorna sannolikt förekommer.

Geologi/hydrogeologi

Bergets geologiska och hydrogeologiska förhållanden är mycket betydande för funktionen och nyttan med avlastningshålen. Geologiska karteringar av tunneln kan utnyttjas för bedömning av vattenförande zoner och sprickorienteringar. De hydrauliska egenskaperna varierar mycket beroende på bergartstyp. Den hydrauliska kapaciteten är oftast högre för sura, granitiska bergarter, vilka är sprödare på grund av högre halter av kvarts och fältspater. Basiska bergarter som amfibolit och gabbro innehåller större andel sega mineral som amfiboler och pyroxener och spricker inte lika lätt vid deformation. Grovkorniga bergarter som pegmatiter har oftast svagare kornfogar och spricker lättare än finkorniga bergarter. Olika bergartskontakter kan vara tätande eller vattenförande längs kontaktzonen. Sprickornas orientering (strykning/stupning), sprickfrekvens, spricklängd, mineralfyllning och ytråhet påverkar också vattenföringen i berget.

Jämförelser mellan karteringar av bergkvalitet, sprickegenskaper, foliationsmätningar, polplotsdiagram, läckvattenmätningar, is- och droppkarteringar etc. kan vara till stor hjälp för planeringen av avlastningshålen. Lågpunkter och svackor kan indikera dåligt berg med vattenförande zoner.

Håldimension och hålgeometri

Avlastningshålen bör utformas med så stor diameter (≥ 56 mm) som möjligt för att öka sannolikheten att läckagevägarna når borrhålen. Hålavstånden bör vara relativt små men måste sannolikt provas från fall till fall. Avlastningshålen kan borras med olika vinklar och längder mot det ansatta säkerhetsavståndet till tätzonen. Hålen bör täcka en så stor längd som möjligt av den blöta tunnelsektionen.

Bergschaktningstolerans/skadezon

Inläckaget är ofta större i områden med stor skadezon där sprickutbredningen når längre in i bergmassan. Avlastningshålen skulle i dessa områden sannolikt vara till stor hjälp för dräneringen av inläckaget. I områden med stor skadezon och stora bergutfall kan dock tätzonen vara tunnare eftersom det finns risk att tillräckligt mottryck ej har uppnåtts vid injekteringen. Detta medför också att risken för genomborring av tätzonen ökar och därmed också risken för grundvattensänkning.

Bestämning av borrhometri

Utifrån uppgifter från ovanstående kriterier kan avlastningshålens läge, borrhålsriktning, längd och borrhålsgeometri bestämmas. Alla egenskaper kan säkert inte beaktas på bästa möjliga sätt men analyserna ger förhoppningsvis de indikationer som mest behöver beaktas vid planering av avlastningshålen.

4.2 Risker och konsekvenser med avlastningshål

Nedan sammanfattas några riskfaktorer med borring av avlastningshål som har belysts i de föregående avsnitten.

Aspekt/frågeställning	Risker	Konsekvenser	Förebyggande åtgärder
Hur är borrhålen och tunneln orienterade i förhållande till bergets spricksystem?	Felaktig borrhålsorientering Vattenförande zoner genomborras ej av avlastningshålen.		Kartering, genomgång av befintliga undersökningar
Hög porositet och kapillärkrafter i bergmassans spricksystem, tröghet i vattenvägarna	Vattnet söker sig andra vägar än till borrhålen	Kvarstående problem med dropp, behov av dräner	Utförande med vattenmättade borrhål, t ex genom montering av tryckventiler i borrhålen
Utfällningar av järnoxid, kalk, mangan etc.	Igensättning i avlastningshålen		Spolning, kontroll och underhållsprogram
Variationer i den injekterade zonen tjocklek	Risk för genomborring av tätzon och vattenförande zoner i kontakt med grundvatten	Avsänkning av grundvattennivån	Kontroll av dräneringshål, eventuell pluggning av hål.
Höga vattentryck kan indikera ett otätt berg			Genomgång av tidigare injekterings-skärmar
Områden med mycket dropp kan tyda på lågpunkt med sprickzoner			Kontroll av grundvattenrör i omgivningarna
Utbredd skadezon och utfall av bergkilar (osäker tjocklek på tätzon)			Efterinjektering av berget

