



Statens vegvesen

# FoU Tunnelutvikling Sluttrappport Fase 1: Brann- og frostsikring

**RAPPORT**

Teknologiavdelingen

Nr. 2489



Geo- og tunnelseksjonen  
Dato: 2007-05-21



**Statens vegvesen**

Vegdirektoratet  
Teknologiavdelingen

Postadr.: Postboks 8142 Dep  
0033 Oslo

Telefon: (+47 915) 02030

www.vegvesen.no

## TEKNOLOGIRAPPORT nr. 2489

Tittel

### FoU Tunnelutvikling Sluttrapport Fase 1: Brann- og frostsikring

Utarbeidet av

Harald Buvik

Dato:

2007-05-21

Saksbehandler

Harald Buvik

Prosjektnr:

601350

Kontrollert av

Mona Lindstrøm

Antall sider og vedlegg:

34

#### Sammendrag

Statens vegvesen har gjennom FoU prosjektet "Tunnelutvikling" i perioden 2005 - 2007 hatt fokus på brann- og frostsikring av tunnelkledninger. Et ønske om å finne alternativer til PE skum har vært hovedmålsetningen. Prosjektet har brukt mye tid og ressurser til møter med industrielle aktører innenfor vann- og frostsikringsmiljøet i Norge. Det har vært en forutsetning at industrien skulle engasjeres i dette arbeidet.

Prosjektet har brukt mye ressurser på fullskala branntesting av typegodkjente vann- og frostsikringskledninger. Testene har først og fremst vist at PE skum med godkjent brannbeskyttelse av sprøytebetong tilsatt PP fiber gir en fullgod beskyttelse gitt de betingelser som testene forutsatte. I prosjektperioden er det utviklet ett alternativ med ubrennbar isolasjon bak veggelementer av betong. Alternativer til PE-skum i tunneler med lavere forstmengder er også blitt typegodkjent.

Prosjektet har ikke funnet et optimalt alternativ som dekker lave så vel som høye frostmengder slik som PE skummet gjør i dag. Imidlertid har resultatene så langt vist at man er godt i gang med å tilfredsstille deler av målsetningen. Arbeidet er tidkrevende og man må ha et langsiktig perspektiv for å kunne lykkes. Man vil intensivere/videreføre arbeidet med å utvikle nye ubrennbare løsninger.

På bakgrunn av det arbeidet som er utført vil prosjektet foreslå at policyvedtaket i VLM i møte 5/2004 blir opphevet og at ny policy innebærer at PE skum med godkjent brannbeskyttelse aksepteres i alle eksisterende tunneler. For nye tunneler derimot vil man videreføre/intensivere arbeidet med å utvikle nye ubrennbare løsninger som endelig målsetning.

#### Summary

Emneord:

Tunnel, vann- og frostsikring, PE-skum,brann



<b>1</b>	<b>SAMMENDRAG</b> .....	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>BAKGRUNN FOR PROSJEKTET</b> .....	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>ORGANISASJON OG ARBEIDSFORM</b> .....	<b>5</b>
<b>4</b>	<b>BEMANNINGSOVERSIKT OG RESSURSBRUK</b> .....	<b>6</b>
<b>5</b>	<b>RUNEHAMAR TEST TUNNEL</b> .....	<b>8</b>
<b>6</b>	<b>RESULTATER</b> .....	<b>10</b>
6.1	FROSTSIKRING.....	10
6.2	VANNAVSKJERMING.....	11
6.2.1	<i>WG Tunnelduk T100</i> .....	11
6.2.2	<i>WG Tunnelhvelv T200</i> .....	12
6.2.3	<i>WG Tunnelhvelv T300</i> .....	12
6.2.4	<i>WaPro vannavskjerming</i> .....	12
6.2.5	<i>Isolon Membranhvelv</i> .....	12
6.3	INJEKSJON.....	12
6.4	LETTE METALLHVELV.....	13
6.4.1	<i>Aluway Isolert platehvelv</i> .....	13
6.5	ISOLASJONSMATERIALER.....	14
6.6	LETTBETONGHVELV.....	15
6.7	SKUMGLASSHVELV.....	17
6.8	BRANNSIKKERHET OG TESTING.....	18
6.8.1	<i>Branntest av WG Tunnelhvelv T100</i> .....	19
6.8.2	<i>Branntester av PE skum med sprøytebetong</i> .....	21
6.9	OVERSIKT TYPEGODKJENTE LØSNINGER.....	24
<b>7</b>	<b>LØSNINGER UNDER UTVIKLING</b> .....	<b>25</b>
7.1	BESKRIVELSE AV BASF SPRØYTBART KONSEPT.....	25
7.2	BESKRIVELSE AV APLITT-KONSEPTET.....	26
7.3	BESKRIVELSE AV FLEXIHVELVET.....	27
7.4	BESKRIVELSE AV K-3 HVELVET.....	27
7.5	BESKRIVELSE AV CEASEFIRE BESKYTTELSESMATERIALE.....	28
7.6	BESKRIVELSE AV ISOLERT WAPRO.....	28
<b>8</b>	<b>VURDERINGER I FORHOLD TIL POLICYVEDTAKET</b> .....	<b>30</b>
<b>9</b>	<b>VIDERE ARBEID</b> .....	<b>32</b>
<b>10</b>	<b>OPPSUMMERING OG KONKLUSJON</b> .....	<b>33</b>
<b>11</b>	<b>RAPPORTLISTE</b> .....	<b>34</b>

# 1 Sammendrag

Statens vegvesen har gjennom FoU prosjektet ”Tunnelutvikling” i perioden 2005 – 2007 hatt fokus på brann- og frostsikring av tunnelkledninger. Et ønske om å finne alternativer til PE skum har vært hovedmålsetningen.

Prosjektet har brukt mye tid og ressurser til møter med industrielle aktører innenfor vann- og frostsikringsmiljøet i Norge. Det har vært en forutsetning at industrien skulle engasjeres i dette arbeidet. FoU arbeid er generelt tidkrevende og et konkret samarbeidsprosjekt i form av mulig OFU kontrakt er først kommet til en realitet i disse dager. Dette samarbeidet om utvikling av Aplittbetong (i både fast og sprøytbar form) er imidlertid både innovativt og teknologisk fremtidsrettet.

Prosjektet har videre brukt mye ressurser på fullskala branntesting av typegodkjente vann- og frostsikringskledninger. Dette har i hovedsak betydd testing av brannbeskyttet PE skum. Prosjektet har hatt Runehamar Test Tunnel for gjennomføring av testene og det er brukt store ressurser i å oppgradere tunnelen til et fullverdig testeanlegg.

Testene har først og fremst bevist at PE skum med brannbeskyttelse av sprøytebetong tilsatt PP fiber gir en fullgod beskyttelse gitt de betingelser som testene forutsatte. Brannstørrelser opp i 100 MW og med over 1100 °C temperaturpåkjenning i mer enn to timer tilfredstiller langt på veg kravene etter HC (hydrocarbon) brannkurven i tid/temperatur. PE skummet bak brannbeskyttelsen var lite påvirket.

I prosjektperioden er det typegodkjent flere varianter av ”vannavskjermet sprøytebetong” som er et konsept bestående av membran og sprøytebetong godkjent for lavere frostmengder. Det fremstår som et reelt alternativ til PE skum i slike tunnelklasser. Det foregår nå uttesting av en isolert løsning av dette konseptet. Ressurser tilhørende prosjektet har vært involvert i disse prosessene.

I prosjektregi er det utviklet et reelt alternativ til det brennbare XPS isolasjonen bak veggelementer. Foamglas er ubrennbart, materialet fremstilles av glass og kull, det er stabilt og vil bevare isoleringsevnen over tid.

Prosjektet har ikke funnet et optimalt alternativ som dekker lave så vel som høye frostmengder slik som PE skummet gjør i dag. Imidlertid har resultatene så langt vist at man er godt i gang med å tilfredsstille deler av målsetningen. Arbeidet er tidkrevende og man må ha et langsiktig perspektiv for å kunne lykkes. Man vil intensivere/videreføre arbeidet med å utvikle nye ubrennbare løsninger innenfor de områdene som mangler og som vil ha et prisnivå mellom betongelementer og brannbeskyttet PE. Denne målsetningen vil inngå som del i fase 2 i Tunnelutviklingsprosjektet.

Prosjektet har ikke vurdert mulighetene for inspeksjoner bak vann- og frostsikringskonstruksjoner og hvorledes slik eventuell tilgjengelighet er tilrettelagt ved de ulike typegodkjente konsepter.

