



## Metoder för att testa dukar och membran i tunnlar och bergrum

Haukur Ingason  
Jonatan Gehandler

RISE Rapport : 2018:54

# Metoder för att testa dukar och membran i tunnlar och berggrum

Haukur Ingason

Jonatan Gehandler

# Abstract

## **Test methods for tunnel linings**

Tunnel and rock lining systems are used for drainage and icing protection. These systems can consist of any combination of concrete, metal, plastic or textile. The report summarizes the available methods, both for testing and for installation. The large variation in both systems and test methods often make it difficult for constructors or designer to understand the importance of different methods. The report gives indication of what type of linings exists and how to ensure the fire safety of such systems. Fire safety properties can be verified in three different ways: #1 Full systems can be tested in full scale fire tests, #2 a section of the system can be tested in standardized furnace tests, or #3 plastic and/or textile membrane can be tested with regards to requirements on fire spread. It is suggested to require that a fire should not be able to propagate in the system. This can be verified with #3 above requiring class B, C or D according to EN 13501-1. If the lining system offers structural fire protection, it can be verified using #2 above.

Key words: tunnel linings, fire, test methods

Foto på framsida: RISE

RISE Research Institutes of Sweden AB

RISE Rapport : 2018:54

ISBN: 978-91-88695-98-7

Borås 2018

# Innehåll

<b>Abstract</b> .....	<b>1</b>
<b>Innehåll</b> .....	<b>2</b>
<b>Förord</b> .....	<b>3</b>
<b>Sammanfattning</b> .....	<b>4</b>
<b>1 Inledning</b> .....	<b>5</b>
1.1 Syfte .....	6
<b>2 Olika typer av frost- och dräneringsskydd</b> .....	<b>8</b>
2.1 Betongvalv .....	8
2.2 Uppfästning ur bärförmågesynpunkt .....	9
2.3 Lätta konstruktioner .....	9
2.4 Tunnelduk.....	10
2.4.1 Tunnelduk i bergrum.....	10
2.4.2 Tunnelduk som är godkänd.....	11
2.4.3 Uppfästning ur bärförmågesynpunkt i brandfallet .....	13
2.5 Miljövalv .....	13
2.6 Norska typgodkända lösningar .....	13
<b>3 Bedömning av brandsäkerheten</b> .....	<b>14</b>
3.1 Provning i full skala .....	14
3.1.1 Brandtest av WG Tunnelduk T100 .....	14
3.1.2 Branden i Eiksundtunnelen 28 juni 2009.....	15
3.1.3 Brandtest av PE-skum med stålfiberarmerad sprutbetong .....	15
3.1.4 Brandtest av PE-skum med nätarmerad sprutbetong .....	16
3.2 Standardiserad provning i mindre skala .....	16
<b>4 Slutsatser</b> .....	<b>18</b>
<b>5 Referenser</b> .....	<b>18</b>

# Förord

Denna sammanställning har genomförts inom ramen för TUSC Tunnel and Underground Safety Center <sup>1</sup>.

Rapporten sammanställer olika brandprovningmetoder och ger förslag till provningsmetodik för tunnelduk.

---

<sup>1</sup> TUSC är ett forsknings- och utvecklingsforum, där forskare, ingenjörer, myndigheter och finansiärer gemensamt fokuserar mot samma mål – att göra dagens och morgondagens tunnlar och undermarksanläggningar säkrare. Medverkande organisationer är RISE Research Institutes of Sweden (tidigare SP Sveriges tekniska forskningsinstitut), Trafikverket, Fortifikationsverket och SKB Svensk kärnbränslehantering.

# Sammanfattning

I den här rapporten har en mängd system och produkter som kan användas för att dränera- och frost-skydda tunnlar och bergrum redovisats. Studien innefattar följande delar.

- Inventering av befintliga dräner- och frost-skyddssystem och dess brandegenskaper inklusive uppfästning.
- Kravställning på brandsäkerhetsegenskaper hos dräner- och frost-skyddssystem.

Olika system och produkter passar för olika ändamål och olika bergförhållanden. Systemets eller produktens brandegenskaper kan utvärderas genom provning på tre sätt.

#1 Ett helt system kan provas i full skala i en tunnel eller ett bergrum på liknande sätt som idag görs i Norge. Detta kan dock vara dyrt eller praktiskt problematiskt.

#2 En del av ett helt system kan också provas i en ugn enligt någon av de standardiserade provningsmetoderna EN 1363 eller SP-Brand-119.

#3 Ingående brännbara produkter såsom membran eller tunneldukar kan provas enligt EN 13823, d.v.s. den metod som används för att klassa ytskikt för byggprodukter. SBI-metoden är då en lämplig metod. Om produkten är monterad mot ett obrännbart material (t.ex. betong) rekommenderar vi brandegenskaper motsvarande klass B,C eller D enligt EN 13501-1. Om membranet eller duken hänger fritt rekommenderar vi brandegenskaper motsvarande klass B enligt EN 13501-1. I fall där det behövs krav på rökproduktion så bör det vara minst s2 och krav på flammade droppar bör lägst vara d1.

Vi föreslår följande funktionskrav för brandsäkerhet hos dräner- och frost-skyddssystem: *En brand ska inte kunna spridas längs eller inuti systemet.* Detta kan enklast verifieras med hjälp av #3 ovan.

Ytterligare funktionskrav kan behövas i de fall systemen utgör brandcellsgräns eller har en viktig bärande funktion. Då testas en del av systemet (inte bara duk eller membran), enklast genom #2 ovan.

Gängse uppfästning av dukar är gjord så att duken smälter eller brinner upp långt innan uppfästningssystemet riskerar falla ned. Uppfästning av tyngre inklädnader ska behålla sin bärförmåga under den brandlast som inklädnaden är dimensionerat för.

