

## Resultater fra ett års testing av BASF Måsterseal i Frostlaboratoriet ved SINTEF

Er frostmengde en relevant parameter for dimensjonering av vann- og frostsikring?

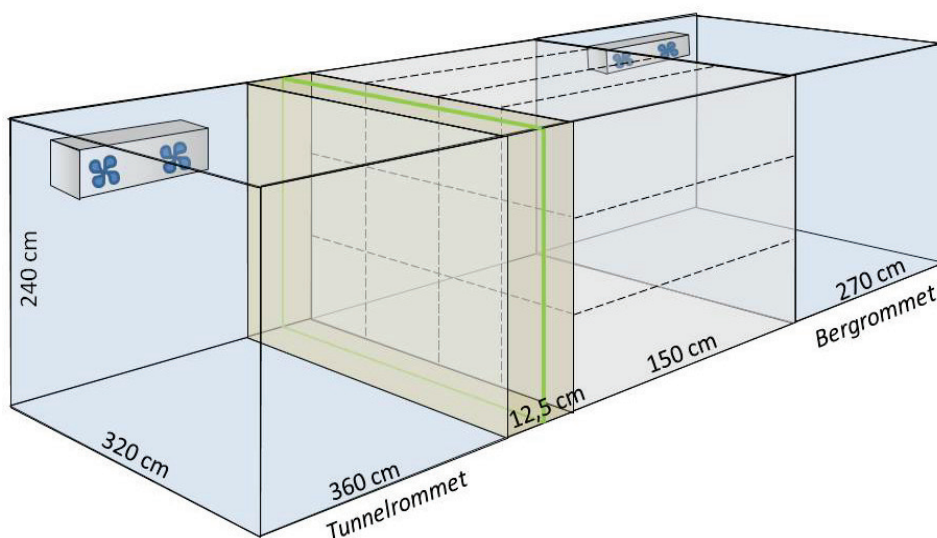
*Tekst: Eivind Grøv, sjefsforsker ved SINTEF Byggforsk*

*Illustrasjoner: SINTEF Byggforsk*

I forbindelse med bestemmelse og valg av konsept for vann- og frostsikring for enhver infrastrukturtunnel foreligger ulike metoder til anvendelse for ulike frostmengder. Statens vegvesen har gitt typegodkjenning til ulike metoder, både isolerte og uisolerte løsninger. Jernbåneverket bruker i stor grad de samme godkjenningene. Betydningen av frostmengde og kunnskapen om varmeutveksling mellom den varme bergmassen og den kalde tunnelluften er imidlertid ikke fullt ut forstått. Hvor dypt inn i bergmassen når null-isoterme, og hvordan utveksles varme mellom bergmassen og tunnelen gjennom vann- og frostsikringselementene?

Det er mye man ikke har konkret kunnskap om i dag og mangler vitenskapelig dokumentasjon på. Dette gjelder også forhold som hva de ulike konseptene tåler av frostpåvirkning og hvordan frosten opptrer rundt/bak disse. Hva skjer bak avskjermingen, og hva representerer de frostgrensene man har satt for de ulike konseptene? Representerer frostmengdebegrepet slik det er definert i dag den virkelige, eller i nærheten av den virkelige situasjonen i en tunnel? Kan man optimalisere installasjonene av vann- og frostsikring?

Dette var problemstillingene slik de var utmeislet da Frostlaboratoriet ble bygget. Frostlaboratoriet ser i prinsippet ut som i figuren under, ett bygg med isolerte vegger, gulv og tak, og med ei steinblokk av Størenggranitt plassert midt i den fysiske modellen. Kjæleaggregat muliggjør endring av temperaturen i de to rommene, ned til  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  i Tunnelrommet og jevn temperatur på  $8\text{--}10\text{ }^{\circ}\text{C}$  i Bergrommet. Temperaturen i Bergrommet holdes konstant, og temperaturen i Tunnelrommet justeres. Målepunkter i steinblokk registrerer hvordan berget responderer på de endrede temperaturbetingelsene i Tunnelrommet.



