



# **DRÄNER I TUNNLAR FÖR VATTEN- OCH FROSTSÄKRING - INVENTERING BASERAD PÅ LITTERATUR, INTERVJUER OCH FÄLTSTUDIER**

Hans Hargelius

# **Dräner i tunnlar för vatten- och frostsäkring - Inventering baserad på litteratur, intervjuer och fältstudier**

**Drainage in tunnels - water and frost  
prevention**

**A pilot study based on literature study,  
interviews and field studies**

Hans Hargelius, Vattenfall Power Consultant



## FÖRORD

Kraven på tätning av bergtunnlar mot inläckande grundvatten har kommit att bli allt högre med åren, både för att begränsa sänkning av grundvattennivåer och eventuell inverkan på tunnelns funktion och ekonomi under drift. Normalt tillämpas förinjektering för att minska inläckningen genom bergets spricksystem, men även om man lyckas nå tätheter ned mot ett par liter per minut och 100 meter tunnel, som inte sällan krävs idag, så återstår en mindre mängd fukt och dropp som måste tas om hand med hänsyn till tunnelns funktion. Detta sker vanligen med hjälp av dräner i tak och på väggar, som leder inläckande vatten ned till ett dräneringssystem i tunnelns botten. I de fall frostrisk föreligger utförs systemet frostisolerat och normalt som betonginsprutade dräner som ligger an mot tunnelns tak och väggar.

I många fall har det visat sig att dessa dräner inte fungerar tillfredsställande, vilket innebär behov av inspektion och reparationsarbeten. Det har inte funnits någon samlad bild av dessa problem, men en allmän uppfattning är att det leder till betydande underhållkostnader. Kostnaderna för installation och underhåll av dräner måste vägas mot andra kostnader och därför ses som en del av hela insatsen för tätning. För att få en bättre helhetsbild av situationen har denna förstudie genomförts i form av en inventering, främst baserad på tillgänglig litteratur, ett antal intervjuer och vissa fältundersökningar. Syftet är att förstudien ska följas av fortsatta undersökningar i fält för att få bättre grepp om de problem som kommit fram och ge konkreta förslag till förbättringar, som i sin tur leder till bättre kalkyler för behov av dräner, bättre tekniska lösningar och därmed lägre kostnader.

Arbetet har genomförts av Hans Hargelius, Vattenfall Power Consultant, med stöd av medarbetare vid företaget och Anna Andrén, Banverket, som bidragit med underlag från egna undersökningar i ett närliggande projekt, särskilt inriktat på problem med frost och isbildning i Banverkets tunnlar. En referensgrupp har följt arbetet, bestående av Anna Andrén, Tommy Ellison, Besab, Anders Fredriksson, Golder Associates, Björn Stille, Skanska Teknik, Lars Österlund, Vägverket Region Stockholm samt undertecknad. Projektet har finansierats inom SveBeFos forskningsprogram med särskilt stöd från Banverket och SBUF.

Stockholm i oktober 2006

*Tomas Franzén*

## *Sammanfattning*

Konventionella dräner är det vanligaste systemet för att avleda vatten i svenska väg- och järnvägstunnlar. Systemet innebär att vatten leds med hjälp av dräner i tak och på väggarna ned till ett dräneringssystem i tunnelbotten. I de fall frostrisk föreligger utförs systemet frostisolerat och normalt som insprutade dräner som ligger an mot tunnelväggen/taket.

Förstudien behandlar orsaker till behovet av vatten- och frostsäkring, olika system för vatten- och frostsäkring, aktuell forskning, utredning och demonstration samt erfarenheter från svenska och norska tunnlar samt såväl äldre som nyare tunnlar. I förstudien görs en genomgång av identifierade problem, sammanfattade slutsatser och förslag till fortsatt arbete inom projektet.

Några av de viktigaste slutsatserna man kan dra från denna förstudie är att det finns brister i dokumentation och kunskaper beträffande dräners utförande och funktion. Ett antal problemområden har identifierats som är relaterade till dräner i tunnlar: dokumentation av dräner, dokumentation av vattenläckage och is, val av typ av drän/dimensionering, uppskattning av behovet av dräner i byggprocessen, placering av dräner i tunnel, montering/utförande av dräner, tätning vid randen, läckage i genomföringar, krympsprickor i sprutbetong, övriga sprickor i sprutbetong samt igensättning.

Förslag till fortsatt arbete är att:

- ta fram underlag som kan ligga till grund för en förbättrad kalkylering av vilken mängd dräner som erfordras i olika skeden av byggprocessen
- identifiera styrande faktorer som kan ligga till grund för att en optimal placering av dräner skall kunna utföras i ett tunnelprojekt under byggskedet
- undersöka och uppskatta effekten av sprucken sprutbetong på dräner
- undersöka på vilket sätt berguttag och injektering påverkar läckagebilden i en tunnel under byggskedet jämfört med en tunnel som har varit i drift några år
- undersöka orsaken till läckage i randen hos några dräner med dokumenterade problem
- från fältundersökningar uppskatta hur många av dränerna i en tunnel i drift som inte behövs i förhållande till i byggskedet utförd mängd dräner.

## *Summary*

Drainage of water leakage into rock tunnels is normally done by “drains” applied on the roof and walls of the tunnel, leading the water down to the invert, from where it is pumped out of the tunnel. The drains are mostly isolated to prevent them from freezing as temperatures in many rail and road tunnels fall below zero during wintertime.

This pilot study reports about the general background and need for water and frost prevention, different drainage systems, current research, investigation and demonstration as well as experience from Swedish and Norwegian tunnels, both older and modern tunnels. The study presents identified problems, summarized conclusions and proposals for further work within the project.

Some of the most important conclusions from the study are the insufficient documentation and knowledge about the actual function of drains in many cases. In the report a list of the most obvious problems related to drains in tunnels is presented: documentation of drains, documentation of water leakage and ice, preferred types and design of drains, estimation of the need of drains during the building process, placing and installation of drains in the tunnel, sealing of the rim, leakage around anchor points, shrinkage cracks and other cracks in the covering shotcrete, and clogging.

Proposals for further work:

- develop a basis for an improved calculation of the amount of drains required in different stages of the building process
- identify governing factors for an optimum placing of drains during the construction stage
- investigate and evaluate the effect of cracked shotcrete on drains
- investigate how excavation of rock and grouting may affect leakage in a tunnel during the building stage compared to a tunnel that has been in use for a few years
- investigate the cause of leakage in the rim of some drains with encountered problems
- bases on field studies estimate the amount of drains in a tunnel in use that is not needed in relation to the total amount of drains installed during the building stage

## INNEHÅLLSFÖRTECKNING

FÖRORD .....	i
Sammanfattning .....	ii
Summary .....	iii
1. Inledning.....	1
1.1 Målsättning.....	1
1.2 Omfattning .....	1
2 Orsaker till behovet av vatten- och frostsäkring .....	3
2.1 Allmänt/bakgrund.....	3
2.2 Köldinträngning .....	4
2.3 Effekter av köldinträngning i tunnlar.....	5
2.3.1 Frostsprängning i berg och sprutbetong.....	5
2.3.2 Isproblem i tunnlar .....	6
3 Olika system för vatten- och frostsäkring .....	9
3.1 Allmänt.....	9
3.2 Dräner.....	9
3.3 Inklädnad.....	11
3.3.1 Betonginklädnad, dränerad, med eller utan vattentätningsskikt .....	11
3.3.2 Betonginklädnad, fullt vattentryck.....	12
3.4 Ekebergsvälv/Örsta-välv /Isolvälv .....	13
3.5 Fribärande betongvälv.....	14
3.6 Lätta konstruktioner .....	14
3.7 Andra metoder och lösningar .....	15
3.7.1 Värmekablar .....	15
3.7.2 Portar .....	16
3.8 Vatten- och frostsäkring i olika länder.....	16
4 Aktuell forskning, utredning och demonstration (FUD).....	19
4.1 Inför projekteringen för Ringen och yttre tvärleden .....	19
4.2 Förstudie till FoU-ramprojekt ”Tätning och frostsäkring av tunnlar” (Vägverket 2001, (3)) ....	21
4.3 Uppsprickning av sprutbetong .....	22
4.4 Cementshydratation och krympmekanismer i sprutbetong .....	25
4.5 Nya tänkbara lösningar.....	25
4.6 Försök med sprutade tätmembran och tätande tillsatsmedel i sprutbetong.....	27
4.7 Program för frystester på inklädnad vid Trädskolevägen .....	27
5 Aktuella krav och föreskrifter .....	29
5.1 Allmänt.....	29
6 Erfarenheter från svenska och norska tunnlar .....	31
6.1 Tunnlar i Norrland (Linde 1997(19), André, Julin, Nilsson och Lindblad muntlig information) .....	31
6.2 Tunnlar i Mälarenregionen.....	34
6.3 Tunnlar i Västsverige .....	36
6.4 Norska erfarenheter .....	40
6.5 Underhållsbehov.....	41
6.6 Bedömd livslängd för vatten- och frostsäkring.....	42
7 Identifierade problem .....	43
7.1 Information och dokumentation av dräner .....	43
7.2 Dokumentation av vattenläckage och is i tunnlar .....	43
7.3 Omfattning och placering av dräner.....	43
7.3.1 Projekterings- och byggskedet.....	43

7.3.2	Underhållsskedet .....	44
7.4	Val av typ av drän .....	45
7.5	Montering av dräner .....	45
7.6	Inspekterbarhet .....	47
7.7	Funktionsproblem.....	47
7.7.1	Skador på olika typer av dräner .....	47
7.7.2	Tätning vid randen.....	48
7.7.3	Läckage i genomföringar .....	49
7.7.4	Sprickor i sprutbetong .....	49
7.7.5	Igensättning .....	49
7.8	Sammanfattande slutsatser .....	50
7.8.1	Dokumentation av dräner .....	50
7.8.2	Dokumentation av vattenläckage och is.....	50
7.8.3	Val av typ av drän/dimensionering .....	51
7.8.4	Uppskattning av behovet av dräner i byggprocessen .....	51
7.8.5	Placering av dräner i tunnel.....	51
7.8.6	Montering/utförande av dräner.....	52
7.8.7	Tätning vid randen .....	53
7.8.8	Läckage i genomföringar .....	53
7.8.9	Krympsprickor i sprutbetong .....	53
7.8.10	Övriga sprickor i sprutbetong.....	54
7.8.11	Igensättning .....	54
7.8.12	Prioritering av identifierade problemområden .....	55
8	Förslag till fortsatt arbete inom projektet.....	57
9	Referenser.....	58
	Bilagor .....	61
	1. Metoder för att förhindra frostrelaterade problem	
	2. Erfarenheter beträffande underhåll	





# 1. Inledning

## 1.1 Målsättning

Föreliggande förstudie ingår som en del i ett utvecklingsprojekt som bedrivs av SveBeFo med finansiering av Banverket och SBUF.

Projektets målsättning är att upprätta en lägesbeskrivning över förekommande vatten- och frostsäkring, dräners funktion och redovisning av problem som är kopplade till dräner i tunnlar. Projektet skall också ge en erfarenhetsåterkoppling till projekteringsanvisningarna för Ringen samt till andra projekt med likartade lösningar.

Baserat på undersökningar i ett urval av Svenska tunnlar i olika klimatförhållanden och i olika trafikmiljö skall projektet ge svar på följande frågor:

- Hur väl fungerar dräner samt vatten- och frostsäkring i våra svenska förhållanden med injekterade tunnlar?
- Vilka utförandeproblem har man kunnat konstatera?
- Finns det några beständighetsproblem och vad är underhållsbehovet?
- Uppstår skador på grund av frost i tunnlar och i sådana fall i vilka konstruktionselement och i vilka typer av klimat?

Projektet är uppdelat i tre delar:

1. Förstudie
2. Analys av tunnlar/tunnelsträckor med vatten och frostproblem
3. Fältundersökningar i tunnlar under byggnad

Förstudiens målsättning är att identifiera de problem som är relaterade till de olika typer av dräner som förekommer i tunnlar. Exempel på problem är sprucken sprutbetong, läckage vid genomföringar, igensättning, tätning vid randen och eventuellt andra förekommande problem.

Förstudien skall också ta fram kostnader för att ta bort istappar och svallis under ett ”normalår” i några tunnlar.

Vidare skall förstudien belysa följande frågeställningar:

- Vilka problem uppstår i vilka dräntyper?
- När i tiden uppstår problemen?
- Varför uppstår problemen – orsaker?

## 1.2 Omfattning

Denna förstudie utgörs av två delar, en litteraturstudie och intervjuer med företrädare för Banverket och Vägverket, konsulter och entreprenörer, alla med olika erfarenheter av dräner i tunnlar från projekterings- och byggskedet till underhållskedet.

Studien omfattar såväl äldre som nyare tunnlar. Studien avser omhändertagande av inläckage med fokus på dräner som vatten- och frostsäkring. Dränerna utgörs av isolering av polyetenmattor (PE-skum) eller liknande lösningar, med sprutbetong som brandskydd. Även inklädnad, lätta element med mera behandlas i litteraturstudien. Oinsprutade dräner ingår också i studien dels då dessa förekommer i betydande omfattning och kommer att finnas kvar lång tid framöver samt att det även utförs nya oinsprutade dräner i både nya och gamla tunnlar av olika anledningar.

## 2 Orsaker till behovet av vatten- och frostsäkring

### 2.1 Allmänt/bakgrund

Inläckage av vatten förekommer i alla bergtunnlar i någon form, som till exempel fuktiga ytor, dropp eller rinnande vatten. Vattnet leds in mot tunneln via naturlig förekommande sprickor i berget men också via sprickor orsakade av sprängningen.

Inläckaget till en tunnel påverkas av en stor mängd faktorer bland annat topografi, tunnelns läge i förhållande till grundvattenytans läge och hur vattnet magasineras i berget samt hur tunneln skär vattnets flödesvägar. För till exempel tunnlar över grundvattennivån kan vatteninläckaget variera med nederbördsvariationerna över året. Läckage under sommarhalvåret kan till exempel upphöra helt under vinterhalvåret, antingen på grund av att det fryser tätt eller att vattentillflödet upphör. Under sommarhalvåret sker infiltration från markytan, vilken avtar under vinterhalvåret, då tjäle bildas i marken.

I funktionskraven för järnvägs- och vägtunnlar finns det krav på att det inte får bildas istappar eller isbeläggning i tak och väggar samt att berg och sprutbetongförstärkning inte skall riskera att frysa sönder. Kontaktledningarna ställer ofta höga krav med avseende på isbildning. För vägtunnlar gäller även att man inte accepterar dropp på vägbanan som dels eroderar asfalten dels kan leda till halka. Motsvarande krav finns också för andra typer av tunnlar till exempel tunnelbane- och spårvägstunnlar samt installationstunnlar. För att förhindra dropp och isbildning i tunnlar utförs injektering av berget. Erfarenheter visar dock att man trots omfattande förinjektering och kompletterande efterinjektering inte klarar av att fintäta berget så att dropp och fukt helt elimineras.

För att förhindra dropp och frysning installeras vanligen dräner som vatten- och frostsäkring i väggar och tak. Dränerna består primärt av ett tätande membran, oftast en isolermatta av polyeten, som är täckt med sprutbetong. Sprutbetongen ger ett mekaniskt skydd och skall även skydda isoleringen mot brand. Kravet på brandskydd med sprutbetong har medfört nya problem bland annat på grund av att sprutbetongen spricker under härdning och att avskalning av sprutbetong uppstått vid brand i tunnlar. Forskning pågår inom detta område både på kontinenten, i Norge och i Sverige. Sprutbetongskiktets tjocklek har varierat genom åren från 50 mm till dagens krav på minst 80 mm. Bakom isolermattan finns ofta rör som verkar som distanser och i vissa fall även kan fungera för rensning av utrymmet bakom isoleringen. Dränerna har oftast en bredd på 1.5-2 m längs tunneln och kan antingen vara förankrade med sprutbetongvidhäftning i kanterna eller med bultförankring. I tunnlar med utbredda fukt- och droppläckage utförs vatten- och frostsäkringen så att den täcker längre partier av en tunnel, sammansatta dräner, och som i dessa fall förankras i berget genom bultning.

Kostnaderna för vatten- och frostsäkring med dräner utgör en betydande del av projektkostnaderna och kan uppgå till mellan 1000 och 2000 kr/m<sup>2</sup> tunnelvägg eller tak. Underhållskostnaderna är inte helt kända men bedöms vara omfattande. Underhållsarbeten med att ersätta gammal isolering med ny eller att installera ny isolering i en tunnel i drift medför stora svårigheter och kostnader. I vissa fall där tunnlar varit i drift har man valt att installera oinsprutade dräner.

I samband med projekteringen av Ringen och Yttre Tvärleden i Stockholm kunde man konstatera att man ofta har problem med dräner. Problem som diskuterades var att dränerna läcker, fryser sönder, lossnar på grund av trafiklasterna och de kan sättas igen av kalk- och järnutfällningar. Med anledning av detta initierades ett omfattande testnings- och provningsarbete i en tunnel i Hornsberg för att få underlag till dimensioneringsanvisningar för

Ringen. Arbetet utmynnade i en rapportserie "Test av dräner i tunnel vid Hornsberg" (Vägverket 1996 (1)) som bestod av 5 delrapporter och en slutrapport med rekommendationer för projektering och utförande av dräner. Resultaten spreds till en vidare krets bland annat genom ett föredrag på Bergmekanikdagen 1996.

Vägverket genomförde 2001 en förstudie till FoU-ramprojekt "Tätning och frostsäkring av tunnlar" (Vägverket 2001 (3)), där internationella erfarenheter tillsammans med Svenska erfarenheter av olika system för vatten- och frostsäkring sammanställdes. I Vägverkets förstudie har även ett antal angelägna FoU projekt definierats men redovisas inte i denna rapport.

Sedan projekteringsanvisningarna för Ringen framtoogs 1996 saknas en systematisk undersökning av funktionen av vatten- och frostsäkring i befintliga tunnlar. Sedan 1996 har det byggts och pågår byggnation av ett stort antal tunnlar där man använt sig av konceptet från Ringen och likartade koncept. Det har därför ansetts finnas skäl att undersöka hur väl denna typ av vatten- och frostsäkring fungerar i praktiken och vilka erfarenheter man kan tillgodogöra sig i kommande projekt.

Inom Vägverket och Banverket har det under de senaste åren genomförts underhållsarbeten i ett flertal tunnlar, där en del av arbetena innefattat att ersätta och komplettera befintlig vatten- och frostsäkring.

## **2.2 Köldinträngning**

När en tunnel utsätts för temperaturer under noll grader kan is bildas i områden med vattenläckage. Vatten som uppträder i sprickor och på ytor i tunneln fryser till is vilket kan leda till bildning av istappar och svallis. Vid ogynnsamma fall kan vattnet i sprickorna frysa vilket kan ge upphov till frostsprängning eller ökat tryck i bergsprickor.

I ett forskningsprojekt "Köldinträngning i järnvägstunnlar" (Sandberg, Claesson och Blomqvist, 2002 (15)), initierat av Banverket tillsammans med KTH och Högskolan Gävle, undersöktes om det var möjligt att finna en praktisk och enkel metod för att identifiera de tunnelavsnitt, där lufttemperaturen varaktigt är under 0 °C.

Köldinträngningen i en tunnel beror bland annat av lufttemperaturen utanför tunneln, bergets temperatur samt följande mekanismer, som samtliga skapar en rörelse av tunnelluften:

1. Termiskt genererade luftflöden. Berget har en annan temperatur än uteluftens temperatur och värmer upp tunnelluften, som blir varmare och lättare än utomhusluften. På så sätt uppstår en tryckskillnad som genererar ett luftflöde.
2. Tågtrafik som körs genom tunneln.
3. Vind som skapar en tryckskillnad mellan tunneländarna som sätter tunnelluften i rörelse.

Den första mekanismen (1) är beroende av tunnelns längd, tunnelsektionens höjd samt höjdskillnaderna mellan tunneländarna. Den andra mekanismen (2) beror bland annat av tunnelns längd och utformning, tågsättets längd och hastighet, friktion mellan luft och tunnelvägg samt tågets area i förhållande till tunnelns area. Den tredje mekanismen (3) uppstår genom att vinden utövar en kraft på tunnelluften och skapar en tryckskillnad mellan tunnelmynningarna. Ett övertryck skapas vid den mynning som utsätts för vind och ett undertryck uppstår om den andra tunnelmynningen ligger i lä.

I en utredning för Citybanan (ELU GOLDBERG HB, 2005 (10)) gör följande konstaterande:

- För vanliga lågtrafikerade tunnlar är mekanism 1 dominerande och kan ge vindhastigheter inom intervallet 0,5-1,5 m/s. Styrande för mekanism 1 är höjdskillnaden mellan tunnelmynningarna. Kall luft sugas in vid den lägre tunnelmynningen och värms upp när den går genom tunneln. Vid den övre tunnelmynningen rinner kallluft in längs sulan och stiger mot taket när den värms upp och strömmar ut igen. Köldinträngningen blir störst vid den nedre tunnelmynningen och begränsad vid den övre tunnelmynningen.
- I högtrafikerade enkelspårstunnlar kan mekanism 2 påverka köldinträngningen framförallt om den samverkar med mekanism 1. I en tunnel med dubbelriktad trafik ger mekanism 2 mindre inverkan eftersom den ger en fram och återgående rörelse hos luften.
- Inverkan av mekanism 3 varierar med vindriktningen och kan ses som en störning som adderas till de övriga mekanismerna. Ett speciellt fall av mekanism 3 är om man har mekanisk ventilation av tunneln vilket kan få stor inverkan på luftströmmen i tunneln.

Temperaturmätningar utförda på vägtunnlar i Norge av Statens Vegvesen under ett flertal år, visar bland annat att köldmängden i tunnelluften varierar beroende av köldmängden utanför tunneln och av tunnelns lutning. Köldmängden inne i tunneln är mindre än utanför tunneln och skillnaden mellan dessa köldmängder minskar med ökande tunnellutning.

Temperaturmätningarna visar också att för horisontella tunnlar med längder under 500 m är köldinträngningen starkt beroende av de lokala klimatförhållandena och den dominerande vindriktningen är helt utslagsgivande för köldinträngningen.

## **2.3 Effekter av köldinträngning i tunnlar**

Beskrivna effekter av frostinträngning i tunnlar, kapitel 2.3.1 – 2.3.3, baseras till stora delar på en förstudie avseende "Köldinträngning och istillväxt i järnvägstunnlar" som genomförts av Anna Andrén, Banverket 2004 (Andrén, 2004 (13)).

När ett vatteninläckage sker i frostzonen, bildas is längs tunnelkonturen i form av istappar och svallis. På grund av att tjälinträngning sker in i bergmassan, bildas även is i sprickorna. Hur tjälinträngningen sker är svårt att bedöma, i och med att berget har ett stort värmeinnehåll och att vattnet ständigt tillför värme till området runt läckaget. Där nedkylningen övervinner värmeförseln, sker isbildning.

### **2.3.1 Frostsprängning i berg och sprutbetong**

Frostsprängning kan ske i sprickor i berg, sprickor i sprutbetong eller i skiktet mellan berg och sprutbetong. Att skikt mellan berg och sprutbetong bildas, kan bero på dålig vidhäftning vid appliceringen av sprutbetongen och skapat ett utrymme där vatten kan samlas på grund av att sprutbetongen är tätare än berget. Istrycket som uppstår i sprickor eller skikt kan orsaka nedfall av berg eller sprutbetong. Nedfall utgör både fara för urspårning, om nedfallet hamnar i spåret, eller fara för tågförare, lok och vagnar om nedfallet sker vid tågpassagen.