# 1 Inledning

Inläckage av vatten är ett vanligt problem i tunnlar och berganläggningar. Droppande vatten kan, förutom att orsaka isbildning nära mynningarna, skada känslig utrustning och orsaka besvär för personal som vistas i anläggningen. För att undvika att dränvattnet tränger in kan exempelvis injektering eller sprutbetong användas. För att ytterligare undvika droppande vatten, eller för att tillåta vatten att tränga in, men leda bort det kan tunnelduk användas. Duken förankras med hjälp av infästningar i berget och hängs upp i vajrar. Duken finns i flera olika utföranden och med olika egenskaper. Om duken inte har tillräckligt goda brandtekniska egenskaper riskerar den att sprida en initial brand som kan resultera i svårigheter vid utrymning eller räddningsinsats.

Lämpliga metoder för vatten- och frostsäkring är bland annat beroende av berggrundens egenskaper, grundvattenförhållanden, nyttjande och klimatet. Detta är den främsta orsaken till att t.ex. utföranden i tunnlar i Sydeuropa är annorlunda jämfört med Skandinavien (Vägverket 2002).

I Sverige utförs vanligen en relativt omfattande för-injektering vid nybyggnation av tunnlar. Återstående läckage, dropp mm åtgärdas med en kombination av efterinjektering och lokala frostisolerings- och dräneringsåtgärder (Vägverket 2002).

I Norge utförs bergstabilisering och vatten- och frostisolering i två skilda steg. Vatten- och frostisoleringen sker vanligen med någon typ av inklädnad (Vägverket 2002).

I alperna utförs bergstabilisering och vatten/frostisolering med en integrerad metod i samband med berguttaget. Det är i normalfallet en betonglining med ett integrerat tätmembran (Vägverket 2002).

I Sverige är det vanligaste tätningsförfarandet för bergtunnlar en systematisk förinjektering kompletterat med lokala väggdräner. Dräneringen utförs normalt med isolerskivor som förses med sprutbetong som fungerar både som mekaniskt skydd och som brandskydd. De praktiska erfarenheterna både i Norge och Sverige är att den applicerade sprutbetongen kan kräva en del underhåll. Metoden med förinjektering i kombination med lokala väggdräner innebär att konstruktionen uppfyller kravet på okulär inspektion vilket annars är ett generellt problem med tunnelinklädnad (Vägverket 2002).

För norska vägtunnlar finns ett antal tygodkända tätningskoncept med tunnelinklädnadssystem: betongvalv, lättbetongvalv, PE-skum med sprutbetong, membran med sprutbetong, aluminiumplattor, samt tunnelduk. Några av dessa är även utvecklade i Norge, främst betongvalv, t ex Ekebergvalvet och tunnelduk (Giertsen tunnelduk). För högtrafik-tunnlar bör systemen utföras som kombinerade valv med betong i tunnelväggen och med lättare tak (Vägverket 2002).

Det är viktigt att de material som används inte bidrar till uppkomst av brand, flamspridning eller rökspridning, allt i syfte att säkerställa brandsäkerhetskraven. Det har funnits behov av att förbättra och utveckla rekommendationer med hänsyn till vilka provningar som ska utföras och kravnivå. Provningsmetoder som är lämpliga för att verifiera olika konstruktioners brandegenskaper har föreslagits. Inklädnader med PE-skum som är skyddad med sprutbetong är ett exempel på en konstruktion som bör kunna verifieras med en standardiserad provningsmetod. I Johanson och Boström, 2012, har

man försökt göra detta. En noggrannare analys av dessa metoder finns i kapitel 3. Kraven kan sedan ligga till grund för vidare utveckling av olika lösningar.

Tekniska krav som ställs på inklädnaden förutom vattenavledning/frostisolering kan styra valet av metod och utförande. Kraven styrs i stor utsträckning av t ex trafikförhållanden/trafiklast, inspektionsmöjlighet, brandskydd, estetik mm. Tunnelinklädnad kan delas in i tre huvudgrupper (Vägverket 2002),

- Betongvalv, som består av isolerade eller oisolerade prefabricerade betongelement eller sprutbetong belagt på valv av PE-skum.
- Lätta konstruktioner, som består av isolerade eller oisolerade stål- eller aluminiumplattor, alternativt en sandwichkonstruktion bestående av polyuretan belagt på bägge sidor med glasfiberarmerad polyester.
- Kombinerade valv, som består av betongelement i väggarna och andra konstruktioner i tak, dessa kan vara oisolerade eller isolerade.

Till ovanstående metoder för inklädnad av tunneln tillkommer lösningen med en platsgjuten betonglining med tätmembran. Denna lösning är vanligtvis både bärande och tätande och är den vanliga metoden i alperna (Vägverket 2002).

Erfarenheter från bland annat Norge har visat att det under vissa förutsättningar är effektivt och ekonomiskt att lösa problem med bergssäkring och vatten/frostssäkring skilt från varandra. Sedan 60-talet har det utvecklats lösningar som kan vara både tekniskt tillfredsställande och väsentligt billigare än de traditionella membranisolerade betongvalven (Vägverket 2002).

Den norska metoden med säkring av bergstabilitet och vatten/frost separat har medfört utveckling av flera olika konstruktioner för säkring mot vatten som, under vissa förutsättningar, ger en rimlig och jämförelsevis låg totalkostnad för tunnelbygge. Projektet "Tunnelkledningar" ger dels en översikt över de konstruktioner/konstruktionstyper som givit värdefulla erfarenheter och som har en framtida utvecklingspotential och dels lösningar som är aktuella i dagens situation.