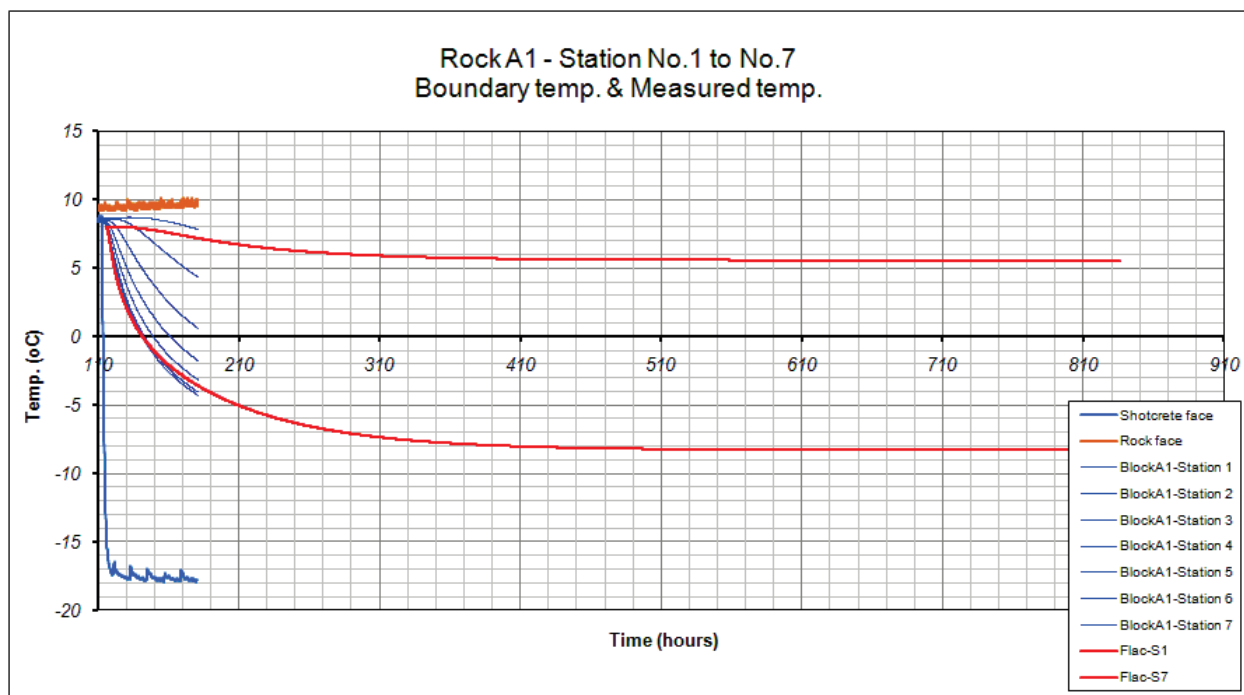
Figur 1. Skisse av Frostlaboratoriet med steinblokk midt i med bredde 150cm og Måsterseal applikasjonen inn mot Tunnelrommet

### Validering av den fysiske modellen

De første testene som ble kjørt i Frostlaboratoriet viser at den fysiske modellen som er bygget fungerer godt i forhold til de forventinger man hadde til oppsettet og reflekterer den virkelige situasjonen. Resultatene som er oppnådd, sett sammen med modelleringer viser at det er en modell som reagerer realistisk på temperaturendringer og -laster. I modellen benyttes steglaster, dvs. at temperaturendringer på tunnelsiden skjer momentant. I virkeligheten skjer temperaturendringene gradvis. Forsøk og beregninger har vist at dette ikke har noen praktisk betydning for temperaturfordelingen i steinblokka. Temperaturutviklingen foregår likedan når man kjøler ned som når man varmer Tunnelrommet opp. Vi ser av de gjennomførte testene at vi har god korrelasjon mellom testene i Frostlaboratoriet, de numeriske modellene og analytiske teorier/modeller.