## 2 Bakgrunn for prosjektet

På Vegdirektørens ledermøte nr 5 - 2004 ble regler for bruk av PE-skum i norske vegtunneler diskutert. Følgende vedtak som omfatter policy og fremtidige løsninger ble fattet:

*Konklusjon: Statens vegvesen har som mål å avvikle bruken av brennbart isolasjonsmateriale (PE-skum) som vann- og frostsikring i nye tunneler.*

*Fremtidige løsninger:*

*Det iverksettes et forskningsprogram som innen utgangen av 2006 skal kunne gi oss materialer som er ubrennbare og som er godt egnet til vann- og frostsikring.*

*Programmet må legges opp slik at det blir en utfordring til næringslivet. Statens vegvesen må utforme kravspesifikasjonene til materialet som skal utvikles.*

På bakgrunn av dette ble tunnelrelatert utviklingsarbeid ved Teknologivdelingen satt sammen til ett prosjekt med overnevnte hovedfokus for å forene krefter og synliggjøre utfordringen. Bakgrunn for VLM's beslutning ligger i nye EU regelverk og de fakta at Europa ser en økende tendens til bil-og tunnelbranner de senere år. Med variasjoner i de norske løsninger for vann- og frostsikring i tunneler, er det behov for å vurdere disse opp mot framtidens samferdselsbehov, deri også brannkrav.

Prosjektets hovedmålsetning er;

- Sannsynliggjøre at etaten kan komme fram til nye materialer egnet for vann- og frostsikringskonsepter som ivaretar funksjonskrav og tekniske krav til hhv. vann-, frost- og brannsikring.
- Kommunisere etatens behov ovenfor bransjen og sørge for større tilgjengelighet for etatens samarbeidspartnere innen fagfeltet tunnel.
- Koordinere etatens erfaringer på tunnelsiden og dokumentere de mest benyttede løsninger i et levetidsperspektiv.
- Dokumentere de mest utbredte eksisterende tunnelloesninger i forhold til sikkerhet og sårbarhet knyttet til framtidige rammebetingelser.

Første delmål innebærer et utstrakt samarbeid med leverandører og entreprenører i markedet for å få fram nye materialkunnskap. De mest aktuelle konsepter bør tas videre med en målsetting å kunne utforme utviklingskontrakter.

Andre delmål må fokusere både på tryggheten i de tunnelloesninger vi har etablert og behovet for nye, tekniske løsninger begrunnet i nyere krav og retningslinjer. Det bør også være et mål for etaten å kunne kommunisere mer effektivt med brukere både i forhold til vegbruker informasjon og i forhold til bransjerelatert kunnskap som retningslinjer, regleverk etc. via nettet. Programmet må derfor også inneholde en kommunikasjonsplan og det vil være nødvendig med et eget delprosjekt på tilretteleggelse av etatens tunnelfaglige informasjon for eksterne brukere.

Tredje delmål innebærer en vurdering av levetidskriteriene for tunnelkonstruksjoner. Vi ser at det er stort sprang mellom teoretisk levetid og omfattende utskifting av tekniske løsninger. Dette arbeidet vil være svært viktig for å kunne utvikle framtidige løsninger basert på etatens beste erfaringer.

Fjerde delmål er viktig fordi det jevnlig stilles spørsmål ved tunnelsikkerhet og brann. Vi har mange tunneler med løsninger som ikke tilfredsstiller dagens krav, men som likevel må stå med dagens standard i lang tid. Vi må kunne dokumentere hvordan vi vurderer disse løsningene i relasjon til brann og sikkerhet.

For å nå målene, er det viktig at prosjektet har god kommunikasjon og dialog med de aktuelle prosjekter som pågår i etaten slik at en samlet vurdering kan foretas. Et virkemiddel i dette vil være å arrangere seminar/temadag for målgruppen prosjekt- og byggeledere på tunnelprosjekt i etaten. Også vedlikeholdssiden og planleggere kan her involveres.

Et suksesskriterie vil være å framstå som et dynamisk, kompetent, samlet og kommuniserende tunnelmiljø.

### 3 Organisasjon og arbeidsform

Prosjektet er forankret på Teknologivdelingen der Teknologidirektør leder styringsgruppen.

Styringsgruppe:

Teknologidirektør Helen Riddervold

Utbyggingsdirektør Lars Aksnes

Seksjonsleder Trafikksikring Finn Harald Amundsen

Stabsdirektør Bjørn Erik Selnes

Prosjektdirektør Reg Øst Stein Fyksen

Distriktssjef Sogn Nils Magne Slinde

Distriktssjef Ålesund Kirsti Slotsvik (t.o.m 2006)

Sentralt og landsdekkende tunnelforum har fungert som ressursgruppe for prosjektet.

Prosjektleder er Ruth Gunlaug Haug i tett samarbeid med Harald Buvik som har ledet delprosjektene så langt. Prosjektet ligger i linja, men har høy fokus i Teknologivdelingen. Det rapporteres derfor i linja, med kopi til Teknologidirektør. Øvrige ressurser er i hovedsak hentet fra Teknologivdelingen. Det forutsettes også et aktivt og tett samarbeid med eksterne.



## 4 Bemanningsoversikt og ressursbruk

Prosjektbemanningen har bestått av:

Navn	Seksjon	Tidsperiode
Ruth Gunlaug Haug – prosjektleder	Geotun	1.5.05– 1.11.06
Harald Buvik-nestleder og sekretær	Geotun	Heltid
Alf T Kveen	Geotun	Deltid
Mona Lindstrøm	Geotun	Deltid
Claus Larsen	Material	Deltid
Finn Fluge	Material	Deltid
Per Hagelia	Geotun	Deltid
Knut Borge Pedersen	Geotun	Deltid
Jan Eirik Henning	Utbygging	Deltid

### Budsjett/Forbruk for 2005:

Delprosjekt	Budsj/forbruk
Dp 1 Brannsikkerhet og testing	620 /
Dp2 Konseptutvikling	500
DP3 Frostdimensjonering	100
Dp4 Levetidsevaluering	50
Dp5 Injeksjon	100
Dp6 Duk- og skumløsninger	100
Dp7 Lettbetonghvelv	100
Dp8 Skumglasshvelv	250
Dp9 Brannbestandig betong	200
Dp10 Sårbarhet og risiko	50 /
Dp11 Nedbrytningsmekanisme spr.bet	300
Dp12 Bestandighet sprøytebetong/frost	200
Dp13 Runehamar test tunnel	300
<b>Totalt for prosjekt</b>	<b>3100 / 3,4</b>

### Budsjett/forbruk 2006:

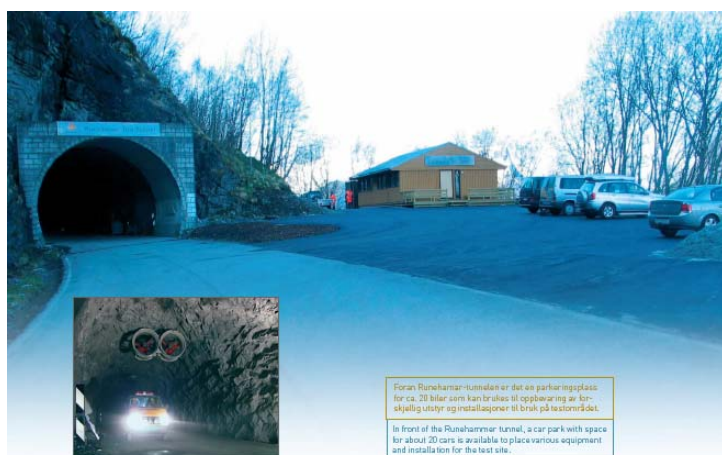
	Delprosjekter 2006	Budsjett
Dp 1	Brannsikkerhet og testing	1,8
Dp 2	Konseptutvikling	1,3
Dp 4	Levetidsevaluering	0,2
DP13	Runehamar test tunnel	0,4
Dp 14	Info / Kommunikasjon	0,2
Dp 15	Rehabiliteringsprosjekt regioner	0,2
	<b>Sum Tunnelutvikling</b>	<b>4,0 mill.</b>

## Budsjett/forbruk 2007

	<b>Delprosjekter 2007</b>	<b>Budsjett</b>
Dp 1	Brannsikkerhet og testing (inkl. utført i 2006)	1,5
Dp 2	Konseptutvikling	0,6
Dp 4	Levetidsevaluering	0,1
DP13	Runehamar test tunnel	0,6
Dp 14	Info / Kommunikasjon	0,3
Dp 9	Lys betong, bransjesamarb. (høst 07)	0,2
Dp 15	Rehabiliteringsprosjekt regioner	-
	<b>Sum Tunnelutvikling</b>	<b>3,3mill.</b>

## 5 Runehamar Test Tunnel

Mange av aktivitetene i FoU prosjektet "Tunnelutvikling" har krevd praktiske forsøk i større eller mindre grad. Det gjelder ikke bare brannforsøk av materialer og konseptløsninger, men også i forhold til både vannsikring og frostsikring. Konseptutvikling er tids- og ressurskrevende spesielt på materialsiden. Både praktiske forsøk og koordinering av ulike aktiviteter kan gjennomføres i tilknytning til Runehamartunnelen og kvalitetssikres i et ekte tunnelmiljø. Det vil være en avgjørt styrke for et slikt prosjekt.



**Figur 1** Runehamar Test Tunnel

Runehamartunnelen er 1550 m lang og har et tverrprofil på ca. 50 m<sup>2</sup>. Tunnelen har asfaltdekke og tradisjonell pukket drengroft på hver side. Tunnelen er fysisk avstengt for omverdenen fra begge sider. Atkomst fra øst skjer via port ca. 100 m inne i Innfjordtunnelen. Fra vest er vegen (gamle E-136) fortsatt stengt med rasmasser fra raset i 1989 som var hovedårsaken til at Runehamartunnelen ble nedlagt. I tillegg vil det bli satt opp fysisk gjerde over vegområdet for ytterligere å vanskeliggjøre atkomst for uvedkommende. Fra sjøsiden vil det fortsatt være praktisk mulig å komme til Runehamartunnelen ved å forsere bratt og ulendt terreng.