Ett generellt krav på 50 års livslängd gäller för installationer i norska vägtunnlar (Statens vegvesen, 1998). Erfarenheter från Norge visar att ökade hastigheter och tung trafik har medfört stora påkänningar för installerade vatten- och frostsäkringskonstruktioner. Dessutom har det under de senaste åren uppförts ett antal relativt billigare lösningar med lägre kvalitet. I Norge har det därför bedömts som nödvändigt att genomföra undersökningar av de aktuella belastningarna och att ställa krav på både stabilitet och brandsäkerhet.

## 1.1 Syfte

Syftet med projektet är att klargöra vilka brandsäkerhetskrav ett system för dräner- eller frost-skydd eller tunnelduk behöver uppfylla för användning i miljöer där personer vistas mer än tillfälligt. Projektet omfattar:

- inventering av befintliga tunneldukstyper och dess brandegenskaper inklusive uppfästning ur bärformågesynpunkt i brandfallet
- uppställning av funktionskrav för att minska risken för brandspridning, trygga utrymning samt möjliggöra räddningsinsats



- bedömning av befintliga tunnelduksmaterial och infästningar utifrån uppställda kriterier
- bedömning av behov av brandtester

Resultaten från projektet sammanställs i denna rapport som avser att utgöra beslutsunderlag för projekteringskriterier vid nyanskaffning samt bedömning av befintliga installationer.

## 2 Olika typer av frost- och dräneringsskydd

Det finns många olika tekniska lösningar när det gäller frost- och dräneringsskydd i tunnlar och bergrum. I följande avsnitt redovisas ett antal olika lösningar.

### 2.1 Betongvalv

Tunnelinklädnad i betong och sprutbetong har använts i norska vägtunnlar under flera år (Statens vegvesen, 1998). Några typlösningar är,

#### Membranisolerad ”utstöpning”

Betonginklädnad med tätmembran är en lösning med hög standard som är lämplig för svaga bergförhållanden och för motorvägs- och stadstunnlar. Erfarenheterna visar att alla ingående delarbeten måste anpassas till fukt- och vattensäkringsarbetet. Tillfredsställande resultat kräver bra arbetsplanering, ”tillräckligt med tid”, hantverkskunnande och fungerande kvalitetssäkring. Reparationsarbeten blir sällan lyckade och bör undvikas.

#### Fritt bärande betongvalv

Fribärande betongvalv med prefabricerade element är en lösning med hög standard. Lösningen är dock använd i relativt liten omfattning beroende på att den kräver ett extra stort tvärsnitt för montage, vilket medför en merkostnad i förhållande till andra lösningar. Positivt är dock att lösningen resulterar i god plats för inspektion av bergssidan av valvet. Erfarenheterna visar att konstruktionen fungerar mycket bra och att den kräver lite underhåll. Tunga element och höga anläggningskostnader är huvudorsaken till att lösningen sällan är använd.

#### Betongelement och lättbetongelement

Lösningen består av prefabricerade betong- och lättbetongelement som är förankrade i berg med bergbultar. Metoden har dock mestadels använts med lättbetongelement. Frostisolerade och icke frostisolerade betongelement har främst använts i kombination med andra lösningar. Vid användning av en lösning med enbart betongelement måste beaktas att metoden ger en komplicerad elementgeometri vid tvärsnittsförändringar.

De först genomförda projekten med lättbetongelement har konstaterats vara behäftade med fuktproblem. Dessa projekt utfördes utan tätande membran och med fogar och bultgenomföringar där silikon använts som tätningsmassa.

Krav på heltäckande membran har sedan dess införts i Norge, på grund av problem med vattenläckage genom konstruktionen. Med heltäckande membran fungerar konstruktionen bra med hänsyn till vatten- och frostsäkring, men det har visat sig att lättbetongelement är ömtåliga och lätt kan gå sönder vid montering eller påkörning.

Frostisolerade betongelement har använts vid ett flertal tunnlar i Norge. I Nordbytunneln på E6 i Akershus har frostisolerade betongelement med namnet

ConForm använts. ConForm är ett ”tyngre” sandwichelement som består av frostisolering mellan två lager betong. Ännu så länge är erfarenheten av dessa inte så stor. En förutsättning för god funktion är att membranarbetet utförs noggrant så att konstruktionen blir tät. Elementen är tunga vilket medför att montering och eventuella byten kräver specialutrustning. Montering vid genomförda tunnelprojekt har dock visat sig vara skonsamma för elementen. Under monteringsarbetet i Nordbyttunneln gick endast tre element sönder av totalt 10 000 monterade element.

### PE med armerad sprutbetong

Metoden som lanserades kring 1980 är enkel, flexibel och billig att anlägga. Polyetylen(PE)-mattor fästs mot berg och sprutas sedan över med sprutbetong. Erfarenheter visar att vid ett riktigt utförande har konstruktionen en livslängd på över 50 år med ett visst löpande underhåll. Den armerade sprutbetongen appliceras främst som brandskydd (I Norge är minimitjockleken 60-70 mm utanpå PE-mattor). Denna konstruktionslösning är dock inte helt enkel att underhålla, särskilt inte i tunnlar med mycket trafik. Heltäckande vatten- och frostsäkring med denna lösning bedöms därför som inaktuell för framtida högtrafiktunnlar. Användningen av denna lösning är idag huvudsakligen för avledning av punktläckage i tunnlar.

Valvkonstruktioner med armerad sprutbetong kan dimensioneras för islast genom att olika tjocklek av PE-mattor användas.

### Ekebergvalv

Konstruktionen består av nätarmerad sprutbetong på PE-skum fäst i tvärgående profiler bultat i berget. Valvet kan också utformas helt, i väggar och tak, med en ”Ekebergslösning”. Ekebergvalvet är en relativt ny lösning men har hittills gett goda erfarenheter. Erfarenheter visar dock att sprutbetongen kan vara ras- och sprickbenägen.