### Observasjonene gir grunnlag for følgende postulater

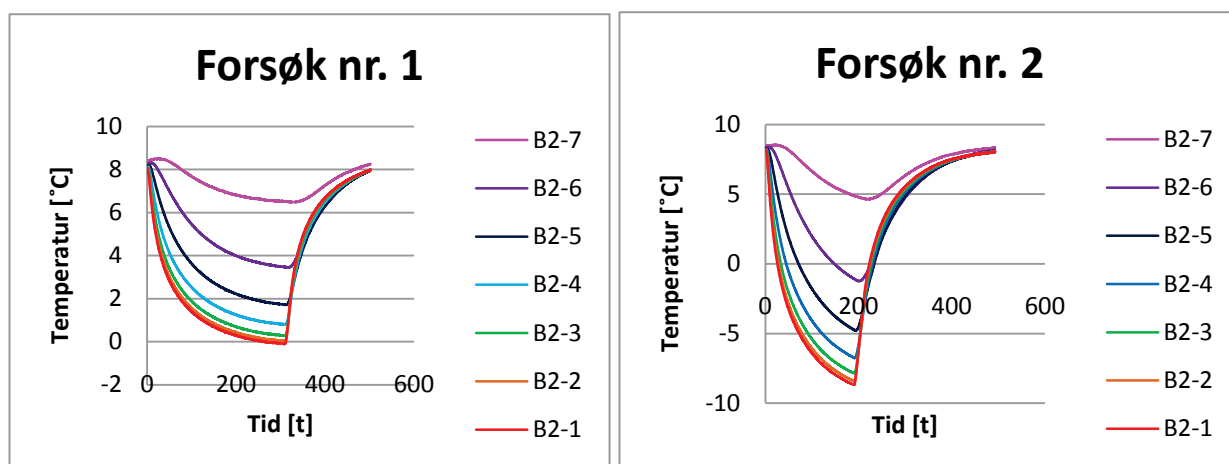
Postulat 1: Frostmengden har kun betydning for inntrengningsdypet for 0-isotermen så lenge utviklingen i frostfronten ikke har stabilisert seg, eller nådd en 'steady-state' situasjon. Tiden spiler da inn noe som igjen har betydning for frostmengdens absolutte størrelse.



Figur 2. Kurvetilpasning av resultater fra Frostlaboratoriet sammenliknet med numerisk modellering

Fordi: Observasjoner og beregninger viser at etter at frostinntrengingen, eller 0-isotermen har stabilisert seg endres temperaturen i berget lite over tid.