Tunnelens beliggenhet, lengde og utforming gjør den særdeles egnet til forskningstunnel. Det er lang avstand fra begge tunnelmunningene til bebyggelse. Aktiviteter knyttet til forskningsarbeid kan skje uforstyrret for omgivelsene.

Forskningsaktiviteten generelt vil i hovedsak være knyttet til:

- brannforsøk hvor bl.a. tid-temperaturkurver over brannutvikling og effektmålinger oppstrøms og nedstrøms brannen under påvirkning av ventilasjon inngår
- omfang av branneffekter og akseptkriterier
- påkjenninger på tunnelkonstruksjonen med og uten beskyttelse
- akseptkriterier ved redning og evakuering i røykfylte tunneler
- materialprøving i fullskalaforsøk
- slukketeknikker ved bruk av sprinkler/vanntåkesystemer

Tunnelen er oppgradert med ny strømforsyning som både dekker bygningsmessige fasiliteter inkl. kontor/møtelokale/tele-data og basis ventilasjon i tunnelen. Det finnes mobile vanntanker som kan benyttes i evt. slukkeforsøk.

Det har vært gjort brannforsøk av ulikt omfang også tidligere i dette området. Den eldste (ca. 400 m lange) Runehamartunnelen ble brukt som forsøktunnel tidlig på 1980 tallet. Dette var forsøk som i hovedsak omfattet isolasjonsmaterialer i tunnelkledninger og hvor ulike beskyttelsesmaterialer ble testet.

Høsten 2003 ble Runehamartunnelen for alvor kjent som forskningstunnel gjennom de store forsøkene som ble utført der. Svenske, nederlandske og norske brannforskningslaboratorier sto bak disse forsøkene. EU gjennom sitt forskningsprosjekt UPTUN (Upgrading of existing tunnels) var også delaktig. Disse brannforsøkene var de største som noen gang er blitt gjennomført i full skala og formålet var i hovedsak å studere brannutvikling i store kjøretøy, hvorledes slike branner oppfører seg og hvor fort de sprer seg mellom kjøretøy. Resultatene fra disse forsøkene har hatt stor betydning for kunnskapen om brann i tunnel og danner basis for det videre forskningsarbeidet fremover. Det er meget stor fokus på brannsikkerhet internasjonalt og forskningsarbeidet vil bli intensivert for å oppnå størst mulig grad av sikkerhet for tunneltrafikanterne.

Statens vegvesen vil være delaktig i dette forskningsarbeidet gjennom å stille til disposisjon en tunnel som både er lang og har et moderne tverrprofil. Internasjonalt har man ikke tilgang til slike tunneler i fullskala forskningsøyemed og dermed vil Runehamartunnelen være i en særstilling. Statens vegvesen vil selv i en viss grad drive aktive forsøk i tunnelen. Videre vil både norske og internasjonale forskningsorganisasjoner og industriaktører innenfor brannsikkerhet være aktuelle "brukere" av tunnelen.

Det daglige tilsynet av forskningstunnelen vil av praktiske grunner utføres av ressurser på Åndalsnes tilhørende Nordmøre og Romsdal distrikt i Region midt. Dette er personer som har vært med på forsøksvirksomheten i Runehamartunnelen helt fra starten på 1980 tallet. De er godt kjent med omfanget av slik virksomhet og hva det krever av praktisk tilrettelegging og gjennomføring. Driften av en slik tunnel er avhengig av slik ressurshjelp som vi nå har tilgjengelig.

Framtidige forsøk vil kunne klarlegge betydningen av ventilasjon for brannutviklingen, utforming av ventilasjonssystem, spredning mellom kjøretøy, varighet av store branner, ulike tunnelkledningers innvirkning på spredning av brann, redningstjenestens innsatsmuligheter, effektivitet av ulike deteksjons-/slukkesystem, risiko for nedfall og utsprenging, behov/effektivitet ved ulike beskyttelsesmaterialer, med mer. Med datagrunnlag fra slike forsøk skulle eksisterende regelverk for tunnelsikkerhet kunne revideres for ytterligere forbedring av sikkerheten for trafikanter og innsatspersonell samtidig som at dette kan skje på en kostnadseffektiv måte.

## 6 Resultater

En oversikt over hva som er skjedd innenfor brann-, vann- og frostsikringsområdet i tunnel i prosjektperioden. Dette gjelder resultater der prosjektet på en eller annen måte har vært involvert, i større eller mindre grad.

### 6.1 Frostsikring

#### Bakgrunn for frostprogrammet ”VV – Tunnelfrost”

Værobservasjonene til Meteorologisk Institutt danner grunnlaget for klimabeskrivelsen for hele landet. Det normale klimaet i Norge regnes i henhold til de internasjonalt bestemte 30 års periodene.

Etter at statsmeteorolog Georg Schou i samarbeid med overing. Skaven-Haug i NSB, utarbeidet frostmengdekart over den midlere frostmengde og den maksimale frostmengde (data fra perioden 1861-1920) foretok Veglaboratoriet nye beregninger for 70 stasjoner i perioden 1943-1972.

Dette la grunnlaget for utarbeidelse av fylkesvise kommunetabeller for frostmengdene  $F_2$ ,  $F_5$ ,  $F_{10}$  og  $F_{100}$

I flere år ble det også målt frostmengder i ulike vegtunneler og disse dataene er satt sammen til dimensjoneringsdiagrammer.

Frostinntrengning i vegtunneler er klassifisert i 4 hovedgrupperinger:

- a) Horisontale tunneler
- b) Tunneler med stigning
- c) Undersjøiske tunneler
- d) Høgtrafikk-tunneler

Videre detaljer om frostmengder i vegtunneler er beskrevet i intern rapport nr. 2301 ”Frostmengder i vegtunneler”.

Med bakgrunn i innsamlet datamateriale fra målinger i ulike vegtunneler i ulike klimasoner, ble Norconsult A/S engasjert for å utvikle et enkelt regneprogram for å kunne estimere frostinntrengningen innover i de ulike vegtunnelklassene.

Programmet skisserer to alternative metoder. Den ene beregner frostmengden innover i tunnelen når frostmengden  $F_{10}$  og årsmiddeltemperaturen i lufta utenfor anlegget er kjent. Den andre metoden tar utgangspunkt i data fra den nærmeste meteorologiske stasjon og korrigerer årsmiddeltemperaturen og frostmengden etter høydeforskjellen.

Det har vært diskutert mulige samkjøringer med data fra trafikk tetthet etc. I de målingene som er utført i høgtrafikk-tunneler i østlandsområdet ligger effekten av trafikk tettheten allerede inne. Bruk av rene simuleringsprogram har også vært diskutert, men her bør man være kritisk da lokale klimatiske forhold kan overskygge de simulerte frostmengdene.

Det sikreste resultatet får man ved å måle ”in situ” og sammenligne dette med målinger fra andre anlegg i samme klimasone.

## 6.2 Vannavskjerming

En oversikt over konsepter som er blitt typegodkjente i prosjektperioden. Dette gjelder konsepter som enten er modifisering av tidligere godkjente konsepter eller konsepter som prosjektet på en eller annen måte har vært bidragsyter til.

Fem ulike konsepter for vannavskjerming er godkjente fra 2005/2006. Tunnelduk er godkjent for lavtrafikk-tunneler, i tillegg har vi fire løsninger bestående av membran, nettarmoring og 80 mm sprøytebetong. Løsningene er en erstatning for PE-skum/ sprøytebetong for tunneler i områder med lave frostmengder ( $F_{10} < 8\ 000^\circ \text{ h}$ ).



**Figur 2 Membran i vannavskjermingssystemet**

Giertsen Tunnel har tre ulike konsepter: Tunnelduk (T100), Tunnelduk-hvelv med sprøytebetong (T200) og Tunnelduk montert i 1,2 x 1,2 boltmønster og sprøytebetong (T300). WaPro og Isolon type hvelv er membran montert i 1,2 x 1,2 m boltmønster og sprøytebetong, med henholdsvis PVC- og PE/PP-membran.

Det understrekes spesielt viktigheten av at en konstruksjon som dette blir helt tett slik at vann ikke kan komme igjennom konstruksjonen fra baksiden. Metoden forutsetter en endetettet og lukket konstruksjon

### 6.2.1 WG Tunnelduk T100

WG Tunnelduk T100 (556) forutsettes montert med enkeltstående rørbuer i profilet ut fra samme forutsetninger som tidligere typegodkjente løsning for WG Tunnelhvelv. Metoden tillates brukt i tunneler med trafikkmengde  $\text{ÅDT}(20) \leq 2500$  kjt og frostmengde  $F_{10T} < 3000$  h°C.