## 2.2 Uppfästning ur bärförmågesynpunkt

För uppfästning av tyngre inklädnader används ofta kraftiga infästningar inborrade någon meter in i berget. Bulten kommer att vara den svagaste länken. Exponerade bultar skulle kunna behålla sin lastbärande funktion, på samma sätt som rörprofilerna för tunnelduk nedan klarat bränder. Men, för tyngre inklädnader ökar risken att bulten ger med sig om temperaturen överstiger 500 °C. En exponerad bult ska också bära sin relativt stora last från inklädnaden. Samma brandkrav bör ställas på uppfästningen som på inklädnaden; om inklädnaden är dimensionerad för EI 60 måste också uppfästningen klara samma 60 min brand. Detta bör kunna verifieras genom beräkning.

## 2.3 Lätta konstruktioner

Lätta konstruktioner innebär valv av lätta material, eventuellt i två lager med mellanliggande frostisolering. De vanligaste plattmaterialen är stål och aluminium. Aluminium väljs med hänsyn till de goda korrosionsegenskaperna, lätthanterligheten och priset. Valvet bör målas, företrädesvis i en ljus nyans. Dessa

lösningar är känsliga för skador och kräver därför ett effektivt skydd mot påkörningar och nedfallande sten. I Norge måste lätta inklädnader vara typgodkända av vegdirektoratet innan de får tas i bruk.

Lätta konstruktioner bör normalt inte användas i områden med  $F_{10} > 25000 \text{ h}^\circ\text{C}$ .

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. Frostisolerat försöksvalv på E18 med trafik har fungerat tillfredsställande sedan 1971. Konstruktionslösningar med förenklad frostisolerat har haft varierande kvalitet. Montering av denna typ av valv är normalt tidskrävande och kräver många komponenter.

## 2.4 Tunnelduk

En inventering av befintliga tunneldukstyper har genomförts. Viktigt i sammanhanget är dess brandegenskaper inklusive uppfästning ur bärförmågesynpunkt i brandfallet. De typer som finns är först och främst av plast och textil duk.

Tunnelduk finns idag i PVC-belagd polyesterarmerad duk byggd som helvalv eller som takvalv med takränna. Tunnelduken fästs i tvärgående rörprofiler bultat i berget. Duken är motståndskraftig mot droppslitage, kemikalier och olja. Tillsatser krävs för att hindra angrepp från bakterier, alger och mögel. Monteringstiden är kort och duken är billig och enkel att hålla ren. Duken kräver liten plats. Vid skador eller slitage är duken lätt att byta ut. Trafikvibrationer gör att is som bildas mellan berg och duk skakas ner längs kanterna. Leverantören garanterar vattentäthet i 15 år. Det finns även en mineralullsisolerad och dyrare variant, vilken i försök har visats stå emot nedisning bra. Tunnelduken motstår mindre sten nedfall och is laster. Den är godkänd i Norge ur brandsynpunkt för vägtunnlar.

Erfarenheter från Holmestrandtunneln (ÅDT 13000, 70 km/tim och relativt mycket tung trafik) visar att konstruktionen väl klarar den gräns Giertsenduken är godkänd för (ÅDT 2500). Livslängden är beräknad till minst 50 år (Mjelstad, 2018). För att minska belastningen pga. tryck- och sugkrafter är det viktigt att dukens anslutningar i ändarna görs täta. Kan luftströmmarna bakom duken hindras, halveras tryckkrafterna på duken (Statens vegvesen, 1998).

### 2.4.1 Tunnelduk i bergrum

I en artikel från Byggtjänst beskrivs funktionen på en typ av tunnelduk i bergrum (Nordberg 2016).

I Bergrumsgaraget i Stockholm har man valt att hindra inläckande vatten i bergrummet genom att spänna upp en tunnelduk i taket. En utmaning har varit den enorma storleken på anläggningen. En utmaning var hur man skulle hantera inläckaget av vattnet från berget där valet till slut föll på en teknisk lösning i form av en tunnelduk (Nordberg 2016).

Tunnelduk som system har monterats i berganläggningar runt om i världen i över 40 år. Syftet med produkten är att hantera inläckande vatten, fukt och även frost i bergrum och tunnlar. Svenska Försvaret använder tunnelduk i flera av sina anläggningar för att skydda installationer och maskiner mot inläckande vatten samt för att skapa en behaglig arbetsmiljö för de som vistas i berganläggningarna. Systemet kan nämligen även användas som verktyg för att reglera luftfuktigheten med en kontrollerad luftmiljö som följd. I dessa fall klär man in hela anläggningen från golv till golv. Systemet i Bergrumsgaraget består av en armerad duk som genom ett så kallat wiresystem spänns upp i taket med hjälp av bultar. Vattnet som kommer in leds till sidorna för att sedan via rännor transporteras ner till det befintliga dräneringssystemet. Installationer som ventilation och belysning fästs i så kallade installationsbultar som sätts upp i samband med att duken monteras. Detta för att få en så tät genomföring som möjligt så att man undviker risk för läckage. Den stora fördelen är att duken kan demonteras i mindre sektioner utan att installationerna måste demonteras. Något som är bra när man behöver utföra åtgärder på berget. Man kan även på ett enkelt och vattensäkert sätt komplettera sektionerna med så kallade inspektionsluckor. En lösning som är väldigt flexibel eftersom man endast genom att dra upp en dragkedja kan inspektera berget (Nordberg 2016).

Tunnelduken är märkt med euroklass B, S2,d-o, vilket innebär att duken inte är benägen att bidra till flamspridning och inte sprider brand. Detta gör att påverkan på funktionen på sprinkleranläggning blir ytterst begränsad och man behöver endast ersätta den del av duken som förkolnat.

I Slutförvaret för kortlivat radioaktivt avfall, SFR, i Forsmark sker nu försök med ett så kallat tätmembran. Det handlar om en ny metod som ska hindra vatten att droppa från taket i bergssalarna på ungefär samma sätt som ett paraply (SKB 2014).