Motsvarande gäller även fordonstrafik på vägar.

Då vatten fryser sker en volymökning med 9 %. Denna expansion ansågs länge vara den primära orsaken till frostsprängning. Davidson och Nye (1985 (26)) visade i en modell av en spricka, att tryck på upp till 1,1 MPa kan uppstå enbart på grund av volymökningen. När detta värde är större än bergets draghållfasthet kan frostsprängning uppstå med propagerandet av sprickor som följd. Enligt teoretiska modeller skulle istryckets storlek kunna uppgå till 12 MPa (Walder and Hallet, 1985 (21)). Det är dock svårt att ange ett specifikt värde på det tryck

som kan uppstå på grund av istillväxt. Istryckets storlek beror nämligen på styvheten av det omgivande materialet.



*Figur 2.3.1.1 Område i taket där sprutbetong har fallit ned på spåret sannolikt orsakat av frostsprängning. Glödbergstunneln (Andrén 2006).*

Nyligen har man också gjort erfarenheter som visar på problem med uppsprickning och spjälkning av sprutbetong i fuktande partier. Ofta begränsar man insatserna av vatten- och frostsäkring till partier med dropp och där det bildas istappar. Uppstår problem med beständigheten på sprutbetong i andra delar av tunneln kan vatten- och frostsäkring vara en tänkbar lösning.

För Banverkets del har det inrapporterats ett antal nedfall med sprutbetong under senare år. Exempel på tunnlar där man haft problem är, Nuolja-, Bergträsk-, Glödbergs-, Gårda-, och Uddevallatunneln. Banverket ser det som sannolikt att utfallen beror på upprepad frysning – tining av vattnet mellan berg och sprutbetong. Liknande erfarenheter har även rapporterats från Norge.

### **2.3.2 Isproblem i tunnlar**

Svallis bildas från läckagepunkter i tunnelns tak eller väggar. Svallis kan börja som en istapp, för att sedan växa till i storlek, för att slutligen täcka hela väggen eller underlaget (vägbana, spårbanan). Svallisen måste hackas bort om den växer till sådan tjocklek att den inkräktar på normalsektionen för det fria utrymmet.

Andra problem som kan orsakas av svallis är att isen från väggen svallar ut över spåret och kan liksom takdropp på rälerorna orsaka tågurspårning. Vidare kan svallisen bidra till en tyngdbelastning på belysningsarmaturer, handledare och andra kablar, som sitter monterade

på tunnelvägg och i anfang. Krafterna från svallisen kan bli så stora att de orsakar skador på installationer.



*Figur 2.3.2.2 Is i Glödbergstunneln (Andrén 2006)*

Bildningen av istappar från dropp i tak och anfang sker snabbt. Erfarenheter från vägtunnelnarna på Södra Länken visar att under ca 10 timmar har 2-3 m långa istappar bildats. Istappar kan utgöra en trafikfara för vägtrafikanter och tågförare, då de kan lossna och falla ned på grund av lufttrycket eller vibrationer alstrade av trafiken. Om en istapp släpper precis vid passagen, finns risk för att den faller ned och krossar vindrutan på loket, eller förstör andra delar på lok eller vagnar. Motsvarande gäller även trafik i vägtunneln.

Vid speciella temperaturförhållanden kan dropp ovanför kontaktledningssystemet snabbt växa till och bilda så långa istappar, att de når ned till systemet och därigenom orsaka kortslutning. Takdropp kan även bilda svallis på rälerarna, vilket kan leda till urspårning om det inte åtgärdas före tågpassage.

För dimensionering av vatten- och frostsäkring finns det även ett behov av att identifiera vilka problem man har med isbildning och undersöka hur fukt och dropp fördelar sig i tunneln, hur stor andel av tunnelnarna som kräver vatten- och frostsäkring, var uppstår det isbildning och vilka beständighetsproblem kan isbildning förorsaka. Erfarenheter visar att fukt och dropp med tiden kan uppstå på ”nya” platser i tunneln än på de platser där dräner tidigare uppförts, och att isbildning kan uppstå i områden som tidigare bedömts som torrt berg.





## 3 Olika system för vatten- och frostsäkring

### 3.1 Allmänt

Följande kapitel om olika system för vatten- och frostsäkring baseras till stora delar på följande studier och utredningar:

1. Förstudie till FoU-ramprojekt ”Tätning och frostsäkring av tunnlar”. (Vägverket, 2001 (3)).
2. Citybanan i Stockholm. ”Dräner/vattenisolering i spårtunnlar”. ELU-GOLDER HB. 2005, (10))
3. Tunnelkledningar - Vann- og frostsikring i vegtuneller. (Statens Vegvesen 1998. Publikation 91, (5)).

I Sverige är det vanligaste tätningsförfarandet vid nybyggnation av tunnlar en systematisk förinjektering kompletterat med dräner. De praktiska erfarenheterna både i Norge och i Sverige är att den applicerade sprutbetongen kan kräva en del underhåll. Metoden med förinjektering i kombination med dräner innebär att konstruktionen uppfyller kravet på inspekterbarhet vilket annars är ett generellt problem med tunnelinklädnad (Vägverket 2001, (3)).

Det finns ett flertal välkända och beprövade system för att omhänderta läckage av vatten i bergtunnlar. Systemen kan antingen fungera som enbart vattenavledande eller i kombination med bergförstärkning även utgöra en del av det bärande huvudsystemet. Nedan redovisas ett antal olika system för vatten- och frostsäkring. Inget av systemen kan normalt ersätta den för- och efterinjektering som erfordras för att täta berget mot inläckage för att förhindra negativ omgivningspåverkan.

På markanden finns några nya komponenter som har potential att kunna användas i vidareutvecklade koncept för att bidra till en förbättring mot droppfria tunnlar. Se kapitel 4.5 och 4.6.

### 3.2 Dräner

Konventionella dräner är det vanligaste systemet för att avleda vatten i svenska väg- och järnvägstunnlar. Systemet innebär att vatten leds med hjälp av dräner i tak och på väggar ned till ett dräneringssystem i tunnelbotten. I de fall frostrisk föreligger utförs systemet frostisolerat.

Permanent bergförstärkning utförs innan dränerna monteras.

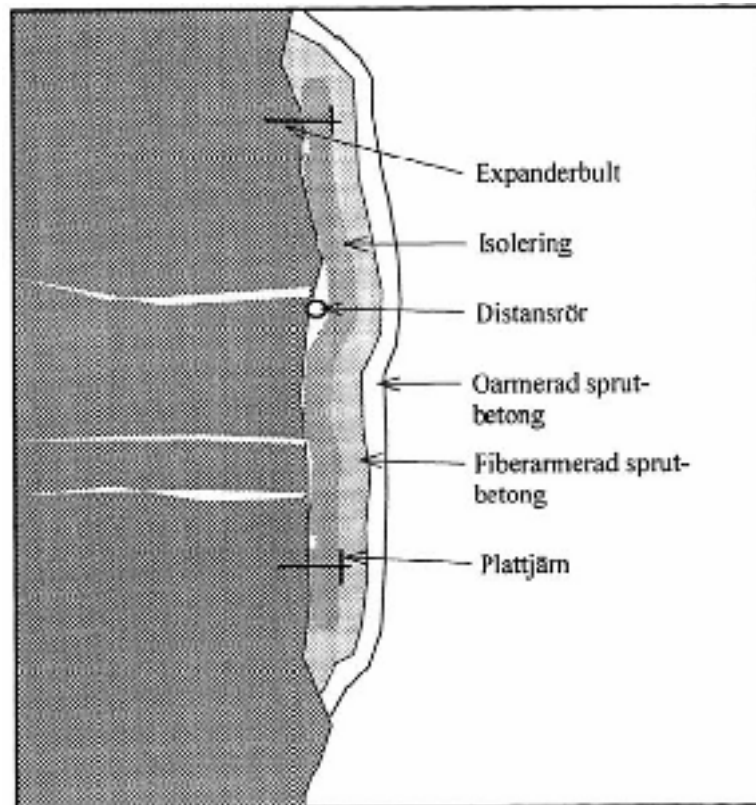
En drän byggs principiellt upp av något slags distansbildande material, isolering, tätmembran och sprutbetong, se figur 3.1. Sprutbetongens funktion är att brandskydda dränen samt att uppta de laster som verkar på dränen. Dränen dimensioneras ej för att ta upp någon last från berget. Vanligtvis kombineras membran och isolering genom att använda isolering av polyeten med slutna porer (PE-matta eller PE-isolering).

Uppsättning och infästning av isoleringen utförs vanligen med en armeringsstege eller plattjärn som trycker isoleringen mot berget längs kanterna med hjälp av korta montagebultar. Vanligtvis används expanderbult. Tätningen mot berget måste utföras omsorgsfullt så att ytterkanterna blir täta, dels så att vatten inte rinner ut och dels för att hindra att kyla tränger in

från sidorna. För att förhindra att vatten rinner ut längs kanterna förses isoleringsmattan med längsgående spår på sidan mot berget.

Vid breda dräner måste sprutbetongen förankras med bultar med ett givet avstånd. För att få en tät konstruktion där bulten går igenom isoleringen, kläms denna mellan två tätbrickor som monteras på bulten.

Vidare måste isoleringen uppfylla gällande brandkrav. Se till exempel BV Tunnel, kapitel 7. Brandskydd.



Figur 3.1 Principiell uppbyggnad av insprutad drän (ELU-GOLDER HB 2005, (10)).

Systemet utformas normalt som insprutade dräner som ligger an mot tunnelväggen/taket. Man kan anse att kravet på inspekterbarhet är uppfyllt genom att man får en indikation på rörelse i berget genom sprickor i sprutbetongen. Insprutning av dräner sker vanligtvis i tre etapper där de två första etapperna utförs med fiberarmerad sprutbetong. I särskilda fall utförs den sista etappen med oarmerad sprutbetong, till exempel längs utrymningsvägar, för att undvika eventuella stick- och skrapskador som kan uppkomma vid kontakt med fiberarmerad sprutbetong. Vardera etappen utgörs normalt av ca 20 - 30 mm sprutbetong.

I områden med bakteriell igensättningsrisk utförs spolbara dräner vilka har spolrör och ett grenrör mellan dränmattan och bergytan.

Utförda mätningar i samband med byggandet av Södra Länken visar att dränernas byggmått varierar beroende på bultlägen, dränernas utformning, skarvlägen etc. Mätningarna visar att byggnadsmåttet vid montage av en drän med 60 mm sprutbetong och 50 mm isolering i praktiken blir minst ca 230 mm (ELU-GOLDER HB 2005, (10)).

Dränerna installeras vertikalt där inläckage förekommer, antingen som singulära dräner (normalt 1,5-2 m breda) vid lokalt inläckage eller som heltäckande, sammansatta dräner över en större yta vid utspridda läckage, se figur 3.2.



Figur 3.2 Bred, eller sammansatt drän. Konstruktionen kan utsträckas åtskilliga tiotals meter. (ELU-GOLDER HB 2005, (10)).

I vissa fall kan konventionella dräner kompletteras med värmekablar för att förhindra frysning mellan berg och klara kyla. Denna typ av drän används vanligtvis inte på grund av hög driftkostnad samt behov av tillsyn.

### 3.3 Inklädnad

#### 3.3.1 Betonginklädnad, dränerad, med eller utan vattentätningsskikt

Systemet utförs med prefabricerad, sprutad eller platsgjuten betonginklädnad som utförs med en dränerande botten, se figur 3.3. Inklädnaden utgör en del av eller hela det bärande huvudsystemet.

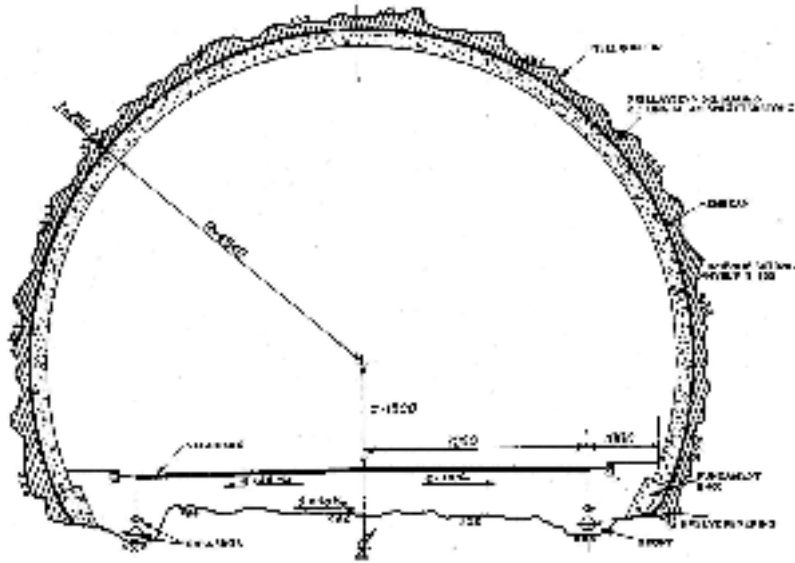
Berget avjämnas med sprutbetong eller genom en separat avjämningsgjutning. När konstruktionen skall förses med tätskikt monteras en fiberduk på den avjämnade ytan. Fiberduken spikas fast i betongen med rondeller av tätmembran. Tätmembranet monteras genom att svetsas till de fastspikade rondellerna. Tätmembranet skarvas med överlappsskarvar och dubbla svetsar. Genom att trycksätta den kanal som bildas mellan svetsarna kan svetsfogens täthet kontrolleras. Fiberduk och tätmembran dras ned till dräneringen i tunnelbotten.

På marknaden finns nya typer av membran som kan sprutas direkt på betong/sprutbetong. Vid rinnande läckage måste dock först en fiberduk monteras för att avleda vattnet ned till tunnelbotten innan sprutning sker.

Eftersom betonginklädnaden är öppen i botten är det oftast nödvändigt att utföra injektering av bergmassan för att begränsa inläckaget av vatten med hänsyn till omgivningspåverkan. Injektering är också oftast nödvändig för att möjliggöra en fullgod gjutning av betongkonstruktionen. Dränerad betonginklädnad är troligen den vanligaste typen av betonginklädnad i Sverige i dag (Burtu och Söder 2003, (23)).

Vägverket har byggt en motorvägstunnel längs E6 vid Grind, några mil norr om Uddevalla. Vägtunneln består av två, ca 150 m långa, tunnelrör som försetts med en ca 40 cm tjock platsgjuten betonginklädnad. Betonginklädnaden har gjutits mot en sprutbetongförstärkt bergyta. Mellan sprutbetongen och den platsgjutna betongen sitter fiberduk och ett tätmembran. I detta fall har konstruktionen således endast en vattenavledande funktion och utgör ej del av det bärande huvudsystemet.

Erfarenheter från Södra Länken avseende denna typ av betonginklädnad visar på att det som i första hand kan skapa problem är förknippat med inläckage av vatten. Det är framförallt två faktorer som är kritiska i detta sammanhang; (1) Kontaktinjekteringen runt betonginklädnaden är avgörande för vilken täthet som kan uppnås och det är av stor vikt att denna del av konstruktionen planeras och utförs på ett korrekt sätt. (2) Läckage som följer utsidan av betongväggen och mynnar i botten av tunneln är mycket svåra att lokalisera och åtgärda (Burtu och Söder 2003, (23)).



Figur 3.3 Gjuten betonginklädnad med tätmembran och dränerad botten (Statens Vegvesen 1998. Publikation 91, (5)).

### 3.3.2 Betonginklädnad, fullt vattentryck

Systemet utförs med prefabricerad, sprutad eller platsgjuten betonginklädnad som utförs runt hela tunnelkonturen, se figur 3.4. Systemet är det enda, av de här upptagna systemen (kapitel 3), som kan dimensioneras för fullt vattentryck och kan bli helt tät. För att sprutade eller platsgjutna betonginklädnader skall bli helt täta erfordras att de kompletteras med tätmembran

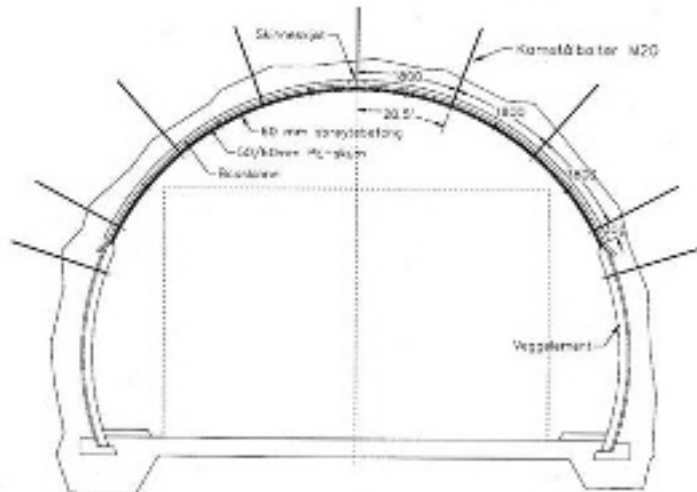
Betonginklädnaden utgör det bärande huvudsystemet eller del av detta och omfattar tak, väggar och botten. Inklädnaden utformas så att största möjliga täthet uppnås. Föres inte konstruktionen med tätskikt kan bredden av genomgående sprickor begränsas med armering och konstruktionen förspänns genom kontaktinjektering mellan betonginklädnaden och berg.

Utförande. Se 3.3.1.

Alla tre ovan nämnda metoder, med eller utan tätmembran, är de enda som kan betraktas som vattentäta avseende omgivningspåverkan vilken gör dem speciellt lämpliga i tätbebyggda sättningskänsliga områden samt i områden med liten bergtäckning och dålig bergkvalitet.

Helt betonginklädda tunnlar i Sverige förekommer sällan. Ett undantag där en helt omslutande inklädnad har utförts med platsgjuten betong är projekt Hallandsås. Den pågående byggnationen av Citytunneln i Malmö borras med TBM och får en helt omslutande inklädnad av prefabricerade element. Tunneln genom Hallandsås kommer att färdigställas med samma teknik (Burtu och Söder 2003, (23)).

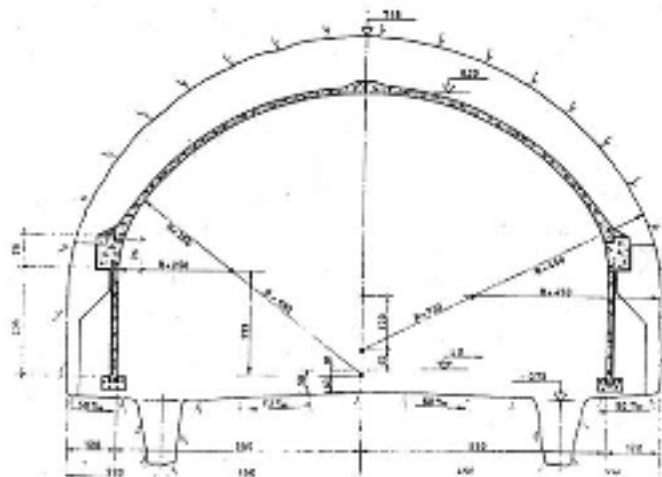




Figur 3.5 Ekebergervalv i tak och betongelement i väggar (Statens Vegvesen 1998. Publikation 91, (5)).

### 3.5 Fribärande betongvalv

Fribärande betongvalv med prefabricerade element är en annan lösning som använts sparsamt beroende på dess stora utrymmeskrav för montering, se figur 3.6. För att öka tätheten kan betongvalvet förses med ett utvändigt tätskikt. Erfarenheter från Norge visar att konstruktionen fungerat bra med relativt lite underhåll. Tunga element och höga anläggningskostnader är huvudorsaken till att lösningen inte kommit att användas vidare (Statens Vegvesen 1998, (5)).



Figur 3.6 Fribärande betongvalv med prefabricerade element (Statens Vegvesen 1998. Publikation 91, (5)).

### 3.6 Lätta konstruktioner

Lätta konstruktioner innebär valv av lätta material, eventuellt i två lager med mellanliggande frostsäkring. Lätta konstruktioner har använts i vägtunnlar, och försök pågår med att även prova tunnelduk i högratikerade motorvägstunnlar i Norge. Det är tveksamt om de lätta konstruktionerna motstår de högre tryck- och sugkrafterna som uppträder i tågtunnlar.

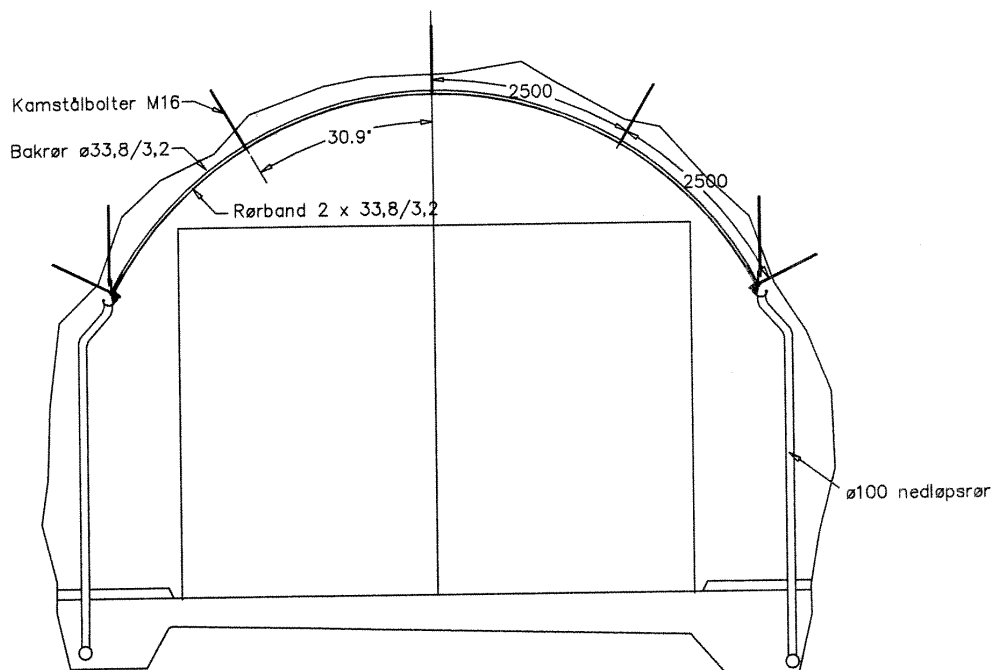
Några typlösningar inom gruppen lätta konstruktioner är:

Plattinklädnad i aluminium, som helvalv och frostisolerat efter behov eller som plattak med takränna.

Frostisolerade plåtvalv består av två valv av korrugerade aluminiumplattor med mellanliggande isolering av folieemballerad mineralull. I flera vägtunnlar i Norge har korrosionsskador uppstått med läckage som följd.

### Tunnelduk

Tunnelduk i PVC-belagd polyesterarmerad duk, byggd som helvalv eller som takvalv med takränna. Tunnelduken fästs i tvärgående rörprofiler bultade i berget. Duken är motståndskraftig mot droppslitage, kemikalier och olja. Duken är brandsäker och leverantören garanterar vattentätethet i 15 år. I figur 3.7 visas en principskiss över Giersten halvvalv med takränna.



Figur 3.7 Giersten halvvalv med takränna (Staten Vegvesen 1998. Publikasjon nr 91, (5)).