5 BORRNING AV AVLASTNINGSHÅL - PRINCIPER

Dränering genom avlastningshål är avsett att utföras i områden med mycket dropp i tunneltak och väggar. Några kända försök där man har använt avlastningshål för att avleda droppläckage inom en injekterad tätzon, har inte kunnat härledas. Nedan beskrivs några principutföranden för hur borrning av avlastningshål skulle kunna utföras.

För att förbättra möjligheterna att inläckande vatten ska dränera till avlastningshålen bör dessa högtrycksspolas efter borrning.

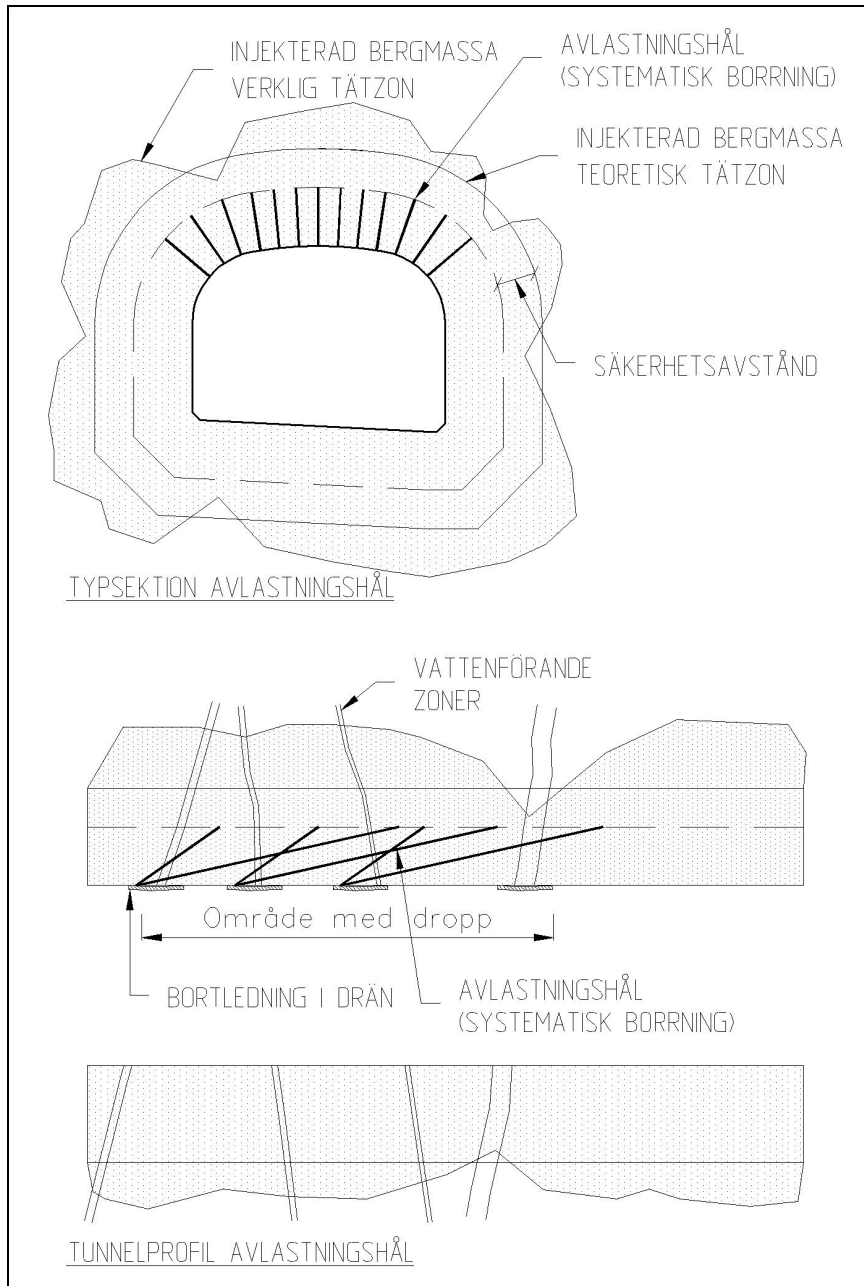
Typfall 1

I det första typfallet borrar avlastningshålen systematiskt mot de vattenförande sprickorna/zonerna. Hålen borrar inom den injekterade tätzonen med ett säkerhetsavstånd till teoretisk tätzonbredd (*figur 5.1*). Den förinjekterade tätzonens tjocklek varierar längs tunnelprofilen