Løsningen kombineres med føringskant av betong, min. høyde 0,9 m over kjørebanelen

### 6.2.2 *WG Tunnelhvelv T200*

Løsningen består av nettarmert hvelv av sprøytebetong (tykkelse  $\geq 80$  mm) og med bruk av WG Tunnelduk 556 som membran. WG Tunnelduk 556 monteres ut fra samme forutsetninger (innfesting og rammeverk) som tidligere typegodkjente løsning for WG Tunnelhvelv.

### 6.2.3 *WG Tunnelhvelv T300*

Dette er en uisolert, vannavskjermet og nettarmert sprøytebetongkonstruksjon (tykkelse  $\geq 80$  mm) og med bruk av WG Tunnelduk 556 som membran. Innfestingen til fjell er med tett boltemønster 1,2 x 1,2 meter og med forankringslengder og standard kraftoverføringsmetoder.

### 6.2.4 *WaPro vannavskjerming*

Løsningen består av PVC-membran montert i profil med boltemønster 1,2 x 1,2 m, kombinert med min. 80 mm nettarmert sprøytebetong.

### 6.2.5 *Isolon Membranhvelv*

Løsningen består av Ultraflex eller Proflex membran montert i profil med boltemønster 1,2 x 1,2 m, kombinert med min. 80m.m. nettarmert sprøytebetong.

## 6.3 Injeksjon

Injeksjonsteknologien har gjort et stort sprang frem i forhold til å få tunnelene så tette som vi ønsker. Bransjeprojektet ”Miljø- og samfunnstjenlige tunneler” har blant annet bidratt til å øke forståelsen for hvordan praktisk riktig injeksjon skal foregå, kalt aktiv injeksjon. Denne utviklingen har skjedd som følge materialutvikling, maskinell utvikling, utstyrsutvikling og kunnskapsutvikling og forståelse. Til sammen har dette ført til en helt ny injeksjonsmetodikk som gir mulighet til helt tette tunneler under gunstige forhold geologiske og anleggsmessige forhold Det er blitt tettet tunneler med maks innlekkasje på under 1 liter pr minutt/ 100 m tunnel.

Ved hjelp av denne injeksjonsteknologien vil en få tette tunneler slik at vannsikring ikke lenger er nødvendig. Det gjenstår her å finne et egnet anlegg for utprøving i forhold til denne målsettingen.

Det er kommet nye injeksjonsmaterialer på markedet som flyter like lett som vann men herder allikevel og stopper vannlekkasjene. Stoffene muliggjør ettertetting av eksisterende tunneler ved å bore lange borhull over tunnelen og tette små vannlekkasjer.

Innenfor dette delprosjektet er det også utprøvd vanntett sprøytebetong, ved å sette til et stoff som gjør at riss i sprøytebetongen tetter seg. Det synes som resultatene er lovende og at sprøytebetongen blir tettere, men det er problemer med bolter og vannansamling på ”knær” i heng disse blir dryppunkter. Ved bedre sprengningskontur og gyste bolter kan denne metoden på strekninger redusere behovet for vannsikring.

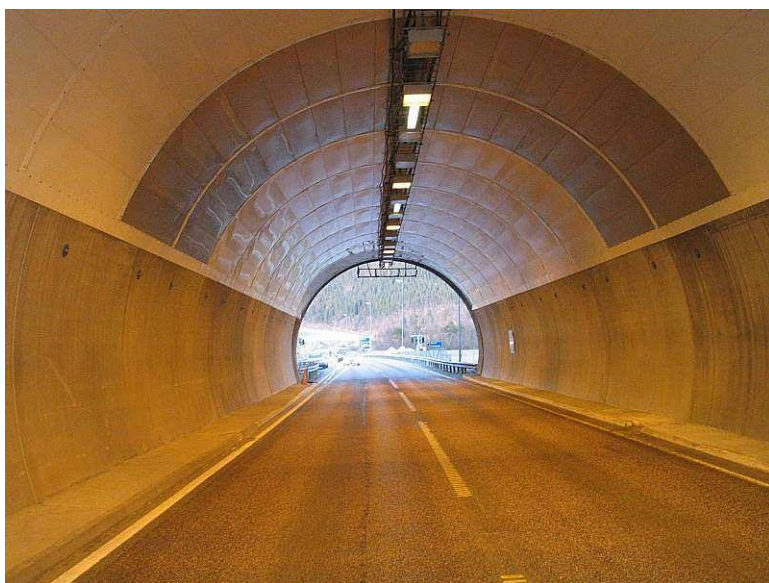
## 6.4 Lette metallhvelv

I prosjektperioden er ett konsept typegodkjent. Det gjelder Aluway Isolert platehvelv og dette er en modifisering av det tidligere Miljøhvelvet. Prosjektet har bidratt gjennom fullskalatesting av dette hvelvet i Væretunnelen ved Trondheim

### 6.4.1 Aluway Isolert platehvelv

Denne hvelvtypen er en modifisering av det gamle M-93 platehvelvet fra Vik Verk. Konseptet består av kassetmoduler som er isolert med Glava og innfestet i røroppheng til fjellet. Overflatebehandlingen er forbedret i forhold til tidligere modell.

Hvelvet i kombinasjon med ulike høyder betongkant er typegodkjent for alle tunnelklasser for tverrsnitt T 8,5 og T9,5. Utvidelser som for eksempel havarinisjer etc. skal dokumenteres spesielt.



**Figur 3** Aluway i Væretunnelen



## 6.5 Isolasjonsmaterialer

FOAMGLAS<sup>®</sup> (skumglass) er et isolasjonsmateriale som bevarer sine fysiske egenskaper over lang tid. Materialet fremstilles av resirkulert glass og kull, det er stabilt og vil bevare isoleringsevnen over tid..

FOAMGLAS<sup>®</sup> består av hermetisk lukkede glassceller og er vann- og damp tett. Diffusjonstettheten gjør behovet for dampspærre overflødig og vil kunne eliminere kondensproblemer i konstruksjoner med sikt materiale

Produktet er ubrennbart etter ISO 1182 og er godkjent for frostisolasjon bak betongelementer i alle tunnelklasser.

Utviklingen av dette materialet har funnet sted i regi av prosjektet.



**Figur 4 Foamglas bak element**

## 6.6 Lettbetonghvelv

På bakgrunn av et forslag til tunnelelementer i lettbetong utarbeidet av Dr. Ing. Aas-Jakobsen A/S utviklet seksjon for Materialteknikk en lettbetong resept med lav densitet, relativt høy tidligfasthet og fasthetsegenskaper tilsvarende LC15. Reseptutviklingen skjedde i samarbeid med Ølen Betong AS som senere ble leverandør av lettbetongelementene og hovedentreprenør for monteringsarbeidene.

Elementene ble utprøvd ved rehabilitering av Væretunnelen på E6 nord for Trondheim hvor det ble montert lettbetongelementer i 450 meters lengde.

Lettbetongegenskapene er dokumentert ved brannprøving, fastlegging av betongens varmekonduktivitet samt prøving av frostmotstand, motstand mot kloridinntrengning og densitet og fasthet på utborede betongkjerner.

Brannprøving i pilotovn viste at lettbetong tilsatt 2 kg/m<sup>3</sup> PP-fiber ikke fikk skader mens den samme betongen uten pp-fiber fikk betydelig avskalling.

Målt varmekonduktivitet samsvarer med hva man kan forvente for en lettbetong i det aktuelle densitetsområdet og med de gitte fuktforholdene. De målte verdiene er ca. 1/3 av tilsvarende verdier bestemt for normalbetong.

Samlet vurdert har den undersøkte lettbetongen, fastlagt etter SS 13 72 44, akseptabel frostmotstand. Standard 15 cm veggelement med XPS som isolasjon motsvarer 20 cm lettbetonghvelv for å oppnå tilsvarende isolasjonsverdi.

Prosjektet har gjennom Materialeseksjonen bidratt aktivt i ”designfasen” og senere hatt hovedansvaret for oppfølging og dokumentasjon/rapportering.

Lettbetongelementer er typegodkjent i alle tunnelkasser.



Figur 5 Montering av element



**Figur 6 Lettbetongelement i tak**

For detaljerte resultater henvises til:

Teknologirapport: 2399 ”Lettbetong i tunnelhvelv – brannprøving”

Teknologirapport: 2401 ”Lettbetong i tunnelhvelv – varmemotstand og varmekonduktivitet”

Teknologirapport: 2449 ”Lettbetong i tunnelhvelv – betongsammensatning”

Teknologirapport: 2471 ”Lettbetong i tunnelhvelv – skumglass med Hasopor”

Teknologirapport: 2474 ”Lettbetong i tunnelhvelv – temperaturmålinger”

## 6.7 Skumglasshvelv

Det er gjennomført forsøk med en lettbetong hvor HASOPOR granulert skumglass er brukt som lett tilslag. Dette skumglassgranulatet er basert på gjenbruk av glassavfall. Utviklingsarbeidet er et samarbeid mellom HAS Consult, Ølen Betong og Statens vegvesen Teknologivdelingen.

Herdnet skumglassbetong med HASOPOR som lett tilslag har meget gode betonegenskaper. Mengden vann som tilsettes under blandedeprosessen samt kontrollen med støpelighets-egenskapene representerer et problem som må løses før skumglassbetong kan bli industrielt anvendelig. Brannegenskapene og frostmotstanden har gjennom tester vist seg å være meget gode.