## **3.7 Andra metoder och lösningar**

### **3.7.1 Värmekablar**

Som tidigare nämnts förekommer det att konventionella dräner förses med värmekablar för att klara kyla. Denna typ av drän används vanligtvis inte på grund av hög driftkostnad samt behov av tillsyn.

Inom Banverket, Norra banregionen används värmekabel i flera fall i anslutning till dräner. I vissa fall har både en och flera värmekablar monterats in bakom dräner för att förhindra frysning. I Glödsbergstunnel har insprutade dräner försetts med tomma rör i vilka värmekabel skall kunna monteras vid behov.



I andra fall där stora problem med svallis förekommer vid spåret har värmeslingor lagts intill rälererna, exempelvis Glödborget. I dessa fall utförs kontinuerlig besiktning för att säkerställa trafiksäkerheten.

Enligt uppgift har man på norra banregionen för avsikt att under vintern 2006/2007 prova smala dräner, bredd ca 1 m, tillsammans med värmekabel. Isoleringens tjocklek kommer att ligga mellan 30-50 mm.

Ett annat exempel är Bergträsk- och Ladubergstunneln i vilka det varje år uppträder stora problem med svallis över spåret. I takt med att problem har uppstått, har efterinjektering och dränering utförts med varierande resultat. 2003 gjordes försök med att lägga ned värmekablar längs hela tunneln. Orsaken till detta var att man ville förvissa sig om att hålla dräneringsmöjligheten öppen mellan anslutningen vägg/sula och ned till dräneringen i sulan för att minska förekomsten av svallis mot rälererna. Uppgifter från Banverket (Nilsson) visar att åtgärderna fungerat utmärkt hittills och har fungerat felfritt.

### **3.7.2 Portar**

Öppningsbara portar används på flera håll i Norge. I Sverige förekommer endast en tunnel med portar, en enkelspårstunnel, Norralatunneln på mellersta banregionen. I dagsläget utförs förberedelser i vissa av tunnarna på Botniabanan och i några av tunnarna på Ådalsbanan för liknande installationer med portar.

Erfarenheterna från Norralatunneln är goda (Julin). Vatten- och frostsäkring erfordras dock närmast innanför tunnelmynningarna. Tunneln har dessutom kompletterats med fläktar för att motverka den termiska luftrörelsen som uppstår under de kallaste perioderna för att kunna hålla tunneln frostfri. Lösning med portar är tillämpbar i låg- och medeltrafikerade tunnlar.

## **3.8 Vatten- och frostsäkring i olika länder**

Utveckling av vatten- och frostsäkringsmetoder för vägtunnlar har genomförts under de senaste 20-40 åren i Skandinavien och under en något längre tid i Mellaneuropa och alperna. Framst på grund av skilda bergtekniska förhållanden, klimatfaktorer och trafikbelastningar har olika koncept utvecklats i alperna jämfört med Skandinavien (Vägverket 2001, (3)).

En viktig skillnad mellan tunnelbestånden i Norge och Sverige, som påverkat utvecklingen av olika metoder för vatten- och frostsäkring, är att en stor mängd tunnlar i Norge huvudsakligen har en liten trafikbelastning. Detta innebär att metoderna inte alltid kan tillämpas direkt för tunnlar med betydligt högre trafikbelastning.

Lämpliga metoder för vatten- och frostsäkring är bland annat beroende av berggrundens egenskaper, grundvattenförhållanden, trafikförhållanden och klimatet. Detta är sannolikt orsaken till att olika koncept blivit vanliga i alperna jämfört med Skandinavien (Vägverket 2001, (3)):

- I Sverige utförs vanligen en relativt omfattande förinjektering vid nybyggnation av tunnlar. Återstoden av läckage, dropp mm åtgärdas med en kombination av efterinjektering och lokala frostsäkrings- och dräneringsåtgärder.
- I Norge utförs bergstabilisering och vatten- och frostsäkring i två skilda steg. Vatten- och frostsäkring sker vanligen med någon typ av inklädnad.
- I alperna utförs bergstabilisering och vatten- och frostsäkring med en integrerad metod i samband med bergguttaget. Det är i normalfallet en betonginklädnad med tätmembran.

I andra delar av världen, till exempel Japan, Sydostasien är det sannolikt att merparten av nya trafiktunnlar utförs med någon form av betonginklädnad.



## 4 Aktuell forskning, utredning och demonstration (FUD)

I följande kapitel sammanfattas aktuell litteratur, forskning, utredning och demonstrationsförsök som berör eller kan ha betydelse för de processer som kan påverka dräners funktion, till exempel grundvatten, igensättning.

### 4.1 Inför projekteringen för Ringen och yttre tvärleden

I en rapport, "Konstruktiv utformning av Ringentunnlarna med hänsyn till drift och underhåll. Användning av beslutsteori". Rapport 0092 (Vägverket 1995, (2)), beskrivs ett försök att med beslutsteori värdera olika konstruktionslösningar ur kostnadssynpunkt. I kostnaderna ingår underhåll, olyckskostnader och utbyte av felande element. Några av slutsatserna från denna rapport är att genom att anordna vattenavrinning bakom en skärmvägg gör att problematiken med igensättningsbenägna dräner undviks och därmed en stor underhållskostnad. Frostsäkring erfordras ej, eftersom konstruktionen dimensioneras för islast (3 kN/m<sup>2</sup>).

Utförd analys över förväntad livslängdskostnad (LCC) visar att det inte är fördelaktigt att investera i en konstruktion med en mycket stor förväntad livslängd utan underhåll. Det är istället lönsamt att välja en konstruktion där ett underhåll och/eller utbyte av komponenter är inplanerat.

För att ge underlag till beslut om vilken typ av dräneringssystem som skulle användas för Ringen och Yttre tvärledens tunnlar utfördes fältförsök i en tunnel vid Hornsberg (Vägverket 1996, (1)), där fem olika dräntyper testades. Testerna omfattade byggbarhet och ekonomi, dräneringsfunktion, driftsäkerhet (m.h.t. störningar i form av frost, igensättning och dynamisk last) samt underhåll (möjlighet och behov).

Rapporterna kan sammanfattas i nedanstående punkter:

- Byggbarhet och ekonomi - Beträffande byggbarhet och ekonomi återfinns lägsta kostnaden för de konstruktioner som utförandemässigt är enkla och innehåller få komponenter. Billigaste utförandet för såväl breda som smala dräner är de som utförs med fiberarmerad sprutbetong.
- Igensättning - Några dräner monterades längs en sträcka med kraftiga utfällningar. Beträffande bakteriellt betingad igensättning är resultatet att den biologiska aktiviteten, och utfällningshastigheten, varierar stort mellan närliggande läckagepunkter. Det är svårt att på förhand identifiera om en tunnel kommer att få problem med bakteriell igensättning. Vattnets innehåll av Fe(II) sätter den övre gränsen för hur mycket järn som kan fällas ut. Vid järnhalter < 1mg/l är bakteriell oxidation mindre trolig. Genom analys av vattenprover – Fe(II) och pH, kan något om förutsättningarna för denna typ av igensättning förutsägas. Vid pH <5 sker inga utfällningar. Vid pH 5,5-7 oxiderar bakterierna järnet. Vid pH >7 dominerar kemisk oxidation vilket bör ge mindre mängd utfällningar. Indikationer på igensättning visar sig ganska snart i en nysprängd tunnel varför observationer i byggskedet ger den bästa informationen för bedömning av dessa problem. I områden och i sprickor med "rätt" förutsättningar kan igensättningen ske snabbt och sätta igen en drän inom loppet av sex månader. Där risk för igensättning konstaterats skall drän vara försedd med dränagerör och spolplanering för att göra spolning och rensning möjlig. Dränvattnet skall ledas vidare i slutna och spolbara rör för att undvika risken för igensättning i väggkropp och i dräneringsledningar längs vägen. Inspektion skall utföras månadsvis direkt efter dränmontage för att uppskatta

igensättningshastigheten. Underhållsrensningens frekvens styrs av igensättningshastigheten.

- Belastningsförsök – Två typer av dräner; en isolerad och nätarmerad drän täckt med oarmerad sprutbetong och förankrad i berget med bergbult, och en isolerad och täckt med fiberarmerad sprutbetong, testades först dynamiskt och därefter med statisk provning till brott. Den dynamiska provningen utfördes med cyklisk punktlast i dränmitt med 1000000 lastväxlingar vid lastnivåerna 1,8, 3,6 och 5,4 kN. Provningsen visade att dynamisk last inte utgör något problem. Följande rekommendationer redovisas i rapporten: En smal drän,  $\leq 1,5$  m bred med vidhäftning  $\geq 0,3$  MPa skall förankras med sprutbetongens vidhäftning längs dränens ränder. Vid bredare drän eller lägre vidhäftning skall dränen förankras med bult med ett inbördes avstånd på 1,2 m och bricka 0,1 x 0,1 m. För båda fallen rekommenderas att dränerna täcks av 40 mm armerad sprutbetong följt av 20 mm oarmerad sprutbetong. Utförd dynamisk provning uppvisar ingen skillnad, med avseende på utmattningshållfasthet, mellan en drän som utförts med nätarmerad sprutbetong och en drän utförd med fiberarmerad sprutbetong. Kan inte spåra någon tendens till utmattning vid lastnivå motsvarande tre gånger dimensionerande last (dimensionerade för en lufttrycksvariation på 0,8 kPa för såväl tryck och sug).
- Dränfunktion i kyla – Jämförelser mellan testade dräner har visat att en isolerad drän ( $b > 1,5$  m,  $t = 50$  mm) är effektivare att förhindra nedkyllning av bergmassan bakom dränen än en smal (0,6 m) drän försedd med värmekabel och tunnare isolering (12 mm). Testerna av dräner i nedkyld tunneldel visar att ingen av dränerna kan förhindra frysning av bergmassan bakom dränen. Isbildning uppstår i luftspalten mellan berg och drän. I de fall isoleringen är tillräckligt tjock, i detta fall 50 mm, fryser vattnet i berget innan temperaturen i luftspalten mellan berg och drän sjunkit under noll grader. Då temperaturen i bergmassan bakom dränen understiger  $-2$  grader C, avstannar vattenflöden in till dränen motsvarande läckagemängder på 2-70 ml/min och läckagepunkt. För Södra Länken bör smala dräner utformas isolerade med en minsta tjocklek av 50 mm och en minsta bredd av 1,5 m.

I slutrapporten görs följande rekommendationer för Södra Länken:

- Vattenavskärmning utförs med 50 mm vattentät isolermatta av extruderad polyetylen. De vertikala kanterna förses med längsgående spår för att minska risken för läckage åt sidorna. God anliggning längs kanterna erhålls med en klen armeringsstege. Armeringsstegen och isoleringen pressas mot berget längs kanterna med expanderbult som monteras i lågpunkterna med ett maximalt avstånd av 0,4 m. Vid bultgenomföringar vidtas speciella åtgärder för att förhindra vattenläckage.
- Frostskydd erhålls med 50 mm isolermatta av extruderad polyetylen. För att säkerställa att berget bakom dränen fryser före luftspalten mellan berg och drän, skall dränen utföras med en bredd av minst 1,5 m.
- Lastupptagning i själva dränen sker med hjälp av ett 60 mm tjockt sprutbetongskikt. Förankring av dräner sker med vidhäftning längs dränens ränder i de fall dränen har en bredd som mest uppgår till 1,5 m och om sprutbetongens vidhäftning minst uppgår till 0,3 MPa. Vid bredare dräner och/eller i de fall med lägre vidhäftning förankras dränen med galvaniserad bult med ett inbördes avstånd av 1,2 m.

Rapport 024, ”Inspektionsprogram för underhåll, med avseende på geologi, bergförstärkningar och upphängningsanordningar samt bergdräners funktion i ringens tunnlar”, beskriver strategier för bergförstärkning, upphängningsanordningar och bergdräner som anpassats till Ringen och Yttre Tvärleder i Stockholmsområdet. I rapporten förordas ”lätta” konstruktioner där bergförstärkningen kan inspekteras, framför ”tunga” konstruktioner som är dimensionerade för att klara kraven på livslängd utan hjälp av bakomliggande bergbultar och sprutbetong.

Slutsatserna från ovanstående rapporter kan sammanfattas i nedanstående punkter:

- Bygg lätta underhålls- och utbytbara konstruktioner.
- Satsa på regelbundet underhåll/inspektion istället för dyra tunga underhållsoberoende konstruktioner.
- Välj dräntyp efter observationer gjorda efter tunneluttaget.
- Styr underhållsintervall efter inledande observationer och klassning av komponenterna.

I Vägverkets förstudie (Vägverket 2001, (3)) görs följande reflektion på ovanstående rapporter: Beträffande drändimensioner – För- och nackdelar med bredare (sammanhängande) dräner (5-50 m) har ej diskuterats. Beträffande grövre konstruktioner - För- och nackdelar med installation av bärande gjutna betongkonstruktioner dimensionerade att ensamma klara berglaster, grundvatten och eventuella istryck är mycket sporadiskt diskuterade

#### **4.2 Förstudie till FoU-ramprojekt ”Tätning och frostsäkring av tunnlar” (Vägverket 2001, (3))**

Rapporten är en sammanställning av områdena tätning och frostsäkring av vägtunnlar, och ger en övergripande beskrivning av olika metoder för tätning och frostsäkring samt erfarenheter av dessa metoder från Sverige, Norge och Mellaneuropa.

Rapporten kan sammanfattas av nedanstående sammanfattning/utdrag ur kapitel 8 Utveckling och erfarenheter:

De metoder för tunnelinklädnad som använts i Norge och som bedöms uppfylla kravet på inspekterbarhet enligt Tunnel 99 är bland annat Ekebergssvalvet, betongvalv och eventuellt tunnelduk, typ Giertsenduk, förutsatt att avstånd mellan det bärande huvudsystemet berg och valvkonstruktion medger handnära inspektion eller möjlighet till fjärrinspektion kombinerat med möjlighet till lätt demontering.

Intressanta resultat under senare år i Norge som bör följas upp är dels den ombyggnad av tunnelinklädnad där Ekebergssvalv ersatt skadade aluminiumtak, och dels försök som görs med att använda Giertsenduk i tunnlar med högre trafiklast än vad de ursprungligen avsetts för.

Ytterligare en aspekt som kanske bör ingå i valkriteriet är reinvesteringskostnaden. D.v.s. vad kostar det och hur går det till att om x antal år byta ut den utförda inklädnaden. Det är särskilt viktigt i högtrafikerade väg- och järnvägstunnlar där redan ett begränsat intrång för renoveringsarbeten innebär stora konsekvenser för trafiken i området.

Ovanstående bör även gälla för dräner och valv av typen Ekeberg-/Örsta- och Isolvalv. Man bör då även ta hänsyn de kostnader det innebär att stänga av en till exempel högtrafikerad tunnel under ett antal veckor för att demontera och utföra underhåll eller byta ut konstruktionen efter dimensionerad livstid.

### 4.3 Uppsprickning av sprutbetong

”Utredning angående sprickor på dräner i Södra Länken. Sammanfattning och förslag till åtgärder”, daterad 2004-04-20, Golder Associates AB och Betongbyggnad KTH, (27).

Rapporten redovisar en studie av orsaken till sprickbildning i sprutbetong på dräner i Södra Länken, och omfattar även förslag till åtgärder.

Vid byggandet av Södra Länken utfördes dräner i områden med vattenläckage. Två typer av dräner förekommer. En smal drän, bredd 1,5 m, och en sammansatt drän med bredder upptill ca 100 m förekommer. På de sammansatta dränerna är sprutbetongen förankrad med bultar, med ett inbördes avstånd på 1,2 m.

Kort tid efter att dränerna sprutats in observerades vertikala sprickor i sprutbetongen, 10 % av de smala dränerna och 50 % av de sammansatta dränerna. 60 % av sprickorna hade en vidd >0,5 mm vid karteringstillfället.

Resultaten visade att uppmätt tjocklek varierade och var i många punkter mindre än den nominella (60 mm). Sprickorna var nästan genomgående lokaliserade till områden med liten sprutbetongtjocklek. I 30 % av alla mätpunkterna är sprutbetongens tjocklek mindre eller lika med det nominella värdet, 60 mm.

I PM avseende litteratursammanställningen konstateras att antalet studier inriktade mot att studera krympningen hos sprutbetong och inverkan på krympningens storlek hos sprutbetong varit få.

Vid analys av trolig skadeorsak nämns följande slutsatser:

- Analys av sprutbetongens sammansättning visar att den har en olämplig sammansättning med avseende på cementhalt och vatteninnehåll om man vill minimera slutkrympningens storlek.
- Accelerator har använts.
- Konstruktionen är inte utformad för att tåla krympning hos sprutbetongen. De sammansatta dränerna borde ha varit försedda med rörelseupptagande fogar.
- För att minska slutkrympningen och därmed undvika sprickor krävs att eftervattning sköts omsorgsfullt.
- Man har inte säkerställt att luftfuktigheten är hög i tunneln under härdningsförloppet.
- Mängden fibrer är inte tillräcklig att fördela krympningen på flera sprickor.
- Variationen i tjocklek styr var sprickorna uppkommer och medför att sprickorna slår upp vid en lägre än om tjockleken varit jämn.

Med numerisk modellering har de spänningar som uppstår på grund av ojämn krympning av motsprutade betongskikt analyserats. Viktiga faktorer som påverkar risken för sprickor är:

- Betongens vattenhalt och höga cementhalt som har stor inverkan på slutkrympningens storlek.
- Omgivningens relativa fuktighet har en stor inverkan på slutkrympningens storlek. Hög luftfuktighet reducerar slutkrympningens storlek.
- Omgivningens medeltemperatur och sprutbetongens tjocklek, vilka påverkar krympningshastigheten.

- Differenskrampningen, vilket är skillnaden mellan krympningarna i två motsprutade betongskikt.

Det har också konstaterats att krympningsförloppet är betydligt långsammare än tillväxten av elasticitetsmodul och draghållfasthet hos sprutbetongen. Vidare har exemplen visat att:

- Maximala dragspänningar kan förväntas 1-2 månader efter sista sprutetappen.
- Eftervattning försenar starten av krympningen men ej hållfasthetstillväxten.
- Utan eftervattning startar krympningen av det första skiktet innan det andra har påsprutats vilket ger större differenskrampning.
- Långa väntetider utan eftervattning mellan sprutetapper ökar dragspänningarna.

Vid kontrollberäkningar av dräner med spricka i olika lägen visar att då sprickan har förmåga att överföra tvärkrafter sker inget brott i sprutbetongen. Då fibrerna rostat av så att sprickan inte längre kan överföra tvärkrafter kan detta leda till brott om inga åtgärder vidtas. Det fall som först leder till brott är fallet med en smal ( $b=1,5$  m) sprucken drän i taket. Spruckna dräner på väggar och spruckna breda ( $>1,5$  m) dräner i tak kan på sikt ge böjbrott i sprutbetongen om inga åtgärder vidtas eftersom spänningsnivåerna ligger över dimensionerande värden för sprutbetongens böjdraghållfasthet (Maximalspänning 4,0 MPa, residualspänning 3,0 MPa).

Avgörande för hur skadorna utvecklas med tiden är korrosionshastigheten hos fibrerna över sprickorna.

Från fält- och laboratorieförsök (Nordström 2002, (12)) framgår att:

- Det har konstaterats att fiberkorrosion kan initieras redan efter ett år.
- Endast begränsad korrosion har setts efter 5-15 års exponering i fält.
- Även vid närvaro av höga kloridhalter verkar angreppen vara begränsade.
- Det går inte att utesluta att den långsamma initiering av korrosion som hittills observerats skulle kunna övergå i aktiv korrosion och snabbt leda till fiberbrott.
- Förlust av 15-20 % av fiberdiametern i de yttre 25 mm har noterats efter 2,5 års exponering i vägmiljö, d.v.s. ca 0,02 mm/år.
- Det har visats att det förekommer ökat angrepp med ökad sprickvidd och ökad fiberlängd.
- Angreppsgraden minskar med ökat avstånd från spricköppningen.
- Det har observerats att 40 mm fibrer korroderar dubbelt så fort som 30 mm.
- Ingen tydlig inverkan av olika betongtyper har noterats.

Beträffande återställande av sprutbetongens draghållfasthet görs följande slutsatser:

- Genom den kraftiga ventilationen orsakad av trafiken, kommer temperaturen i tunnarna i stort att variera som luftens utetemperatur. Denna temperaturvariation ger upphov till temperaturrörelser som under ett år uppgår till ca 0,036 % av bredden på en osprucken drän.
- Om sprutbetongens draghållfasthet återställs genom påsprutning av ett nytt lager sprutbetong, där det idag finns sprickor, kommer sannolikt nya sprickor att uppstå på grund av temperaturrörelser.



- Det är en fördel om temperaturrelserna kan tas upp i de redan uppkomna sprickorna
- Andra metoder som studerats för att återställa dragkraftskapaciteten över sprickorna utöver påsprutning av ett nytt lager sprutbetong är otestade och besvärliga att genomföra praktiskt eller uppfyller ej brandkraven (förstärkning med kolfiber-epoxikomposit eller cementbaserad kolfiberkomposit, ingjutning av kamstänger i dränernas sprutbetongskikt).

Beträffande inverkan av sprickor i sprutbetongen görs följande sammanfattning:

- Sprickornas förmåga att överföra tvärkrafter bibehålls om fibrerna över sprickan inte rostar av.
- Risk för rostangrepp i öppna sprickor finns vid sprickvidder  $> 0,2$  mm.

För att säkerställa den lastupptagande förmågan hos sprickor finns två tänkbara alternativ:

- Säkerställa att rostangrepp inte sker.
- Säkerställa lastupptagningen över sprickan genom att montera lastupptagande förankringsbultar längs sprickan.

Bultningen måste vara utformad så att dränmattans tätande funktion återställs där bulten punkterar dränmattan och sprutbetongen. För att återställa brandskyddet fylls öppna sprickor i sprutbetongen.

Beträffande nedbrytning av tvärkraftskapaciteten i sprutbetongen på grund av krympsprickor görs följande slutsatser:

- Nedbrytningshastigheten beror på hur snabbt fibrerna korroderar i sprickan.
- Försök antyder att man i vägmiljö kan få en korrosionshastighet på  $0,02$  mm/år.
- Efter 8-10 år innebär detta att tvärkraftskapaciteten kommer att vara under den nivå (36 kPa) som krävs för att förhindra en brottutveckling för sprickor i taket.

I rapporten lämnas också förslag till hur uppkomna sprickor skall åtgärdas. För att minska sannolikheten att nya sprickor uppkommer mellan befintliga sprickor är det bra att behålla rörelsemöjligheter i de redan uppkomna sprickorna. Förslaget kan sammanfattas i följande punkter:

- Krympsprickor,  $> 3$  mm, fräses upp och spåret fogas med elastisk fogmassa.
- Fiberkorrosionens utveckling följ upp genom regelbundna kontroller.
- Kompletteringsbultar monteras successivt där tvärkraftskapaciteten befaras vara nedsatt. Detta gäller framförallt dräner i taket.

För att förhindra att krympsprickor uppkommer på nya dräner utförs i allt högre grad dilatationsfogar på dräner med bredder överstigande ca 6 m.

#### **4.4 Cementhydratation och krympmekanismer i sprutbetong**

Denna undersökning pågår och genomförs av bland andra Björn Lagerblad och Jonas Holmgren, Avd Betongbyggnad, KTH, syftar främst till att ta fram skillnaderna mellan sprutbetong och vanlig betong med avseende på hydratationsförlopp krympning, och strukturuppbyggnad. Syftet är också att undersöka om de olika typerna av tillstyvnadsacceleratorer ger olika resultat.