Den nya lösningen med tätmembran består av tre lager: först täcks berget med ett lager sprutbetong. Därefter lägger man på ett lager polymer, en slags plast som ser ut och luktar som trälim och får en gummiliknande konsistens när den härdar. Till sist täcks ytan med ytterligare ett lager sprutbetong (SKB 2014).

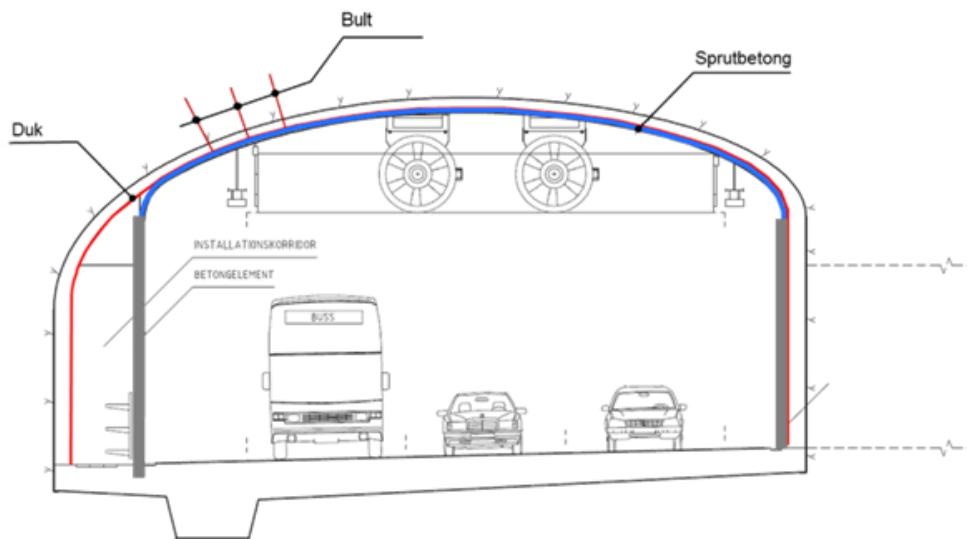
SFR har tidigare löst problemet med vattendropp genom att spänna upp en så kallad tunnelduk. En av de nuvarande bergssalarna och silon förseddes för några år sedan med tunnelduk för att bland annat skydda utrustningen under drift (SKB 2014).

## 2.4.2 Tunnelduk som är godkänd

Fem olika koncepter för frost- och dräneringsskydd är typgodkända i Norge. Tunnelduk är godkänd för lågtrafikstunnlar, dessutom har man fyra lösningar som består av membran, nät och 80 mm sprutbetong. Lösningarna ersätter PE skum / sprutbetong för tunnlar i områden med låga köldmängder ( $F_{10} < 8\ 000\ h$ ). Giertsen tunnelduk har tre olika typer: Tunnelduk (T100) som är enkel tunnelduk godkänd för användning i tunnlar med trafikvolymen ÅDT (20)  $< 2500$ , köldmängder  $F_{10T} < 3000\ h^{\circ}C$ . T100 är monterad i kombination med betongkantelement/ väggelementet. Tunnelduksvalv med 80 mm sprutbetong (T200) och tunnelduk monterad i 1,2 x 1,2 bultmönster och 80 mm sprutbetong (T300). WaPro och Isolon är valvtyper där membranet är monterat i 1,2 x 1,2 m bultmönster och 80 mm sprutbetong med respektive PVC- och PE / PP-membran.

Dessa lösningar är godkända för användning i tunnlar där frostflöde  $F_{10T} < 8000 \text{ h}^\circ\text{C}$ . Metoden förutsätter ett ändarna är täta och att konstruktionen är sluten.

I dag använder Trafikverket en lösning i vägtunnlar som avleder läckande vatten från berget genom att montera en duk på ovensidan av den konstruktion som skiljer trafikutrymmet och teknikrummet från berget. Den tekniska lösningen visas i Figur 1, där duken visas i rött.



Figur 1: Den tekniska lösningen på läckande vatten från berget genom att använda duk (röd färg) som avleder vattnet från trafikrummet och teknikrummet (installationskorridor till vänster om trafikutrymmet). Den blå färgen representerar sprutbetongen och den grå färgen representerar prefabricerade betongväggelement (Trafikverket, 2014).

Vid en eventuell brand i teknikutrymmet vill man förhindra en vidare spridning som kan leda till en omfattande brand i duken ovanför trafikutrymmet. I Figur 2 visas exempel på en lösning med duk som avleder bort vatten.



Figur 2: Bild som visar teknikutrymmet (installationskorridor), betongelement (höger sida) och duken som ligger mot berget (vänster sida) (Foto: RISE).

### 2.4.3 Uppfästning ur bärförmågesynpunkt i brandfallet

Tunnelduk fästs i tvärgående rörprofiler bultade i berget. Enligt uppgift från Giertsen Tunnel AS finns det olika infästningsmetoder. Exempelvis epoxy-infästningssystem från Hilti klarar 10 ton vilket betyder att en Ø16 stålbult är svagare än själva infästningen. Giertsen Tunnel AS har utfört fullskaliga brandförsök i Runehamartunneln. Inga problem noterades för rörprofilen, bultarna, eller infästningen som utsattes för den relativt kraftiga branden. Tunnelduken var också monterad i branden i Eiksundtunneln där två personfordon brann. Även där satt rörprofilerna kvar efter branden. Eftersom duken brinner eller smälter bort vid brand har inte rörprofilen någon viktig funktion ur bärförmågesynpunkt i brandfallet.