Skumglassbetong har et potensial til å bli et reelt alternativ til lettbetong med lettklinker som tilslag.



**Figur 7 Lettbetong (skumglass) m/PP fiber eksponert for brann**

## 6.8 Brannsikkerhet og testing

Håndbok 163 Vann- og frostsikring i tunneler fra 2006 gir strenge krav til brannbestandighet av konstruksjoner i tunneler. Det er også definerte krav til brannbeskyttelse av brennbar isolasjonsmateriale i tunneler. Materialer skal testes for brannbelastning på 20, 50 og 100 MW, avhengig av type tunnel.

Som en viktig del av prosjektet har det vært en uttrykt målsetning at eksisterende typegodkjente vann- og frostsikringsløsninger som innehar brennbar isolasjon skal branntestes i full skala. Dette har foregått i Runehamar Test Tunnel og all gjennomføring og instrumentering har Sintef Brannlaboratoriet hatt ansvaret for.

Dimensjonerende brann og krav til betong/sprøytebetong som brannbeskyttelse på brennbar isolasjon og til strukturbeskyttelse i forhold til tunnelklasser er gitt i tabell 5.1. Dimensjonerende brann er avgjørende for viftekapasiteten og tunnelens mekaniske ventilasjonsanlegg.

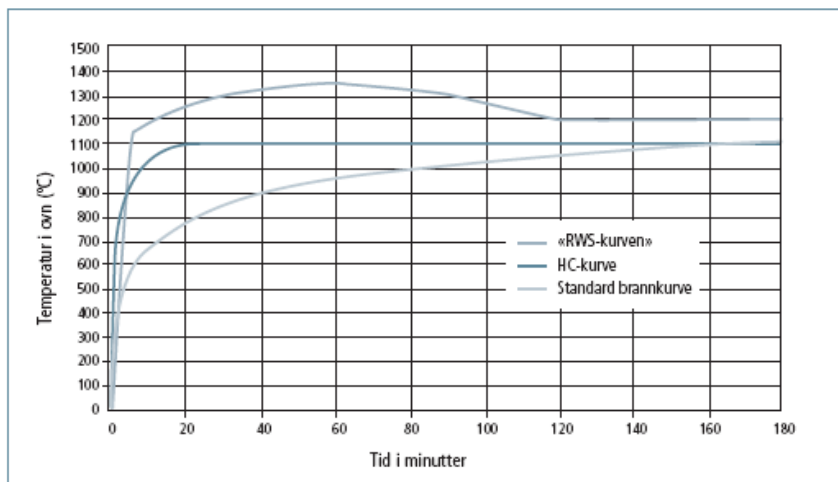
Tabell 5.1 Dimensjonerende brann. Krav til brannbeskyttelse i henhold til standard tid- temperaturkurver

Tunnelklasse	ÅDT (opp til)	Dimensjonerende brann Brannventilasjon, MW	Brannbeskyttelse av isolasjon	
			Eksponeeringskurve	Tid (min.)
A	300	20	ISO 834	60
B	4000	20	ISO 834	60
C	8000	50	HC	60
D	12000	100	HC	60
E	15000	50	HC	60
F		100	HC	60

(jf. håndbok 021 Vegtunneler og SINTEFrappport nr. NBL F05131)

Dimensjonerende brann er valgt primært ut fra antall personer som kan bli eksponert ved en brann og sannsynligheten for at en brann oppstår. ÅDT, tunnellengde og evakueringsmuligheter er avgjørende kriterier.

### Figur 8 Oversikt over dimensjonerende brann



Figur 5.1 Branneksponering benyttet i beregningene.

1. Standard brannkurve iht. ISO 834 (1999) og NS-EN 1363-1 (1999)
2. Hydrocarbon-kurven definert i ISO 834-3 (1994) og NS-EN 1363-2 (1999)
3. RWS-kurven definert av Rijkswaterstaat (The Directorate-General of Public Works and Water Management, The Netherlands)

Følgende funksjonskrav skal være tilfredsstillt:

- Konstruksjonen skal ikke bidra aktivt i en bilbrann, ikke spre en slik brann, og brannen skal ikke vedvare etter at bilbrannen har opphørt.
- Konstruksjonen skal ikke bidra til vesentlig ekstra røykutvikling eller giftige gasser.
- For vanlige konstruksjonsmaterialer vil giftigheten til disse være kontrollert gjennom oppfyllelse av akseptkriteriene i tabell 5.2.

## Figur 9 Standard tid - temperaturkurver

### 6.8.1 Branntest av WG Tunnelhvelv T100

I november 2005 ble det utført en fullskala branntest av Tunnelduk i Runehamar testtunnel. WG Tunnelduk fra Giertsen har vært brukt som vannsikring i norske lavtrafikk tunneler siden ca. 1990. Den har også vært benyttet i tunneler med forholdsvis store frostmengder i tråd med den godkjenningen som duken hadde tidligere. En modifisert utgave av tunnelduken ble i 2005 typegodkjent under betegnelsen WG Tunnelhvelv T100. Bruksområdet forutsetter tunneler med  $\text{ÅDT} \leq 2500$  kjt og frostmengde  $F_{10T} < 3000$  h°C.

Tunnelduken er oppgitt til å være selvslukkende når avstanden til brannkilden blir stor nok. Dette har aldri vært testet i full skala tidligere. Sammen med W.Giertsen A/S ble derfor denne fullskalatesten gjennomført 11. november 2005.

Tunnelhvelvet ble montert i en strekning på 75 m. I en normalsituasjon på et prosjekt ville duken blitt montert på en føringskant av betong ca. 90 cm høy. Av praktiske og økonomiske årsaker ble dette ikke gjort i forsøket og det betraktes heller ikke å ha noen innvirkning på prøveresultatet i positiv retning i forhold til duken, snarere tvert imot. Med en slik montering ville en større del av dukflaten bli eksponert for brannen og i det området som er nærmest brannkilden.

Brannstørrelsen ble bestemt til å være tilnærmet liten lastebilbrann, det vil si ca. 25 MW og med tid-temperaturkurve tilsvarende hydrokarbonkurven.

Branntesten besto av to forsøk:

- Et innledende forsøk for å bestemme varmeutviklingen uten at tunnelduken ble involvert
- Hovedforsøket med tunnelduk eksponert for definert brann

**Konklusjon:**

WG Tunnelhvelv T100 er laget i et materiale som forutsettes skal være selvslukkende dersom det blir eksponert for brann. Fullskala branntest gjennomført i Runehamar testtunnel har vist at denne forutsetningen er oppfylt gitt de brannbetingelser som hvelvet ble eksponert for under testen. Det er i hovedsak startbrannen som er avgjørende for hvor mye av duken som vil brenne i en tunnelbrann. Man oppnådde ikke full overtenning under brannen og det er ingen indikasjon på at brann i duken alene vil spre seg under slike vilkår som er testet. Uskadet duk i hele tunnelverrsnittet etter branntesten nedstrøms startbrannen viser at brannen i selve duken sloknet av seg selv når virkningen av startbrannen avtok.

For detaljerte resultater henvises til Teknologirapport nr.2479: ”WG Tunnelhvelv T100 Fullskala branntest”



**Figur 10 Branntest GW Tunnelhvelv**

## 6.8.2 Branntester av PE skum med sprøytebetong

### 6.8.2.1 Fullskala 50 MW branntest med PE-skum og stålfiberarmert sprøytebetong

Testobjektet var et 12 m langt felt med gamle knølmontert PE skumplater som hadde stått i tunnelen i lang tid. Disse ble brannbeskyttet med 70 mm stålfiberarmert sprøytebetong tilsatt 2 kg PP-fiber pr.m<sup>3</sup>. Testfeltet var ca. 600 m inne i tunnelen

Målsetningen med testen var å verifisere hvordan en konstruksjon etter gammelt monteringsprinsipp fungerer under en fullskala brann i størrelse 50 MW. Testbrannen besto av 6000 l diesel i en 20m<sup>2</sup> pool som var forutsatt skulle brenne i 60 min med en tid/temperaturkurve tilsvarende HC.

Brannen hadde en total varmeavgivelse i størrelsesorden 50 MW og brandt i ca. 90 minutter. Antydning til smeltet betong i heng nedstrøms indikerer temperaturer på overflaten på ca. 1250 °C.

Ventilasjonshastigheten ved testbrannens antennelse i poolen var ca. 2,5 m/s.

Sprøytebetongskallet var intakt under hele forsøket. Ingen avskalling ble registrert. Etterkontroll viste stor variasjon i tykkelse på sprøytebetongbeskyttelsen (50 mm – 150 mm)

I heng og vederlag var alt PE-skummet bak sprøytebetongen smeltet/brent bort. I veggene var PE skummet delvis intakt med smelteskader. Konstruksjonen var forholdsvis lett i rive/pigge ned.