För att kunna bygga i berg måste detta säkras och inläckande vatten tas om hand, varvid sprutbetong är en viktig metod. Speciellt vid byggandet av Södra Länken i Stockholm men även på andra ställen har man uppmärksammat en kraftig krympning och sprickbildning. Detta ställer till med stora problem och man måste därför komma underfund med vad som orsakat det för att kunna komma på någon motåtgärd. Problemet har speciellt uppmärksamats i och med introduktionen av de nya alkalifria acceleratorerna men det kan ha förekommit tidigare.

Om man kan komma underfund med vad som skiljer vanlig betong från sprutbetong och vad som orsakar krympningen skulle man kunna modifiera receptet alternativt kunna finna motåtgärder mot effekten av krympning.

Preliminära resultat från denna undersökning redovisas i en arbetsrapport (Lagerblad, Holmgren, Fjällberg och Vogt 2006, (16)), och kan sammanfattas enligt följande text.

Tillstyvnadsaccelerator skiljer sig från andra acceleratorer genom att den inte påskyndar cementhydratationen utan bygger upp en ”falsk” struktur, i vilken sedan den egentliga cementhydratationen som ger den hårda betongen, sker.

Försök visar att sprutbetongen är under öppethållandetiden, när styrkan endast är några MPa, mycket känslig för fuktrörelser. Vid uttorkning sker kraftig krympning medan det vid fukttilförsel sker en mindre expansion. Även då fuktavgång förhindras sker en signifikant krympning, vilket innebär att det är mycket väsentligt att sprutbetong fukthärdas nog.

Då den hårdnande sprutbetongen utsätts för torkning sker en krympning med åtföljande uppsprickning. Försök med sprutade cementbruksprismor i jämförelse med gjutna prismor visar att krympningen är ca 30 % större för alkalifri och ca 10 % större för vattenglasbaserad tillstyvnadsaccelerator. Vattenavgången från den sprutade pastan sker betydligt snabbare och är större än för den gjutna pastan. Detta antyder att den sprutade pastan har en större och grövre porositet vilket kan förklara den större krympningen.

Resultaten antyder att sprutbetong har en större benägenhet för uttorkningskrympning än vanlig betong, vilket betyder att man vid sprutning på till exempel dräner behöver modifiera betongen. Mängden cementpasta i betongen behöver minskas och man borde undersöka om krympreducerande medel eller fibrer kan minska sprutbetongens krympning.

#### **4.5 Nya tänkbara lösningar**

I en utredning för Citybanan (ELU-GOLDER HB 2005, (10)) redogörs för nya tänkbara lösningar i form av sprutbara tätmembraner. Systemen består av ett membran 3–6 mm som sprutas mot sprutbetongen och ger en hög vidhäftning mot sprutbetongen. Utanpå membranet läggs sedan en sprutbetong. Systemen är i första hand framtagna för att ersätta konventionella membraner vid motgjutna betonginklädning. Två av de provade produktnamnen är Masterseal 345 och Tekflex,

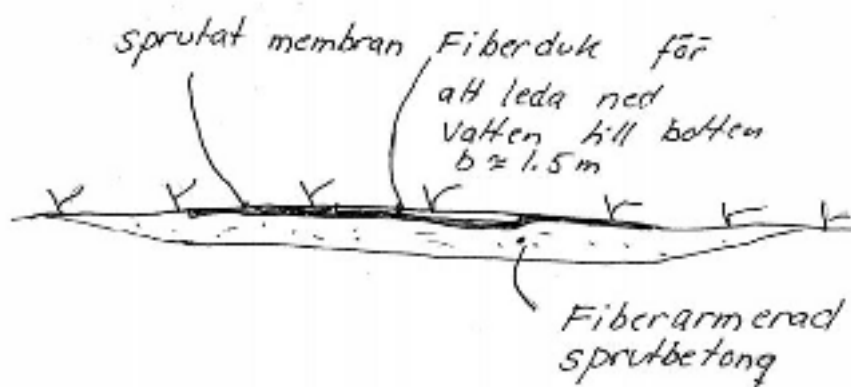
Mindre försök har genomförts med Tekflex vid Skarpnäcks Tunnelbanestation och vid Arlanda C under Sky City på Arlanda. Resultaten från dessa försök visar att läckagen kan

reduceras men att lokala läckage kvarstår i provområden. Ett större försök planeras också i en arbetstunnel på Träskolevägen.

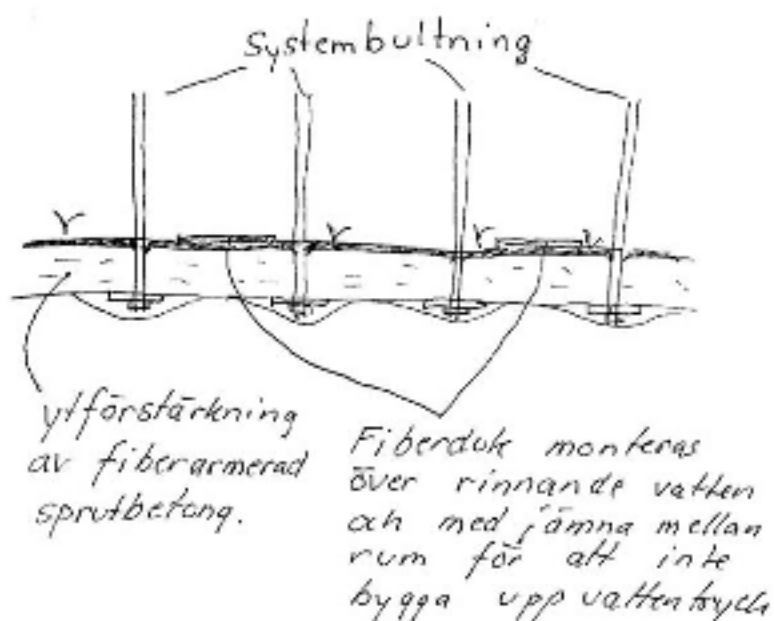
För att kunna spruta membranet på en yta där vatten rinner måste först en fiberduk med ett inbyggt tunt tätmembran monteras för att leda bort vattnet. Monteras en fiberduk mot sprutbetongen får man naturligtvis ingen vidhäftning mellan membran och sprutbetong på denna yta.

Med dessa nya produkter finns det möjligheter att göra helt nya dräner som kan fungera där det inte finns någon frostrisk. Det finns också möjlighet att göra helt nya konstruktioner där tätmembranet integreras i ytförstärkningen.

I figur 4.7 visas hur en oisolerad drän kan se ut och i figur 4.8 visas hur tätmembranet kan integreras i en bultad ytförstärkning.



Figur x4.5.1 Oisolerad drän med tätmembran (ELU-GOLDER HB 2005, (10)).



Figur 4.5.2 Sprutat tätmembran som integrerats i ytförstärkningen (ELU-GOLDER HB 2005, (10)).

#### **4.6 Försök med sprutade tätmembran och tätande tillsatsmedel i sprutbetong**

Törnskogstunneln är en vägtunnel med två rör, som byggs på sträckan Sollentuna och Täby kyrkby, och som utgör en del av Norrortsleden som ingår i Yttre tvärleden kring Stockholm.

Tunnelarbetena påbörjades 2004 och skall vara avslutade under 2006. Projektet som är ett ”partnering-projekt” innebär att Vägverket och entreprenören gemensamt skall verka för att tunneln byggs på ett kostnadseffektivt sätt. Inom ramen för detta samarbete utfördes ett storskaligt test på en sträcka av ca 200 m i tunneln med tätande cementbaserade tillsatsmedel i sprutbetongen för att påskynda och förbättra sprutbetongens förmåga till självläkning. Tillsatsen i sprutbetongen var 1 % av bindemedlet eller 5 kg/m<sup>3</sup>. Sprutbetongens tjocklek uppgick till 50 mm. Efter utvärdering och jämförelse med en parallelltunnel i vilken sprutbetongarbetena utförts utan tillsatsmedel har följande erfarenheter erhållits (Informationsblad, BESAB 2005 samt muntlig kommunikation):

- Tillsatsmedlet Xypex Admix har inte påverkat egenskaperna hos den färska betongen på något märkbart sätt
- Vattenmängden är densamma och därmed också vct
- Sprutbetongegenskaperna har inte förändrats märkbart
- En viss minskning i återslaget kan märkas men har inte kunnat bekräftas då mätning av återslaget inte utförts
- Den hårdnade betongens hållfasthetsegenskaper och frostbeständighet har inte förändrats på något märkbart sätt
- Vid jämförande droppkartering i de två tunnlar har den aktuella tunnelsträckan med tillsatsmedel mindre vattenläckage än parallelltunneln.
- Provprotokoll från typprovning av betongen visar en på ökad tillstyvnadstid men också en minskad krympning.

Liknande försök pågår i andra tunnlar, till exempel på Botniabanan, med inblandning av tillsatsmedel i sprutbetong, dels som slamma och dels som tillsats vid tillredning av sprutbetong. Andra förekommande fabrikat är till exempel Penetron och Krystol.

#### **4.7 Program för frystester på inklädnad vid Träskolevägen**

Programmet för prov av inklädnad vid Träskolevägen syftar till att i full skala visa olika tekniska lösningars genomförbarhet samt gestaltning i en av Södra länkens arbetstunnlar, Träskolevägen.

Med ett frystest kommer olika utföranden av tunnelinklädnadskonceptet studeras med avseende på istillväxt och istryck i utrymmet mellan tunnlemembran och bergvägg. Ett gestaltningstest utförs samtidigt med syfte att demonstrera hur olika material och utföranden kan skapa ett ljust och tvättbart stråk för vägledning på inklädnadens sprutbetong.

Tätskiktets utförande - Tätskiktet har till uppgift att förhindra att vatten kommer in i trafikutrymmet. Tätskiktet skall utföras med helt täta skarvar och med tät anslutning mot berget i ändavslutningarna. Tätskiktet monteras 330 mm innanför den teoretiska bergkonturen enligt den tunnelsektion som projekteringen sker efter. Av detta utrymme är reserverat 230 mm för bergförstärkning vilket innebär att tätskiktet i normalfallet monteras 100 mm från den förstärkta bergkonturen. Monteringens sker med teknik som medger exakt anpassning till önskad sektion och ger en slät och väl sträckt yta. Denna yta skall utgöra form för

sprutbetongskikt. Monteringsanordningen för tätskiktet skall även utgöra infästning av armeringsnät och eventuell isolering.

Tätskikt som bör testas i provtunneln

- Giertsen-systemet med tunnelduk av PVC.
- GSE Ultraflex som är en Linear Low Density Polyethylen, LLDPE.

Dessa två dukar med tillhörande monteringsystem representerar skilda tekniska lösningar som är viktiga att belysa i detta försök.

Giertsen-systemet baseras på att en tunnelduk monteras på en rörbåge som med bultar fästs i berget. Bågarna monteras med c/c 1500 mm. I bågarna kan sedan lättare informationsutrustningar monteras.

Monteringen av GSE Ultraflex membranet görs direkt på bultar som fästs i berget. Detta medför att man erhåller ett polygonliknande tvärsnitt. Monteringen av membranet sker på ett sätt som ger en helt vattentät anslutning. Om bergbultarna monteras lite osymmetriskt får man en sektion med mer levande struktur hos inklädnaden.

Båda systemen kräver en exakt inmätning och montering av fästbultarna.

Sprutbetong - Sprutbetongskiktet på tätskiktet har tre funktioner. Dels skall det ta upp de dynamiska lasterna som trafiken resulterar i. Sprutbetongen skall dessutom ge en estetiskt tilltalande struktur i tunneln. För det tredje kan sprutbetongen utgöra ett isolerande skikt om den utförs med exempelvis EPS-cement eller täcka ett eventuellt isoleringsmaterial som är brännbart.

Värmeisolering - Som en konsekvens av att tunnlar förses med ett tätt membran kommer injekteringsarbetet att utföras så att inläckningskraven som formuleras i Miljödomstolens prövning uppfylls. Injekteringen behöver således inte utföras så att dropp på vägbanan elimineras. Dräner kommer med detta inklädnadskoncept inte att behövas. Detta innebär att en viss mängd vatten kommer att droppa från berget på membranets utsida. Vintertid måste systemet motstå de laster i form av istryck som kan uppkomma. Beräkningar genomförs för dimensionering av isoleringen.

Upphängning av informationsutrustning etcetera - System för upphängning av olika former av informationsutrustningar skall provas. De genomföringar som görs i membranet måste kunna tätas på ett tillfredställande sätt.

Under hösten 2005 meddelade Vägverket att vid försöket användes inte Giertsenduken, utan hela tunneldelen kläddes med GSE-membranet. Försöket avslutas under november 2005 och slutrapport kommer att upprättas.

Preliminära resultat visar att för den oisolerade delen av tunneln erhöles istillväxt relativt snabbt som i stort sett fyllde utrymmet mellan membran och bergvägg. Inga skador beroende på istryck har konstaterats vid besiktningar under försöket. I den isolerade delen visade temperaturmätningarna klart att temperaturen på baksidan av isoleringen och på bergytan kommer att ligga över noll grader vid en köldperiod av 60 dygn vid  $-10^{\circ}\text{C}$ . Mätningarna visar också att genom isolering av övergången mellan inklädnad och väggkropp kan temperaturen hållas över noll grader så att vatten som når väggkroppen kan dräneras bort (Golder Associates 2005, (24)).

## 5 Aktuella krav och föreskrifter

### 5.1 Allmänt

När dräner introducerades i Sverige 1979 av Statens Järnvägar ställdes följande krav på isolerade dräner (Sandegren och Wallmark, 1982, (17)):

1. Mycket lågt värmeledningstal.
2. Vara så vattenavvisande att dess värmeisoleringssegenskaper ej nämnvärt förändras med tiden.
3. Vara beständig mot vittring, i vatten lösta ämnen samt solljus. Soläktheten kan ersättas med till exempel sprutbetong, men det blir dyrare.
4. Ha så hög hållfasthet att den motstår fartvind, blåst och mindre mekanisk åverkan. Även här kan sprutbetong vara till hjälp.
5. Vara så pass formbar att den godtagbart anpassas till utsprängda bergytter.

Materialet som kom att föreskrivas för dessa ändamål var Ethafoam 220, en cellplast av extruderad polyeten. Materialets brännbarhet var kända men vid denna tid ställdes inga krav på brandsäkerhet i tunnlar.

Sedan isolerade dräner började användas i Sverige har också kraven på konstruktioner för vatten- och frostsäkring blivit mer omfattande. Bland annat ställs krav på livslängd, vattentätethet, bärförmåga och säkerhet mot frysning samt brand som gäller vid nybyggnation och vid underhåll. Aktuella krav på vatten- och frostsäkring i väg- och järnvägstunnlar beskrivs i detalj i ATB Tunnel 2004 (Vägverket 2004 (29)) och BV Tunnel (Banverket 2005 (28)). I följande stycke nämns några av dessa krav.

Livslängdskravet på dräner och inklädnad som inte ingår i det bärande huvudsystemet är 40 år. Kravet på vattentätethet utgår från tunnelns funktion och säkerhet samt från risken för omgivningspåverkan. Kravet innebär i princip att fukt (< 1 dropp/min) tillåts i trafikutrymmet men inte dropp (> 1 dropp/min) och rinnande vatten. Kravet på bärförmåga innebär bland annat att Vägverkets dräner skall dimensioneras för en islast motsvarande 3 kN/m<sup>2</sup>. För Banverkets tunnlar gäller att dräner skall dimensioneras för lufttryck (tryck- och dragspänningar) från passerande trafik uppgående till 3-5 kPa, beroende på dimensionerande tågastighet och aktuell tunnelarea. Kraven på säkerhet mot frysning innebär att tunnlar skall utformas så att skador av frysning inte uppstår och att isbildning inte uppkommer vid tätskiktet. Tunnlar skall dimensioneras för maximiköldmängd eller medelköldmängd beroende på tunnelns längd. Tunnlar kortare än 1000 m (för Vägverket gäller 500 m) dimensioneras för aktuell maximiköldmängd. Vid tunnlar överstigande 1000 m (för Vägverket gäller 500 m) och för tunneldelar som ligger på större avstånd än 500 m (för Vägverket gäller 300 m) från tunnelöppning skall dimensioneringen utgå från aktuell medelköldmängd. Övriga tunneldelar dimensioneras för aktuell maximiköldmängd.

I takt med ökade krav på brandsäkerhet i tunnlar infördes under 1990-talet krav på att konstruktioner för vatten- och frostsäkring skall vara brandskyddade. Numera ställs stora krav på brandmotstånd som bland annat innebär att bärande huvudsystem och inredning (dräner och inklädnad) som gränsar mot trafikutrymme skall dimensioneras och/eller brandpåverkan så att de inte kollapsar, eller att de, på grund av nedfall, inte utgör hinder vid utrymning. Ingående material får heller inte bidra till brand- eller rökspridning.

Isoleringsmattor som används till dräner och inklädnad uppfyller inte dessa krav och måste därför skyddas mot brand med sprutbetong.

I svenska väg- och järnvägstunnlar finns en stor mängd oinsprutade PE-mattor som inte är brandskyddade. Vid underhållsarbeten ersätts ofta skadade PE-mattor med nya, och i några fall utförs även oinsprutade dräner i nya tunnlar. Då det inte råder någon entydig samstämmighet hos brandskyddsmyndigheterna kan de lokala brandskyddsmyndigheterna ha olika uppfattning om brandskyddets omfattning och utförande. I flera fall har nya oisolerade dräner tillåtits och utförts men med restriktioner på utförandet, omfattningen och behovet av sektionering etcetera.

Norska vägverket har beslutat om att inte tillåta PE-mattor i inklädnader efter 2006, medan Svenska Vägverket avvaktar med ett förbud för PE-matta men arbetar för att få fram brandsäkra lösningar (ELU GOLDBERGER, 2005 (10)).

## 6 Erfarenheter från svenska och norska tunnlar

Återkommande problem med vatten och is och frostsador i både äldre och nyare järnvägstunnlar har krävt omfattande åtgärder för att minska underhållskostnaderna och öka trafiksäkerheten. Detta tycks gälla tunnlar över hela landet. Följande beskrivning av förhållanden och frostskyddsåtgärder i ett antal svenska och norska tunnlar baseras på intervjuer och litteratur.

### 6.1 *Tunnlar i Norrland* (Linde 1997(19), Andrén, Julin, Nilsson och Lindblad muntlig information)

Generella problem som angivits är att det fryser bakom dräner (dräner utförda före ca 1990), att läckage förekommer i mattskarvar och att dränerna inte är tillräckligt breda. Nedan följer en kort beskrivning av erfarenheter ifrån Norrländska tunnlar.

#### Nuolja

På malmbanan mellan Abisko och Björkliden finns en tunnel genom Nuoljafjället. Den ytligt belägna järnvägstunneln togs i drift redan 1902. Under åren har stora problem med svallis uppstått och under 1980-talet valde Banverket att driva en ny tunnel bredvid den gamla. Den nya togs i drift 1990. Även den nya tunneln har drabbats av svallis- och frostsprängningsproblem. En mängd åtgärder har vidtagits för att minska dessa problem. 1992 injekterades bergmassan med polyuretanbaserat medel och 1992 och 1993 gjordes försök att dränera omgivande berg, dock kvarstod svallisproblemen. Istillväxten hade emellertid minskat kraftigt. 1996 frostisolerades vissa speciellt utsatta sektioner med PE-mattor vilka täcktes med både armerad och oarmerad sprutbetong. Denna lösning har visat sig vara väl fungerande. I Nuolja finns även betongelement med isolerande mineralull installerat.

#### Tornehamn

Järnvägstunneln togs i drift 1902. En intressant erfarenheter från denna tunnel är att man noterade en tydlig ökning av vattenläckagen efter att tunnelsektionen ökats genom sprängning. Detta antyder att de förekommit en naturlig igensättning av läckagevägarna till tunneln som med tiden minskat inläckagen. Sprängningsarbetena har sedan resulterat i ökat inläckage på grund av att en del av det naturligt tätade berget sprängts bort eller att nya sprickor uppstått.

#### Bergträsk – Älvsbyn

Sedan driftstarten 1982 har järnvägstunneln i Bergträsk varit utsatt för svallisbildning och frostsprängning. En mängd åtgärder har vidtagits för att minska dessa problem. Årligen skrotas tunneltak och väggar och förstärkning med ingjutna bergbultar har skett efter behov. På fyra platser har större betongklackar gjutits som stöd åt tunnelväggen. 1995 uppfördes 10 - 14 meter långa prefabricerade betongtunnlar i bägge tunneländarna. Mellan prefabelementen gjordes en utfyllnad med halm och sågspån. PE-skivor (Ethafoam) har satts upp på väggar och tak. Ett problem med detta har varit att leda ner vattnet innanför skivorna till dräneringen. Problem med isbildning bakom och frostsprängning av isolerskivorna har också förekommit.

Vid denna typ av lösning är det viktigt att täta sidorna noggrant och att dra ner isoleringen i ballasten där det även finns en bit horisontell markisolering.

#### Laduberg – Älvsbyn



Ladubergstunneln byggdes 1982 och problemen har varit liknande de i Bergträsk. 1990 bultade man, även en omfattande skrotning utfördes. 1992 skedde ytterligare bultning och skrotning, samt att isolerskivor monterades. För övrigt se Bergträsk.

En intressant observation gjordes efter att gamla isoleringsmattor demonterats och ersatts med nya PE-mattor utom i tre områden på totalt ca 100 m<sup>2</sup>. I dessa tre områden gavs det inte möjlighet att utföra nya isoleringsmattor. Senare noterades att bergytorna där de gamla dränerna suttit var torra och är så fortfarande efter flera år. Observationen antyder att läckagen naturligt kan ha tätats genom till exempel utfällning av kalk eller järn i berget.

### Glödberget

I järnvägstunneln som ligger på sträckan Mellansel – Vännäs och som togs i drift 1995, monterades 1998 ca 1600 m<sup>2</sup> dräner fördelade på 16 sektioner. Dränerna utgjordes av dubbla PE-mattor med total tjocklek av 140 mm. Mattorna är spårade i kanterna för att förhindra vattenavrinning mot mattans kanter. Större ojämnheter mellan matta och berg har tätats med hjälp av skarvbitar av isoleringsmatta och fogskum. Utanpå mattorna utfördes betongsprutning i tre lager med en total tjocklek av 80 mm. Förankring av dräner bygger inte på vidhäftning utan dessa bultas fast runt om samt inne i dränen med inbördes avstånd 1,2-1,4 m och förses med horisontella och vertikala stegband. Stegbanden distanserades från isoleringen och sprutades in. Bergförankringen i dränernas takdel utfördes med 1,5 m långa bultar vilket ger en viss överförstärkning som motiveras av att bergytan bakom dränerna inte är inspekterbar.

En isolerad markskiva lades samtidigt ut under ballasten framför dränen för att förhindra att vatten bakom dränen fryser på vägen ned till markdränningen.