## 2.5 Miljövalv

Konstruktionen består av ett valv uppbyggt av isolerade stålkassetter med heltäckande membran. Vid tidigt utförda anläggningar med denna metod har problem uppstått med läckage i bultgenomföringar. Det har även konstaterats brott i bärprofilen av glasfiber på grund av trafikens tryck- och sug effekter. I vissa fall har även korrosion uppkommit på plattorna. Dagens miljövalv är justerade efter tidigare erfarenheter.

Miljövalv är lätta att anpassa efter varierande tvärsnitt. Plattorna är lätta att hålla rena och de är brandsäkra. Plattorna kan lätt bytas ut och därför är det även behändigt att inspektera bakom valvet. Miljövalv tål inte nedfall eller påkörningar.

## 2.6 Norska typgodkända lösningar

I Norge har Norska Vägverket typgodkänt 10 lösningar för frost- och dränerings-skydd (även med avseende på brand) (Buvik 2007):

- PE skum med stålfiberförstärkt betong och PP fiber
- PE skum med nätförstärkt betong och PP fiber
- Prefabricerade betongelement
- Lättbetong
- Gjutning, membraniserad
- WG Tunnelduk T100
- WG Tunnelhvelv T200
- WG Tunnelhvelv T300
- Aluway-isolerad plåtvalv
- WaPro vattenavskärmning
- Isolon Membranvalv
- Skumglas Glasfiberisolering

För mer information se FoU Tunnelutveckling Sluttrapport Fase 1: Brann- og frostsikring Nr. 2489 (Buvik 2007). Priset varierar uppskattningsvis från 500 (WG tunnelduk T100) NOK per m<sup>2</sup> till 1200 (betongelement i helprofil).

## 3 Bedömning av brandsäkerheten

Denna del av projektet syftar till att identifiera befintliga metoder som kan användas för att verifiera hur ett material som används för frost eller dränering i tunnlar eller bergrum uppför sig vid en brand. Ett helt system kan provas i full skala, något som har gjorts i Norge. Ett system kan också utvärderas genom standardiserad provning enligt nationella eller internationella standarder.

### 3.1 Provning i full skala

Handbok 163 i Norge för frost- och dränerings-skydd i tunnlar från 2006 anger brandbeständighetskrav i tunnlar. Det finns också fastställda brandskyddskrav för brandfarliga isoleringsmaterial i tunnlar. Material måste testas för brandlast på 20, 50 och 100 MW, beroende på typen av tunnel.

Ett uttalat mål är att befintligt typgodkänt frost- och dränerings-skydd som innehåller brandfarlig isolering måste testas i fullskalig brand. Sådana tester äger rum i Runehamar Test Tunnel och all implementering och instrumentation är gjord av Fire Research AS.

#### 3.1.1 Brandtest av WG Tunnelduk T100

I november 2005 genomfördes ett fullskaligt brandtest med tunnelduk i Runehamar tunneln (Buvik, 2007). Tunnelduk från Giertsen av typen WG har använts som vattentätning i norska trafik-tunnlar med låg trafikintensitet sedan 1990. Den har också använts i tunnlar med relativt stora frostmängder i enlighet med det typgodkännande som tunnelduken hade förut. En modifierad version av tunnelduken typgodkändes 2005 under benämningen WG Tunnelduk T100. Tillämpningsområdet gäller för tunnlar med ÅDT  $\leq 2500$  och frosthastighet F10T  $< 3000$  h°C.

Tunnelduken bedöms vara självslocknande när avståndet till brandkällan är tillräckligt långt. Duken hade inte testats i full skala tidigare. Tillsammans med Giertsen Tunnel AS genomfördes fullskaletestet den 11 november 2005.



Tunnelvalvet monterades med tunnelduk på en sträcka av 75 m. I en normal montering skulle duken monteras ca. 90 cm över framkanten av betongen. Av praktiska och ekonomiska skäl var det inte gjort i experimentet och det anses också att det inte påverkar testresultatet i positionsriktning i förhållande till tunnelduken, snarare tvärtom. Med en sådan montering skulle en större del av skärmen vara utsatt för branden och i närheten av brandkällan.

Brandstorleken var ca. 25 MW, dvs. motsvarande en mindre lastbil eller buss och med tidstemperaturkurva motsvarande kolvätekurva.

Brandprovet bestod av två försök:

- Ett första försök att bestämma värmeutveckling utan att involvera tunnelduken
- Huvudförsöket med tunnelduken utsatt för bestämd brand:

Försöken visar att WG Tunnelduk T100 inte är benägen att bidra till flamspridning om den blir utsatt för brand. Duken brinner upp eller smälter av den externa branden. Uppfästningen visade inga tecken på att ha påverkats av branden, duken försvinner långt innan den riskerar falla ned på grund av att uppfästningen skulle ge med sig. Det är primärt branden som är avgörande för hur mycket av tunnelduken som kommer att brinna upp. Det finns ingen indikation på att en brand i duken ensam kan spridas under de förhållanden som testades.

### 3.1.2 Branden i Eiksundtunneln 28 juni 2009<sup>2</sup>

Enligt uppgift var Eiksundtunneln utrustad med samma tunnelduk som i Runehamar experimenten ovan. Den 28 juni 2009 krockar en Mercedes personbil i nästan 200 km/h, landar på taket och börjar brinna bredvid en VW. Båda bilarna blev helt utbrända. Delar av duken revs upp vid krocken. Bilbranden ledde till att duken i anslutning till branden brann upp eller smälte. Uppfästningen satt kvar efter branden, men 5 sektioner (5\*1.5 m) duk brann eller smälte i anslutning till branden.

### 3.1.3 Brandtest av PE-skum med stålfiberarmerad sprutbetong

Syftet med detta brandförsök var att verifiera hur en konstruktion baserad på gamla monteringsprinciper hanterar en fullskalig brand på 50 MW.