#### **Konklusjon:**

Sprøytebetongbeskyttelsen motstod ikke et slikt brannscenario og forhindret ikke antennelse og/eller smelting av PE-skummet. Dette skyldes i hovedsak for liten tykkelse på sprøytebetongbeskyttelsen. Denne var målt med tykkelser ned i 50 mm hvor kravet er 70 mm

For mer detaljerte resultater henvises til:

Teknologirapport nr. 2464: ”Brannforsøk Runehamar – Befaring og prøvetaking etter brannforsøket”

Teknologirapport nr. 2487: ”Fullskala branntest 50 MW brannsikret PE”

### 6.8.2.2 Fullskala 100 MW branntest med PE-skum og nettarmert sprøytebetong.

Testobjektet var et 22 m langt felt med nyoppsett PE skumplater montert i styrt profil på ”ytterste knøl” etter samme prinsipp som benyttes i dagens tunnelproduksjon. Som beskyttelse ble det brukt standard 80 mm nettarmert sprøytebetong tilsatt 2 kg PP-fiber pr.m<sup>3</sup>. Testfeltet var ca. 800 m inne i tunnelen.

Målsetningen med testen var å verifisere hvordan brannbeskyttet PE skum fungerer under en fullskala brann i størrelse 100 MW. En slik brannlast tilsvarer krav til belastning for konstruksjoner i tunnelklasse D i henhold til Hb. 021 Vegtunneler. Testbrannen besto av 11000 l diesel i en 40m<sup>2</sup> pool som var forutsatt skulle brenne i 60 min med en tid/temperaturkurve tilsvarende HC/RWS.

Brannen hadde en rask brannutvikling opp til 100 MW, deretter varierende mellom 80 – 100 MW i ca. en time for deretter å falle gradvis tilbake til så vidt under 10 MW etter 3,5 timer. Årsaken til det store avviket i total brenntid i forhold til forutsatt var i hovedsak manglende ventilasjonskapasitet i forhold til brannstørrelse under forsøket.



Gasstemperaturmålingene gir en temperaturstigning på 1200 °C i løpet av ett minutt. Økningen i den målte temperaturen overgår både HC-kurven og RWS-kurven med hensyn til stigningsrate og maksimalverdi.

Oppnådd ventilasjonshastighet var ca. 1,5 m/s gjennomgående i tunnelen før antennelse. Etter antennelse falt hastigheten oppstrøms ned mot null (<0,5 m/s) etter 40 minutter og nedstrøms brannen falt strømningshastigheten til 0,5 – 1,0 m/s umiddelbart etter antennelse. Brannens trykkoppbygging overtok ”kontrollen” med ventilasjonen.

Testkonstruksjonen var intakt under hele forsøket og kun en mindre avskalling ble registrert. Under etterkontrollen ble kun mindre smelteskader i PE skummet observert. Det var ikke antydning til antennelse av PE skummet i hulrommet bak sprøytebetonghvelvet. Det ble observert mange småsprekker i sprøytebetongoverflaten. Det var ulik tykkelse (80 mm – 150 m.m.) på sprøytebetongen over hele testfeltet men etterberegninger har vist at 80 mm tykkelse er nødvendig for å beskytte underliggende brennbar isolasjon for et slikt brannscenario.

**Konklusjon:**

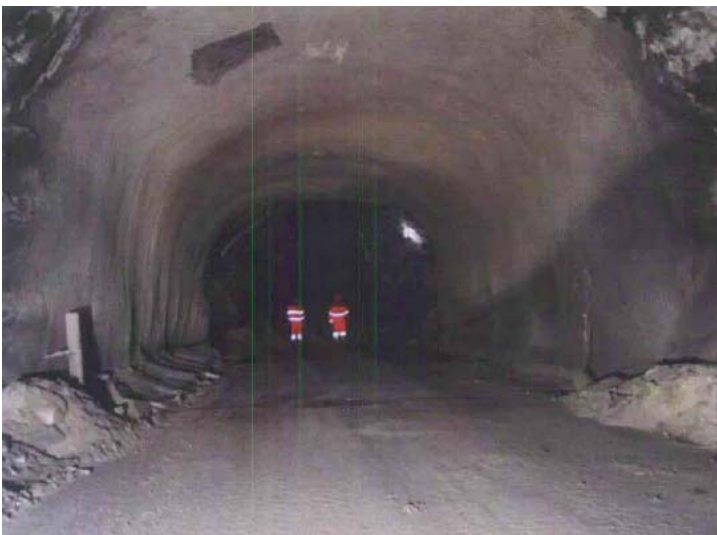
Sprøytebetongbeskyttelsen har motstått branntesten og forhindret antennelse av brennbar isolasjon på baksiden.



**Figur 11** Før brannen



**Figur 12** Etter 1 min. brann



**Figur 13** Etter brannen

For mer detaljerte resultater henvises til Teknologirapport nr. 2488: "Fullskala branntest 100 MW  
brannsikret PE"

## 6.9 Oversikt typegodkjente løsninger

Metode	Tunnelklasser					
	A	B	C	D	E	F
PE-skum m/ stålfiberarmert sprøytebetong og PP fiber	•	•				
PE-skum m/ nettarmert sprøytebetong og PP fiber	•	•	•	•	•	•
Betongelementer Lettbetongelementer	•	•	•	•	•	•
Utstøpning, membranisolert	•	•	•	•	•	•
WG Tunnelduk T100 <sup>1)</sup>	•	•				
WG Tunnelhvelv T200 <sup>2)</sup>	•	•	•	•	•	•
WG Tunnelhvelv T300 <sup>2)</sup>	•	•	•	•	•	•
Aluway isolert platehvelv <sup>3)</sup>	•	•	•	•	•	•
WaPro vannavskjerming <sup>2)</sup>	•	•	•	•	•	•
Isolon Membranhvelv <sup>2)</sup>	•	•	•	•	•	•
Foamglas Celleglass Isolasjon	•	•	•	•	•	•

**Figur 14 Typegodkjente vann- og frostsikringsløsninger pr. mai 2007**

<sup>1)</sup> Godkjent opp til trafikkmengde ÅDT(20) < 2500 kjt og frostmengde < 3000 h°C.

<sup>2)</sup> Godkjent i ulike kombinasjoner med veggelement av betong  
Frostmengder F10 < 8 000

<sup>3)</sup> Godkjent for alle tunnelklasser for tverrsnitt T8,5 og T9,5

Pris for de ulike typegodkjente vann- og frostsikringsløsningene er vanskelig å spesifisere konkret da dette vil både være stedsavhengig og ikke minst mengdeavhengig. Vannsikring med GW Tunnelhvelv T100 ligger i størrelsesorden kr. 500.-/m<sup>2</sup>, PE skum med nettarmert sprøytebetong og PP fiber i størrelsesorden kr. 600.-/ m<sup>2</sup> og betongelementer i hele profilet i størrelsesorden kr. 1200.-/ m<sup>2</sup>. Pris på vannavskjermet sprøytebetong (WG Tunnelhvelv T200/ T300, WAPRO og ISOLON) er vanskelig å antyde etter som dette konseptet ikke har vært anbudsbeskrevet så langt).

## 7 Løsninger under utvikling

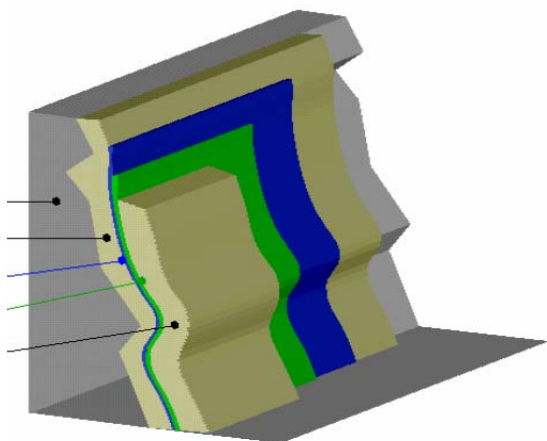
Oversikt over utviklingsarbeid som er i gang eller som ventes i gang i inneværende år. Dette er både tradisjonelle løsninger/konsepter og ett helt nytt og innovativt konsept som søkes opptatt som OFU-prosjekt.

Det er i prosjektperioden også lagt ned noe arbeid med løsninger som skal ivareta sikring av gammelt PE skum. Dette gjelder spesielt der hvor man ikke kan påføre beskyttelsesmasse ut i fra rene belastningskrav. Dette har ikke vært spesielt høyt prioritert i prosjektperioden så langt.

### 7.1 Beskrivelse av BASF sprøytbart konsept

Sprøytbar isolert membran er et alternativ som man ønsker å teste ut som et mulig alternativ eller supplement til dagens løsninger. Det er så langt ikke vært benyttet til vann- og frostsikringsformål i Norge, men det er blitt anvendt som vannsikring i en undersjøisk vegtunnel på Færøyene og til samme formål i noen prosjekter blant annet i Sveits og Hong Kong.

BASF Construction Chemicals Norway foreslår et opplegg for hvorledes man skal gjennomføre en fullskalatest for et konsept bestående av en sprøytbar membran i en kompositt bestående av sprøytebetong på hver side av membranen. Fullskalatesten planlegges utført ved Statens vegvesen sitt anlegg i Runehammer-/Varghamartunnelen og gjennomføres som et samarbeidsprosjekt mellom Statens vegvesen Vegdirektoratet og BASF Norge AS.