### Hällåsen – Söderhamn

1996 byggdes två järnvägstunnlar, totalt 955+825 meter enkelspårtunnel, genom Hällåsen i Söderhamn. Förinjekteringen som utfördes med cement och siprogel, var inte speciellt omfattande. Berget var i huvudsak tätt under byggtiden men successivt ökade läckagen och har sedan byggtiden legat ca tre gånger över tillåtet inläckage. Någon skadlig grundvattensänkning har dock inte registrerats i befintliga observationshål. Emellertid har dräneringsinsatserna visat sig bli betydligt större än beräknat, vilket kan tyda på ett misslyckat injekteringsresultat. Enligt kontrollant blev tätningsresultatet bättre med det kemiska medlet än med cement. Frostsäkringen har utförts enligt liknande konstruktion som i Älvsbyn och Glödberget. Erfarenheter visar att dränerna borde ha utförts något bredare. Ett diffust uppträdande av krympsprickor förekommer. Det fryser bakom dränerna vilket antyder att tjockleken är underdimensionerad (60-70 mm enligt uppgift), vilket kan jämföras med tunnarna i Enånger, driftsatt 1999 och Iggesund, driftsatt 1994, längd 450 respektive 4680 m, som är helt täckta med oinsprutade dräner. Isoleringens tjocklek uppgår här till 100 mm och fungerar bra. Inga fuktgenomslag har observerats.

Det har också konstaterats frostsador i tunnelns ytsäkring och fiberarmerade sprutbetongskikt. Översyn och skadekartering har vidtagits varje sommar, kompletterande isoleringsåtgärder har också utförts i efterhand vid fyra tillfällen sedan tunneln färdigställdes 1997. Skadorna har åtgärdats genom bomknackning och skrotning, samt inklädnad med dräneringsmattor av extruderad polyeten. Tunneln kräver kontinuerlig borttagning av trafikfarlig isbildning under vinterperioden. Uppskattningsvis knackas 10-20 ton is bort och transporteras ut ur tunneln varje vecka. Kostnaderna för detta uppgår till ca 15.000 kr per vecka. Under sommaren 2005 utfördes ca 200 m<sup>2</sup> oinsprutade dräner för att minska ovanstående kostnader. Uppgifter saknas om utfallet av dessa åtgärder. Brandmyndigheten

(RTJ i Söderhamn) är dock bekymrad över att nytillkommande dräneringsmattor saknar brandskydd av sprutbetong (Börje Julin, Banverket).

### Norråla

Tunneln som togs i drift 1999 är 3850 m lång. Tunneln projekterades för inklädnad t.o.m. 500 m innanför mynningarna. Detta kom att ändras till 200 m i byggskedet och kompletterades med portar ett tiotal meter innanför mynningarna. Förinjekteringen är inte utförd kontinuerligt. Smala och sammansatta insprutade dräner utfördes i byggskedet. Oinsprutade dräner har tillkommit innan och efter idrifttagandet. Berget var i huvudsak tätt under byggtiden men successivt ökade läckagen och har sedan byggtiden legat ca tre gånger över tillåtet inläckage. Någon skadlig grundvattensänkning har dock inte registrerats i befintliga observationshål.

Banverket har kontrollerat isbildningen i tunneln minst en gång per vecka under vinterhalvåret och konstaterat att tunneln varit isfri så länge ridåportarna med tillhörande impulsfläkt varit i drift. I samband med två längre driftstörningar, 2000 och 2003, konstaterades isbildning i tunneln (Banverket BRMB 2004, (14)).

### Botniabanan (Wallmark och Åkesson muntlig information)

Järnvägen, som byggs mellan Kramfors och Umeå och som beräknas tas i drift 2010, omfattas bland annat av 16 tunnlar med en längd av totalt ca 25 km.

Dräner utförs med 100 mm extruderad polyetylen med spårade kanter, dels som smala dräner, < 2 m, och dels som sammansatta dräner, > 2 m. Utanpå isoleringen utförs 80 mm fiberarmerad sprutbetong och 30 mm oarmerad sprutbetong. Dränernas fästs i berget med korta installationsbultar och genom sprutbetongens vidhäftning. Andra utföranden förekommer men i mindre omfattning och liknar till vissa delar tidigare beskrivet utförande för Glödsbergstunneln. Vidhäftning motsvarande 0,15-0,2 MPa erfordras för att klara dimensionerade krafter (3 kPa) från tågtrafiken. Sammansatta dräner utförs med förankringsbultar längs mattskarvarna.

Generellt ser man ingen koppling mellan bergprognoser upprättade vid projekteringen och kartering av områden med inläckage under byggtiden där man i byggskedet föreslår dräner. Då ett flertal av tunnlar färdigställts långt innan installationsentreprenaderna påbörjats har tunnlar därför kunnat observeras med avseende på vatten- och is. Detta har lett till att man i flera tunnlar observerat nya områden med vatten- och isproblem och kunnat komplettera tunnlar med ytterligare dräner. I några fall har det visat sig att detta inte varit tillräckligt utan man har kompletterat en tredje gång med dräner. I det senare fallet har det inte funnits tid för betongsprutning av dränerna innan installationsentreprenaderna skulle påbörjas varför dräner utan brandskydd utförts. Tjockleken på sprutbetongen är viktig, speciellt i taket för att undvika sprickor. Fasning av mattkanter har också givit färre sprickor i sprutbetongen över mattkanterna. I en tunnel (Hjältatunneln) har så kallad "internal curing" provats vid härdning av sprutbetong med negativt resultat. I samband med härdningen uppstod ett stort antal sprickor i sprutbetongen.

Tillsatsmedlet Penetron provas i några tunnlar och tillsätts på och i sprutbetong för att göra sprutbetongen mer vattentät och öka dess självläkande förmåga.

## 6.2 Tunnlar i Mälarregionen

Muskötunneln (Vägverket 1993 (20), Österlund och Åkesson muntlig information)

Vägtunneln öppnades för drift 1963 och var då troligen världens första biltunnel under havsytan som utförts i oinklätt berg. Tunnelns längd uppgår till knappt 3 km. Beträffande vatten- och frostsäkring har ett antal olika system provats mellan 1988 och 1992. Bland de system som provats kan nämnas smala insprutade dräner av extruderad cellplast, WG Tunnelduk med och utan isolering, Miljövalvet och några till. Sammanfattningsvis är erfarenheterna från dessa försök att det inte finns något idealiskt system för vatten- och frostisolering.

På flera platser i tunneln förekommer utfällningar i form av ”geggiga” järnutfällningar. Dessa har medfört att delar av dräneringssystemet fått bytas ut vid några tillfällen.

Muskötunneln kompletterades senast 2003 med både smala och sammansatta dräner. Inför dessa arbeten hade erfarenheter från Södra Länken tagits med, vilket bland annat innebar att betongsprutning utfördes med så kallade spioner, för att kunna avgöra när rätt tjocklek på sprutbetongen erhållits. Avstånden mellan infästningsbultar var 0,8 m. Eftervattning utfördes regelbundet. Resultatet av detta är att man i efterhand inte kunnat observera några krympsprickor i sprutbetongen.

Banverket Östra banregionen (Taube Torsteinsud och Wallmark muntlig information).

Inom regionen anser man generellt att man kan se en koppling mellan områden med lågpunkter på markytan och bergöverytan, tolkad från flygbilder, och områden med vattenläckage i tunnlar. Läckagen är dock inte alltid kopplat till signifikanta geologiska strukturer som till exempel sprickzoner eller dålig bergkvalitet. Underhåll har generellt endast erfordrats på äldre typer (före ca 1995) av oinsprutade dräner. Skadorna har orsakats av för glest med bultar vilket lett till att isolering lossnat och skadats vid tågpassage på grund av tryck- och sugkrafter, otäta skarvar och kanter och avrostade bultar. Beträffande skador på insprutade dräner så överväger skador i form av sprickor i sprutbetong. Framförallt uppträder dessa sprickor vertikalt över mattkantens nedre del, sannolikt orsakad av för tunn sprutbetong och eller för att det fryser oftare där. I några fall har sprickornas omfattning gjort att man åtgärdat dessa dräner genom att sätta ett bergnät utanpå dränerna för att förhindra att sprutbetong faller ned i spåret. En annan erfarenhet är att flacka tunneltak ger bakfall, speciellt i dubbelspårstunnlar vilket resultera i att vatten kan bli stående i överlapp eller mattkanter med läckage som följd. Smala dräner (< 1,5 m) var tidigare mycket vanligt förekommande men bör i framtiden undvikas

Vid minst ett tillfälle har brand uppstått där ca 2-3 m<sup>2</sup> isoleringsmatta antändes och brann upp på grund av kortslutning, orsakat av vattenläckage mellan kontaktledning isoleringsmatta.

Grödingebanan

Järnvägstunnlarna (16 st, totalt ca 13650 m), som togs i drift 1995, byggdes utan kontinuerlig förinjektering. Endast större zoner är injekterade. Inledningsvis kom några tunnlar att delvis utföras med smala dräner med nätarmerad sprutbetong, men då dessa visade sig vara svåra att monterade provades dräner med fiberarmerad sprutbetong med gott resultat. Dränernas isolering är inte nerdragen till tunneldräneringen. Sprickor i sprutbetongen på dräner konstaterades redan under byggskedet innan idrifttagning men föranledde inga åtgärder.

Isborttagning av istappar omkring kontaktledning utförs ibland 3 gånger per vecka under frostperioder.

### Mälarbanan

Järnvägstunnlarna, 6 stycken på totalt ca 4100 m och som togs i drift 1997, byggdes med kontinuerlig förinjektering. Det är färre läckage jämfört med Grödingebanans tunnlar. Observerade problem är att dränerna inte har utförts tillräckligt breda – läckage förekommer vid sidan om dränerna. Is har noterats runt dränernas kanter vilket antyder att dessa är dåligt tätade.

Under 2003 konstaterades sprickor i sprutbetongen över dräner i Svartvikstunneln. Det konstaterades att sprutbetongen var för tunn över dränmattan och där sprickor uppstått. Flera av dessa dräner åtgärdades genom att nät sattes över dränens takdel för att minska risken för att sprutbetong lossnar och faller ned i spåret.

### Svealandsbanan

Järnvägstunnlarna, 5 stycken på totalt ca 4060 m och som togs i drift 1997, byggdes med kontinuerlig förinjektering. Generellt tycks läckagen i tunnlar vara kopplade till områden med lågpunkter på bergövertytan. Vattenläckage förekommer genom sprickor i sprutbetong på dränerna. Under byggtiden utfördes några oinsprutade dräner i några av Läggestatunnlarna.

### Arlandabanan

Järnvägen togs i drift 1999. En ganska stor andel av Arlandabanans tunnelsträckning, som är ca 9 km lång, är klädd med konventionella dräner (mer än 25 %). De insprutade dränerna har varit ca 2 meter breda och har utförts i tunneln med 50 mm isolering från tunnelmynningarna och ca 800 m in i tunneln. Problem med bakteriell järnutfällning har endast identifierats i något enstaka fall. Ett relativt omfattande arbete med efterinjektering och dränsättning har utförts i de tre stationerna där kraven varit exceptionellt höga. Större delen av stationsområdena har blivit täckta med dräner. Trots detta har ett stort antal så kallade ”trattar” fått installeras för att leda bort vattenläckagen från perrongerna. Vattenläckagen självtätas ofta efter en tid (månader) men nya läckage uppstår hela tiden som omedelbart måste åtgärdas. Trots omfattande åtgärder kvarstår läckagen (Eriksson och Andersson muntlig information).

Orsaken till kvarstående dropp trots i det närmaste 100 % täckning med dräner kan vara läckage genom mattkanterna. Sannolikt hade många problem undvikits om bredare sammanhängande dräner/dränsystem, eventuellt hela stationslängderna, installerats från början (Vägverket 2001).

### Södra Länken (Österlund muntlig information)

Vägtunnelsystemet som togs i drift 2004 utgörs av totalt 4,5 km tunnlar.

Under byggtiden observerades ett stort antal krympsprickor på dränerna.

Kriterier för var dräner skulle utföras togs fram under byggtiden och innebar bland annat att vissa förhållanden skulle beaktas, till exempel läckagens närhet till vägbanan, frekvensen av förekommande dropp, vattnets möjlighet att nå dräneringen utan att rinna ut i vägbanan.

Preliminärt utfördes inga dräner i områden med enstaka fukt. Vid större områden med fuktiga ytor gjordes i flera fall bedömningen att dräner erfordrades.

Enligt bygghandlingen skulle entreprenören vara beredd att utföra dräner i sent skede för att ge beställaren ett så bra beslutsunderlag som möjligt vid utplacering av dräner. Kravet kom dock att tolkas olika av entreprenör och beställare. Kartering av bland annat läckage utfördes direkt vid fronten. Senare utfördes kompletterande karteringar och iskartering vintertid.

Stora skillnaderna mellan mängden dräner i bygghandlingen och utförd mängd är vanliga och visar på svårigheterna med att bedöma dräners omfattning i projekteringskedet. I en entreprenad låg man på ungefär samma mängd, men i denna entreprenad utfördes en mer omfattande förinjektering på grund av sämre bergförhållanden än vad som var förväntat. I övriga två entreprenader ökades omfattningen av mängden dräner till det dubbla, en effekt av att förinjekteringen inte hade avsedd verkan.

Montering av dräner har fungerat bra. Täthetsprovning genom vattenspolning utfördes på sammansatta dräner på entreprenörens eget initiativ. Läckage i skarvar, överlapp och i bultgenomföringar noterades och åtgärdades.

Generellt anses eftervattningen av sprutbetongen varit dålig, vilket bland annat lett till att krympsprickor bildats. Det har också konstaterats att de sammansatta dränerna borde ha varit försedda med dilatationsfogar för att inte ge oönskade sprickor. Vid en av entreprenaderna provades membranhärdning vilket resulterade i att sprickbildningen försköts framåt i tiden men minskade inte i omfattning.

Kontrollberäkningar av Jonas Holmgren (KTH) har visat att avståndet, 1,2 m, mellan infästningsbultarna gäller vid osprucken sprutbetong. Med hänsyn till krympsprickor bör avståndet minskas. Vid kompletterande dränsättning i Muskötunneln har därför avståndet minskats till 0,8 m mellan infästningsbultarna.

Strax innan tunnlarna togs i drift utfördes omfattande åtgärder av de sprickor som konstaterats i sprutbetongen över dräner. Åtgärderna innebär att man minskar sannolikheten för att nya sprickor uppkommer mellan befintliga sprickor genom att behålla rörelsemöjligheter i de redan uppkomna sprickorna. Åtgärderna innebär att krympsprickor, > 3 mm, frästes upp och spåret fogades med en elastisk brandfogmassa. Kompletteringsbultar monterades där tvärkraftskapaciteten befaras vara nedsatt, vilket framförallt gäller dräner i taket.

Efter att tunnlarna tagits i drift har svallis och istappar observerats i tunnlarna. Under februari och mars 2005 var underhållspersonal ute i tunnlarna dagligen för att avlägsna is på och över vägbanan. I några fall noterades tillväxthastigheter hos istappar på ca 25 cm/timma.

Kompletterande dräner har monterats på dessa platser.

### **6.3 Tunnlrar i Västsverige**

Ett antal tunnlar i Västsverige har renoverats under senare tid på grund av problem med vatten, is och frostsprängning, exempelvis Jerikotunneln (E20) vid Jonsered, som byggdes på 60-talet och Viskantunneln (E6) norr om Varberg som byggdes 1980. Arbetena har bland annat omfattat skrotning av sprutbetong och berg, kompletterande efterinjektering (cement och polyuretan) och dränering (Thorén, Thunstedt, Ekman muntlig information).

Problem med igensatta dräner har uppkommit tidigt efter det att tunnlarna byggdes. Igensättningen beror bland annat på kalkutfällning och hårda järnhaltiga utfällningar. En vanlig orsak till igensättning av äldre smala dräner är också att sprutbetong har trängt in genom sidan av dränen och in bakom isoleringen samt att utloppen satts igen redan då dränen installerades.

Dräner har generellt utförts huvudsakligen med 1 meter breda cellplastdräner från takmitt ned till frostfritt djup i sidan och med PE-mattor över större sammanhängande områden. Brandskydd saknas. Problemen med frostsprängning gäller huvudsakligen sprutbetong men även förstärkning av berget på grund av frostaktivitet har utförts.

### Viskantunneln

Vid större avsnitt i Viskantunneln har dränerna monterats på ett skal av armeringsjärn som står ett stycke ut från väggen. I ändarna ansluts dränmattorna mot väggen för att förhindra inträngning av kyla innanför isoleringen. Då den 265 m långa motorvägstunneln renoverades 1997 ersattes skadade PE-mattor med nya och gamla mattor lagades, tätades och förankrades. Viss efterinjektering utfördes. Befintliga dräner spolades och igensatta delar åtgärdades. Efter utförda arbeten konstaterades nya vattenläckage/is vinter 1997/1998 som senare åtgärdades under hösten 98.

### Jerikotunneln

Jerikotunneln, som också är en motorvägstunneln och är 83 m lång. Tunneln renoverades på 70-80-talet och då installerades svarta ethafoam-mattor som komplement till de ursprungligen installerade insprutade mineralullsdränerna. Underhållsarbeten som utfördes 2005 innebar att skadad isolering ersattes av ny inkl bultar och stegband. Befintlig isolering tätades vid kanterna, i läckande mattskarvar och i bultgenomföringar. Rostiga bultar och brickor ersattes med nya. Befintliga smala sprutbetongdräner bilades bort och ersattes med nya. Alla dränmattor sprutades in från marknivå till en höjd av +2,5 m, bland annat eftersom flera påkörningar resulterat i att delar av isoleringen lossnat med isproblem som följd. I ett fall har en bilbrand orsakat brand i isoleringen.

### Vindötunneln

Vindötunneln, som är en 485 m lång tvåfilig vägtunnel, renoverades 2002 för att i första hand öka tunnelns höjd. Man hade också haft stora problem med vatten och is i tunneln. Läckagen avleddes genom plåtar och rännor i taket. Tunnelns takdel höjdes ca 1,5 m genom strossning och förstärktes med sprutbetong och systembultning. För att åtgärda de tidigare vatten- och isproblemen utfördes en systematisk efterinjektering av taket. Insprutade smala (< 2 m) dräner utfördes vid de kvarvarande läckagen. Dränernas omfattning var mycket stor. Trots åtgärderna förekommer fortfarande omfattande läckage och istappar i tunneln.

### Kust till Kust banan, Göteborg – Borås (Ragnarsson, Karlsson och Shahriari muntlig information)

Stora Landvettertunneln, 372 m lång enkelspårstunnel som togs i drift 1894, har stora problem med is, både i taket och efter sidorna, och då framför allt i delarna mellan tunnelberget och betongpågjutningarna, inne i tunneln. Detta var den första tunneln som isolerades med isolermattor (1979), som limmades ihop på platsen. Under årens lopp har det förekommit stora problem med frysning mellan isolermattorna och tunnelberget. Det finns fortfarande en del isoleringsmattor kvar sen den tiden, men även nya har monterats upp med önskat resultat. Tunneln fryser aldrig "tät" utan problemen blir bara värre ju längre vintern består, med låga temperaturer. Efter vissa markarbeten ovanpå inslagen som består av betong, så minskade

isproblemen radikalt med borttagning av is, kring upphängningsanordningar och bärtråden för kontaktledningen. Borttagning av is erfordras kontinuerligt vid frostgrader.

Lilla Landvettertunneln, 181 m lång enkelspårstunnel som togs i drift 1894, fryser "tät" ganska snabbt om det blir minusgrader en tid och tjälår innan det kommer snö. Tillsyn erfordras i början och slutet på vinterperioden.

Hindåstunneln, 156 m lång enkelspårstunnel som togs idrift 1894, har historiskt sett varit den tunnel som haft mest problem med isbildning inom denna bandel. Frostsäkring har utförts med isolermattor vid ett flertal tillfällen. Läckage förekommer på ett stort antal ställen, både där mattor finns uppmonterade och i områden mellan mattor, vilket innebär att isborttagning krävs fortlöpande vid låga temperaturer.

Ovanstående tunnlar renoverades 1997-1999 tillsammans med andra tunnlar på denna bandel. Skadade äldre isoleringsmattor var vanligt förekommande i dessa tunnlar. Skadorna bestod i otäta skarvar och mattkanter, läckage i bultgenomföringar, isoleringsmattor som skadats av krafter från passerande tågtrafik. Skadade dräner ersattes av nya och vid behov kompletterades tunnlar med nya dräner. Dränerna utgörs av oinsprutade dräner, bestående av 50 mm PE-matta med galvat nät på in- och utsidan och som förankrats i berget med bultar och stegband. Nätens funktion är att förhindra att isoleringen rör sig vid tågpassage. Denna typ är vanligt förekommande på Västra banregionen och få skador har rapporterats från dessa dräner.

#### Västra Stambanan, Alingsås – Göteborg (Ragnarsson och Shahriari muntlig information)

Ubbaredstunnlarna, som togs i drift 1916 och som är 70 + 67 m långa, fryser "täta" ganska snabbt om minusgrader uppkommer och tjälår innan snön kommer. Vid temperaturväxlingar runt 0 grader uppkommer is i och kring tunnelmynningarna och då framför allt i taket.

Aspentunneln, som togs i drift 1914 och som är 275 m lång, fryser "tät" ganska snabbt om minusgrader uppkommer och tjälår innan snön kommer. Tillsyn erfordras i början och slutet på vinterperioden. Vid temperaturväxlingar runt 0 grader uppkommer is i och kring tunnelmynningarna och då framför allt i taket.

Jonseredstunneln, som togs i drift 1912 och som är 186 m lång, har historiskt sett haft mest problem med isbildning inom denna bandel. Mycket läckage av vatten genom hela tunneln som vintertid orsakar stora isproblem både i taket och i mynningarna. Injektering utfördes för ett antal år sedan som inte gav den effekt som var tänkt, utan problemen flyttades till nya ställen. Fryser aldrig "tät" utan isborttagning krävs hela tiden vid låga temperaturer.

Tunnlar åtgärdades 1996. Skadade äldre isoleringsmattor var vanligt förekommande i dessa tunnlar. Skadorna bestod i otäta skarvar mattkanter, läckage i bultgenomföringar, isoleringsmattor som skadats av krafter från passerande tågtrafik. Skadade dräner ersattes av nya och vid behov kompletterades tunnlar med nya dräner. Dränerna utgörs av oinsprutade dräner, bestående av 50 mm PE-matta med galvat nät på in- och utsidan och som förankrats i berget med bultar och stegband. Nätens funktion är att förhindra att isoleringen rör sig vid tågpassage. Efterinjektering utfördes också i samband med dessa arbeten.

#### Lundbytunneln (Thunstedt och Thorén muntlig information)

Lundbytunneln i Göteborg är en 2 km lång vägtunnel med två separata tunnelrör i berg och togs i drift 1998. Tunneln byggdes med kontinuerlig förinjektering med ett omfattande

program med vattenförlustmätning och kontroll av förekommande inläckage. Resultatet blev mycket gott och nuvarande inläckage ligger betydligt under de hårda krav som fastställdes i vattendomstolen (35-40 l/min. jämfört med tillåtna 135 l/min.). Det förekommer dock små inläckage i tak, väggar och sula. För att avleda vattnet installerades ett system med rör för att samla och avleda vattnet innan tunneln togs i drift. Problem med igensättning på grund av kalk från cementbruket har medfört att metoden inte används längre (Vägverket 2001, (3)).

Kvarvarande inläckage innebär risk för isbildning på vägbanan och istappar under kalla perioder vintertid. Tunneln har därför kompletterats med oinsprutade dräner, totalt ca 2000 m<sup>2</sup> för att minska underhållsbehovet vintertid och för att höja säkerheten för trafikanterna.