Testobjektet var ett 12m långt fält med gamla skumplattor PE som hade varit i tunneln under lång tid. Dessa var brandskyddade med 70 mm stålfiberförstärkt sprutbetong med 2 kg PP fiber pr.m<sup>3</sup>.

Brandkällan var 6000 liter diesel i ett 20m<sup>2</sup> balja vilket ger en värmeeffekt i storleksordningen 50 MW brand. Brinntiden var 90 minuter med en tidtemperaturkurva motsvarande hydrokarbonkurvan. Smält betong nedströms branden indikerar temperaturer på ytan av ca. 1250 °C. Ventilationshastigheten var ca. 2,5 m / s.

Sprutbetongskalet var intakt under experimentet. Efter inspektion kunde stor variation i tjockleken på betongen (50 mm - 150 mm) identifieras. Allt PE-skum bakom

<sup>2</sup> <https://www.smp.no/nyheter/article113042.ece> [Access date: 2018-09-21]

sprutbetongen smälte eller förbrändes. I väggarna var PE-skummet delvis intakt med smältskada. Det bör noteras att kravet på sprutbetongens tjocklek är minst 70 mm.

### 3.1.4 Brandtest av PE-skum med nätarmerad sprutbetong

Syftet med detta brandförsök var att verifiera hur modern brandskyddad PE-skum hanterar en brand i storleksordningen 100 MW. En sådan brandbelastning motsvarar kraven för belastning på konstruktioner i tunnelklass D enligt Hb. 021 Vägtunnlar.

Testobjektet var ett 22m långt fält med nya layouter PE-skumpaneler enligt samma princip som används i dagens tunnelproduktion. Som skydd användes enligt standard 80 mm nätförstärkt sprutbetong med 2 kg PP fiber per m<sup>3</sup>.

Testbranden bestod av 11000 liter diesel i en 40 m<sup>2</sup> stor balja med en tid-temperaturkurva som överstiger både HC och RWS kurvan (snabbare temperaturstigning och högre maxtemperatur) under ca en timme.

Testobjektet var intakt under experimentet och endast en mindre förskjutning registrerades. Efter inspektion observerades endast mindre smältskador i PE-skum. Det fanns ingen antydning till antändning av PE-skum i kaviteten bakom betongbetongvalvet. Slutsatsen var att sprutbetongskyddet motstod brandprovet.

## 3.2 Standardiserad provning i mindre skala

Av kostnadsskäl kan en provning i mindre skala vara att föredra. Ett helt system kan t.ex. provas i en ugnsprovning med en given tid-temperaturkurva. En del av ett system, t.ex. ett brännbart ytskikt kan provas i mindre skala, t.ex. SBI-metoden där ytskiktet utsätts för en propanflamma. Flera marknadsområden har sina egna metoder och krav och sammantaget finns det ett stort antal brandprovningmetoder. För byggprodukter och byggnadskonstruktioner finns ett system för provning och klassificering framtaget under Byggproduktförordningen. Sjöfarten har sina direktiv och provningsmetoder. Det finns system för elektriska produkter, för fordon osv. Med en begränsad del av dessa metoder som underlag kan en provningsmetodik för produktens eventuella bidrag till brandspridning utvecklas.

Svårigheten med befintliga metoder är att en brand under mark skiljer sig från en rumsbrand. En tunnelbrand kan producera betydligt mera effekt än de flesta andra bränder. De flesta provningsmetoder utvärderar allt från antändlighet, flamspridning och värmeutveckling (se Tabell 1) i liten skala till en nivå som liknar en fullt utvecklad rumsbrand, en värmeeffektutveckling på ca 1 MW. Vid en tunnelbrand är det fordon som brinner och en normal personbil beräknas kunna utveckla en värmeeffekt på ca 5 MW medan en fullt lastad lastbil kan utveckla en värmeeffekt på över 200 MW. En brand i en stor brandcell, t.ex. 300 m lång skiljer sig tydligt från en rumsbrand.

I SP Rapport 2008:13 (Johansson and Boström 2008) togs kriterier fram för att bedöma byggprodukter och brandavskiljande tunnelkonstruktioner som används i tunnlar. En tunnelkonstruktion skall utformas så att vissa brandsäkerhetskrav uppfylls. Brandsäkerhetskraven kan delas upp i två delar där den första delen beaktar en produkt som exponeras för brand medan den andre delen beaktar en konstruktion som skyddar en bakomvarande produkt från brand. Det hela leder till en provningsmetodik som beskrivs nedan.

### Brandsäkerhetskrav 1:

I många fall är dukar eller membran monterade mot ett material, t.ex. betong. Produkten får då enbart ge ett försumbart bidrag till brandspridning. Produkten ska inte utveckla stora mängder värme eller rök. Produkter utvärderas med avseende på antändning, värme- och rökutveckling samt flamspridning.

En duk eller ett membran skall därför uppfylla kraven för Euroklass B, C eller D enligt EN 13501-1 (2007).

SBI-metoden (EN 13823) är en lämplig metod. Provningsproceduren är lika för klasserna B, C och D så provning kan genomföras även om man inte i förväg bestämt sig för vilken klass som är lämplig för ändamålet. Krav på rökproduktion bör minst vara s2 och krav på flammande droppar bör lägst vara d1.

Notera att det för fritt hängande dukar eller membran bör ställas tuffare krav eftersom de inte kyls av bakomliggande material (t.ex. betong eller berg), då rekommenderar vi brandegenskaper motsvarande klass B enligt EN 13501-1. Vid krav på rökproduktion bör det vara minst s2 och krav på flammande droppar bör lägst vara d1. Uppfästning av fritt hängande dukar bör vara gjord så att duken smälter eller brinner upp innan uppfästningssystemet riskerar falla ned, detta verkar dock inte vara något problem utifrån de fall vi känner till där duken fästs i tvärgående rörprofiler bultade i berget.