**Figur 15 BASF Sprøytbar sikring**

SINTEF Berg og geoteknikk er engasjert av partene for å forestå planlegging av fullskalatestene og oppfølging /rapportering av testene.

Fullskalatestene vil utføres på to forskjellige strekninger og ha ulike målsettinger som skal dokumentere dette konseptets:

- Egenskaper knyttet til frostgjennomtrenging, og konseptets termiske egenskaper i uisolert løsning.
- Egenskaper knyttet til bergmasseegenskaper knyttet til vanngjennomtrengning og trykkoppbygging i bakenforliggende bergmasse og i selve applikasjonen.

Det vil være behov for ulike installasjoner og oppfølgingsprosedyrer for de to test-strekningene som planlegges etablert.

Spesielt med henblikk på den muligheten disse forsøkene gir for også å kunne erverve kompetanse om, og dokumentere hvordan trykkoppbygging skjer og likeledes hvordan trykkgradienter utvikler seg

i omkringliggende bergmasse av tunnelen, vil gi ny og allmenn nyttig kunnskap om kompliserte prosesser der det foreligger svært lite dokumenterbar erfaring i dag.

## 7.2 Beskrivelse av Aplitt-konseptet

Generell beskrivelse av Aplitt som material og med hovedvekt på et mulig OFU prosjekt der målsetningen er brannsikre vann- og frostsikringsmaterialer til bruk i tunneler.

Tilslagsmaterialer som vil inngå i de produktene som skal utprøves vil være: aplitt, calcsitt, karbon, slagg og anhydritt. Utviklingsprogrammet skal med basis i disse råstoffene utforske resepter som grunnlag for produkter og masser som kan anvendes i hovedsak til sprøyting av tunnelvegger, injeksjon, veggelementer, etc.

Heli Utvikling AS i samarbeid med Statoil er produktutvikler.



**Figur 16** Aplitt forekomst i Namskogan

### 7.3 Beskrivelse av Flexihvelvet

Ørsta Stålindustri A/S har levert inn søknad om typegodkjenning på Flexihvelvet. Dette er en type lett vann- og frostsikringskledning som vil kunne være et alternativ til det allerede typegodkjente Aluway fra Vik verk.

Flexihvelvet er et kassettsystem med med Rockwool som isolasjonsmateriale. Hvelvet er bygd opp av aluminiumsprofiler og komposittmateriale som skal monteres på langsgående betongføringskant. Inspeksjonsluker i hvelvet vil gi adgang bak hvelvet til inspeksjoner etc.

Flexihvelvet vil bli prøvemontert i full skala i en egnet tunnel i løpet av sommeren/høsten.

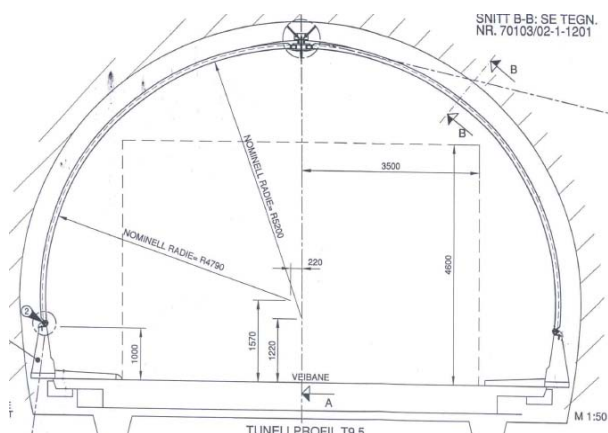


Figur 17 Flexihvelvet i kombinasjon med betongkant

### 7.4 Beskrivelse av K-3 hvelvet

K-3 Tunnelhvelv er et kassetthvelv bestående av stålplater og kompositt med mellomliggende isolasjon som FiReCo AS står bak. Hvelvet har vært under utvikling i en lengre periode og har gjennomgått materialendringer. Branntester har gitt bekreftelse på at gjeldende krav blir innfridd med god margin.

Dette hvelvet vil være et supplement til tilsvarende konseptløsninger jfr, Aluway fra Vik Verk.



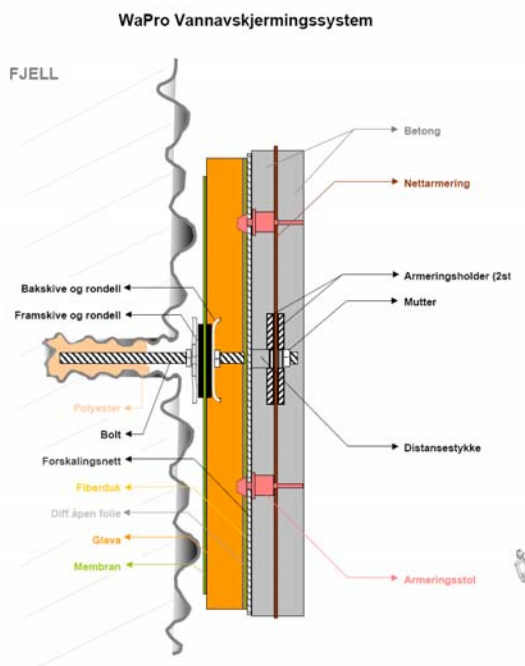
Figur 18 Prinsippskisse K-3 hvelvet

## 7.5 Beskrivelse av Ceasefire beskyttelsesmateriale

Ceasefire Coating er et amerikansk produkt, levert av Cote-L, som består av en to-komponent epoxybasis som benyttes til brannbeskyttelse av industrielle produkter. I en videreutvikling av produktet er det tilsatt keramiske mikrokuler. Produktet er smørbart og/eller sprøytbart og anvendelsesområdet ses først og fremst som brannbeskyttelse av gammelt PE skum. Fordelen er at det er enkelt å påføre, har igjen vekt og er fleksibelt. Det gjenstår imidlertid en del brannteknisk testing samt praktiske tester i tunnel før produktet kan bli praktisk utnyttet.

## 7.6 Beskrivelse av isolert Wapro

WAPRO isolert tunnelhvelv, levert av Mesta og Enreco, er en konstruksjon som i prinsippet erstatter dagens PE skum med Glava mineralull som isolasjon. Oppbyggingen av konstruksjonen omfatter membran for å kontrollere vannlekkasjer, glava isolasjon for å frostisolere, dernest fiberduk og forskalingsnett og til slutt 80 m.m. sprøytebetong tilsatt PP fiber. Løsningen er vurdert på teoretisk grunnlag av Byggforsk med tanke på mulig kondensdannelse i isolasjonslaget. Byggforsk har ingen grunn til å anta at slik kondens vil inntreffe gitt de betingelser som konstruksjonen er oppbygd etter og med de monteringsbetingelser som er forutsatt. Konstruksjonen har fått en prinsippgodkjennelse og prøvemontasje i full skala er i gang i Helgehorntunnelen som er en del av Eiksundsambandet. Endelig evaluering av konstruksjonen finner sted etter ett år.



Figur 19 Prinsippskisse Isolert Wapro

**Oversikt over konsepter og materialer som er i gang og med antydning om hvor langt i utviklingsprosessen man er kommet:**

<b>Konsept</b>	<b>Materiale</b>	<b>Tidlig utviklingstadie</b>	<b>Utvikling – test stadie</b>	<b>Klart for prøvemontasje i full skala</b>
BASF		x	x	
Flexihvelvet				x
K-3 Kompositthvelv			x	
Aplittbetong		x	x	
	Ceasefire brannbeskyttelse		x	
Isolert Wapro				x



## 8 Vurderinger i forhold til policyvedtaket

I policyvedtaket fra 2004 har VLM gitt en føring i at etaten har som målsetning og avvike bruken av brennbart isolasjonsmateriale i tunneler. Dette under forutsetning av at man har alternative materialer til samme formål.

Prosjektet har i stor grad sett etter eksisterende materialer som har egenskaper som kan tenkes oppfylle de krav man har til vann-, frost- og brannbestandighet. Slike materialer er ikke lette å finne. Dette er i tillegg et nisjemarked som begrenser i hvor stor grad industrien engasjerer seg i materialutvikling. Det kommersielle markedet er forholdsvis lite og det begrenser seg i hovedsak til Skandinavia. Prosjektet vil på ingen måte kunne si at "letingen" etter den optimale erstatningen er fullkommen og ferdig. Materialer som brukes i helt andre sammenhenger og til andre formål kan utmerket godt egne seg til vann- og frostsikring i vegtunneler. Hovedutfordringen er å finne fram til slike materialer. Prosjektet har så langt søkt i de mer tradisjonelle vann- og frostsikringsmiljøer. Off-shore markedet er for eksempel ikke undersøkt. Det må også understrekes at en prosjektperiode på to år er forholdsvis kort når man snakker om utviklingsarbeid i et nisjeområde.

Konklusjonen er derfor at prosjektet ikke har funnet et optimalt alternativ som dekker lave så vel som høye frostmengder slik som PE skummet gjør i dag.