Dränerna består av polyetylenmattor med 2 m bredd som installeras från tunneltakets mitt ned till vägg, mattans längd är normalt 8 m. Innanför mattan sitter ett eller två korrugerade och perforerade dränrör (PEM 50/60) som huvudsakligen fungerar som distanser mellan berget och mattan. Polyetylenmattorna är monterade med band och bult mot berget och är tätade med PE-skum utefter kanterna. Platserna där dräner placerats sammanfaller vanligen med de avsnitt av tunneln som varit mer hydrauliskt konduktiv och tagit mer injekteringsmedel (Vägverket 2001, (3)).

Tunneln är inte dimensionerad med hänsyn till frostaktivitet. Isoleringen är inte dimensionerad för att förhindra frostsprängning av block då behov av detta inte föreligger. Vid flera kalla nätter i rad uppstår problem med istappar under den andra natten. Orsaken är att köldmängden då är tillräcklig och istappar bildas normalt inte i tunneln dagtid på grund av trafikintensiteten som dels ökar luftomsättningen och dels höjer temperaturen.

Vintertid utför kontrakterad undershållsentreprenör isrensning nattetid under några timmar. Behovet varierar stort. Under vintern 1999 utfördes rensning totalt cirka 8-10 gånger. Under vintern 2002/2003 utfördes isrensning vid ca 60 tillfällen under en period i december- januari. I flera fall fick isrensning utföras flera gånger under ett och samma dygn.

Arbetet att åtgärda kvarvarande isproblem kommer successivt att utföras under de närmaste åren. Brandskyddsmyndigheterna vill i dagsläget inte tillåta fler dräner som inte är brandskyddade.

#### Trollhättan-Öxnered (Karlsson, Kallin, Tjärnlund och Ekman muntlig information)

Tunneln är en cirka 3,5 km lång dubbelspårtunneln som beräknas tas i drift 2007. Tunneln har utförts med kontinuerlig förinjektering. Uppmätt inläckage har god marginal till tillåtet inläckage. Under byggtiden ökades antalet hål i injekteringskärmerna till cirka 30 och avståndet mellan borrhålsspetsarna minskades till 2,5 m för att minska omfattningen av läckage i tunneln. En mycket stor mängd läckage förekommer i tunneln vilket anses vara orsakat av att förinjekteringen inte varit tillräcklig med hänsyn till funktionskraven. Dräner har utförts i 60 % av tunnelns längd vilket är väsentligt mer än de mängder som fanns med i bygghandlingen. Huvuddelen av läckagen utgörs av många små läckage och är ej kopplade till geologiska svaghetszoner. Nederbörd tycks inte påverka läckagens omfattning. De flesta dräner är sammanhängande dräner, med som mest cirka 50 m bredd. Alla dräner skall provspolas enligt bygghandlingen vilket resulterat i att man observerat ett antal läckage i bultgenomföringar. Dränerna är täckta med 80 mm fiberarmerad sprutbetong. Enstaka sprickor över mattkanterna har observerats.

Stora problem med vatten och is återstår i områden där dräner inte utförts, vilket föranlett att det under 2006 kommer att utföras omfattande efterinjekteringsarbeten och kompletterande dräner.



### Götatunneln (Bergström muntlig information)

Vägtunneln som togs i drift 2006 består av en 1,6 km lång tunnel varav ca 1000 m utgörs av bergtunnel. Ett omfattande program för förinjektering har genomförts vilket givit goda resultat med hänsyn till omgivningspåverkan. Två typer av vatten- och frostsäkring förekommer i taket. Dels konventionella dräner, 1,5 m breda, som utförs dikt an bergkonturen, och dels ett valv av typen Örstavalv som är distanserat från bergkonturen. Största längden på valvet uppgår till ca 50 m och har utförts utan dilatationsfogar. Båda konstruktionerna är täckta av 80 mm fiberarmerad sprutbetong. Totalt sett har vatten- och frostsäkring installerats i 20-30 % tunneln. Trots att man i byggskedet fördubblat mängden vatten- och frostsäkring räknar man med att få göra ytterligare kompletteringar efter att tunneln tagits i drift.

Vattenbegjutningen har utförts med större omsorg än vad som är vanligt i dessa sammanhang. I de smala dränerna har inga sprickor noterats. I valven däremot har krympsprickor noterats. De första sprickorna uppträder oftast ute i valvets kanter därefter har andra sprickor utbildats där emellan. Åtgärder diskuteras inom Vägverket.

## **6.4 Norska erfarenheter**

I Vägverkets rapport (Vägverket 2001 (3)) konstateras att dyrköpta erfarenheter visar att på ekonomiska-, säkerhets-, underhålls- och miljömässiga grunder kan det vara fördelaktigt att investera i vattentäta tunnelvalv framför att ta olägenheten med underhåll. Långsiktig ”fullständig” vattentäthet kan bara erhållas om tunnelvalvet isoleras med vattentätt membran.

Arbetsutförandet vid monteringen av membran är helt avgörande för det slutliga resultatet, oavsett vilket membran som väljs. Eftersom det ofta visar sig att vattenproblematiken varit den svåraste delen i många tunnelprojekt är det viktigt att byggprocessen anpassas till det arbetsmomentet. Monteringsarbetet är ett specialistarbete som kräver lång erfarenhet. Det är därför extra viktigt att ha en väl utarbetad arbetsplan, tidplan, kontrollplan och en tydlig ansvarsfördelning mellan byggherre och entreprenörer (och underentreprenörer).

I slutrapporten från delprojektet ”Fuktisolering av vegtunneler” ingår en beskrivning av de viktigaste momenten med hänsyn till planläggning och genomförande av membranarbeten och det ges även ett exempel på en kvalitetssäkringsbok. Det görs även en beskrivning för upprättande av en kontrollplan.

Dimensioneringen av säkerhet mot frysning baseras i Norge på manuella mätningar utförda för 20-25 år sedan. För att erhålla ett bättre underlag för frostdimensionering har därför ett mätprojekt genomförts med mätningar under 5 vintrar i 15 tunnlar i Norge. Mätningar har även gjorts i naturligt ventilerade tunnlar och i undervattenstunnlar vilket inte gjorts tidigare. Resultaten från mätningarna visar att det är stora lokala variationer i frostinträngning.

Mätningar bakom valv visar att luftgenomströmningen är avgörande för frostmängden. En oisolerad tunnelduk som är tätad mot berget i ändarna visar sig mer effektivt mot frost än till exempel ett valv av PE-skum som är placerat med en glipa mot berget. De nya mätningarna visar att lokala klimatvariationer påverkar frostinträngningen i stor utsträckning. Mätningarna kommer att resultera i nya dimensioneringsregler för frostdimensionering.

Utvecklingen av tunnelinklädnader i Norge har styrts av kravet på enkla och billiga lösningar för lågtrafiktunnlar. Denna utveckling har pågått under lång tid och resulterat i en mängd olika typer och kombinationer av metoder. Utvecklingen har varit nödvändig för att kunna fortsätta med utbyggnaden av trafik-tunnlar även där trafikbelastningen är låg. Detta skiljer sig till stora delar från vägtunnlar som byggs i Sverige och i övriga Europa, där tunnlar byggs

med en större trafikintensitet och ekonomin kan tillåta dyrare lösningar. En tendens i Norge är att lösningar som tidigare enbart använts i lågtrafiktunnlar även börjar provas i tunnlar med större trafikbelastning, framförallt lösningar som givit goda erfarenheter samt olika kombinationer av utförande i vägg och tak. I framtiden ser man även att nya lösningar successivt utvecklas. Vid val av frostsäkringsmetod är det många faktorer som spelar in vilket medför att det inte finns en allmänt giltig bästa metod. Ett antal olika lösningar kommer att tillämpas även i fortsättningen.

En sammanställning av erfarenheter av olika tunnelinklädningar baserat på en rapport från Vegvesendet i Norge redovisas i bilaga 2. Studien presenterar erfarenheter av skador och reparationer av olika metoder för vatten- och frostsäkring av vägtunnlar i Norge (Statens vegvesen 1994 (30)).

I en rapport från Norsk Betongforening (oktober 2003 (6)) konstateras att kombinationen vatten och frost med följande frostsprängning, antas vara en av de viktigaste orsakerna till mekanisk nedbrytning av sprutbetongkonstruktioner. Har man dessutom tillgång på salt kommer nedbrytningen att utvecklas snabbare.

I samma rapport nämns också att vid en jämförelse mellan nätarmerade och fiberarmerade dräner, kommer nätarmerade konstruktioner att medföra en annan deformationsbild när nedbrytningen av sprutbetongen gått så långt att det finns risk för nedfall. Fiberarmerad sprutbetong antas ha bättre vidhäftning till PE-mattorna, men innebär större risk för att lokala skjubbrott uppstår i skadade områden. Nätarmerade konstruktioner kommer att ge en viss förvarning genom att armeringen håller lös sprutbetong på plats.

Beträffande naturlig igensättning av tunnlar konstateras i en rapport från Statens Vegvesen (Statens Vegvesen 2004 (7)), att en tydlig reduktion av inläckande vattenmängd över tiden har påvisats i norska tunnlar. Då det inte vidtagits några åtgärder för att reducera inläckaget i dessa tunnlar kan det inte förklaras på annat sätt än med naturliga tättningsprocesser.

## **6.5 Underhållsbehov**

Förekomsten av frostsprängning i berg och sprutbetong, vattenläckage, svallis och istappar medför ett stort behov av underhåll i dagens tunnlar. I tunnelarna utförs kontinuerligt underhållsarbeten. Arbetena består bland annat av skrotning, lagning och komplettering av sprutbetong och dräner samt isborttagning längs spår/vägbana och tunnelväggar samt på installationer. Där istappar bildas på de ledningar som är installerade i tak/anfang längs en tunnel kan det vara svårt att slå ned isen, delvis på grund av att ledningarna kommer i svängning. Ibland fordras fordon med lyftkorg för att komma åt att åtgärda problemen. Där återkommande problem med takdropp på kontaktledningen förekommer, är i vissa fall den enda lösningen att flytta kontaktledningen till ett annat läge.

Klimatet gör att problembilden är annorlunda i norra jämfört med södra Sverige. Vid ett kallt klimat tjälmar marken och tunneln fryser (åtminstone vid ändarna). Underhållsarbeten i form av att kartera och hacka is, kan krävas tidigt på vintern och i samband med snösmältning och tjällossning. I ett mildare klimat kan problemet uppstå flera gånger under vintern i samband med köldperioder. Däremellan tinar tunneln. Insatserna för underhåll kan variera mycket från år till år (Vägverket 2001 (3)).

Ett exempel på hur omfattande arbetena kan vara är Hällåsen, en enkelspårstunnel tillhörande Mellersta banregionen, vilken kräver kontinuerlig borttagning av trafikfarlig isbildning under vinterperioden. Uppskattningsvis knackas 10-20 ton is bort och transporteras ut ur tunneln varje vecka. Kostnaderna för detta uppgår till ca 15.000 kr per vecka (Banverket BRMB 2004

(14)). Under sommaren 2005 utfördes ca 200 m<sup>2</sup> oinsprutade dräner för att minska ovanstående kostnader. Uppgifter saknas om utfallet av dessa åtgärder.

En översiktlig jämförelse av kostnader för borttagning av is i några tunnlar avseende vintern 2004/2005, ger följande resultat (Ragnarsson och Andréén ej publicerad information):

- Tre tunnlar tillhörande norra banregionen, totalt 266.300 kr, motsvarar ca 80 kr/m tunnel (Glödborget, Laduborget, Bergträsk).
- Tre tunnlar på Västra stambanan, Alingsås-Göteborg 310.000 kr, motsvarar 515 kr/m tunnel (Jonsered, Aspen, Ubbared).
- Tre tunnlar på Kust till kustbanan, Göteborg-Borås, totalt 220.000 kr, motsvarar ca 310 kr/m tunnel (Hindås, Lilla och stora Landvetter).
- Rönningetunnlarna tillhörande Östra banregionen, totalt 500.000 kr, motsvarar 608 kr/m tunnel.

Av denna sammanställning framgår att kostnaderna för borttagning av is tycks vara betydligt större för tunnlar inom Västra och Östra banregionerna jämfört med tunnlar på Norra banregionen. Det finns sannolikt många skillnader mellan ovanstående tunnlar som påverkar en sådan jämförelse, till exempel klimatförhållanden, temperaturförhållanden, antalet frostcykler, tunnlar utförande (sprängning och tätning), utförda underhållsåtgärder (tätning, antal dräner). Det finns sannolikt också osäkerheter i angivna kostnader som inte kunnat undersökas inom ramen för denna rapport.

## **6.6 Bedömd livslängd för vatten- och frostsäkring**

Enligt ATB Tunnel 2004 och BV Tunnel skall dräner dimensioneras för en livslängd på 40 år. Detta gäller även isolering av typen Örstavalv/Isolvalv. För gjutna betongvalv är motsvarande 120 år. Även det bärande huvudsystemet i en tunnel dimensioneras för 120 år, vilket innebär att de flesta dräner kommer att få bytas ut och underhållas ett flertal gånger under denna tid.

Vatten- och frostsäkrings slutliga livslängd påverkas av de lokala förhållandena som trafikbelastning, förekomsten vägsalt och luftföroreningar, klimatförhållanden, men påverkas också mycket av vald materialkvalitet och arbetsutförandet. Materialkvaliteten på infästningar varierar mycket beträffande oinsprutade och insprutade dräner. Dessa konstruktioner är i regel utförda med en stor variation av olika materialkvaliteter, vanligast är galvaniserade bultar, och under senare år har combicoat-behandlade bultar blivit allt vanligare. Beträffande isolering av typen Örstavalv/Isolvalv har dessa infästningar utförts i rostfritt eller combicoat. Den stora variationen i materialkvalitet är sannolikt avgörande för konstruktionernas livslängd. För att kunna göra en kvalificerad bedömning av en konstruktions livslängd erfordras information om utförd materialkvalitet samt en detaljerad besiktning.

I följande sammanställning har vatten- och frostsäkring livslängd bedömts utifrån utförda intervjuer:

- |   |                        |
|---|------------------------|
| • Oinsprutade PE-mattor av äldre typ, 1980-95       | klarar inte 40 år      |
| • Oinsprutade PE-mattor av yngre typ, från ca 1995- | klarar sannolikt 40 år |
| • Insprutade PE-mattor (om de ej är spruckna)       | klarar 40 år           |
| • Valv av typen Örstavalv och Isolvalv              | klarar 40 år           |
| • Gjutna dränerade betongvalv av typen i Grind      | Uppgift saknas         |

## 7 Identifierade problem

### 7.1 Information och dokumentation av dräner

Information och dokumentation om dräner för vatten och frostsäkring i tunnlar är hos förvaltarna sällan samlade på en central plats. Detsamma gäller personalens kunskaper om dräners förekomst och status, vilken oftast är fördelad på flera personer och inte sällan finns denna/dessa personer utanför anläggningsägarens organisation.

Utredningar utförda inom ett projekt kommer inte alltid till kännedom så att personal från till exempel andra regioner kan ta del av den. Det finns också ett stort värde i att utredningar redovisas öppet, så att till exempel andra tunnelförvaltare, konsulter, entreprenörer kan ta del av dessa i ett senare skede.

### 7.2 Dokumentation av vattenläckage och is i tunnlar

För att kunna bedöma hur problem med vatten- och frostsäkring skall kunna åtgärdas behövs en detaljerad beskrivning som underlag som visar var och när vatten- och is uppträder och var detta medför problem i tunnlar. Eftersom förekomsten av vatten och is varierar mycket mellan olika regioner olika tunnlar och utifrån olika förhållanden som till exempel nederbörd, grundvattennivåer, klimat, måste en detaljerad kartläggning genomföras under flera vinterperioder för att få en komplett bild av läckagens och isens lägen och omfattning i en tunnel. De viktigaste perioderna då vatten- och is måste dokumenteras är dels under infrysning och upptining, det vill säga under tidig vinter och vår då antalet frostcykler är många. Och dels under längre köldperioder då mer stationära förhållanden sannolikt förekommer i tunneln.

I byggskedet av en tunnel påbörjas arbetsmomentet med dräner ungefärligen 6-12 månader efter berguttaget i motsvarande del av tunneln, beroende på bland annat tunnelns längd. Detta är oftast den tid som finns tillgänglig för dokumentation av vattenläckage och om årstiden tillåter eventuell förekomst av is innan beslut måste tas om dräners placering och omfattning.

På grund av bland annat spänningsomlagringar, förändringar i grundvattenströmningen närmast tunneln orsakad av för- och efterinjekteringsarbeten kommer tunneln sannolikt att ha tagits i drift innan stationära förhållanden erhållits i tunneln, vilket gör att läckagebilden sannolikt ser annorlunda ut jämfört med i byggskedet.

Erfarenheter visar också att läckagen i en tunnel kan minska med tiden på grund av naturlig igensättning orsakad av kalk- och järnutfällningar i vattenförande sprickor vilket kan leda till ändrad problembild.

### 7.3 Omfattning och placering av dräner

#### 7.3.1 Projekterings- och byggskedet

I samband med projektering av en ny tunnel bedöms behovet av dräner för vatten- och frostsäkring i tunneln. En sådan bedömning baseras oftast på tillgängliga geo-undersökningar (hydrogeologiska, geologiska och bergtekniska förhållanden) och empiriska erfarenheter av dräner i liknande tunnlar och tunnlar i närområdet. Andra faktorer som har betydelse är tunnelns längd och höjdprofil, geografiska läge (klimatzon), trafikbelastning, beräknad frostinträngning, kostnader för vatten- och frostsäkring samt möjligheten till framtida underhåll.

Den mängd dräner som skall tas med inför en upphandling av ett tunnelbygge uppskattas ligga inom ett intervall på 5-15 % (Åsatunneln, Åskottsberget, Götatunneln, Trollhättan-Öxnered) av tunnelns längd, och inte sällan överskrids denna mängd i byggskedet. Utgångspunkten i projekteringsskedet är att det erfordras dräner vid vattenförande svaghetszoner i berget, men att det är svårare att bedöma omfattningen av mera sporadiskt förekommande vattenläckage som under vissa förhållanden vintertid kan ge upphov till isbildning. Erfarenheter visar också att det på fuktiga sprutbetongytor ofta kan uppkomma större isproblem jämfört med problem orsakade av enstaka droppläckage.

En annan anledning till att det är svårt att bedöma mängden erforderliga dräner, kan till exempel vara att det i bygghandlingen inte alltid anges tydliga och mätbara kriterier för när dräner skall utföras och vilka läckage som kan tillåtas. Detta kan medföra att byggledningen i det aktuella projektet själva måste avgöra när man anser att kraven på vattentäthet har uppnåtts. Andra faktorer som påverkar bedömningen av mängden dräner i byggskedet är hur lång tid man i byggskedet har möjlighet att kartlägga förekommande vattenläckage och vilken årstid detta kan utföras under. I tunnlar på 1-4 km längd ligger utförandet av dräner ca 0,5-1 år efter att berguttaget avslutats vilket innebär att det visserligen finns tid att vid flera tillfällen kartera förekommande läckage men att det inte alltid kan utföras under vinterförhållanden.

En annan faktor som bidrar till att nya läckage uppträder i en tunnel är de spänningsomlagringar som orsakas av tunneluttaget och sprängskadezonens omfattning. Pusch & Stanfors (1992 (8)) studerade vilken effekt tunneluttaget hade på konduktiviteten axiellt och radiellt i tunnelriktningen. Slutsatsen av detta arbete visade på att den axiella konduktiviteten kan öka med en faktor 10 på grund av tunneluttaget medan den radiella kan minska med en faktor 5. Detta kan vara en bidragande förklaring till de observationer som gör gällande att vattenläckage ”flyttar” på sig i en relativt ny tunnel.

### 7.3.2 Underhållsskedet

När behovet av vatten- och frostsäkring diskuteras för en tunnel i drift, vet man som regel att vatten- och frostproblem förekommer. Vetskapen om var problemen mer exakt uppkommer i tunneln är ofta osäker och bygger på fältiakttagelser som inte alltid finns dokumenterade i detalj och ännu mer sällan över en längre tidsperiod. Information om var isproblemen förekommer i en tunnel finns oftast hos underhållsentreprenörens personal (de som tar bort istappar och svallis). Denna information är dock inte alltid dokumenterad utan bygger på att vederbörande kommer ihåg att i ett visst område brukar problem uppkomma. I vissa fall har omfattningen av vatten- och frostsäkring bestämts genom att beställare och entreprenör gemensamt går genom tunneln och utifrån dessa iakttagelser bestämmer omfattningen av hur mycket dräner som skall utföras. Så kallade underhållsbesiktningar som till exempel Banverket utfört minst vart 6:e år, men som numera anpassas efter anläggningens behov, ger endast en bild av problemet just vid den tidpunkten och är till liten nytta när vatten- och frostsäkrings omfattning och exakta läge skall bestämmas.

I till exempel Glödsbergstunneln (Norra banregionen) finns årliga observationer från speciella vatten- och iskarteringar dokumenterade från tunneln byggdes och har kunnat används vid bedömning av behovet av kompletterande dräner. Dränerna har monterats i omgångar vid olika tillfällen och mängden dräner som utförts har vid varje tillfälle styrts dels av tillgängliga medel för underhållsarbeten och dels någon form av behovsorienterad prioritering.

För att en sådan dokumentation skall vara optimal måste den upprättas på detaljerad ritning.

Kartering av förekommande vatten och is bör utföras regelbundet vid ett antal tillfällen under en och samma vinter under flera års tid.

## 7.4 Val av typ av drän

Att man ofta valt vatten- och frostsäkring med konventionella dräner som är lätta att byta ut och är billiga har slagits fast i flera utredningar. Dessa utredningar baseras till stor del på att dräner endast skulle behöva utföras vid punktläckage av vatten och is, och att dränbredden skulle vara liten (< 2m). I takt med ökade krav på tunnlar vattentäthet, och att man med för- och efterinjektering inte lyckats eliminera problemen med vatten och is i tunnlar tak och väggar, har dränkonstruktionerna dels blivit bredare (sammanhängande) och dels har allt större andel av tunnlar längd utförts med dräner (över 50 % i Banverkets tunnel i Trollhättan). Detta tillsammans med att trafikmängden ökar i våra tunnlar har gjort att ett underhållsproblem blivit större genom att underhållskostnaderna stiger för dessa konstruktioner men också att det tidsmässigt blir allt svårare att utföra underhåll och utbyte (efter dimensionerad livslängd) av dräner i framtiden.

Vid val av vatten- och frostsäkring för en tunnel saknas en samlad bild över olika konstruktioners totalkostnad under dess livslängd. För att kunna välja rätt typ av konstruktion för en viss tunnel bör noggranna analyser genomföras, till exempel LCC-analys för att avgöra vilket koncept man skall välja; enkla billiga utbytbara konstruktioner som kräver underhåll eller tyngre konstruktioner med lång livslängd och som inte erfordrar underhållsåtgärder.