och beror bland annat på hålspetsarnas läge och hålavstånd, injekteringshålens längd och skärmarnas överlappningsmått. Är förinjekteringen utförd med skärmar som når 5 m ut från teoretisk tunnelkontur kan man inte räkna med att tätzonens tjocklek är densamma längs hela profilen. Avlastningshålens hålspetsar måste anpassas med ett tillräckligt säkerhetsavstånd till tätzonens teoretiska tjocklek.

Vattnet i avlastningshålen kan samlas upp och avledas mot sidorna genom dräner som monteras tvärs tunneln.

Fördelar: Lättare planering av borrningen. Hålen täcker en stor del av tunnelsektionen

Nackdelar: Kvarstående läckageproblem om inte tillräckligt många vattenförande zoner och sprickor påträffas. Många borrhål behövs sannolikt



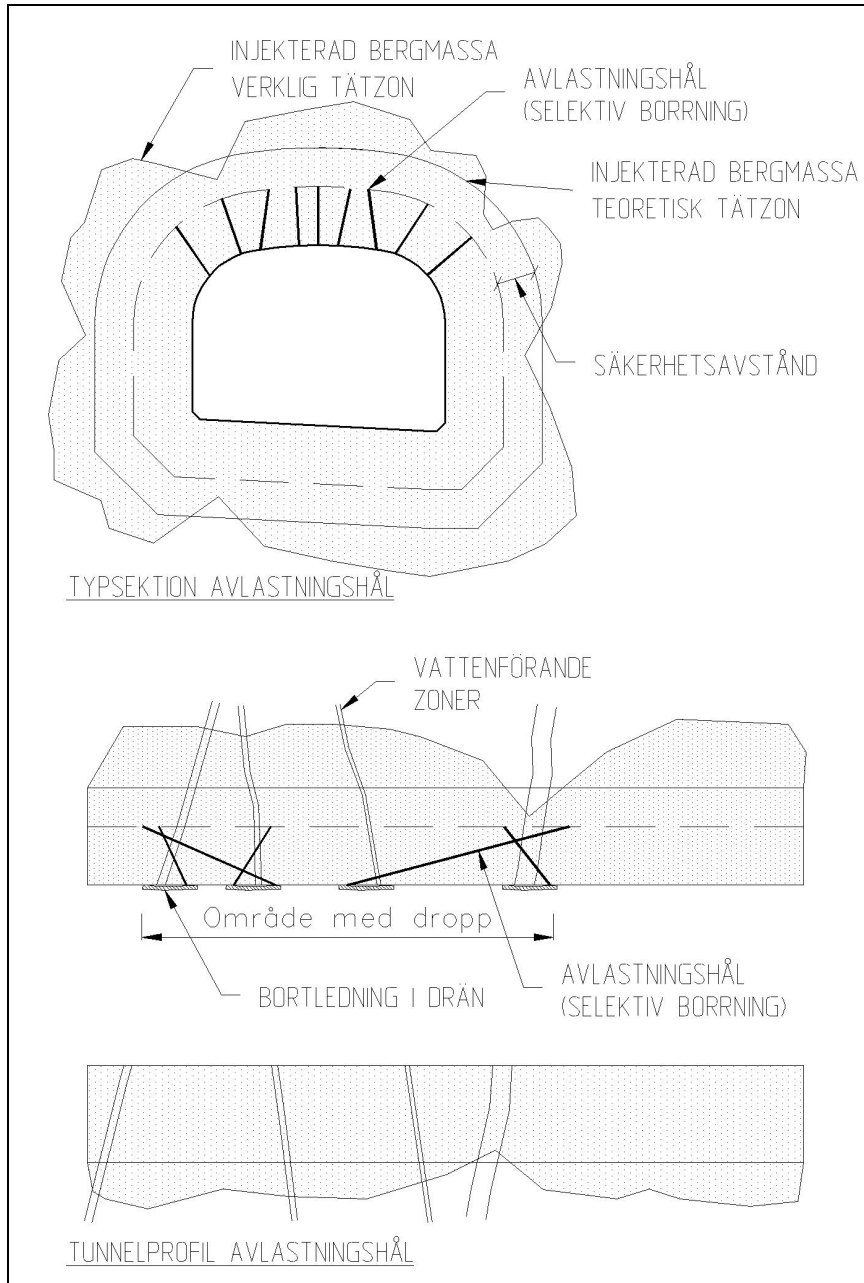
Figur 5.1 Typfall 1 – Systematisk borrning av avlastningshål