Når det er sagt så må vi også legge til at vi tross alt har oppnådd en god del i denne perioden og i tillegg har vi arbeid på gang som er lovende. Vi har et konkret alternativ til brennbar isolasjon bak veggelementer i og med typegodkjenning av Foamglas. Dette er 100% ubrennbar, tar ikke opp fukt, isolerer godt og bevarer sine egenskaper i hele levetiden. I tillegg er Foamglas et gjenbruksmateriale. Materialet er sprøtt og i transportfasen må det tas spesielle forhåndsregler. Ifølge leverandøren vil prisøkningen pr. m<sup>2</sup> veggelement være ca. 50% i forhold til XPS. En totaløkning av "ferdig tunnel pris" vil kunne utgjøre 10%.

Foamglas er i prinsippet et reelt alternativ og kan erstatte dagens brennbare XPS som isolasjon men til en høyere pris.

I løpet av prosjektperioden er det også typegodkjent tre varianter av samme konseptet "vannavskjermet sprøytebetong" som kan brukes i tunneler med frostmengder  $F_{10} < 8\ 000^{\circ}\text{h}$ . Pr. dato er det ingen praktiske erfaringer med gjennomføring av slike konsepter men det forutsettes kjente materialer og kjent innfesting i disse løsningene.

I prinsippet finnes det derfor et reelt alternativ til PE-skum i tunneler med lave frostmengder.

Det er i gang utprøving av det samme konseptet med Glava som isolasjonsmateriale. En teoretisk vurdering av konseptet er lovende men utprøving i full skala er nødvendig for å verifisere egenskapene. En slik prøvemontasje skjer i løpet av våren i år og prosjektet vil følge og gjennomføre nødvendig dokumentasjon.

Vi har et helt nytt og interessant konsept på gang som omhandler sprøytbare masser. Det utnytter mikronisert Aplitt kombinert med slagg som isolasjon i en sprøybar masse. En patentert variant er lansert som erstatning til brønnement i off-shore og kan tenkes brukt som injeksjonsmasse i tunneler. Dette er et innovasjonsmateriale med stort potensial og prosjektet vil aktivt være involvert i arbeidet fremover.

Det er søkt om en OFU-kontrakt mellom Heli Utvikling, Skanska og Statens vegvesen med prosjektperiode på tre år hvor målsetningen er sprøytebare masser til vann- og frostsikring av tunneler og elementproduksjon til samme formålet.

Prosjektet har brukt store ressurser til fullskala branntesting av eksisterende løsninger i Runehamar test tunnel. Gammelt knølmontert PE skum med varierende grad av tykkelse på brannbeskyttelsen og nymontert PE skum med brannbeskyttelse etter dagens krav til tykkelse er testet i full skala med stor brannpåkjenning. Erfaringene er forholdsvis klare og entydige i forhold til brannbeskyttelsen. Gitt de betingelsene som var til stede under testeforsøkene i Runehamar er kritisk tykkelse på sprøytebetongen minimum 80 mm for å motstå en brannstørrelse på 50 – 100 MW i 1 – 2 timer. Nettarmering er nødvendig for å ivareta konstruksjonsstabiliteten og iblanding av polypropylenfiber er avgjørende for å unngå avskalling.

Disse branntestene har verifisert at dagens brannbeskyttelse av PE skummet er en sikker løsning gitt utførelse og betingelser tilsvarende testforholdene.

Testene har altså vist at selve brannbeskyttelsen holder mål. PE skummet som materiale er imidlertid ikke forandret. Det fundamentale spørsmålet vil fortsatt være: Skal Statens vegvesen fortsatt bruke brennbar materiale som i etterkant forutsettes brannbeskyttet med sprøytebetong?

- Momenter som taler mot en fortsatt bruk av PE:
  - monteringsfasen er kritisk i forhold til brannfare
  - påkjørslar kan skade brannbeskyttelsen og eksponering av PE skummet
  - manglende overdekning av brannbeskyttelse kan være svært kritisk
  - usikkerhet knyttet til brennbare materialer og brannfare i lukkede rom vil alltid være beheftet med et men..
- Momenter som taler for fortsatt bruk av PE:
  - dokumentert gjennom fullskalatester at beskyttelsen er god
  - dokumentert motstand mot store brannpåkjenninger under gitte betingelser
  - ut i fra en totalvurdering kunne akseptere den risiko det måtte være at en slik løsning mot formodning skal kunne feile
  - kostnadseffektiv

Ut i fra det prosjektet har dokumentert gjennom fullskala tester og det utviklingsarbeidet som er gjort og/eller er i gang vil det være naturlig å forholde seg til policyvedtaket og til evt. ny policy med ulike alternativer:

1. På bakgrunn av de testresultatene med fullskala brannforsøk som er oppnådd, vil Statens vegvesen ha følgende alternativer til policy knyttet til bruk av brennbar isolasjon i tunneler:
  - 1 a: brannbeskyttet PE som aksepteres som fullgod løsning i alle tunneler
  - 1 b: brannbeskyttet PE aksepteres i eksisterende tunneler men for nye tunneler vil man videreføre/intensivere arbeidet med å utvikle nye ubrennbare løsninger.

1 c: Policyvedtaket blir opprettholdt idet man viser til nye alternative løsninger i tunneler med lavere forstmengder og det igangværende utviklingsarbeidet med nye materialer / løsninger

2. Det foreligger et klart alternativ, Foamglas, som ubrennbar isolasjon bak veggelementer. Dette materialet oppfyller policyvedtakets krav som alternativt materiale men til en høyere pris. Produktet må snarest fullskala testes gjennom en større tunnelmontasje. Omfanget må være av en slik størrelse at det vil reflektere en reell markedspris for produktet basert på produksjon og transport/montering.

## 9 Videre arbeid

Tunnelutviklingsprosjektet har tildelte midler for 2007 og disse blir brukt til i hovedsak nye materialer/OFU-kontrakt, Runehamar test tunnel og brannsikkerhet/testing, jfr. vedlagte budsjettforslag. Profilen i budsjettet kan endres noe forutsatt føringer som måtte komme i konklusjon til revidert policyvedtak.

## 10 Oppsummering og konklusjon

På bakgrunn av ovenstående redegjørelse basert på erfaringer, dokumentasjoner og kunnskap for øvrig vil prosjektet foreslå følgende konklusjon for fase 1 Brann- og frostsikring:

- 1. Policyvedtaket i VLM i møte 5/2004 blir opphevet og følgende policy gjelder:  
PE skum med brannbeskyttelse aksepteres i alle eksisterende tunneler.  
For nye tunneler derimot vil man videreføre/intensivere arbeidet med å utvikle nye ubrennbare løsninger som endelig målsetning. Inntil dette er gjennomført vil de til enhver tid typegodkjente løsningene kunne brukes ut i fra gitte forutsetninger.*

*Begrunnelsen for opphevelsen ligger i de fullskala branntester som er gjennomført i prosjektperioden og der typegodkjent brannsikring bestående av nettarmert sprøytebetong( min. 80 m.m. tykkelse) med 2 kg PP fiber pr. m<sup>3</sup> er dokumentert som fullgod brannbeskyttelse.*

- 2. Foamglas isolasjon må snarest fullskala testes gjennom en større tunnelmontasje. Omfanget må være av en slik størrelse at det vil reflektere en reell markedspris for produktet basert på produksjon og transport/montering.*

## 11 Rapportliste

Teknologirapport nr. 2443: FoU Tunnelutvikling. Fase 1 Brann- og frostsikring. Prosjektplan 2005-2006. R.G. Haug.

Teknologirapport nr. 2399: Lettbetong i tunnelhvelv. Brannprøving. F. Fluge

Teknologirapport nr. 2401: Lettbetong i tunnelhvelv. Varmemotstand. F. Fluge

Teknologirapport nr. 2412: Tunnelduk. Erfaringer fra norske tunneler 1994-2004. M. Lindstrøm

Teknologirapport nr. 2449: Lettbetong i tunnelhvelv. Betongsammensetning. F. Fluge

Teknologirapport nr. 2464: Brannforsøk Runehamar 24. mai 2006. Befaring og prøvetaking etter brannforsøket. C.K. Larsen

Teknologirapport nr. 2471: Lettbetong til tunnelhvelv. Skumglassbetong med Hasopor som lett tilslag. F. Fluge

Teknologirapport nr. 2474: Lettbetong i tunnelhvelv. Temperaturmålinger. Lettbetongelementer Væretunnelen. F. Fluge

Teknologirapport nr. 2479: WG Tunnelhvelv T100. Fullskala branntest i Runehamar testtunnel. H. Buvik

Teknologirapport nr. 2487: Fullskala 50 MW brannforsøk av knølmontert PE skum beskyttet med sprøytebetong tilsatt PP fiber. H. Buvik

Teknologirapport nr. 2488: Fullskala 100 MW brannforsøk av PE skum montert i styrt profil beskyttet med sprøytebetong tilsatt PP fiber. H. Buvik



**Statens vegvesen**

Statens vegvesen Vegdirektoratet  
Postboks 8142 Dep  
N - 0033 Oslo

Tlf. (+47 915) 02030  
E-post: [publvd@vegvesen.no](mailto:publvd@vegvesen.no)

ISSN 1504-5005