## 7.5 Montering av dräner

En av de viktigaste faktorerna för att undvika problem med dräner är ett noggrant utförande. Erfarenheter från montering av insprutade dräner i Glödsbergstunneln 1998 sammanfattades i en rapport till Banverket av medverkande kontrollant. Vid arbetena hade tunneln tagits i drift. Följande punkter belyser kritiska moment som har stor betydelse för att konstruktionen får önskad funktion och beständighet och att genomförandet blir kostnadseffektivt (Lindblad, Vattenfall Hydropower, 1998 (31)):

1. Sammanhängande långa disponibla tider på spåret är ett krav. Daglig etablering/avetablering inklusive elbevakarens tid (2x20 min) uppskattas för mattsättning till 1 tim 10 min, för betongsprutning till 1 tim 40 min. För själva betongsprutningsarbetet behövs ytterligare minst 30 min för att hinna spruta till exempel en smal drän. Totalt för betongsprutningen är disponibla tider på spåret mindre än 2 tim 10 min helt oanvändbara.
2. Entreprenören bör ha flera olika längder på bultar så att bakbrickorna kan sättas på samma avstånd räknat från spårmittpunkt, i en horisontell linje inom varje sektion. (Det vill säga att mattan kommer att ligga an mot berget vid "gaddar" men inte där det finns stora ojämnheter i bergkonturen). Variation i avståndet mellan raderna betyder inte så mycket som att de måste vara parallella sinsemellan. Längre gånga på bulten underlättar också tillpassningen av bakbrickor. Satsad tid på bultsättning betalar sig mångfaldigt senare vid mattsättning genom minskad tidsåtgång och minskat material spill.
3. Vid korta disponibla tider på spåret måste fordonen rulla in i tunneln direkt efter att klartecken givits av elbevakaren. Alla förberedelser skall vara klara, exempelvis ordervisning, turordning för fordon, betong färdig på plats, intransport av material förberett.
4. Försäkra sig om att sprutbetongen håller för tågtrafik även om sprutningen avbryts sent under den disponibla spårtiden (till exempel 1 tim före den disponibla spårtidens slut).

5. Hastighetsnedsättning måste gälla för passerande tåg med tanke på att sprutbetongen inte härdat och ej färdigmonterade mattor förekommer.
6. Tidskritiska moment är i första hand mattsättning, i senare skede även betongsprutning.
7. Entreprenören bör planera in 2 man plus lyftkorg på heltid för täckning och avtäckning, inklusive borttagning av spill från betongsprutningen. Dessa två personer kan även utföra markisolering, montage av räcken, stegbandsmontage etcetera.
8. Resursförstärkning enligt föregående punkt frigör de som utför bultning och montering av stegband.
9. Kapacitetshöjning kan utföras genom att ytterligare ett arbetslag med fordon sätts in på montering av mattor. Dessa skall då arbeta på egna sektioner.

Andra erfarenheter som berör utförande redovisas under följande punkter:

Isoleringsmattornas styvhet är viktig för att göra montaget enkelt och smidigt. För styva mattor är svåra att hantera vid montage och för mjuka gör det svårare att få sprutbetongen att fästa vid sprutning. Vid till exempel sprutning på nyare typer av isoleringsmattor, (Termolon/Fawolon, värmekonduktivitet 0,0032 W/m.K)

där en 40 mm isoleringsmatta har motsvarande isoleringsförmåga som en mer vanligt förekommande isoleringsmatta med tjockleken 50 mm (Isolon, värmekonduktivitet 0,0395 W/m.K) har, är stegband mycket viktiga för att ge konstruktionen erforderlig stabilitet för att kunna genomföra betongsprutning utan svårigheter. Vid montering av isoleringsmattor där skarvar (överlappning) förekommer är en ”styrd” kontur att föredra framför att trycka isoleringen helt mot berget. Man minimerar risken för otäta ”glipor” i överlappningen. En annan erfarenhet är att kanterna på isoleringsmattan skall vara fasad för att undvika variationer i sprutbetongskiktet över mattkanterna (Ellison, muntlig information).

Erfarenheter från Törnskogstunneln visar att inbyggnadsmåtten kan minskas för sammansatta dräner genom att skarvning utförs med stötfogar istället för överlappande isolering. Överlappande fogar ger också variationer i sprutbetongskiktet som kan utgöra anvisningar för krympsprickor. Vidare erfordras dilatationsfogar som kan ta upp krympsprickor i sprutbetongen. Beräkningar utförda av ELU-GOLDER HB (2004, (27)), visar att avståndet mellan dilatationsfogarna inte bör vara längre än 5-7 m.

Systemet med konventionella dräner är svåra att utföra i tunnlar med stora spännvidder och med låg pilhöjd. Svårigheten ligger i att montera dränerna så att inte bakfall erhålls i hjässan med stillastående vatten eller vatten som rinner i tunnelns längdriktning istället för ner mot väggen, vilket resulterar i läckage genom sidan på dränen.

Alkalifria tillsatsmedel, AF, kan med fördel användas i sprutbetongen då de ger mindre betongspill än andra tillsatser, jämnare betonghållfasthet och bättre arbetsmiljö. Mängderna uppgår till ca 20-25 kg/m<sup>3</sup> betong eller ca 4-5 % av cementvikten. (Se även 4.4).

Där det inte finns frostrisk kan tjockleken hos PE-isoleringen minskas eller ersättas med ett annat tätskikt t ex Platon-matta eller liknande. För att kunna spruta in en sådan drän måste vanligtvis ett nät (typ reverteringsnät) monteras över tätskiktet för att sprutbetongen skall fastna och inte slå sönder den tunnare isoleringen.

## 7.6 Inspekterbarhet

Ett problem med dagens dräner är att de inte uppfyller kravet på inspekterbarhet. Motiveringen till att dräner inte utförs inspekterbara är att genom dränernas infästning mot bergytan, anses förändringar av bergytans kontur kunna observeras innan brott uppstår i konstruktionen då till exempel ett block lossnar från bergytan. Resonemanget förutsätter att dränerna är insprutade med nät- eller fiberarmering.

Denna motivering har använts sedan kravet på inspektion infördes i mitten av 90-talet och då förutsågs sannolikt inte att upp till 50 % av tunnlarnas längd skulle komma att utföras med dräner. En annan viktig aspekt är kostnadsfrågan för att utföra konstruktionen inspekterbar. En sådan åtgärd i en befintlig tunnel skulle innebära avsevärda kostnader (bland annat strossning för större tunnelsektion, ny bergförstärkning, ledningsarbeten, avstängd trafik etcetera). Vid nybyggnation har frågan övervägts men att man i de allra flesta fall valt den mindre kostsamma lösningen med konventionella dräner som utförs mot berget.

Det finns dock exempel på tunnlar där man från början valt att klä in hela tunneln med ett valv av typen Ekebergs- eller Isolvalvet, vilket inneburit att en större tunnelarea fått tas ut. Det finns också exempel på äldre tunnlar där liknande valv utförts i områden med stora isproblem. I några av dessa fall utfördes inspektionsluckor. Erfarenheterna från dessa tunnlar beträffande vatten- och frostproblem är goda.

## 7.7 Funktionsproblem

### 7.7.1 Skador på olika typer av dräner

Där dräner förekommer i tunnlar är oftast erfarenheten att de fungerar. Det är dock ganska vanligt att anläggningsägaren inte känner till problem av lägre prioritet, det vill säga problem som inte direkt påverkar anläggningens drift i det korta perspektivet (1-2 år).

Generellt utgörs problemen som uppmärksammas i huvudsak av följande punkter:

- Sprucken sprutbetong (kapitel 7.7.4)
- Läckage vid genomföringar (kapitel 7.7.3)
- Igensättning (kapitel 7.7.5)
- Tätning vid randen (kapitel 7.7.2)
- Andra problem utgörs av till exempel påkörningsskador, brand, skadegörelse

Problem som ofta anges beträffande dräner är desamma som angavs då dräner med PE-mattor infördes i Sverige i början av 80-talet:

- Enstaka läckage förekommer i mattskarvar, bultgenomföringar och genom mattans kanter.
- Dränerna är för ”smala” – läckage uppträder ofta i anslutning till befintlig drän eller dess kanter.
- Att nya läckage uppstår lång tid efter att tunneln tagits i drift (1-5 år).

Man kan ändå se en viss skillnad i problembilden mellan äldre dräner (1) och nyare oinsprutade dräner (2).



1. Äldre dräner (av typen oinsprutad etafoam 220, 1979- ca 1990) uppsatta med bult och bricka: Skador på isoleringsmattan orsakade av passerande trafik (tryck- och sug) på grund av för få infästningspunkter. Också islast som pressar mot mattan och i flera fall stansas brickan genom isoleringen. Otäta mattkanter – dessa mattor har oftast från början tätats med mineralull vilken med tiden fallit bort, kompakterats, blivit fuktig etcetera och på så sätt bidragit till nedsatt funktion. Andra typer av skador är rostskador på bultar och brickor. Infästningsdetaljerna är oftast galvaniserade men sannolikt av lägre kvalitet. Skador som spruckna limfogar och att isoleringen varit för tunn förekommer också.

Det finns exempel på denna typ av dräner som fortfarande har bibehållen funktion vilket kan bero på att det är tätare mellan infästningsbultarna och att tätningen mellan berg och isolering är utförd med större noggrannhet, och att trafikintensiteten inte ökat nämnvärt under tiden.

2. Nyare oinsprutade dräner: Dessa dräner skiljer sig från föregående bland annat genom att mattorna tillverkats i hela skikt (ca 3x12m), de är tätade mot bergytan med större noggrannhet än tidigare dels med mindre bitar av isoleringsmatta och dels med fogskum. Infästningar utförs med galvaniserade bultar och brickor (både på fram och baksida) oftast med bultavstånd varierande mellan 0,7-1,5 m och oftast i kombination med stegband. En variant av infästning har galvaniserat nät både framför och bakom isoleringen för att minska mattans rörelser vid passerande trafik.

Dränerna utförs vid nya vatten- och isproblem och ersätter ofta skadade dräner av äldre typ (se föregående punkt). De utförs också i nya tunnlar i de fall där tillgänglig tid är mycket begränsad till exempel på grund av hög trafikintensitet, för att insprutning skall kunna utföras på ett kostnadseffektivt sätt. I sistnämnda fall utförs det oftast efter samråd med den lokala räddningstjänsten som då kan ställa vissa krav på utförandet, omfattning, sektionering etcetera. Generella problem med dessa dräner är otätheter i bultgenomföringar och mattkanter.

#### Insprutade dräner:

Vissa skador som observerats på oinsprutade dräner uppträder sannolikt också på insprutade dräner men kan vara svåra att upptäcka på grund av att sprutbetongen täcker hela isoleringen. För övrigt se kapitel 7.7.4 Sprickor i sprutbetong.

### **7.7.2 Tätning vid randen**

Otäta kanter på grund av dålig anläggning mellan isolering och berg är en vanlig orsak till vattenläckage och frysning bakom dräner. En annan orsak kan vara stillastående vatten som genom dålig avrinning gör att vatten tränger igenom kanterna, ett uppmärksammat problem i till exempel tunnlar med flacka tak.

Det erfordras relativt tätt med bultar för att pressa dränens kant mot bergytan vilket är ett relativt vanligt problem. Bättre är ofta en kombination med bultar och stegband som kan bockas så att anliggnings erhålls längs hela dränens kant.

Vid tätning används ofta fogskum som komplement. Beständigheten av detta material är tveksam. Där stora mängder har använts kan man efter ett par års tid se att ytan blivit hård och spröd och cellerna inuti har blivit färre eller tycks vara öppna. Då isoleringsmattorna rör sig på grund av passerande trafik kan fogskummet lätt spricka och otätheter uppstå.

### 7.7.3 Läckage i genomföringar

Förutom att läckage förekommer vid konstruktionens infästningsbultar förekommer också skador som skapas i efterhand av till exempel handledare som löper längs tunnelväggen och är förankrad i tunnelväggen med armeringsjärn. Det kan också vara infästning av kabelstegar och skyltar. I många fall tycks kännedom om förekomsten av dränerna saknas helt eller att tätningsåtgärder saknas i bygghandlingen för hur förankring skall utföras i dräner.

Det är vanligt att fukt framträder kring dessa infästningar och sprickor i sprutbetongen ofta börjar eller slutar här (Boman 2005, (11)).

### 7.7.4 Sprickor i sprutbetong

Sprickor i sprutbetong har uppmärksammats tidigare vid utförandet av dräner men då dessa inte ansetts ha någon större omfattning har inga åtgärder vidtagits. Först efter att sprickor observerats i Södra Länkens tunnlar har dessa sprickor och de problem som detta medför aktualiserats.

Bansystem på Banverket Östra banregionen, initierade ett examensarbete ”Dräner i Banverkets tunnlar”, och som utfördes av Robert Boman, 2005. Arbetets fältundersökning omfattar kartläggning av 161 dräner i totalt 12 järnvägstunnlar. Arbetet syftar till att belysa de problem som finns i samband med dränkonstruktioner i järnvägstunnlar.

En stor mängd sprickor har noterats i tunnlar i drift. I Södra Länken observerades vertikala sprickor i sprutbetongen vid 10 % av de smala dränerna och 50 % av de sammansatta dränerna. 60 % av sprickorna hade en vidd > 0,5 mm vid karteringstillfället.

Av de tunnlar som undersöktes av Boman (2005, (11)) hade ca 65 % av de öppna sprickorna (smala dräner) en sprickvidd på 0,3 mm eller mer, vilket också innebär att dessa sprickor är fullt tillgängliga för korrosionsangrepp.

På ett antal dräner har det observerats att betongskiktet är för tunt eller att stora variationer förekommer i tjockleken och detta gynnar uppkomsten av sprickor. I ett par fall har betong lossnat och armeringen syns blottad ofta i dränens nedre del. Liknande observationer har gjorts i Glödsbergstunneln.

Det är känt i stort hur dränerna är konstruerade. Alla smala dräner som undersökts är fiberarmerade, men uppgifter saknas om betongens sammansättning, fiberhalt, vct och hur mycket acceleratorer som har använts.

Förekommande sprickor kan vara krympsprickor, sprickor på grund av av frysning bakom dräner eller frostsprängning på grund av frysning av fuktig sprutbetong.

På smala dräner uppstår sprickor oftast längs mattkanterna, och på samansatta dräner förekommer dessutom även sprickor mitt i dränen.

### 7.7.5 Igensättning

Igensättning förekommer men tycks sällan orsaka större problem med konventionella dräner. Erfarenheter visar att utfällningar av både kalk och järn förekommer i tunnlar, som till exempel Muskötunneln, där järnutfällningar varit bidragande orsak till att delar av dräneringssystemet måste bytas vid ett antal tillfällen. En orsak till att eventuella problem inte uppmärksammats i den utsträckning de förekommer, kan bero på att det inte utförs någon dokumentation i samband med att till exempel gamla dräner demonteras eller då ny dränering utförs. Uppgifter från Vägverket Region Väst gör gällande att vid renoveringsarbeten av vägtunnlar har utfällningar/igensättning observerats men inte analyserats eller dokumenteras.

En annan orsak kan vara att det kanske inte syns om till exempel ett läckage direkt är orsakat av igensättning bakom en drän eller längre ned i dräneringssystemet.

## **7.8 Sammanfattande slutsatser**

Några av de viktigaste slutsatserna man kan dra från denna förstudie är att det finns brister i dokumentation och kunskaper beträffande dräners utförande och funktion. I denna förstudie har ett antal problemområden identifierats som är relaterade till dräner i tunnlar:

1. Dokumentation av dräner
2. Dokumentation av vattenläckage och is
3. Val av typ av drän/dimensionering
4. Uppskattning av behovet av dräner i byggprocessen
5. Placering av dräner i tunnel
6. Montering/utförande av dräner
7. Tätning vid randen
8. Läckage i genomföringar
9. Krympsprickor i sprutbetong
10. Övriga sprickor i sprutbetong
11. Igensättning

### **7.8.1 Dokumentation av dräner**

Relationshandlingar upprättas för alla nya tunnlar under byggskedet. Relationshandlingar saknas för många äldre tunnlar varför dokumentationen av dräners lägen och status i befintliga tunnlar saknas helt eller är bristfällig i många fall. Det pågår underhållsbesiktningar inom Banverket och Vägverket som bland annat syftar till att lokalisera och dokumentera samt bedöma dräners läge och tillstånd. Resultaten från dessa besiktningar kan inte alltid omsättas i erforderliga åtgärder utan att kompletterande besiktningar och undersökningar utförs.

### **7.8.2 Dokumentation av vattenläckage och is**

Dokumentationen av vattenläckage och is som kan orsaka eller som orsakar problem är mycket bristfällig i våra tunnlar. Bristen av dokumentation som visar var och när vatten- och is uppträder och var detta medför problem i varje tunnel är en förutsättning för att rätt åtgärd kan vidtas. Oftast erfordras en detaljerad kartläggning under flera vinterperioder för att få en rättvisande bild av läckagens och isens läge och omfattning i en tunnel. De viktigaste perioderna då vatten- och is måste dokumenteras är dels under infrysning och upptining, d.v.s. under tidig vinter och vår då antalet frostcykler är många. Och dels under längre köldperioder då mer stationära förhållanden sannolikt förekommer i tunneln.

En kontinuerlig dokumentation erfordras av förekommande is och vattenförhållanden i en tunnel. Speciellt viktig är dokumentationen under byggskedet. Dokumentationen bör dock även fortgå under ett par års tid efter det att tunneln tagits i drift, då denna tid sannolikt erfordras för att uppnå ett ”stationärt” läge med avseende återkommande vattenläckage och isbildning i tunneln.

### 7.8.3 Val av typ av drän/dimensionering

Att man ofta valt vatten- och frostsäkring med insprutade dräner, från 1996 och framåt, som är utbytbara och är billiga att bygga har slagits fast i flera utredningar. Dessa utredningar baseras till stor del på att dräner endast skulle behöva utföras vid punktläckage av vatten och is, och att dränbredden skulle vara liten (< 2 m). I takt med ökade krav på tunnlar vattentäthet, och att man med för- och efterinjektering inte lyckats eliminera problemen med vatten och is i tunnlar tak och väggar, har dränkonstruktionerna dels blivit bredare (sammanhängande) och dels har allt större andel av tunnlar längd utförts med dräner. Att vi i dagsläget dessutom utför denna typ av dräner i tunnlar med hög trafikintensitet innebär stora problem och höga kostnader vid underhåll och vid utbyte på grund av livstidsbegränsningar.

I framtiden ser man även att nya lösningar successivt utvecklas. Vid val av frostsäkringsmetod är det många faktorer som spelar in, vilket medför att det sannolikt inte finns en metod som kan tillämpas generellt på alla typer av tunnlar med sina specifika förutsättningar. Ett antal olika lösningar kommer sannolikt att tillämpas i fortsättningen.

Vid val av metod för hantering av vatten- och frostsäkring påverkas valet av en mängd olika faktorer, till exempel trafikmängd, klimatförhållanden, möjlighet att underhålla och byta ut konstruktionen eller delar av den, livslängd, etc. Som underlag vid val av konstruktion bör noggranna analyser genomföras, med hjälp av till exempel LCC-analys, huruvida enkla billiga utbytbara konstruktioner som kräver underhåll skall väljas eller tyngre konstruktioner med lång livslängd och som inte erfordrar underhållsåtgärder.

Problem som kan relateras till dimensioneringen av dräner är att det fryser bakom dräner vilket orsakats av att isoleringen varit underdimensionerad. Ett annat problem relaterat till dimensionering är förekomsten av krympsprickor i sprutbetongen, vilket uppmärksammat behovet av dilatationsfogar i sprutbetongen.

### 7.8.4 Uppskattning av behovet av dräner i byggprocessen

Det kan konstateras att det är mycket svårt att förutse rätt mängd vatten- och frostsäkring i projekterings- och i byggskedet. Detta har lett till stora osäkerheter vid entreprenörens kalkylarbete och oklarheter vid upphandling och beställning som påverkat både beställare och entreprenör med stora ekonomiska konsekvenser som följd. Baserat på intervjuer uppskattas mängden vatten- och frostsäkring för ett tunnelbygge ligga inom ett intervall på 10-40 % av tunnelns längd, och inte sällan överskrids denna mängd i byggskedet. Orsaken till detta kan vara att underlaget som ligger till grund för skattning av den mängd vatten- och frostsäkring som erfordras för en tunnel i projekteringskedet baseras på ett stort antal osäkra faktorer, till exempel grundvatten- och klimatförhållanden, vatten- och frostinträngning i färdig tunnel, resultatet av förinjektering. De verkliga förhållandena visar sig först efter att tunneln byggts färdigt, och i vissa avseenden först efter att tunneln varit i drift ett antal år. Man kan anta att vi inte har ett tillräckligt bra underlag för att uppskatta mängden dräner som kan komma att behövas i en tunnel.

### 7.8.5 Placering av dräner i tunnel

Som konstaterats i föregående punkt visar sig de verkliga förhållandena med avseende på vattenläckage och is först efter att tunneln varit i drift ett antal år. Avgörande för detta är sannolikt de förändringar i grundvattenströmningen som uppstår närmast tunneln och som orsakas av bland annat för- och efterinjekteringsarbeten och spänningsomlagringar. Andra faktorer som påverkar är naturliga variationer av grundvatten- och klimatförhållandena. Detta innebär att det inte finns en bild av problemen utan snarare att det finns flera olika

problembilder som bestäms av den aktuella grundvatten- och klimatsituationen vid en viss tidpunkt. Detta innebär sannolikt att det i byggskedet utförts vatten- och frostsäkring på platser, där det efter att stationära förhållanden uppnåtts, inte längre behövs några.

Inför framtida tunnelbyggen bör alternativa upphandlingsformer diskuteras som till exempel att dräner utförs i en separat entreprenad efter bergarbetena men före installationsentreprenaden, eller att entreprenören som byggt tunneln även får ansvar för drift och underhåll under 5-10 år efter färdigställandet. Det skulle kanske kunna bidra med nya lösningar både i byggskedet och i underhållsskedet. En annan möjlighet i låg och medeltrafikerade tunnlar kan vara att man i byggskedet endast åtgärdar större läckage/isproblem och under de första åren efter drifttagandet tar en ökad kostnad för isunderhåll, samtidigt som regelbunden dokumentation av förhållanden för olika grundvatten- och klimatsituationer genomförs, och först därefter vidtas åtgärder. På så sätt kan man optimera placeringen av vatten- och frostsäkring i en tunnel. På motsvarande sätt bör förhållandena i en äldre tunnel vara dokumenterade under flera års tid och finnas tillgängliga vid projektering av underhållsåtgärder.

Andra erfarenheter antyder att många av läckagen saknar koppling till sprickzoner, men skulle vara kopplade till områden mer hydraulisk konduktiva och som tagit emot mer injekteringsmedel. Läckagen i en tunnel antyds också generellt kunna minska med tiden på grund av naturlig igensättning orsakad av kalk- och järnutfällningar i vattenförande sprickor, vilket skulle kunna leda till ändrad problembild. Omvänt antyder erfarenheter från äldre tunnlar att vattenläckagen också kan öka efter att tunnelsektionen ökas genom sprängning.

### 7.8.6 Montering/utförande av dräner

Arbetsutförandet vid monteringen av vatten- och frostsäkring är helt avgörande för det slutliga resultatet. Eftersom det ofta visar sig att vattenproblematiken varit den svåraste delen i många tunnelprojekt är det viktigt att byggprocessen anpassas till det arbetsmomentet. Monteringsarbetet är ett specialistarbete som kräver lång erfarenhet. Det är därför extra viktigt att ha en väl utarbetad arbetsplan, tidplan, kontrollplan och en tydlig ansvarsfördelning mellan byggherre och entreprenörer (och underentreprenörer).