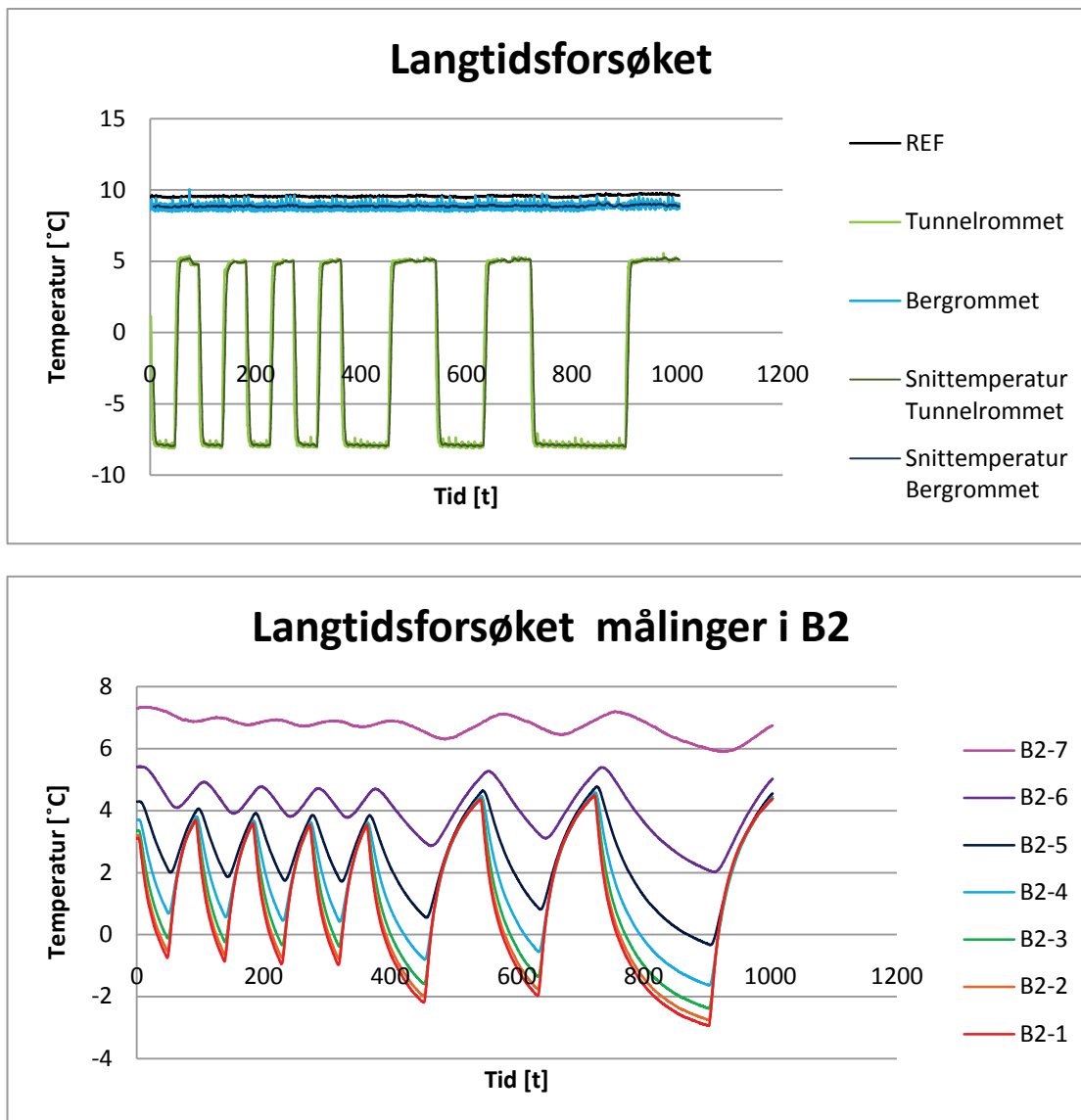
Postulat 2: Det er temperaturen (laveste) i gjentatte sykler som bestemmer hvor dypt 0-isotermen når, ikke varigheten (så lenge temperaturen er stabilisert), og derigjennom heller ikke frostmengden som i dag benyttes for bestemmelse av vann- og frostsikringen.



Figur 3. Temperaturutvikling ved  $-3,6^{\circ}\text{C}$  (venstre) og  $-17,5^{\circ}\text{C}$  (høyre)

Fordi: Observasjoner viser at jo lavere temperaturen i Tunnelrommet er, jo dypere inn berget når 0-isotermen før utflatning og en stabil situasjon finner sted.

Postulat: 0-isotermen flyttes ikke ved gjentatte sykluser over tid, enten høyeste temperatur er over eller under null, altså er den uavhengig av frostmengden.



Figur 4. Temperatursyklusene (grafene øverst) og responsen i temperaturfølerne (grafene nederst)

Fordi: Observasjoner viser fra disse testene at man oppnår en så godt som symmetrisk og identisk utvikling av temperaturutviklingen i berget når temperaturen i Tunnelrommet sykler likt, og frostinntrengingen starter 'på nytt' hver gang temperaturen faller under null.

Postulat 3: Frostmengden i perioder med kulde som avløses av perioder med varmegrader i Tunnelrommet kan ikke akkumuleres til en samlet frostmengde, da de fremkommer som uavhengige hendelser. Skal frostmengden vurderes må den begrenses til den frostmengde som opptrer i en og samme sammenhengende frostsyklus.