Typfall 2

I typfall 2 borrar avlastningshålen selektivt med varierande riktning och vinkel mot de vattenförande zonerna (figur 5.2). Det ansatta säkerhetsavståndet till tätzonen bibehålls. Liksom i fall 1 borrar hålen med säkerhetsavstånd till den injekterade zonen tjocklek. Läckaget samlas upp och avleds mot sidorna genom dräner som monteras tvärs tunneln.

Fördelar: Bättre orientering på avlastningshålen i förhållande till sprickgeometri och vattenförande zoner. Färre borrhål behövs troligtvis

Nackdelar: Sämre täckning av en tunnelsektion



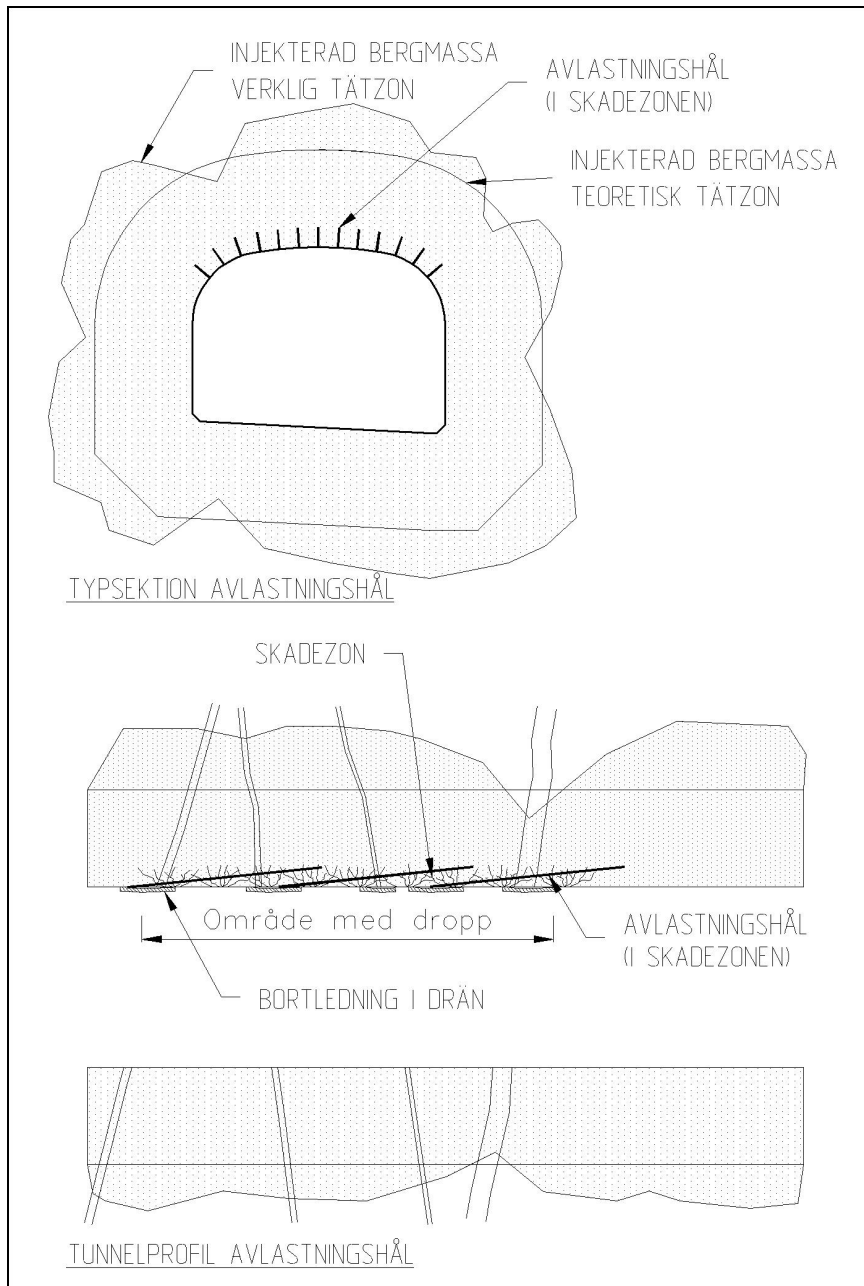
Figur 5.2 Typfall 2 – Selektiv borrning av avlastningshål