Erfarenheter antyder att följande åtgärder medför fördelar vid utförande av dräner:

- Läckage i skarvar, överlapp och i bultgenomföringar samt vid ränder är vanliga men skulle sannolikt kunna åtgärdas till en stor del genom täthetsprovning med vattenspolning i byggskedet.
- En styrd kontur, vilket innebär att där bergytan har stor avvikelser från teoretisk sektion, distanseras dränen från berget med bakbrickor, bidrar till ett snabbare utförande och minskad risk för glapp mellan mattor och otäta skarvar.
- Sammansatta dräner erfordrar utförande med dilatationsfogar för att undvika krympsprickor.
- Betongsprutning som utförs med så kallade ”spioner” bidrar till att rätt tjocklek på sprutbetongen erhålls.
- Stötfogar i stället för överlappande fogar bidrar till att minska variationer på tjockleken i sprutbetongskiktet vilket minskar risken för krympsprickor och minskar byggmåtten.
- Fasning av isoleringsmattans kanter bidrar till att minska risken för sprickor i sprutbetongen över mattkanterna.

- Eftervattning av sprutbetong skall utföras omsorgsfullt för att minska risken för krympsprickor.
- Noggrann kontroll av inläckande vattens möjlighet till avrinning från isoleringsmattans kanter är viktig för att undvika bakfall, speciellt i dubbelspårstunnlar med flacka tak, vilket kan resultera i att vatten kan bli stående i överlapp eller mot mattkanter med läckage och isbildning som följd.

### 7.8.7 Tätning vid randen

Det vanligast förekommande problemet och det som också får stora konsekvenser för trafiksäkerheten i tunnlar är läckage och isbildning i anslutning till dränens kanter. En orsak till problemet är att isoleringen inte sluter tätt mot underlaget längs ränderna vilket är mycket viktigt för att undvika frost bakom dränen. Mätningar bakom valv visar att luftgenomströmningen är avgörande för frostmängden. En oisolerad tunnelduk som är tätad mot berget i ändarna visar sig mer effektivt mot frost än t ex ett valv av PE-skum som är placerat med en glipa mot berget.

En annan orsak kan vara att det inte utan speciella åtgärder går att få tillräckligt tätt mellan isolering-berg eller isolering-sprutbetong om det finns ett vattentryck mot dränkanter. Både bergytan och berget har en viss ytråhet som sannolikt medför att vatten som står mot kanten till sist läcker igenom, vilket skulle kunna åtgärdas genom att till exempel dränernas kanter utförs med tätningsmassa eller bentonitband eller liknande.

En tredje orsak skulle kunna vara att problemet är relaterat till att dränen utförts i ett skede då vatten- och isförhållandena ännu inte uppnått stationära förhållanden, eller att utförandet grundas på en förenklad problembild som endast baserats en eller på ett begränsat antal observationer av vatten- eller isproblem i tunneln.

### 7.8.8 Läckage i genomföringar

Denna typ av problem tycks i många fall vara orsakad av brist på information och kännedom om förekomsten av dränernas läge och syfte i tunneln då till exempel handledare eller kabelstegar skall förankras i tunnelns vägg. Sannolikt saknas det också i bygghandlingen en beskrivning av hur förankring genom dräner skall utföras med erforderliga tätningsåtgärder.

### 7.8.9 Krympsprickor i sprutbetong

De flesta sprickor som observerats i sprutbetong på dräner anses vara relaterade till sprutbetongens krympning och sammansättning samt bristfällig vattenbegjutning under sprutbetongens härdningsförlopp. Krympsprickorna är ofta lokaliserade till områden med liten sprutbetongtjocklek, över mattkanter och vid överlappningar. Problemet är störst vid sammansatta dräner med bredder överstigande ca 2 m, men förekommer också på smalare dräner men i betydligt mindre omfattning. Orsaken är att dränerna inte är dimensionerade för att kunna ta upp den krympning som uppkommer vid härdning, i synnerhet inte de bredare dränerna. Sprickbildningen påverkas också av att sprutbetongens sammansättning är olämplig med avseende på cementhalt och vatteninnehåll.

En effekt av uppsprickningen är att om fibrerna i armeringen rostar av kan sprickan inte överföra tvärkrafter och sprutbetongen kan på sikt komma att falla ned. Risk för rostangrepp i öppna sprickor föreligger vid sprickvidder  $> 0,2$  mm. Försök antyder att man i vägmiljö kan få en korrosionshastighet på  $0,02$  mm/år, vilket innebär att tvärkraftskapaciteten kommer efter 8-10 år att vara under den nivå som krävs för att förhindra en brottutveckling för sprickor i taket.

Nya dräner bör därför dimensioneras med dilatationsfogar och dräner med dokumenterad uppsprickning i sprutbetongskiktet bör åtgärdas genom regelbundna kontroller och utförande av kompletteringsbultar eller nät där tvärkraftskapaciteten befaras vara nedsatt. Problemet har konstaterats i Södra Länkentunnlarna och vilka konsekvenserna är i järnvägstunnlar är inte känt. Sprutbetongens sammansättning och krympning studeras i ett pågående forskningsuppdrag hos SveBeFo.

### **7.8.10 Övriga sprickor i sprutbetong**

Andra förekommande sprickor bedöms vara orsakade av frostsprängning som kan uppkomma mellan isolering och sprutbetong till exempel genom otäta skarvar och bultgenomföringar. En annan orsak till att sprickor uppstår kan vara att tryck- och sugkrafterna från passerande trafik. Indirekt kan dessa sprickor också uppkomma genom att krympsprickor satt ned hållfastheten så att tryck- och sugkrafter kan orsaka nya brott i sprutbetongen. Underdimensionerad isolering kan leda till frysning bakom dränen. I ogynnsamma fall kan stora istryck uppkomma mot dränens baksida vilket kan orsaka sprickor i det täckande sprutbetongskiktet.

Sprickbildning i sprutbetong kan också orsakas av bergrörelser men torde vara mindre vanlig.

Erfarenheter antyder att det på fuktiga sprutbetongytor ofta kan uppkomma större isproblem jämfört med problem orsakade av enstaka dropläckage.

### **7.8.11 Igensättning**

Igensättning förekommer men tycks sällan orsaka större problem med konventionella dräner. Uppgifter antyder att igensättning observerats vid underhållsarbeten av äldre tunnlar men att dokumentation saknas från dessa arbeten.

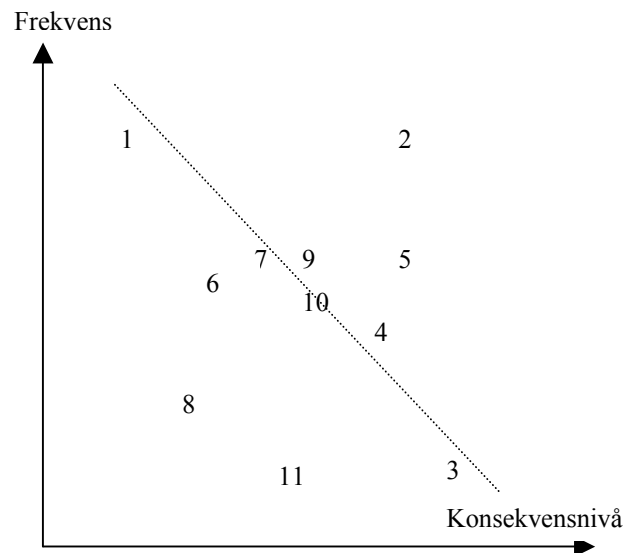
Erfarenheter från Muskötunneln visar att förekommande järnutfällningar varit bidragande orsak till att delar av dräneringssystemet har bytts ut. Vid en uppföljning av Hornsbergstunneln konstaterades en liten tillväxt av utfällningar på 10 år, och som endast i ett fall medfört igensättning av dränfunktionen.

Det är möjligt att problemet kan vara större än vad som framkommit i denna förstudie då det kan vara svårt att avgöra om ett läckage direkt är orsakat av igensättning bakom en drän eller längre ned i dräneringssystemet.

### 7.8.12 Prioritering av identifierade problemområden

Till grund vid prioritering av identifierade problemområden har nedanstående illustration använts. Problemområdena har uppskattats i relation till förekommande frekvens och konsekvensnivå. Problemområden som ligger till höger om skiljelinjen bör prioriteras vid det fortsatta arbetet inom projektet.

1. Dokumentation av dräner
2. Dokumentation av vattenläckage och is
3. Val av typ av drän/dimensionering
4. Uppskattning av behovet av dräner i byggprocessen
5. Placering av dräner i tunnel
6. Montering/utförande av dräner
7. Tätning vid randen
8. Läckage i genomföringar
9. Krympsprickor i sprutbetong
10. Övriga sprickor i sprutbetong
11. Igensättning







## 8 Förslag till fortsatt arbete inom projektet

Med hjälp av figuren i kapitel 7.8.12 har ett antal problemområden identifierats som har hög prioritet och som bör ingå i projektets fortsatta arbete. I nedanstående punkter redovisas ett antal tänkbara områden som kan ligga till grund för det fortsatta arbetet inom projektet:

- Ta fram underlag som kan ligga till grund för en förbättrad kalkylering av vilken mängd dräner som erfordras i olika skeden av byggprocessen. Arbetet innebär att för några tunnelprojekt undersöka och jämföra kalkylerad och utförd mängd dräner i projekterings- och byggskedet, utförd mängd i driftskedet och det eventuellt återstående behovet av dräner (problemområde 4).
- Identifiera styrande faktorer som kan ligga till grund för att en optimal placering av dräner skall kunna utföras i ett tunnelprojekt under byggskedet. Arbetet innebär att för några tunnelobjekt identifiera och jämföra prognostiserade och observerade förhållanden som styr utförandet och placeringen av dräner under byggskedet (problemområde 2 och 5).
- Undersöka och uppskatta effekten av sprucken sprutbetong på dräner (problemområde 9 och 10).
- Undersöka på vilket sätt berguttag och injektering påverkar läckagebilden i en tunnel under byggskedet jämfört med en tunnel som varit i drift några år (problemområde 4 och 5)
- Undersöka orsaken till läckage i randen hos några dräner med dokumenterade problem (problemområde 7).
- Ta fram och jämför den befintlig dokumentation av vatten och is i några tunnlar och lämna förslag till hur dokumentationen skulle kunna förbättras för att ge bästa möjliga förutsättningar vid planering och utförande av underhållsåtgärder (problemområde 2).
- Undersöka orsakerna till att behovet av dräner tycks öka i våra välinjekterade tunnlar jämfört med äldre tunnlar, genom att uppskatta och jämföra olika faktorer som till exempel kostnader för borttagning av is, klimatförhållanden, utförd injektering, utförda åtgärder för vatten- och frostsäkring, uppskattning av återstående behov av vatten- och frostsäkring. (problemområde 4 och 5)
- Från fältundersökningar uppskatta hur många av dränerna i en tunnel i drift som inte längre behövs i förhållande till i byggskedet utförd mängd dräner (problemområde 4 och 5)

## 9 Referenser

- (1) Ringen & Yttre tvärleden, ”Test av dräner i tunnel vid Hornsberg. Slutrapport. Dräner för bergtunnlar Funktion och utformning”. 1996. Vägverket. Rapport 0150 (inkl 2 pärmar med delrapporter, nr: 0145-0149)
- (2) Konstruktiv utformning av ringentunnlarna med hänsyn till drift och underhåll. Användning av beslutsteori. Vägverket. Rapport 0092.
- (3) Förstudie till FoU-ramprojekt ”Tätning och frostsäkring av tunnlar”. 2001. Vägverket.
- (4) Vann- og frostsikring i tuneller, ”Konstruktioner for avskjermning. Funktionskrav og dimensioineringsregler”. Statens Vegvesen 1995. Nr. 163 i Vegvesenets håndbokserie.
- (5) Tunnelkledninger - Vann- og frostsikring i vegtuneller. Statens Vegvesen 1998. Publikation 91.
- (6) Sproytebetong till bergsikring. Publikation nr. 7. Norsk Betongforening oktober 2003.
- (7) Miljö- og samfunnstjenlige tuneller, rapport nr 13, ”Naturlig tettning av tuneller”, Statens vegvesen, Internrapport 2274, 2004.
- (8) Pusch, R., Stanfors, R. 1992. The zone of disturbance around blasted tunnels at depth. Int.J. Rock Mechanics & Sci. Geomech. Abst. Vol.29, No. 5, pp 447-456.
- (9) Äspö hard Rock Laboratory. Update of the hydrochemical model 2002. International Progress Report IPR-03-36. SKB 2003.
- (10) Citybanan i Stockholm. ”Dräner/vattenisolering i spårtunnlar”. ELU-GOLDER HB. 2005-03-18.
- (11) Dräner i Banverkets tunnlar. Robert Boman, 2005. Examensarbete, Berg- och mineralteknik. Nr E3227.
- (12) E. Nordström, Steel fibre corrosion in cracks – Durability of sprayed concrete. Lic. Avhandling 2000:49. Luleå Tekniska Universitet, 2002.
- (13) Köldinträngning och istillväxt i järnvägstunnlar. Förstudie. Andrén 2004. Bansystem Rapport Bansystem 04-05, 2004-09-01. Diariennr. B04-512/BA45.
- (14) Norralatunneln Ridåportar. Driftdata/Uppföljning. Banverket BRMB, 2004-05-06. Diariennr. 95-396/35.
- (15) Köldinträngning i järnvägstunnlar. Utveckling av ett projekteringsverktyg. Sandberg, Claesson & Blomqvist, 2002. Gävle: Högskolan i Gävle, KTH, Banverket.
- (16) Lagerblad B, Holmgren J, Fjällberg L, Vogt C, Hydratation och krympning hos sprutbetong – arbetsrapport, 2006, SveBeFo rapport K24.
- (17) Isolering mot svallis i tunnlar och skärningar. Sandgren och Wallmark 1982. Statens Järnvägar. Meddelande nr 41.
- (18) Torkeli, C. och Ödmark, L. 1996. Tätning av järnvägstunnlar - Hantering och minimering av vattenproblem. Examensarbete. Tekniska högskolan i Luleå, 1996:079E.

- (19) Frostsprängning och svallisbildning i bergslänter, Linde, B., 1997. Examensarbete. Luleå Tekniska Universitet. 1997:111 CIV.
- (20) Muskötunneln. 1993. Vägverket Region Stockholm
- (21) Walder, J.S. and Hallet, B., 1985. A theoretical model of the fracture of rock during freezing. *Geological Society of America Bulletin* 96(3) 336-346.
- (22) Andréén, A., 2006 (i tryck). Redovisning av besiktning av vatten- och isproblem i några av Banverkets tunnlar. BB-rapport 06-XXX. Borlänge: Banverket.
- (23) Betonginklädning av tunnlar - Tekniköversikt, förstudie. 2003. Söder Carl-Olof, Burtu Mats. SveBeFo rapport 62.
- (24) Norra Länken Inklädning. Frystest i arbetstunnel vid Trädskolevägen. Golder Associates, 2005-12-15.
- (25) Tunnel vid Hornsberg. Inspektion av dräner och takkonstruktion. Golder Associates, 2006-03-31.
- (26) Davidson, G.P. & Nye, J.F. 1985. Photoelasticity study of ice pressure in rock cracks. *Cold Regions Science and Technology* 11(2) 141-153. ISSN 0165-232X.
- (27) Utredning angående sprickor i sprutbetong på dräner i Södra Länken. Golder Associates AB och avd. Betongbyggnad KTH. 2004. Sammanfattning och förslag till åtgärder inklusive övriga delrapporter.
- (28) Banverket. 2005. BVS 585.40. BV Tunnel. Banverket HK.
- (29) Vägverket. 2004. ABT Tunnel 2004. VV Publikation 2004:124.
- (30) Metoder för vann- og frostsikring av vegtunneler, Delprosjekt D: Vedlikehold, Intern rapport 1681, Statens vegvesen 1994.
- (31) Lindblad, K. Inklädning i järnvägstunnel genom Glödborget 1998. Kontrollantens Slutredovisning. Vattenfall Hydropower, 1998.

Personer som medverkat vid intervjuer eller på annat sätt bidraget med information i denna förstudie är följande:

Banverket: Behnam Shahriari, Bo Svensson, Lennart Ragnarsson, Börje Julin, Torgny Nilsson, Arvid Taube, Kjell Torsteinsrud, Göran Wallmark, Anna Andréén

Vägverket : Per Thunstedt, Håkan Thorén, Lars Österlund, Kjell Windelhed

A-Train: Örjan Eriksson

Bergab: Jan-Åke Åkesson

SwedPower: Kent Lindblad, Olof Kallin, Roger Tjernlund

Tyréns: Martin Bergström

BESAB: Per Fjellström, Tommy Ellison

Fortum: Leif V. Andersson

SWECO: Joakim Karlsson

GOLDER: Anders Fredriksson

Ramböll: Gunnar Ekman



## Bilagor

### Bilaga 1 Metoder att förhindra frostrelaterade problem

1(1)

Metoder för att förhindra frostrelaterade problem samt allmänna för- och nackdelar. (Torkeli och Ödmark, 1996, Linde, 1997)

Metod	Beskrivning	Fördelar	Nackdelar
Skönsam sprängning	Konturraderna laddas med mindre mängd sprängmedel.	Sprängskadorna på kvarstående berg minska.	Förhållandevis tidskrävande.
Förinjektering	Injektering av injekteringsmedel, cement eller kemikalier innan utsprängning.	Höga tryck kan användas, bra spridning av injekteringsmedlet. Kan vara lämpligt för att täta en vattenförande zon som korsar slänten. Bra när det finns krav på bibehållen grundvattennivå.	Grundvattentrycket bakom slänten öka.
Efterinjektering	Utförs på liknande sätt som förinjektering. Ofta används kemiska tätningsmedel.	Lämpligare att använda vid lokala tätningsåtgärder än förinjektering.	Låga tryck, sämre spridning. Tidsödande och kostsamt, ofta dåligt resultat. Kan vara miljöfarligt. Vattenflödet söker nya vägar och problemet flyttas till en annan del av bergskärningen. Grundvattentrycket ökar och det är svårt att täta enstaka dropp mha efterinjektering
Sprutbetong	Relativt viskös betong sprutas på bergytan.	Stabiliserar kraftigt uppsprucket berg och förhindrar därmed nedfall av block.	Sprutbetong på en våt bergyta riskerar att drabbas av frostsprängning och blir därefter verkningslös.
Isolering	Bergytan isoleras och tjälinträngningen förhindras vilket medför att vattnet inte fryser.	Förhindrar både svallis och frostsprängning. Vattenvägarna förändras inte.	Monteringen anses kostsam och tidskrävande.
Dränering	Dräneringshål borrar in i bergmassan för att punktera vattenförande zoner. Vattnet leds därefter ner till ordinarie dränering.	Med relativt liten insats koncentreras vattenläckaget från ett större område till en punkt där det kan omhändertas.	Ställer höga krav vid utförandet. Svårt att erhålla 100%-ig dränering, flera borrkarpanjer kan erfordras.
Nät	Stålnät hängs över bergytan.	Förhindrar okontrollerade nedfall av block. Hindrar smältande svallis från att rasa.	Åtgärder inte frostriskproblemet utan förhindrar endast vissa skador.
Bergbult	Bultar gjuts eller bottenförankras i borrhål.	Fastbultade block förhindrar inom vissa gränser okontrollerade accelererande ras.	Minskar inte svallisbildningen och förhindrar oftast endast ett litet område närmast bultet från att rasa pga frostsprängning.

**Bilaga 2 Erfarenheter när det gäller underhåll**

1(3)

Erfarenheter när det gäller underhåll av vatten- och frostsäkringsmetoder. Statens vegvesen, 1994. Metoder for vann- og frostsikring av vegtunneler Delprosjekt D: Vedlikehold. Statens vegvesen Vegdirektoratet Intern rapport nr. 1681.

**LÄTTA KONSTRUKTIONER**

	PLATTVALV - ENKELT	PLATTVALV	PLATTVALV - FROSTISOLERAT
Material	Aluminium	Aluminium	Aluminium med mellanliggande mineralullmatta
Skador	Korrosion, skarvar, nedfall, tryckimpulser från tung trafik	Smutsansamling på baksidan av taket och i takrännor, tryck/sug från trafik, alg tillväxt	Korrosion, skarvar, nedfall, tryckimpulser från tung trafik
Reparationsmetoder	Byte av plattor	Spolning, efterspanning av bultar, byte av plattor, förstärkning	Byte av plattor och isolering
Skador vid påkörning	Skydd krävs	-	Skydd krävs
Tvättbarhet	Lätt	Lätt	Lätt
Inspektion	Demontering av inspektionslucka	Demontering av inspektionslucka	Demontering av inspektionslucka
Brandsäkerhet	Brandsäker	Brandsäker	Brandsäker
Erfarenheter, kommentarer	Kräver bergförstärkning mot nedfall. Dokumentrat vattensäkert i 10 år	Hållbarheten beror av priset	Tidskrävande montering, förhållandevis kostsam Dokumentrat vattensäkert i 20 år

2(3)

	SANDWICHVALV	PE-SKUM	TUNNELDUK	TUNNELDUK MED FROSTSÄKRING
Material	PU-skum inkläslad i glasfiberarmerad polyester	Extruderat polacetylen-skum	WG tunnelduk: PVC-belagt polyesterduk	WG tunnelduk med insvetsat mineralullmatta
Skador	Inga synliga	Glipor i skarvar leder till isbildning, läckage i bultgenomföringar	Slitage mot bergkanter	Slitage mot bergkanter
Reparationsmetoder	Som regel måste hela profilen bytas ut efter påkörning	Tätning av skarvar, byte av mattor.	Insvetsning av ny duk	Insvetsning av ny duk
Skador vid påkörning	Omfattande påkörningsskador	Lokala	Lokala	Lokala
Tvättbarhet	Lätt	Svårt	Lätt	Lätt
Inspektion	Nedplockning av element	Demontering av mattor	Levereras med blixtlås, ev uppskäring av duk	Levereras med blixtlås, ev uppskäring av duk
Brandsäkerhet	Svårantändlig	Kräver brandskydd	Brandsäker	Brandsäker
Erfarenheter, kommentarer	Förhållandevis kostsam, krav på specialutrustning vid montering/demontering. Valvet är vattentätt, stabilt och solitt. Snabb montering, viss skepsis pga brandrisken.	Enkelt och billigt att byta ut mattor. Lämpligt vid äldre och lågtrafiktunnlar.	Lågt pris, kort monteringsstid, lite platskrävande, god linjeföring, lättvättad.	Mer solid och styv än utan frostisolering.



## TUNGA KONSTRUKTIONER

	BETONGVALV – FRITTBÄRANDE	LÄTTBETONG VALV	CON-FORM TUNNELEMENT
Material	Prefab betongelement med heltäckande membran	Platsgjutna vägg-element förankrade med bergbultar, fuktsäkring mha fogmassa och heltäckande membran	Sandwich av XPS-skum och betong
Skador	Nedfall av sten och sprutbetong, korrosion, läckage i bultgenomföringar	Läckage i bultgenomföringar	Korrosion
Reparationsmetoder	Lagning av membran, urbyte av element	Tätning av genomföringar, byte av element.	Byte av element.
Skador vid påkörning	Knäckskador	Knäckskador	Knäckskador
Tvättbarhet	Lätt	Lätt	Lätt
Inspektion	Mindre behov	Begränsad tillgänglighet	Begränsad tillgänglighet
Brandsäkerhet	Brandsäker	Brandsäker	Brandsäker
Erfarenheter, kommentarer	Hög kvalitet, reducerad bergsäkring, hög vikt.	Liten erfarenhet	Liten erfarenhet

SveBeFo

Box 47047  
SE-100 74 Stockholm

Telefon 08-692 22 80 • [info@svebefo.se](mailto:info@svebefo.se)  
Besöksadress: Mejerivägen 4

ISSN 1104 - 1773 • SVEBEFO-R--77--SE

tbk.