Fordi: Målingene viser en så godt som symmetrisk og identisk utvikling av temperaturutviklingen i berget når temperaturen i Tunnelrommet sykler. Se figur 4 over.

### Om frostmengdebegrepet

Summerer man disse enkeltpunktene kan følgende sies om frostmengdebegrepet; det er laveste temperatur som har betydning for 0-isotermens utbredelse, men lave temperaturer krever tid for å stabiliseres og der ligger en forbindelse til begrepet frostmengde. Eller sagt med andre ord; det finnes muligens en 'KRITISK Frostmengde' som medfører en 'steady state' utvikling av 0-isotermens utbredelse og denne kritiske frostmengden er avhengig av 'laveste' temperatur som opptrer i en gitt tidsperiode i en tunnel, bergmassens termiske egenskaper og dets temperatur.

Utover en KRITISK Frostmengde som beskrevet over er frostmengdebegrepet uegnet for å beskrive 0-isotermens utbredelse i berget. Det er temperaturen og ikke varigheten som er den drivende kraften i inntrengingen. Varigheten kan være uendelig og frostinntrengningen vil likevel ikke endres så lenge temperaturen ikke senkes.

Det tillegges at dette gjelder for frostmengder og temperaturer innenfor det som er rimelig og naturlig å operere under når det gjelder veg- og jernbanetunneler som utsettes for normale klimatiske endringer jevnlig. Når det gjelder referanser til for eksempel beregninger og registreringer gjort for kjølelager i bergrom og nedkjølte LPG-lager der temperaturen ofte er  $-20^{\circ}\text{C}$  og lavere (ned mot  $-42^{\circ}\text{C}$  i LPG-lager) og varigheten med slik temperatur kan være flere titalls år så vil selv en svært liten gradient etter utflåting medføre at 0-isotermen vokser utover i berget, men ved lav hastighet. Vi har flere eksempler fra numerisk modellering av slike og også virkelige målinger ved anlegg. I praksis vil den også i slike tilfeller nå et 'steady-state' nivå.

Det fremgår også av de ovennevnte konklusjoner fra forsøket at varighet har betydning for å opprettholde en 'steady-state' situasjon. Det betyr at dersom varigheten av en kuldeperiode er kort responderer bergmassen med å skyve 0-isotermen tilbake mot Tunnelrommet.

### Frostsprenning knyttet til BASF Masterseal 345

Avslutningsvis, ut fra testene kan man si at kombinasjonen av *BASF Masterseal* og sprøytebetong i den utførelsen som her foreligger ikke utgjør en spesielt effektiv barriere med tanke på beskyttelse mot frost, men det gir en liten forsinkelse av frostinntrengningen. Denne forsinkelsen er avhengig av laveste temperatur i en syklus. Selv med et beskjedent antall kuldegrader ble det målt negative temperaturer bak membranen. Det er heller ikke meningen at konseptet skal ha stor isolerende effekt, men å forhindre fritt vann å komme inn i tunnelen. Når det gjelder vannsikringsegenskapene er disse som kjent ikke testet i Frostlaboratoriet, men dersom kombinasjonen av Masterseal og sprøytebetong forhindrer fritt vann i tunnelen vil det ikke bli noe problem med is i tunnelen. Et annet spørsmål i den sammenheng er om vann som fryser bak vann- og frostsikringen kan ødelegge den eller berget på noen måte. Ut i fra de foreløpige resultatene vi har så tyder det ikke på at slik sprengning vil påføre konstruksjonen skade.

I den fysiske modellen er det også pre-boret 4 hull tvers igjennom steinblokk, og disse ble i en test fylt med vann under moderat trykk. Forsøkene som er gjort med vann viser at de målte bevegelsene er så liten at de skyldes sannsynligvis målefeil, og vi har ikke kunnet registrere frostsprenning med den målenøyaktigheten som dette utstyret har, men som for dette formålet anses å være tilstrekkelig.