Typfall 3

I detta fall utnyttjas skadezonen i berget där avlastningshålen borras med flack vinkel nära tunnelkonturen (figur 5.3).

Fördelar: Låg risk för punktering av tätzon och avsänkning av grundvatten. Stor chans att påträffa vattenförande sprickor

Nackdelar: Många vattenförande sprickor i skadezonen kan medföra risk för kvarstående läckageproblem



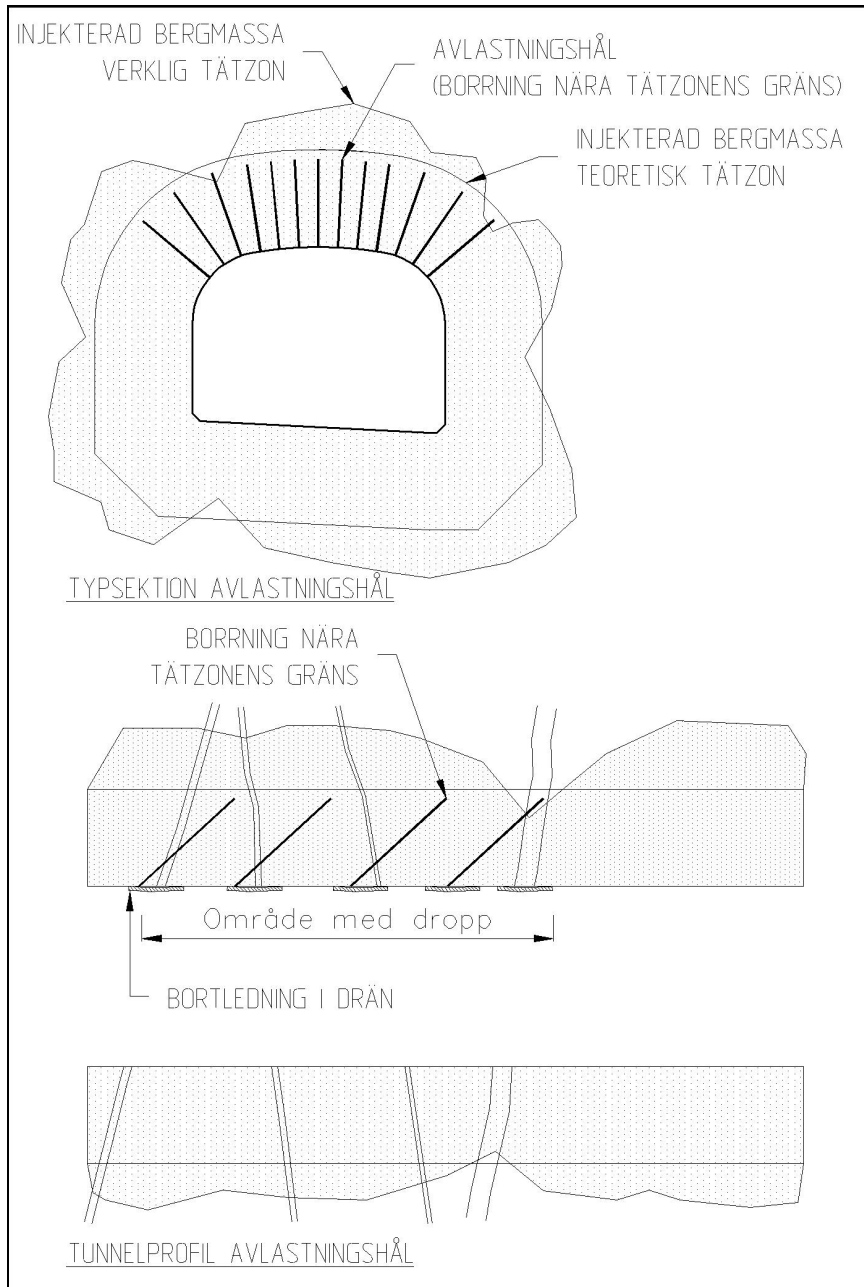
Figur 5.3 Typfall 3 – Borring av avlastningshål i skadezonen