### Brandsäkerhetskrav 2:

En brandavskiljande konstruktion skall vara tät mot genomsläpp av flammor och gaser och vara så värmeisolerande att temperaturen på den av brand opåverkade sidan inte medför risk för brandspridning i bakomliggande brännbara material. Konstruktionen skall utformas så att den upprätthåller sin avskiljande funktion under den tidsperiod som anses vara rimligt för evakuering av människor och att räddningstjänsten klarar genomföra sin insats. Den brandavskiljande konstruktionen får dessutom inte falla ned.

Här ska säkerställas att branden inte sprids genom avskiljande konstruktioner som branddörrar eller tunnelväggar. Produkter och konstruktioner utvärderas med avseende på integritet och isolering, samt andra faktorer som kan påverka säkerheten.

Konstruktionen skall därför klara följande krav vid provning mot lämplig tid och temperaturkurva (klass, t.ex. EI 60) enligt EN 1363:

- Brandmotståndsklass skall uppfyllas.
- Medeltemperaturen över hela provkroppen i gränssnittet mellan en skyddande produkt och en bakomvarande brännbar produkt ska inte överstiga 250°C.
- Den skyddande produkten skall ha spjälkat mindre än 10 % i medeldjup.
- Den skyddande produkten skall ha ett maximalt spjälkdjup på 50 %.

Ett alternativ till EN1363 är liknande krav i provningsmetoden SP-Brand-119 som är en ugn för mindre provobjekt, i storleksordningen 0.5\*0.5 m<sup>2</sup>.

## 4 Slutsatser

I den här rapporten har en mängd system och produkter som kan användas för att dränera och frostskydda tunnlar och berggrum redovisats. Olika system och produkter passar för olika ändamål och olika bergförhållanden. Systemets eller produktens brandegenskaper kan utvärderas genom provning på tre sätt.

#1 Ett helt system kan provas i full skala i en tunnel eller ett berggrum på liknande sätt som idag görs i Norge. Detta kan dock vara dyrt eller praktiskt problematiskt.

#2 En bit av ett helt system kan också provas i en ugn enligt någon av de standardiserade provningsmetoderna EN 1363 eller SP-Brand-119.

#3 Ingående brännbara produkter såsom membran eller tunneldukar kan provas enligt EN 13823, d.v.s. den metod som används för att klassa ytskikt för byggprodukter. SBI-metoden är en lämplig metod. Om produkten är monterad mot ett obrännbart material (t.ex. betong) rekommenderar vi brandegenskaper motsvarande klass B, C, eller D enligt EN 13501-1. Om membranet eller duken hänger fritt rekommenderar vi brandegenskaper motsvarande klass B enligt EN 13501-1. I fall där det behövs krav på rökproduktion så bör det vara minst s2 och krav på flammande droppar bör lägst vara d1.

Vi föreslår följande funktionskrav för brandsäkerhet hos dräner- och frostskyddssystem: *En brand ska inte kunna spridas längs eller inuti systemet.* Detta kan enklast verifieras med hjälp av #3 ovan.

Ytterligare funktionskrav kan behövas i de fall systemen utgör brandcellsgräns eller har en viktig bärande funktion. Då testas hela systemet (inte bara duk eller membran), enklast genom #2 ovan.

Gängse uppfästning av dukar är gjord så att duken smälter eller brinner upp långt innan uppfästningssystemet riskerar falla ned. Uppfästning av tyngre inklädnader ska behålla sin bärförmåga för den brandlast som inklädnaden är dimensionerat för.

## 5 Referenser

(2007). EN 13501-1:2007+A1:2009 Fire Classification of construction products and building elements - Part 1: Classification using data from reaction to fire tests.

Buvik, H. (2007). FoU Tunnelutvikling, Slutrapport Fase 1: Brann- og frostsikring, Statens Vegvesen.

Johansson, P. and L. Boström (2008). Metodik för verifiering av brandspridning i vägtunnelkonstruktioner. Borås, SP Brandteknik.

Nordberg, M. (2016). Tunnelduk förenklar driften i Berggrumsgaraget. Svensk Byggtjänst. Sweden, Svensk Byggtjänst.

SKB (2014). Ny metod minimerar droppande vatten.

Vägverket (2002). Förstudie till FoU-rampprojekt - Tätning och frostsäkring av tunnlar Vägverket.

Trafikverket (2014), E4 Förbifart Stockholm, FSE302 Teknisk beskrivning Innertak, Bygghandling, 3B071503-FSE302.docx, fig 3, sid 13.

Andre Mjelstad (2018), Personlig kommunikation, W.Giertsen Tunnel AS.

Through our international collaboration programmes with academia, industry, and the public sector, we ensure the competitiveness of the Swedish business community on an international level and contribute to a sustainable society. Our 2,200 employees support and promote all manner of innovative processes, and our roughly 100 testbeds and demonstration facilities are instrumental in developing the future-proofing of products, technologies, and services. RISE Research Institutes of Sweden is fully owned by the Swedish state.

I internationell samverkan med akademi, näringsliv och offentlig sektor bidrar vi till ett konkurrenskraftigt näringsliv och ett hållbart samhälle. RISE 2 200 medarbetare driver och stöder alla typer av innovationsprocesser. Vi erbjuder ett 100-tal test- och demonstrationsmiljöer för framtidssäkra produkter, tekniker och tjänster. RISE Research Institutes of Sweden ägs av svenska staten.



RISE Research Institutes of Sweden AB  
Box 857, 501 15 BORÅS  
Telefon: 010-516 50 00  
E-post: [info@ri.se](mailto:info@ri.se), Internet: [www.ri.se](http://www.ri.se)

Safety  
RISE Rapport : 2018:54  
ISBN: 978-91-88695-98-7