Typfall 4

Här utnyttjas vattnets tryckgradient genom att borra hålen långt ut mot tätzonens gräns (figur 5.4).

Fördelar: Sannolikt bättre tillströmning av läckvatten till borrhålen

Nackdelar: Stor risk för punktering av tätzon och avsänkning av grundvatten



Figur 5.4 Typfall 4 – Borrning av avlastningshål nära tätzonens gräns

6 REKOMMENDATIONER

Allmänt

För att minska mängden dräner etc. skulle avlastningshål kunna nyttjas i kombination med dränmattor. Lämpligen borras avlastningshål bakom den tänkta dränmattan med syftet att ”samla upp” läckagevattnet inom en begränsad sektion. Därefter sätts dränerna för att avleda vattnet från avlastningshålen och ta hand om återstående ytläckage.

Vidare undersökningar

För att undersöka effekten av att borra avlastningshål föreslås, att som ett första steg, utföra ett försök i en befintlig tunnel med is- och droppproblem. Avlastningshålen skulle kunna utföras i områden där det läcker intill eller mellan befintliga dräner och i skarvar mellan sprutbetong/drän. Man kan även välja en tunnelsektion där det efter för- och efterinjekteringar fortfarande kvarstår läckageproblem.

Borrhålens riktning anpassas efter tolkade orienteringar på vattenförande zoner och sprickor, dvs. enligt typfall 2. Borrhålens längd och stickning måste anpassas till utförd injekteringsskärm. Inledningsvis bör hålen borras ganska nära tunnelkonturen för att inte riskera punktering av tätskärmen. Signifikativa droppläckage mäts upp före och efter borringen och följs sedan upp under en längre tidsperiod. Övriga fukt- och droppläckage karteras och följs upp på samma sätt.

En undersökning av kostnaderna för installation och underhåll av avlastningshålen, dvs. en LCC-analys bör göras innan man provar metoden i en befintlig tunnel. Analysen ska jämföra kostnaderna mellan konventionella metoder som dräner och efterinjektering och kostnaderna för installation och underhåll av avlastningshålen.

Om försöksresultaten och de ekonomiska kalkylerna visar på positiva effekter kan man överväga om det är värt att prova på en tunnel under nybyggnation.

SveBeFo

Box 47047
SE-100 74 Stockholm

Telefon 08-692 22 80 • Fax 08-651 13 64
info@svebefo.se
Besöksadress: Mejerivägen 4

ISSN 1104 - 1773 • SVEBEFO-R--K26--SE

tbk.